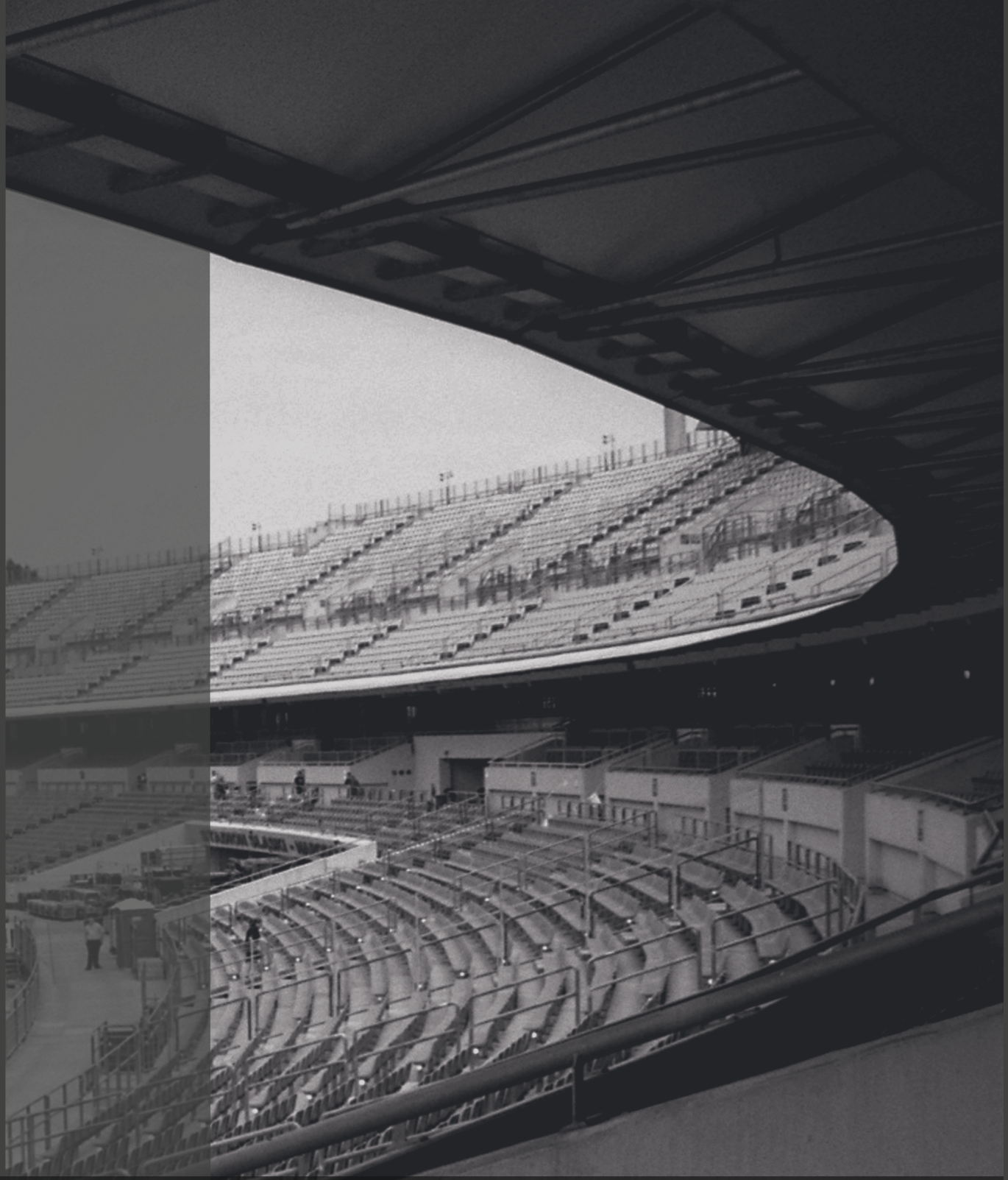


Zdzisław Pelczarski

WIDOWNIE WSPÓŁCZESNYCH STADIONÓW

Determinanty i problemy projektowe

SPECTATOR STANDS OF CONTEMPORARY STADIUMS

Determinants and Design Problems

Zdzisław Pelczarski

WIDOWNIE WSPÓŁCZESNYCH STADIONÓW

Determinanty i problemy projektowe

SPECTATOR STANDS OF CONTEMPORARY STADIUMS

Determinants and Design Problems

Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej
Białystok 2018

Recenzenci:
prof. dr hab. inż. arch. Andrzej Basista
prof. PWr dr hab. inż. arch. Waldemar Wawrzyniak

Opracowanie redakcyjne:
Jadwiga Żukowska

Zdjęcie na okładce:
Stadion Śląski – widownia wschodnia
fot. Zdzisław Pelczarski

Projekt okładki:
Monika Magdziak

Opracowanie graficzne rysunków:
Monika Magdziak

Redakcja techniczna, skład:
Joanna Ziółkowska

© Copyright by Politechnika Białostocka, Białystok 2009, 2018

e-ISBN 978-83-65596-76-5

DOI 10.24427/978-83-65596-76-5

(ISSN 0867-096X wydanie I)

Wydanie II uzupełnione

Publikacja jest udostępniona na licencji
Creative Commons Uznanie autorstwa-Użycie niekomercyjne-Bez utworów zależnych 4.0
(CC BY-NC-ND 4.0)
Pełna treść licencji dostępna na stronie
creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode.pl
Publikacja jest dostępna w Internecie na stronie Oficyny Wydawniczej PB

PRZEDMOWA

Niniejsze wydanie książki w wersji elektronicznej jest wznowieniem jej wyczerpanego nakładu z roku 2009. Nie różni się ono układem i zakresem merytorycznym od wydania pierwszego, gdyż – pomimo upływu dziewięciu lat – zawarte w tamtym wydaniu treści są nadal aktualne. W przeciągu tego czasu, co prawda, powstało w Polsce kilka dużych stadionów piłkarskich oraz zakończony został ostatni etap przebudowy wielofunkcyjnego *Stadionu Śląskiego*, a w skali globalnej zbudowano pokaźną liczbę nowych stadionów o podobnej randze i wielkości. Realizacje te nie wniosły jednak istotnego postępu w dziedzinie projektowania samej widowni.

Oddzielnego komentarza wymagają dalsze losy modernizacji *Stadionu Śląskiego* obejmujące lata po dacie pierwszego wydania książki. Opisana w niej historia przekształceń tego obiektu kończy się na roku 2008. Wyeliminowanie legendarnego *Kotła Czarownic* z udziału w Mistrzostwach Europy w Piłce Nożnej *EURO – 2012* przyczyniło się do zmiany nastawienia władz samorządowych województwa, co do strategicznych celów i zakresów kolejnych etapów przebudowy. Postanowiono wówczas rozebrać górną widownię zachodnią, zastępując ją widownią balkonową, zmienić koncepcję zadaszenia stadionu, przystosować arenę do funkcji lekkoatletycznych i piłkarskich, wyposażyć widownię w stacjonarne zaplecze sanitarne dla publiczności, a także podnieść standard użytkowy pomieszczeń pod istniejącą trybuną wschodnią. W zakresie projektowym zadania te powierzono niemieckiej firmie *GMP Architekten*. Przebudowany *Stadion Śląski* z w pełni zadaszoną widownią i zewnętrznymi strefami dla widzów udostępniony został publiczności w październiku 2017 roku. W swej aktualnej postaci jest on dziś jedyną w Polsce, reprezentacyjną, nowoczesną areną lekkoatletyczną o pojemności ok. 55 tys. miejsc, spełniającą światowe standardy wymagane przy organizacji, najwyższej rangi, prestiżowych międzynarodowych zawodów w tej dziedzinie sportu.

Prezentowana praca jest podsumowaniem wieloletnich, praktycznych doświadczeń autora w dziedzinie projektowania i realizacji wielkich widowni, w tym - jednej z największych funkcjonujących w Polsce - widowni *Stadionu Śląskiego*. Jest zbiorem własnych studiów i badań, towarzyszących procesowi projektowo-inwestycyjnemu etapowej przebudowy tego obiektu w latach 1994-2007, w którym to przedsięwzięciu autor pełnił funkcje generalnego projektanta. W swej podstawowej części stanowi ona kontynuację i rozwinięcie rozważań na temat teorii projektowania wielkich widowni, publikowanych przez współprojektanta pierwotnej formy *Stadionu Śląskiego* (1956), architekta Juliana Brzuchowskiego. Publikacje te – a ostatnia miała miejsce w roku 1982 – były dotychczas jedynym, szerzej rozpowszechnionym, rodzimym źródłem wiedzy z tej dziedziny.

Główny nurt badań dotyczy zagadnień wynikających z uwarunkowań percepcji wzrokowej. Uzupełniają go ponadto badania nad relacjami zachodzącymi pomiędzy profilem widowni i profilem schodów oraz relacjami pomiędzy widownią i areną w zakresie ich wielkości i kształtu. Kolejnymi problemami podjętymi w pracy są determinanty kształtujące organizację funkcjonalno-przestrzenną widowni, zwłaszcza związane z tzw. *czasem ewakuacji,* a także problemy wynikające z uwarunkowań anatomicznych, dotyczących głównie konsekwencji stosowania uśrednionych, nominalnych wartości antropometrycznych, zwłaszcza tzw. *wysokości ocznej.* Praca obejmuje również analizy tradycyjnych metod wykreślania profili widowni i sposoby ich adaptacji do nowych, komputerowych technik graficznych. Autor prezentuje ponadto szereg własnych, rozszerzonych w stosunku do

spotykanych w literaturze przedmiotu objaśnień, jak również opracowaną przez siebie i sprawdzoną w praktyce metodę *najdalszego oka* oraz autorską modyfikację *Metody Daniluka.* Ważnym efektem pracy jest ponadto weryfikacja terminologii stosowanej w literaturze przedmiotu. Brak określonych pojęć wymagał niejednokrotnie od autora opracowania własnych ich definicji i wprowadzenia nowego nazewnictwa. Dla jednoznaczności wywodu zostały one zebrane i usystematyzowane w formie słownika stosowanych terminów, liczącego blisko 70 haseł. Łącznie w pracy przedstawiono 27 analiz, 21 metod projektowych i 9 niekonwencjonalnych rozwiązań projektowych, które stanowią oryginalne opracowania autora. Większość z nich powstała z potrzeb praktycznych, jako zaplecze warsztatu projektowego i dydaktycznego.

Obserwowany dziś dynamiczny rozwój nowożytnych odpowiedników wielkich starożytnych obiektów widowiskowych, takich jak rzymskie *Koloseum* jest wynikiem, trwającego od około stu lat, ewolucyjnego procesu wykształcania się nowej architektonicznej formuły tego rodzaju współczesnych budowli. Tworzący je projektanci koncentrują się głównie na spektakularnych konstrukcjach zadaszeń i obudów zewnętrznych. W dziedzinie poprawy parametrów widoczności we wnętrzu stadionu trudno jednak zauważyć, dorównujący powyższym, postęp w stosunku do zasad i standardów ustalonych przed ponad pół wiekiem.

Przedstawione w pracy badania dotyczące historycznych aspektów i uwarunkowań rozwoju architektonicznej formy współczesnego stadionu, jak również analizy cech funkcjonalnych jego najnowszych przedstawicieli, pozwoliły na sformułowanie ważnego wniosku ogólnego, zawartego w podsumowaniu dysertacji. Jest nim mianowicie twierdzenie, że wielkość i kształt pola gry, które jest równocześnie polem obserwacji, powstały wyłącznie w wyniku określenia reguł gry, w zupełnym oderwaniu od uwarunkowań percepcji wzrokowej potencjalnych rzesz obserwatorów. Przy tworzeniu tych reguł, ponad sto lat temu, nie brano pod uwagę widowiskowego aspektu akcji toczącej się na boisku, ani potrzeby współistnienia boiska i wielkich trybun widowni, wypełnionych dziesiątkami tysięcy widzów.

Przemiany kształtu i wielkości areny zakończyły się w latach trzydziestych XX wieku, a dalsza ewolucja formy stadionu dotyczyła już tylko samej widowni i innych elementów tego typu budowli. Konsekwencją tych faktów jest istniejący do dziś konflikt pomiędzy kształtem prostokątnego boiska i najkorzystniejszym z uwagi na warunki widoczności, kołowym lub owalnym kształtem widowni. Równie ważnym skutkiem tego stanu rzeczy jest drastycznie niski, bo bliski granicy możliwości percepcji oka ludzkiego, akceptowany jednak z konieczności przez normy, standard zasięgu widoczności.

Stwierdzenia powyższe uzasadniają jeden z najważniejszych postulatów dotyczących przyszłościowych kierunków rozwoju wnętrza współczesnego stadionu. Zdaniem autora wnętrze to tworzone być powinno przez nowe relacje widowni i areny. W relacjach tych priorytetem muszą być standardy widoczności, ściśle dostosowane do anatomicznych cech percepcji wzrokowej człowieka, a wielkość i kształt areny winny być pochodne od tych standardów.

Autor

Katowice, grudzień 2018 r.

PREFACE

SPECTATOR STANDS OF CONTEMPORARY STADIUMS
Determinants and Design Problems

This electronic edition of the book is a resumption of its exhausted edition from the year 2009. It does not differ in layout and substantive scope from the first edition, because - despite the passage of nine years - content contained in that edition is still valid. During that time, admittedly, several large football stadiums were created in Poland and the last stage of reconstruction of the multi-purpose *Silesian Stadium* was completed, and on the global scale a large number of new stadiums of similar rank and size were built. However, these implementations did not bring significant progress in the field of a stadium stands designing.

A separate commentary is required concerning the further stages of the modernization of The *Silesian Stadium*, covering the years after the date of the first edition of the book. The history of transformations of this object described in it ends in 2008. Eliminating the legendary *The Witches' Cauldron* from participation in the *EURO 2012* European Football Championships contributed to changing the attitude of the voivodship self-government authorities to the strategic goals and ranges of subsequent stages of reconstruction. It was decided then to dismantle the upper western stands, replace it with a balcony stands, change the concept of stadium roofing, adapt the arena to athletic and football functions, equip the spectator zone with stationary sanitary facilities, and raise the standard of use of the rooms under the existing eastern grandstand. In terms of designing, these tasks were entrusted to the German company *GMP Architekten.* The implementation of this stage of modernization lasted nearly ten years. The rebuilt *Silesian Stadium* with a fully roofed stands and external zones for spectators have been opened to the public in October 2017. In its new form, it is today the only in Poland, representative, modern athletic arena with the capacity of 55 thousands seats that meet the world standards required for the organization of prestigious, top-ranking international competitions in this field of sport.

The present book summarizes many years of the author's practical experience in design and construction of a large spectator stands, including stands of one of the largest functioning in Poland venues which is *Silesian Stadium*. It is a collection of own studies and research, accompanying the design and investment process of the multi-stage reconstruction of this facility in the years 1994 - 2007. In this project the author has executed functions of the general designer. The fundamental part of the dissertation can be seen as a continuation and development of concepts relating to the design theory of large stadium stands published by one of the co-designers of the original construction of *Silesian Stadium* (1956), architect Julian Brzuchowski. His publications – the last of them released in 1982 – have been so far the only commonly available native Polish source of information in this field.

The principal interest of this study lies in the issues related to the determinants of visual perception. The scope of the topic is supplemented by research on relations between the profile of stands and the profile of stairs, as well as relations between the spectator stands and the arena in terms of their size and shape. Moreover, the study also discusses determinants influencing spatial/functional organization of the stands, especially those related directly to the so-called *evacuation time*, and scrutinizes problems resulting

from anatomical conditioning, relating mostly to the usage of averaged, nominal anthropometric values, particularly the so-called *eye height*. Furthermore, within the scope of this study are also analyses of traditional methods of defining stand profiles, together with suggested ways of their adaptation for modern, computer graphic techniques. The author provides several own, extended – in comparison to those commonly encountered in the literature on the subject – commentaries, and presents self-devised, practically tested t*he furthest eye* method along with his own modification of *Daniluk's Method*. Another notable achievement of the present study is verification of terminology commonly used in the literature. In several cases, lack of specific notions compelled the author to work out his own definitions and to introduce new terminology. For the sake of clarity, these terms were compiled in a glossary containing nearly 70 relevant entries. On the whole, the dissertation contains 27 analyses, 21 design methods, and 9 unconventional design solutions, all of which are the author's original propositions. Most of them originated as a response to actual needs, as a aid or assistance in development of design techniques or in teaching.

The dynamic development of modern equivalents of a great ancient spectacular objects such as the *Roman Coliseum* observed today is the result of the evolutionary process of developing new architectural forms of this type of contemporary buildings, which has been going on for about a hundred years. The designers who create them focus mainly on spectacular constructions of roofs and external enclosures. In the field of improving the visibility parameters in the stadium interior, however, it is difficult to notice, as compared to the above, progress in relation to the rules and standards set before half a century.

The research undertaken on the subject of historical aspects and determinants of the development of the architectural form of the modern stadium, as well as the analysis of functional features of its latest representatives, allowed to formulate an important general conclusion in the summary of the dissertation. In fact, the conclusion may be expressed as a statement that the size and shape of the field of game, which at the same time is the field of observation, is established solely as a derivative of the game rules, with no regard to the factors conditioning visual comfort of the gathered crowds. These game rules, having been invented over one hundred years ago, did not account for the entertaining character of the playing field action, nor for the need of co-existence of the playing field and huge grandstands filled with tens of thousands of fans.

Alterations in shape and size of the arena finished in the thirties of the 20th century, and all subsequent evolution of the form of the stadium related only to spectator stands and other construction elements. As a result, the conflict between the rectangular shape of the field and the oval or circular shape of the stands still lingers. No less important implication of this situation is the prevailing drastically low visibility standard, which approaches the human eye perception limits, but nevertheless is tolerated by norms out of necessity

The above statements justify one of the most important postulate regarding the future directions of the interior development of the modern stadium. According to the author, this interior should be created by new relations between the audience stands and the arena space. In these relations, the visibility standards must be prioritized, strictly adapted to the anatomical features of the visual perception of a human being, and the size and shape of the arena should be derived from these standards.

Author

Katowice, December 2018

SPIS TREŚCI

WPROWADZENIE 7

Rozdział 1
PODSTAWY TEORETYCZNE – DEFINICJE I POJĘCIA PODSTAWOWE 14
1.1. Geneza form widowni współczesnych stadionów 14
1.2. Definicja współczesnego stadionu 34
1.3. Charakterystyka aparatu wzrokowego człowieka 69
1.3.1. Oko 70
1.3.2. Pole widzenia 72
1.3.3. Widzenie przestrzenne 77
1.3.4. Zakres widzenia 79
1.3.5. Rozdzielczość 80
1.4. Istotne parametry antropometryczne 82
1.5. Wielkość i kształt areny 87
1.6. Zasięg widzenia 89
1.7. Rodzaje widowni 93

Rozdział 2
ZAGADNIENIA WYNIKAJĄCE Z UWARUNKOWAŃ
PERCEPCJI WZROKOWEJ 97
2.1. Przewyższenie linii widzenia – główne parametry antropometryczne
i geometryczne kształtujące profil widowni..... 97
2.2. Pionowy kąt widzenia 106
2.2.1. Ostrosłup widzenia 110
2.2.2. Izolinie pionowego kąta widzenia pola boiska 112
2.2.3. Nachylenie dwusiecznej pionowego kąta widzenia pola boiska 113
2.2.4. Relatywna wysokość obrazu 116
2.2.5. Wykresy charakterystyk pionowego profilu widowni 118
2.3. Poziomy kąt widzenia 121
2.4. Wykreślne metody projektowania profilu widowni 130
2.4.1. Prostoliniowy profil widowni 130
2.4.1.1. Wykreślna metoda modelowania prostoliniowego
profilu widowni (*metoda najdalszego oka*) 134
2.4.1.2. Determinanty nachylenia profilu 137
2.4.1.3. Zależność nachylenia profilu od odległości najdalszego oka 138
2.4.1.4. Profil prostoliniowy łamany 138
2.4.2. Krzywoliniowy profil widowni 142
2.4.2.1. Determinanta głębokości rzędu 146
2.4.2.2. Determinanta przewyższenia linii widzenia fokusu (Cx) 147
2.4.2.3. Determinanta wysokości pierwszego rzędu 148
2.4.2.4. Determinanta odległości fokusu 149
2.4.3. Metoda Daniluka 149
2.5. Graniczne położenie linii ocznej najdalszego rzędu 152
2.6. Anatomiczne pole widzenia a pole obserwacji 154
2.7. Rzeczywiste płaszczyzny widzenia a nominalny profil widowni 159
2.8. Linie fokusów – wyznaczanie krytycznego pola widowni
w rejonie narożnika boiska 160
2.9. Uniwersalny profil widowni 165

Rozdział 3
RELACJE POMIĘDZY PROFILEM WIDOWNI
I PROFILEM SCHODÓW POŁUDNIKOWYCH 173
3.1. Teoretyczne podstawy projektowania schodów 175
3.2. Profil widowni pochodny od profilu schodów normalnych 179
3.3. Model podniesionego profilu widowni 180
3.4. Wzornik nachyleń profili widowni pochodnych od profili schodów normalnych 184
3.5. Nachylenie widowni – determinanty psychofizyczne 190

Rozdział 4
CZAS EWAKUACJI I JEGO WPŁYW NA UKŁAD
I PARAMETRY DRÓG KOMUNIKACYJNYCH 197
4.1. Czas ewakuacji 197
4.2. Przepustowość przejścia ewakuacyjnego 198
4.3. Przepustowość układu ewakuacyjnego 198
4.4. Ewakuacyjny moduł pojemności widowni 203
4.5. Zależność pomiędzy powierzchnią widowni
i powierzchnią komunikacyjno-ewakuacyjną 204
4.6. Modele sektora widowni 204
4.7. Wskaźnik powierzchni komunikacyjno-ewakuacyjnej 207
4.8. Kształtowanie geometrii sektora 207

Rozdział 5
NIEKONWENCJONALNE ROZWIĄZANIA PROJEKTOWE 212
5.1. Trybuny o podwyższonym standardzie komfortu i stromych nachyleniach 212
5.2. Womitoria równoleżnikowe 214
5.3. Równoleżnikowy układ konstrukcji wsporczej widowni 222
5.4. Zastosowanie siedzisk wysokich – wypukły profil widowni typu *talerz* 225
5.5. Widownia rozetowa 227
5.6. Schody o biegach ukośnych – widownie prostoliniowe
o cechach widowni łukowych 229
5.7. Widownia na planie koła 238

ZAKOŃCZENIE 244
Uwagi końcowe 244
Podsumowanie, wnioski i postulaty 246

PODZIĘKOWANIE 259

WYKAZ ŹRÓDEŁ I LITERATURY 261

Słownik stosowanych terminów 268

Słownik skrótów 286

Zbiorczy wykaz podstawowych oznaczeń i symboli oraz ich objaśnień 287

Wykaz analiz, metod i niekonwencjonalnych propozycji projektowych
stanowiących oryginalne opracowania autora 298

Spis rysunków i wykaz ich źródeł 301

Spis fotografii i wykaz ich źródeł 307

Indeks nazw wymienionych stadionów i nazwisk ich projektantów 311

TABLE OF CONTENTS

INTRODUCTION 7

Chapter 1
THEORETICAL FOUNDATIONS - DEFINITIONS AND BASIC CONCEPTS 14
1.1. Genesis of the stands forms of a contemporary stadiums 14
1.2. Definition of the modern stadium 34
1.3. Characteristics of the human eye apparatus 69
1.3.1. Eye 70
1.3.2. Field of view 72
1.3.3. Spatial vision 77
1.3.4. Range of vision 79
1.4. Significant anthropometric parameters 82
1.5. The size and shape of the arena 87
1.6. The extent of human eyesight 89
1.7. Types of stands arrangements 93

Chapter 2
ISSUES ARISING FROM CONDITIONS OF THE VISUAL PERCEPTION 97
2.1. An elevation of the lowest vision line of the focus point - the main anthropometric and geometric parameters shaping the stand profile 97
2.2. Vertical viewing angle 106
2.2.1. Pyramid of vision 110
2.2.2. The isolines of vertical viewing angles of playing field 112
2.2.3. The slope of bisectrix of vertical viewing angle of playing field 113
2.2.4. The relative image height 116
2.2.5. The graphs of characteristics of a vertical profiles of spectator stands 118
2.3. Horizontal viewing angle 121
2.4. Graphical methods of the spectator stands profiles design 130
2.4.1. Rectilinear profile of the spectator stand 130
2.4.1.1. Graphical method of modelling a rectilinear profile of the spectator stand (the method of the furthest eye point) 134
2.4.1.2. Determinants of profile inclination 137
2.4.1.3. Dependence of the profile inclination on the distance of the furthest eye point 138
2.4.1.4. A polygonal rectilinear profile 138
2.4.2. Curve line profile of the spectator stand 142
2.4.2.1. Determinant of the depth of seat row 146
2.4.2.2. Determinant of an elevation of the vision line of focus point (Cx) 147
2.4.2.3. Determinant of first row heights 148
2.4.2.4. Determinant of focus point distance 149
2.4.3. The Daniluk's method 149
2.5. The borderline position of the outermost line of the eye points 152
2.6. Anatomical field of view and field of observation 154
2.7. Actual planes of vision lines and the nominal profile of the stand 159
2.8. Focus lines - determining the critical field of spectator seats in the area of the corner of the pitch 160
2.9. Universal profile of the audience stands 165

Chapter 3
THE RELATIONS BETWEEN PROFILES OF THE STANDS
AND PROFILES OF THE MERIDIAN STAIRS 173
3.1. Theoretical foundations of stairs designing..... 175
3.2. The profile of the stand derived from the profile of meridian stairs..... 179
3.3. Model of the raised profile of the stand..... 180
3.4. The template of an inclinations of the stand profiles derived from the profiles of meridian stairs..... 184
3.5. Inclination of the stand - psychophysical determinants 190

Chapter 4
TIME OF EVACUATION AND ITS EFFECT ON THE SYSTEM
AND PARAMETERS OF COMMUNICATION ROADS..... 197
4.1. Time of evacuation 197
4.2. Evacuation passage bandwidth 198
4.3. Evacuation system bandwidth 198
4.4. Evacuation module of the spectator zone capacity 203
4.5. Relation between the surface of the rows with seats and the surface of communication and evacuation..... 204
4.6. Models of sector arrangement in the spectator zone 204
4.7. Indicator of communication and evacuation surface..... 207
4.8. Shaping the geometry of the sector 207

Chapter 5
UNCONVENTIONAL DESIGN SOLUTIONS 212
5.1. The stands of a higher standard of comfort and steep slopes 212
5.2. Latitudinal vomitories 214
5.3. The latitudinal system of the supporting structure of the stands 222
5.4. The use of high seats - a convex profile of the plate type 225
5.5. The stands in the rosette arrangement 227
5.6. The stairs with diagonal runs - rectilinear rows of seats with visibility parameters similar to the arched rows 229
5.7. The spectator zone on the plan of the circle..... 238

CONCLUSIONS 244
Final remarks 244
Summary, conclusions and postulates 246

ACKNOWLEDGEMENTS..... 259

LIST OF SOURCES AND LITERATURE 261

Dictionary of used terms..... 268

Dictionary of abbreviations 286

Summary list of basic symbols and their explanations 287

List of analyses, methods and unconventional design proposals constituting author's original research achievements..... 299

List of drawings and their sources 302

List of photographs and their sources 310

Index of listed stadiums and their designers..... 316

Prawie wszystkie urządzenia, które służą, do oglądania widowisk, są podobne do pola bitwy, gdzie stawione z dwóch stron w ordynku wojsko ma walczyć wręcz. Urządzenia te składają się po pierwsze ze środkowego obszaru, na którym występują zabawiający, zapaśnicy, zaprzęgi lub tym podobne, oraz z umieszczonych dokoła stopni, na których siedzą widzowie. (...)

Wszystkie te urządzenia pochodzą od teatru, albowiem cyrk nie jest niczym innym jak teatrem, którego końce są wyciągnięte wzdłuż, a boki stanowią dwie linie równoległe, lecz z natury swojej nie ma on portyku, a amfiteatr składa się z dwóch teatrów złączonych końcami stopni do siedzenia w obwód ciągły; różnią się one miedzy sobą tym, że teatr jest jakby połową amfiteatru, i tym jeszcze, że w amfiteatrze obszar środkowy jest wolny od podium dla aktorów, ale w innych rzeczach, szczególnie w tym, co dotyczy stopni, galerii, wejść i tym podobnych, są do siebie bardzo zbliżone.

Leon Battista Alberti,
Ksiąg dziesięć o sztuce budowania (1452)

WPROWADZENIE

Po blisko dwóch tysiącach lat od czasów funkcjonowania wielkich starożytnych obiektów widowiskowych, takich jak rzymskie *Koloseum*, obserwujemy dziś dynamiczny rozwój ich nowożytnych odpowiedników. Jest to niewątpliwie jeden z fenomenów architektury przełomu XX i XXI wieku. Wiele wskazuje na to, że po około stu latach architektonicznej ewolucji nowożytnego stadionu, dochodzimy właśnie do punktu, w którym następuje krystalizacja jego symbolicznej, funkcjonalnej i technicznej postaci.

Ogólne przesłanki podjęcia tematu

Stan w dziedzinie projektowania i realizacji stadionów w Polsce daleko odbiega od europejskich i światowych standartów. Szczególnie drastycznie widać to w kontekście wymogów UEFA, którym trzeba sprostać w związku z przyznaniem Polsce i Ukrainie prawa do organizacji Mistrzostw Europy w Piłce Nożnej – EURO 2012. Większość polskich stadionów powstała w latach pięćdziesiątych i sześćdziesiątych ubiegłego wieku, i w związku z powszechnie wówczas stosowaną konstrukcją tzw. *trybun ziemnych* już po 20-25 latach eksploatacji wymagała poważnych remontów. Podobny los spotkał dwa największe nasze stadiony, tj. *Stadion Śląski* w Chorzowie i *Stadion X-lecia* w Warszawie. Pierwszy – podlega od roku 1994 gruntownej modernizacji, która jest właściwie równoznaczna budowie nowego stadionu[1], drugi – jest obecnie rozbierany, by w jego miejscu mógł powstać nowy obiekt. Kilkudziesięcioletni okres stagnacji w budownictwie dużych i średnich stadionów spowodował swego rodzaju lukę cywilizacyjną. Wielu architektów, specjalistów w dziedzinie projektowania wielkich widowni z tamtych lat, dawno odeszło z czynnej aktywności zawodowej, zabierając ze sobą wiedzę i doświadczenie praktyczne. Wielu z nich już nie żyje. Wyjątkiem jest tu Wojciech Zabłocki – znany architekt i medalista olimpijski, który wygrał międzynarodowy konkurs na Ośrodek Olimpijski w Latakii na terenie Syrii, a następnie, jako główny projektant prowadził prace projektowe i nadzory autorskie nad ich realizacją (1983-1987). Centralnym elementem tego założenia jest wielofunkcyjny stadion z widownią o pojemności 44 tys.miejsc.

Raport Taylora, opublikowany w roku 1990 po serii katastrof stadionowych na Wyspach Brytyjskich, zapoczątkował gwałtowne przemiany w dziedzinie projektowania stadionów[2]. Nowe, obligatoryjne zasady kształtowania wielkich widowni są dowodem znacznego postępu w zakresie zapewnienia komfortu i bezpieczeństwa widzów. Skutkiem ubocznym tych regulacji stał się jednak drastyczny spadek pojemności widowni. Studia nad najnowszymi projektami i realizacjami wielkich stadionów wykazują, że widownie współczesnych stadionów, mimo uwzględnienia nowych przepisów bezpieczeństwa, tworzy się nadal w sposób zbliżony do tradycyjnego. Główną uwagę projektantów stadionów zajmują spektakularne konstrukcje zadaszeń i obudowy zewnętrznej. Nieprzekraczalny, anatomiczny limit tzw. *odległości dobrego widzenia*, w połączeniu z tendencją do osiągania jak największych pojemności widowni powodują, że powszechnie stosuje się minimalne, aczkolwiek zgodne z przepisami, parametry jakości użytkowych.

[1] Autor niniejszej dysertacji ma tutaj swój własny istotny udział, jako generalny projektant modernizacji i równocześnie autor wszystkich składowych projektów architektoniczno-budowlanych tworzących podstawową część dokumentacji technicznej przedsięwzięcia inwestycyjnego.

[2] Szerzej na ten temat autor pisze w dalszej części tekstu (Rozdz.1, p.1.2., Stadiony IV generacji).

Praktyczne podstawy pracy

Praca niniejsza opiera się na wieloletnich, praktycznych doświadczeniach autora w dziedzinie projektowania i realizacji wielkich widowni, w tym największej funkcjonującej dziś w Polsce widowni *Stadionu Śląskiego.* Jest podsumowaniem własnych studiów i badań, towarzyszących procesowi projektowo-inwestycyjnemu etapowej przebudowy tego obiektu, trwającej nieprzerwanie od 1994 roku. Część analiz wynika z potrzeb rozwiązywania konkretnych problemów projektowych w trakcie powstawania dokumentacji realizacyjnej, a część z konieczności sprawdzania i potwierdzania słuszności założeń w celu przekonania inwestora co do trafności podejmowanych decyzji. Powodem podjęcia niektórych opracowań była potrzeba stworzenia własnego, efektywnego *warsztatu projektowego,* łatwego do przyswojenia przez członków zespołu projektowego. Niektóre opracowania studialne powstały z potrzeby pełnego zrozumienia podawanych w literaturze przedmiotu zasad i metod, co do których nie było wystarczającego komentarza i wyjaśnień, a niektóre wynikały z działalności dydaktycznej autora. Są również takie, które powstały w efekcie pracy naukowej, między innymi w ramach tematu badawczego dotyczącego optymalizacji parametrów wielkich widowni.

Zakres problemowy pracy

Praca jest zbiorem studiów i analiz autora na temat kluczowych zagadnień z dziedziny projektowania wielkich widowni. Główny nurt badań dotyczy zagadnień wynikających z uwarunkowań percepcji wzrokowej. Uzupełniają go ponadto badania nad relacjami zachodzącymi pomiędzy profilem widowni i profilem schodów oraz relacjami pomiędzy widownią i areną w zakresie ich wielkości i kształtu. Kolejnymi problemami podjętymi w pracy są determinanty kształtujące organizację funkcjonalno-przestrzenną widowni, zwłaszcza związane z tzw. *czasem ewakuacji*[3], a także problemy wynikające z uwarunkowań anatomicznych, dotyczących głównie konsekwencji stosowania uśrednionych, nominalnych wartości antropometrycznych, zwłaszcza tzw. *wysokości ocznej* [4].

Jednym z czynników decydujących o jakości widzenia jest odległość widza od obserwowanego obiektu. Odległość ta zależy od głębokości i wysokości widowni oraz od wielkości areny. Wielkość i kształt areny wynika z kolei z rodzaju funkcji, dla których jest przeznaczona. Analizy wielkości i kształtu pól gry, jak również wielkości piłki oraz reguł poszczególnych dyscyplin sportowych wykazują, że przy ustanawianiu tych wielkości i kształtu w żadnym stopniu nie uwzględniano anatomicznych uwarunkowań percepcji wzrokowej zasiadających masowo na widowni obserwatorów – aktywnych współuczestników spektaklu sportowo-widowiskowego. Widać to wyraźnie, gdy się śledzi historię rozwoju nowożytnych dyscyplin olimpijskich.

Pierwsze areny z początku XX wieku były wielkimi polami mieszczącymi oprócz boisk piłkarskich, bieżnie lekkoatletyczne, tory kolarskie i tory pływackie. Niewiele się w tej dziedzinie zmieniło. Standard tzw. *dobrej widoczności,* określony powszechnie akceptowalnym, minimalnym kątem widzenia, równym 0°4′, który np. dla piłki nożnej uzyskuje się z odległości 190m, powoduje, że areny współczesnych stadionów mogą być nadal bardzo rozległe. Forma i wielkość obudowującej ją widowni oraz parametry widoczności są bezpośrednią konsekwencją tego faktu.

Warto w tym miejscu przypomnieć, że czynnikiem regulującym kształt i wielkość sceny i widowni w teatrach antycznych, oprócz widoczności, były uwarunkowania natury akustycznej. Te same

[3] Patrz Rozdział 4, p. 4.1 niniejszej pracy.
[4] Patrz Rozdział 1, p. 1.4 oraz Rozdział 2 p. 2.9 niniejszej pracy.

Fot. 0-1. Jedna ze stu fotografii z lat 1900-40 z niemieckiej ekspozycji *Fascynacja futbolem* zorganizowanej w ramach promocji przed Mundialem 2006. Zdjęcie przedstawia jeden z najgłośniejszych meczów tamtej epoki *Hamburger SV – 1FC Nürenberg*, który zgromadził w listopadzie 1922 roku 50 tys. widzów. *Foto: reprodukcja – za B.T. Wileński, Kadra poetów na mundial, Gazeta Wyborcza,26 maj 2006 r.*

Fot. 0-2. *Commerzbank Arena*, Frankfurt – fragment widowni podczas meczu Bundesligi (2006). Przykład relacji przestrzennych pomiędzy widzami na trybunach współczesnego stadionu zaprojektowanego zgodnie z obowiązującymi przepisami. Każdy widz zajmuje indywidualne, numerowane siedzisko z oparciem, a na trybunach o wyższym standardzie – dodatkowo z podłokietnikami. Głębokość każdego rzędu wynosi zazwyczaj 85cm. Moduł szerokości pojedynczego miejsca ma wymiar 50-60cm. *Foto: autor.*

Fot. 0-3. *Stadion Śląski* w Chorzowie –moment rytualnego odśpiewywania hymnu państwowego przez kibiców polskiej drużyny narodowej przed jednym z międzypaństwowych meczów. Z uwagi na nadzwyczajne efekty akustyczne, powstające we wnętrzu misy widowni, stadion zyskał przydomek *kotła czarownic*. Od kwietnia 1997 roku na zmodernizowanym stadionie przeprowadzono dwadzieścia meczów najwyższej rangi międzynarodowej. *Foto: archiwum WOKiS – Stadion Śląski.*

Fot. 0-4. Arena *Stadionu Śląskiego* podczas jednego z wielu koncertów muzyki rockowej. Zdjęcie przedstawia strefę dla publiczności położoną najbliżej sceny, gdzie zagęszczenie fanów przekracza miejscami 8 osób na 1m². Współczesne stadiony oprócz funkcji sportowych pełnią rolę wielkich amfiteatrów muzycznych gromadzących 50-100 tysięczne rzesze słuchaczy. *Foto: autor.*

zależności decydowały o kształcie, wielkości i proporcjach aren i widowni w amfiteatrach rzymskich. Były one w związku z tym znacznie mniejsze niż obecnie, co zapewniało odpowiednio dobrą widoczność obiektów na arenie, ale też silniejszą wizualną interakcję widzów z przeciwległych trybun. Dla przykładu, arena *Koloseum* była owalem o kształcie zbliżonym do elipsy, którego oś długa wynosiła 76m, a oś krótka zaledwie 47m, przy czym głębokość pięćdziesięciotysięcznej widowni wynosiła aż 54m. Dla porównania, wymiary prostokątnej, normatywnej areny współczesnego stadionu piłkarskiego nie mogą być mniejsze niż 130m×90m.

Wydaje się, że kolejnym etapem ewolucji współczesnych stadionów będzie taka formuła funkcjonalno-przestrzenna, która odwróci dzisiejsze priorytety w relacjach widownia – arena oraz w której standardy widoczności będą nadrzędne, a wielkość i kształt areny będą pochodnymi od nich. Wymagać to będzie zmian reguł znanych dziś gier zespołowych i zasad określających poszczególne dyscypliny sportowe. Przykładem takich właśnie przemian jest obserwowany od kilku lat rozwój tzw. plażowej piłki nożnej (*Beach Soccer).* Realność spełnienia tej hipotezy potwierdzają też zmiany, jakie dokonały się w sporcie w efekcie jego komercjalizacji, rozwoju telewizji, sztucznego oświetlania i zadaszania aren, czy też wprowadzenia sztucznej murawy.

Widownia i jej relacje z areną zajmują najwyższe i nadrzędne miejsce w hierarchii wszystkich zagadnień mających wpływ na architekturę stadionu. Jej forma architektoniczna powstaje w wyniku racjonalnego rozmieszczenia kilkudziesięciu tysięcy widzów w przestrzeni w taki sposób, by każdy z nich miał zapewnione niezakłócone pole widzenia areny, komfortową przestrzeń indywidualnego miejsca oraz bezpieczne warunki komunikacji i ewakuacji. Projektowanie widowni zdeterminowane jest przede wszystkim względami widoczności areny i toczącej się na niej akcji. W związku z tym zasadniczy i nadrzędny wpływ na kształtowanie trybun mają zagadnienia z dziedziny percepcji wzrokowej człowieka. Zagadnieniom tym poświęcono znaczną część pracy.

Do czasu rozpowszechnienia komputerowych technik graficznych podstawowym narzędziem definiowania profili widowni były metody obliczeniowe, gdyż tylko one dawały wymaganą dokładność precyzyjnego wymiarowania. Metody wykreślne, znane od lat trzydziestych dwudziestego wieku, z uwagi na tradycyjne sposoby kreślarskie, okazywały się niewystarczająco dokładne dla celów wykonawczych i stosowano je jedynie pomocniczo. Dlatego też powszechne było przekonanie o przewadze metod obliczeniowych nad graficznymi. Dziś twierdzenia te utraciły aktualność, a jednym z celów niniejszej pracy jest wykazanie prawdziwości tej tezy. Komputerowe techniki graficzne, takie jak np. program *AutoCAD,* stały się bowiem podstawowym narzędziem projektanta widowni. Pozwalają one wykreślać profile trybun z nieograniczoną dokładnością, umożliwiając precyzyjne mierzenie i wymiarowanie – zarówno w dwu, jak i w trójwymiarowej przestrzeni.

Przedstawione w pracy wykreślne metody projektowania widowni wykorzystują podstawowe, optyczne i kinetyczne zasady działania aparatu wzrokowego. Opierają się one na elementarnych prawach *optyki geometrycznej*, która operuje m.in. takimi pojęciami, jak: *promień świetlny* i *prostoliniowe rozchodzenie się światła*. Ich podstawę stanowią analizy tzw. *obrazu siatkówkowego* i tzw. *centralnej linii widzenia*, które tworzą zasadnicze elementy układu optycznego oka. Odzwierciedleniem *centralnej linii widzenia* jest linia prosta przebiegająca w trójwymiarowej przestrzeni. Dzięki temu do badań skomplikowanych relacji pomiędzy obrazem siatkówkowym we wnętrzu oka a rzeczywistym obrazem obiektów w przestrzeni wykorzystywać można elementarne graficzne konstrukcje geometryczne. Założenia te są pod wielo-

ma względami zbieżne z podstawami powszechnie znanych metod wykreślania perspektywy linearnej.

Praca obejmuje również analizy tradycyjnych metod wykreślania profili widowni i sposoby ich adaptacji do nowych, komputerowych technik graficznych. Autor prezentuje ponadto szereg własnych, rozszerzonych w stosunku do spotykanych w literaturze przedmiotu objaśnień, jak również opracowaną przez siebie i sprawdzoną w praktyce metodę *najdalszego oka* oraz autorską modyfikację *Metody Daniluka*.

Stan badań

Pozornie bogata literatura przedmiotu w rzeczywistości powierzchownie traktuje zagadnienia dotyczące relacji widowni i areny w aspekcie jakości parametrów widoczności, ograniczając się do podręcznikowych schematów sięgających podstawowych zasad określonych jeszcze w okresie międzywojennym XX wieku m.in. przez A.M. Daniluka. Prawdopodobnie dzieje się tak dlatego, że tak specjalistyczna wiedza traktowana jest dziś jako element tzw. *know how* i jako taka pilnie strzeżona przez potentatów w dziedzinie projektowania i realizacji wielkich stadionów, takich jak np. firmy projektowe HOK czy LOBB[5].

Ostatnią, poważną pozycją literatury tematu w języku polskim jest, opublikowane ponad ćwierć wieku temu, czwarte wydanie pracy zbiorowej pod redakcją Romualda Wirszyłły pt. *Urządzenia sportowe* z roku 1982. Podobnie jak w trzech poprzednich, wydawanych w latach 1954, 1959 i 1966, znajduje się w niej rozdział najbardziej istotny dla zakresu niniejszej dysertacji, dotyczący teorii projektowania widowni, autorstwa Juliana Brzuchowskiego. W okresie powojennym była ta praca podstawowym, rodzimym źródłem wiedzy z tej dziedziny. Mało znanym w Europie (poza Hiszpanią) jest meksykański architekt Luis Alvarado Escalante, współtwórca wyprzedzającego swoją epokę Stadionu *Azteca* (1966) w Meksyku, który opracował własną teorię projektowania wielkich widowni pn. *Isopticas*. Opisał ją w dwutomowym dziele pt. *Isopticas-tecnica en el proyecto de optima visibilidad para espectadores*, (1971-1973). Książka dostępna jest, niestety, jedynie w języku hiszpańskim, przez co nie ma większego zasięgu oddziaływania, choć na to z pewnością zasługuje.

Ważną, z uwagi na przekrojowy charakter, pozycją bibliograficzną ostatniego okresu jest praca *Stadia-A Design and Development Guide,* której autorami są Geraint John i Rod Sheard (trzy wydania: 1994, 1997, 2000). Obaj autorzy są architektami z wieloletnią praktyką projektowo-realizacyjną, działającymi w firmach HOK i LOBB. Rod Sheard jest autorem lub współautorem kilkunastu zrealizowanych w ostatnich latach projektów prestiżowych stadionów, takich, jak m.in. *Stadion Olimpijski* w Sydney, czy *Nowy Stadion Wembley*.

Istotne odniesienie merytoryczne dla niniejszej dysertacji stanowi Norma Europejska PN-EN 13200-1 pt. *Obiekty widowiskowe,Część 1; Wymagania dotyczące projektowania widowni,* opracowana przez

[5] *HOK* jest największym architektoniczno-inżynierskim biurem projektowym na terenie USA i czwartym pod względem ilości zleceń i wielkości dochodów na Świecie. Nazwa pochodzi od pierwszych liter nazwisk założycieli firmy, którymi byli George Hellmuth, Gyo Obata i George Kassabaum. Powstała ona w roku 1955 w St. Louis. W roku 1983 utworzono w jej ramach jednostkę specjalizującą się w projektowaniu obiektów sportowych *HOK Sport Venue Event*, która objęła swym zasięgiem cały Świat. *HOK Sport* zrealizował dotychczas dziesiątki stadionów i hal sportowo-widowiskowych dla wszystkich rodzajów sportów na wszystkich kontynentach. *LOBB* była firmą brytyjską z siedzibą w Londynie, która podobnie jak *HOK* specjalizowała się w projektowaniu obiektów sportowo-widowiskowych. Obie firmy łączy nazwisko architekta Roda Shearda, który od roku 1993 pełnił funkcję dyrektora *LOBB,* a w roku 1998 doprowadził do połączenia tej firmy z *HOK*. Do najbardziej znanych autorskich realizacji Shearda należy *Stadion Olimpijski* w Sydney, *Millenium Stadium* w Cardiff i nowy *Stadion Wembley* w Londynie.

Europejski Komitet Normalizacyjny w roku 2003. Normę tę przyjęła dotychczas większość krajów europejskich, w tym Polska (2005 r.).

Pracą najnowszą, opartą m.in. na analizach stadionów wybudowanych dla potrzeb Mistrzostw Świata w Piłce Nożnej przeprowadzonych w Niemczech w roku 2006 oraz doświadczeniach architektów je projektujących, jest książka Stefana Nixdorfa *Stadium ATLAS; Technical Recommendations for Grandstands in Modern Stadia*[6]. Ma ona charakter wademekum zawierającego kompendium wiedzy na temat projektowania współczesnych stadionów. Zaletą jej jest wszechstronność, polegająca na usystematyzowanym i wyczerpującym przedstawieniu wszystkich czynników mających wpływ na postać współczesnego stadionu – co ważne, z odniesieniem do przepisów i zaleceń organizacji odpowiedzialnych za poszczególne dyscypliny sportu oraz odniesieniem do norm europejskich, a także niemieckich.

Układ pracy i stosowana terminologia

Charakter niniejszej dysertacji i jej merytoryczny zakres wymagał przyjęcia adekwatnej metody prezentacji wywodu opartego na przekazie graficznym w postaci plansz rysunkowych i fotograficznych. Rysunki mają często znaczenie nadrzędne w stosunku do tekstu, który stanowi ich uzupełnienie. Każda plansza zawiera własną legendę i opis, co umożliwia jej zrozumienie bez potrzeby wgłębiania się w część tekstową. Zdecydowana większość to oryginalne, autorskie rysunki opracowane jako wyniki podjętych w pracy własnych badań. Niektóre z nich są w trakcie przygotowań do objęcia ich procedurą ochrony patentowej.

Jednym z problemów towarzyszących badaniom była konieczność uporządkowania i weryfikacji terminologii stosowanej w literaturze przedmiotu. W wielu przypadkach, wobec braku odpowiednich pojęć, autor przyjął własne propozycje ich definicji i nazewnictwa. W celu zapewnienia jednoznaczności rozumienia wywodu, wszystkie stosowane pojęcia opracowano w formie słownika, który zamieszczono na końcu pracy.

[6] W epilogu książki odnaleźć można informację, że znaczna jej część powstała w oparciu o dysertację doktorską autora zatytułowaną: *Sichtlinien und Sicherhei. Tribünenprofile moderner Sport – Veranstaltungsstätten.* (Linie widzenia i bezpieczeństwo. Profile widowni nowoczesnych obiektów sportowo-widowiskowych), obronioną w roku 2006. Promotorem pracy był prof. Volkwin Marg, znany niemiecki architekt, który jest autorem trzech z dwunastu zrealizowanych stadionów w ramach przygotowań do ostatnich Mistrzostw Świata w Piłce Nożnej (FIFA World Cup-Germany 2006). Kolejne trzy stadiony tego autora powstały poza granicami Niemiec (jeden w Chinach i dwa w Republice Południowej Afryki). Prof. Volkwin Marg reprezentuje biuro projektów *GMP- Architekten,* które specjalizuje się m.in. w projektowaniu stadionów. W swym dorobku ma ono ponad trzydzieści poważnych projektów, nagrodzonych w konkursach architektonicznych. Stefan Nixdorf, autor omawianej książki, wymieniany jest jako współautor jednego z tych stadionów tj. *RheinEnergie Football Stadium* w Kolonii (2001).

Rozdział 1
PODSTAWY TEORETYCZNE – DEFINICJE I POJĘCIA PODSTAWOWE

1.1. Geneza form widowni współczesnych stadionów

Każde publiczne widowisko jest formą bezpośredniego przekazu informatyczno-emocjonalnego, *emitowanego* ze sceny i odbieranego wizualnie i akustycznie,w jednakowym czasie, przez rzesze zgromadzone na widowni.

Historia budowli służących widowiskom jest historią kształtowania się funkcjonalnych i przestrzennych relacji pomiędzy dwoma komplementarnymi rodzajami przestrzeni –widownią i sceną. Przestrzenie te powinny być ukształtowane tak by scena – przestrzeń ekspozycji była centrum optycznym i akustycznym widowni. Inaczej mówiąc centralne linie widzenia, a co za tym idzie osie akustycznego pola słyszalności każdego odbiorcy usytuowanego na widowni, powinny skupiać się w centralnym punkcie przestrzeni ekspozycji.

Antyczne budowle widowiskowe

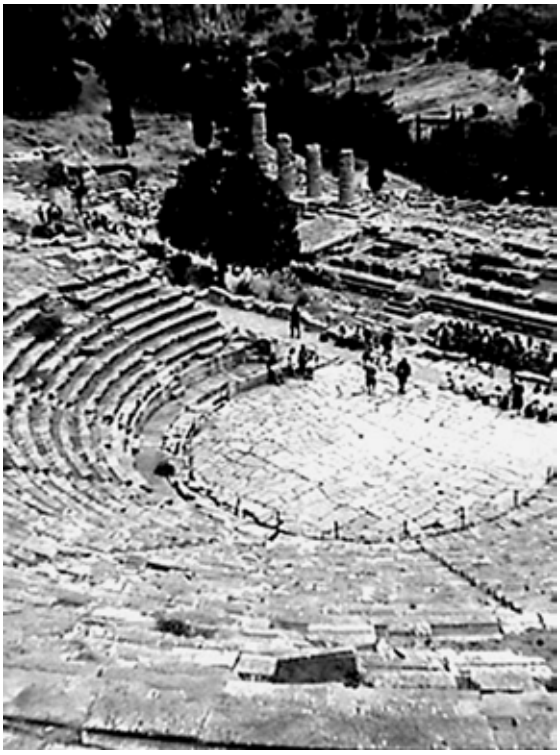
Protoplastą współczesnych stadionów jest antyczny amfiteatr – budowla z centralną areną, otoczoną na całym obwodzie widownią. Amfiteatr jako budowla widowiskowa wykształcił się w starożytności najpóźniej, czerpiąc z doświadczeń dobrze rozwiniętych przed nim form architektonicznych, takich jak teatr, odeon, stadion i cyrk.

Etymologicznie termin *amfiteatr* pochodzi od wyrazu *teatr*. *Teatr,* od greckiego *théatron*, oznacza widownię, zbocze wzgórza w kształcie wycinka koła większego niż półkole, z ławami ustawionymi jedna nad drugą naprzeciw orchestry.[7] Przedrostek *amphi* w złożeniach oznacza: wokół, obustronnie, obu rodzajów. *Amfiteatr*, od greckiego *amphitéatron*, to zatem widownia podwójna, obustronna, bądź widownia okalająca.

Związki architektonicznych form teatru i amfiteatru doskonale oddaje opis Pliniusza Starszego (23-79 r.n.e), historyka i pisarza rzymskiego. Dowiadujemy się od niego, że w roku 52 p.n.e. w Rzymie na Polu Marsowym (*Campus Martius)* Gaius Curius, inwestor i pomysłodawca, zbudował drewniany, osobliwy, mobilny amfiteatr. Budowla składała się z dwóch obrotowych teatrów. Do południa półkoliste widownie odwracane były do siebie plecami i funkcjonowały jako dwa niezależne teatry. W drugiej części dnia widownie ustawiane były w pozycji odwrotnej, w wyniku czego powstawał amfiteatr z areną do walk gladiatorów.

Pięć i pół wieku temu Leon Battista Alberti (1404-1472), architekt, czołowy przedstawiciel Renesansu, analizując budowle antyczne w swym traktacie *Ksiąg dziesięć o sztuce budowania* (1452) napisał: *Prawie wszystkie urządzenia, które służą do oglądania widowisk, są podobne do pola bitwy, gdzie stawione z dwóch stron w ordynku wojsko ma walczyć wręcz. Urządzenia te składają się po pierwsze ze środkowego obszaru, na którym występują zabawiający, zapaśnicy, zaprzęgi lub tym podobne, oraz z umieszczonych dokoła stopni, na których siedzą widzowie. Nie są one wszystkie jednakowe i różnią się między sobą obrysem obszaru; te, które mają kształt starzejącego się księżyca, nazywa-*

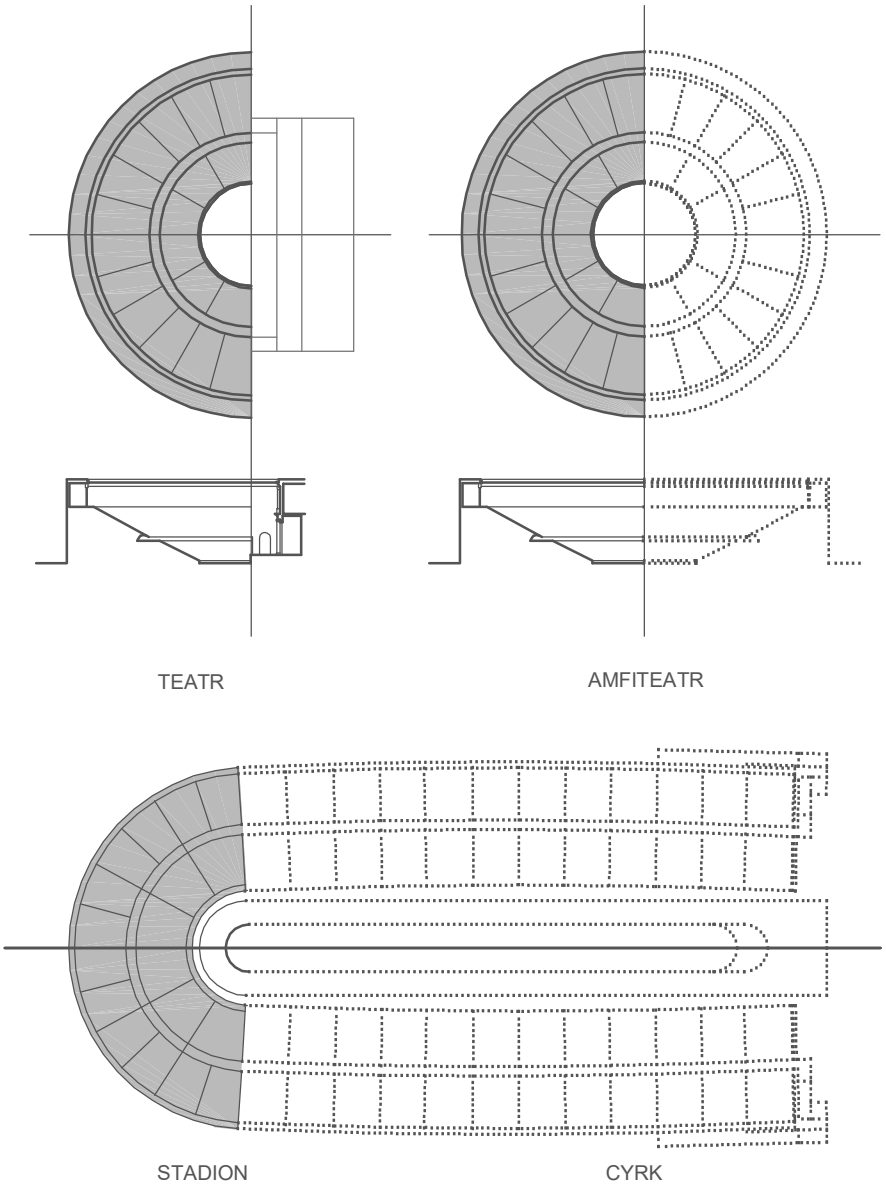
[7] Za: W. Kopaliński, *Słownik wyrazów obcych i zwrotów obcojęzycznych*, pierwsze wydanie w Internecie, Wydawnictwo De Agostini Polska, http://www.slownik-online.pl



Fot. 1-1. (po lewej) Delfy. Stadion – V w. p.n.e przebudowany w poł. II w. n.e. Widok ogólny. Pojemność widowni ok. 7 tys. miejsc. Długość bieżni – 178,35m, szerokość bieżni – 25,5m. *Foto: reprodukcja – za K. Kumaniecki, Historia Kultury Starożytnej Grecji i Rzymu, PWN, Warszawa 1964, s. 91.*

Fot. 1-2. (po prawej) Teatr w Delfach – IV w. p.n.e. Widownia o pojemności ok. 5 tys. miejsc, 35 rzędów.
Foto: http://ancient-greece.org/architecture/delphi-theater.html.

Fot. 1-3. Makieta starożytnego Rzymu (1937) ze zbiorów Muzeum Cywilizacji Rzymskiej. Dwie największe antyczne budowle widowiskowe – *Koloseum* i *Circus Maximus*. Zdjęcie pokazuje wielką skalę tych obiektów, dominującą w strukturze przestrzennej współczesnego im miasta.
Foto: http://penelope.uchicago.edu/~grout/encyclopaedia_romana/imperialfora/model.html.



RYS.1-1
ANTYCZNE PROTOTYPY WSPÓŁCZESNEGO STADIONU

Źródło - opracowanie autora na postawie: Witruwiusz, O architekturze ksiąg dziesięć, przekład K.Kumaniecki, wyd.II, Prószyński i S-ka, Warszawa 2004 oraz Games of the XXVIII Olympiad - Athens 2004, Broadcaster Hanbook, AOB 2004.

Pierwsze oficjalne igrzyska olimpijskie ery nowożytnej odbyły się w Atenach w roku 1896 na zrekonstruowanym antycznym stadionie *Panathinaikos (Kallimarmaro).*

W starożytności na stadionie tym odbywały się Igrzyska Panateńskie poświęcone bogini Atenie. Pierwotnie stadion miał konstrukcję drewnianą. W 329 r.p.n.e. przebudowano go na marmurowy (archont Lycurgus), kolejna przebudowa miała miejsce w 140 r.n.e (Herodes Atticus), w wyniku której widownia osiągnęła pojemność 50 tys. miejsc.

W drugiej połowie IXX wieku, w wyniku wykopalisk archeologicznych, stadion zrekonstruowano i przywrócono do użytkowania (Evangelis Zappas). Stał się on miejscem nieoficjalnych nowożytnych igrzysk olimpijskich przeprowadzonych w roku 1870 i 1875. W trakcie olimipiady w 2004 roku Stadion Panathinaikos był areną dwóch dyscyplin: zawodów łuczniczych i biegu maratoskiego.

ją się teatrami, jeśli zaś wyciągnięte są wzdłuż, nazywamy je cyrkami, ponieważ na nich odbywają się gonitwy na bigach i kwadrygach, które obiegają wokoło, okrążając mety. Omawiając zaś zasady budowy amfiteatru i cyrku stwierdził: *Wszystkie te urządzenia pochodzą od teatru, albowiem cyrk nie jest niczym innym jak teatrem, którego końce są wyciągnięte wzdłuż, a boki stanowią dwie linie równoległe, lecz z natury swojej nie ma on portyku, a amfiteatr składa się z dwóch teatrów złączonych końcami stopni do siedzenia w obwód ciągły; różnią się one miedzy sobą tym, że teatr jest jakby połową amfiteatru, i tym jeszcze, że w amfiteatrze obszar środkowy jest wolny od podium dla aktorów, ale w innych rzeczach, szczególnie w tym, co dotyczy stopni, galerii, wejść i tym podobnych, są do siebie bardzo zbliżone.*

Biorąc pod uwagę kryterium widoczności można stwierdzić, że największą doskonałością pod tym względem cechował się teatr grecki z wczesnego okresu rozwoju, gdy wszyscy aktorzy i chór występowali w obrębie okręgu *orchestry.* Wynikało to ze współśrodkowości okręgu przestrzeni ekspozycji i okręgów widowni, co powodowało pokrywanie się głównych osi widzenia z promieniami łukowych tarasów widowni. Spójność ta uległa z czasem zachwianiu, gdyż wprowadzenie *proscenium* i podium sceny, przy widowni w kształcie wycinka koła o kącie środkowym znacznie przekraczającym 180°[8], przesunęło centrum optyczne widowni daleko poza obrys *orchestry,* rozciągając go poprzecznie w stosunku do osi symetrii teatru. Forma widowni nakierowywała widzów skrajnych sektorów na centralny punkt *orchestry,* a więc na kierunek wręcz odwrotny do sceny[9]. Problem ten częściowo rozwiązali w swoich teatrach rzymianie, ograniczając widownię do wycinka połowy koła. Nadal jednak widzowie skrajnych sektorów eksponowani byli na przeciwległą widownię, a nie na scenę, która znajdowała się z boku. Budowlą pozbawioną tych mankamentów jest amfiteatr, którego forma powstała, można powiedzieć, z domknięcia widowni teatru greckiego do pełnego obwodu i powiększenia *orchestry*. W idealnym kształcie forma taka przetrwała do dziś w postaci amfiteatrów przeznaczonych do *corridy,* w których arena jest kołem o średnicy ok.40m, a otaczająca ją widownia kołowa może nawet osiągać pojemność 50 tys. widzów, jak w przypadku amfiteatru w stolicy Meksyku. Widownie rzymskich amfiteatrów miały, co prawda, kształt eliptycznego owalu, nie zmieniało to jednak ich zalet w zakresie bardzo dobrej widoczności pola areny z wszystkich miejsc widowni.

Do XIX wieku wiedzę o starożytnych budowlach widowiskowych czerpano z dzieł pisanych przez starożytnych autorów, głównie Witruwiusza (ok. 80-ok. 15 p.n.e.). Jego traktat *O architekturze ksiąg dziesięć,* datowany na ostatnie dwudziestolecie starej ery, był wielokrotnie przepisywany. Najstarszy z zachowanych kodeksów pochodzi z IX wieku, a odkryto go dopiero w roku 1414 w klasztorze na Monte Cassino[10]. Pierwszy druk tego tekstu ukazał się po łacinie w roku 1486. Dzieło cieszyło się znaczną popularnością, o czym świadczą liczne kolejne wydania łacińskie i tłumaczenia na inne języki. Najprawdopodobniej jest najstarszym znanym tekstem, w którym

[8] W Sagalassos odkryto teatr o widowni z kątem środkowym równym 240° (do pełnego koła brakuje zaledwie 120°). Teatr ten posiada budynek sceny, do której skrajne sektory odwrócone są niemalże tyłem.

[9] Dywergencja kierunków linii widzenia łagodzona była w teatrze greckim faktem, że na scenie występowali jedynie aktorzy tragediowi i komediowi (tzw. scenicy), reszta artystów (tymelicy) pozostawali na orchestrze-.W teatrze rzymskim natomiast wszyscy aktorzy grali na scenie, powierzchnia orchestry zaś była przeznaczona na miejsca dla senatorów i uprzywilejowanej publiczności.

[10] Jeden z rękopisów dzieła, pochodzący z 1465r. trafił do Polski. Znany jest pod nazwą *Codex Cornicensis sive Trzemesnensis* lub *Vitruvius de Cropidlo.*

znajdujemy określenie *amfiteatr*. O amfiteatrze i cyrku Witruwiusz wspomina zdawkowo przy okazji rozważań o zasadach lokalizacji Świątyni dla Herkulesa (ks. I, rozdz. VII). Z innego fragmentu tekstu dotyczącego *forum* można wnioskować, że w czasach współczesnych autorowi amfiteatr, jako miejsce walk gladiatorów, jeszcze się do końca nie wykształcił. Witruwiusz pisze bowiem: *...w miastach italskich...tradycja przekazana przez przodków każe na forum urządzać zapasy gladiatorów. Z tego powodu dookoła miejsca, gdzie odbywają się widowiska, trzeba dać szersze interkolumnium, a w kolumnadzie umieścić kantory bankierów, na wyższych zaś piętrach galerie dla widzów; wszystko to powinno być rozplanowane stosownie do użytku i dochodu, jaki to państwu przynosi.* (ks. V, rozdz. I).

Niemal całą Księgę Piątą Witruwiusz poświęca bardzo dokładnym opisom zasad budowy teatru typu greckiego i typu rzymskiego, wykazując przy tym różnice pomiędzy nimi. Autor podaje proporcje, kształty, podziały i wymiary oraz istotne detale widowni i sceny. Opisuje też profil widowni, który jest profilem prostoliniowym o jednakowym nachyleniu. Ściśle określa również wymiary stopni widowni podając, że ich głębokość powinna wynosić od dwóch do dwóch i pół stopy (od ok.60cm do 74cm), wysokość zaś od półtorej do jednej i jednej czwartej stopy (od 37cm do ok.44cm). Na podstawie informacji o wymiarach stopni widowni można stwierdzić, że jej nachylenie powinno zawierać się w przedziale pomiędzy kątem 26,5° a 37°. Szczególnie interesujące są rozważania o akustyce teatru oraz sposobach jej poprawiania przez stosowanie miedzianych, odpowiednio zestrojonych naczyń rezonansowych wbudowywanych w widownię.

Zainteresowanie antycznym światem, zapomnianym w wiekach średnich, pojawiło się dopiero w epoce Renesansu. Miało w tym udział m.in. dzieło Witruwiusza. Wiadomo, że wywarło ono znaczny wpływ na jednego z najważniejszych przedstawicieli Wczesnego Renesansu, jakim był Leon Battista Alberti (1404-1472). Alberti, humanista, architekt i malarz, wniósł znaczący wkład w naukowe podstawy perspektywy, studiował również architekturę i sztukę antyczną. W swoim traktacie *Ksiąg dziesięć o sztuce budowania (De re aedificatoria libri decem, 1452)* zawarł szczegółowe opisy zasad budowania modelowych teatrów i amfiteatrów opartych na interpretacji antycznych wzorów. Znaczna część tekstu poświęcona jest zagadnieniom akustyki, a zwłaszcza roli, równego wysokością z budynkiem sceny, portyku wieńczącego widownię rzymskiego teatru. Chociaż sam Alberti nie zbudował teatru, to jednak jego teoretyczne rozważania odegrały ważną rolę w rozwoju nowożytnego budynku teatralnego.

Dopiero rozwój archeologii, opartej na licznych wykopaliskach i ścisłych zasadach naukowych, (co nastąpiło w XIX wieku), pozwolił dokładniej poznać osiągnięcia antycznej sztuki budowlanej i architektury. Badania archeologów dały szeroki, przekrojowy ogląd w tej dziedzinie, umożliwiając weryfikację dotychczasowej wiedzy pochodzącej jedynie ze studiów starożytnej literatury. Dotychczas zdołano odkryć i zbadać ok. 750 pozostałości teatrów i odeonów, 160 dalszych znanych jest ze wzmianek literaturowych. Liczba rozpoznanych pozostałości amfiteatrów przekracza 200. Najstarsze teatry pochodzą z IV wieku p.n.e., najmłodsze z IV wieku n.e. Najwcześniejsze stałe amfiteatry datowane są na I wiek p.n.e. Rozsiane są one na całym terytorium byłego Imperium Rzymskiego. Badania wskazują na dużą różnorodność tych obiektów. W wielu przypadkach istniejące wcześniej teatry greckie były przez rzymian rozbudowywane i przebudowywane, szczególnie dotyczy to terenów Azji Mniejszej, gdzie nie budowano amfiteatrów, a ich funkcje pełniły teatry. Istnieją dowody wykorzystywania teatrów do pokazów walk gladiatorów i polowań na dzikie zwierzęta, a nawet bitew morskich. W Galii Lugdunensis (dzisiejsza Francja na północ od Lo-

ary) rozpoznano około dwadzieścia obiektów hybrydowych, łączących cechy teatru i amfiteatru.[11] Na tym tle opisane przez Witruwiusza zasady budowy teatrów greckich i rzymskich trzeba traktować jako modele teoretyczne, zrealizowane jedynie jednostkowo.

Teatr grecki, będący pierwowzorem rzymskiego, wykształcił się z bardziej prymitywnych form w postaci naturalnych nisz w zboczu górskim. Prawdopodobnie pierwsze widownie powstawały w wyniku wyboru najkorzystniejszego stoku, o powierzchni stożkowej, spełniającej warunek koncentrycznego uformowania wobec pierwotnej *orchestry*. Ten układ przestrzenny sprzyjający funkcji jednoczesnego oglądania przez wielu zebranych akcji toczącej się na najniżej położonej platformie ewoluował zapewne stopniowo. Najpierw musiały powstać biegnące po poziomicach ścieżki, późniejsze *diazomaty*, potem terenowe schody południkowe, które dały początek stopniom bardziej dojrzałej formy widowni. W całym tym procesie, trwającym zapewne wieki, najistotniejszy jest fakt, że formy przystosowujące zbocze do wygodniejszego użytkowania powstawały poprzez wykuwanie w skalistym podłożu. Dzięki temu powstawały budowle trwałe, odporne na erozję wód opadowych. W tym miejscu warto wspomnieć los, jaki spotkał praktycznie wszystkie *widownie ziemne* charakterystyczne dla powojennych polskich stadionów. Ponieważ były one formowane na usypywanych wałach ziemnych bez skutecznych systemów odwadniających, szybko ulegały technicznej i użytkowej degradacji, do czego przyczyniały się takie zjawiska, jak osuwanie się gruntu, powstawanie zapadlisk i kawern oraz podmywanie.

Opisane genetyczne cechy teatru greckiego powodują, że jest on teatrem przestrzennie otwartym, harmonicznie wkomponowanym w naturalny teren. Walorem jego widowni jest ekspozycja na często bardzo atrakcyjne krajobrazy, stanowiące tło dla *orchestry* i sceny. Cechy te tłumaczą także fakt lokalizacji tych budowli poza centrami miast. Nieco inne uwarunkowania kształtowały, wzorowany na greckim, teatr rzymski. Rzymianie sytuowali swoje teatry w ścisłej strukturze miasta, wybierając dla nich teren płaski. Chcąc stworzyć koncentryczne zbocze widowni w tych warunkach musieli je skonstruować. W pierwszym okresie stosowali szkieletowe konstrukcje drewniane, które z natury rzeczy były nietrwałe, miały charakter budowli tymczasowych, ulegały pożarom i powodowały katastrofy budowlane. Liczne źródła pisane podają, że widownie tego typu stosowano zarówno w teatrach, jak i w cyrkach, i amfiteatrach. W roku 27 n.e. w położonym w pobliżu Rzymu mieście Fidenae, w czasie występów gladiatorów, doszło do zawalenia się konstrukcji drewnianego amfiteatru. Wydarzenie to dokładnie opisał Tacyt (55-120 n.e.) w dziele *Roczniki (Ab excessu divi Augusti, Księga IV, rozdz.62 i 63)*. Wyzwoleniec *Atilius* podjął się budowy amfiteatru przeznaczonego na widowiska z udziałem gladiatorów, zaniedbał budowy solidnych fundamentów dla drewnianego szkieletu konstrukcji, ponieważ nie był zbyt majętny ani też odpowiedzialny, a kierował się chęcią zysku. Atrakcyjność widowiska przyciągnęła wielką rzeszę widzów, mężczyzn i kobiet w każdym wieku. Budowla nie wytrzymała obciążenia i zawaliła się, grzebiąc i raniąc dwadzieścia tysięcy widzów. Wydarzenie to odbiło się szerokim echem w całym Cesarstwie. Skutkiem tej

[11] M.Kocur w wykładzie *Rekonstrukcje teatru antycznego* wygłoszonym w Instytucie Sztuki PAN w Warszawie w czerwcu 2003 r. dla takich budowli użył określeń: pół-teatr, amfiteatro-teatr, teatr typu galicko-rzymskiego. Jednym z charakterystycznych przykładów ilustrujących to zjawisko jest pół-amfiteatr w Grand we Francji, w którym pełnej eliptycznej arenie towarzyszy jedynie część widowni, która usytuowana jest po jednej tylko stronie długiej osi owalu.

katastrofy był dekret Senatu stwierdzający, że organizator walk gladiatorów musi posiadać zabezpieczenie finansowe wynoszące co najmniej czterysta tysięcy sestercji. Nie zezwala się też na budowanie amfiteatrów posadawianych na fundamentach, których solidność nie została odpowiednio sprawdzona.

Wszystkie te niedoskonałości znikły z chwilą zastąpienia konstrukcji drewnianych technikami trwałymi w postaci murów z kamienia i cegły palonej – przy czym istotną rolę odegrała umiejętność budowania przęseł łukowych. Wszystkie te okoliczności doprowadziły do powstania, odmiennej niż w Grecji, formy budowli teatru zamkniętego. Wnętrze teatru rzymskiego było przestrzenią całkowicie izolowaną wizualnie i akustycznie od świata zewnętrznego. Uzyskano to dzięki szczelnemu domknięciu półkola widowni budynkiem sceny i dzięki wprowadzeniu portyku wieńczącego widownię, który wyrównano wysokością ze sceną.

Za jeden z najdoskonalszych zachowanych teatrów antycznej Grecji uznawany jest teatr Asklepiosa w Epidauros. Jego odkrycie i odkopanie nastąpiło w roku 1881. Jest on największy spośród wszystkich greckich teatrów. Jego walory architektoniczne doceniali również starożytni, co sprawiło, że stał się on wzorcem dla innych budowli tego typu. Zaprojektował go architekt i rzeźbiarz Polykleitos Młodszy w IV w.p.n.e. W czasach rzymskich do pierwotnej widowni, złożonej z 34 rzędów dobudowano kolejne 21 rzędów, nie naruszając jednak *orchestry* i sceny. Teatr w Epidauros słynie z nadzwyczaj doskonałej akustyki, która zapewnia idealną słyszalność w każdym z 15 tys. miejsc na widowni. Rzut widowni ma kształt wycinka koła o kącie środkowym równym 215°, o 5° więcej niż w modelu opisywanym przez Witruwiusza. U Witruwiusza sektory położone poniżej pierwszego równoleżnikowego obejścia (diazomata) są wycinkami koła o kącie środkowym równym 30° i jest ich 7. W Epidauros natomiast kąt ten wynosi 18°, a sektorów dolnych jest 12. Kąty te określają południkowe osie schodów (kerkides), biegnące koncentrycznie pomiędzy sektorami. Powyżej diazomaty sektory ustalane są w modelu witruwiańskim przez kąt 15° i jest ich 14, a w Epidaurus kąty te wynoszą zaś 9°, a sektorów górnych jest 22. Odległość z ostatniego rzędu widowni dolnej do centralnego punktu *orchestry* wynosi 38 m. Współcześnie limit odległości najdalszego widza od aktora występującego na scenie teatru dramatycznego wynosi 24m, a dla teatru operowego 34m. Oznacza to, że minimalny kąt pionowy widzenia postaci aktora wynosi w pierwszym przypadku ok. 4°, a w drugim ok. 2,5°. Odległości te zapewniają pionowy kąt widzenia twarzy aktora odpowiednio dla pierwszego ok. 29`, a dla drugiego ok. 20`. Kąty te są granicznymi wartościami pozwalającymi na rozpoznawanie osób i śledzenie mimiki twarzy. Parametry widoczności osiągane w teatrze greckim zbliżone są do współczesnych norm, zważywszy, że wielkość orchestry, określona w opisywanym przykładzie z Epidauros promieniem koła równym ok. 10m, umożliwiała zbliżenie się aktorów do linii pierwszego rzędu. Widoczność była jedną z dwóch determinant decydujących o wielkości widowni i *orchestry*. Drugą była akustyka, dobra słyszalność mowy, śpiewu i muzyki. Stwierdzono naukowo, że teatry greckie w niczym nie ustępują pod tym względem współczesnym wnętrzom oper i teatrów, a teatr w Epidauros nawet je przewyższa.

W Rzymie, stolicy imperium początkowo budowano amfiteatry drewniane, a wspomniany wcześniej amfiteatr Curio uważany jest za pierwszy z nich. Kasjusz Dion w dziele *Historia Rzymu* pisze, że Juliusz Cezar zbudował w roku 46 p.n.e. *rodzaj teatru o konstrukcji drewnianej dla walk ze zwierzętami, który z uwagi na fakt, że nie miał sceny, a siedziska usytuowane były na całym jego obwodzie nazywany był amfiteatrem* (ks. XLIII, rozdz.22). Także Neron wzniósł, datowany na rok 57 n.e., wielki amfiteatr o konstrukcji drewnianej (Tacyt, Roczniki, ks. XIII, rozdz. 31)

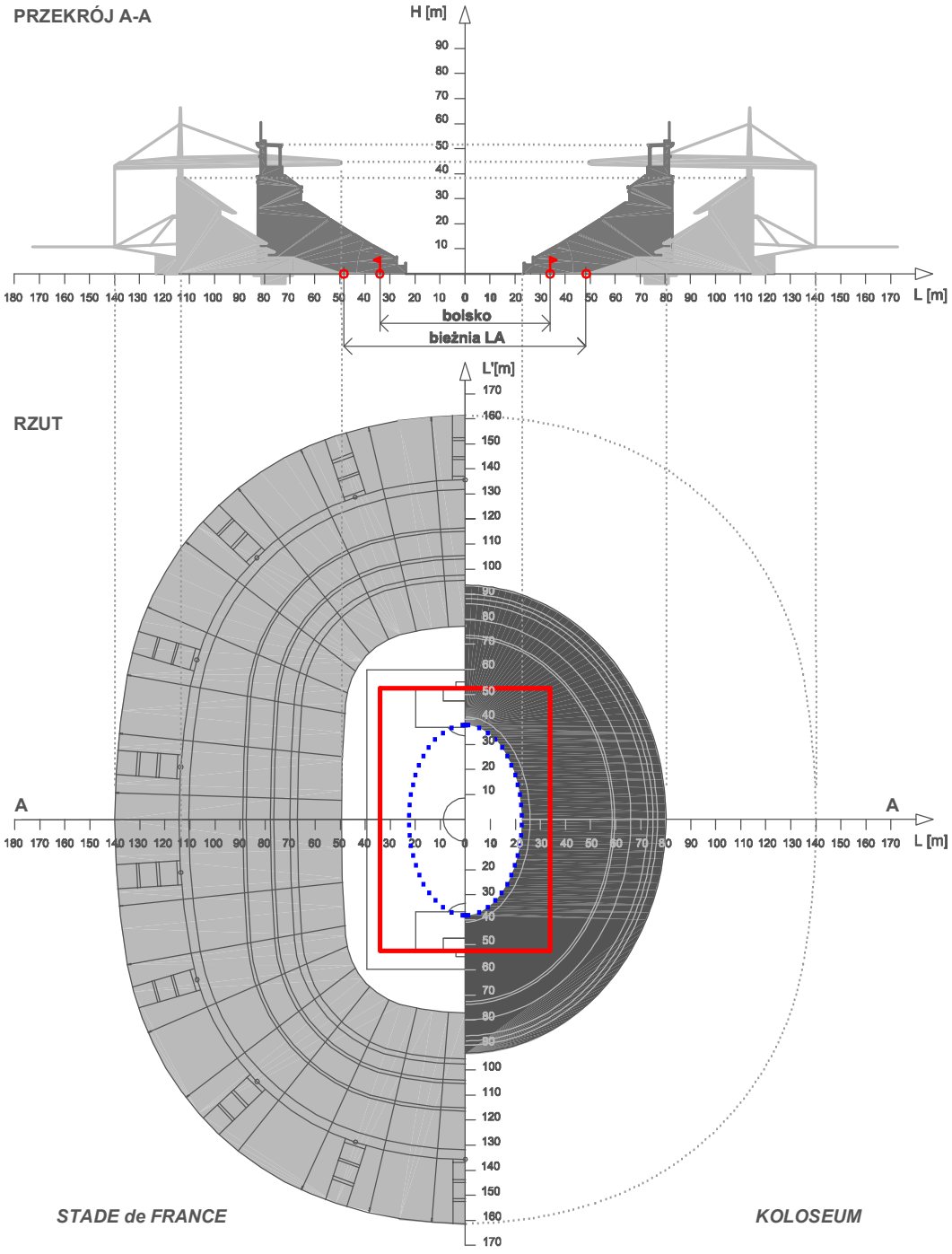
Najstarszy, znany, murowany amfiteatr powstał w Pompejach w 80 r.p.n.e., wyprzedzając budowę pierwszego stałego amfiteatru w Rzymie o pół wieku. Pierwszym amfiteatrem murowanym w stolicy Republiki był powstały w 29 r.p.n.e. amfiteatr zbudowany przez Statiliusa Taurusa. Z faktu jednak, że został on zniszczony podczas pożaru w 64 r.n.e. za panowania Nerona (Dion, ks. LXII, rozdz. 18) można wnioskować, iż jego widownia była konstrukcją drewnianą, a murowane były jedynie ściany zewnętrzne. Podobną konstrukcję musiał mieć największy z rzymskich cyrków *Circus Maximus,* gdyż również spłonął w tym samym pożarze.

Szczytem ewolucji budowli widowiskowych z centralną areną był Amfiteatr Flawiuszy (Koloseum). Jego budowę zainicjował w roku 72 n.e. cesarz Wespazjan z dynastii Flawiuszy. W roku 79 n.e., w chwili jego śmierci, budowla osiągnęła poziom trzeciej kondygnacji. Kontynuowali ją jego synowie, Tytus, za którego panowania (79-81 n.e) powstała attyka z wieńczącym portykiem – i Domicjan, który zbudował *hypogeum* pod areną (81-96 n.e.). Użytkowanie amfiteatru rozpoczęto już w roku 80 n.e. – zaledwie po ośmiu latach robót budowlanych – od uroczystej inauguracji w postaci wielkich igrzysk, trwających 100 dni. Imię architekta, który stworzył największą i najbardziej zaawansowaną technicznie i funkcjonalnie budowlę antyczną, która przetrwała dwa tysiące lat, nie jest, niestety, znane.

Analizy porównawcze aren rzymskich amfiteatrów wykazują, że pod względem wielkości i kształtów były one do siebie podobne. Wielowiekowa ewolucja doprowadziła do ustalenia w tym względzie określonego standardu, podobnie jak to ma miejsce w przypadku aren współczesnych stadionów. Widownia okalająca arenę odzwierciedlała jej kształt. Z geometrycznego punktu widzenia był to owal zbliżony formą do elipsy, wręcz naśladujący elipsę. W przypadku Koloseum, jak wykazują najnowsze badania[12], jest to owal czteroogniskowy, a więc najmniej skomplikowany, bo tworzony przez tylko dwa łuki styczne w czterech punktach. Zastosowanie geometrii łuków podyktowane było bez wątpienia łatwością wykreślania rysunków, wymiarowania i tyczenia, czyli ogólnie mówiąc projektowania i budowy tak skomplikowanej i wielkiej przestrzennie budowli, z dostosowaniem do prostych i dostępnych przyborów i metod geodezyjnych. Podstawę geometrii rzutu poziomego tworzą dwie osie główne, przecinające się pod kątem prostym w geometrycznym środku areny. Układ osi obrócony jest w stosunku do kierunku północ-południe o 20°, zgodnie z kierunkiem ruchu wskazówek zegara, przy czym orientację południowo-północną ma oś krótka. Jest to zasada odwrotna do stosowanej w projektowaniu współczesnych stadionów. Dzięki takiej orientacji uprzywilejowana była widownia południowa, chroniąca widzów cieniem własnym i dająca ekspozycję na pole areny zgodną z kierunkiem padania promieni słonecznych. Wymiar osi długiej wynosi 76m, krótkiej zaś 47m. Kształt owalu definiowany jest położeniem ognisk łuków składowych. Ogniska dwóch symetrycznych łuków większych leżą na osi krótkiej i oddalone są od centralnego punktu owalu o 112 stóp rzymskich[13]. Ogniska łuków mniejszych natomiast leżą na osi dłuższej i oddalone są od środka geometrycznego o 84 stopy rzymskie. Punkty styczności łuków większych i mniejszych wyznaczane są skrajnymi promieniami łuków większych, tzn. takimi, które przebiegają przez ognisko łuków mniejszych. Owal ściany zewnętrznej amfiteatru jest koncentryczny

[12] Źródłem informacji jest artykuł Mario Docci: *Amphiteatrum Flavium – the Stadium of the Caesars,* Area, nr 75, augusto 2004. Wcześniej uważano, że owal Koloseum wykorzystywał trzy rodzaje łuków i konstruowany był z ośmiu ognisk, por. W. Smith., *A Dictionary of Greek and Roman Antiquities,* John Murray, London, 1875.

[13] Antyczna stopa rzymska mierzyła 29,6 cm.



RYS. 1-2

PORÓWNANIE PROFILU, KSZTAŁTU I WIELKOŚCI WIDOWNI KOLOSEUM I PRZYKŁADOWEGO WSPÓŁCZESNEGO STADIONU (*STADE de FRANCE*)

Źródło - opracownie autora na podstawie: M.Docci, Amphitheatrum Flavium - the Stadium of the Caesars, Area nr75, Milano 2004, s.4-13. oraz M.Vogliazzo, Saint Denis Stadium, l´ARCA, nr 122/1998, s.22-29.

LEGENDA

- Obrys areny Koloseum (owal kształem zbliżony do elipsy, oś krótka L= 47m, oś długa L'= 76m)

- Obrys normatywnego boiska do piłki nożnej (prostokąt 68m x 105m)

do owalu areny, gdyż tworzony jest z wykorzystaniem tych samych ognisk. Owalne linie krawędzi rzędów, przejść równoleżnikowych i innych ścian wykreślane są na tej samej zasadzie. Głębokość widowni Koloseum, tj. mierzona po południkach odległość linii owalu areny od owalu ściany zewnętrznej wynosi 54m. Rozpiętość owalu ściany zewnętrznej w kierunku podłużnym wynosi ok.188m, w kierunku poprzecznym zaś ok. 156m.

Położenie głównych poprzecznych ścian nośnych i innych podziałów poprzecznych wyznaczane jest pękami osi południkowych, wyprowadzanych promieniście z poszczególnych ognisk. Osi tych jest łącznie osiemdziesiąt. Ustalenie ich położenia wymagało znajomości metod podziału łuku na równe części, – prawdopodobnie z zastosowaniem znanej już wówczas miary kątowej[14]. Nawiasem mówiąc, opisany powyżej sposób konstruowania geometrycznego układu osi południkowych i wykreślania łuków owalu podobny jest do zastosowanego przy ustalaniu geometrii rzutu poziomego *Stadionu Śląskiego*, z tą jednak różnicą, że owal zbudowany jest z trzech rodzajów łuków definiowanych przez osiem ognisk.

Pod względem parametrów profilu widowni, Koloseum podobne jest do wielkich współczesnych stadionów. Profil ten jest profilem prostoliniowym nieciągłym wielokrotnie łamanym. Średnie nachylenie poszczególnych jego odcinków wynosi ok. 35°. Nachylają się one coraz bardziej w miarę oddalania się od areny. Wyniesienie posadzki pierwszego rzędu wynosi ok. 4,5m. Wysokość całkowita ściany zewnętrznej wraz z attyką osiąga wartość 48m. Widownia (*cavea)* o pojemności ok. 50 tys. miejsc obsługiwana była przez 160 womitoriów. Składała się z pięciu, oddzielonych równoleżnikowymi obejściami, pierścieni zwanych *maeniana.* Podział widowni odzwierciedlał klasowe podziały społeczeństwa. Najniżej położony i najbliższy arenie przeznaczony był dla dworu cesarskiego, senatorów i westalek. Najwyższa widownia, wbudowana w portyk, była konstrukcją drewnianą i przeznaczona była dla niewolników.

Budowę korpusu amfiteatru dokończył Tytus, za rządów którego powstał wieńczący budowlę portyk ze ścianą attykową wraz z wbudowanymi w nią kamiennymi jarzmami. Jarzma te trwale związane ze strukturą muru istnieją do dziś. Są one równomiernie rozmieszczone na całym obwodzie attyki i jest ich 240 (po trzy w każdym z 80 modułów elewacji). Powszechnie sądzi się, że służyły one do mocowania słupów konstrukcji linowo-płóciennego, demontowalnego zadaszenia (*velarium*). Ich obecność w jednolitej strukturze muru świadczy też o tym, że projekt konstrukcji i funkcjnowania *velarium* powstał równolegle z koncepcją attyki.

Za czasów Domicjana przebudowana była arena amfiteatru. Pod całą jej powierzchnią stworzono tzw. *hypogeum* – dwupoziomowy system korytarzy i pomieszczeń wyposażony w liczne dźwigi, pochylnie i zapadnie. Cała ta infrastruktura sceniczna obsługiwała powierzchnię areny, umożliwiając szybkie zmiany aranżacji scenograficznej, jak również pojawianie się i znikanie w dowolnym miejscu ludzi i zwierząt. *Hypogeum* powiązane było wieloma tunelami z szeregiem zapleczowych obiektów pomocniczych usytuowanych w pobliżu murów Koloseum. Koncepcyjnie i inżyniersko *hypogeum* wyprzedziło o prawie dwa tysiące lat rozwiązania mobilnej sceny z aktywnym podsceniem, zastosowane po raz pierwszy w teatrze pod koniec XIX wieku. Istnienie *hypogeum* ujawnione zostało dopiero w wyniku wykopalisk dokonanych w części areny pomiędzy rokiem 1810 i 1814. Pełne jego wyeksponowanie nastąpiło w latach trzydziestych XX wieku.

[14] O stanie wiedzy w dziedzinach, które mogły być przydatne przy projektowaniu i wznoszeniu wielkich antycznych budowli widowiskowych autor pisze w dalszej części niniejszego wywodu.

Do czasów współczesnych, oprócz Koloseum, w dobrym stanie przetrwało jeszcze, kilka innych amfiteatrów. Część z nich, po dokonaniu prac konserwatorskich udostępniono do użytkowania, nie tylko na cele turystyczne, ale też jako audytoria do koncertów muzycznych i przedstawień teatralnych. Na terenie Włoch należą do nich areny w Weronie, Capui, Puzzuoli i Pomejach, we Francji w Nimes, Arles i Fréjus, jak również amfiteatr w Puli w Chorwacji oraz w El Djem w Tunezji.

Nie zachowały się żadne, choćby szczątkowe rysunki lub opisy projektów wielkich obiektów widowiskowych starożytności. Nie dysponujemy jakimikolwiek dowodami świadczącymi o stosowaniu określonych metod ustalania widoczności przy wznoszeniu takich obiektów jak teatry, stadiony, amfiteatry czy cyrki. Analizy dobrze zachowanych budowli, jak choćby Koloseum czy teatr w Epidauros, wskazują jednak, że ich projektanci i budowniczowie po mistrzowsku rozwiązywali problemy funkcjonalne i konstrukcyjne – nie odbiegając poziomem tych rozwiązań od nam współczesnych. W tym kontekście można jedynie formułować hipotetyczne twierdzenia, że tworząc tak doskonałe budowle musieli się oni posługiwać określonymi sposobami i ugruntowaną wiedzą.

Ewolucja architektonicznej formy teatru i amfiteatru antycznego trwała wiele stuleci. Parametry takie jak zasięg widzenia i słyszenia określano zapewne doświadczalnie drogą kolejnych udoskonaleń istniejących już budowli. Rezultatem tych doświadczeń były kanony budowlane ściśle ustalające kształty i proporcje całej budowli i poszczególnych jej elementów, wyrażane również w ówczesnych jednostkach miary. Taki właśnie charakter mają opisy zasad budowania teatrów, które znajdujemy u Witruwiusza.

Obliczenia powierzchni widowni Koloseum wskazują, że jej pojemność była nieco mniejsza niż podają antyczne źródła. Nie była jednak mniejsza niż 40 tys. miejsc, co odpowiada pojemności średniego dzisiejszego stadionu. Wymagało to od starożytnych projektantów dokładnego rozplanowania układu dróg komunikacji i ewakuacji. Schemat organizacji ruchu widzów musiał być opracowany przed decyzjami budowlanymi i z pewnością przy jego tworzeniu uwzględniano czas napełniania i ewakuacji oraz bezpieczeństwo i sprawność całego układu. Podziały widowni, poziomy funkcjonalne, liczba i wielkość womitoriów, schodów i korytarzy musiały wynikać z precyzyjnych kalkulacji. Kontrola napełniania i ewakuacji widowni w niczym nie różniła się od aranżacji stosowanej na współczesnych stadionach. Każde miejsce miało swój numer, podobnie jak każdy rząd (*gradus*), sektor (*cuneus*) i piętro (*maenianum*) widowni. Każdej strefie widowni odpowiadało obsługujące ją womitorium i numerowane wejście zewnętrzne. Współrzędne miejsc zapisane były na biletach, których dystrybucją zajmowały się specjalne służby (*locarii*)[15]. Wszystko to świadczy o wysokim poziomie warsztatu projektowego i kunszcie ówczesnych architektów.

Projektowanie profilu widowni, stanowiącego główny czynnik decydujący o parametrach widoczności pola areny, wymaga znajomości podstawowych zasad geometrii i trygonometrii, podstawowych reguł optyki, operowania linią prostą utożsamianą z promieniem widzenia, umiejętności przedstawiania przebiegu linii prostej w trójwymiarowej przestrzeni i rozumienia ogólnych zasad perspektywy liniowej. Z historii rozwoju matematyki, astronomii, fizyki i geografii wiadomo, że w czasach powstawania starożytnych budowli widowiskowych opisany powyżej zakres wiedzy znany był ówczesnym filozofom. Z pewnością też ta wiedza teoretyczna znajdowała zastosowanie w praktyce, o czym świadczą osiągnięcia techniczne, w tym w dziedzinie budownictwa.

[15] Za S.B. Platner, *A Topographical Dictionary of Ancient Rome*, Oxford University Press, 1929.

W czasach powstawania antycznych budowli widowiskowych operowano miarą kątową. Nieznany jest dokładnie moment, kiedy zaczęto stosować podział kąta pełnego na 360 stopni. Wiadomo, że Arystarch z Samos mierzył kąty w ułamkach kąta prostego, o czym pisze w dziele *O rozmiarach i odległości Słońca i Księżyca* (ok. 260 r.p.n.e.). Przypuszcza się, że do popularyzacji podziału kąta pełnego na 360 stopni przyczyniły się tablice trygonometryczne opracowane przez Hipparcha (ok. 180-ok. 125 p.n.e.). Wcześniej już jednak Hypsikles z Aleksandrii dzielił dobę na 360 części, wzorując się na babilońskich astronomach. Nawiasem mówiąc, stąd pochodzi stosowany do dziś system jednostek mierzenia czasu. System sześćdziesiątkowy przyjęty przez Greków dla jednostek miary kątowej (stopień kątowy, minuta i sekunda) również wywodzi się od Babilończyków. Jednostki miary kątowej i czasu łączy wspólny mianownik. Jest nim, wyznaczający dobę, kąt pełny (360°) – jako miara pełnego obrotu Ziemi wokół jej osi lub jako miara pozornego pełnego obrotu sfery niebieskiej.

Znane było pojęcie linii lub inaczej promienia widzenia oraz pojęcia pionowego i poziomego kąta widzenia. Stosowane przez astronomów i geografów greckich proste przyrządy przeziernikowe, takie jak *astrolab* czy *dioptra*, które były archetypami współczesnych teodolitów, służyły do mierzenia pionowych i poziomych kątów widzenia, jako miary odległości pomiędzy dwoma obserwowanymi punktami. Ramionami tych kątów były linie proste, odzwierciedlające promienie widzenia, biegnące od punktu oka do każdego z obiektów. Do ustalania położenia tych linii służyły prymitywne celowniki optyczne w postaci obrotowego ramienia (późniejsza *alidada*) z elementami celowniczymi na obu końcach (podobnymi do szczerbinki i muszki w broni palnej). Opisane ramię jest odcinkiem linii widzenia i dzięki temu wyznacza jej położenie, które można odczytać na tarczy z naniesioną podziałką kątową.

Wspomniany już Hipparch nie tylko stworzył podwaliny trygonometrii, ale też jako astronom obliczył odległość Ziemi od Księżyca, czas obiegu Ziemi wokół Słońca, mimośród orbity ziemskiej oraz wynalazł *astrolab*, przyrząd do mierzenia kątów pionowych, stosowany w nawigacji i astronomii do wyznaczania położenia ciał niebieskich. Jako geograf, wprowadził takie pojęcia, jak południk i równoleżnik, które służyły mu do określania współrzędnych położenia dowolnych punktów na powierzchni kuli ziemskiej lub wklęsłej czaszy sfery niebieskiej. Dał tym początek, systemowi długości i szerokości geograficznej, stosowanemu do dziś.

Znane było Twierdzenie Talesa (624 p.n.e.-545 p.n.e.) – jedno z najważniejszych twierdzeń geometrii euklidesowej, dzięki któremu, na podstawie podobieństwa trójkątów, potrafił on zmierzyć wysokość piramid za pomocą cienia. Przypisuje się mu wiele innych twierdzeń z geometrii, do których należą m.in. takie, jak: jeśli dwie linie przecinają się, to dwa kąty przeciwległe są równe; kąt wpisany w półokrąg jest kątem prostym; trójkąt jest określony, jeżeli dana jest jego podstawa i kąty przy podstawie. Znane było *twierdzenie Pitagorasa* (572 p.n.e.-497 p.n.e.), któremu przypisuje się też inne osiągnięcia, m.in. dowód, że suma kątów trójkąta równa jest dwóm kątom prostym. Od III wieku p.n.e. istniały już *Elementy* – traktat arytmetyczny i geometryczny napisany przez Euklidesa (325-265 p.n.e.). Dzieło to uznawane jest za jedno z największych osiągnięć naukowych w historii ludzkości. Do końca XIX wieku *Elementy* Euklidesa należały do kanonu nauczania matematyki. Euklides był też pierwszym twórcą praw optyki. Używając zasad geometrii rozważał zagadnienia perspektywy i zmiany wielkości obiektów wraz ze zmianami odległości od obserwatora. Sformułował wiele pewników optyki geometrycznej[16] dotyczących linii widzenia, jak np.: *linie mogą być rysowane w linii prostej do obiektu; linie, które padają na obiekt tworzą stożek; rzeczy, na które padają linie* (widzenia) *są widzialne;*

rzeczy są większe, jeżeli widzi się je pod większym kątem. Wiedzę o optyce pogłębił, żyjący trzy wieki później, Heron z Aleksandrii (10-70 n.e.). Odkrył on nowe prawa dotyczące promieni widzialnych. Zajmował się m.in. problematyką odbijania światła, czym położył podwaliny teorii emisji. Wykazał również, że kąt padania jest równy kątowi odbicia.

Ważną rolę w poznaniu mechanizmów widzenia odegrało z pewnością urządzenie zwane *kamerą obskurą*, którego początków doszukuje się w starożytnej Grecji, a nawet znacznie wcześniej. Istnieją hipotezy, że zjawisko znane było naszym przodkom z dalekiej prehistorii. Według nich odwrócone do góry nogami malowidła naskalne z okresu paleolitu sylwetek zwierząt, jak w jaskini Lascaux na terenie Francji, mogą być odwzorowaniem obrazów będących efektem *kamery obskury.* W dziele *Optyka* Euklides opisując prostoliniowe rozchodzenie się światła wspomina o możliwości powstawania obrazu po przejściu promieni słonecznych przez niewielki otwór. Także Arystoteles opisał swoje doświadczenia z obrazami słońca, które powstają przy przejściu jego promieni przez niewielki otwór padając na umieszczone za nim tło. Pierwszy naukowy opis ciemni optycznej datowany jest jednak dopiero na rok 1020 i przypisywany jest arabskiemu matematykowi Alhazena z Basry. *Kamera obskura* wykorzystywana była przez astronomów jako instrument umożliwiający śledzenie torów poruszania się słońca i księżyca. Później, w epoce Renesansu, stosowana była również przez artystów malarzy jako narzędzie pomocne przy rysowaniu perspektywy. Jednym z pierwszych, którzy zastosowali urządzenia optyczne w malarstwie był Alberti. *Kamerą obskurą* interesował się również Leonardo da Vinci. We wszystkich jego pracach znajduje się łącznie 270 rysunków dotyczących tego urządzenia. Opis zastosowania obiektywu ze szklanych soczewek pojawił się po raz pierwszy w rozprawie *Natural Magi*, napisanej w połowie XVI wieku przez Giambattistę della Porta. Właściwości optyczne soczewki wypukłej były jednak znane dużo wcześniej. Pisał o nich Robert Grosseteste (1168-1253), a później Roger Bacon (1214-1294). Najstarsza odkryta przez archeologów soczewka wypukła datowana jest na ok. 600 rok p.n.e. i pochodzi z wykopalisk w Niniwie. Dopiero jednak Kartezjusz (Rene Descartes) w swoim traktacie *La Dioptrique* z roku 1637 zamieścił dokładne rysunki przekroju oka jako *kamery obskury* i porównał oko do kamery, wykazując, że siatkówka oka jest tym samym, co ekran we wnętrzu kamery, na który za pośrednictwem promieni świetlnych pada obraz obiektów zewnętrznych. Jako pierwszy opisał działanie układu optycznego oka stosując elementy optyki geometrycznej. Był to wielki krok w rozwoju teorii widzenia.

Starożytni znali też perspektywę. Świadczą o tym dobrze zachowane przykłady malarstwa ściennego z Pompei, jak m.in. fresk przedstawiający fronton teatru rzymskiego w postaci świątyni Diany. Jest to perfekcyjna perspektywa jednozbiegowa pochodząca najpóźniej z I wieku n.e. z punktem zbiegu usytuowanym na linii horyzontu przedstawianych na obrazie postaci. W antycznej literaturze przetrwały też liczne wzmianki na temat dzieł malarzy, którymi były perspektywiczne obrazy dekoracji scenicznych. Witruwiusz w traktacie O architekturze ksiąg dziesięć *pisze: ...kiedy Ajschylos wystawiał tragedię, Agatarchus zbudował w Atenach scenę i pozostawił o niej rozprawę. Zachęceni tym Demokryt i Anaksagoras napisali na ten sam temat, wyjaśniając, jak należy nakreślić linie odpowiadające w sposób naturalny oczom i rozchodzeniu*

[16] Optyka geometryczna jest najstarszą i podstawową częścią optyki. Wprowadza pojęcie promienia świetlnego. Opisuje rozchodzenie się światła jako bieg promieni, bez wnikania w naturę światła. Wg optyki geometrycznej światło rozchodzi się w ośrodkach jednorodnych po liniach prostych, na granicy ośrodków ulega odbiciu, a przechodząc do drugiego ośrodka ulega załamaniu.

się promieni z określonego punktu centralnego, aby przedstawione obrazy budynków na dekoracjach scenicznych oddawały charakter określonej rzeczy, i aby wszystko, co wymalowano na pionowych i płaskich ścianach, wydawało się bądź wklęsłe, bądź wypukłe (ks. VII, przedmowa). Żyjący w V wieku p.n.e. Agatarchus uznawany jest za pierwszego malarza stosującego perspektywę w dużych obrazach scenicznych. Rysunek perspektywiczny w mniejszej skali można odnaleźć jednak jeszcze wcześniej – bo w pochodzącym z VI wieku p.n.e. malarstwie wazowym.

Funkcjonowanie antycznych amfiteatrów, teatrów, cyrków, jak również stadionów ustało wraz z rozpadem Cesarstwa Rzymskiego, a wieki średnie, rozciągnięte na około dziewięć stuleci, nie wykształciły potrzeby istnienia obiektów widowiskowych tego typu. Cały ten spadek po kulturze antycznej stopniowo popadał w ruinę i służył różnym, często dalekim od pierwotnych, celom. Obrazuje to, dobrze udokumentowana, historia rzymskiego Koloseum. Pierwszy, nieskuteczny zakaz organizowania walk gladiatorów wydał w roku 325 cesarz Konstantyn (Kodeks Teodozjański, XV. 12). W rzeczywistości igrzyska te były jednak kontynuowane aż do roku 404, kiedy to doszło do incydentu zamordowania przez tłum zgromadzony na widowni Koloseum mnicha Telemacha, który usiłował przerwać walkę gladiatorów. Skłoniło to cesarza Honoriusza do całkowitego zakazania tych widowisk (Teodoret, *Historia Ecclesiastica*, V. 26), które mimo tego odbywały się do roku 435. Dłużej przetrwały polowania na dzikie zwierzęta, do ostatniego z nich doszło w roku 523, urządził go król Ostrogotów Teodoryk – z tej okazji wykonano ostatnie prace konserwacyjne. Tak więc największy i najdoskonalszy technicznie amfiteatr starożytności funkcjonował nieprzerwanie przez blisko cztery i pół wieku. W tym czasie budowla przeżyła pożar w roku 217 oraz trzęsienie ziemi w roku 443. Obie te katastrofy wymagały ciągnących się przez wiele lat robót naprawczych. Nawiasem mówiąc w całej historii obiektu doszło do jeszcze kilku poważnych uszkodzeń wywołanych trzęsieniami ziemi – miały one miejsce w latach 801, 847, 1231 oraz 1349. W wyniku ostatniego z nich zawaleniu uległa znaczna część ściany zewnętrznej po stronie południowej. W wieku XI Koleseum staje się własnością rodu Frangipanich, którzy zamieniają amfiteatr w twierdzę. Do XII stulecia wielkie kubatury pod trybunami wykorzystywane były jako mieszkania dla najuboższych oraz warsztaty. Od roku 1250 w arkadowych obejściach Koloseum zaczęto organizować przedstawienia pasyjne, na które w każdy Wielki Piątek przybywały tłumy pielgrzymów. Budowla popadała w coraz większą ruinę, a w wieku XIV doszło do systematycznej grabieży bloków kamiennych używanych wtórnie do budowy nowych kościołów i pałaców. Pochodzący stąd materiał budowlany posłużył do budowy prestiżowych obiektów Rzymu jak m.in.: Palazzo dela Cancelaria, Palazzo Venezia, Farnese i Barberini oraz wielu innych. Papież Sykstus V (1585-1590) planował zamienić Koloseum na fabrykę włókienniczą – zamierzenie to nie zostało jednak zrealizowane. W roku 1671 Kardynał Altieri wydał zgodę na organizację na arenie walk byków, a w roku 1675 Koloseum wykorzystywano jako składnicę nawozu, przeznaczonego do wyrobu saletry w pobliskiej fabryce prochu. Dopiero poczynając od roku 1749 budowla zostaje otoczona opieką Kościoła, jako tradycyjnie uznane miejsce męczeństwa pierwszych chrześcijan. Papież Benedykt XIV zagroził ekskomuniką każdemu, kto by się poważył naruszyć ocalałe mury amfiteatru. Poważne prace archeologiczne i konserwatorskie rozpoczęły się w wieku XIX i trwały do lat trzydziestych następnego stulecia.

W czasach nowożytnych budowle służące do organizowania wielkich widowisk przeznaczonych dla wielotysięcznych rzesz widzów, nawiązujące do antycznych pierwowzorów, takich jak stadion, cyrk czy amfiteatr, zaczęły powstawać dopiero w drugiej połowie XIX wieku. W czasie Rewo-

lucji Francuskiej pojawiła się co prawda, idea wskrzeszenia starożytnych wzorców, nie dała ona jednak dostatecznie silnego impulsu do jej dalszego rozwoju.

Ewolucja nowożytnej widowni teatralnej – od Renesansu do końca XIX wieku

Epoka Renesansu, odkrywając kulturę antyczną, uległa fascynacji jedynie jedną z wielu form widowisk powszechnych w starożytności. Były nią widowiska teatralne. Stało się tak, mimo że ludzie tych czasów mieli świadomość motywów i korzyści jakie przyświecały starożytnym, kultywującym różnorodne widowiska. Świadectwo temu daje Alberti pisząc: *Pochwalam Mojżesza, który chciał, żeby cały jego naród zbierał się w dni uroczyste w jednej świątyni i żeby w pewnym określonym czasie wszyscy wspólnie spożywali posiłki. Jakiż cel mógł mieć w tym? Z pewnością chciał, żeby jego współobywatele, zbierając się i posilając wspólnie, kształcili swoje dusze w dobrotliwości i nawiązywali między sobą więzy przyjaźni. Nasi przodkowie w tej samej intencji, jak sądzę, urządzali w mieście widowiska, nie tylko dla przyjemności i z zamiłowania do uroczystości, ale także i dla pożytku. Jeśli uważnie rozpatrzymy tę sprawę, to uświadomimy sobie wiele rzeczy, które każą nam coraz bardziej żałować, że tak doskonały i pożyteczny zwyczaj został od dawna zaniechany. Albowiem chociaż jedne widowiska były wynalezione dla przysporzenia przyjemności w czasie pokoju i wypoczynku, a inne po to, żeby ćwiczyć się w rzemiośle wojennym, przy tym pierwsze służyły do pobudzania i ożywiania sprawności i delikatności ducha i umysłu, dzięki drugim zaś wspaniale wzrastała odwaga, wytrwałość i krzepły siły, to jednak zarówno te, jak i tamte w sposób pewny i niezawodny znakomicie przyczyniały się do zdrowia i chwały ojczyzny*[17]. Aczkolwiek widownia teatralna rządzi się nieco innymi prawami niż widownia współczesnego stadionu, pewne jej elementy można uznać za wspólne. W momencie wykształcania się pierwszych form współczesnego stadionu istniała już bardzo dobrze rozwinięta dziedzina budownictwa teatralnego i bez wątpienia miała ona wpływ na kształt architektoniczny tych nowych obiektów użyteczności publicznej.

Historia budynku teatralnego zaczyna się od teoretycznego projektu teatru opartego na zasadach antycznych, który został opisany przez czołowego architekta wczesnego Renesansu Leona Battistę Albertiego w jego dziele *Ksiąg dziesięć o sztuce budowania.* Alberti inspirował się traktatem Witruwiusza, a projekt, o którym mowa, wzoruje się na teatrze typu rzymskiego. Teoretyczny charakter miały również wskazówki Sebastiana Serlio, który w traktacie *L`Architettura* przedstawił sposób wykonania półkolistej widowni i sceny z tłem w postaci perspektywicznego obrazu. Propozycja Serlio przeznaczona była do aranżacji w istniejącym wnętrzu pałacowym, a materiałem konstrukcyjnym miało być drewno. Pierwszym samodzielnym budynkiem teatralnym, który dał początek wszystkim nowożytnym teatrom, i który funkcjonuje nawiasem mówiąc do dziś, jest *Teatro Olimpico* w Vicencji. Wzniesiono go według projektu Andrea Paladio. Po jego śmierci budowę kończył Vincenzo Scamozzi. Wnętrze oparte jest na zasadach antycznego teatru rzymskiego, z tą jednak różnicą, że widownia wykorzystuje kształt połowy elipsy, a nie koła, jak w pierwowzorze. W ten sposób rozpoczęła się trwająca po dziś dzień ewolucja wnętrza teatralnego. Jej istota polega na ustalaniu się określonych relacji pomiędzy dwoma rodzajami przestrzeni – tej przeznaczonej dla widzów i tej, która służy realizacji spektaklu.

[17] Cytat pochodzi z polskiego wydania dzieła Albertiego *Ksiąg dziesięć o sztuce budowania*, KsięgaVIII, Rozdział VII: *O ozdabianiu teatrów widowiskowych i torów wyścigowych oraz o tym, jak bardzo są one pożyteczne*. Leon Baptysta Alberti, *Ksiąg dziesięć o sztuce budowania*, z tekstu włoskiego przeł. Irena Biegańska; przedmowa do wydania polskiego K. Dziewoński,. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1960.

Do głównych rodzajów tych relacji należą relacje geometryczne w zakresie kształtu i wielkości przestrzeni oraz rozmieszczenia widzów Kształtowaniu się tych relacji towarzyszy szereg uwarunkowań, w tej liczbie wynikających z uwarunkowań percepcji wizualnej i akustycznej odbiorców, uwarunkowań konstrukcyjno-budowlanych, zwłaszcza jeżeli chodzi o przekrycia dużych rozpiętości, komunikacji i ewakuacji widzów, wymogów inscenizacyjnych i scenograficznych przestrzeni scenicznej.

Andrzej Basista, systematyzując historię rozwoju teatru i ewolucji jego form przestrzennych, dzieli te formy na dwa podstawowe rodzaje: teatr umowny i teatr iluzji. W pierwszym, publiczność i aktorzy znajdują się w jednej wspólnej przestrzeni. Do kategorii tej należy teatr antyczny i teatr wczesnego Renesansu. Drugi z nich powstał w Baroku i polega na współdziałaniu dwóch, oddzielonych portalem scenicznym i kurtyną, przestrzeni – przestrzeni widowni i przestrzeni sceny i jej zaplecza. W teatrze tym aktorzy występują nie na tle dekoracji, lecz dzięki głębokiej scenie pudełkowej, wśród dekoracji.[18] Istotną rolę w rozwoju wnętrza teatralnego odegrał teatr operowy i baletowo-operowy. Wykształcił on charakterystyczną widownię składającą się z płaskiej przestrzeni centralnej (*platea)* z miejscami stojącymi i koliście otaczającej ją ściany z wielopiętrowymi lożami przeznaczonymi dla widzów uprzywilejowanych. Do wzorcowych rozwiązań tego typu należy budynek mediolańskiej *La Scali*, powstały w latach siedemdziesiątych XVIII wieku, jak również teatr w Bordeaux, pochodzący z tego samego okresu. Wzniesiona o wiele później, bo w połowie XIX wieku, *Opera Paryska* również posiada tego typu wnętrze, choć różni się od wcześniej wymienionych przykładów sposobem skonstruowania lóż.

Fascynacja starożytną Grecją i Rzymem powróciła w wieku XVIII, w epoce Oświecenia – szczególnie podczas Rewolucji Francuskiej. Wzorce antyczne odgrywały ważną rolę w kształtowaniu się kultury ówczesnej Francji. Idea republiki rządzonej przez wybrany w wolnych wyborach parlament stała się zaczynem zmian ustrojowych nie tylko w Europie. Inspiracje starożytnością klasyczną przenikały do wszystkich dziedzin aktywności społecznej, również do nauki i sztuki, nie wyłączając architektury. Ideolodzy rewolucji propagowali instytucję wielkich zgromadzeń i współuczestnictwa w masowych patriotycznych spektaklach, odwołując się do tradycji antycznych. Upatrywali w tym wzmocnienia więzi i świadomości społecznej. Wywoływali tym samym potrzebę tworzenia budowli spełniających takie funkcje.

W roku 1790, drugim roku Rewolucji Francuskiej, na Polu Marsowym w Paryżu powstał monumentalny obiekt widowiskowy – największa budowla tego typu wzniesiona w czasach nowożytnych. Powstała w związku z obchodami Święta Federacji. Było to wielkie pole otoczone trybunami o konstrukcji ziemnej. Pojemność widowni wynosiła około 400 tys. miejsc. Trybuny zbudowali mieszkańcy Paryża w czynie społecznym. O skali areny świadczy fakt, że zmieściła ona około 50 tys. reprezentantów nowo powstałych departamentów i Gwardii Narodowej, którzy w czasie ceremonii przysięgali, na oczach zgromadzonych tłumów, wierność nowej Konstytucji. Budowla ta odgrywała dla Paryża taką samą rolę jak *Circus Maximus* dla starożytnego Rzymu. W późniejszym okresie było to miejsce publicznych imprez o charakterze rozrywkowym i jako takie przetrwało do czasów II Cesarstwa (1852-1870).

Odpowiadając na nowe potrzeby społeczne, Ėtienne-Louis Boullée (1728-1799)

[18] Za: A. Basista, *Historia architektury od początków do końca XVIII wieku*, Politechnika Białostocka – Wydział Architektury, Białystok 2004, s. 30 i 142.

jeden z największych, obok Claude-Nicolas Ledoux, architektów francuskiego klasycyzmu, opracował na początku rewolucji kilka wizjonerskich projektów. Były to projekty monumentalnych obiektów użyteczności publicznej służących gromadzeniu się wielkich rzesz, takie jak gmach opery, muzeum, bazylika i wielki amfiteatr[19]. Na szczególną uwagę zasługuje ten ostatni, inspirowany zapewne rzymskim Koloseum. Według tego projektu widownia pomieścić miała 300 tys. widzów, była więc sześciokrotnie większa od widowni antycznego odpowiednika. W rzucie poziomym Boullée nadał, zarówno widowni jak i arenie, kształty idealnego koła. W związku z tym elewacja zewnętrzna tworzyła powierzchnię walca, a stopnie widowni były styczne do powierzchni regularnego stożka. Kołowy plan budowli zastosowany był z pewnością świadomie dla uzyskania równorzędności walorów użytkowych wszystkich miejsc w całym jej obrębie i podkreślenia równych praw wszystkich widzów.

Od końca XVIII wieku narasta krytyka niskich walorów użytkowych ówczesnych widowni teatralnych. Dotyczyła ona między innymi słabej widoczności przestrzeni scenicznej i nierównorzędnych warunków wizualnych i akustycznych cechujących poszczególne strefy widowni. Podejmowane były liczne próby reformatorskie. Pod koniec XVIII wieku architekci francuscy projektujący teatry szeroko stosowali wiedzę z dziedziny optyki i mieli świadomość dywergencji i konwergencji linii widzenia fokusu w obrębie sceny w zależności od aranżacji miejsc na widowni. Dzięki pracom m.in. Keplera, Descartes´a, Berkeley´a czy Newton´a wiedza o budowie i działaniu oka oraz zależnościach optyki i geometrii była dobrze rozpowszechniona. W roku 1782 Pierre Patte, asystent wielkiego nauczyciela architektury. Jacques-François Blondela, opublikował *Esej o architekturze teatru,* któremu nadał podtytuł: *O najnowocześniejszych rozwiązaniach budynków teatralnych zgodnie z zasadami optyki i akustyki.* W dziele tym stwierdził m.in.: *najlepszym i najbardziej naturalnym sposobem widzenia obiektu jest bez wątpienia taki, gdy patrzymy nań wprost bez potrzeby podnoszenia, obniżania lub obracania głowy, inaczej mówiąc, gdy promienie widzenia wpadają do oka prostopadle*. Architekt Claude-Nicolas Ledoux w projekcie teatru, zrealizowanym w latach 1775-1784, odchodzi całkowicie od sposobu kształtowania francusko-włoskiej opery i powraca do wzorców antycznych. Wprowadził on szereg rewolucyjnych rozwiązań dotyczących zwłaszcza widowni. Dotychczas miejsca siedzące przeznaczone były wyłącznie dla notabli, pozostali widzowie musieli oglądać spektakle na stojąco. Ledoux stworzył półkoliste wnętrze wypełnione trzypiętrową widownią, nawiązującą do starożytnego teatru greckiego czy rzymskiego – była to zapowiedź mających się wkrótce pojawić widowni balkonowych. Podłogę parteru pochylił w kierunku sceny i rozmieścił na niej szereg, prostoliniowych, prostopadłych do centralnej osi, rzędów z miejscami siedzącymi. Wiele źródeł bibliograficznych podaje, że teatr w Besançon jest pierwszym, w którym wprowadzona została zagłębiona fosa dla orkiestry. Nowe podejście Ledoux`a do rozwiązań widowni teatralnej jeszcze wyraźniej uwidacznia się w jego niezrealizowanym projekcie opery

[19] Największy rozgłos zyskał inny, nieomawiany tu, wizjonerski projekt Boullée, mianowicie wyprzedzający epokę *Cenotaf Izaaka Newtona*. Jest to obiekt w kształcie wydrążonej kuli o średnicy 150m, która osadzona została w walcowej podstawie. Z inżynierskiego punktu widzenia górna część jest cienkościenną, powłokową, sferyczną kopułą, opartą na masywnej podstawie z wydrążoną dolną połową kuli. Praca ta jest najbardziej reprezentatywnym przykładem stylu, określanego mianem *stylu geometrycznego.* Boullée pod koniec XVIII wieku propagował prekursorskie idee, które weszły do teorii architektury dopiero ponad sto lat później. Twierdził m.in., że forma architektoniczna powinna wynikać z funkcji i ją wyrażać, jak również, że nie potrzebne są jej ornamenty.

w Marsylii (1784). Innym ważnym dla nurtu reformatorskiego przykładem jest teatr Odeon w Paryżu. Jego budowę ukończono w roku 1783 według projektu Charlesa de Wailly i Marie-Josepha Peyre. Zastosowane przez tych architektów rozwiązania są bardzo podobne do tych z teatru Ledoux´a, z tą jednak różnicą, że linia rzędów na parterze ma kształt koncentrycznych łuków, a trzy piętra tworzą cofające się, nadwieszone częściowo nad siebie, balkony. Istotny wpływ na kształtowanie się nowych form budynku teatralnego miała też, zamykająca epokę Oświecenia, Rewolucja Francuska. W czasie jej trwania radykalnej zmianie uległ parter widowni. Miejsca stojące zamieniano wówczas powszechnie na siedzące. Programowo dążono do likwidacji dotychczasowego klasowego podziału widzów poprzez wyrównanie warunków, dobrej wizualnej i akustycznej percepcji, dla wszystkich miejsc widowni.

Musiało jednak minąć ok. sto lat od odkryć architektów neoklasycznych, działających u schyłku epoki Oświecenia by dojść mogło do wykształcenia współczesnej formy widowni teatralnej. W literaturze przedmiotu powszechnie wymienia się Teatr Festiwalowy w Bayreuth, który powstał około roku 1870 przy udziale Ryszarda Wagnera, jako budynek przełomowy, zmieniający dotychczasowe zasady kształtowania wnętrza teatralnego. Wagner domagał się od projektantów, by każdy widz mógł widzieć bez zakłóceń całą scenę. Wzniesiono go według projektu architekta Gottfrida Sempera (1803-1879), który to projekt był de facto adaptacją wcześniej opracowanej dokumentacji dla nigdy niezrealizowanego gmachu teatru w Monachium, również przygotowywanego do wystawiania oper wagnerowskich. Semper był kontynuatorem i realizatorem myśli Karola Fryderyka Schinkela (1781-1841), wybitnego architekta niemieckigo, który tworzył w nurcie antycznym i jako pierwszy projektując Teatr Dramatyczny w Dreźnie zaproponował widownię w postaci klina z greckiego *theatron.* Jest to pierwszy wzorzec zreformowanego budynku teatralnego – naśladowany przez budowniczych teatrów aż do połowy XX wieku. Główną innowacją była forma widowni, która nawiązywała zasadami do pierwowzorów antycznych, lecz jej kształt był jedynie wycinkiem koła wyznaczanym kątem środkowym wynoszącym ok.52°. Środek tego koła leżał w głębi sceny na głównej osi symetrii budynku, a łuk zewnętrzny kształtował linię lóż. Skrajne promienie określające boczne granice klinowego pola widowni były styczne do krawędzi portalu scenicznego. Wszystkie rzędy widowni były łukami współśrodkowymi z ogniskiem w wyżej opisanym punkcie. W związku z tym centralne linie widzenia każdego z 1645 miejsc skupiały się w jednym punkcie, leżącym w środku geometrycznym podłogi pudła scenicznego, i co najważniejsze pokrywały się z osiami siedzisk. Projektanci osiągnęli więc pełną konwergencję linii widzenia sceny i centralnych linii widzenia wyznaczanych orientacją osi siedziska. Było to osiągnięcie przełomowe w historii rozwoju współczesnej widowni teatralnej. Przyjęte zasady geometryczne powodowały, że poziome kąty widzenia pola przestrzeni scenicznej, definiowane rozpiętością portalu sceny, dla skrajnych (krytycznych) miejsc były zbliżone wartościami do osiąganych z miejsc centralnych. Pole pełnego widzenia podłogi sceny, tzn. takie, które widziane było bez zakłóceń ze wszystkich miejsc, miało kształt wycinka koła o tym samym co widownia kącie środkowym, jego najdalszy punkt wyznaczany był przez środek koła, a jego ograniczenie od strony widowni stanowiła linia punktów fokusu, będąca łukiem współśrodkowym z pozostałymi łukami układu geometrycznego. Nachylenie widowni wynosiło 1:3,8, co dawało kąt równy około 15**°,** połowę mniejszy niż w starożytności. Efektem tego musiało być znaczne przesuwanie się w głąb sceny linii fokusów dla dalszych rzędów.

Ważne dla rozwoju współczesnej widowni amfiteatralnej były, toczące się równocześnie do wyżej opisanych, wydarzenia

w Wielkiej Brytanii. Imperium Brytyjskie epoki wiktoriańskiej i rewolucji przemysłowej przeżywało wówczas wszechstronny rozkwit. W roku 1851 w *Crystal Palace,* ultranowoczesnej, wyprzedzającej epokę budowli ze szkła i żeliwa odbyła się wielka światowa wystawa demonstrująca potęgę monarchii. Jej propagandowy i finansowy sukces przyczynił się do powstania koncepcji zbudowania wielkiej sali koncertowej, której dla upamiętnienia imienia zmarłego męża Królowej Wiktorii nadano nazwę *The Royal Albert Hall*, Projekt wykonali królewscy inżynierowie Francis Fowke i Henry Y. D. Scott. Autorzy fascynowali się antycznym amfiteatrem i byli pod wpływem idei niemieckiego architekta Gottfrida Sempera, autora odrzuconej koncepcji nowego gmachu *South Kensington Museum*. Ówczesna prasa kojarzyła też projekt *Royal Albert Hall* z budzącym powszechne zainteresowanie budynkiem Cyrku Zimowego w Paryżu (*Cirque d'hiver,* 1852), zaprojektowanego przez architekta Jacquesa Hittorffa. Budowę rozpoczęto w roku 1867, a ukończono cztery lata później. Unikatowość budynku, funkcjonującego nieprzerwanie do dziś, polega na zastosowaniu obwodowej, amfiteatralnej widowni, otaczającej centralną arenę, jak w rzymskim Koloseum. Pojemność widowni obliczana była wówczas na ok. 8 tys. miejsc. Dzisiejsze przepisy bezpieczeństwa ograniczyły tę liczbę do ok. 6 tysięcy. Wnętrze ma kształt owalu o rozpiętości 67m wzdłuż osi długiej i 56m wzdłuż osi krótkiej. Owal areny mierzy podłużnie 31m, a poprzecznie 19m. Widownia składa się z czterech pięter i wieńczy ją galeria z miejscami stojącymi, która służyć też może jako pełne, obwodowe obejście. Na powierzchni areny ustawiane mogą być siedziska demontowalne. Nachylenia profilu widowni dolnej wynosi 19°, górnej zaś około 34°. Pomiędzy nimi zaprojektowano trzy poziomy lóż z płytkimi balkonami. Wnętrze przekryte jest lekką żebrową kopułą żeliwną[20], pokrytą szkłem, którą zaprojektował doświadczony konstruktor Rowland M. Ordish Wysokość od posadzki areny do najwyższego punktu kopuły wynosi ok. 41m. Po stronie południowej wycinek widowni usytuowany na centralnej osi pudłużnej wnętrza przeznaczono na miejsca dla chórów. W przestrzeń tę wkomponowano symetrycznie olbrzymie, drugie co do wielkości w Wielkiej Brytanii, organy. Poniżej zaaranżowano scenę i orchestrę mogącą pomieścić ok. tysiąc miejsc dla wykonawców. W pierwszych latach użytkowania problemem była zła akustyka wnętrza. Wpływ na nią miał, zbliżony do walcowego, kształt powierzchni ściany obudowującej wnętrze oraz kopułowe przekrycie. Dla złagodzenia efektu pogłosu, jeszcze przed oficjalnym otwarciem audytorium, pod jego kopułą zawieszony został lekki sufit *velariowy*. Trudno powiedzieć czy projektanci profilu widowni stosowali jakieś metody określania parametrów widoczności. Z analiz wykonanych przez autora niniejszej pracy wynika, że nominalne punkty fokusu, zarówno dla widowni dolnej jak i górnej, znajdują się niemalże w centrum areny. Dyskredytuje to arenę jako miejsce aranżacji przedstawień. Sytuacja normalizuje się jednak z chwilą umieszczenia fokusów w obrębie sceny. Wynika z tego, że mimo dośrodkowego układu widowni centralny punkt obserwacji znajduje się poza areną, lub na jej skraju, co wymaga od części widzów patrzenia ze skręconą głową.

Istotną rolę w rozwoju nowoczesnej widowni odegrali działający w Stanach Zjednoczonych architekci Louis Sullivan oraz jego partner Dankmar Adler. W latach osiemdziesiątych XIX wieku zaprojektowali oni *Auditorium Building* w Chicago

[20] Kopuły o podobnej rozpiętości stosowano już wówczas powszechnie do przekrywania teleskopowych zbiorników na gaz ziemny. W okresie tym właściwy zbiornik metalowy wbudowywany był w rotundę o średnicy dochodzącej do 60m, murowaną z cegły, z elewacją inspirowaną rzymskim Koloseum. W drugiej połowie XIX wieku większość dużych miast europejskich posiadało gazowy system oświetlenia ulic.

– wielofunkcyjny budynek w centrum miasta, w skład którego, oprócz powierzchni biurowej i hotelowej, wchodziła sala teatralna z dużą widownią i dobrze rozwiniętą sceną, zwana *Auditorium Theater*. Do ciekawostek należy fakt, że asystentem Sullivana w tym czasie był młody Frank Lloyd Wright, który zaczynał swoją karierę od praktyki w biurze projektowym *Adler&Sullivan*. Inwestor, którym był bogaty biznesmen o nazwisku Ferdinand Peck chciał stworzyć teatr dla masowego widza, konkurujący w ten sposób ze zbudowaną według tradycyjnych wzorców i otwartą dla elitarnej publiczności w roku 1883 *Metropolitan Opera House* w Nowym Jorku. Z tego też powodu życzył sobie, by widownia w jego teatrze pozbawiona była charakterystycznych prywatnych lóż, a za wzorzec stawiał architektom teatr Wagnera w Bayreuth z demokratyczną widownią. Budynek oddano do użytkowania w roku 1889, dziś należy on do Uniwersytetu im. Rosvelta. Pojemność widowni *Auditorium Theater* wynosiła wówczas 4200 miejsc. Ma ona w rzucie formę klina, zwężającego się w kierunku sceny, a kształt przestrzenny wnętrza sali kojarzono ze stożkiem tuby głośnikowej. Zmieszczenie tak dużej liczby widzów przy równoczesnym zachowaniu maksymalnego zasięgu widoczności, który wynosił ok. 55m, było możliwe jedynie dzięki rozwiązaniu trzypiętrowej widowni z zastosowaniem rzeczywistych balkonów o dużej głębokości. Przez rzeczywiste balkony należy rozumieć trybuny nasunięte w rzucie jedna nad drugą. Profil widowni dolnej zaprojektowano jako prostoliniowy ciągły-łamany z kątami nachylenia od 5° do 21°. Trzy balkony zaś miały profile prostoliniowe o nachyleniach: 27°, 35° i 41°, licząc kolejno od balkonu najniższego. Widownie wielkich stadionów osiągną podobną charakterystykę profilu dopiero w drugiej połowie XX wieku.

Na potrzeby niniejszej pracy historyczny przekrój podłużny teatru poddano analizom sprawdzającym w zakresie profilu widoczności. Okazało się, że fokus linii widzenia z najdalszych punktów oka na każdym z trzech balkonów znajduje się na krawędzi sceny i orchestry. Podobną charakterystykę mają też dwa najdalsze i najwyższe segmenty parteru. Analizę wykonano dla wysokości ocznej równej 120cm i przewyższenia linii widzenia Ca=12cm. Powyższe wyniki osiągane z punktów krytycznych każdej z rozpatrywanych widowni oznaczają, że przewyższenia dla rzędów położonych poniżej będą coraz większe w miarę obniżania numeracji rzędów. To zaś powodować będzie polepszanie się widoczności pola sceny. Analiza jest niepodważalnym dowodem na to, że architekci Adler i Sullivan posługiwali się przy tworzeniu widowni *Auditorium Theater* precyzyjnymi metodami projektowania profilu widowni z uwzględnieniem przebiegu linii widzenia i ich przewyższeń. Były to zapewne metody obliczeniowe. Z punktu widzenia analiz historycznych wielkie wrażenie robi również, niespotykane wcześniej, rozwiązanie pierwszego balkonu, który jest bardzo głęboki, gdyż liczy aż 26 rzędów, zrównując się niemalże z głębokością parteru. Nowością jest też dynamiczne, wspornikowe nadwieszenie nad pięcioma rzędami widowni dolnej. Mniej *czystymi* technicznie są rozwiązania pozostałych balkonów wiszących całą swoją powierzchnią nad balkonem pierwszym. Balkon drugi został podparty żeliwnymi, rurowymi słupami przenikającymi niżej położoną trybunę w połowie jej głębokości. Skutkiem tego jest zakłócenie pola widoczności dla tylnych rzędów tego balkonu. Nieco bardziej neutralna dla jakości widzenia jest koncepcja konstrukcyjna przyjęta dla balkonu najwyższego. Został on podwieszony do dźwigara dachowego za pomocą sztywnych cięgien o niewielkim przekroju poprzecznym, które przenikają trybunę na linii drugiego rzędu. Krawędź tylna trybuny opiera się na konstrukcji nośnej stropów budynku. Projektanci *Auditorium Theater* wprowadzili prekursorsko jeszcze wiele innych innowacji, które stały się wzorcami dla nowoczesnego kształtowania wnętrza teatralnego. Najważniejszy-

mi z nich były, skutecznie do dziś działające, podwieszone sufity akustyczne, elektryczne oświetlenie widowni i sceny, czy też, oparte na wykorzystaniu siłowników hydraulicznych, urządzenia podscenia i sznurowni. W roku 1888, na rok przed oficjalnym uruchomieniem audytorium, odbył się w nim historyczny Konwent Narodowy Partii Republikańskiej, który zgromadził około 6 tys. uczestników. W przestrzeń pudła scenicznego wbudowano wówczas kontrtrybunę, a centralną powierzchnią konwentu stało się proscenium. Była to zapowiedź wykształcania się na terenie Stanów Zjednoczonych nowego typu przestrzeni użyteczności publicznej, któremu później nadano nazwę *Convention Center.*

1.2. Definicja współczesnego stadionu

Stadiony I generacji

Współczesny sport wykształcił się na przestrzeni XIX wieku, a zasady i reguły większości popularnych dziś dyscyplin sportowych stworzone zostały w drugiej połowie tego stulecia. Wówczas też powstały pierwsze kluby sportowe i zrzeszające je związki – najpierw lokalne i krajowe, wkrótce po nich międzynarodowe. Jednym z czynników decydujących o dynamicznym rozwoju sportu i jego masowości były głębokie zmiany w strukturach społecznych i organizacji pracy, wywołane rewolucją przemysłową. Równocześnie pojawiły się pierwsze zawody, początkowo tylko krajowe, nieco później międzynarodowe – kontynentalne i interkontynentalne. W roku 1848 opracowano w Anglii zasady współczesnego futbolu, a pierwszy klub piłkarski powstał w roku 1863 (Sheffield FC). W podobnym czasie oficjalnie ukonstytuowały się pozostałe gry tzw. wielkiego pola, takie jak: rugby (1871), futbol australijski (1866), futbol amerykański (1867) i bejsbol (1871). Kolebką nowoczesnej lekkiej atletyki była również Anglia. Pierwsze krajowe mistrzostwa lekkoatletyczne Wielkiej Brytanii odbyły się w roku 1866. Równie dynamicznie jak wyżej wymienione sporty rozwijało się kolarstwo torowe. Pod koniec XIX wieku istniało już wiele welodromów, zarówno w Europie, jak i w Stanach Zjednoczonych. Na Wyspach Brytyjskich, kolebce piłki nożnej, funkcjonują dziś 82 ligowe kluby piłkarskie, aż 53 z nich powstało przed rokiem 1890. Początkowo kluby piłkarskie nie miały stałych siedzib. Wkrótce posiadanie gruntu i własnego, ogrodzonego boiska, umożliwiało wpuszczanie widzów i pobieranie opłat. W tym wczesnym okresie historii futbolu dwa elementy były punktami zwrotnymi decydującymi o jego błyskawicznej karierze. Pierwszy z nich to usankcjonowanie przez Związek w roku 1885 zawodowstwa – przyczyniło się to do znacznego podniesienia jakości gry. Drugi to wprowadzenie do rozgrywek systemu ligowego, dzięki któremu zapewniony był stały i intensywny rytm odbywania meczów, również w sezonie zimowym. Simon Inglis, brytyjski znawca futbolu i stadionów, autor wielu książek z tej dziedziny i publicysta, charakteryzując początki futbolu w wiktoriańskiej Brytanii, powiedział: *...Z czasem zaczęto budować stadiony, które przywiązywały ludzi do piłki. Przywiązanie do stadionu jest często większe od sympatii dla klubu lub zawodnika. Zawodnicy, bowiem przychodzą i odchodzą – to tylko wojownicy za pensje. Ale kibic zostaje z drużyną, której stałym elementem jest stadion. Prostokątny kawałek murawy to ich kościół, któremu oddają cześć*[21]. Stopniowo do boisk zaczę-

[21] Cytat pochodzi z dokumentalnego filmu pt. *Historia futbolu,* produkcja, scenariusz i reżyseria: Herewald Pelling, wydawca: Chris Roots, Fremantlemedia Enterprises Ltd.

to dobudowywać trybuny, prawdopodobnie wzorując się na trybunach znanych z torów wyścigów konnych. W pierwszej połowie XIX wieku wyścigi konne z przeszkodami były najpopularniejszym sportem w Wielkiej Brytanii, którego tradycja sięgała połowy poprzedniego wieku. Z licznych zachowanych rycin i obrazów z tamtych czasów wynika, że tory te np., w Newmarket, miały dobrze rozwinięte piętrowe trybuny dla publiczności. Zaczątkiem stadionu piłkarskiego były trybuny główne, które uzupełniano kolejnymi, doprowadzając stopniowo do pełnego domknięcia obwodu boiska. Na 87 funkcjonujących dziś dużych stadionów brytyjskich tylko 14 ma jednorodną architektonicznie formę. Pozostałe są konglomeratem różnych trybun, z których każda powstawała w innym okresie historycznym.

W roku 1872 odbył się pierwszy mecz międzynarodowy w piłce nożnej pomiędzy Szkocją i Anglią. Mecz zgromadził cztery tysiące kibiców. Rok wcześniej powołano do życia *Puchar Anglii*, w którym przez pierwsze dziesięć lat istnienia tych rozgrywek dominowały drużyny z południowej części wyspy, reprezentujące amatorski charakter futbolu klas wyższych. Historyczny przełom nastąpił w roku 1883, kiedy *Blackburn*, zespół reprezentujący robotników z przemysłowej północy, pobił *Eton*, drużynę absolwentów college´ów i uniwersytetów. Ujawniła się wówczas druga natura futbolu. Boisko piłkarskie stało się polem walki z podtekstem klasowym, a emocje na arenie i widowni wywołane były nie tylko grą w piłkę. Nieco później podobne wydarzenie miało miejsce w historii futbolu indyjskiego. W roku 1911 jedenastu bosych graczy *Mohun Bagan Ahletic Club* z Kalkuty pobiło drużynę angielskiego *Wschodniego Regimentu York Shear*. Na mecz przybyło sto tysięcy ludzi, z których większość meczu nie widziała, gdyż nie było tam stadionu. Wszyscy stali w ścisku. Wyniki ogłaszano przy pomocy gołębi pocztowych, odczytując co 5 minut relacje. Był to zwiastun niepodległości, symboliczne zwycięstwo, z którym utożsamiali się wszyscy zebrani, ale też i wszyscy, którzy się o nim od nich później dowiedzieli. Przedstawione przykłady wskazują na istotny dla popularności piłki nożnej aspekt psychologiczny. Polega on na utożsamianiu się pojedynczego kibica z grupą, a grupy z drużyną, reprezentującą ją w toczącej się wojnie. Zawsze występuje podział na *my* i *oni* – nasi przeciwnicy. Ewolucja wymienionych wyżej gier zespołowych wyłoniła stopniowo najwłaściwsze dla nich formy stadionów, które były przede wszystkim pochodnymi wielkości i kształtów poszczególnych boisk.

Równie istotny dla rozwoju współczesnego stadionu był akt wskrzeszenia idei Igrzysk Olimpijskich. Narodziny nowożytnego ruchu olimpijskiego stały się kluczowym momentem w popularyzacji i upowszechnianiu gier i sportów. W igrzyskach I Olimpiady w Atenach w 1896 r. uczestniczyło 295 sportowców z 13 krajów. Rozegrano 43 konkurencje w 9 dyscyplinach sportu. W ostatniej, XXIX Olimpiadzie w Pekinie, w roku 2008 udział wzięło 11526 zawodników reprezentujących 204 kraje. Rywalizowali oni w 302 konkurencjach w ramach 35 dyscyplin sportowych. Liczby te nabierają pełnego wydźwięku dopiero wtedy gdy zestawi się je z regulaminem Międzynarodowego Komitetu Olimpijskiego (MKOl), który mówi: *...Żeby dana konkurencja mogła być wpisana do programu olimpijskiego musi być powszechnie uprawiana w wielu krajach świata: dla konkurencji męskich – w co najmniej 75 krajach na 4 kontynentach, dla kobiecych – w co najmniej 40 krajach na 3 kontynentach.*

Trudne do przecenienia są też zasługi ruchu olimpijskiego dla rozwoju budownictwa i architektury sportowej, a w tej mierze dla rozwoju nowożytnego stadionu. Przyjęte przez MKOl zasady organizacyjne olimpiad, a zwłaszcza zasada przyznawania organizowania ich coraz to innym krajom, w połączeniu z wielkim prestiżem kolejnych olimpiad, przyczyniły się do powstania na całym świecie wielu kompleksów

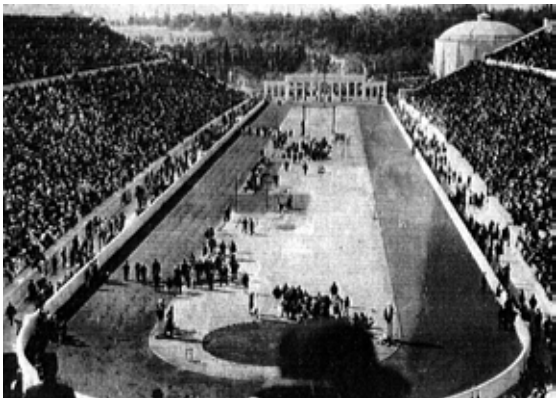
olimpijskich, stanowiących najwyższej jakości dzieła sztuki budowlanej i architektonicznej.

Ewolucja formy współczesnego stadionu olimpijskiego zaczęła się od adaptacji starożytnego stadionu, na którym około dwa tysiące lat wcześniej odbywały się Igrzyska Panateńskie. Odkryto go w połowie XIX wieku w Atenach, w pobliżu Akropolu. Jego historia sięga IV wieku p.n.e., a kształt, który odsłonił się archeologom nadany mu został przez Herodesa Atticusa w latach 140-144 n.e., który pierwotny stadion powiększył do pojemności ok. 50 tys. miejsc. Decyzja uczynienia zeń głównej areny pierwszych, oficjalnych, nowożytnych Igrzysk Olimpijskich miała znaczenie symboliczne. Organizatorzy nawiązali w ten sposób do antycznej tradycji igrzysk. Nie było wówczas zresztą żadnych innych wzorców areny i widowni, odpowiadających wymogom kształtujących się dopiero nowych dyscyplin olimpijskich. Ceremonia otwarcia odbyła się w obecności 70 tysięcy osób. W 2004 roku, kiedy olimpiada ponownie, po ponad stu latach, zagościła w Atenach, na stadionie tym odbyły się zawody łucznicze oraz start i finał biegu maratońskiego. Historyczny stadion odegrał więc po raz kolejny czynną rolę – tym razem w XXVIII już Igrzyskach Olimpijskich. Stadion drugiej Olimpiady przeprowadzonej w Paryżu (1900) był de facto zaadaptowanym na czas igrzysk welodromem. Arena *White City Stadium*. stadionu olimpijskiego czwartych z kolei igrzysk w Londynie(1908) mieściła tor kolarski, bieżnie lekkoatletyczne, boisko do rugby i zespół basenów pływackich. Tak bogaty zestaw funkcji powodował, że musiała być ona bardzo rozległa, a okalająca ją widownia przeznaczona dla 68 tys. widzów przekraczała dzisiejsze normy zasięgu widoczności. Niemniej jednak, stadion londyński uważany jest za pierwszy stadion nowej ery. Tory kolarskie obecne były na arenach stadionów olimpijskich aż do roku 1928, czyli do olimpiady w Amsterdamie.

Stadiony II generacji

Proces formowania się kształtu i wielkości areny stadionu olimpijskiego trwał ok. 40 lat, a zakończyła go budowa stadionu olimpijskiego w Berlinie (1936)[22]. Polegał on na ustalaniu się rodzaju dyscyplin sportowych i ich zasad właściwych do rozgrywania na arenie głównego obiektu igrzysk. Ostatecznie pole areny przybrało kształt pochodny od owalu bieżni lekkoatletycznej, która z kolei spełniając warunek czterystumetrowej długości torów, odpowiedniej długości prostych i promieni łuków musiała zmieścić wewnątrz swojego obrysu normatywne boisko piłkarskie. Linia zewnętrzna areny z kolei wyznaczyła kształt dolnej widowni. Górne obrysy widowni natomiast ustalane były granicami zasięgu dobrego widzenia. Zasady te określiły kanon formy architektonicznej stadionu olimpijskiego na następne czterdzieści lat. Były to stadiony całkowicie otwarte, na których dach pojawiał się na niewielkich fragmentach widowni. Wykorzystywane były zarówno ziemne konstrukcje widowni jak i wsparte na szkieletowym ustroju nośnym, głównie żelbetowym. Powszechną zasadą było stosowanie ciągłych układów ław bez oparć – była to najprostsza forma zapewnienia miejsc na widowni. Na tym tle miało miejsce jedno z nakważniejszych wydarzeń w historii współczesnego stadionu. Było to powstanie w Rio de Janeiro, legendarnego dziś stadionu piłkarskiego, *Estádio Jornalista Mário Filho* – który później przyjął popularną nazwę *Estádio do Maracanã* lub po prostu *Maracana*. Kamień węgielny wkopano w roku 1948. Otwarcie stadionu nastąpiło już w roku 1950, pięć lat po

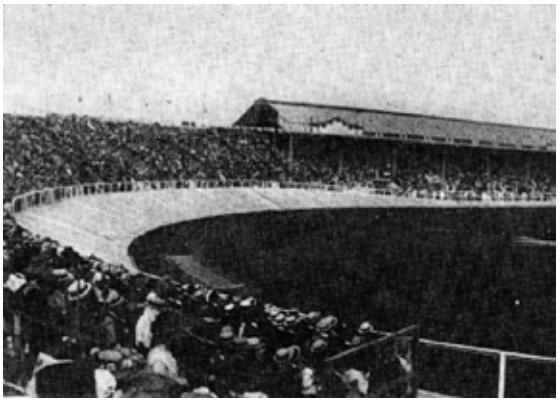
[22] Wcześniej, bo w 1932, powstał Stadion Olimpijski w Los Angeles z imponującą misą widowni dla 105 tys. widzów. Jego arena mieściła klasyczną czterystumetrową bieżnię, była jednak znacznie bardziej obszerna niżby to wynikało z potrzeb bieżni. Ponadto widownia nie zamykała się na pełnym obwodzie, miała formę podkowy domknietej wieżą zegarową z zespołem arkad.



Fot. 1-4. (po lewej) Ceremonia otwarcia I Nowożytnych Igrzysk Olimpijskich – Ateny (1896). Zawody odbyły się na częściowo zrekonstruowanym antycznym *Stadionie Panateńskim* (IVw.p.n.e., II w.n.e.), który zapoczątkował ewolucję architektonicznej formy współczesnego stadionu.

Foto: http://www.olympic.org,2006.

Fot. 1-5. (po prawej) *Stadion Panateński*, Ateny – zdjęcie satelitarne przedstawiające obecny stan stadionu i jego otoczenie. *Foto: Google Earth, 2006.*



Fot. 1-6. (po lewej) *Stadion Olimpijski,* Londyn (1908*)*. Jeden z pierwszych stadionów nowożytnych. Rozległa arena mieściła oprócz bieżni, rzutni i skoczni lekkoatletycznych, także baseny pływackie i na styku z widownią, tor kolarski.

Fot. 1-7. (po prawej) *Stadion Olimpijski,* Amsterdam (1928). Przykład dobrze rozwiniętej formy stadionu pierwszej generacji. Ostatni historyczny przypadek obecności w obrębie areny toru kolarskiego.

Foto: 1-6 i 1-7 reprodukcja – za M. Wimmer, Olympic Buildings, Edition Leipzig, 1976, s. 93, 98.

Fot. 1-8. *Los Angeles Memorial Coliseum***,** Los Angeles (1923) – stadion olimpijski (1932, 1984). Jeden z nielicznych stadionów na terenie Stanów Zjednoczonych z widownią o profilu krzywoliniowym i łukowym układzie rzędów. Pierwotna pojemność widowni wynosiła ok. 100 tys. miejsc (1932). Zdjęcia pokazują dwie funkcje areny – lekkoatletyczną (po lewej) i piłkarską (po prawej).

Foto: reprodukcja – za M. Wimmer, Olympic Buildings, Edition Leipzig, 1976, s. 99.

Fot. 1-9. Stadion *Maracana (Estadio Jurnalista Mario Filho),* Rio de Janeiro, Brazylia (1950). Zespół siedmiu brazylijskich architektów, działając w trudnych latach tuż po zakończeniu II Wojny Światowej, stworzył pierwszą nowoczesną formę wielkiego stadionu piłkarskiego. Monumentalny stadion *Maracana* szybko stał się symbolem potęgi brazylijskiego i światowego futbolu. Do dziś po wszystkich kontynentach krążą legendy o jego gigantycznej widowni- według źródeł historycznych rekordowa frekwencja wyniosła 200 tys. widzów. *Foto: http://www.suderj.rj.gov.br/maracana.asp.*

Fot. 1-10. *Azteca Stadium,* miasto Meksyk (1968). Po dwudziestu latach jakie upłynęły od otwarcia stadionu *Maracana,* powstało prekursorskie rozwiązanie stadionu piłkarskiego. Ustaliło ono kanony projektowe, które stały się dzisiaj, na początku wieku XXI, powszechnie obowiązującymi. Najistotniejszymi z nich były: zupełnie nowe zasady kształtowania poziomej i pionowej geometrii widowni, widownia specjalna złożona z dwóch poziomów lóż rozlokowanych na całym obwodzie stadionu oraz dach osłaniający 80% widowni.

Foto: reprodukcja – za M. Wimmer, Olympic Buildings, Edition Leipzig, 1976, s. 120.

zakończeniu II wojny światowej. Był on główną areną, organizowanych przez FIFA, Mistrzostw Świata w Piłce Nożnej – 1950. Dokumentacja projektowa powstawała w pierwszych latach powojennych, odpowiadało za nią siedmiu brazylijskich architektów: Miguel Feldman, Waldir Ramos, Raphael Galvão, Oscar Valdetaro, Orlando Azevedo, Antônio Dias Carneiro oraz Pedro Paulo Bernardes Bastos. Według źródeł historycznych w czasie meczu finałowego na trybunach znajdowało się blisko 200 tys. kibiców. Jest do dziś dnia największym stadionem Ameryki Południowej. Zespół projektantów stworzył bardzo nowoczesną, jednorodną, żelbetową formę architektoniczną. Rzut poziomy widowni jest owalem o kształcie zbliżonym do koła. Taką też formę ma obrys areny z wpisanym weń prostokątem boiska. Niemalże idealnie radialny charakter widowni daje w wyniku koncentryczny układ linii widzenia i bardzo ergonomiczne poziome kąty widzenia. Skutkiem ubocznym takiego rozwiązania jest, co prawda, zwiększenie odległości trybun od linii bocznych boiska, które ma miejsce zwłaszcza w rejonie osi głównych stadionu, ale w zamian uzyskuje się duże przewyższenia linii widzenia przy stosunkowo łagodnych kątach nachylenia widowni. Na całym obwodzie zastosowano jednorodny, dwupiętrowy prostoliniowy, profil łamany. Wnętrze stadionu domknięto wizualnie i akustycznie poziomym pierścieniem zadaszenia, przekrywającym najwyższe rzędy trybun. Nowością architektoniczną był także system zewnętrznych dróg komunikacji w postaci wielkich pochylni o łagodnym nachyleniu, dostosowanym do wymogów ruchu pieszego wielkich mas użytkowników stadionu.

Stadiony III generacji

Wielkie zmiany przyniósł przełom lat sześćdziesiątych i siedemdziesiątych. Jedną z nich była realizacja *Azteca Stadium*, na którym rozgrywane były mecze piłkarskie w czasie Igrzysk Olimpijskich w Meksyku (1968). Otwarcie stadionu nastąpiło dwa lata wcześniej, w roku 1966. Zaprojektowali go architekci Pedro Ramirez Vázquez i Rafael Mijares Alcérreca. Widownia zapewnia 105 tys. miejsc siedzących, co sprawia, że jest to jeden z największych stadionów świata. Rozwiązania zastosowane przy kształtowaniu widowni wyprzedziły o prawie pół wieku czasy im współczesne[23]. Profil widowni składa się z czterech pięter o układzie balkonowym. Nachylenia widowni górnej, charakteryzującej się profilem prostoliniowym, wynoszą od 35º do 38º. Jest to pierwszy stadion, który tak wcześnie dysponował na całym obwodzie zespołem indywidualnych lóż z apartamentowymi zapleczami, które stały się powszechne na stadionach nowo realizowanych pod koniec XX wieku. Kolejną nowością jest wspornikowe zadaszenie o wysięgu 50m, osłaniające ok. 80% powierzchni widowni na całym jej obwodzie. Rzut widowni odzwierciedla swym kształtem boisko. Jest to owal zbliżony formą do prostokąta, trybuny boczne i zabramkowe mają łagodne łuki, które łączą się w rejonie narożników pola gry w pełny obwód za pośrednictwem trzeciego rodzaju łuku o relatywnie małym promieniu. Przyjęta przez projektantów formuła poziomej geometrii widowni powoduje dośrodkowe nakierowanie centralnych linii widzenia z każdego miejsca całej widowni, przy równoczesnym znacznym jej zbliżeniu do areny.

[23] Architektem odpowiedzialnym za profil widowni, a co za tym idzie za parametry widoczności był Luis Alvarado Escalante, który opisał zastosowane metody projektowe w książce p.t.: *Isopticas. Tecnica en el proyecto de optima visibilidad para espectadores*. Książkę tę wydano w dwóch tomach w Meksyku w latach 1971 i 1973.

Drugim przełomowym fenomenem była realizacja kompleksu *Stadionu Olimpijskiego* w Monachium (1972), głównego stadionu XX Olimpiady. Całe założenie tzw. *Olimpiapark,* ze stadionem dla ok. 70 tys. widzów, wielofunkcyjną halą o pojemności 14 tys. miejsc oraz krytymi basenami i krajobrazowym parkiem, było na tamte czasy rozwiązaniem rewolucyjnym. Unikalny architektoniczny charakter całemu założeniu nadała nowatorska, niezwykle lekka, cięgnowo-namiotowa konstrukcja zadaszenia z całkowicie przezroczystym pokryciem, które rozpięte na kilkunastu masztach jest rozpostarte nad terenem jak pajęczyna, przy okazji przekrywając zachodnią widownię stadionu, halę, basen i przestrzenie otwarte pomiędzy nimi. Autorami projektu są: architekt Günter Behnisch i konstruktor Frei Otto. Swoją koncepcję architektoniczną Behnisch uzasadniał chęcią stworzenia kompozycji symbolizującej nowe, demokratyczne i optymistyczne Niemcy, kompozycji która mogłaby stanowić kontrapunkt do Olimpiady z roku 1936 w Berlinie, przeprowadzonej w czasach nazistowskich. Walorem wnętrza stadionu są dalekie krajobrazowe otwarcia widokowe na wzgórze parkowe i panoramę pozostałych obiektów zespołu. Dzięki temu obserwator siedzący pod opisanym wyżej imponującym przekryciem może śledzić jego *wędrówkę* w przestrzeni, aż do odległych punktów pola widzenia. Jest to rzadkie w architekturze stadionowej rozwiązanie, o znamionach kojarzących się z antycznymi teatrami greckimi. Warto w tym miejscu nadmienić, że *Stadion Śląski* w Chorzowie, powstały około dwadzieścia lat wcześniej, należy do tej samej kategorii stadionów. Walory te należy tym mocniej podkreślić, że dalsza ewolucja form architektonicznych współczesnych stadionów doprowadziła do całkowicie odmiennej formuły przestrzennej, polegającej na tworzeniu wnętrz zamkniętych, jak w starożytnym teatrze rzymskim czy Koloseum. Najbliższym terytorialnie tego przykładem jest *Allianz Arena* powstała w 2004 roku na obrzeżach Monachium. Widownia *Olimpiastadion* jest prawdopodobnie ostatnią ze zrealizowanych tak dużych widowni o profilu krzywoliniowym, tzw. profilu idealnym[24]. Dzięki temu ma ona charakterystyczny kształt misy, zanikający w rozwiązaniach najnowszych stadionów. Konstrukcję trybun wschodnich oparto na nasypie i częściowo wykopie ziemnym. Jest to żelbetowa, odwodniona płyta fałdowa, wykształcająca bardzo precyzyjny profil. Linie poszczególnych rzędów są idealnymi łukami. Jest to rozwiązanie podobne do zastosowanego w Chorzowie, z tą jednak różnicą, że tam przyjęto linię rzędów jako linię złożoną z odcinków prostych wpisanych w łuk. Widownia wschodnia natomiast wykorzystuje szkieletowy, żelbetowy ustrój konstrukcji wsporczej, na którym opierają się prefabrykowane elementy formujące schodkową powierzchnię trybun. Determinacja projektantów w utrzymaniu idealnej geometrii łukowej w rzucie poziomym była tak duża, że poszczególne prefabrykaty wykonane były jako odcinki łuków. Jest to prawdopodobnie jedyny taki przypadek w historii budownictwa stadionowego. Z uwagi na komplikacje technologiczne prefabrykaty stopni trybun wykonuje się powszechnie jako prostoliniowe, a łukowy kształt widowni uzyskuje się przez odpowiednie ułożenie ich na podporach w linii wielokrotnie łamanej. Kolejnym, niezwykle wyrafinowanym technicznie rozwiązaniem było takie zaprojektowanie przekroju poprzecznego prefabrykatu, że jeden typ elementu umożliwiał tworzenie profilu krzywoliniowego. Trudność w tym wypadku wynika stąd, że w profilu krzywoliniowym wysokość stopnia trybun jest zmienny i musi się zwiększać systematycznie w miarę przybywania rzędów.

[24] Wyjątkiem może tu być widownia zachodnia *Stadionu Śląskiego* w Chorzowie, zmodernizowana w latach 1994-1997 z zachowaniem pierwotnego profilu krzywoliniowego.

Fot. 1-11. *Olimpiapark* – kompleks obiektów XX Olimpiady w Monachium (1972). Rewolucyjne rozwiązanie architektoniczne, możliwe do zrealizowania dzięki wyprzedzającej epokę konstrukcji z zastosowaniem cięgnowych przekryć dachowych i całkowicie przeźroczystego poszycia.
Foto: www.olympiapark-muenchen.de.

Fot. 1-12. *Stadion Olimpijski* w Montrealu (1976, 1986). Śmiała koncepcja otwieranego nad areną przekrycia – podwieszonego na kablach nośnych do wierzchołka wieży (175m). Otwieranie dachu odbywało się poprzez podciąganie *kevlarowej* membrany po linach nośnych do góry i magazynowanie jej w szczycie wieży. Stadion przeszedł do historii architektury jako arcydzieło żelbetowej architektury organicznej. *Foto: zdjęcie satelitarne, Google Earth, 2008.*

Fot. 1-13. Przykładowe stadiony z terenu Stanów Zjednoczonych reprezentujące nurt uproszczonych, graniastych form przestrzennych, wykorzystujących wielopiętrowe widownie prostokreślne o profilach prostoliniowych. Główną motywacją stosowania takich rozwiązań były względy ekonomiczne i łatwość realizacji. Charakterystycznym dla tych aren elementem są pochylnie – zastępują one schody, uznane za niebezpieczne podczas ewakuacji i przy masowym ruchu widzów.
Foto: http//www.ballparks.com,2007.

Kolejnym wydarzeniem był projekt *Stadionu Olimpijskiego* dla Montrealu, autorstwa francuskiego architekta Rogera Tailliberta. Niemal równo z zakończeniem igrzysk w Monachium pojawiła się równie śmiała, choć oparta na zupełnie innych zasadach, koncepcja wielkiego stadionu. Taillibert wykorzystał w niej z pewnością doświadczenia z realizacji żelbetowej, bardzo charakterystycznej, konstrukcji stadionu *Parc de Prince* w Paryżu (1972). Nowością była idea lekkiego, otwieranego zadaszenia nad areną, wykorzystującego tkaninę techniczną z syntetycznych włókien z kevlaru. Membrana zadaszenia podwieszona była za pomocą cięgien linowych do wysokiej na 175m pochyłej wieży. Przekrycie tkaninowe podciągano do góry, aż do wierzchołka wieży, gdzie go magazynowano. Był to system, który umożliwiał zmianę wnętrza stadionu z otwartego, z dostępem do nieboskłonu, na całkowicie zamknięte wnętrze halowe. Podobną zasadę zastosowano powtórnie blisko trzydzieści lat później w rozwiązaniu przekrycia nad stadionem piłkarskim we Frankfurcie (2004). Arenę i widownię zaprojektowano w sposób umożliwiający rozgrywanie zarówno meczów bejsbola, przy widowni liczącej 44 tys. miejsc, jak i meczów piłkarskich z trybunami dla 66 tys. widzów. Stadion z charakterystyczną wieżą i halą velodromu uważany jest za arcydzieło nowoczesnej architektury organicznej. Jego spójna forma kojarzy się z konstrukcjami spotykanymi w świecie organizmów żywych. Podobne cechy uwidoczniły się w latach dziewięćdziesiątych XX wieku w dziełach, znacznie młodszego od Tailliberta, hiszpańskiego architekta Santiago Calatravy. Wiele przyczyn wpłynęło na to, że w momencie otwarcia olimpiady w roku 1976 wieża i ruchoma część dachu nie były gotowe, a całkowite zakończenie budowy nastąpiło dopiero dziesięć lat później. Nie zmienia to jednak faktu, że obiekt ten przeszedł trwale do historii architektury jako jeden z najważniejszych stadionów drugiej połowy XX wieku.

Kolejne pięć olimpiad, które odbyły się w Moskwie (1980), Los Angeles (1984), Seulu (1988), Barcelonie (1992) i Atlancie (1996) i obieły okres dwudziestu lat, niewiele wniosło do rozwoju architektury wielkich stadionów. Wyjątek stanowi tu, powstały w roku 1992, wykorzystany jako stadion pomocniczy Igrzysk w Atlancie obiekt Georgia Dome,. Jest to jedno z największych funkcjonujących obecnie na świecie wnętrz przekrytych zadaszeniem bez podpór pośrednich. Jego rzut poziomy jest prostokątem o wymiarach 227m×185m i mieści widownię o pojemności 72 tys. miejsc i arenę z boiskiem do futbolu amerykańskiego. Na szczególną uwagę zasługuje unikalna konstrukcja dachu, która jest lekkim ustrojem cięgnowym typu kopuła tensegrity, przekrytym przepuszczającą światło membraną z tkaniny technicznej na osnowie z włókna szklanego, z wierzchnią warstwą z teflonu (PTFE). Powierzchnia połaci dachowej wynosi około 35 tys. m². Wysokość w najwyższym miejscu kopuły osiąga 82m.

Stadiony IV generacji

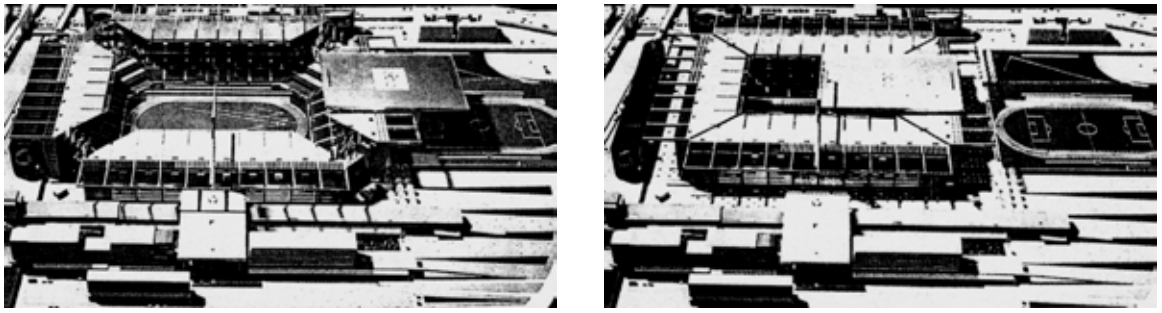
Po serii katastrof na stadionach angielskich, które wydarzyły się w latach osiemdziesiątych, rząd Wielkiej Brytanii powołał komisję śledczą dla zbadania ich przyczyn i określenia sposobu poprawy bezpieczeństwa na stadionach. Prace komisji rozpoczęły się 15 kwietnia 1989 roku, bezpośrednio po wypadkach na stadionie *Hillsborough*, których skutkiem było 96 ofiar śmiertelnych. Raport końcowy tej komisji, tzw. *Raport Taylora,* opublikowany był w 1990 roku. W wyniku ustaleń tego dokumentu w Wielkiej Brytanii podjęto gruntowną przebudowę wszystkich stadionów, oraz wprowadzono szereg regulacji prawnych i organizacyjnych, zawartych w kodeksie, znanym pod nazwą *Green Guide*, których celem było zwiększenie bezpieczeństwa imprez sportowych. W ślad za Wielką Brytanią poszły inne kraje europejskie oraz UEFA i FIFA. W ramach działań

tych ostatnich opracowane zostały wytyczne i zalecenia dla nowo projektowanych i modernizowanych stadionów piłkarskich. Później nieco, Europejski Komitet Normalizacyjny opublikował normę europejską EN 13200 1:2003 dotyczącą projektowania widowni na stadionach, którą do chwili obecnej przyjęło większość krajów europejskich. W ciągu dekady 1990-2000 nastąpiło gwałtowne przeobrażenie istniejących stadionów i budowa wielu nowych według nowych zasad. Podstawową zmianą było obligatoryjne wprowadzenie, numerowanych, indywidualnych siedzisk z oparciami, ustalenie wymaganych bezpieczeństwem przestrzeni umożliwiających prawidłową ewakuację oraz zakaz stosowania trybun z miejscami stojącymi w czasie meczów najwyższej rangi, zarówno międzynarodowej, jak i krajowej. Bezpieczeństwo i komfort widza stały się podstawową wytyczną dla projektantów i realizatorów obiektów sportowych.

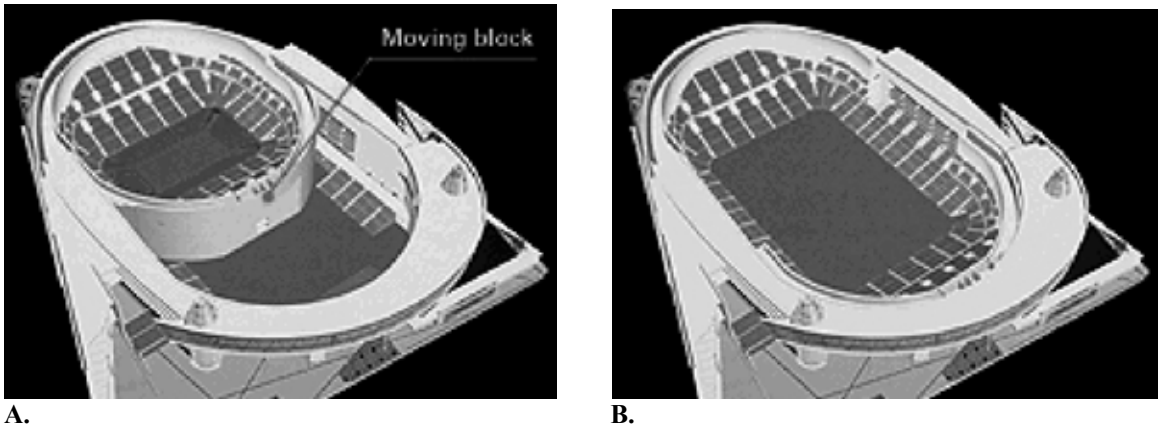
Jednym z nurtów wyraźnie widocznym w rozwoju najnowszych stadionów, jest poszukiwanie rozwiązań stadionów wielofunkcyjnych elastycznych, tzn. takich, które mogą przystosowywać swoją arenę i widownię do różnych funkcji. Najczęściej chodzi o zmianę z funkcji piłkarskiej na lekkoatletyczną. Dobrym przykładem jest tu *Narodowy Stadion Francji* (*Stade de France*) w Paryżu. Impulsem do realizacji tego obiektu było przyznanie Francji roli gospodarza Mistrzostw Świata w Piłce Nożnej *Francja 1998.* W związku z tym na początku lat dziewięćdziesiątych przeprowadzono dwuetapowy konkurs architektoniczny, który wyłonił projekt, skierowany następnie do realizacji. W pierwszym etapie konkursu złożono zostało siedemnaście prac, z których do etapu drugiego wybrano dwa projekty. Autorem jednej z koncepcji był znany francuski architekt Jean Nouvel. Zaproponował on rewolucyjne rozwiązanie, inspirowane, opisaną wcześniej, sprawdzoną w praktyce ruchomą trybuną *Mile High Stadium* w Denver. Novel poszedł w swoim rozwiązaniu dalej, gdyż zaprojektował stadion składający się z czterech ruchomych budynków z trybunami i ruchomego dachu areny. Maksymalną wielkość areny mieszczącej bieżnię lekkoatletyczną uzyskiwano przez rozsunięcie wszystkich trybun na zewnątrz. Po zsunięciu ich natomiast do środka powstawał stadion piłkarski o rzucie prostokąta. Bardzo ciekawa idea wykorzystana została w rozwiązaniu ruchomego dachu areny. Cały dach wysuwany był na zewnątrz stadionu, by w tej pozycji przekrywać boisko treningowe. Sąd konkursowy wybrał jednak do realizacji drugi wyróżniony projekt, jako tańszy i łatwiejszy w eksploatacji. Była to praca czterech francuskich architektów tworzących zespół, w skład którego wchodzili: Michel Macary, Aymeric Zubléna, Michel Regembal i Claude Constantini. Zrealizowana koncepcja wyróżnia się unikalną formą i konstrukcją dachu, który jest wielkim płaskim dyskiem, sięgającym daleko poza obrys zewnętrzny widowni. Zawieszono go za pośrednictwem wiotkich cięgien na zaledwie dwudziestu słupach nośnych. Problem zmienności wymiarów areny i widowni rozwiązano w prostszy sposób niż zrobił to Novel. Mobilność ograniczono bowiem tylko do rzędów widowni dolnej. Dziesięć segmentów tej widowni można poddawać przemieszczeniom. Każdy segment waży ok. 700 ton. Przekształcanie widowni polega na opuszczaniu jej górnych rzędów w dół o 15m do znajdujących się pod nimi komór magazynowych. Na ich miejsce nasuwane są moduły stanowiące najniższe rzędy trybun, a to powoduje niezbędne poszerzenie pola areny i odsłonięcie bieżni lekkoatletycznej. Wielkość poziomego przesunięcia wynosi 15m. Cała operacja zmiany funkcji areny odbywa się w ciągu 80 godzin. Paradoksalnie, mimo zalet wynikających z technicznej prostoty, rozwiązanie ma wadę, która polega na redukcji miejsc w wyniku przejścia na funkcję lekkoatletyczną. Maksymalna pojemność *Stade de France* wynosi 80 tys. miejsc siedzących.

W Japonii, w miejscowości Saitama w roku 2000 oddano do użytkowania nie-

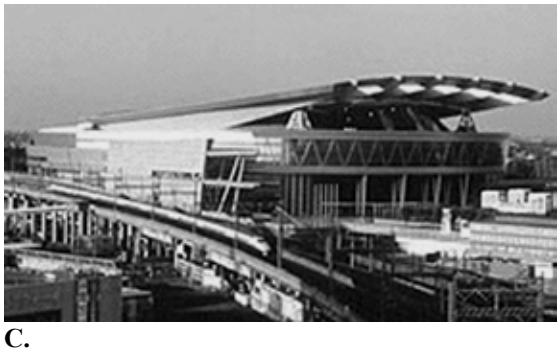
Fot. 1-14. *Stade de France,* Paryż (1998). Realizacja pierwszej nagrody w konkursie architektonicznym na *Narodowy Stadion Francji*. Unikalna forma i konstrukcja dachu zawieszonego na dwudziestu słupach nośnych – równoważona zewnętrznymi odciągami kablowymi. *Foto: reprodukcja z broszury promocyjnej Komitetu Organizacyjnego MŚ – FIFA, Francja 1998.*



Fot. 1-15. Druga nagroda w konkursie architektonicznym na projekt *Stadionu Narodowego Francji*, Saint Denis, Paryż, architekt Jean Nouvel (1994). Koncepcja przekształcalnego stadionu z ruchomymi trybunami i ruchomym dachem areny, jako odpowiedź na wymogi piłkarskich i lekkoatletycznych funkcji stadionu.
Foto: http://www.jeannouvel.com.



A. **B.**



C.

Fot. 1-16. *Saitama Super Arena,* Saitama, Japonia (2000). Wielofunkcyjny stadion halowy, ze stałym dachem i ruchomym blokiem trybun.

A. – Aranżacja dla gier małego pola (piłka ręczna, koszykówka, siatkówka, tenis); pojemność widowni ok. 20 tys. miejsc. **B.** – Aranżacja dla gier dużego pola (piłka nożna, futbol amerykański); pojemność widowni ok. 27 tys. miejsc. **C.** Widok od strony wejścia głównego.
Foto: www.saitama-arena.co.jp.

zwykły obiekt widowiskowy *Saitama Super Arena*. Jest to wielofunkcyjny całkowicie przekryty stadion halowy o powierzchni ok. 132 tys. m², który ma zdolność funkcjonalnego przekształcania się. W ciągu dwudziestu minut można zmienić wnętrze z pełnowymiarowym boiskiem piłkarskim i widownią dla 27 tys. miejsc w halę bardziej kameralną z polem do piłki ręcznej, koszykówki lub siatkówki i trybunami dla 20 tys. widzów. Pozostała powierzchnia hali może być wykorzystywana w tym czasie jako foyer dla publiczności lub dla innych funkcji, m.in. sportowych. Zastosowano tu system przesuwnego modułu, składającego się z widowni o pojemności ok. 9 tys. miejsc, zewnętrznej ściany obudowującej i zadaszenia, który wstawiony w znacznie większą kubaturę, również przekrytą stałym zadaszeniem, może się przesuwać liniowo o dystans 70m. Rzut modułu ma kształt odcinka koła o cięciwie równej 126m i głębokości 70m, a jego wysokość wynosi 42m. Cały moduł przestrzenny waży ok. 15 tys. ton i przesuwany jest po prowadnicach za pośrednictwem systemu rolkowego.

W roku 2008 istniało na świecie 115 dużych stadionów, których całe widownie lub widownie i areny przekryte były dachem. Aż 40% z nich należy do drugiej grupy, którą można określić mianem stadionów halowych, pozostałe 60% to obiekty z dachem obwodowym, najczęściej o konstrukcji wspornikowej, osłaniającym samą tylko widownię. Stadiony halowe dzielą się na dwa rodzaje, z dachem stałym oraz z dachem ruchomym, pozwalającym na otwieranie wnętrza. Wszystkie te rodzaje, z uwagi na konstrukcję, można podzielić na dachy typu lekkiego i typu ciężkiego. Z architektonicznego punktu widzenia najbardziej interesująca jest kategoria pierwsza, zwłaszcza gdy poszycie realizowane jest z materiałów przeźroczystych lub częściowo przepuszczających światło. Przykładem takiego rozwiązania jest stadion Arena auf Schalke (Veltins Arena) w Gelsenkirchen. Stadion otwarto dla publiczności w roku 2001. Projekt wykonało biuro architektoniczne Hentrich, Petsching und Partner. Maksymalna pojemność widowni wynosi ok. 61 tys. miejsc, w tym 54 tys. miejsc siedzących. Konstrukcję dachu stanowi stalowa struktura przestrzenna pokryta półprzeźroczystą membraną PTFE. Wymiary obiektu w obrysie zewnętrznym wynoszą 225m×187m. Środkowa część dachu, odpowiadająca geometrii boiska piłkarskiego może być otwierana. Zastosowano tu rozwiązanie w postaci dwóch symetrycznych klap zsuwanych na zewnątrz w kierunku prostopadłym do podłużnej osi obiektu. Operacja rozsunięcia lub zamknięcia dachu zajmuje zaledwie pół godziny. Przejrzystość poszycia dachowego pozwala na funkcjonowanie areny bez wspomagania światłem sztucznym, nawet w pochmurny dzień. Zaletą tego poszycia jest równomierność natężenia światła w całym wnętrzu oraz wyeliminowanie olśnień i światłocienia, czyli komfortowe i równorzędne warunki dla wszystkich miejsc na widowni. Poza tym cechy te dają jeszcze jeden ważny efekt psychologiczny, mianowicie odczucie lekkości, wręcz wizualnej dematerializacji konstrukcji zadaszenia. W środku geometrycznym wnętrza, 25m ponad powierzchnią areny, do konstrukcji dachu podwieszono tzw. *videocube*, składający się z czterech ekranów umożliwiających wyświetlanie obrazu telewizyjnego, każdy o powierzchni 35m². Było to pierwsze tego typu rozwiązanie zastosowane na dużych stadionach.

Stadion w Gelsenkirchen jest ważny również z innego powodu. Zastosowano tu mianowicie ruchomą płytę boiska, która wysuwana jest całkowicie na zewnątrz stadionu, gdzie eksponowana jest na działanie naturalnych warunków atmosferycznych. Cała procedura trwa około czterech godzin. Projektanci i inwestor poszli tu śladem stadionu *Gelredome* w Arnhem (Holandia), gdzie ruchomą płytę boiska zrealizowano pioniersko już w roku 1998. Oprócz wymienionych istnieją jeszcze dwa inne stadiony, na których wykorzystywano podobne rozwiązanie. Należą do nich

Sapporo Dome (2001) w Japonii i *University of Phoenix Stadium* (2007) w Glendale (Arizona, USA). Są dwa główne powody uzasadniające stosowanie mobilnej płyty boiska. Pierwszym z nich jest zapewnienie nawierzchni boiska z trawy naturalnej najkorzystniejszych warunków wegetacji, drugim zaś jest stworzenie optymalnych warunków do wykorzystywania posadzki areny do wielu funkcji, które z natury rzeczy są kolizyjne z nawierzchnią trawiastą. Aby możliwe było wysunięcie obiektu płyty boiska, niezbędne było skonstruowanie trybun południowych w postaci mostu o rozpiętości równej 85m. Szczelina ta wypełniana jest mobilnymi trybunami po zakończeniu operacji wyprowadzenia lub wprowadzenia płyty. Pozostawienie jej w stanie otwarcia tworzy bardzo sprawny system ewakuacji dla widzów zgromadzonych na powierzchni areny, np. w czasie koncertu. Przy tej okazji należy poruszyć istotny problem towarzyszący procesowi zadaszania stadionów, a mianowicie problem wpływu wytwarzanych przez dachy warunków na nawierzchnie boisk z trawy naturalnej. Wszystkie stadiony z zadaszeniami obwodowymi i otwieranymi nad areną mają permanentne problemy z utrzymaniem trawników we właściwej kondycji biologicznej, a co za tym idzie użytkowej. Zmusza to do częstych wymian, mniejszych lub większych fragmentów murawy i ponoszenia znacznych kosztów z tym związanych. Trudności te spowodowały wprowadzenie wielu odmian nawierzchni z zastosowaniem trawy syntetycznej. Najnowsze generacje tej technologii niemalże dorównują pod względem właściwości użytkowych murawie naturalnej. Bez akceptacji nawierzchni z trawy syntetycznej niemożliwe byłoby realizowanie stadionów halowych ze stałym zadaszeniem. We wprowadzaniu nowego rodzaju boisk przodują Stany Zjednoczone, gdzie większość stadionów futbolowych i bejsbolowych zainstalowało już nawierzchnię syntetyczną. Jest jeszcze inny aspekt związany z rodzajem nawierzchni, wynikający z potrzeby prowadzenia rozgrywek przy ujemnych temperaturach i opadach śniegu w sezonie zimowym. W przypadku nawierzchni naturalnych jedynym, aczkolwiek obarczonym wadami, antidotum jest stosowanie systemów tzw. murawy podgrzewanej. Murawy syntetyczne natomiast znacznie łatwiej przystosowuje się do funkcjonowania w trudnych warunkach zimowych.

Trudno byłoby twierdzić, że istnieje jakiś jeden, dominujący kanon kształtowania zewnętrznej formy architektonicznej najnowszych stadionów. Na pewno elementem decydującym o plastyce ogólnej bryły stadionu jest w znakomitej większości przypadków konstrukcja i forma dachu. Stuktury te z uwagi na nadzwyczajne rozpiętości, dochodzące do 300m, stanowią jedno z największych wyzwań współczesnego budownictwa. W związku z tym nadrzędną rolę przy ich projektowaniu pełni inżynier konstruktor, współdziałając z architektem. Wśród wielu stosowanych rodzajów konstrukcji najbardziej formotwórcze są różne odmiany lekkich ustrojów cięgnowych, współpracujących z masztami, łukami lub obwodowymi pierścieniami. Poważny wpływ na te rozwiązania techniczne, a pośrednio na architekturę całych obiektów ma rodzaj materiału stosowanego jako poszycie połaci dachowej. Oprócz tradycyjnych postaci różnych odmian blachy pokryciowej coraz częściej stosuje się nowe materiały. Jednym z nich jest przeźroczysta, komorowa płyta z poliwęglanu, drugim odmiany cienkich membran z tkanin technicznych i folii, spośród których najdoskonalsze są tzw. membrany PTFE i ETFE[25]. Znane są też przykłady zastosowania tych membran

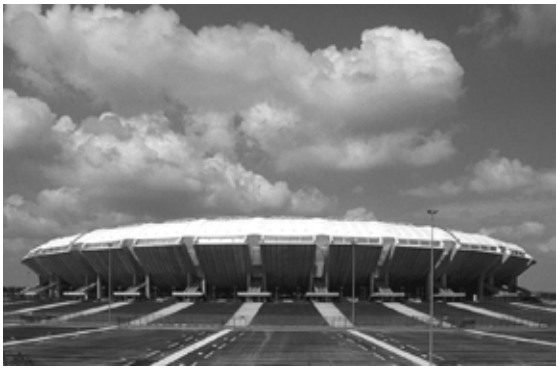
[25] Membrany PTFE tworzone są z tkanin technicznych o osnowie z włókna szklanego pokrytych *teflonem* czyli *polytetrafluoroetylenem*, zwanym w skrócie PTFE. Mambrany ETFE występują natomiast w postaci całkowicie przeźroczystych folii. Ich nazwa pochodzi od chemicznej nazwy, tworzącego je, polimeru, którym jest *etylen-*

Fot. 1-17. *Veltins Arena,* Gelsenkirchen. Stadion całkowicie zadaszony, z klapowym systemem otwierania dachu nad areną. Membranowe poszycie połaci dachowej wykonano z tkaniny technicznej z osnową z włókna szklanego, pokrytego teflonem (PTFE). Stopień przezierności membrany dobrano na poziomie, który zapewnia wystarczającą ilość światła naturalnego we wnętrzu, nawet w pochmurne dni. Jest to światło rozproszone, dające efekt bezcieniowej, równomiernej iluminacji całego wnętrza. Na pierwszym planie widoczna betonowa posadzka areny z pasami jezdnymi wysuwanej platformy boiska z naturalną murawą. *Foto: M. Pelczarski.*

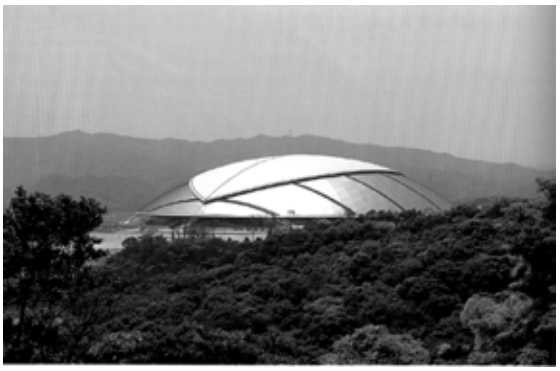
Fot. 1-18. *Veltins Arena,* Gelsenkirchen. Przykład areny wielofunkcyjnej. Pełne zadaszenie stadionu oraz ruchoma, wysuwana na zewnątrz płyta boiska, umożliwia realizację funkcji innych niż piłka nożna. Zdjęcie przedstawia mecz piłki ręcznej, przy organizacji którego wykorzystano połowę stałej widowni stadionu i składaną trybunę pomocniczą, ustawioną na płycie areny. *Foto: http//www.stadionwelt.de (2005).*

Fot. 1-19. *Allianz Arena,* Monachium. Zdjęcie dobrze odzwierciedla rzeczywisty charakter wnętrza dużego, współczesnego stadionu piłkarskiego. O charakterze tym decydują: prostokreślność widowni, prostoliniowy profil poszczególnych pięter trybun, duże nachylenia tego profilu i znaczne wyniesienie najdalszego rzędu. Dodatkowym elementem wpływającym na percepcję wizualną tego wnętrza, zwłaszcza w zakresie odbioru jego proporcji, jest welariowe podniebienie zadaszenia.

Foto: reprodukcja – za Herzog & de Meuron, The Allianz Arena in Munich, Detail nr 9/2005, s. 95.



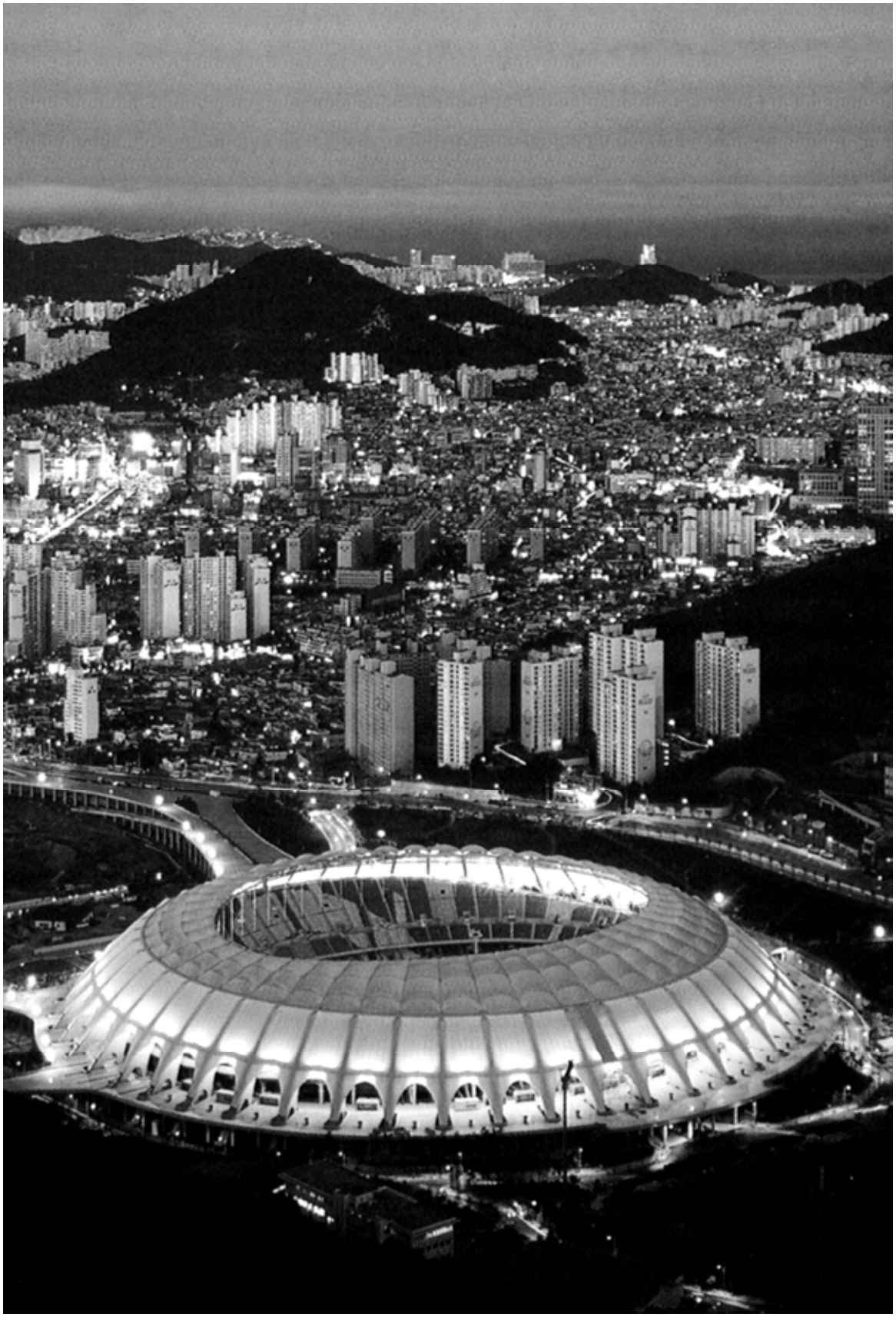
Fot. 1-20. (po lewej) *King Fahd International Stadium,* Riyadh, Arabia Saudyjska (1987). Pojemność widowni – 67 tys. miejsc; arena dwufunkcyjna. Jeden z najciekawszych przykładów indywidualnej formy architektonicznej stadionu, wynikającej z zastosowania membranowej konstrukcji zadaszenia.
Fot. 1-21. (po prawej) *Stadio Sant Nicola,* Bari (1990). Pojemność widowni – 58 tys. miejsc; arena dwufunkcyjna. Dynamiczna forma zewnętrzna odzwierciedlająca wewnętrzną strukturę widowni.
Foto: 1-20 i 1-21, http//www.stadionwelt.de, 2005.



Fot. 1-22. (po lewej) *Toyota Stadium,* miasto Toyota, Japonia (2001). Pojemność widowni wynosi 45 tys. miejsc; arena jednofunkcyjna (piłkarska); pneumatyczny, nowatorski system otwierania dachu. Przykład formy stadionu inspirowanej architekturą lokalną – posiadającej silny, indywidualny i symboliczny charakter.
Fot. 1-23. (po prawej) *Big Eye Stadium,* miasto Oita, Japonia (2001). Pojemność widowni – 43 tys. miejsc; arena dwufunkcyjna; dach, otwierany nad areną. Bardzo charakterystyczna, silna forma w krajobrazie otwartym, pochodna od kopułowej konstrukcji przekrycia i systemu otwierania dachu.
Foto:1-22 i 1-23, reprodukcja – broszura reklamowa firmy MakMax, Membrane Structures for Soccer Stadiums, 2002.

Fot. 1-24. (po lewej) *Veltins Arena,* Gelsenkirchen (2001). Pojemność widowni – 47 tys. miejsc; arena piłkarska; dach pokryty membraną PTFE, otwierany nad areną; wysuwana na zewnątrz płyta boiska. Forma zewnętrzna obiektu nie ujawnia jego wewnętrznej funkcji. *Foto: http//www.stadionwelt.de, 2005.*

Fot. 1-25. (po prawej) *Allianz Arena*, Monachium (2005). Pojemność widowni – 70 tys. miejsc; arena piłkarska, dach obwodowy, otwarty nad areną. Silna forma symboliczna uzyskana dzięki architektonicznej jednorodności obudowy. *Foto: http//www.stadionwelt.de, 2005*.



Fot. 1-26. *Arena Pusan,* miasto Pusan, Korea Południowa (2002). Współczesne *Koloseum.* Zdjęcie uwidacznia relacje przestrzenne pomiędzy elementami określającymi strukturę miasta i dominację bryły stadionu, podkreślającą jego rangę w tej strukturze. *Foto: reprodukcja z materiałów reklamowych firmy Hightex – wykonawcy membranowego poszycia.*

jako poszycia elewacji. Badania statystyczne wykazują, że konstrukcje wykorzystujące membrany stanowią ok. 37%, a rozwiązania mieszane (blachy i membrany), ok. 45% wszystkich materiałów poszyć dachowych, stosowanych w budownictwie stadionów[26]. Jednym z najbardziej spektakularnych przykładów uzyskania formy o wysokich walorach architektonicznych z zastosowaniem konstrukcji membranowej jest *King Fahd International Stadium* w Arabii Saudyjskiej. Jest to projekt architektów Iana Frasera i Johna Robertsa. Za projekt konstrukcji dachu odpowiadał inżynier Horst Berger, autor innych wybitnych realizacji z zastosowaniem membran – jedną z nich jest zadaszenie *Denver International Airport*. Budowę stadionu ukończono w roku 1987, oddając do użytku arenę z bieżnią lekkoatletyczną i widownią dla 70 tys. kibiców. Widownię przekrywa dach namiotowy o powierzchni 47 tys. m².

Inną charakterystyczną cechą architektury najnowszych stadionów jest całkowite lub częściowe obudowywanie wcześniej otwartych stref zewnętrznych widowni, takich jak obejścia, pochylnie i schody. Ma to na celu podnoszenie komfortu tych stref, które osłonięte, na ogół przeźroczystymi, ścianami kurtynowymi są mniej narażone na niedogodne warunki atmosferyczne. W przypadku stadionów halowych, budowlana przegroda zewnętrzna jest z natury rzeczy wręcz konieczna, gdyż wynika z definicji wnętrza zamkniętego. Obecność osłonowych ścian elewacyjnych zmienia zasadniczo wyraz architektoniczny stadionów, które upodobniają się wtedy do innych budynków użyteczności publicznej dużej skali. Wyraźnie widoczne w stadionach poprzedniej generacji charakterystyczne podniebienia widowni, ujawniające jej obecność w zewnętrznej bryle stadionu, znikają teraz za parawanem ściany kurtynowej. To właśnie ten element i jego architektonika odgrywa zasadniczą rolę w budowaniu formy całego obiektu. Architekci w poszukiwaniu rozwiązań tego problemu sięgają po unikalne koncepcje, jak w przypadku *Allianz Arena* w Monachium, gdzie projektanci zastosowali obudowę z modułowych poduszek wykonanych z przeźroczystej folii ETFE, wypełnionych powietrzem i świecących trzykolorowym światłem w nocy. Innym tego typu przykładem jest, inspirowany funkcjonującym budynkiem *Zenith Music Hall* w Strasburgu (2007), autorstwa włoskiego architekta Massimiliano Fuksasa, projekt niemieckiej firmy JSK stadionu dla Wrocławia, którego realizacja rozpoczęła się w roku 2008. Autorzy zastosowali tu, jako obudowę stref zewnętrznych widowni przegrodę z membrany PTFE, tej samej z której wykonane będzie poszycie dachu. Nawiasem mówiąc pionierskim budynkiem, w którym zastosowano tego rodzaju membranę jako przegrodę zewnętrzną był ukończony w roku 1999 hotel *Burj Al Arab* w Dubaju. Brytyjski architekt Tom Wright, autor projektu tego słynnego budynku użył dwuwarstwowej membrany PTFE do stworzenia przepony zamykającej dwustumetrowej wysokości atrium, co praktycznie oznacza, że jedna z trzech elewacji budynku wykonana została w całości w tej nowej technologii. Co ciekawe, dokumentację wykonawczą i montaż tej olbrzymiej ściany membranowej zrealizowała niemiecka firma *Hightex*, która w tym czasie miała już kilka doświadczeń z wykonanych konstrukcji dachowych w tej technologii nad widowniami stadionów, a konstruktorem odpowiedzialnym za projekt i jego wykonanie był zatrudnio-

tetrafluoroetylen (ETFE). W porównaniu do szkła są znacznie lżejsze (zaledwie 1% wagi szkła), przpuszczają więcej światła i są tańsze. Najczęściej występują w postaci paneli *poduszkowych*, jako powłoki dwuwarstwowe napięte nadciśnieniem powietrza w ich środku. Trwałość obu typów membran wynosi ok. 50 lat.

[26] Za: M. Pelczarski, *Tendencje w kształtowaniu dachów o dużych rozpiętościach w obiektach sportowych,* Rozprawa doktorska pod kierunkiem J.Rębielaka, Wydział Architektury Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2007.

ny w niej inżynier Adam Mandrysz, absolwent Politechniki Wrocławskiej.

Stałym elementem widowni współczesnego stadionu są loże przeznaczone dla widzów uprzywilejowanych. Równolegle funkcjonuje kilka nazw dla tego typu miejsc specjalnych, najczęściej stosowane jest określenie sky box, czyli podniebne loże. Nazwa ta wynika z ich pierwotnej lokalizacji, głównie w Stanach Zjednoczonych, gdzie umieszczano je na koronie widowni w najwyższych jej miejscach. Innymi stosowanymi określeniami są: *luxury box*, *luxury suit*, *corporatre box*, *executive box*, *private box*, co w tłumaczeniu na język polski oznacza odpowiednio: loża luksusowa, luksusowy apartament, loża zbiorowa, loża kierownictwa, loża prywatna. Koło historii zatoczyło po raz kolejny pełny obrót. Podziały widowni na strefy dla mniej i bardziej uprzywilejowanych, znane z Koloseum, a potem z teatrów i oper XVIII i XIX wieku, stały się również cechą widowni współczesnego stadionu. Pierwszym stadionem z lożami była powstała w roku 1965 *Asrtadome* w Hustone, rok później wydzielona kondygnacja luksusowych lóż pojawiła się na całym obwodzie drugiego piętra widowni *Azteca Stadium* w Meksyku. Dziś stadionem z największą ich liczbą jest wspominany już *Estadio Monumental „U”* w Kolumbii, (1250 lóż). Popyt na tego typu miejsca jest ogromny. Sprzedawane są one lub dzierżawione na wiele lat za wysokie sumy, stanowiące znaczną część dochodów stadionu. Często odbywa się to na zasadzie przedpłat egzekwowanych jeszcze przed budową stadionu, a z tak pozyskanych środków powstają wręcz fundusze pozwalające na prowadzenie inwestycji. Zjawisko to jest jednym z głównych stymulatorów rozwoju współczesnego stadionu.

Typowa loża składa się z zewnętrznego, niewielkiego balkonu z wygodnymi fotelami i pomieszczenia otwartego widokowo na wnętrze stadionu, bogatego w wyposażenie meblowe i monitory telewizyjne, posiadającego dostęp do własnej toalety i często mini baru i kuchni. Zespoły lóż lokalizowane są w wydzielonych strefach, dostępnych z oddzielnych wejść i holi powiązanych z niezależnymi, blisko położonymi, podjazdami i parkingami. W strefach tych znajdują się przeznaczone wyłącznie dla grupy użytkowników specjalnych bary i restauracje, posiadające często bezpośredni widok na arenę. W zależności od stopnia komfortu i walorów widokowych strefy dzielone są na podstrefy, którym nadaje się odzwierciedlające ich prestiż nazwy, jak np. poziom diamentowy, złoty, srebrny czy klubowy.

Dla lokalizacji lóż wybiera się najbardziej atrakcyjne, z uwagi na ekspozycję widokową, rejony widowni. Jest to zwykle jedno lub więcej pięter usytuowanych tuż nad widownią dolną, w zasięgu pola bardzo dobrego widzenia określanego odległością nieprzekraczającą 150m. Taka lokalizacja zapewnia zarówno bliskość areny jak i optymalne pionowe kąty widzenia. Skutkiem ubocznym takiej aranżacji jest pogorszenie warunków użytkowych, usytuowanej ponad lożami, widowni górnej. Musi zaczynać się ona wyżej i w związku z tym charakteryzuje ją większy kąt nachylenia. Rozwiązaniem łagodzącym nieco te konsekwencje jest ograniczanie położenia widowni specjalnej tylko do części trybun, aranżując jej pozostałe fragmenty w sposób korzystniejszy dla normalnych widzów. Nie jest to zadanie łatwe, zważywszy wielki popyt na miejsca o podwyższonym standardzie i jego finansowy podtekst. Sytuację dodatkowo komplikuje fakt konieczności zapewnienia dużej liczby miejsc dla przedstawicieli mediów, którzy również wymagają ogólnego komfortu i co najmniej dobrych parametrów widoczności.

Specyfika stadionów północnoamerykańskich

Nieco inaczej przebiegał proces kształtowania się form architektonicznych współczesnych stadionów na terenie Stanów Zjednoczonych. Wpływ na to miała specyfika aren dla najbardziej popularnych tam gier zespołowych, takich jak bejsbol

Fot. 1-27. Fragment widowni zachodniej *Commerzbank Arena* we Frankfurcie. Trzy poziomy miejsc specjalnych, zaprojektowanych pomiędzy widownią dolną i górną. Na najniższym poziomie umieszczono restaurację z tarasem wyeksponowanym na wnętrze stadionu, dwa wyższe poziomy stanowią ciąg indywidualnych lóż z zapleczami. *Foto: autor.*

Fot. 1-28. Przykład aranżacji wnętrza pomieszczenia loży (*sky box)* na jednym z amerykańskich stadionów. Na dalszym planie widoczny balkon zewnętrzny należący do loży i perspektywa wnętrza stadionu. Tego typu aranżację widowni po raz pierwszy zastosowano w projekcie stadionu *Azteca* w Meksyku *(1966).* W następnych latach stała się ona kanonem na stadionach północnoamerykańskich, by pod koniec XX wieku zostać obowiązującym elementem stadionów europejskich. *Foto: Archiwum ZPiWTB.*

Fot. 1-29. Stadion *Wembley* (nowy), Londyn**.** Fragment widowni – przykład sposobu rozwiązania lóż dla widzów uprzywilejowanych. Kosztem miejsc trzeciego piętra powstały dwa poziomy kameralnych balkonów, dostępnych z przypisanych im indywidualnych, luksusowych pomieszczeń, stanowiących ich zaplecze. Na pierwszym planie szczegóły aranżacji siedzisk w poszczególnych rzędach widowni.

Foto: M. Pelczarski.

i futbol amerykański. Ważnym czynnikiem było też bardziej komercyjne niż w innych miejscach świata podejście do widowisk sportowych i ekonomii budownictwa sportowego. Ostatnim klasycznym wielkim stadionem powstałym na tym terenie był omawiany już wcześniej, goszczący dwie Olimpiady (1932 i 1984), *Los Angeles Memorial Coliseum* – oddany do użytkowania w roku 1923, a potem wielokrotnie modernizowany. Wspomniane względy ekonomiczne doprowadziły do uproszczeń konstrukcyjnych i technologicznych, w wyniku czego łukowe widownie o profilach krzywoliniowych zamieniły się w charakterystyczne wielopiętrowe trybuny o prostokreślnej geometrii rzutu i profilach prostoliniowych. Podobne zjawisko miało miejsce w Europie, zwłaszcza na Wyspach Brytyjskich, dotyczyło ono jednak małych i średnich ligowych stadionów piłkarskich. Architektonicznym skutkiem tych działań było ukonstytuowanie się nowego popularnego typu wnętrza stadionowego o formie graniastej, najczęściej ośmiokątnej. Innym, charakterystycznym dla stadionów amerykańskich, elementem jest dość powszechne zastępowanie zewnętrznych schodów dla publiczności pochylniami, najczęściej w formie spiralnej. Idea ta znana jest z jednego z najstarszych stadionów europejskich, a mianowicie *San Siro* w Mediolanie, otwartego dla kibiców w roku 1926. Jednym z rezultatów przeprowadzonej w końcu lat osiemdziesiątych modernizacji tego obiektu była realizacja dodatkowych pochylni, owijających się wokół pylonów wsporczych nadbudowanej widowni i dachu.

Jeszcze innym ciekawym zjawiskiem, właściwym głównie dla stadionów północnoamerykańskich, są rozwiązania aren dwufunkcyjnych, przystosowujących się zamiennie bądź do zawodów piłkarskich, bądź do bejsbolowych. Koncepcja ta była popularna w latach sześćdziesiątych i siedemdziesiątych poprzedniego stulecia, obecnie jednak odchodzi się od niej, budując często tuż obok siebie oddzielne stadiony dla każdej z funkcji. Interesującym, wielokrotnie zastosowanym sposobem uzyskiwania wspomnianej elastyczności funkcjonalnej było realizowanie idealnie kołowej, wielopiętrowej, stałej widowni, która współdziałała z okrągłą areną, wewnątrz której znajdowały się dwa przestawne, mające kształt odcinka koła, segmenty widowni dolnej. Przy naprzeciwległym i równoległym ustawieniu tych segmentów powstawało pole gry o kształcie prostokąta właściwego do rozgrywek piłkarskich – ustawienie zaś segmentów pod kątem prostym względem siebie skutkowało kształtem pola trójkątnego do bejsbola. Przykładami stadionów należących do tej grupy są, nieistniejące już dziś: *Shea Stadium* w Nowym Jorku (1964-2008), *Tree Rivers Stadium* w Pittsburghu (1970-2001), jak również *Bush Stadium* w St. Louis (1966-2005). System ten zaadaptował później architekt japoński Hiroshi Hara w zrealizowanym w roku 2001 projekcie *Sapporo Dome Stadium*. Odmiennym, bardzo radykalnym przykładem rozwiązania omawianego problemu z wcześniejszego nieco okresu historii jest *Mile High Stadium* w Denver, otwarty w roku 1948, gdzie zmiany funkcji osiągano przez przestawianie całego budynku z trzypiętrowymi trybunami dla 21 tys. widzów. Obiekt ten zmieniał pozycję ślizgając się po przeponie z poduszki wodnej. Podobne rozwiązania proponowane są również dziś, z tym że przeponę stanowi sprężone powietrze.

Ważnym parametrem charakteryzującym północnoamerykańskie budownictwo stadionów jest czas eksploatacji tych obiektów. Z analiz materiałów źródłowych wynika, że przeciętny czas użytkowania stadionu wynosi około czterdzieści lat, a zdarzają się też przypadki zamykania tych budowli już po trzydziestu latach ich funkcjonowania. Powszechna jest też zasada, co wynika zapewne z tamtejszych realiów ekonomicznych, całkowitego burzenia pierwotnego budynku i wznoszenia w jego miejscu nowego obiektu. Taka ocena okresu technicznego i moralnego zużycia budowli wpływa też na decyzje o rezygnacji z modernizacji,

Fot. 1-30. *Shea Stadium*, Nowy York (1964-2008). Przykład nieistniejącego już stadionu, należącego do grupy stadionów dwufunkcyjnych (futbol amerykański i bejsbol), z widownią kołową i przestawialną widownią dolną. Na zdjęciu po stronie lewej – aranżacja areny dla funkcji piłkarskiej, po prawej funkcja bejsbola. *Foto: http://www.ballparks.com, 2007.*

Fot. 1-31. *Three Rivers Stadium*, Pittsburgh, Pennsylvania (1970-2001). Kolejny przedstawiciel licznej grupy amerykańskich stadionów dwufunkcyjnych z widownią kołową i przestawialną widownią dolną. Zdjęcia przedstawiają charakterystyczną dla Stanów Zjednoczonych tendencję burzenia wyeksploatowanych w ciągu 30-45 lat stadionów i budowania, zazwyczaj tuż obok, nowych stadionów dla tych samych funkcji. *Foto: http://www.ballparks.com, 2007.*

Fot. 1-32. (po lewej) *Estadio Teodoro Fernandez (Monumental de la „U')*, Ate – Lima, Peru (2000). W Południowej Ameryce wykształca się obecnie ciekawy, niespotykany gdzie indziej, typ stadionu. Idea ta polega na zestawianiu dwóch rodzajów widowni – tradycyjnej dolnej i wielopiętrowej górnej, która składa się z indywidualnych lóż z zapleczem. *Foto: www.universitariodedeportes.biz/index.php?historia.*

Fot. 1-33. (po prawej) *Estadio Deportivo Cali,* Cali, Kolumbia (2008). Zdjęcie uwidacznia korzyści wynikające z opisanej powyżej idei. Należą do nich: racjonalne wykorzystanie rzutu widowni, ekonomia materiałowo-konstrukcyjna, niskie nakłady na konstrukcję zadaszenia, bardzo dobra widoczność z widowni górnej, wynikająca z dużego pionowego kąta widzenia i bliskości areny.
Foto: www.estadiodeportivocali.com/sitio/home.html,2008.

jako alternatywnej drogi przystosowywania obiektów do bieżących i przyszłych wymogów użytkowych. Ma też znaczenie przy wyborze stosowanych rozwiązań projektowych, a pośrednio wpływa również na walory architektoniczne.

Doświadczenia południowoamerykańskie

Również Ameryka Południowa wnosi, może nie tak bogaty, ale bardzo oryginalny, wkład w rozwój nowożytnego stadionu. Piłka nożna jest tu sportem narodowym, co powoduje, że stosunek do stadionu piłkarskiego jest szczególny. W roku 2007 Komitet Wykonawczy FIFA podjął decyzję przyznania Brazylii roli gospodarza XX Mistrzostw Świata w Piłce Nożnej. Tak więc opisany wcześniej, legendarny *Stadion Maracana*, ponownie, tym razem w roku 2014, stanie się centrum światowym piłki nożnej. Do mistrzostw przygotowywanych jest osiemnaście stadionów, z których żaden nie ma widowni mniejszej niż 40 tys. miejsc. Pięć z nich będzie obiektami nowo wybudowanymi.

W niektórych krajach kontynentu wykształca się obecnie ciekawy, niespotykany gdzie indziej typ stadionu. Przykładowym obiektem może być tu *Estadio Teodoro Fernández* (*Monumental de la „U”*), położony w Ate, koło Limy, w Peru. Otwarto go w roku 2000, oddając do dyspozycji kibiców 58 tys miejsc. Podobny do niego w sposobie aranżacji widowni jest m.in. funkcjonujący od roku 2008 *Estadio Deportivo Cali* w Kolumbii, dysponujący trybunami dla 55 tys. widzów. Idea ta polega na zastosowaniu dwu rodzajów widowni. Widownia dolna, najbliższa arenie, ma postać widowni klasycznej. W miejscu jednak tradycyjnej balkonowej widowni górnej projektuje się wielokondygnacyjny obiekt kubaturowy, w którym każde piętero wyposaża się w kilkurzędowe balkony. W przypadku obu omawianych stadionów tych specjalnych poziomów jest sześć. Jest to koncepcja przypominająca rozwiązania wielopiętrowych lóż, powszechnie stosowana w teatrach i operach okresu baroku. Są dwa aspekty przyciągające uwagę do tych propozycji. Pierwszy to ekonomika wykorzystania przestrzeni znajdującej się wewnątrz granic dobrego widzenia. Widownia górna, która normalnie osiągałaby podobne wyniesienie ostatniego rzędu przy znacznym jednak oddaleniu od areny, dzięki wielokrotnemu spiętrzeniu przybliża się, zajmując mniejszą powierzchnię rzutu. Nachylenia małych trybun balkonowych co prawda muszą być znaczne, ale ich kameralność umożliwia zastosowanie różnych środków zapewniających komfort psychiczny ich użytkownikom. Należą do nich m.in. pełne balustrady z blatami, podział na mniejsze przestrzennie segmenty, zwiększona głębokość rzędów, odpowiednia aranżacja schodów, a przede wszystkim bliskie położenie zaplecza, stanowiącego już tzw. drugą strefę bezpieczeństwa. Racjonalne wykorzystanie rzutu widowni, oprócz korzyści użytkowych, przynosi też zyski materiałowo-konstrukcyjne. Do jednych z nich należy mniejszy niż zwykle wysięg zadaszenia trybun, a przy tym korzystne warunki zakotwienia wspornikowych dźwigarów dachowych. Duża głębokość traktów części kubaturowej pozwala na zastosowanie bardzo racjonalnych rozwiązań konstrukcji nośnej dla połaci dachowej. Jeszcze innym walorem są efekty, silniejszego niż przy klasycznych rozwiązaniach widowni, wizualnego i akustycznego domykania wnętrza stadionu. Dotyczy to zwłaszcza stadionów średniej wielkości.

Alternatywa modernizacji

Wiele stadionów, zwłaszcza pełniących rolę reprezentacyjnych obiektów jakiegoś kraju lub regionu, w czasie dziesięcioleci swojego funkcjonowania często zyskuje status miejsca mistycznego. Wpisują się one trwale w świadomość społeczną, jako miejsca symboliczne, kojarzone z sukcesami drużyny narodowej, z wielkimi wydarzeniami sportowymi, kulturalnymi i politycznymi. Jako takie często uznawane są wręcz za budowle należące do dziedzictwa

kulturowego konkretnego narodu, na równi z innymi wielkimi historycznymi obiektami publicznymi o nadzwyczajnej aurze architektonicznej. Utrzymywanie tych obiektów w stanie czynnym wymaga dostosowywania ich do współczesnych wymogów funkcjonalnych, technicznych i wymogów bezpieczeństwa. Inwestorzy i projektanci stają w takich przypadkach przed dylematem, ewentualnego całkowitego zburzebia i budowania w ich miejscu nowych stadionów, albo ich modernizowania, przy zachowaniu głównych elementów formy pierwotnej, lub też zamiany ich w muzea. Jednym z przykładów takiego przypadku może być Narodowy Stadion Wielkiej Brytanii, słynny *Wembley Stadium*. Dyskusja nad jego dalszym losem trwała w społeczeństwie brytyjskim kilka lat. Przywiązanie do symbolicznego obiektu, który pierwotnie nosił nazwę *Empire Stadium*, uosabiając potęgę imperium, było tak duże, że liczba zwolenników pozostawienia go w historycznym kształcie dorównywała liczbie tych, którzy uważali, że należy go rozebrać i wybudować całkiem nowy *Wembley*. Chodziło zwłaszcza o pozostawienie rozpoznawalnych na całym świecie, bliźniaczych, charakterystycznych białych wież, flankujących główne wejście na osi reprezentacyjnego frontonu stadionu. Ostatecznie, po osiemdziesięciu latach istnienia, w lutym 2003 roku doszło do ich zburzenia, co oznaczało początek budowy nowego stadionu. Argumentem przechylającym szalę na rzecz nowej formy obiektu była wizja nowego symbolu, którym według projektantów miał się stać wielki łuk konstrukcji nośnej dachu, o rozpiętości 317m i wysokości równej 134m. W roku 2007 nowy stadion, o całkowicie odmiennym od pierwotnego charakterze architektonicznym, przekazano do użytkowania, zachowując legendarną nazwę *Wembley*. W krajobrazie Londynu pojawił się nowy znak przestrzenny w postaci wielkiego łuku widocznego z odległości 30 km. Paradoksalnie musiano jednak z powodu komplikacji technicznych zrezygnować z systemu zamykania zadaszeniem całej przestrzeni nad areną, i w związku z tym, mimo tak mocno rozbudowanego przestrzennie elementu konstrukcji dachu, nowy Stadion Narodowy Wielkiej Brytanii jest tzw. *stadionem otwartym*.

Inne zgoła było podejście Niemców do ich Narodowego Stadionu *Olimpiastadion* – Stadionu Olimpijskiego w Berlinie. Swoje istnienie zawdzięcza on przygotowaniom do VI Olimpiady planowanej na rok 1916, która jednak się nie odbyła z powodu trwającej I wojny światowej. Olimpiada powróciła na ten obiekt dwadzieścia lat później, w czasach nazistowskich, i z tego właśnie okresu pochodzi jego dzisiejsza forma architektoniczna. W latach 2000-2004 obiekt ten był poddany gruntownej modernizacji, w celu przygotowania go do wymogów stawianych przez Światową Federację Piłki Nożnej w związku z Mistrzostwami Świata *Niemcy 2006*. Podstawą podjęcia prac budowlanych było rozstrzygnięcie konkursu architektonicznego przeprowadzonego w roku 1998. Jednym z najpoważniejszych zadań była realizacja niezbędnego zadaszenia całej widowni. W związku z faktem, że stadion posiada status obiektu zabytkowego, ważną rolę w warunkach konkursu odegrały wytyczne konserwatorskie. Ściśle określały one wymogi dotyczące formy dachu. Zachowana miała być zewnętrzna forma historycznej kamiennej elewacji, tworzonej przez kolumnadę obejścia. Do realizacji wybrano projekt, który opracowali architekci Volkwin Marg i Hubert Nienhoff, reprezentujący biuro projektów GMP-Architekten. Zaakceptowana koncepcja dachu polegała na realizacji połaci dachowej jako horyzontalnego pierścienia, oderwanego od korony stadionu. Struktura dachu o powierzchni 42 tys. m², wykorzystująca konstrukcję wspornikową o wysięgu 68m, oparta została na zewnętrznych słupach w linii ściany elewacyjnej i dwudziestu słupach zlokalizowanych w obrębie widowni. Poszycie głównej części dachu wykonano z membrany PTFE, natomiast jego krawędź wewnętrzna pokryta została taflami przeźroczystego szkła, o łącznej

powierzchni 6 tys. m². Elementy konstrukcji nośnej zostały całkowicie ukryte, dzięki zastosowaniu podniebienia, wykonanego z siatkowej membrany. Osłania ona nie tylko stalową konstrukcję połaci zadaszenia, ale też całą infrastrukturę techniczną związaną z oświetleniem areny i widowni oraz nagłośnieniem. Architektoniczno-konserwatorskie cele zachowania historycznej formy stadionu były tak ważne, że dla ich uzyskania zaakceptowano nawet obecność stalowych słupów, o średnicy 25cm, przenikających widownię górną w rozstawie od 20m do 40m i powodujących zakłócenia pola widzenia dla części widzów.

Podobną drogę przystosowania do współczesnych wymogów przeszedł również *Stadion Olimpijski* w Moskwie, należący do grupy największych stadionów europejskich. Wchodzi on w skład *Kompleksu Olimpijskiego – Łużniki*, obejmującego teren 180 ha, na którym rozmieszczono łącznie 140 budynków sportowych. Jest to największy stadion Rosji z widownią liczącą dziś 78 tys. miejsc siedzących, przekrytych dachem. W czasie ponad pięćdziesięciu lat jego istnienia trzykrotnie poddawany był poważnym modernizacjom. Pierwszą z nich przeprowadzono przed XXII Igrzyskami Olimpijskimi w roku 1980, kiedy pełnił on rolę głównej areny goszczącej ceremonię otwarcia i zamknięcia Igrzysk. Drugą była, zakończona w roku 1998, budowa dachu nad całą widownią. Efektem tej inwestycji było przyznanie przez Europejską Federację Piłki Nożnej (UEFA) stadionowi na Łużnikach statusu stadionu pięciogwiazdkowego (*The Grand Sports Arena*). Dzięki temu rok później mógł się na nim odbyć finał Pucharu UEFA. Kolejna przebudowa dotyczyła areny i boiska piłkarskiego. Przeprowadzono ją przed finałowym meczem Ligi Mistrzów UEFA – 2008, podczas którego dwie brytyjskie drużyny *Manchester United* i *Chelsea* walczyły w Moskwie o główne trofeum. Znamienny jest fakt, że wszystkie te przekształcenia odbyły się bez konieczności naruszania ogólnej, historycznej bryły stadionu, a dodana, nowoczesna konstrukcja zadaszenia o wyważonej kopułowej formie wręcz podniosła architektoniczne walory budowli.

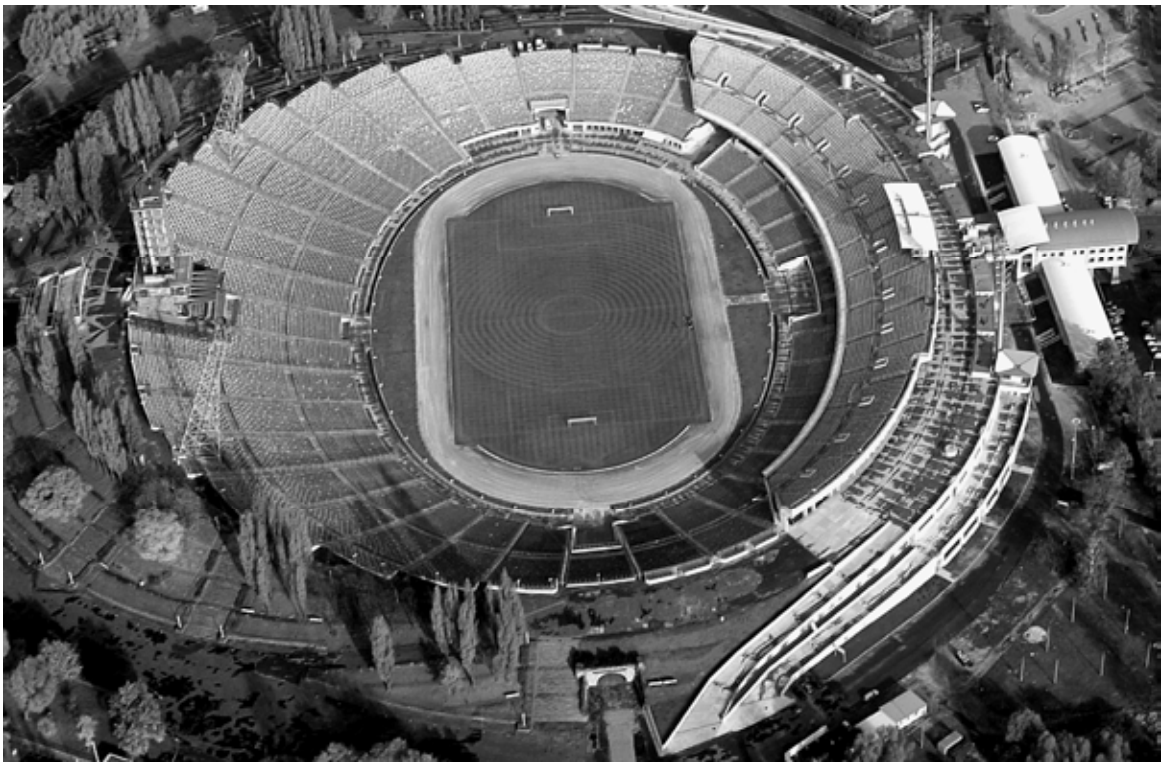
W podobny nurt, jak dwa powyższe przykłady, wpisuje się również modernizacja *Stadionu Śląskiego* w Chorzowie, największego z funkcjonujących obecnie stadionów w Polsce. Uruchamiając inwestycję na przełomie lat 1994-1995, a więc ponad dziesięć lat przed tym jak Polsce i Ukrainie przyznano prawo goszczenia Mistrzostw Europy w Piłce Nożnej EURO-2012, inwestor zadecydował, że celem modernizacji jest stadion wielofunkcyjny o pojemności docelowej 60 tys. miejsc. Miał być to stadion z areną piłkarską oraz torem do zawodów żużlowych i możliwością przystosowania do funkcji lekkoatletycznych. Arena powinna też umożliwiać organizację innych, pozasportowych funkcji, jak koncerty muzyczne, imprezy kulturalne i wielkie zgromadzenia. Decyzję tę podjął po szerokiej konsultacji społecznej i na podstawie fachowych opinii środowiska sportowego (w tym PZPN i PZMot) oraz środowiska architektonicznego (Wojewódzka Komisja Urbanistyki i Architektury). Opracowywaniem założeń programowych zajmował się powołany przez wojewodę ponad trzydziestoosobowy Komitet ds. Modernizacji *Stadionu Śląskiego*.

Dotychczasowy proces modernizacji *Stadionu Śląskiego* polegał na jego etapowej przebudowie prowadzonej przy nieprzerwanej aktywności areny i widowni. Założenie to stanowiło dodatkowe utrudnienie, wymagało specjalnej logistyki i symultanicznego systemu prowadzenia prac projektowych, obejmujących równocześnie wszystkie fazy opracowywania dokumentacji. Dzięki temu jednak *Stadion Śląski* służy nieprzerwanie od roku 1997 regionowi śląskiemu i całemu krajowi, jako jedyny nowoczesny, duży stadion reprezentacyjny. Modernizacja jest de facto budową całkowicie nowego stadionu, spełniającego najnowsze obowiązujące przepisy, zalecenia i normy, w tym normy FIFA, UEFA, PZPN i PZMot.

Fot. 1-34. *Stadion Śląski* w Chorzowie (1970) – ponad 80 tys. kibiców na widowni podczas meczu międzypaństwowego. W obrysie areny widoczne są urządzenia lekkoatletyczne i bieżnia zamieniona na tor żużlowy. *Foto: archiwum WOKiS- Stadion Śląski*.

Fot. 1-35. *(po lewej) Stadion Śląski*- budowa trybun ziemnych (1955). Zdjęcie przedstawia ostatnią fazę robót przed zamontowaniem drewnianych ławek. Słupki z piaskowca występowały w rozstawie co 1m.

Fot. 1-36. *(po prawej) Stadion Śląski* – degradacja konstrukcji widowni. Stan po ok. 15 latach użytkowania, wywołany penetracją wód opadowych i osuwaniem się nasypu ziemnego. Zjawisko to było problemem wszystkich stadionów o konstrukcji ziemnej. *Foto: 1-35 i 1-36, archiwum WOKiS – Stadion Śląski.*



Fot. 1-37. *Stadion Śląski* – widok ogólny od strony południowej; stan z roku 2006. Po prawej stronie widoczne pochylnie komunikacyjno-ewakuacyjne obsługujące widownię wschodnią. Pod widownią wschodnią znajduje się zespół pomieszczeń o łącznej powierzchni 18 tys. m². Pojemność widowni wynosi ok. 47 tys. miejsc siedzących. *Foto: P. Oleś, archiwum WOKiS – Stadion Śląski.*

Fot. 1-38. *Stadion Śląski* i jego otoczenie (2006). Powiązanie kompozycyjne Stadionu i otaczającego go Parku (600 ha), stanowiło podstawową zasadę zarówno projektu pierwotnego, jak i projektu modernizacji. *Stadion Śląski* należy do nielicznej grupy stadionów krajobrazowych, a o jego walorach w znacznej mierze decydują harmonijne relacje jego wnętrza z funkcjonalną i przestrzenną strukturą Parku.

Foto: P. Oleś, archiwum WOKiS – Stadion Śląski.

Stadion udostępniono publiczności w kwietniu 1997 roku, po zakończeniu pierwszego etapu modernizacji, którym była przebudowa 24 sektorów widowni zachodniej. Do użytkowania oddano wówczas 31,5 tys. miejsc siedzących. W miejsce konstrukcji trybun ziemnych wprowadzono podwójną, żelbetową płytę fałdową o profilu krzywoliniowym. Głębokość rzędów zmieniono z pierwotnej wynoszącej 75cm na 85cm. Każdy sektor wyposażono we własny system odwodnienia. Zmieniono geometrię najwyższych rzędów z owalnej na wachlarzową, wprowadzając za rzędem ostatnim szklane wiatrochrony. Na całej widowni zamontowano indywidualne siedziska i systemy balustrad oraz barier. W ramach tego zadania wykonano również zaplecze toru żużlowego,tzw. *park maszyn*, otwarty na arenę, wychodnie tuneli oraz przebudowano fosę okalającą arenę wraz z obwodnicą komunikacyjną.

W roku 2001 ukończono budowę trybun wschodnich, przekazując użytkownikowi kolejnych 15,7 tys miejsc, w tym ok.1500 zadaszonych miejsc specjalnych dla mediów i VIP-ów. W tym momencie całkowita pojemność widowni *Stadionu Śląskiego* osiągnęła 47,2 tys. miejsc. Trybuny balkonowe w miejscu rozebranego wschodniego wału ziemnego obejmują 16 sektorów widowni. Wsparte są one na szkieletowej konstrukcji żelbetowej, która pozwoliła na zaprojektowanie pod całą widownią obudowanych kubatur użytkowych o łącznej powierzchni 18 tys. m². Widownia dolna, obejmująca 15 najniższych rzędów, kontynuuje zasady geometrii widowni zachodniej. Widownia górna (balkonowa) posiada natomiast profil prostoliniowy łamany, tworzony z żelbetowej płyty fałdowej w postaci elementów prefabrykowanych opartych na żelbetowych ryglach południkowych. Głębokość rzędu wynosi 85cm. Cała powierzchnia widowni posiada system odwodnienia z wpustami odbiorczymi co czwarty rząd. Balustradę korony wyposażono w system szklanych wiatrochronów. W obrębie całej widowni zamontowano indywidualne siedziska oraz system balustrad i barier. Dolną balustradę czołową uzupełniono okapem membranowym rozpiętym na konstrukcji ze stali nierdzewnej. Tworzy on dodatkową osłonę dla miejsc specjalnych, zlokalizowanych pod wspornikiem trybuny balkonowej. Zewnętrzne drogi komunikacji i ewakuacji widowni wschodniej zaprojektowano w postaci zespołu pochylni, które są nakierowane na główne zespoły bram zewnętrznych. Pozwoliło to całkowicie uniknąć stosowania w tej części stadionu schodów łączących poziomy obwodnic – górnej i dolnej.

Do roku 2008 sukcesywnie zamykano prace wykończeniowe wnętrz, oddając do użytkowania około 11 tys. m² powierzchni użytkowej, co obejmuje ok. 60% pomieszczeń przewidzianych projektem. Należą do nich takie zespoły funkcjonalne jak: sala konferencyjno-sportowa ze składanymi trybunami na 400 miejsc, centrum prasowe, obejmujące dwie sale z zapleczami, dwa hole centralne, hol główny, tzw. *równoleżnikowy,* wraz zapleczami, dwa zespoły szatni reprezentacyjnych wraz z zespołami odnowy biologicznej, zespół pomieszczeń administracyjnych, zespół techniczno gospodarczy wraz z magazynami, garażami i warsztatami oraz zespoły pomieszczeń infrastruktury technicznej.

Projekt zachowuje kształt i wielkość pierwotnej areny lekkoatletycznej. Jej dzisiejsza powierzchnia wynosi 16 850m². W obrębie areny wykonano: przebudowę toru żużlowego, polegającą na zmianie jego geometrii, wykonaniu nowej podbudowy z nowym systemem drenażu, nową nawierzchnią, nowym ogrodzeniem bezpieczeństwa (banda) i systemem sygnalizacyjnym, oraz przebudowę płyty głównego boiska piłkarskiego, obejmującą wymianę podbudowy i nawierzchni trawiastej, instalację drenażu oraz systemu podgrzewania murawy.

Całkowitej przebudowie poddany również został tzw. *pawilon spotowo-hotelowy*, tworzący wschodni fronton stadionu. Obiekt ten mieści w sobie 4 zespoły szatni sporto-

Fot. 1-39. *Stadion Śląski* – widok z lotu ptaka od strony północnej. W obrębie widowni zachodniej widoczny fotomontaż projektowanej przebudowy wieży dyspozytorskiej i masztów oświetleniowych, jako element analizy stanu przejściowego przed realizacją dachu. *Foto: T. Najdzień, archiwum ZPiW-TB.*

Fot. 1-40. *Stadion Śląski* – widok ogólny projektu zadaszenia SATURN 2005. Konstrukcję wsporczą stanowi zespół dwudziestu słupów, w rozstawie co dwa sektory widowni. Poszycie połaci dachowej zaprojektowano z częściowo przejrzystej membrany PTFE, a w rejonie wieży z całkowicie przeźroczystej membrany ETFE. Membrana rozpięta jest na łukowych wręgach stalowych, te z kolei wsparte są na dolnych cięgnach dźwigarów kablowych. Napięcie dźwigarów kablowych zapewniane jest dzięki sprężonemu pierścieniowi wewnętrznemu i sztywnemu pierścieniowi zewnętrznemu, stabilizowanemu za pomocą odciągów. *Wizualizacja: M. Morga, archiwum ZPiW-TB.*

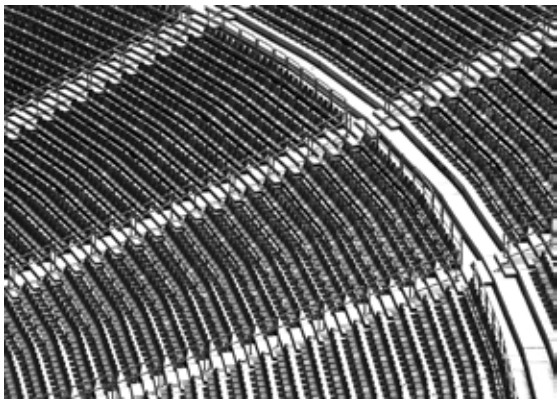
A.

B.

C.

D.

E.



F.

G).

Fot. 1-41. *Stadion Śląski* – kadry. **A.** Widok z lotu ptaka od strony wschodniej. **B.** Projekt zadaszenia *SATURN 2005* – widownia zachodnia. **C.** Trybuna honorowa, widownia wschodnia. **D.** Widok trybuny wschodniej z poziomu miejsc specjalnych. W centrum kadru budowa sceny przed koncertem rockowym. **E.** Korona widowni zachodniej – wejście do sektora nr 21. Na pierwszym planie wiatrochrony z hartowanego szkła bezpiecznego. **F.** Fragment widowni zachodniej. Widoczny układ dróg komunikacyjnych oraz zasady łamania linii rzędów. **G.** Górna widownia wschodnia. Po prawej stronie prototypowy słup zadaszenia, jako słup oświetleniowy.

Foto: autor (C,D,E,F,); archiwum ZPiW-TB (B,G); archiwum WOKiS – Stadion Śląski (A).

wych, restaurację z nowoczesną kuchnią i z zespołem sal bankietowo-seminaryjnych oraz hotel dla 82 gości. Przebudowano również wschodnie przedpole stadionu, sięgające w głąb parku. Znajdują się tu obecnie dwa pełnowymiarowe boiska piłkarskie, z czego jedno z nawierzchnią syntetyczną i certyfikatem FIFA oraz zespół kortów tenisowych i boisk do siatkówki i koszykówki. Na terenie tym powstały również parkingi dla gości hotelowych, VIP-ów i przedstawicieli mediów. Na ukończeniu są roboty przy budowie kolejnego parkingu w obrębie północnego przedpola stadionu.

We wszystkich dotychczasowych etapach procesu projektowo-realizacyjnego uwzględniany był projekt zadaszenia, traktowany jako integralny element zadania inwestycyjnego. Miał on istotny wpływ na rozwiązania poszczególnych obiektów stadionu kierowanych wcześniej, zgodnie z harmonogramami poszczególnych lat, do realizacji. Niektóre elementy przyszłego dachu musiały być wykonywane wyprzedzająco. Były to zespoły fundamentowe dla ośmiu wschodnich słupów, dwa słupy prototypowe wykorzystane jako nośniki konsol systemu oświetlenia areny, i kanały instalacyjne dla przyszłej infrastruktury dachu.

Projekt budowlany zadaszenia SATURN 2005, który uzyskał pozwolenie na budowę, i który był przedmiotem dotychczasowych przetargów na projekt wykonawczy oraz roboty budowlano montażowe, jest rozwiązaniem organicznie powiązanym z architekturą dotychczas wykonanych elementów programu inwestycji. Jest to ultranowoczesna, lekka konstrukcja cięgnowa z zastosowaniem poszycia z membrany PTFE. Rozwiązania tego typu stanowią obecnie na świecie i w Europie jedną z dwóch dominujących tendencji w konstruowaniu zadaszeń stadionów. Większość stadionów niemieckich, japońskich i znaczna część stadionów w USA i Australii ma tego typu zadaszenia. Ewolucja projektu SATURN 2005" trwała wiele lat. W roku 1995 wykonano wiele koncepcji wstępnych, z których do bardziej szczegółowego opracowania inwestor wybrał trzy projekty: *Saturn*, *Skrzydło* i *Meduza*. W wyniku wszechstronnych analiz architektonicznych, konstrukcyjnych, ekonomicznych i eksploatacyjnych do opracowania na poziomie projektu budowlanego wyłoniono wariant Saturn, nazwany później *SATURN 96*. Projekt ten w roku 1996 uzyskał pozwolenie na budowę. Złożenie projektu poprzedzone było konsultacjami z zagranicznymi projektantami, wykonawcami podobnych rozwiązań, szczegółowymi obliczeniami statycznymi, wykonanymi przy współudziale autorytetów w dziedzinie statyki, dynamiki, fundamentowania i oddziaływania wiatru. Projekt przeszedł też pomyślnie modelowe badania przeprowadzone w tunelu aerodynamicznym Instytutu Lotnictwa w Warszawie. Powstanie ostatecznej wersji projektu, tj. *SATURN 2005* poprzedzone było opracowaniem połówkowej wersji projektu *SATURN 96*, jako I etapu realizacji, co wynikało z zamiaru etapowania robót ze względu na ograniczone środki finansowe inwestora. Idea architektoniczno-konstrukcyjna obu wersji zadaszenia polega na realizacji płaskiego, lekkiego dysku, unoszącego się nad widownią i otaczającym drzewostanem, zawieszonego na zaledwie dwudziestu słupach nośnych. Kołowe pierścienie konstrukcji nośnej, wbudowane w płaszczyznę połaci dachowej, są źródłem przyjętej nazwy Saturn. W wersji pierwotnej podstawę konstrukcji stanowiło 40 sztywnych żeber południkowych podwieszonych na cięgnach do 20 słupów. W wersji ostatecznej żebra zastąpione zostały cięgnami wiotkimi, które tworzą tzw. dźwigary cięgnowe, a cała struktura nośna pracuje na zasadach podobnych do wielkiej pajęczyny. Wersja ta, podobnie jak pierwowzór, przeszła całą wymaganą procedurę obliczeniową i weryfikacyjną. Uzyskała też pozytywną opinię środowiska architektonicznego.

Dotychczasowe efekty modernizacji pozwoliły przywrócić *Stadion Śląski* do dawnej świetności. W roku 1993 Polski Związek Piłki Nożnej nadał mu status Stadionu

Narodowego i wiele wskazuje na to, że rolę tę będzie pełnił do czasu powstania Stadionu Narodowego w Warszawie. Do dziś na zmodernizowanym *Stadionie Śląskim* reprezentacyjna drużyna piłkarska naszego kraju rozegrała 14 meczów międzypaństwowych najwyższej rangi, wiele z nich wygrywając – zawsze wspierana przez komplet widzów na trybunach. Odbyło się tu wiele meczów ligowych oraz dwukrotnie już przyciągające ok. 40 tys. rzeszę kibiców Derby Śląska (Ruch Chorzów – Górnik Zabrze). *Stadion Śląski* dwukrotnie też gościł najwyższej światowej rangi zawody żużlowe z cyklu *Grand Prix Europy* i raz zawody z cyklu *Memoriał red. Jana Ciszewskiego*. Największy w Polsce amfiteatr wraz ze swymi walorami technicznymi przyciąga również organizatorów wielkich koncertów rockowych. W sumie odbyło się ich tu 8, gromadząc każdorazowo na widowni i płycie areny ok. 60 tys. fanów. Aktywności areny głównej towarzyszy intensywne wykorzystywanie boisk treningowych. Boisko ze sztuczną nawierzchnią umożliwia treningi i rozgrywanie meczów w okresie całego roku, również w zimie. Zaplecze hotelowe oraz bogato wyposażone sale sportowe i zespoły odnowy biologicznej przyciągają zgrupowania szkoleniowo-treningowe, nawet na poziomie drużyn ligowych. Wielofunkcyjna sala sportowo-konferencyjna oraz szereg mniejszych sal seminaryjnych wielokrotnie sprawdziły się podczas organizowanych tu konferencji i sympozjów. Wojewódzki Ośrodek Kultury i Sportu *Stadion Śląski* prowadzi ponadto codzienną działalność adresowaną do mieszkańców pobliskich osiedli i całej śląskiej aglomeracji.

Nowa natura współczesnego sportu

Letnie igrzyska olimpijskie w Rzymie (1960) miały dla współczesnego sportu charakter przełomowy. Międzynarodowy Komitet Olimpijski (MKOl) zdecydował wówczas po raz pierwszy o sprzedaży praw do transmisji telewizyjnych, uruchamiając tym samym proces przemian, polegający na stopniowym odchodzeniu od idei sportu amatorskiego na rzecz zawodowstwa. Oficjalna rezygnacja z formuły amatorskiej nastąpiła w roku 1981, a cztery lata później wydano zgodę na wykorzystanie symboli olimpijskich do celów komercyjnych. Decyzje te spowodowały gwałtowny wzrost telewizyjnej widowni i wpływów finansowych. Wkrótce potem inne dziedziny sportu, cieszące się zainteresowaniem kibiców na całym świecie, poszły śladem MKOl. Sport wszedł w świat przemysłu rozrywkowego. Telewizja uczyniła ze sportu masowe widowisko teatralne naszych czasów, swoiste misterium XX wieku. Najważniejsze imprezy piłkarskie, turnieje tenisa ziemnego, wyścigi Formuły-1 są dzisiaj retransmitowane do ponad 200 krajów, widownia liczona jest w miliardach kibiców, a przychody ze sprzedaży praw do transmisji można opisać równie wielkimi liczbami. Wiele dyscyplin uległo zmianom, dostosowując się do rygorów transmisji telewizyjnych. Wymogi wolnego rynku wywierają wpływ na reguły zawodów, miejsce i czas ich przeprowadzania. Środowisko sportowe we współczesnym świecie cechuje silne powiązanie interesów ze stacjami telewizyjnymi i radiowymi oraz specjalistami od reklamy i ich zleceniodawcami. Osiągnięcia sportowe stały się towarem, a dochody sportowców zależą od możliwości reklamowych ich rezultatów, pod warunkiem jednak, że stanowią opłacalną inwestycję dla sponsorów[27].

Stadion – wielkie studio telewizyjne

W tym kontekście współczesny stadion stał się wielkim studiem telewizyjnym, w którym widownia wypełniona kibicami stanowi ważny element scenograficzny, niezbędne tło dla wydarzeń rozgrywają-

[27] Fragmenty tekstu na temat zmian oblicza współczesnego sportu, roli telewizji i komercjalizacji opracowano na podstawie komentarzy zawartych w wydawnictwie *Kronika Sportu*, opr. zespół pod kierunkiem M.B. Michalika, Wydawnictwo „Kronika", Warszawa 1980.

Fot. 1-42. Wielkie ekrany telewizyjne umożliwiające oglądanie bezpośredniej transmisji z przebiegu meczu i obrazu pola gry w skali 1:1 z widowni istniejących stadionów. Koncepcja opublikowana w ramach promocji Mistrzostw Świata w Piłce Nożnej *Japonia – Korea 2000.* Podstawą tej idei jest stworzenie warunków pozwalających rzeszom kibiców zlokalizowanych w dowolnym miejscu świata na zbiorowe uczestniczenie, w czasie rzeczywistym i w warunkach widowni stadionowej, w meczu rozgrywanym na mistrzostwach. *Foto: reprodukcja – folder reklamowy Komitetu Organizacyjnego MŚ Japonia-Korea 2000.*

Fot. 1-43. *Colonial Stadium* w Melbourne. Przykład poszukiwania rozwiązań podnoszących komfort indywidualnego miejsca na widowni stadionowej. Na trybunach stadionu zamontowano tysiąc foteli wyposażonych w interaktywne pulpity połączone z centralnym serwerem stadionowej sieci komputerowej oraz z internetem. Pulpity umożliwiają podgląd obrazu transmisji telewizyjnej oraz różne sekwencje wykorzystania tego obrazu (cofanie, zwalnianie, powtarzanie, powiększanie itp.). System ten zapewnia ponadto łączność z dystrybutorami usług adresowanych do widzów, jak np. usługi kulinarne. Umożliwia też dostęp do pakietów informacyjnych związanych z danym widowiskiem, jak również zewnętrzną łączność komunikacyjno-informacyjną.

Foto: reprodukcja – za Seating Revolution, Panstadia International, July 2000, s. 54-59.

cych się na arenie. Możliwości tego studia widać szczególnie podczas transmisji ceremonii otwarć i zamknięć igrzysk olimpijskich, czy wielkich meczów o najwyższe trofea. Jak pokazały ostatnie igrzyska w Atenach czy Pekinie, we wnętrzach dzisiejszych stadionów możliwe jest realizowanie wielkoprzestrzennych inscenizacji teatralnych przy udziale tysięcy aktorów i statystów, wielkich, dostosowanych do skali areny, ruchomych rekwizytów scenograficznych i specjalnych efektów świetlnych. Wszystko to przy współudziale dziesiątków tysięcy widzów na trybunach rejestrowane jest przez niezliczone ilości kamer telewizyjnych, których obrazy montowane są następnie na pulpicie reżyserskim w atrakcyjny program telewizyjny. Rzesze kibiców przed telewizorami muszą zadowolić się telewizyjnym przekazem atmosfery stadionu. Nadal jednak przedmiotem zainteresowania jest przekaz z meczu, czyli relacji z rzeczywistego wydarzenia, w którym aktywny udział biorą zarówno zawodnicy, jak i widzowie. Dlatego też można być spokojnym o to, że telewizja nigdy nie straci zainteresowania żywą, gorącą widownią, współtworzącą dramaturgię spektaklu. Puste trybuny i echo pojedynczych odgłosów walki na boisku oznaczają przecież całkowite fiasko przedstawienia. Kamera telewizyjna stała się wszechobecna we wnętrzu stadionu. Widzi wszystko i rejestruje wszystko. Nie dziwi nikogo nieustanna aktywność kamer, ich praca i ruch. Te, często zdalnie sterowane już dziś urządzenia, sprawne roboty, przemieszczając się za grupą biegaczy, towarzysząc rozbiegowi skoczka, przejeżdżając nad głowami widzów współtworzą atmosferę widowiska. Wielokrotnie widzi się spontaniczne reakcje publiczności w momencie spostrzeżenia, gdy ta czy inna osoba z tłumu, wychwycona przez kamerę, pokazywana jest na wielkim stadionowym ekranie.

Oświetlenie areny i widowni musi odpowiadać wymaganiom technologicznym telewizji. Transmisje z meczów przeprowadzanych przy świetle dziennym, zwłaszcza przy słonecznej pogodzie, ujawniają ciągle jeszcze nieprzystosowanie techniki telewizyjnej do zmiennych, kontrastowych warunków oświetlenia z gwałtownymi zmianami jego natężenia i powodują słabą jakość przekazu. Paradoksalnie nowoczesne zadaszenia, rzucające ostry cień na arenę dzieląc ją na strefę jasną i ciemną, odzwierciedlając na murawie cieniem rysunek swojej konstrukcji, przyczyniają się właśnie do znacznego obniżenia jakości widowiska dziennego, jak również jego transmisji telewizyjnej. Ten sam dach nad trybunami, a często dziś i nad areną, jest wielkim dobrodziejstwem w czasie widowisk nocnych. Konstrukcja zadaszenia umożliwia bowiem właściwe rozmieszczenie instalacji oświetleniowych, kamer, mikrofonów, głośników i urządzeń scenograficznych. Ponadto podniebienie dachu, jako ekran odbijający, ułatwia uzyskiwanie właściwego ogólnego natężenia oświetlenia i sprzyja powstawaniu właściwej charakterystyki parametrów akustycznych. Wszystkie te czynniki powodują, że w przypadku ważnych wydarzeń aktywność stadionu przenosi się na późne godziny wieczorne i nocne. Innym, właściwie głównym tego uzasadnieniem jest jednak tzw. oglądalność programów telewizyjnych, która jest największa właśnie w godzinach wieczornych.

Technologia telewizyjna rozwiązuje również problem limitu odległości dobrego widzenia na wielkiej widowni we wnętrzu stadionu. Pozwala widzowi oddalonemu poza zakres anatomicznej percepcji szczegółów widzieć je na wielkim ekranie w znacznym powiększeniu. Uczestnicy koncertu muzycznego są w stanie dzięki aparaturze telewizyjnej widzieć szczegóły twarzy wokalisty. Wielkie ekrany emitujące obrazy akcji toczącej się na arenie stały się obligatoryjnym elementem spektaklu. Coraz częściej spotykane są, zawieszone centralnie nad boiskiem, gondole z wielokierunkowymi zestawami ekranów, których zaletą jest znaczne zbliżenie do obserwatora oraz to, że znajdują się one na kierunkach linii widzenia, które są zgodne z liniami widzenia pola areny.

Telewizja pełni też nieocenioną rolę w monitorowaniu zachowań wielotysięcznych mas widzów na widowni i we wszystkich strefach funkcjonalnych stadionu, przez co umożliwia sprawne kontrolowanie i zarządzanie przebiegiem widowiska.

Telewizja cyfrowa nowej generacji w połączeniu z możliwościami internetu i technologii komputerowych już wkrótce może zmienić oblicze wielkich widowni. Wskazują na to pierwsze eksperymentalne propozycje takich rozwiązań. Należą do nich praktyczne doświadczenia tego typu znane z *Colonial Stadium* w Melbourne[28]. Na stadionie tym, wybudowanym ze środków australijskiej sieci telewizyjnej Channel Seven zamontowano około dwa tysiące foteli, wyposażonych w pulpity z ekranem monitora i klawiaturą komputerową, które połączone są z wewnętrznym systemem informatycznym. Dzięki temu widz dysponuje wielofunkcyjnym urządzeniem, umożliwiającym mu pobieranie obrazów uzupełniających percepcję bezpośrednią, audiowizualne komunikowanie się ze służbami obsługującymi widownię, pobieranie, nadawanie i odbieranie informacji i komunikatów, korzystanie z wewnętrznej i zewnętrznej sieci internetu.

Równie ciekawą przyszłościową propozycją, związaną z interkontynentalnym systemem telewizji, jest idea zaprezentowana przez japoński komitet organizacyjny Mistrzostw Świata w Piłce Nożnej *Japonia-Korea 2002*. Polegała ona na instalacji wielkich, mających rozpiętość długości boiska piłkarskiego, ekranów retransmisyjnych na odległych stadionach położonych w dowolnym miejscu świata. Służyć one miały do wspólnego oglądania z widowni własnego stadionu meczów toczących się na mistrzostwach. Wielkość i kształt ekranów miały dawać wrażenie obrazu w naturalnej skali i wrażenie bezpośredniego uczestniczenia wraz tysiącami kibiców siedzących obok w meczu toczącym się w tym samym czasie po drugiej stronie globu.

1.3. Charakterystyka aparatu wzrokowego człowieka

Projektowanie widowni zdeterminowane jest przede wszystkim względami widoczności areny i toczącej się na niej akcji. W związku z tym, zasadniczy i nadrzędny wpływ na kształtowanie trybun mają zagadnienia z dziedziny percepcji wzrokowej człowieka.

Arena jest płaszczyzną poziomą, z wyraźnie oznakowanym polem zawodów. Zwykle ma ona znaczne wymiary przestrzenne, a jej kształt wyznaczają rodzaje dyscyplin sportowych, dla których jest przeznaczona. Charakterystyczną cechą widowni dużych obiektów sportowo-widowiskowych jest ich pojemność, osiągająca współcześnie od 30 do 80 tys. miejsc. Ma to dla problematyki widoczności poważne znaczenie, gdyż wpływa na jeden z najważniejszych, jakościowych parametrów obserwacji, jakim jest odległość oka od oglądanego obiektu. Kolejną konsekwencją dużej pojemności widowni jest wysokość wyniesienia oka ponad poziom areny, która dla stref zewnętrznych widowni osiąga wymiar 40-50m. Wpływa to na pionowe kąty widzenia oraz komfort psychofizyczny widza.

Obserwowany przez użytkownika widowni obraz jest więc obrazem dużej przestrzennie, płaskiej powierzchni widzianej z góry, z relatywnie dużej odległości, ponad głowami innych widzów. W obrębie tej powierzchni toczy się akcja zawodów, która z optycznego punktu widzenia polega na przemieszczaniu się ruchomych obiektów

[28] Szczegóły tego eksperymentu opisuje współautor Stadionu Olimpijskiego w Sydney, architekt Rod Sheard w artykule p.t.: *Building for the digital audience*, Stadium & Arena Management, April 2000.

– postaci zawodników i znacznie mniejszego od nich, będącego centrum uwagi, rekwizytu (np. piłki).

Zmysł wzroku jest współcześnie przedmiotem badań wielu dziedzin nauki. Zajmuje się nim m.in. kilka dziedzin medycyny, psychologia, optyka, ergonomia. Większość zagadnień, choć jeszcze nie wszystkie, została dogłębnie zbadana i opisana. Szczególnie dokładną wiedzę posiadamy w zakresie optyki oka i pola widzenia. Wśród zagadnień czekających na pełne rozpoznanie należy wymienić zasady funkcjonowania mózgu, a wśród nich procesy analizowania obrazu siatkówkowego i przetwarzania go w obraz wrażeniowy.

Szczegółowy opis skomplikowanego działania całego aparatu wzrokowego wykracza poza ramy niniejszej pracy. Omawiane w dalszej części tekstu wykreślne metody projektowania widowni wykorzystują podstawowe optyczne i kinetyczne zasady działania oka. Dlatego też zagadnieniom wzroku poświęcono uwagę jedynie w zakresie niezbędnym do przedstawienia przyjętych założeń badawczych i projektowych, ograniczając go do prezentacji schematów i uproszczonych modeli oraz ich opisu. Założenia te są pod wieloma względami zbieżne z założeniami znanych metod wykreślania perspektywy linearnej[29]. Opierają się one na podstawowych prawach optyki geometrycznej, która m.in. operuje pojęciami: *promień świetlny i prostoliniowe rozchodzenie się światła.* Ich podstawę stanowią analizy tzw. *obrazu siatkówkowego* i tzw. *centralnej linii widzenia*, stanowiących zasadnicze elementy układu optycznego oka.

1.3.1. Oko

Oczy odbierają bodźce świetlne i przekształcają je w impulsy nerwowe. Impulsy te biegną drogami wzrokowymi do mózgu, gdzie przetwarzane są w obrazy wrażeniowe. Promienie świetlne, padając na powierzchnię obiektów materialnych, ulegają odbiciu. Jeżeli obiekt znajduje się w polu widzenia obserwatora, część z tych promieni wpada do wnętrza jego oczu i wyświetla na siatkówce obrazy *siatkówkowe* tego obiektu. Mózg integruje te obrazy w jeden stereoskopowy obraz wrażeniowy.

Obraz siatkówkowy obiektu jest zbiorem obrazów poszczególnych punktów tworzących widoczną powierzchnię obiektu. Promienie świetlne, odbijane przez każdy z tych punktów, rozchodzą się prostoliniowo. Ograniczona średnicą źrenicy wiązka promieni wnika do wnętrza oka, gdzie dzięki właściwościom soczewki (*refrakcja)*, skupiane są na powierzchni siatkówki w postaci obrazów punktów rzeczywistych. Obraz w optyce geometrycznej to reprezentacja rzeczywistego przedmiotu będącego źródłem promieni świetlnych. Obraz określonego punktu powstaje w miejscu przecięcia się promieni świetlnych, pochodzących od tego punktu. Możliwe jest to dzięki skupiającemu działaniu soczewki. Wyraźne widzenie obrazu wymaga, by powstawał on dokładnie na powierzchni fotoreceptorów siatkówki. Powierzchnia ta położona jest w stałej odległości od środka soczewki, wynoszącej ok. 16 mm. *Ostre* widzenie przedmiotów, położonych w różnej odległościach od oka, możliwe jest dzięki zdolnościom soczewki do akomodacji, polegającej na zmianach jej krzywizn, co prowadzi do zmian jej ogniskowej.

Z praw optyki geometrycznej wynika, że jeden z promieni wiązki, wysyłanej przez punkt rzeczywisty, przenikając do wnętrza oka nie ulega załamaniu. Jest to promień przechodzący przez środek geometryczny soczewki. Promieniowi temu nadano nazwę *linii widzenia,* a punkt na siatkówce, na

[29] Zwięzły, lecz wyczerpujący merytorycznie opis zasad optycznych, na których opiera się teoria perspektywy linearnej przedstawia Konrad Dyba, por. K. Dyba, *Perspektywa linijna,* Istytut Architektury i Urbanistyki Politechniki Wrocławskiej, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 1979.

który pada, określono jako *punkt widzenia.* Wśród linii widzenia istnieje linia szczególna. Przechodzi ona bowiem równocześnie przez trzy charakterystyczne punkty układu optycznego oka, tj. środek geometryczny soczewki, środek obrotu gałki ocznej i środek *zagłębienia środkowego* w obszarze *żółtej plamki.* Linię tę nazwano *centralną linią widzenia,* a punkt, na który pada na siatkówkę, *centralnym punktem widzenia.*

Powierzchnia siatkówki cechuje się znacznym zróżnicowaniem wrażliwości na bodźce świetlne. Wynika to z nierównomiernego i różniącego się zagęszczeniem, rozłożenia fotoreceptorów (*czopków i pręcików).* Największe ich skupienie występuje na małym obszarze o średnicy ok. 2 mm, zwanym *żółtą plamką.* Jest to obszar najwyraźniejszego widzenia, któremu odpowiada stożek widzenia o kącie wierzchołkowym ok. 7°. W centrum tego obszaru znajduje się jeszcze bardziej czuła strefa, o średnicy ok. 0,25-0,30mm, zwana *zagłębieniem* środkowym. Odpowiada mu stożek widzenia o kącie wierzchołkowym ok.1°. Stożkiem widzenia nazywa się stożek, tworzony przez wiązkę linii widzenia o jednakowym kącie widzenia. Kąt ten jest kątem wierzchołkowym stożka. Wierzchołek stożka znajduje się w środku geometrycznym soczewki, gdzie przecinają się wszystkie linie widzenia. Podstawa stożka leży na siatkówce. Opisany stożek powstaje we wnętrzu oka. Po zewnętrznej stronie soczewki, z tych samych linii widzenia powstaje drugi, odwrócony stożek, o tym samym kącie wierzchołkowym. Wszystkie obiekty, które znajdą się wewnątrz stożka zewnętrznego, widziane będą powierzchnią siatkówki odpowiadającą podstawie stożka wewnętrznego.

Tak więc w oku, inaczej niż w kamerze fotograficznej, powstaje obraz o zróżnicowanej ostrości. Jest on najwyraźniejszy w punkcie, na który oko fiksuje *centralną linię widzenia* (widzenie zagłębieniem żółtej plamki) i wyraźny w jego najbliższym otoczeniu(widzenie powierzchnią żółtej plamki). W miarę oddalania się od centralnego punktu widzenia obraz staje się coraz mniej doskonały, wyznaczany jest bowiem pobocznymi liniami widzenia, padającymi na peryferyjne, mniej czułe obszary siatkówki.

Utrzymanie obrazu siatkówkowego obserwowanego punktu rzeczywistego na powierzchni *żółtej plamki* możliwe jest dzięki *wzrokowemu odruchowi fiksacyjnemu.* Badania wykazują, że idealna fiksacja, która musiałaby polegać na statycznym utrzymaniu obrazu punktu na jednym czopku (czopek plamkowy ma średnicę ok. 15" kątowych), nie jest w rzeczywistości możliwa. Oczy bowiem, nigdy nie są zupełnie nieruchome. Wiadomo, że podczas fiksacji oko wykonuje cztery rodzaje ruchów[30]. Jednym z nich są drgania o amplitudzie ok. 17,5´´ kątowych i częstotliwości 30-70 cykli na sekundę. Obraz fiksowanego punktu przemieszcza się w obszarze 25-50 czopków.

Opisana wcześniej właściwość niejednorodnej czułości siatkówki powoduje, że w celu uzyskania pełnego obrazu obserwowanego obiektu, aparat analizatora wzrokowego musi, za pośrednictwem ruchów oka, nakierowywać *centralną linię widzenia* na szereg jego punktów – i równocześnie, w mózgu, scalając je, „skonstruować" z nich pełny obraz wrażeniowy obiektu. Badania z dziedziny biometrologii wykazują, że w procesie spostrzegania, oczy poruszają się w sposób zsynchronizowany po polu obserwacji, tworząc charakterystyczne trajektorie ruchu *centralnej linii widzenia,* odzwierciedlające skomplikowany proces analizowania obrazu. Okazuje się, że przy analizowaniu tego samego obiektu, poszczególni obserwatorzy korzystają z identycznych lub bardzo podobnych trajektorii.[31]

---

[30] Za K. Łapaczewska, *Pole widzenia – Badania modelowe*, Instytut Wzornictwa Przemysłowego, Zakład Wydawnictw, Warszawa 1979, s. 22.

[31] Za Z.M. Wawrzyniak, *Materiały do wykładu* z *biometrologii,* Zakład Profilaktyki Zagrożeń Środowiskowych, Akademia Medyczna w Warszawie; Instytut Systemów Elektronicznych, Politechnika Warszawska.

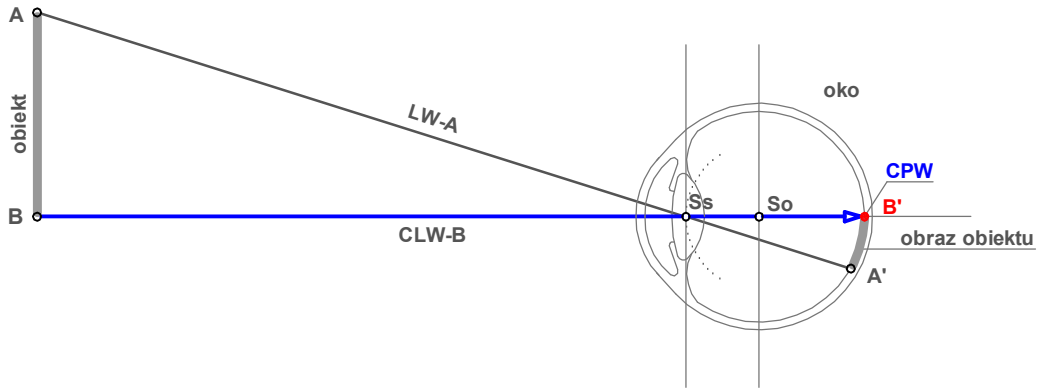
Na rys. 1-3 przedstawiono modelowo ogólne zasady działania aparatu analizatora wzrokowego. Oglądając obiekt, którym jest przykładowo pionowy odcinek prostej (AB), oko w pierwszej kolejności nakierowuje centralną linię widzenia na jego punkty krawędziowe

A i B, potem analizuje pozostałe punkty położone pomiędzy nimi. Przy fiksacji na punkcie B, centralna linia widzenia (CLW) pada dokładnie na centralny punkt widzenia (CPW) na siatkówce, a mózg odczytuje jego obraz (B`), który jest najwyraźniejszy z możliwych (rys. 1-3a). Linia widzenia punktu A, padając na obszar peryferyjny siatkówki, wyznacza jego obraz A`, który jest mniej ostry i położony poniżej centralnej linii widzenia. Punkty B` i A` wyznaczają krawędzie obrazu siatkówkowego rzeczywistego obiektu AB. Obraz ten jest obrazem optycznym rzeczywistym, pomniejszonym i odwróconym. Przestawiając CLW na punkt A obiektu, oko wykonuje obrót w płaszczyźnie pionowej wokół punktu obrotu gałki ocznej (So). W wyniku tego, obraz tego punktu A` trafia na CPW, a obraz drugiego punktu krawędziowego (B`) przesuwa się ponad centralny punkt widzenia (rys. 1-3b). Łatwo zauważyć, że w istocie podczas analizy obrazu oglądanego obiektu, oko, wykonując obroty wokół punktu obrotu gałki ocznej, przestawia położenie centralnego punktu widzenia w obrębie tego obrazu, sytuując go w wybranych punktach. Można powiedzieć, że oko widzi centralnym punktem zagłębienia żółtej plamki. Dochodzi przy tym do przesuwania się wyświetlanego obrazu po powierzchni siatkówki, w związku z czym coraz to inne receptory biorą udział w przekazywaniu tego samego obrazu do kory mózgowej.

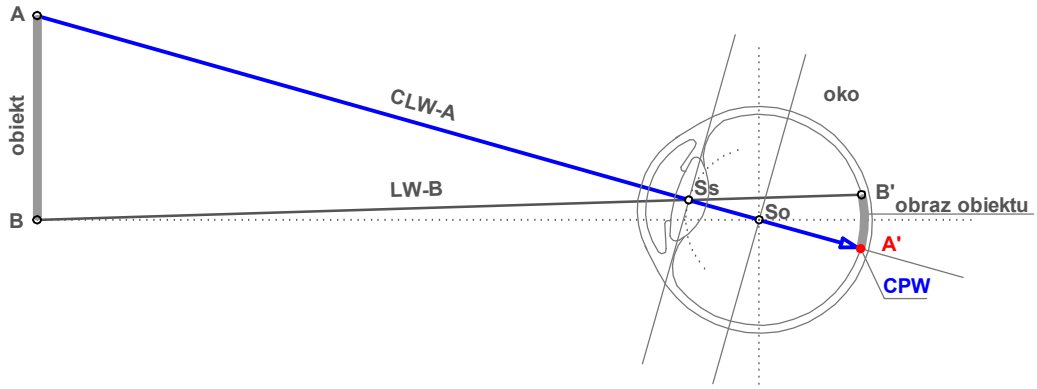
1.3.2. Pole widzenia

W ergonomii, psychologii, fizjologii, oftalmologii polem widzenia nazywane jest psychofizjologiczne odzwierciedlenie obrazu siatkówkowego powstającego w nieruchomym oku, tzn. fiksującym jeden stały punkt rzeczywisty. Granice, kształt i inne cechy jakościowe tego obrazu, jak wyrazistość, jasność i czytelność barw, wynikają z cech anatomicznych oka i głowy. Pola widzenia lewego i prawego oka się różnią. Przy widzeniu obuocznym pola te częściowo się na siebie nakładają, dając w wyniku tzw. obuoczne pole widzenia. Jest to, obrazowo mówiąc, okno na świat zewnętrzny, świat istniejący poza naszym organizmem. Przy graficznym przedstawianiu pola widzenia wykorzystuje się układ współrzędnych, który jest rozwinięciem południków i równoleżników wklęsłej czaszy półkulistej (rys. 1-4). Odzwierciedla ona modelowo wklęsłą powierzchnię siatkówki oka. Jednostkę miary stanowią tu stopnie kątowe, podobnie jak w kartografii. Zakłada się, że centralna linia widzenia (CLW) przebiega prostopadle do płaszczyzny wykresu i pada w jego centralny punkt wyznaczany przez skrzyżowanie osi i południków. Punkt ten odzwierciedla zogniskowane, centralne punkty widzenia (CPW) siatkówek obu oczu.

Dwuoczne pole widzenia przypomina kształtem owal. Jego granice w kierunku poziomym sięgają po ok.90° na lewo i na prawo od pionowej osi głowy, wyznaczając poziomy zakres równy ok. 180°. Zakres pola widzenia ku górze wynosi ok. 60°, a ku dołowi ok. 70°, co łącznie tworzy pionowy zakres równy ok. 130°. Wokół centralnego punktu widzenia znajduje się opisany wcześniej obszar najostrzejszego widzenia o promieniu ok. 3,5°, odpowiadający żółtej plamce, zwany środkowym polem widzenia. W najbliższym jego otoczeniu rozpościera się strefa ostrego widzenia, wyznaczana promieniem ok. 7,5°, nosząca nazwę przyśrodkowego pola widzenia. Im dalej koncentrycznie na zewnątrz, tym wyrazistość widzenia maleje. W peryferyjnych strefach pola widzenia rozpoznawane są jedynie ogólne kontury poruszających



A).- CENTRALNA LINIA WIDZENIA NAKIEROWANA NA PUNKT "B" OBIEKTU



B).- CENTRALNA LINIA WIDZENIA NAKIEROWANA NA PUNKT "A" OBIEKTU

RYS.1-3
OGÓLNE ZASADY DZIAŁANIA APARATU ANALIZTORA WZROKOWEGO

Źródło - opracowanie autora na podstawie: K. Łapaczewska, Pole widzenia - badania modelowe, Instytut Wzornictwa Przemysłowego, Prace i Materiały, Zeszyt 102, Warszawa 1986.

LEGENDA

CPW - **Centralny punkt widzenia; środek zagłębienia w obszarze tzw."żółtej plamki" siatkówki oka, cechujący się największym zagęszczeniem fotoreceptorów i najwyraźniejszym widzeniem.**

Ss - **Środek geometryczny soczewki oka; promienie świetlne (promienie widzenia) przechodzące przez ten punkt nie ulegają załamaniom.**

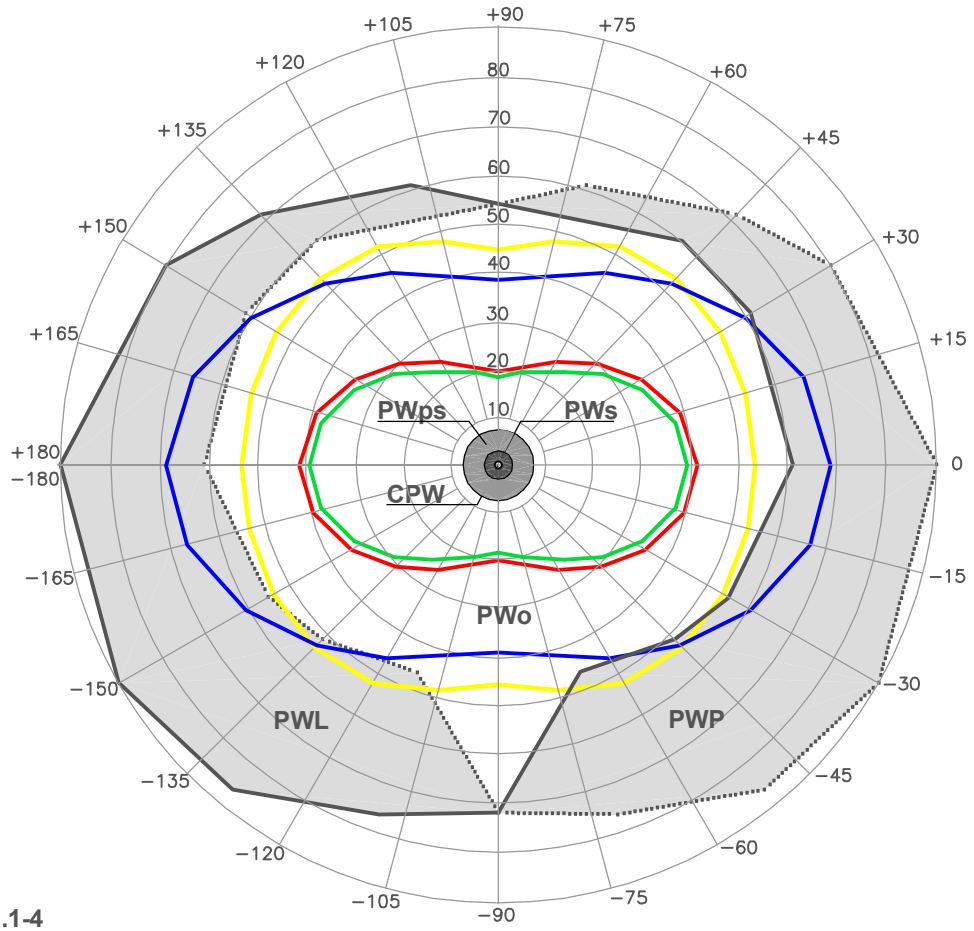
So - **Punkt obrotu gałki ocznej; punkt przecięcia osi obrotów oka.**

A,B - **Skrajne punkty obserwowanego obiektu.**

A'B' - **Obrazy skrajnych punktów obserwowanego obiektu "wyświetlone" na siatkówce oka; obraz siatkówkowy tego obiektu jest obrazem optycznym rzeczywistym, pomniejszonym i odwróconym.**

CLW-A, (CLW-B) - **Centralna linia widzenia nakierowana na punkt "A"("B"); główny promień widzenia, który wyróżnia się równoczesnym przebiegiem przez trzy punkty wewnątrz oka tj. środek soczewki, punkt obrotu gałki ocznej i centralny punkt widenia (CPW) na siatkówce.**

LW-A, (LW-B) - **Linia widzenia punktu "A" ("B"); poboczny promień widzenia, padający na mniej czułe obszary siatkówki oka, cechujące się mniej wyraźnym widzeniem. Wyróżnia się przebiegiem przez środek soczewki, dzięki czemu jest prostoliniowy (bez załamań, którym podlegają pozostałe promienie, pochodzące z obserwowanego punktu, skupiane przez soczewkę w obrazie tego punktu na siatkówce).**



RYS.1-4

ANATOMICZNE OBUOCZNE POLE WIDZENIA - WRAŻENIOWE, PSYCHOFIZJOLOGICZNE ODZWIERCIEDLENIE FIZYCZNEGO OBRAZU ODRZUTOWANEGO PRZEZ SYSTEM OPTYCZNY OCZU NA ICH SIATKÓWCE

Źródło - opracowanie autora na podstawie: K. Łapaczewska, Pole widzenia - badania modelowe, Instytut Wzornictwa Przemysłowego, Prace i Materiały, Zeszyt 102, Warszawa 1986.

Południkowo-równoleżnikowa siatka współrzędnych wykresu jest rozwinięciem wklęsłej powierzchni czaszy półkuli. Jednostkę miary stanowi stopień kątowy. Pole widzenia określa się przy nieruchomej pozycji oczu, które fiksują jeden nieruchomy punkt w przestrzeni. Centralna linia widzenia (CLW) jest prostopadła do płaszczyzny wykresu i pada w jego centralny punkt (skrzyżowanie osi i południków). Punkt ten odzwierciedla, zogniskowane, centralne punkty widzenia (CPW) stanowiące środki tzw. " zagłębień żółtej plamki" siatkówki obu oczu. Zagłębienia te to obszar o średnicy ok. 0,3 mm, cechujący się największym skupieniem fotoreceptorów i "najostrzejszym" widzeniem. Odpowiada mu kąt widzenia równy ok. 1°.

LEGENDA

Granica pełnego widzenia barwy zielonej.
Granica pełnego widzenia barwy czerwonej.
Granica pełnego widzenia barwy żółtej.
Granica pełnego widzenia barwy niebieskiej.

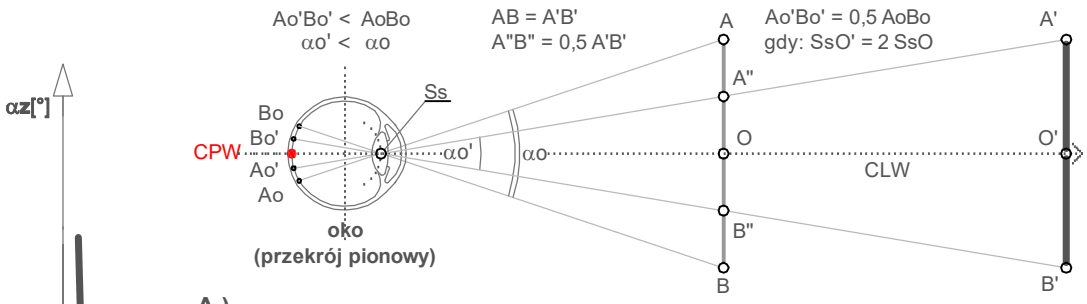
(Barwa biała widziana jest w pełni w całym polu widzenia).

- Fragmenty pola widzenia widziane wyłącznie jednym z oczu.
- Pole widzenia lewego oka (PWL).
- Pole widzenia prawego oka (PWP).

PWo - Obuoczne pole widzenia.

PWs - Środkowe pole widzenia.Obejmuje obszar "żółtej plamki", której odpowiada stożek widzenia o kącie wierzchołkowym ok. 7°. Charakteryzuje się najwyraźniejszym widzeniem.

PWps- Przyśrodkowe pole widzenia. Obejmuje najbliższy obszar centralnego punktu widzenia. Wyznacza go stożek wyraźnego widzenia o kącie wierzchołkowym równym 15°.



A.)

PERCEPCJA WZROKOWA OBIEKTÓW W PRZESTRRZENI.
WIELKOŚĆ OBRAZU SIATKÓWKOWEGO JAKO FUNKCJA KĄTA WIDZENIA.

H1 = H2 = H3 = H
H / a = tg α1
H / 2a = tg α2
H / 4a = tg α3

H2' / a = tg α2
H3' / a = tg α3

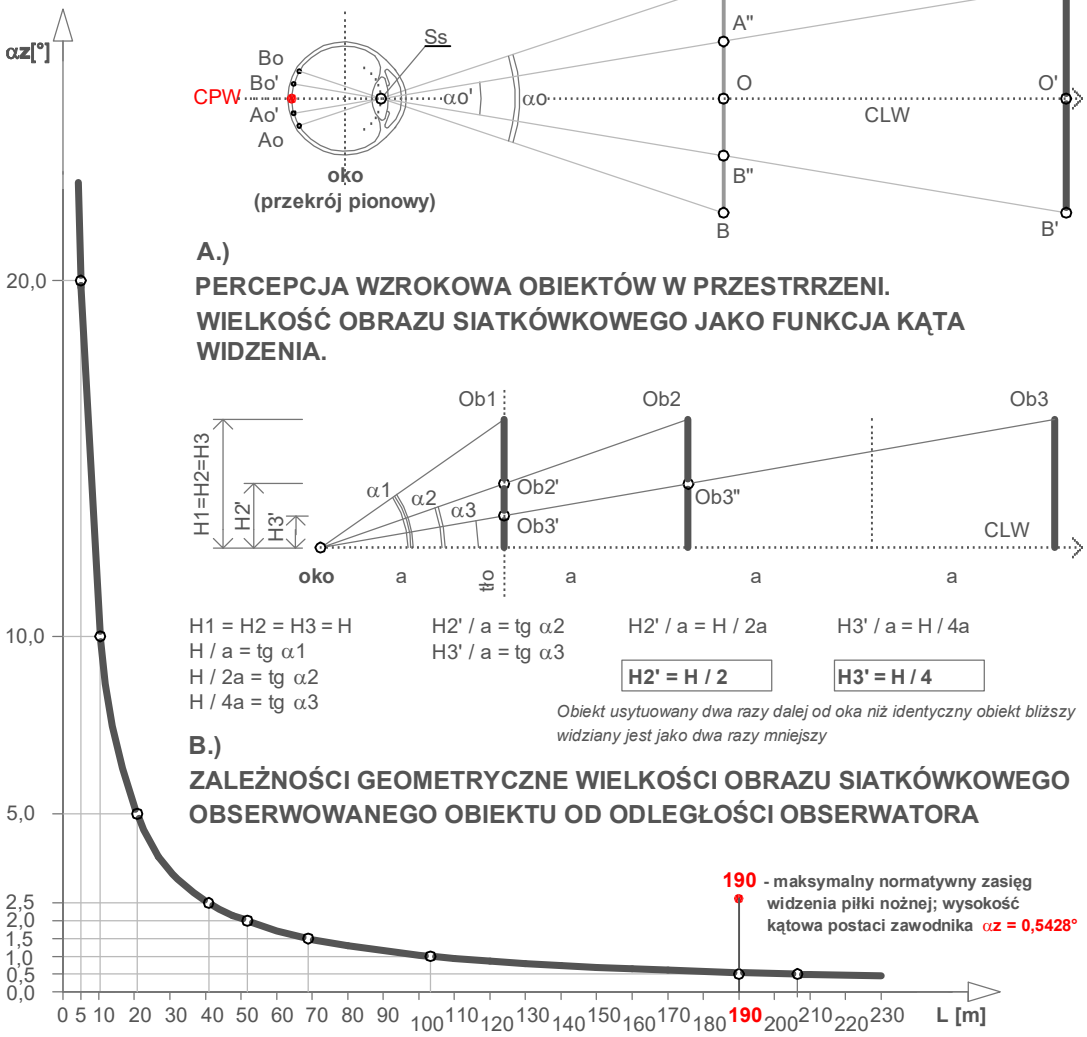
H2' / a = H / 2a
H2' = H / 2

H3' / a = H / 4a
H3' = H / 4

Obiekt usytuowany dwa razy dalej od oka niż identyczny obiekt bliższy widziany jest jako dwa razy mniejszy

B.)

ZALEŻNOŚCI GEOMETRYCZNE WIELKOŚCI OBRAZU SIATKÓWKOWEGO OBSERWOWANEGO OBIEKTU OD ODLEGŁOŚCI OBSERWATORA



C.)

WYKRES ZALEŻNOŚCI KĄTOWEJ WYSOKOŚCI POSTACI ZAWODNIKA (pionowy kąt widzenia) OD ODLEGŁOŚCI OBSERWATORA

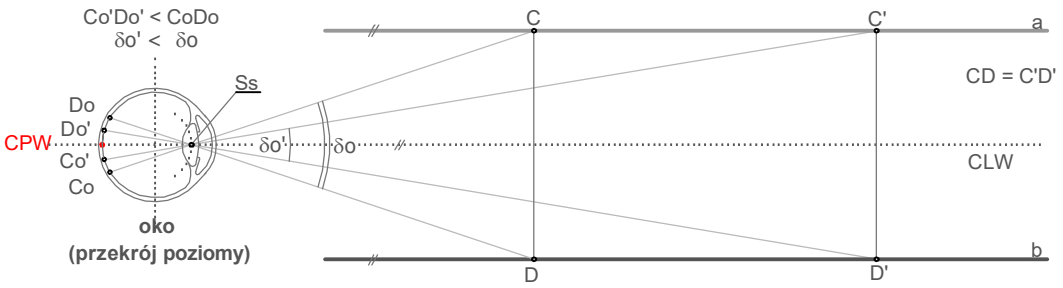
RYS. 1- 5
WIELKOŚĆ SIATKÓWKOWEGO OBRAZU OBSERWOWANEGO OBIEKTU.
DETERMINANTY GEOMETRYCZNE

Źródło - oryginalne opracowanie autora.

LEGENDA

Ob1, Ob2, Ob3	**- Obserwowane obiekty.**
a, 2a, 4a	**- Odległości obiektów od oka obserwatora.**
α1, α2, α3	**- Pionowe kąty widzenia poszczególnych obiektów.**
H1, H2, H3	**- Wysokości obiektów, H1= H2 = H3 = H.**
Ob2', Ob3'	**- Wielości obiektów Ob2 i Ob3, odrzutowane promieniami widzenia na płaszczyznę tła, poprowadzoną przez obiekt Ob1.**
Ob3"	**- Wielkość obiektu Ob3, odrzutowana jw. lecz na tło w pozycji Ob2.**
A,A',B,B'	**- Skrajne punkty obserwowanych obiektów (odcinki AB i A'B')**
Ao,Ao',Bo,Bo'	**- Obrazy punktów A,A',B,B' na siatkówce oka.**
αo,(αo')	**- Pionowy kąt widzenia obiektu AB, (A'B'),**
SsO,(SsO')	**- Odległość obiektów AB i A'B' od oka.**
αz	**- Pionowy kąt widzenia postaci zawodnika o wysokości Hz=180cm.**
L	**- Odległość postaci zawodnika od obserwatora.**

Pozostałe oznaczenia jak dla rys. 1-3.

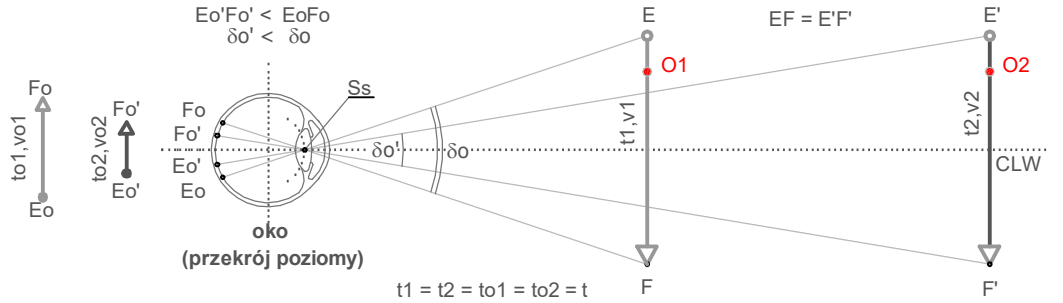


Im dalej od oka położone są punkty A i B, wyznaczające stałą odległość pomiędzy prostymi a i b, tym bardziej maleje kąt widzenia odcinka AB, a obrazy tych punktów na siatkówce oka zbliżają się do centralnego punktu widzenia (CPW). Daje to w efekcie obraz prostych (a i b) zbieżnych, dążących do jednego, wspólnego punktu.Obserwacja tych samych prostych równoleglych, lecz przy ustawieniu centralnej linni widzenia prostopadle do nich, da obraz siatkówkowy linii zbiegających się w dwóch różnych punktach, położonych po lewej i po prawej stronie centralnego punktu widzenia (CPW).

RYS. 1-6

PERSPEKTYWA OPTYCZNA OBRAZU SIATKÓWKOWEGO JAKO FUNKCJA KĄTA WIDZENIA.

Źródło - oryginalne opracowanie autora.



vo1 = EoFo / t vo2 = Eo'Fo' / t	ponieważ: EoFo > Eo'Fo'	to : **vo1 > vo2**	v1 = EF / t v2 = E'F' / t	ponieważ: EF = E'F'	to: **v1 = v2**

Ponieważ długości obrazów dróg obiektów (Oo1 i Oo2) są różne (EoFo>Eo'Fo'), a czas w jakim znajdą się one w punktach końcowych drogi (Fo i Fo') jednakowy prędkości poruszania się ich obrazów będą różne (vo1 > vo2). Obserwator odbiera ruch obiektu bliższego (O1), jako szybszy, a dalszego (O2), jako wolniejszy - mimo, że obiekty te poruszają się w przestrzeni z jednakową prędkością (v1 = v2). Zjawisko to nosi nazwę " paralaksy" i jest, oprócz perspektywy optycznej, jedną z najważniejszych właściwości percepcji wzrokowej.

RYS. 1-7

PERCEPCJA WZROKOWA RUCHOMYCH OBIEKTÓW W PRZESTRZENI. ŻJAWISKO PARALAKSY.

Źródło - oryginalne opracowanie autora.

LEGENDA

a,b - Obserwowane linie proste "a" i "b", równolegle do CLW, leżące na wspólnej z nią plaszczyźnie poziomej.
CC', (DD') - Punkty na prostej "a" (C,C') i ich zwierziadlane odbicie na prostej "b" (D,D').
δo,(δo') - Poziomy kąt widzenia odcinka CD, EF, (C'D', E'F').
CoDo, (Co'Do') - Obrazy odcinka CD(C'D') na siatkówce oka.
O1, O2 - Obiekty poruszające się w przestreni (punkty).
EF, E'F' - Drogi poruszających się obiektów, EF =E'F'.
t1, t2 - Czasy w jakich poruszają się obiekty; obiekt O1 po drodze EF i obiekt O2 po drodze E'F', t1 = t2.
v1, v2 - Prędkość z jaką poruszają się obiekty, v1 = v2
EoFo, (Eo'Fo') - Obraz siatkówkowy drogi EF, (E'F') ; EoFo > Eo'Fo'.
to1, to2 - Czas w jakim obrazy poruszających się obiektów (Oo1 i Oo2) pokonują siatkówkowe obrazy drogi EoFo i Eo'Fo' ; to1 = to2 = t1 = t2.
vo1, vo2 - Prędkość (vo1) poruszania się obrazu obiektu Oo1 po obrazie drogi EoFo i prędkość (vo2) obrazu obiektu Oo2 po obrazie drogi Eo'Fo' ; vo1 > vo2.
Pozostałe oznaczenia jak dla rys.1-3 i rys.1-5

się obiektów. Podobnie dzieje się z widzeniem barw. Pełne widzenie barw ma miejsce jedynie w centralnym rejonie pola widzenia. Począwszy od kąta ok. 25° barwy stopniowo zanikają, najpierw zielona, tuż za nią czerwona, następnie żółta i niebieska. Począwszy od kąta 45°, zanikać zaczyna jakiekolwiek wrażenie barwy. Pomiędzy granicami widzenia barwnego i zarysem granic zewnętrznych znajduje się obwodowe pole widzenia monochromatycznego, z rozpoznawaniem wyłącznie barwy białej i odcieni szarości. Obszar ten odpowiada miej więcej fragmentom pola widzenia dostrzeganym wyłącznie przez jedno oko.

1.3.3. Widzenie przestrzenne

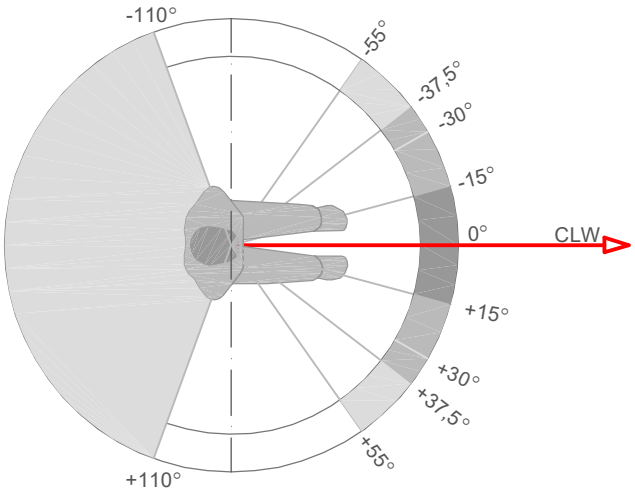
Widzenie przestrzenne zawdzięczamy fenomenowi zjawiska refrakcji, które zostało wykorzystane przez naturę do skonstruowania soczewki w układzie optycznym oka oraz anatomicznej budowie oka, polegającej min. na zachowaniu stałej odległości pomiędzy soczewką a siatkówką. Ten ostatni fakt powoduje, że w wyniku działania prostych praw trygonometrii wielkość obrazu siatkówkowego obserwowanego obiektu rzeczywistego, jest funkcją odległości tego obiektu od oka (rys. 1-5). Im obserwowany obiekt dalej od oka, tym kąt zawarty pomiędzy promieniami widzenia skrajnych punktów obiektu (tzw. kąt widzenia) mniejszy i tym mniejszy obraz siatkówkowy obiektu. Ten prosty mechanizm umożliwia rozpoznawanie głębi przestrzennej i rządzi prawami perspektywy optycznej (rys. 1-6). Zależności te leżą też u podstaw zjawiska paralaksy ruchowej (rys. 1-7), zarówno w przypadku, gdy obserwator jest nieruchomy a w ruchu są oglądane obiekty, jak i w przypadku odwrotnym, gdy obserwator porusza się względem oglądanych statycznych obiektów.

Zmniejszanie się wielkości obrazu siatkówkowego obiektu wraz ze zwiększaniem się odległości obserwatora nie ma charakteru funkcji liniowej (przebiegu wzajemnie proporcjonalnego). Wielkość obrazu siatkówkowego obiektu zmniejsza się dokładnie dwukrotnie, jeżeli odległość oka od obiektu ulega podwojeniu (rys. 1-5B). Przyjmując wielkość obiektu równą 1 i odległość od oka jego początkowej (najbliższej) pozycji równą 1, otrzymuje się następujący ciąg liczb rosnących w postępie geometrycznym: 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512, 1024 itd., które stanowią mnożniki odległości początkowej i ustalają kolejne odległości obiektu, odpowiadające algorytmowi. Z analiz trygonometrycznych wynika, że wielkość obrazu siatkówkowego obiektu jest ilorazem jego wielkości początkowej i ww. mnożnika. Obraz maleje więc odwrotnie proporcjonalnie do przyrostów odległości oka i obiektu. Oznacza to, że jeżeli wielkość obrazu obiektu w pozycji oddalonej od oka o jednostkę odległości równą „a" wynosi 1, to przy oddaleniu o 2a wyniesie 1/2 wielkości początkowej, o 4a-1/4, o 8a-1/8, o 16a-1/16 itd.

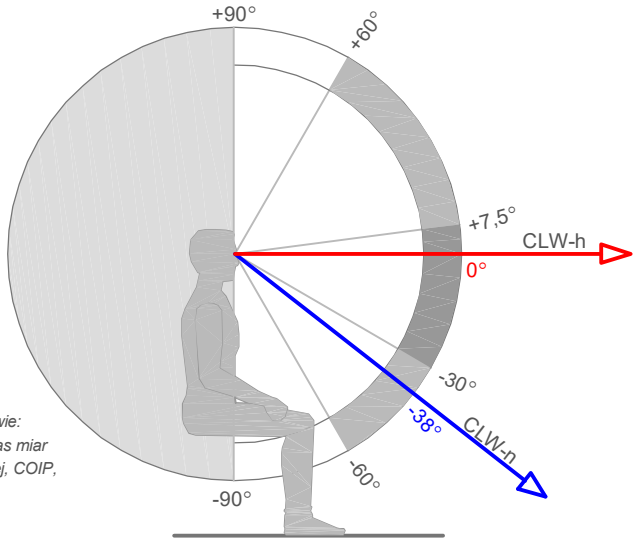
Wielkość obrazu siatkówkowego można wyrazić wielkością kątową. Miarą jest wówczas tzw. kąt widzenia, czyli kąt zawarty pomiędzy przecinającymi się w geometrycznym środku soczewki promieniami widzenia skrajnych punktów obiektu. Kąty widzenia maleją w miarę oddalania się obiektu od oka obserwatora. Zależność wielkości kąta widzenia od odległości obserwacyjnej przebiega, w pewnym przybliżeniu, wg zasad powyższego algorytmu. Wielkość kąta widzenia obiektu zmniejsza się w przybliżeniu o połowę, jeżeli odległość oka od obiektu ulega podwojeniu. Wykres tej zależności przedstawiono na rys. 1-5C, analizując wysokość kątową obrazu postaci zawodnika obserwowanego z różnych miejsc widowni współczesnego stadionu. Jak widać, dynamika zmniejszania się kąta widzenia jest różna w badanym zakresie odległości obserwacyjnych.

W strefie małych odległości (5-35m) następuje gwałtowny spadek wysokości kąto-

RYS. 1-8
POZIOMY ZAKRES WIDZENIA



RYS. 1-9
PIONOWY ZAKRES WIDZENIA



Źródło - rys.1-8 i rys.1-9, opracowanie autora na podstawie: A. Gedliczka, P.Pochopień, A. Szklarska, Z. Welon - Atlas miar człowieka; Dane do projektowania i oceny ergonomicznej, COIP, Warszawa 2001.

LEGENDA

Poziomy zakres widzenia

± 15° (30°) - Zakres widzenia osiągany dzięki ruchowi oczu (bez ruchu głowy i tułowia).
± 37,5° (75°) - Normalny poziomy zakres widzenia, osiągany dzięki optymalnemu, zespolonemu ruchowi oczu i głowy.
± 55° (110°) - Maksymalny zasięg widzenia osiągany w wyniku zespolonego ruchu oczu i głowy.
± 110° (220°) - Maksymalny zasięg widzenia poprzez zespolone ruchy oczu, głowy i tułowia.
140° - Strefa martwa, poza zasięgiem widzenia
CLW - Centralna linia widzenia, oś poziomego zakresu widzenia

Pionowy zakres widzenia

+7,5°,-30° (37,5°) - Zakres widzenia osiągany dzięki ruchowi oczu (bez ruchu głowy i tułowia).
+60°, -60° (120°) - Normalny pionowy zakres widzenia. Zakres widzenia osiągany jako wynik optymalnego, zespolonego ruchu oczu i głowy.
CLW - h - Centralna linia widzenia - pozioma
CLW - n - Centralna linia widzenia - normalna. Optymalne ustawienie oczu i głowy (- 38°), najbardziej naturalne, wymagające najmniejszego wysiłku podczas obserwacji.
+90°,-90° (180°) - Maksymalny pionowy zakres widzenia. Zakresy : od -60° do -90° oraz od +60° do + 90° wymagają zespolonych ruchów oczu, głowy i tułowia.
180° - Srefa martwa, poza zasięgiem widzenia

wej obiektu – z 20° do 3°. W zakresie od 35m do ok.100m wysokość ta zmniejsza się z 3° do 1°, a następnie, w miarę zwiększania odległości ponad 100m, tempo spadku maleje jeszcze bardziej. Wysokość kątowa postaci zawodnika widzianego z odległości 190 m, uznawanej za maksymalny zakres dobrej widoczności dla piłki nożnej, wynosi ok.0,5°.

1.3.4. Zakres widzenia

Jak już wspomniano wcześniej, oko widzi centralnym punktem widzenia za pośrednictwem centralnej linii widzenia. Analizując obraz siatkówkowy oglądanego obiektu, nakierowuje centralną linię widzenia na badany punkt obiektu (fiksacja). Zakres pola fiksacji, lub inaczej pola obserwacji, zależy od ruchów samych gałek ocznych, ruchów samej głowy bądź tułowia lub różnego stopnia zespolenia tych ruchów. Ograniczenia anatomiczne powodują, że poszczególne ruchy są możliwe tylko w określonych granicach, a granice te ulegają jeszcze zmniejszeniu, gdy bierze się pod uwagę stopień komfortu psychofizycznego. W ergonomii stosuje się pojęcie tzw. normalnego pola obserwacji, tzn. takiego, które osiągane jest przy największym poczuciu fizycznego i psychicznego komfortu i najmniejszym zmęczeniu obserwatora. Zakres tego pola można określić jako zakres normalnego widzenia. Przedstawia się go w postaci zestawienia kątów widzenia osiąganych dzięki ruchom oczu, głowy i tułowia siedzącego lub stojącego obserwatora, w pozycji ustabilizowanej. Dla uproszczenia, parę oczu zastępuje się jednym okiem teoretycznym, którego pozioma centralna linia widzenia pokrywa się z poziomą osią symetrii rozstawu gałek ocznych. Zakłada się równocześnie, że jego pionowa oś obrotu pokrywa się z pionową osią obrotu głowy i tułowia. Zakres normalnego widzenia rozpatruje się w dwóch najbardziej charakterystycznych płaszczyznach, tj. poziomej i pionowej, przechodzących przez środek obrotu oka teoretycznego. Poziomy, normalny zakres widzenia, osiągany przy zespolonym ruchu oczu, głowy i tułowia wynosi ok. 220°, symetrycznie po 110° na lewo i prawo od osi centralnej (rys. 1-8). Oznacza to, że strefa poza zasięgiem widzenia wynosi 140°. Dzięki wyłącznemu ruchowi oczu widzimy pole ograniczone kątem 30° (± 15°). Zespolony ruch oczu i głowy natomiast pozwala ogarnąć pole określone kątem 75° (± 37,5°). Najbardziej naturalną, najczęściej utrzymywaną pozycją centralnej linii widzenia, jest pozycja pokrywająca się z osią symetrii ciała. Pionowy zakres widzenia, możliwy dzięki zespolonym ruchom oczu, głowy i tułowia wynosi 180°, symetrycznie po 90° w górę i w dół od poziomej centralnej linii widzenia (rys. 1-9). Strefa poza zasięgiem widzenia wynosi zatem 180°. Niesymetrycznie wobec poziomej linii widzenia rozkładają się granice pola postrzeganego przy wyłącznym ruchu gałek ocznych. Granica ta sięga 7,5° ponad tę linię i 30° w dół poniżej tej linii. Ruch oczu zapewnia łącznie kąt widzenia równy 37,5°. Z badań empirycznych wynika, że normalny pionowy zakres widzenia wynosi 120°,tzn. 60° w górę, ponad horyzont i 60° w dół, poniżej horyzontu. Zakres ten wymaga zespolonych ruchów oczu i głowy. Badania te wykazują ponadto, że normalne, najbardziej naturalne położenie centralnej linii widzenia, znacznie odbiega od położenia horyzontalnego. Dla obserwatora z pozycji siedzącej najwygodniejsze jest nakierowanie centralnej linii widzenia w dół pod kątem 38° od położenia poziomego, dla pozycji stojącej kąt ten wynosi 30°.

1.3.5. Rozdzielczość

Miarą ostrości wzroku jest graniczny kąt widzenia, czyli najmniejszy kąt pod jakim widzi się dwa punkty jeszcze jako oddzielne. Za prawidłową ostrość wzroku uznaje się taką, gdy graniczny kąt widzenia wynosi 1`. Wynika to ze zdolności rozdzielczej siatkówki w centralnym punkcie widzenia (środek zagłębienia w obszarze żółtej plamki), która zależy od fizycznych rozmiarów fotoreceptorów i od odległości pomiędzy nimi. Każda z linii widzenia dwóch oddzielnych punktów rzeczywistych musi paść na inny czopek. Dodatkowym warunkiem odbioru obrazu dwupunktowego jest konieczność przedzielenia tych pobudzanych czopków czopkiem nieaktywnym. Gdyby bowiem pobudzane były dwa stykające się ze sobą receptory, obraz wrażeniowy odbierany przez obserwatora byłby jednym punktem. Ponieważ czopki mają średnicę około 0,002 mm, to warunek ten jest spełniony, gdy odległość między obrazami siatkówkowymi obserwowanych punktów rzeczywistych wynosi 0,004 mm, co przy odległości środka soczewki od siatkówki równej ok. 16 mm, daje kąt widzenia równy ok. 1`. Stożek widzenia o kącie wierzchołkowym równym 1` można nazwać stożkiem rozdzielczości aparatu wzrokowego. Wszystkie obiekty rzeczywiste znajdujące się we wnętrzu i na powierzchni tego stożka, niezależnie od ich liczby, wzajemnej odległości i odległości od oka, widziane są jako jeden punkt. Wyjątek stanowią punkty wzajemnie przeciwległe, leżące na jego powierzchni, które widziane są jako dwa rozdzielne punkty, gdyż dzieli je odległość kątowa równa 1`.

Zagadnienia rozdzielczości wzrokowej odgrywają przy projektowaniu wielkich widowni obiektów sportowo-widowiskowych rolę podstawową. Pozwalają one na określanie maksymalnych zasięgów widzenia pola areny, co jest równoznaczne z definiowaniem nieprzekraczalnych granic widowni. Trwające około stu lat ewolucyjne procesy wykształcania się nowożytnych dyscyplin sportowych doprowadziły do empirycznych ustaleń optymalnych, z uwagi na widoczność, relacji pomiędzy wielkością widowni, wielkością areny i wielkością obserwowanych w jej obszarze obiektów. Dla większości gier zespołowych, zarówno tzw. dużego pola jak i małego pola, niezależnie od wielkości piłki, przyjęto, że minimalny kąt widzenia piłki powinien wynosić 4`. Ustalenie to wyznacza akceptowalny standard widoczności, a w konsekwencji graniczną odległość najdalszych rzędów widowni. W przypadku piłki nożnej obserwowanym obiektem jest kula o średnicy równej 22cm; kąt widzenia piłki równy 4` osiąga się z odległości 190m.

Znajomość wielkości minimalnego kąta widzenia (ψ=0º1`) posłużyła holenderskiemu okuliście Hermanowi Snellenowi do opracowania (1862 r.) metody badania ostrości wzroku. Stworzył on, stosowane do dziś, tzw. *Tablice Snellena.* Podstawę metody stanowią *optotypy,* znaki graficzne w postaci liter, cyfr, pierścieni oraz piktogramów. Ustalił on system modułowy, w którym wysokość i szerokość znaku jest pięciokrotnie większa od najmniejszych elementów składowych. Pole znaku jest kwadratem podzielonym na 25 mniejszych kwadratowych modułów (siatka modułowa 5x5). Grubość linii i grubość wolnych przestrzeni pomiędzy nimi jest równa jednemu modułowi. Oznacza to, że jeżeli wielkość kątowa modułu odpowiada kątowi ψm=0º1`, to wymiar całego znaku odpowiada kątowi $\psi$z=0º5`. Tablica jest układem wierszy złożonych z wielu znaków. Każdy wiersz składa się z różnych znaków jednakowej wielkości. Wielkość ta zmniejsza się stopniowo wraz z obniżaniem się wierszy. Odpowiada ona kątowi widzenia całego znaku ψz=0º5` i kątowi widzenia szczegółów $\psi$m=0º1`, ze ściśle określonej odległości obserwacyjnej.

Ze względu na temat niniejszej pracy interesujące są przede wszystkim przyjęte przez Snellena założenia dotyczące ustaleń

minimalnej wielkości obiektu, w którym można jeszcze rozpoznawać szczegóły. Warto w tym miejscu podkreślić podobieństwo standardu minimalnego kąta widzenia obiektów (ψ=0º4`), stosowanego w projektowaniu widowni obiektów sportowo-widowiskowych, do standardu stosowanego w okulistyce.

Czytelność informacyjnych znaków graficznych, takich jak piktogramy czy litery lub cyfry, wymaga zatem, by wielkość kątowa ogólnego ich obrysu wynosiła co najmniej 0°5`, a grubości linii i przestrzeni pomiędzy liniami nie mniej niż 0°1`. Oznacza to, że dla zapewnienia czytelności liter i cyfr z odległości wyznaczanej granicą maksymalnego zasięgu widzenia (190m), wysokość znaku powinna wynosić H=tg0°5`×19000=28cm, a grubość linii i *świateł* pomiędzy nimi S=tg0°1`×19000= =5,6cm. Problem ten ma poważne znaczenie z uwagi na system identyfikacji zawodników za pomocą numerów umieszczanych na ubiorach sportowych. Czytelność tych numerów, wobec znacznej odległości od pola gry, jest podstawowym parametrem pozwalającym na rozpoznawanie poszczególnych zawodników i śledzenie przebiegu zawodów. Przepisy Międzynarodowej Federacji Piłki Nożnej (FIFA) regulują wielkość numerów identyfikacyjnych umieszczanych na strojach zawodników. Wymagają one, by numer umieszczany na plecach (podstawowy), miał wysokość 25-30cm, a pozostałe numery pomocnicze wysokość 10-15cm. Wartości te spełniają, co prawda, opisane powyżej minimalne warunki czytelności, ale z doświadczeń praktycznych wynika, że nie są wystarczające dla zapewnienia pełnego komfortu obserwatorowi. Graniczne wartości kątów widzenia są miarodajne jedynie przy odpowiednim oświetleniu i przejrzystości powietrza. Wymagają one zwiększenia o 1,5 do 2 razy, gdy warunki te nie są spełniane. W ergonomii, przy uwzględnieniu cech przeciętnego obserwatora oraz doświadczeń praktycznych, przyjmuje się optymalny pionowy kąt widzenia, zapewniający czytelność liter i cyfr o wartości ψ=0º18`. Wartości tej odpowiada, stosowany zamiennie dla uproszczenia, algorytm H=L/200, gdzie: H oznacza wysokość liter, a L odległość obserwatora. Omawiane zagadnienia są również ważne z uwagi na systemy komunikacji wizualnej w postaci świetlnych tablic informacyjnych, stanowiące nierozłączny element infrastruktury technicznej współczesnych widowni.

Opisane limity w zakresie minimalnych kątów widzenia tworzą sprzężenia zwrotne z limitami maksymalnych zasięgów widzenia. Jak wynika z powyższych rozważań, uznana za akceptowalną, maksymalna odległość widzenia piłki nożnej (190 m) nie daje pełnego komfortu widoczności. Potwierdzają to ustalenia norm dotyczących projektowania widowni.

Przyjęta przez Polskę Norma Europejska[32] podaje dwie wartości maksymalnego zasięgu widzenia dla piłki nożnej: 190m, jako nieprzekraczalnej, i 150m, jako zalecanej. Ujawnia to różnicę pomiędzy standardem uznanym za dopuszczalny i standardem optymalnym. Wynosi ona aż 40m. Uwidacznia też jedną z kontrowersji projektowych, polegającą na sprzeczności założeń dotyczących maksymalizowania pojemności widowni i równoczesnego spełniania wymogów dobrej widoczności.

[32] Patrz Polska Norma PN-EN 13200-1, *Obiekty widowiskowe, Część 1:Wymagania dotyczące projektowania widowni,* Załącznik B i C, Polski Komiet Normalizacyjny, Warszawa, 2005.

1.4. Istotne parametry antropometryczne

Na organizację funkcjonalno-przestrzenną widowni wpływają, oprócz omówionych już determinant związanych z percepcją wzrokową, także uwarunkowania wynikające z cech anatomicznych człowieka. Kształt, wielkość i cechy motoryczne ciała ludzkiego, decydują o architektonice widowni, na równi z zasadami działania aparatu wzrokowego. Głębokość rzędu widowni powinna zapewnić każdemu z widzów wystarczającą przestrzeń dla wygodnej pozycji siedzącej. Powinna ona równocześnie umożliwiać przemieszczanie się widzów wzdłuż rzędów, gwarantując odpowiednią szerokość przejścia. O komforcie indywidualnego miejsca decyduje również rozstaw siedzisk w poszczególnych rzędach. Do ważnych decyzji projektowych należy ponadto określenie parametru wysokości siedziska, co wiąże się z problemem dostosowania do fizycznych wymiarów użytkownika, ale też z ustaleniem wysokości punktu oka – istotnego parametru przy ustalaniu tzw. *profilu widowni*. Pięć cech antropometrycznych ma podstawowe znaczenie w projektowaniu widowni. Są to: *wysokość oczna w pozycji siedzącej, wysokość oczna w pozycji stojącej, szerokość łokciowa, wysokość podkolanowa* oraz *długość od pośladka do kolana.*

W praktyce projektowej wartości wymiarowe odpowiadające wyżej wymienionym cechom przyjmuje się, na ogół bezkrytycznie, na podstawie ustaleń normowych. Są to wartości uśrednione dla całej populacji, przy czym o sposobie tego uśrednienia decydują autorzy norm – współdziałając z naczelnymi organizacjami sportowymi i ekspertami w dziedzinie projektowania i budowy stadionów. Norma europejska PN-EN 13200-1, przyjęta przez Polskę w roku 2005, zaleca stosowanie następujących wartości: dla *wysokości ocznej w pozycji siedzącej* – 120cm, dla *wysokości ocznej w pozycji stojącej – 160cm,* dla szerokości indywidualnego miejsca (co wiąże się z *szerokością łokciową*) – min 50cm, dla wysokości siedziska (co wiąże się z *wysokością podkolanową*) – 40cm i dla głębokości rzędu (co wynika m.in. z *długości od pośladka do kolana*) – min. 80cm.

Widownie współczesnych stadionów najnowszej generacji składają się z 30 do 90 tys. miejsc dla widzów. Miejsca te mają postać indywidualnych, numerowanych siedzisk z oparciami, często wyposażonych w tzw. podłokietniki. Rolą projektanta widowni jest takie rozmieszczenie tych miejsc w przestrzeni stadionu i takie rozplanowanie dróg komunikacji i ewakuacji, by każdy widz miał pełną wizualną ekspozycję pola areny, a równocześnie pełny komfort i bezpieczeństwo podczas przebywania na trybunach.

Problemem projektowym jest fakt znacznego zróżnicowania poszczególnych użytkowników widowni pod względem ich cech antropometrycznych. Struktura wielotysięcznego zbioru indywidualnych osób tworzących widownię i ich rozmieszczenie w jej przestrzeni są całkowicie przypadkowe. Kolejne napełnienia widowni dają układy niepowtarzalne i całkowicie losowe. W przypadku architektonicznego projektowania przestrzeni użytkowej dla masowego odbiorcy, a to jest przedmiotem rozważań niniejszej dysertacji, szczególnie pomocne jest korzystanie z osiągnięć współczesnej ergonomii, a zwłaszcza antropometrii.

Pełną świadomość cech fizycznych podmiotu działań projektowych, który to podmiot obejmuje cały zbiór potencjalnych użytkowników widowni, uzyskuje się czerpiąc dane z atlasów antropometrycznych charakteryzujących konkretną populację. Szczególnie przydatnym narzędziem jest centylowy system rejestracji danych antropometrycznych, znany od połowy XIX wieku, a w pełni rozwinięty i udoskonalony w pierwszych latach po II wojnie światowej. Ideę tego systemu przedstawiono poglądowo w górnej części rys. 1-10 A. Polega ona na prezentacji wyników pomiarów

wartości poszczególnej cechy w postaci wykresów, tzw. *krzywych rozkładu wartości (Frequency Distribution Curves)*. Wykresy te powstają przy wykorzystaniu siatki współrzędnych, w której na osi poziomej odkładane są wartości pomiarów, a na osi pionowej, częstotliwość występowania konkretnej wartości, wyrażona liczbą pomiarów. Z połączenia punktów ustalonych tymi współrzędnymi powstają krzywe o kształcie *dzwonu*, tzw. *krzywe Gaussa*. Są to znane ze statystyki krzywe rozkładu prawdopodobieństwa, przedstawiające *gęstość prawdopodobieństwa w rozkładzie normalnym*. Właściwości matematyczne rozkładu normalnego powodują, że oparte na nim metody statystyczne są w obliczeniach stosunkowo proste. Specyficzną właściwością tego rozkładu jest to, że wartość o największej częstotliwości występowania odpowiada średniej arytmetycznej z najwyższej i najniższej wartości konkretnej cechy, wypada więc ona na osi symetrii wykresu *krzywej dzwonowej* i stanowi najwyższy punkt krzywej, będąc jej wierzchołkiem. W pobliżu wierzchołka, na lewo i na prawo od niego, krzywa opada bardzo łagodnie. Następnie jej nachylenie mocno wzrasta, by w rejonie ekstremalnie niskich i ekstremalnie wysokich wartości przybrać przebieg bardziej płaski. Oznacza to, że mniej więcej dla połowy populacji wartość określonej cechy antropometrycznej zbliżona jest do wartości przeciętnej (średniej arytmetycznej). Pozostałe osoby należą do grup mniejszościowych – najniższej i najwyższej, stanowiących po jednej czwartej części populacji. Wykorzystując skalę procentową, dane zawarte w opisanym wykresie *krzywej dzwonowej* można dodatkowo uzupełnić o informację określającą części populacji dla której wartość konkretnej cechy jest większa od wartości rozpatrywanej. Uzyskuje się to przez odpowiednie uszeregowanie wyników pomiarów. Uznając, że 100% oznacza całą populację, określa się liczbę osób stanowiącą 1/100 jej część, tj.1%. Następnie dla każdej kategorii ilościowej, określonej kolejnymi indeksami procentowymi, ustala się odpowiadającą mu wartość rozpatrywanej cechy. Przykładowo, w armii Stanów Zjednoczonych nie bierze się pod uwagę 5% populacji cechującej się wartościami najniższymi i 5% – najwyższymi. Eliminuje się w ten sposób grupę o ekstremalnych wartościach tej czy innej cechy np. wzrostu, stanowiącą 10% całego zbioru potencjalnych żołnierzy. Tym samym bierze się pod uwagę 90% populacji, uznając to za ekonomicznie uzasadnione przy produkcji wyposażenia, np. mundurów i obuwia. Wartość cechy odpowiadającej przykładowej kategorii ilościowej równej 5% w języku angielskim określa się mianem *5 percentail* – w języku polskim zaś mianem *5 centyli.* Dzięki systemowi centylowemu możliwa jest następująca interpretacja powyższych danych: armia USA nie bierze pod uwagę mężczyzn kategorii poniżej 5 centyli (<M5c)[33] i mężczyzn kategorii powyżej 95 centyli (>M95c). Można też stwierdzić, że np. wzrost mężczyzn M5c to taki, że 95% mężczyzn tej populacji cechuje się wzrostem wyższym, a wzrost mężczyzn kategorii M95c to taki, że 5% mężczyzn tej populacji charakteryzuje się wzrostem wyższym. Istnieją opracowania tabelaryczne pozwalające określić wartości dowolnej cechy dla dowolnej kategorii centylowej – pod warunkiem że zna się wartość odpowiadającą kategorii 50c i jednej dowolnej, innej kategorii. Atlasy antropometryczne podają najczęściej wartości trzech kategorii centylowych konkretnej cechy, oddzielnie dla każdej płci, tj.: 5c, 50c, 95c lub 1c, 50c, 99c.

W celu przedstawienia nominalnych wartości normowych na tle rzeczywistego centylowego rozkładu wartości rozpatrywanych cech antropometrycznych w populacji polskiej autor opracował ich wykresy w postaci zestawień liniowych (rys. 1-10).

[33] System oznaczania centylowej kategorii antropometrycznej – gdzie indeks 5c oznacza pozycję skali centylowej, indeks M przynależność do populacji męskiej, K zaś żeńskiej.

Wykresy te obrazują różnice antropometryczne pomiędzy żeńską i męską częścią populacji. Uwidaczniają ponadto wartości w skali centylowej dla każdej z płci jakim odpowiadają zalecane wartości normowe. Do analizy przyjęto dane zaczerpnięte z opublikowanego w roku 2001 opracowania *Atlas miar człowieka: Dane do projektowania i oceny ergonomicznej*[34]. Wartości pośrednie odpowiadające indeksom 10c, 25c, 75c i 90c obliczono z zastosowaniem metody opisanej w opracowaniu A.R. Tilley´a *The Measure of Man and Woman (2002)*[35]. W związku z tym, że obliczeń poszczególnych wartości dokonano w sposób uproszczony, wykresy te mają charakter wyłącznie poglądowy, a ich celem jest ilustracja metody działania i wykazanie jej ogólnych efektów.

Analiza wykazuje znaczne różnice pomiędzy populacją męską i żeńską w każdej z rozpatrywanych cech antropometrycznych. Dla przykładu wysokość oczna w pozycji siedzącej charakteryzująca kobiety najwyższe K99c odpowiada mężczyznom M70c. Oznacza to, że dla 30% mężczyzn wartość tego parametru jest większa od tej, która cechuje najwyższe kobiety. W dolnej strefie skali centylowej z kolei wartość właściwa dla najniższych mężczyzn M1c odpowiada w przybliżeniu tej, która cechuje kobiety K20c, tzn., że dla 20% kobiet jest ona mniejsza niż dla najniższych mężczyzn. Całe spektrum wartości wymiarowych tej cechy w skali centylowej, które odzwierciedla parametry charakteryzujące wszystkich widzów, obejmuje przedział od K1c do M99c, a różnica wysokości ocznej pomiędzy najniższymi kobietami i najwyższymi mężczyznami wynosi 19.6cm. Normowa wysokość oczna w pozycji siedzącej równa 120cm odpowiada w przybliżeniu mężczyznom M25c i kobietom K85c, czyli dla 25% mężczyzn i 85% kobiet wartość tej cechy jest niższa od normowej[36]. Dane te wykazują wyraźnie, że ustalenia normy faworyzują męską część społeczeństwa. Wynika to ze statystycznych danych, stwierdzających, że kibice sportowi, zwłaszcza piłki nożnej, to głównie mężczyźni[37]. Podobne wnioski można wyciągnąć z analizy wykresu dotyczącego wysokości ocznej w pozycji stojącej.

Rozpatrując dane określające centylowy rozkład wartości *szerokości łokciowej* (rys. 1-10 C) można stwierdzić, że normatywna minimalna szerokość indywidualnego miejsca równa 50cm odpowiada w przybliżeniu parametrom mężczyzny M55c i kobiety K97c. Wynika z tego, że szerokość łokciowa 45% mężczyzn jest większa od minimalnej wartości założonej przez normę, podczas gdy parametry tej cechy całej niemal populacji kobiet mieszczą się w tej wartości. Autorzy normy, ustalając taką właśnie nominalną wartość tego parametru, musieli równocześnie zaakceptować fakt potencjalnej możliwości wystąpienia dyskomfortu niedostatecznej szerokości miejsca dla znacznej części męskiej populacji.

Jak wynika z wykresu rozkładu wartości *wysokości podkolanowej*[38] (rys. 1-10D),

[34] Por. A. Giedliczka, *Atlas miar człowieka: Dane do projektowania i oceny ergonomicznej,* COIP, Warszawa 2001.

[35] Por. A.R. Tilley, *The Measure of man and Woman,* John Wiley & Sons, New York 2002, s. 10-11.

[36] Konsekwencje wynikające z takich założeń omówiono szerzej w dalszej części pracy w rozdz. 2, p. 2.9.

[37] Problem struktury płciowej widowni uwidacznia się również przy ustalaniu właściwych proporcji liczby toalet. Według danych statystycznych pochodzących z piłkarskich klubów sportowych, uznawanych za najbardziej miarodajne źródło, widownię na ich stadionach tworzą w 80% mężczyźni i 20% kobiety Znane są rozwiązania, według których można okazjonalnie przekształcać toalety męskie w damskie, przez co umożliwiać dostosowywanie zaplecza sanitarnego do struktury płciowej widowni. Za: G. John, R. Sheard, *Stadia. A Design and Development Guide*, wyd. II, Architectural Press, Oxford – Boston – Melbourne 1997, s. 148-151.

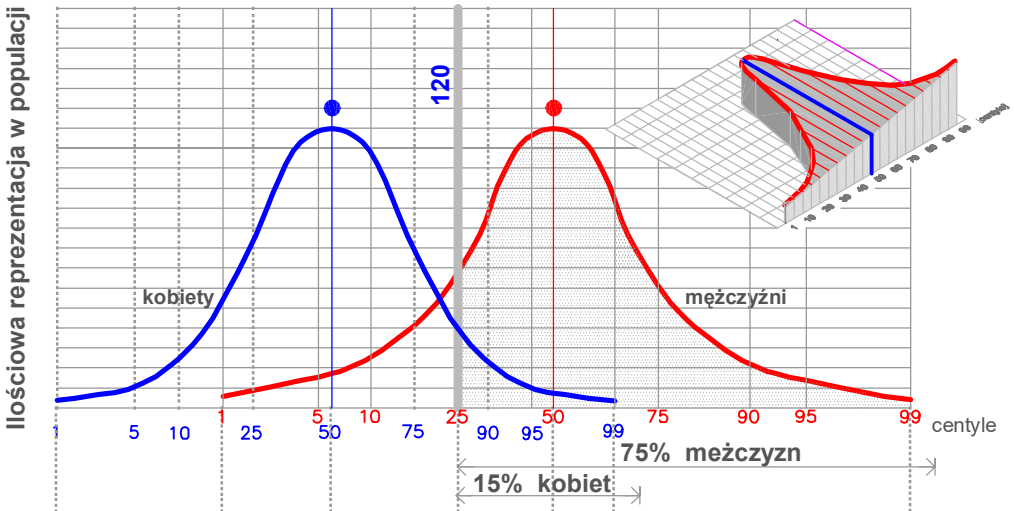
[38] *Wsokość podkolanowa* – odległość od podstawy do powierzchni podkolanowej przy zgięciu podudzia pod kątem prostym (w tym przypadku mierzona w pozycji siedzącej), za A. Giedliczka, *Atlas miar człowieka: Dane do projektowania i oceny ergonomicznej,* COIP, Warszawa 2001, s. 5.

zalecana przez normę minimalna wysokość siedziska równa 40cm odpowiada kategorii K10c. Parametr ten jest mniejszy od wartości tej cechy dla całej populacji męskiej (100%) i 90% populacji żeńskiej. Gdyby zaś uwzględnić wyniesienie stopy wynikające z wysokości podeszwy obuwia, które przyjmuje się nominalnie jako 3cm, należałoby stwierdzić, że wysokość siedziska zalecana przez normę odpowiada w przybliżeniu kategorii K1c, czyli grupie najniższych kobiet. Autorzy normy prawdopodobnie postawili sobie za cel całkowite wyeliminowanie przypadków, w których stopy widzów nie opierają się na podłożu. Przyjęcie takiego założenia możliwe jest w związku z naturalną zdolnością każdego normalnie zbudowanego człowieka do przyjmowania pozycji siedzącej na siedziskach, których wysokość jest niższa niż *wysokość podkolanowa*. Na marginesie tych rozważań należy wspomnieć, że wiele źródeł określających wysokość siedzisk dla widowni stadionowych podaje wartość maksymalną wysokość siedliska, a nie minimalną, jak to ujmuje norma PN-EN 13200-1. Przykładem mogą tu być normy niemieckie (DIN), według których maksymalna wysokość siedziska powinna wynosić 45cm. Najbardziej prawidłowym rozwiązaniem problemu byłoby zastosowanie siedzisk z regulowaną wysokością powszechnie dziś stosowanych w innych okolicznościach. Niestety, jak na razie przypadki wykorzystania tego typu siedzisk na widowniach stadionów nie są znane.

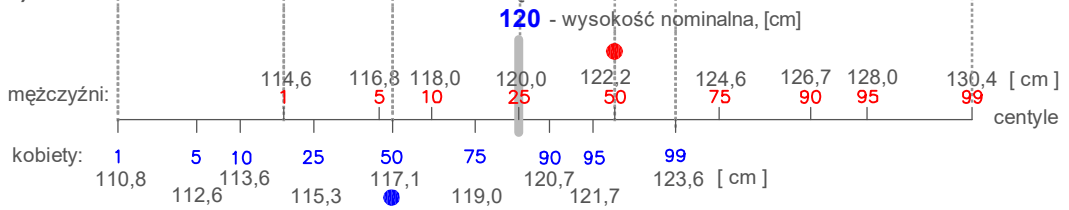
Największe rozbieżności pomiędzy wymogami wymiarowymi, wynikającymi ze wskazań antropometrycznych, a praktyką realizacyjną występują w przypadku parametru głębokości rzędu. Jak już wspomniano, minimalna, zalecana przez normę głębokość rzędu wynosi 80cm – nawiasem mówiąc na stadionach poprzedniej generacji, z siedziskami w postaci ław bez oparć, powszechna była głębokość rzędu równa 75cm[39]. Z danych antropometrycznych wynika, przyjmując nawet mniej rygorystyczne spektrum potencjalnych użytkowników od K5c do M95c, że odległość miedzy styczną do pośladka i styczną do kolana w pozycji siedzącej dla tego zbioru zawiera się w przedziale wymiarowym od 53,2cm do 64.6cm. Wierzchołki centylowej krzywej rozkładu skupiają się wokół kategorii K50c o wartości 57,8cm i M50c o wartości 60,1cm. Biorąc pod uwagę wymiar oparcia siedziska oraz część stopy w obuwiu, wysuniętej poza styczną do kolana, uzyskuje się odpowiednio wymiary: dla K50c – 77cm, dla K95c – 83cm, dla M50c – 81cm, a dla M95c – 86cm. Wymiary te charakteryzują przestrzeń zajmowaną przez osobę siedzącą w najmniej swobodnej pozycji, tj. takiej, gdy kąt podudzia i kąt pomiędzy udem i styczną do pleców wynosi 90º. Z powyższej analizy wynika, że przestrzeń zajmowana w pozycji siedzącej przez ok. 30% kobiet i 50% mężczyzn jest równa lub większa od zapewnianej przez rząd o głębokości wynoszącej 80cm. Pełna skala problemu ujawnia się jednak dopiero, wtedy gdy dane te zestawi się z wymogiem przemieszczania się widzów w rzędach, np. w czasie zajmowania przypisanego im miejsca, podczas gdy inni widzowie znajdują się już na swoich miejscach. Opisany problem jest przykładem braku zadowalającego kompromisu pomiędzy wymogami, których spełnienie zapewnia komfort dla widzów, a kosztami budowy. Parametr głębokości rzędu jest bowiem jednym z tych, które, wobec ściśle limitowanej przestrzeni dobrej widoczności, istotnie wpływają na pojemność widowni oraz na nakłady budowlane. Proponowana przez autora metoda analizy antropometrycznej umożliwia ocenę skutków podejmowanych decyzji projektowych i może być pomocna przy określaniu rozwiązań optymalnych.

[39] Pierwotna widownia *Stadionu Śląskiego* pochodząca z roku 1956 miała rzędy o głębokości 75cm. Nowa widownia powstała w wyniku modernizacji (1997 i 2002) otrzymała rzędy o głębokości 85cm. Zmiany te podniosły znacznie komfort i poprawiły warunki bezpieczeństwa, spowodowały jednak znaczny spadek pojemności widowni; liczba rzędów w poszczególnych sektorach zmniejszyła się średnio o dziesięć.

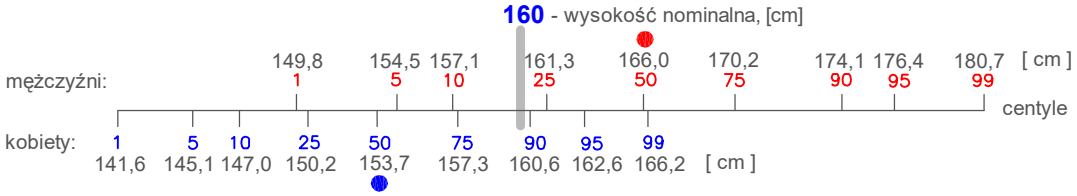
KRZYWE CENTYLOWEGO ROZKŁADU WARTOŚCI *(Frequency Distribution Curves)* DLA WYSOKOŚCI OCZNEJ W POZYCJI SIEDZĄCEJ



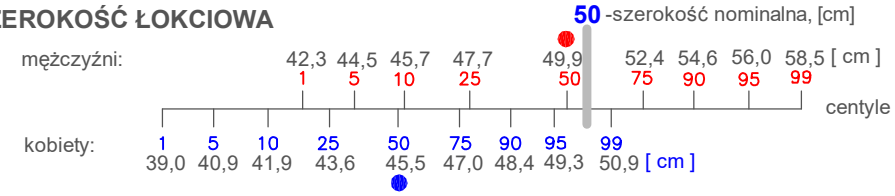
A.) WYSOKOŚĆ OCZNA W POZYCJI SIEDZĄCEJ



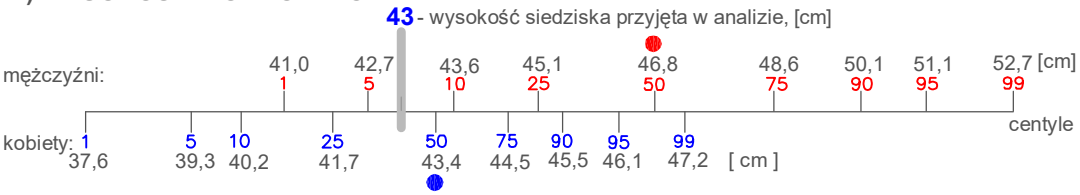
B.) WYSOKOŚĆ OCZNA W POZYCJI STOJĄCEJ



C.) SZEROKOŚĆ ŁOKCIOWA



D.) WYSOKOŚĆ PODKOLANOWA



RYS. 1-10

ANALIZA CENTYLOWEGO ROZKŁADU WARTOŚCI WYBRANYCH CECH ANTROPOMETRYCZNYCH W POPULACJI POLSKIEJ - ZESTAWIENIA LINIOWE NA TLE WARTOŚCI NOMINALNYCH OKREŚLONYCH PRZEZ NORMĘ *PN-EN 13200-1*.

Wykresy wykonano dla stałej wysokości siedziska hs = 43cm (z uwzględnieniem wyniesienia stopy podeszwą obuwia hb = 3cm).

Źródło - opracowanie autora na podstawie: A.R.Tilley, The Measure of Man and Woman, John Wiley & Sons, New York 2002 oraz A. Giedliczka, Atlas miar człowieka; Dane do projektowania i oceny ergonomicznej, CIOP, Warszawa 2001.

1.5. Wielkość i kształt areny

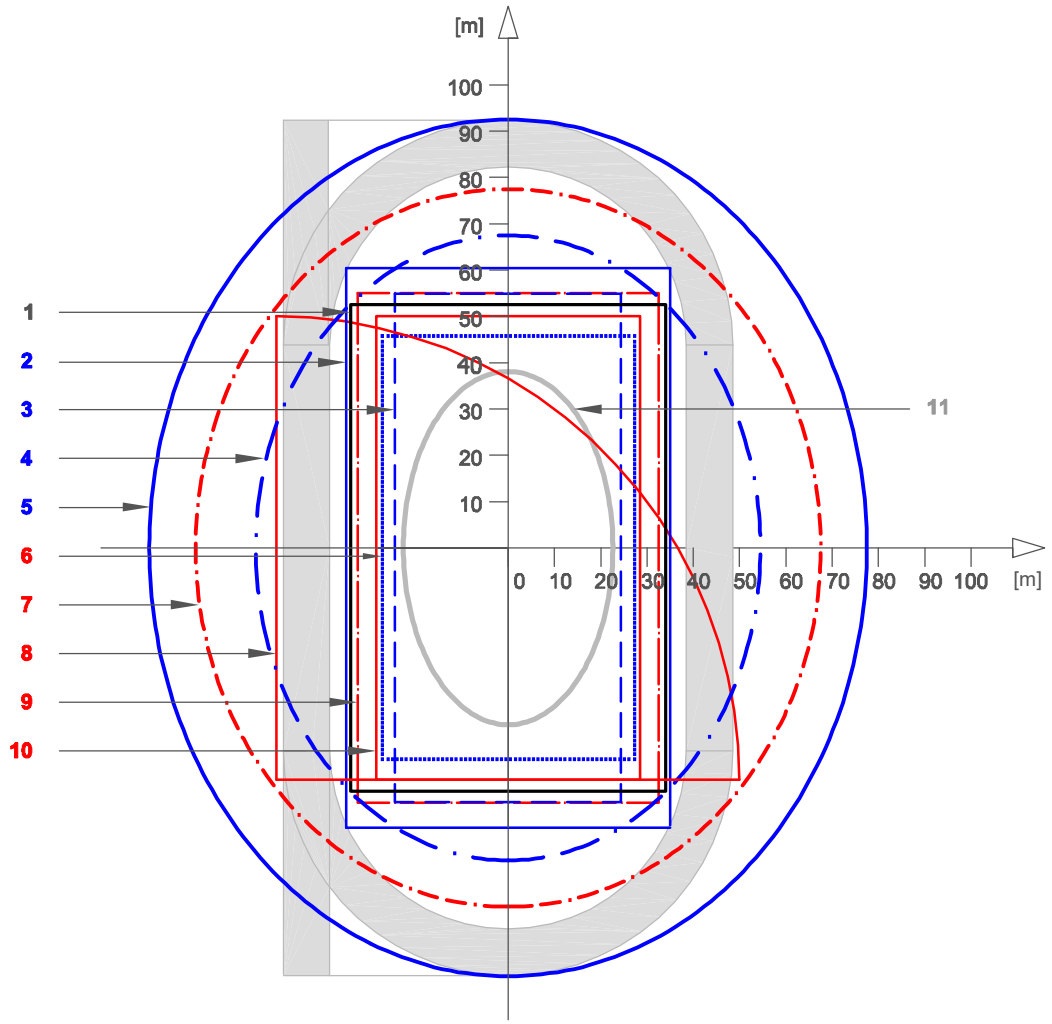
Standard tzw. *dobrej widoczności*, określony powszechnie akceptowalnym, minimalnym kątem widzenia, równym 0°4`, sprawia, że forma widowni determinowana jest przede wszystkim wielkością i kształtem areny. Te zaś z kolei wynikają z rodzaju funkcji, dla których ją stworzono. W większości przypadków polem obserwacji, dla którego należy zapewnić pełną widoczność w obszarze areny, jest ścisłe pole gry, czyli boisko. Jest ono fragmentem powierzchni areny z wyraźnie oznaczonymi granicami, który ma odpowiedni dla danej dyscypliny sportowej kształt i wielkość. Można powiedzieć, że w dotychczasowej praktyce projektowej parametry boiska odgrywają nadrzędną rolę w procesie kształtowania architektury stadionu, który polega na odnajdywaniu najkorzystniejszych rozwiązań widowni dla określonych boisk. Nadrzędne są zatem zasady i przepisy poszczególnych dyscyplin sportowych, które historycznie rzecz biorąc określono znacznie wcześniej, przed początkiem rozwoju współczesnego stadionu.

Z definicji współczesnego stadionu wynika, że areny tych obiektów zajmowane są przez tzw. *boiska wielkiego pola.* Boiska małego pola, dla takich dyscyplin jak np. hokej, piłka ręczna, tenis, koszykówka czy siatkówka, są właściwe dla mniejszych obiektów sportowo-widowiskowych, na których pojemność widowni nie przekracza 15 tys. miejsc. Analiza wielkości i kształtu boisk wielkiego pola (rys. 1-11) wykazuje, że dzielą się one zasadniczona dwie grupy – boiska prostokątne i boiska o kształcie obłym w postaci koła, elipsy lub owalu. Ilościowo przeważają boiska prostokątne. Na dziesięć uprawianych dziś dyscyplin, wykorzystujących boiska wielkiego pola, aż sześć wykorzystuje boisko prostokątne. Kształty, proporcje i wielkości tych prostokątów są podobne. W przypadku futbolu, rugby i futbolu amerykańskiego podobieństwo to wynika z faktu wspólnych korzeni historycznych. Wymiary ich długości mieszczą się w przedziale 91-120m, a szerokości w przedziale 49-70m. Największym z nich jest pole rugby, które jest prostokątem 120×70m, najmniejszym – boisko hokeja na trawie, o regulaminowych wymiarach 91,4×55m. Najpopularniejsza i przyciągająca dziś największą widownię gra zespołowa, którą jest piłka nożna, wymaga do rozgrywek turniejowych boiska o wymiarach 105×68m.

Dwie dyscypliny wymagające boisk wielkiego pola wykorzystują pole o kształcie koła, owalu lub elipsy. Są to krykiet i futbol australijski. Stanowią one największe powierzchniowo i geometrycznie pola gier zespołowych. Oś długa owalu boiska do futbolu australijskiego ma wymiar maksymalny równy 185m, a oś krótka 155m. Nawiasem mówiąc, podobieństwo kształtu i wielkości obu boisk wynika z faktu, że powstały na antypodach futbol australijski, który wywodzi się z rugby, rozgrywano na boiskach do krykieta.

Zupełnie odmiennym kształtem, zbliżonym do trójkąta czy ćwiartki koła, charakteryzuje się pole boiska do bejsbolu. Wymiary boków prostych zbliżone są do długości boisk prostokątnych. Warto w tym miejscu wspomnieć, że w Stanach Zjednoczonych, w latach sześćdziesiątych i siedemdziesiątych, powstało kilka stadionów dwufunkcyjnych do bejsbolu i futbolu amerykańskiego. Były to rozwiązania stosujące mobilne trybuny, umożliwiające przekształcanie boisk z prostokątnego w bejsbolowe, z równoczesnym dostosowaniem do nich układu widowni[40].

[40] Najbardziej spektakularne, jest rozwiązanie zastosowane w *Mile High Stadium* w Denver, polegające na przestawianiu budynku całej widowni wschodniej o pojemności ponad 20 tys. miejsc. Przykładem innego rodzaju rozwiązania mobilnych trybun jest *Shea Stadium* w Nowym Jorku. Widownia główna wykorzystuje



RYS. 1-11
ZESTAWIENIE PORÓWNAWCZE KSZTAŁTÓW I WIELKOŚCI BOISK WIELKIEGO POLA I BIEŻNI LEKKOATLETYCZNEJ

Źródło - oryginalne opracowania autora.

LEGENDA

Boiska wielkiego pola i dużej piłki
Boiska wielkiego pola i małej piłki
Boisko piłki nożnej

1. - **Piłka nożna:** wymiary boiska -105x68m, wymiary piłki - ∅ 22cm
2. - **Rugby:** wymiary boiska -120x70m, wymiary piłki - ∅ 28cm
3. - **Futbol amerykański:** wymiary boiska -ok.110x49m, wymiary piłki - ∅ 28cm
4. - **Futbol australijski:** wymiary boiska min. - (osie owalu) 135x110m, wymiary piłki - ∅ 28cm
5. - **Futbol australijski:** wymiary boiska max. - (osie owalu) 185x155m , wymiary piłki - ∅ 28cm
6. - **Hokej na trawie:** wymiary boiska - (osie owalu) 91,4 x55 m, wymiary piłki - ∅ 7,4cm
7. - **Krykiet:** wymiary boiska - 135 x 155 m , wymiary piłki - ∅ 7,3cm
8. - **Bejsbol/softbol:** wymiary boiska - ćwiartka koła o min. promieniu R=99 m, wymiary piłki - ∅7,6cm
9. - **Bandy:** wymiary boiska - 110 x 65 m, min. 90 x 45 m , wymiary piłki - ∅ 6,5cm
10. - **Lacrosse:** wymiary boiska - 100 x 56 m, wymiary piłki - ∅ 6,4cm
11. - **Arena Koloseum:** owal zbiżony do elipsy, oś krótka L=47m, oś długa L'=76m.

W zestawienie obrysów boisk wielkiego pola wrysowano również, w celach porównawczych, normatywną bieżnię lekkoatletyczną. Jak widać, wszystkie boiska prostokątne mieszczą się w polu wyznaczanym wewnętrzną krawędzią bieżni. Można powiedzieć, że wręcz się w to pole wpisują. Nie jest to koincydencja przypadkowa, lecz efekt ewolucyjnego, wzajemnego dostosowywania się tych geometrii, w trwającym już ponad sto lat procesie wykształcania się formy współczesnego stadionu.

1.6. Zasięg widzenia

Ustalono, że akceptowalny standard widoczności przy projektowaniu widowni dla większości gier zespołowych, zarówno tzw. dużego pola, jak i małego pola, niezależnie od kształtu i wielkości wykorzystywanej piłki, wyznaczany jest przez minimalny kąt widzenia piłki (ψ), którego wartość wynosi 0°4`. W konsekwencji tych regulacji graniczną odległość najdalszych rzędów widowni określa się, wyliczając odległość z jakiej piłka stosowana w określonej dyscyplinie sportowej postrzegana jest w wielkości kątowej równej temu kątowi. Dla przykładu dla piłki nożnej, która jest kulą o średnicy 22 cm, odległość ta, którą można nazwać odległością maksymalnego widzenia, wynosi 190m. Linie będące zbiorem punktów zachowujących w przestrzeni tę odległość określają granice pola maksymalnego zasięgu widzenia. Wszystkie punkty oka znajdujące się w tym polu dzieli od dowolnego obserwowanego obiektu usytuowanego na boisku odległość równa lub mniejsza od założonej odległości maksymalnego zasięgu widzenia. Kształt i wielkość pola dobrej widoczności zależy od tych odległości ale też od kształtu i wielkości pola gry.

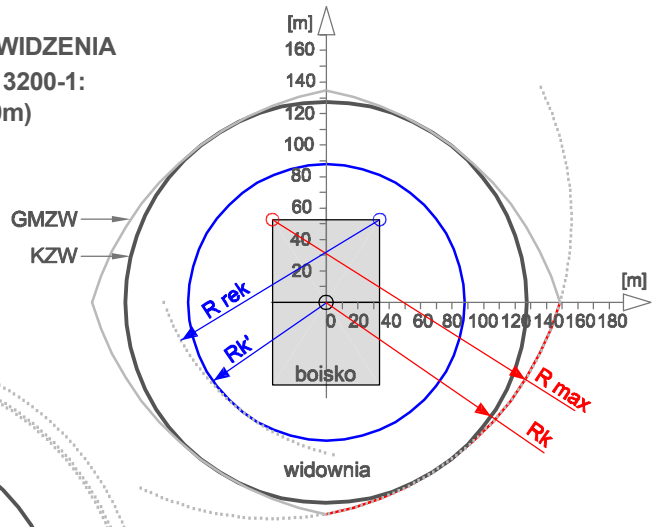
Granice maksymalnego zasięgu widzenia (GMZW) dla boisk prostokątnych wyznacza się, wykreślając z każdego naroża boiska łuk o promieniu Rmax, który równy jest odległości maksymalnego widzenia (rys. 1-12). Cztery łuki wyznaczają granice, kształt i wielkość pola dobrego widzenia, tzn. takiego, że dla każdego punktu oka należącego do tego pola, wielkość kątowa obrazu piłki znajdującej się w obrębie boiska jest równa lub większa od wartości minimalnej ψ=0º4`. Z przyczyn praktycznych autor stosuje pomocnicze pojęcie *koła maksymalnego zasięgu widzenia* (KZW). Jeżeli w opisywane powyżej pole GMZW wpisze się okrąg, to będzie on miał cztery, symetrycznie położone wobec osi głównych, punkty wspólne z łukami tego pola, a tylko niewielkie fragmenty pola znajdą się na zewnątrz okręgu. Środek tego okręgu leżeć będzie w środku geometrycznym boiska. Okrąg ten wyznacza granicę i kształt pola przydatnego dla aranżacji widowni. W przypadku piłki nożnej promień koła maksymalnego zasięgu w zaokrągleniu wynosi Rk=127m i cechują go bardzo zbliżone do GMZW właściwości w zakresie widoczności. Na rys. 1-13 przedstawiono porównawczo wykres kół maksymalnego zasięgu widzenia dla kilku gier wielkiego pola i dużej piłki. Z uwagi na geometrię boiska i większe wymiary piłki w rugby, futbolu amerykańskim i futbolu australijskim, promień koła maksymalnego zasięgu widzenia (Rk) jest znacznie większy niż dla piłki nożnej i mieści się w przedziale od 170 do 180m.

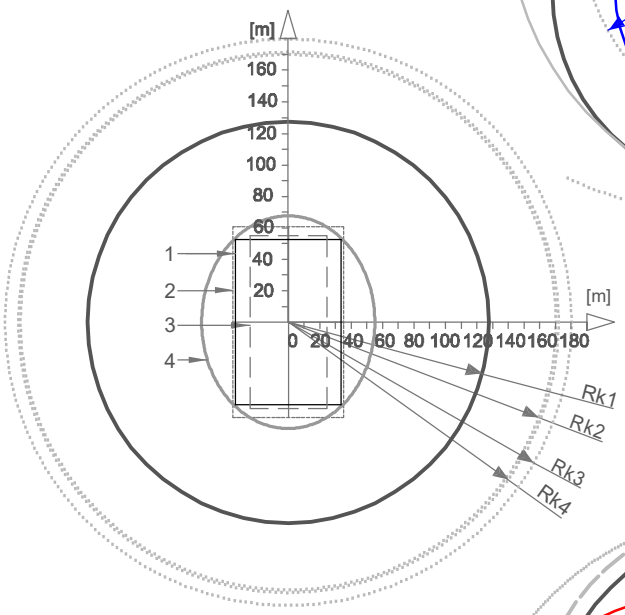
Oddzielnym zagadnieniem są wymagania dotyczące zasięgu widoczności w przypadku widowni stadionów lekkoatletycz-

tu plan idealnego koła, a przekształcenie formy boiska następuje przez obrót dwóch segmentów widowni dolnej, o kształcie *półksiężyca.* Model ten stosowany był w wielu innych stadionach na terenie Stanów Zjednoczonych i Japonii.

RYS. 1-12
POLE MAKSYMALNEGO ZASIĘGU WIDZENIA PIŁKI NOŻNEJ (wg normy PN - EN 13200-1: Rmax = 190m, zalecany: R rek = 150m)

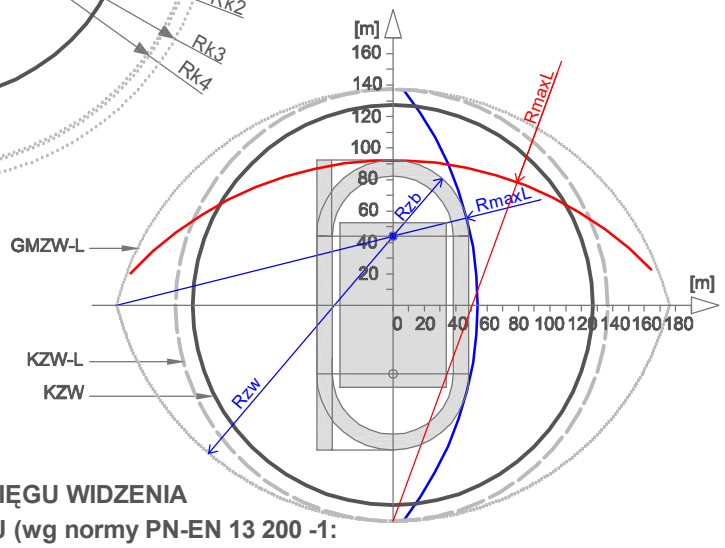
Źródło - oryginalne opracowanie autora.





RYS. 1-13
KOŁA MAKSYMALNYCH ZASIĘGÓW WIDZENIA DLA GIER WIELKIEGO POLA I DUŻEJ PIŁKI

Źródło - oryginalne opracowanie autora.



RYS. 1-14
POLE MAKSYMAKNEGO ZASIĘGU WIDZENIA BIEŻNI LEKKOATLETYCZNEJ (wg normy PN-EN 13 200 -1: R max=230 m, zalecany: R rek=190m)

Źródło - oryginalne opracowanie autora.

LEGENDA

R max - Promień łuku określający minimalny kąt widzenia piłki $\psi = 0°4`$; normatywny promień dla lekkiej atletyki RmaxL = 230m.
GMZW - Granice pola maksymalnego zasięgu widzenia.
KZW - Koło maksymalnego zasięgu widzenia (wpisane w linie GMZW).
Rk - Promień koła maksymalnego zasięgu widzenia.
Rk1,2,3,4 - Promienie kół maksymalnego zasięgu widzenia dla określonych dyscyplin:
Rk1 = 127m, (R max = 190m) - piłka nożna (boisko - 1.),
Rk2 = 170m, (R max = 240m) - rugby (boisko - 2.),
Rk3 = 180m, (R max = 240m) - futbol amerykański (boisko - 3.),
Rk4 = 171m, (R max = 240m) - futbol australijski (boisko minimalne - 4.
KZW-L - Koło maksymalnego zasięgu widzenia dla lekkiej atletyki (Rk = 138m).
Rzb - Promień zewnętrznego łuku bieżni.
Rzw - Promień łuku maksymalnego zasięgu widzenia dla lekkiej atletyki (GMZW - L); Rzw = RmaxL - Rzb

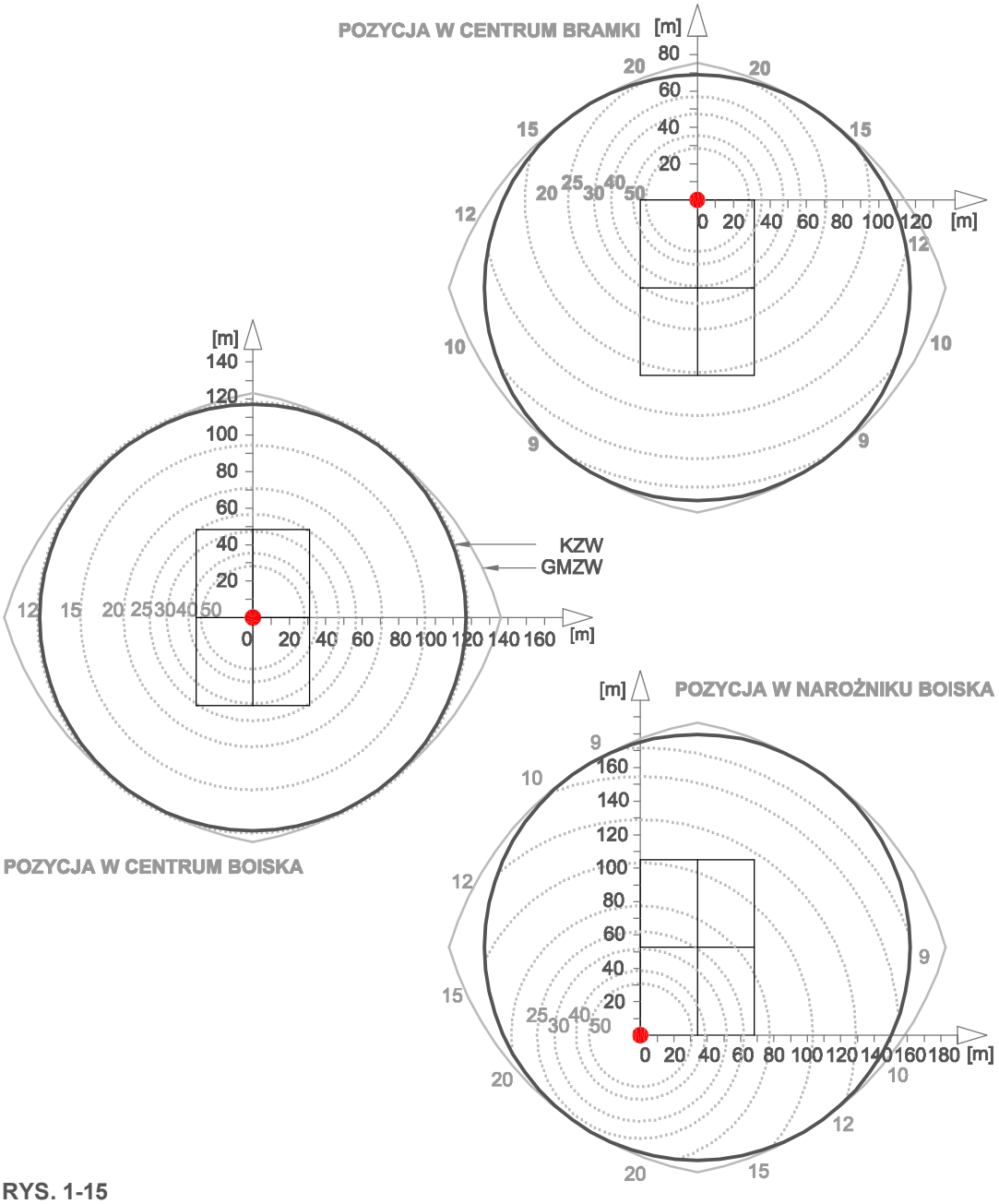
nych. Ustalenia normowe[41] określają w tym wypadku maksymalny zasięg widoczności równy odległości 230m, a zalecany – równy 190m. Autor opracował własny sposób ustalania granic pola maksymalnego zasięgu widzenia (GMZW-L) dla tych widowni. Polega on na przyjęciu założenia, że żaden obiekt znajdujący się w obrysie wyznaczanym linią zewnętrzną bieżni nie może być obserwowany z dalszej odległości niż 230m. Granice GMZW-L określane są przez dwa symetryczne łuki (rys. 1-14). Każdy z tych łuków należy wykreślić z ogniska okręgu wyznaczającego przeciwległy zewnętrzny łuk bieżni. Promień tego łuku (Rzw) ma wartość równą różnicy odległości maksymalnego zasięgu widzenia dla lekkiej atletyki (RmaxL) i promienia zewnętrznego łuku bieżni (Rzb). Koło maksymalnego zasięgu widzenia (KZW-L), wpisane w określone powyżej pole, definiowane jest okręgiem o promieniu Rk=138m, który jest zaledwie o 11m większy niż dla piłki nożnej. Wynika to z faktu, że kształt pola dobrej widoczności jest mocno wydłużony w kierunku poprzecznej osi areny. Najdalszy jego punkt, leżący na tej osi, oddalony jest od środka geometrycznego areny o blisko 180m, tj. o 40m dalej, niż odpowiadający mu punkt na osi podłużnej. Wyniki powyższych rozważań są zaskakujące na tle kształtów największych zrealizowanych widowni tego typu, np. widowni *Stadionu Olimpijskiego* w Sydney, gdzie bardzo rozbudowano widownie położone na osi podłużnej.

Wielkość siatkówkowego obrazu obserwowanego obiektu zależy od wielkości kąta widzenia, a ten z kolei wynika z odległości punktu oka od obiektu. Punkty oka, zachowujące jednakową odległość od obserwowanego obiektu, tworzą izolinię jednakowego kąta widzenia, która jest okręgiem o promieniu równym tej odległości.

Dla zobrazowania przydatności tych spostrzeżeń autor opracował przykładowe wykresy widoczności postaci zawodnika, charakteryzujące parametry widowni stadionu piłkarskiego (rys. 1-15). W celu zachowania odniesienia do minimalnego kąta widzenia piłki, kąty widzenia postaci zawodnika znajdującego się w polu boiska można wyrazić krotnością tego kąta. Na przykład, kąt ten dla odległości ok. 10m określa liczba krotności równa 150, dla odległości 30m – liczba 50, a krotność równa 10 osiągana jest z odległości ok.155m. Z odległości 190m, wyznaczającej granicę zasięgu widzenia dla piłki nożnej, krotność tego kąta wynosi zaledwie ok. 8.

Dla każdego punktu obserwowanego pola można wykreślić wiele izolinii jednakowego kąta widzenia, stopniując te kąty o założoną wartość. Uzyskuje się w ten sposób rozkład izolinii jednakowego kąta widzenia danego punktu w polu maksymalnego zasięgu widzenia. Wykresy takie, wykonane dla charakterystycznych punktów areny, pozwalają określać warunki widoczności tych punktów z poszczególnych obszarów widowni. Umożliwiają one też wyznaczanie stref widoczności, charakteryzujące się przynależnością do określonego przedziału kąta widzenia np. 12-10. Pozwalają ponadto na określenie kształtu i wielkości pola widowni o takich cechach widoczności. Wielkość pola może być wyrażana w jednostkach powierzchni, liczbą widzów lub wartością w skali procentowej. Wykresy te są swojego rodzaju mapami widoczności. Wykazują m.in. ekstremalne różnice w jakości widzenia bramki z przeciwległych pól zabramkowych. Postać bramkarza dla najdalszego rzędu zabramkowego ma 20-krotną wielkość minimalnego kąta widzenia, podczas gdy z odpowiadającego mu rzędu po przeciwległej stronie boiska, wartość ta wynosi ok. 9. Różnice te są jeszcze większe, jeśli chodzi o punkt narożnika boiska. Pole bardzo dobrej widoczności, o granicy wyznaczanej izolinią

[41] Z uwagi na prędkość akcji i wielkość areny i widowni norma PN-EN 13200-1 klasyfikuje lekkoatletykę w grupie A, dla której to grupy, dla obszarów na otwartej przestrzeni, ustala powyższą maksymalną i zalecaną odległość widzenia.



RYS. 1-15
IZOLINIE JEDNAKOWYCH KĄTÓW WIDZENIA POSTACI ZAWODNIKA (PIŁKA NOŻNA) WYRAŻONYCH KROTNOŚCIĄ MINIMALNEGO KĄTA WIDZENIA ψ = 0°4'

Źródło - oryginalne opracowanie autora.

LEGENGA

20 ..... **- Izolinia jednakowego kąta widzenia postaci zawodnika; (20) - krotność minimalnego kąta widzenia ψ = 0°4'.**

GMZW - Granica pola maksymalnego zasięgu widzenia (R max = 190m).

KZW - Koło maksymalnego zasięgu widzenia (Rk = 127m) .

krotności 20, w analizowanym przykładzie obejmuje zaledwie ok. 30% powierzchni widowni. Pozostała część widowni o krotności minimalnego kąta widzenia, równej przedziałowi od 20 do 9, stanowi aż 70% jej powierzchni.

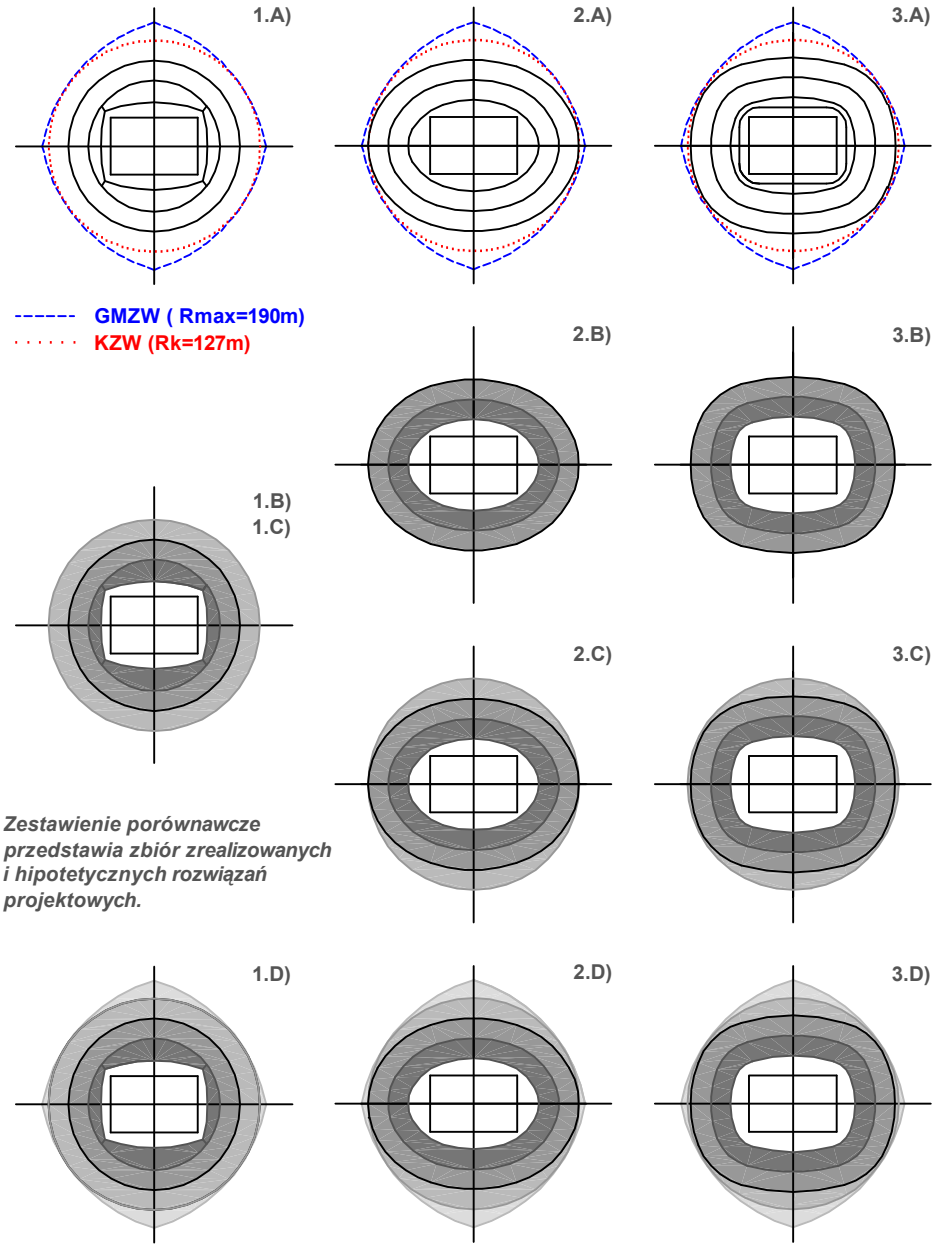
1.7. Rodzaje widowni

Podstawową cechą rozróżniającą widownie stadionów jest kształt linii tworzących je rzędów. Z uwagi na to kryterium, w całym zbiorze zrealizowanych, współczesnych stadionów można wyróżnić dwa ich rodzaje. Widownie o łukowej geometrii planu rzędów (rys. 1-16) i widownie, w których rzędy tworzą w rzucie poziomym linie proste, równoległe do linii bocznych pola boiska (rys. 1-17). Pierwszy rodzaj, znany i stosowany od czasów antycznych, zapewnia mniejszą lub większą koncentryczność głównych osi optycznych poszczególnych indywidualnych miejsc. W drugim, osie te przebiegają równolegle do siebie i prostopadle do linii bocznych boiska. Względy techniczno-ekonomiczne powodują, że w przypadku widowni łukowej odchodzi się dziś od projektowania pełnej linii łukowej, zastępując ją odcinkami linii prostej, stanowiącymi cięciwy teoretycznego łuku wzorcowego. Prawdopodobnie ostatnim stadionem, gdzie zastosowano prefabrykowane łukowe elementy żelbetowe wykształcające poszczególne rzędy widowni, jest *Stadion Olimpijski* w Monachium (1972 r.). Jeśli chodzi o widownie prostokreślne, to głównym motywem decydującym o wyborze tego rozwiązania są względy kosztowe. Konstrukcje tych widowni są technologicznie mniej skomplikowane, umożliwiają większą typizację elementów składowych, wymagają mniejszych nakładów na produkcję i montaż prefabrykatów.

Widownie łukowe występują w trzech wyraźnie rozróżnialnych odmianach (rys. 1-16). Pierwszą tworzą rozwiązania wykorzystujące geometrię koła. W przypadku tym poszczególne rzędy stanowią idealne okręgi o wspólnym środku, usytuowanym w centralnym punkcie areny. Główne osie optyczne wszystkich miejsc koncentrują się w tym właśnie punkcie, dzięki czemu ten typ widowni charakteryzuje się najbardziej jednorodnymi warunkami widoczności.

Idealna kolistość wnętrza wytwarzanego przez taką widownię oddziałuje pozytywnie na widzów, zwiększając psychologiczne poczucie współuczestnictwa. Jest to znane z psychologii zjawisko oddziaływania *magicznego kręgu ogniska,* czy *okrągłego stołu*. Drugą odmianę stanowią widownie owalne o kształcie zbliżonym do elipsy. Taką geometrię miała arena i widownia *Koloseum*. Dobrym przykładem jej zastosowania jest w Polsce *Stadion Śląski* w Chorzowie. Ogólne cechy tej widowni podobne są do poprzedniej, z tą różnicą, że eliptyczny owal areny nieco bardziej dostosowuje się kształtem do prostokąta boiska. Linię owalu konstruuje się zwykle z trzech rodzajów, wzajemnie stycznych, łuków składowych. Kolejną grupą widowni należących do tej kategorii, są najbardziej popularne, widownie owalne, w których owal zbliżony jest kształtem do prostokąta. Ich geometria powstaje z zastosowania dwóch łuków płaskich (o znacznym promieniu) i trzeciego tzw. *narożnego* o niewielkim promieniu i ze środkiem usytuowanym zwykle w narożniku boiska. Rozwiązania te łączą cechy widowni prostokreślnych i łukowych, wykorzystując zalety każdego z tych rodzajów.

Na rys. 1-17 przedstawiono systematykę zrealizowanych i hipotetycznych modeli widowni prostokreślnych. Do najbardziej popularnych, stosowanych na średniej wielkości stadionach piłkarskich, należą schematy oznaczone indeksami 1.A, 1.B, 1C i 2.A. Za pomocą dwóch pierwszych realizowane są cztery niezależne przestrzen-



Zestawienie porównawcze przedstawia zbiór zrealizowanych i hipotetycznych rozwiązań projektowych.

RYS. 1-16
RZUTY WIDOWNI O ŁUKOWEJ GEOMETRII POZIOMEJ DLA BOISK PROSTOKĄTNYCH
1.)- Kołowa, 2.)- Owalna odzwierciedlająca elipsę, 3.)- Owalna ozwierciedlająca prostokąt

Źródło - oryginalne opracowanie autora.

LEGENDA

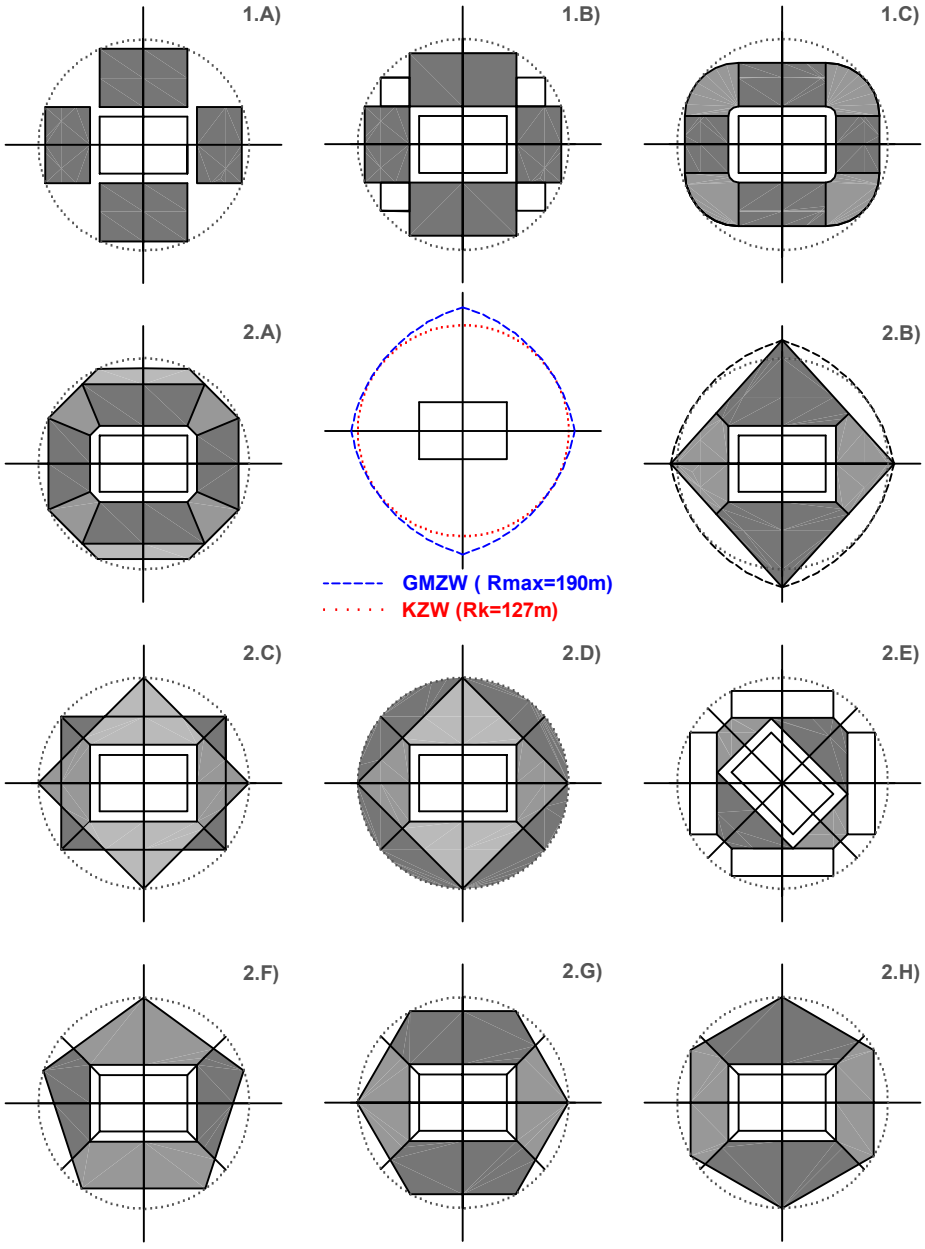
1,2,3. A) - Linearne rysunki rzutów poszczególnych widowni łukowych.

1,2,3. B) - Rzuty o pełnym obwodzie ostatniego rzędu, który jest styczny (2.B i 3.B) do linii koła zasięgu widzenia (KZW). W przypadku widowni kołowej (2.B) linia ostatniego rzędu pokrywa się z linią KZW.

1,2,3. C) - Rzuty wykorzystujące pełne pole koła zasięgu widzenia KZW (Rk=127m). W przypadku widowni owalnych (2.C i 3.C) rzędy dopełniające do formy koła KZW zachowują łuki geometrii owalu, lecz nie mają zamkniętego obwodu.

1,2,3. D) - Rzuty wykorzystujące pełne pole widoczności wyznaczone liniami granicy pola maksymalnego zasięgo widzenia (GMZW) ; Rmax = 190m, pozwalające osiągać maksymalne pojemności widowni. Profile poziome widowni jak 1,2,3 C, lecz powiększone o rzędy w polach pomiędzy liniami KZW i GMZW.

Pozostałe oznaczenia jak dla rys.1-12 i rys.1-14.



RYS.1-17
RZUTY WIDOWNI O PROSTOKREŚLNEJ GEOMETRII POZIOMEJ DLA BOISK PROSTOKĄTNYCH

Źródło - oryginalne opracowanie autora.

Zestawienie porównawcze przedstawia zbiór zrealizowanych i hipotetycznych rozwiązań projektowych.

LEGENDA

1. - Widownie prostokątne.
1. A) - W. prostokątna z wolnymi narożnikami.
1. B) - W. prostokątna z narożnikami wypełnionymi budynkami.
1. C) - W. prostokątna z narożnikami łukowymi.

2. - Widownie wielokątne.
2. A) - W. ośmiokątna.
2. B) - W. rombowa.
2. C) - W. rozetowa.
2. D) - W. kwadratowa- przekątniowa wpisana w okrąg.
2. E) - W. kwadratowa- przekątniowa domknięta układem budynków.
2. F) - W. pięciokątna (całkowicie asymetryczna).
2. G) - W. sześciokątna o bokach równoległych do linii bocznych boiska.
2. H) - W. sześciokątna o bokach równoległych do linii zabramkowych boiska.

Pozostałe oznaczenia jak dla rys.1-12 i rys.1-14.

nie widownie, usytuowane równolegle do bocznych linii boiska, przy pozostawieniu narożników jako pustych lub wypełnionych innymi obiektami niż widownia. Zaletą pierwszego z nich są otwarcia widokowe na otaczającą przestrzeń zewnętrzną, drugiego zaś – wprowadzanie do wnętrza stadionu, w znacznym zbliżeniu do areny i bez szkody dla widoczności z trybun widowni, kubatur z funkcjami zaplecz. Obiekty narożne często mają otwarcia widokowe na pole gry. Rozwiązania te stwarzają bardzo ekonomiczne warunki realizacji zadaszenia trybun i ewentualnie areny. Modele 1.C i 2.A różnią się od poprzednich sposobem rozwiązania strefy narożnej. W jednym przypadku narożnik wypełniony jest widownią łukową, z płynnym przejściem rzędów prostokreślnych w łukowe, w drugim, w miejscu rzędów łukowych, realizuje się rzędy prostokreślne, ustawione przekątniowo. W tym ostatnim przykładzie linię załamania dobiera się w taki sposób, by głębokości rzędów wszystkich segmentów widowni były takie same. Pozostałe zaprezentowane modele mają charakter teoretyczny i są autorskimi propozycjami, zmierzającymi do jak największego wykorzystania walorów widowni prostokreślnych, z równoczesnym eliminowaniem ich mankamentów. Jeden z nich, tj. *widownię rozetową*, omówiono bardziej szczegółowo w końcowej części pracy.

Rozdział 2
ZAGADNIENIA WYNIKAJĄCE Z UWARUNKOWAŃ PERCEPCJI WZROKOWEJ

2.1. Przewyższenie linii widzenia – główne parametry antropometryczne i geometryczne kształtujące profil widowni

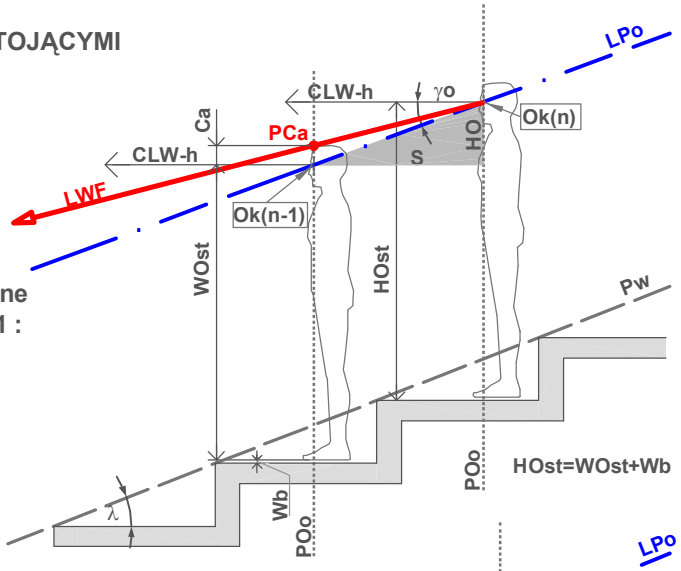
Forma architektoniczna widowni współczesnych stadionów powstaje w wyniku rozmieszczenia kilkudziesięciu tysięcy widzów w przestrzeni w taki sposób, że każdy z nich ma zapewniony niezakłócony widok na pole areny, komfortową przestrzeń indywidualnego miejsca oraz bezpieczne warunki komunikacji i ewakuacji. Podobnie jak w starożytności, tworzą ją tarasowe układy stopni stanowiących tzw. rzędy. Główne parametry geometryczne i antropometryczne kształtujące profil widowni, czyli pionowy przekrój widowni przedstawiający układ punktów oka wraz z będącym ich odzwierciedleniem konturem budowlanym trybun i wykresem linii widzenia fokusu, zilustrowano na rys. 2-1. W praktyce projektowej stosuje się normatywną wartość *wysokości ocznej* (HOs) dla pozycji siedzącej, która wynosi 120cm.[42] Oznacza to, że cała widownia zaprojektowana jest dla jednej kategorii antropometrycznej widzów, charakteryzujących się taką właśnie cechą. Rodzi to określone konsekwencje w zakresie jakości parametrów widoczności, którym poświęcono oddzielny rozdział pracy.

Głębokość rzędu (S), równocześnie poziome przesunięcie punktu oka, wynika z wymiarów człowieka w pozycji siedzącej i wymiarów przejścia (E) umożliwiającego komunikację i ewakuację. Wysokość stopni wykształcających poszczególne rzędy widowni (HO), jednocześnie wyniesienie punktu oka (Ok(n)) ponad punkt (Ok(n-1)) z rzędu poniższego, zależy od nachylenia linii widzenia fokusu (LWF). Fokus jest punktem krytycznym, położonym w obrębie areny, którego niezakłócone widzenie zapewnia pełną widoczność całego pola gry. W przypadku areny piłkarskiej, jest to zwykle najbliższy punkt leżący na najbliższej linii bocznej boiska. Obserwacja tego punktu możliwa jest tylko wtedy, gdy linia widzenia łącząca ten punkt z punktem oka obserwatora (Ok(n)) przebiega stycznie do wierzchołka głowy („A") widza z poniższego rzędu lub ponad nim. Inaczej mówiąc, kiedy przebiega ona z odpowiednim przewyższeniem (C) nad punktem oka widza z rzędu poniższego (Ok(n-1)). Jak wykazano wcześniej, o jakości widzenia decyduje odległość oka od obserwowanego obiektu. Dlatego też, projektując profil widowni dąży się do jak największego przybliżania punktu fokusu do krawędzi widowni, co zwiększa nachylenie linii widzenia fokusu. W efekcie prowadzi to do zwiększania się nachylenia trybun, a co za tym idzie zwiększania wysokości ich stopni i zwiększania wzajemnego, pionowego przesunięcia punktów oka w sąsiednich rzędach.

Z analizy przebiegu linii widzenia pola boiska z dowolnego punktu oka Ok(x) usytuowanego na widowni (rys. 2-2) wynika, że dwie z nich mają najistotniejsze znaczenie dla jakości widzenia. Są to linie widzenia punktów fokusu usytuowanych w bliższych narożnikach boiska (F` i F``). Są to skrajne położenia centralnej linii widzenia

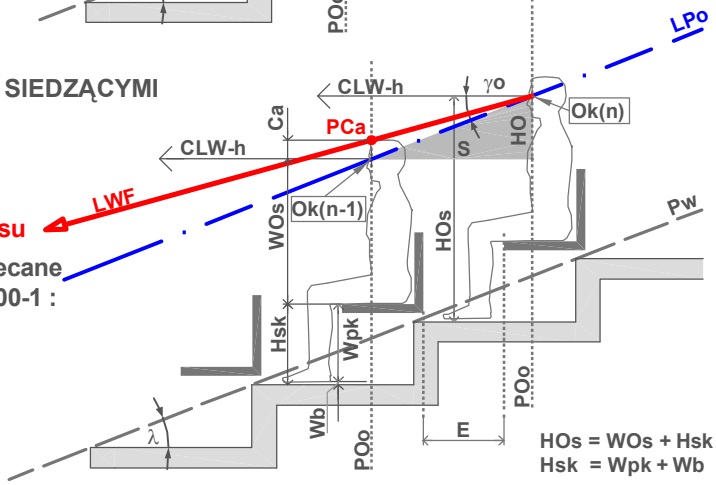
[42] Por. Polska Norm PN-EN 13200-1:2005, *Obiekty widowiskowe, Część1:Wymagania dotyczące projektowania widowni, Wyszczególnienie,* Polski Komitet Normalizacyjny, grudniu 2005r. s. 14 i 15.

WIDOWNIA Z MIEJSCAMI STOJĄCYMI



Parametry nominalne zalecane przez normę PN-EN 13 200-1 :
HOst = 160 cm,
Ca = 12 cm,
S ≥ 40 cm
λ ≤ 35°

WIDOWNIA Z MIEJSCAMI SIEDZĄCYMI



Parametry nominalne zalecane przez normę PN-EN 13 200-1 :
HOs = 120 cm,
Ca = 12 cm,
S ≥ 80 cm,
λ ≤ 35°,
E ≥ 35 cm

RYS. 2-1
GŁÓWNE PARAMETRY ANTROPOMETRYCZNE I GEOMETRYCZNE KSZTAŁTUJĄCE PROFIL WIDOWNI

Źródło - opracowanie autora na podstawie normy PN-EN 13 200-1

LEGENDA

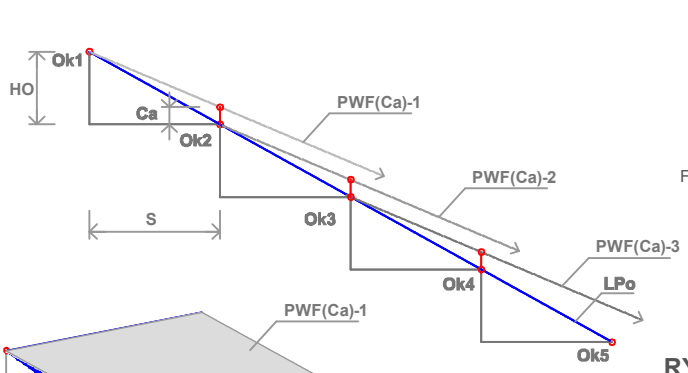
Ok(n) - Punkt oka w dowolnym rzędzie (n).
Ok(n-1) - Punkt oka w sąsiednim rzędzie poniższym (n-1).
POo - Pionowa oś punktu oka (25cm od tylnej krawędzi rzędu).
CLW-h - Centralna pozioma linia widzenia.
HOs - Wysokość (wzlędna) położenia oka w pozycji siedzącej.
HOst - Wysokość (względna) położenia oka w pozycji stojącej.
WOs - Antropometryczna wyskość oczna w pozycji siedzącej (od płaszczyzny siedziska).
WOst - Antropometryczna wysokość oczna w pozycji stojącej.
Hsk - Wysokość siedziska.
Wpk - Antropometryczna wysokość podkolanowa.
Wb - Wysokość podeszwy obuwia.
S - Poziome (względne) przesunięcie oka.
HO - Wyniesienie oka, (wzdlędne).
LPo - Linia płaszczyzny ocznej.
γo - Kąt nachylenia płaszczyzny ocznej równy kątowi nachylenia trybun.
λ - Kąt nachylenia trybun.
Pw - Płaszczyzna bazowa trybuny (styczna do krawędzi stopni trybuny).
LWF - Linia widzenia punktu fokusu.
PCa - Punkt antropometrycznego przewyższenia linii widzenia fokusu (Ca).
Ca - Wartość minimalnego przewyższenia LWF ponad punktem oka Ok(n-1) umożliwiająca widzenie punktu fokusu.
E - Szerokość przejścia komunikacyjno-ewakuacyjnego.

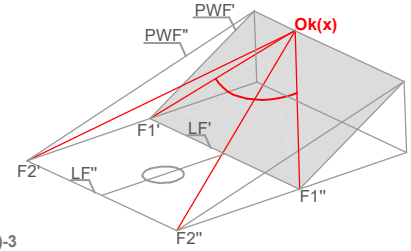
przy obserwacji bliższej krawędzi boiska. Centralna linia widzenia, gdy śledzi poszczególne punkty fokusu leżące na tej krawędzi, porusza się po jednej płaszczyźnie, gdyż punkt oka (punkt obrotu) jest stały, a obserwowana linia boczna boiska F`F`` jest odcinkiem linii prostej. Linię tę nazwano linią fokusów (LF), a płaszczyznę, płaszczyzną widzenia linii fokusów (PWF). Warunkiem niezakłóconej widoczności linii fokusów jest takie usytuowanie płaszczyzny PWF, by żaden obiekt w obrębie widowni lub areny nie przebijał pola leżącego na niej trójkąta widzenia F`F``Ok(x), a co najwyżej był do niego styczny. Poszczególne, nominalne punkty oka w określonym rzędzie widowni usytuowane są na jednej wysokości i leżą na jednej linii odzwierciedlającej linię krawędzi stopnia tego rzędu. Linię tę nazwano linią oczną. Ponieważ wszystkie nominalne punkty oka w obrębie widowni wyniesione są ponad poziomy odpowiadających im rzędów widowni o stałą wartość nominalnej wysokości ocznej, leżą one na jednej powierzchni, której geometria jest identyczna z geometrią powierzchni stycznej do krawędzi stopni trybun, lecz wyniesiona o wspomnianą wysokość oczną. W przypadku widowni prostokreślnych o profilu prostoliniowym powierzchnia oczna jest płaszczyzną o nachyleniu równym nachyleniu trybun widowni. W przypadku zaś widowni łukowych o profilu krzywoliniowym powierzchnia oczna jest powierzchnią wklęsłą, stanowiącą wycinek powierzchni bryły obrotowej, której tworzącą jest paraboloida.

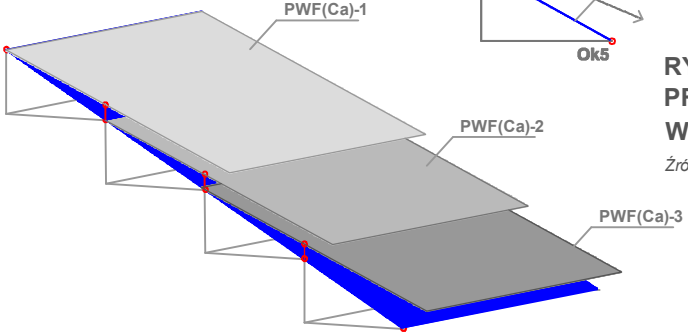
Dla jasności wywodu na rys. 2-2 przedstawiono mniej skomplikowany profil, jakim jest profil prostoliniowy widowni prostokreślnej. W profilu tym punkty oka w poszczególnych rzędach wyniesione są w stosunku do rzędów położonych poniżej o stałą dla całej widowni wartość HO. Wzajemne przesunięcie w kierunku południkowym jest jednakowe i równa się szerokości rzędu (S). W związku z tym punkty te leżą na jednej płaszczyźnie ocznej (Po), a linie oczne w poszczególnych rzędach są odcinkami linii prostych równoległych do linii bocznej boiska. Najniżej położona płaszczyzna linii widzenia dla dowolnego rzędu musi przebiegać stycznie do nominalnych punktów wierzchołków głów widzów z rzędu poniższego. Punkty te wyniesione są ponad punkty oka o normatywną wartość Ca=12cm. Jest to tzw. antropometryczne przewyższenie linii widzenia ponad punktem oka z rzędu poniższego. Nominalnie jest ono równe antropometrycznej różnicy wysokości obserwatora i jego wysokości ocznej, czyli odległości poziomej osi oka od stycznej poziomej do najwyższego punktu głowy. Każdej linii ocznej z poszczególnego rzędu widowni odpowiada wspólna płaszczyzna najniższych linii widzenia. Płaszczyzny te przebiegają do siebie równolegle i są przesunięte względem siebie w kierunku pionowym o wartość Ca.

Chcąc zapewnić pełną widoczność pola gry z każdego miejsca tego typu widowni, należy tak ukształtować profil widowni, by płaszczyzna linii widzenia fokusów z rzędu ostatniego przebiegała przez bliższą linię boczną boiska. Płaszczyzny PWF rzędów usytuowanych poniżej będą się przenikać z powierzchnią areny przed linią boczną boiska, co zapewnia widzom coraz większy margines widzialności powierzchni przed krawędzią boiska. W przypadku widowni prostokreślnej o profilu krzywoliniowym wszystkie płaszczyzny PWF ogniskują się na linii bocznej boiska, a wyniesienia względne punktów oka wobec rzędów niższych zwiększają się przy zachowaniu tej samej wartości przewyższenia Ca. Jeśli chodzi o widownie łukowe obu rodzajów profilu, to z uwagi na łukowy przebieg linii fokusów, zagadnienia związane z widocznością mają bardziej skomplikowany charakter i będą szczegółowo omówione w dalszej części pracy.

Opisane powyżej minimalne przewyższenie antropometryczne Ca, tj. takie, gdy najniższe linie widzenia przebiegają stycznie do wierzchołków głów widzów z rzędów niższych, dają w efekcie obraz pola gry, w którym granica boiska pokrywa się z linią dolnego ograniczenia pola tego obra-

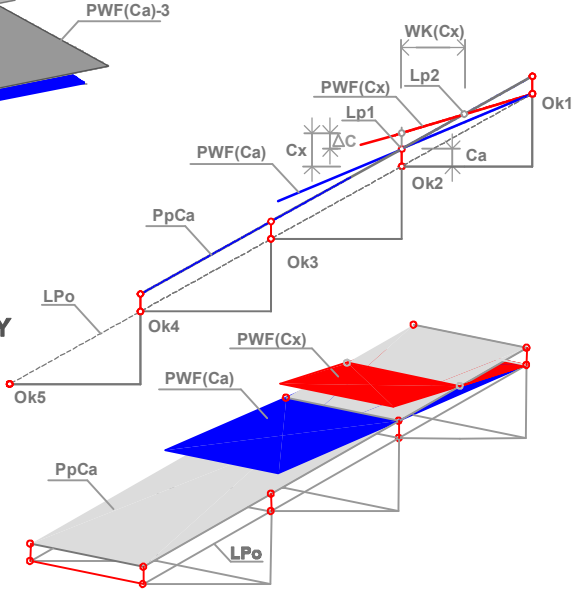






RYS. 2-2
PROFIL WIDOWNI - PŁASZCZYZNY WIDZENIA LINII FOKUSÓW

Źródło - oryginalne opracowanie autora.



RYS. 2-3
WPŁYW PRZEWYŻSZENIA PŁASZCZYZNY WIDZENIA LINII FOKUSÓW BLIŻSZYCH NA JAKOŚĆ WIDZENIA DOLNEGO OBSZARU POLA OBSERACJI

Źródło - oryginalne opracowanie autora.

LEGENDA

Ok1-Ok5 - Pozycja oka w rzędzie nr 1-5.
LPo - Linia płaszczyzny ocznej.
S - Poziome względne przesunięcie oka.
HO - Względne wyniesienie oka.
Ca - Przewyższenie antropometryczne, minimalne przewyższenie zapewniające widzenie linii fokusów bliższych, Ca=12cm.
PWF(Ca)-1,2,3 - Płaszczyzna widzenia fokusów bliższych, odpowiednio dla Ok1, Ok2, Ok3 przy przewyższeniu Ca.
Ok(x) - Dowolna pozycja oka.
LF' - Linia fokusów bliższych.
LF" - Linia fokusów dalszych.
F1', F1" - Fokusy bliższych naróżników boiska.
F2', F2" - Fokusy dalszych narożników boiska.
PWF' - Płaszczyzna widzenia linii fokusów bliższych.
PWF" - Płaszczyzna widzenia linii fokusów dalszych.
PpCa - Płaszczyzna przewyższenia antropometrycznego (Ca).
Ca - Przewyższenie antropometryczne.
Cx - Dowolne przewyższenie linii widzenia fokusa.
ΔC - Przyrost przewyższenia Cx ponad przewyższenie Ca.
PWF(Cx) - Płaszczyzna widzenia linii fokusów przy przewyższeniu Cx.
Lp1 - Linia przenikania płaszczyzn PpCa i PWF(Ca).
Lp2 - Linia przenikania płaszczyzn PpCa i PWF(Cx).
WK(Cx) - Wskaźnik komfortu widzenia dla dowolnego przewyższenia Cx; im WK większy tym pole widzenia pasma poniżej linii fokusów większe. Dla przewyższenia Ca WK = 0 a płaszczyzna widzenia fokusu (PWF) przechodzi przez linię fokusów.

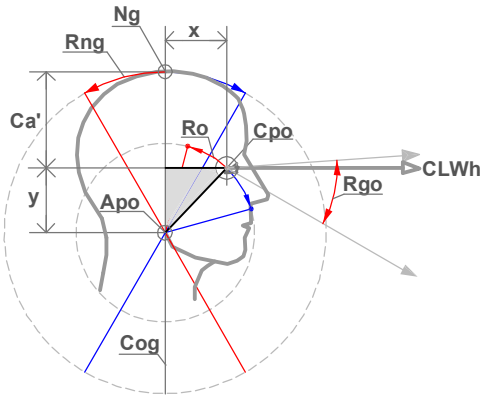
zu. Chcąc zapewnić widzialność marginesu powierzchni areny poprzedzającej krawędź boiska, należy zwiększyć przewyższenie linii widzenia ponad punktem poniższego oka ponad wartość Ca. Na rys. 2-3 przedstawiono model fragmentu widowni z płaszczyzną PWF(x), przebiegającą z przewyższeniem Cx=Ca+ΔC. Dla wyraźniejszego zobrazowania takiej sytuacji wprowadzono pojęcie płaszczyzny przewyższenia antropometrycznego (Pca), która jest płaszczyzną przebiegającą przez nominalne punkty wierzchołków głów. Jest ona równoległa do płaszczyzny ocznej i przesunięta pionowo w stosunku do niej o wartość Ca. Płaszczyzny linii widzenia fokusów z przewyższeniem Ca (PWF(Ca)) przenikają się z nią dokładnie nad punktem oka z rzędu poniższego (linia przenikania Lp1). Płaszczyzna PWF(x) przenika się z płaszczyzną PpCa powyżej linii Lp1, w odległości WK(Cx). Wielkość ta jest wskaźnikiem komfortu widzenia, charakteryzującym każde dowolne przewyższenie Cx. Im wartość WK(Cx) jest większa, tym pole widzenia pasma poniżej linii bocznej pola boiska jest większe. Dla przewyższenia Ca wartość WK=0, a płaszczyzna PWF(Ca) przechodzi przez krawędź pola gry.

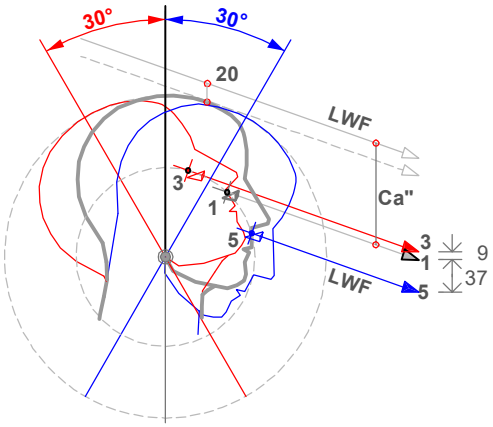
Stosowane w praktyce projektowej założenie stałej, nominalnej wysokości ocznej i minimalnego, nominalnego przewyższenia linii widzenia fokusu jest znacznym uproszczeniem. W rzeczywistości położenie w przestrzeni teoretycznego punktu oka ulega ciągłym przemieszczeniom. Z jednej strony oko wykonuje obroty wokół swojego własnego środka obrotu, z drugiej – obroty wykonuje również głowa wokół swojego punktu obrotu (rys. 2-4). Kolejne przemieszczenia mogę być ponadto wynikiem ruchów tułowia. Przy nieruchomym tułowiu, obrót głowy w płaszczyźnie pionowej odbywa się wokół antropometrycznego punktu obrotu (Apo). Przez punkt ten przebiega pionowa oś głowy (Cog), na której położony jest najwyższy punkt głowy (Ng). Zakres odchylenia głowy do tyłu, osiagany bez wysiłku, wynosi 30º. Równie naturalny jest obrót głowy do przodu, powodujący jej nachylenie. Zakres normalny tego nachylenia wynosi również 30º. Łącznie normalna rotacja głowy w płaszczyźnie pionowej wynieść więc może 60º. Odległość Apo-Ng wyznacza promień okręgu, po którym przemieszcza się najwyższy punkt głowy(Ng). Oś pozioma poprowadzona przez środek obrotu gałki ocznej (Cpo) przecina oś pionową głowy pod kątem prostym i wyznacza na niej wielkość pionowego wyniesienia tego punktu (y) w stosunku do punktu Apo. Drugą wartością charakteryzującą położenie oka wobec punktu Apo jest pozioma odległość (x) środkowego punktu oka (Cpo) od pionowej osi głowy (Cog). Odcinki x i y stanowią przyprostokątne trójkąta, którego przeciwprostokątna (Cpo-Apo) jest promieniem okręgu, po którym przemieszcza się oko w wyniku nachyleń i odchyleń głowy.

Kształt tego trójkąta obrazuje współrzędne usytuowania oka względem punktu Apo. Porównując poszczególne trójkąty, odpowiadające badanym położeniom oka, uzyskuje się syntetyczny obraz zmian pozycji oka i wynikających z nich skutków dla przebiegu linii widzenia. Obrotom głowy towarzyszy rotacja gałki ocznej, dzięki czemu oko fiksuje centralną linię widzenia na stałym punkcie fokusu, mimo zmian swojego położenia w przestrzeni.

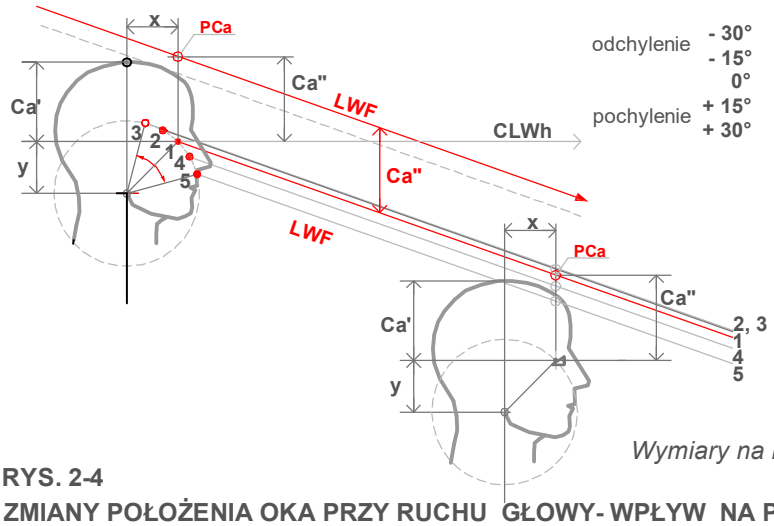
Ruchy głowy, przebiegając w płaszczyźnie pionowej, powodują zmianę wysokości położenia oka. Przy odchyleniu głowy do tyłu podnosi ono swoją pozycję, przy jej pochyleniu do przodu, obniża ją. Skutkiem tych ruchów jest przesuwanie się w pionie położenia linii widzenia fokusu (LWF). Dla przypadku rozpatrywanego w analizowanym przykładzie, gdzie założono nachylenie LWF równe 19º, a paramtry antropometryczne głowy odpowiadają mężczyźnie kategorii M50c[43], pionowe przesunięcia

[43] Wykorzystano dostępne dane dla populacji USA, za A. R. Tilley, H. Dreyfuss, *The Measure of Man and Woman: Human Factors in Design,* Wiley, (December 31, 2001).





	Rng	Nr LWF	x	y	Ca'	Ca"
odchylenie	- 30°	3	26	99	80	86
	- 15°	2	51	89	95	100
	0°	1	71	73	112	116
pochylenie	+ 15°	4	88	52	129	134
	+ 30°	5	99	27	148	153



Wymiary na rysunku w milimetrach [mm].

RYS. 2-4
ZMIANY POŁOŻENIA OKA PRZY RUCHU GŁOWY- WPŁYW NA POŁOŻENIE LINII WIDZENIA FOKUSU I WARTOŚĆ JEJ ANTROPOMETRYCZNEGO PRZEWYŻSZENIA

Źródło - oryginalne opracowanie autora.

W analizie wykorzystano przykładowo wymiary antropometryczne głowy mężczyzny M 50c rozkładu centylowego w populacji USA. Przyjęte linie widzenia fokusu odpowiadają jednemu prostoliniowemu profilowi widowni i mają jednakowe nachylenie βf1=19°. W praktyce obserwowano na widowniach z m. stojącymi również wspinanie się widzów na palcach. O wpływie ruchu tułowia w pozycji siedzącej na położenie punktu oka autor pisze w rozdz.2.9, s.166.

LEGENDA:

Cog - Centralna antropometryczna oś głowy.
Apo - Antropometryczny punkt obrotu głowy.
Ng - Najwyższy punkt głowy.
Rng - Zakres rotacji Ng wobec Apo przy odchyleniach głowy do przodu lub do tyłu.
CLWh - Centralna pozioma linia widzenia.
Cpo - Centralny punkt oka (punkt obrotu gałki ocznej).
Ro - Zakres rotacji centralnego punktu oka (Cpo) wobec Apo.
Rgo - Zakres rotacji gałki ocznej wobec Cpo.
Ca' - Bezwzględne antropometryczne przewyższenie równe wyniesieniu najwyższego punktu głowy (Ng) ponad punkt centralny oka (Cpo).
Ca" - Względne antropometryczne pzewyższenie linii widzenia fokusu uwzględniające wysokość fryzury i rzeczywisty punkt styczności z wierzchołkiem głowy.
x - Poziome przesunięcie Cpo wobec Apo.
y - Pionowe przesunięcie Cpo wobec Apo.
LWF - Linia widzenia fokusu.
Nr LWF - Numer linii LWF odpowiadającej poszczególnemu położeniu oka.
PCa - Nominalny punkt przewyższenia antropometrycznego (Ca).

LWF, wywołane obrotem głowy w płaszczyźnie pionowej, wynoszą ok. 46mm, przy czym odchylenie głowy do tyłu o 30º, podnosi linię LWF zaledwie o 9mm w stosunku do pozycji normalnej. Przechylenie głowy do przodu o taki sam kąt powoduje obniżenie LWF aż o 37mm. Jak widać, prowadzi to do znacznych różnic w stosunku do założeń nominalnych, zarówno wysokości ocznej, jak i przewyższenia linii widzenia.

Na rys. 2-4 przedstawiono wywołane rotacją głowy charakterystyczne pozycje środkowego punktu oka (Cpo), oznaczając je numerami od 1 do 5. Odpowiadają one odchyleniom i nachyleniom głowy w interwałach równych kątowi 15º. Dla poszczególnych pozycji oka wyznaczono położenia linii widzenia fokusu i nadano im odpowiadające tym pozycjom numery. Z analizy tej wynika, że ruchy głowy przy odchyleniu do tyłu podnoszą nieznacznie LWF. Istotne zmiany położenia tej linii są natomiast skutkiem nachyleń do przodu. Różnica pomiędzy rezultatami odchylenia głowy do tyłu o 15º i 30º jest tak niewielka, że można uznać, iż dalsze odchylanie głowy do tyłu poza kąt 15º nie przynosi znaczącego efektu. Dzieje się tak dlatego, że mimo przyrostu wyniesienia oka ponad punkt Apo następuje równoczesne przesunięcie go w kierunku osi pionowej (Cog), co powoduje, że linie LWF dla odchylenia 15º i odchylenia 30º niemalże się pokrywają. Opisane powyżej przesunięcia położenia LWF zależą również od kątowej wielkości ich nachylenia – im kąt nachylenia LWF jest większy, tym przesunięcia są mniejsze, i odwrotnie.

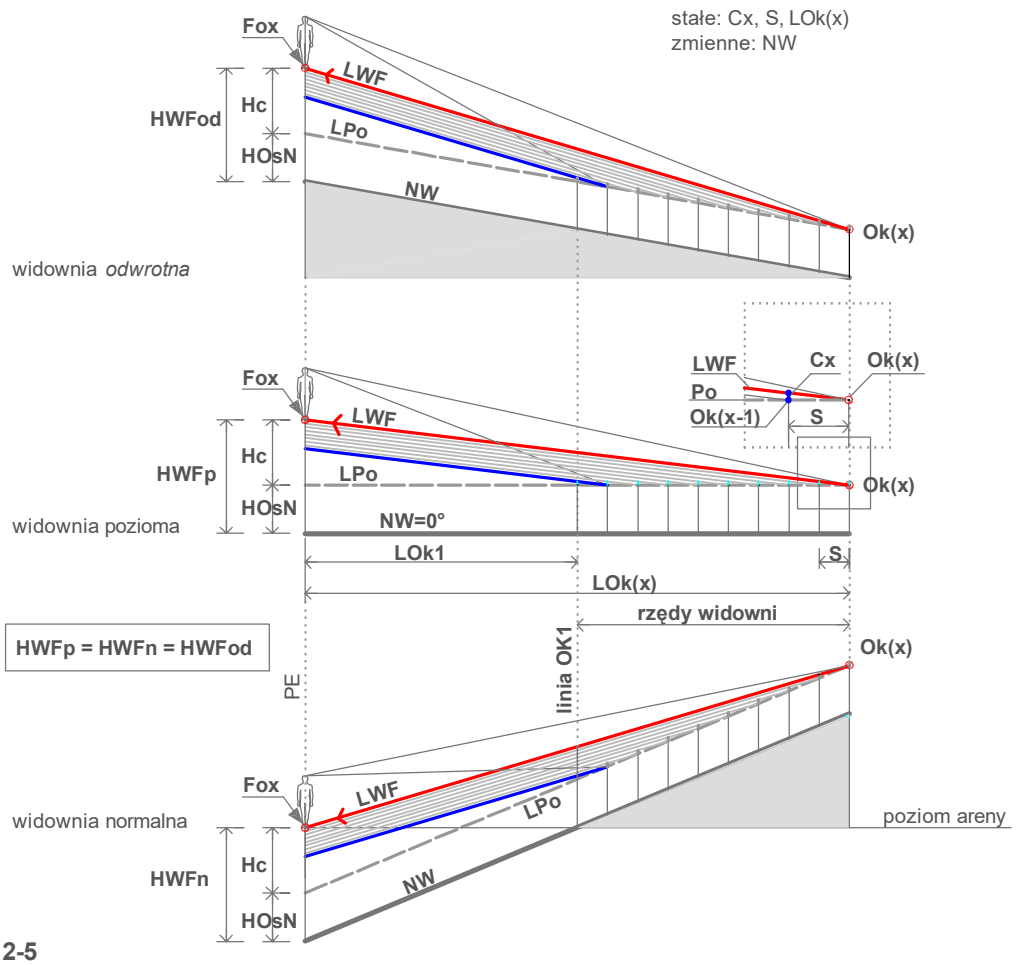
Wykorzystując opisany powyżej aparat badawczy, autor przeprowadził symulacje, których celem było zbadanie prawdziwości spotykanego w literaturze przedmiotu twierdzenia, że zjawisko odchylania głowy do tyłu, jako odruchowa reakcja na zbyt małe przewyższenie (Cx<Ca), przynosi zadowalającą poprawę widoczności. Z analiz tych wynika, że znaczenie zjawiska odchylania głowy do tyłu dla poprawy widoczności przy zaniżonych przewyższeniach Cx jest znikome, nawet przy rozpatrywaniu idealistycznego profilu widowni, zdefiniowanego dla jednakowych w każdym rzędzie, nominalnych wartości wysokości ocznej (HO=120cm). Wynika to wprost z wykazanych powyżej niewielkich wartości podniesienia linii widzenia na skutek odchylenia głowy do tyłu. Znaczenie to maleje jeszcze bardziej, gdy bierze się pod uwagę, mający miejsce w rzeczywistości, losowy rozkład widzów należących do różnych antropometrycznych kategorii skali centylowej.

Warunek poprawy widoczności jest spełniony dopiero wtedy, gdy głowa w rzędzie niższym zostanie odchylona do tyłu o taką samą wartość kątową jak wyższa. W takiej pozycji bowiem, odległość wierzchołka głowy od centralnego punktu oka zmniejsza się na tyle, że do niezakłóconego widzenia punktu fokusu wystarcza przewyższenie linii widzenia równe 90mm (nawet z uwzględnieniem wysokości fryzury). Obserwacje zachowania się widzów na widowniach o profilach o zaniżonych parametrach przewyższenia Cx potwierdzają opisany powyżej mechanizm. W przypadkach takich dochodzi spontanicznie do jednoczesnego odchylania głowy do tyłu przez większość widzów. Zjawisko tego typu zaobserwować można na archiwalnych fotografiach z widowni stadionów, na których stosowano przewyższenia równe 90mm, a nawet 60mm.[44] Reakcje takie należy uznać za oznakę nieprawidłowo zaprojektowanej widowni. Można łatwo je sprawdzić doświadczalnie, wykorzystując poprawnie zaprojektowaną widownię, dla której zaniży się przyjęte przewyższenie poprzez przybliżenie fokusu do punktu oka pierwszego rzędu.

[44] Nawiasem mówiąc norma PN-EN 13200-1 zaleca stosowanie przewyższenia 120mm, stwierdzając równocześnie, że dopuszczalna jest wartość równa 90mm.

Fot. 2-1. Stadion *Anfield Road*, Liverpool (1947). Przykład widowni o zbyt małym przewyższeniu linii widzenia fokusu. Widoczne, charakterystyczne dla takich przypadków, zjawisko odchylania do tyłu głów przez większość widzów. *Foto: kadr z reprodukcji – za A. Spampinato, Stades-Sport & Archtecture de Monde, Tectum, Antwerpen 2004, s. 17.*

Fot. 2-2. Pracownicy Zarządu Miasta testują warunki widoczności na trybunach stadionu przy Grünwalder Straße w Monachium, (1958).
Foto: reprodukcja - Stadtarchiv München, 1958; za W. Skrentny, Das grosse Buch der deutschen Fussballstadien, Verlag DieWerkstatt, Götingen 2001, s. 271.



RYS. 2-5
RELACJE POMIĘDZY WYNIESIENIEM PUNKTU OKA I WYNIESIENIEM PUNKTU FOKUSU:
Porównanie widowni *odwrotnej*, poziomej i o nachyleniu normalnym

Źródło - oryginalne opracowanie autora.

***Z zależności geometrycznych wynika, że przy stałych* : Cx, S, LOk(x) *zachodzi relacja równości:* HWFp = HWFn = HWFod**
Relacja ta jest prawdziwa dla dowolnego nachylenia widowni normalnej i odwrotnej, ponieważ : Hc = LOk(x) Cx/S, Cx/S = Hc/ LOk(x) i Cx/S = const dla każdego z nachyleń.
Wyniesienie pozorne (HWFn) znajdujemy w "Metodzie Daniluka", por. rys.2-28.

LEGENDA
PE - Płaszczyzna ekspozycji.
Fox - Fokus na płaszczyźnie ekspozycji (np. podstawa osoby stojącej).
NW - Nachylenie widowni.
LPo - Linia płaszczyzny ocznej (równoległa do płaszczyzny widowni).
LWF - Linia widzenia fokusu.
Ok(x) - Oko najdalsze.
LOk(x) - Pozioma odległość ostatniego oka od płaszczyzny ekspozycji.
Ok1 - Oko pierwszego rzędu.
LOk1 - Pozioma odległość pierwszego oka od płaszczyzny ekspozycji.
Cx - Przwyższenie linii widzenia fokusu (LWF).
S - Poziome przesunięcie oka (głębokość rzędu).
HOsN - Nominalna wysokość oczna w pozycji siedzącej (przy stałej wys. siedziska).
Hc - Wysokość wyniesienia fokusu ponad linię oczną.
HWFp - Wysokość wyniesienia fokusu (Fox) ponad płaszczyznę widowni poziomej.
HWFod - Wysokość wyniesienia fokusu (Fox) ponad płaszczyznę widowni odwrotnej.
HWFn - Pozorna wysokość wyniesienia fokusu (Fox) ponad płaszczyznę wid. normalnej.

Istotę przewyższenia linii widzenia fokusu dobrze tłumaczy rys. 2-5, na którym przedstawiono reguły widowni poziomej. Ponieważ w przypadku takiej widowni wszyscy widzowie znajdują się na płaszczyźnie poziomej, nominalna płaszczyzna oczna ma przebieg poziomy, a jedynym parametrem umożliwiającym obserwację założonego fokusu jest odpowiednie przewyższenie linii widzenia ponad widzem z rzędu poprzedniego. Dokładnie mówiąc, punkt fokusu należy wynieść co najmniej na taką wysokość, by najniższa linia widzenia z oka ostatniego rzędu przebiegała stycznie do wierzchołka głowy widza z rzędu go poprzedzającego, czyli z opisanym powyżej przewyższeniem antropometrycznym Ca. Linie widzenia z pozostałych rzędów przebiegać będą według tej samej zasady, tworząc wiązkę linii równoległych, przesuniętych wzajemnie o stałą wartość równą Ca. O nachyleniu linii LWF (kąt β) decyduje stosunek wartości dowolnego przewyższenia Cx do głębokości rzędu S (Cx/S=tgβ). Wysokość wyniesienia fokusu (Hc) ponad linię oczną łatwo obliczyć, gdyż z zależności trójkątów podobnych wynika, że Cx/S=Hc/LOk(x), gdzie LOk(x) oznacza odległość poziomą najdalszego punktu oka (Ok(x)) od pionowej płaszczyzny ekspozycji, na której leży fokus. Tak więc, minimalne wyniesienie fokusu dla widowni o powyższych cechach określa równanie: Hc(min)=Ca/S LOk(x), czyli minimalne wyniesienie fokusu uzyskuje się mnożąc poziomą odległość najdalszego punktu oka przez stosunek przewyższenia antropometrycznego do głębokości rzędu. Co ciekawe, z analiz wynika, że w przypadku widowni o nachyleniu *odwrotnym,* niezależnie od wielkości tego nachylenia, wyniesienie fokusu (Hc) ponad płaszczyznę oczną (Po) ma stałą wartość dla wszystkich nachyleń, równą wyniesieniu jak przy widowni poziomej. Podobnie dzieje się z widownią normalną, nachyloną w kierunku fokusu. W przypadku tym można mówić jednak o pozornym wyniesieniu fokusu, gdyż punkt fokusu leży na płaszczyźnie areny, a płaszczyzna oczna (Po) przecina pionową płaszczyznę ekspozycji poniżej poziomu areny.

Całkowite wyniesienie fokusu ponad płaszczyznę widowni (HWF) równe jest sumie wyniesienia ponad płaszczyznę oczną (Hc) i wysokości ocznej (HOsN): HWF=Hc+Ho.

Dla stałych wartości Cx, Sx i LOkx, dla każdego rodzaju widowni, tj. widowni poziomej, odwrotnej i normalnej, wyniesienie to ma jednakową wartość: HWFp=HWFn=HWFod, która zależy od wartości Hc – ta zaś wynika z poziomego przesunięcia najdalszego punktu oka względem punktu fokusu oraz z wzajemnych relacji przewyższenia (Cx) i poziomego przesunięcia punktów oka w rzędach (Sx).

Przedstawione powyżej reguły geometryczne tworzą podstawy dla omówionych w dalszych częściach pracy wykreślnych metod projektowania profili widowni.

2.2. Pionowy kąt widzenia

Znaczeniem pionowego kąta widzenia w projektowaniu widowni, zajmował się prekursorsko, już w pierwszych latach po drugiej wojnie światowej, architekt Julian Brzuchowski – współautor projektu *Stadionu Śląskiego* w Chorzowie (1952-1956) i autor rozdziału *Widownie*, we wszystkich czterech wydaniach książki *Urządzenia sportowe* pod redakcją Romualda Wirszyłły[45]. Opisane poniżej rozważania i pogłębione badania powstały pod wpływem spostrzeżeń, analiz i wniosków Ju-

[45] Patrz *Urządzenia sportowe,* Praca zbiorowa pod redakcją Romualda Wirszyłły; pierwsze wydanie: Państwowe Wydawnictwo Techniczne, Warszawa 1954, kolejne wydania: Arkady, Warszawa 1959, 1966 oraz 1988.

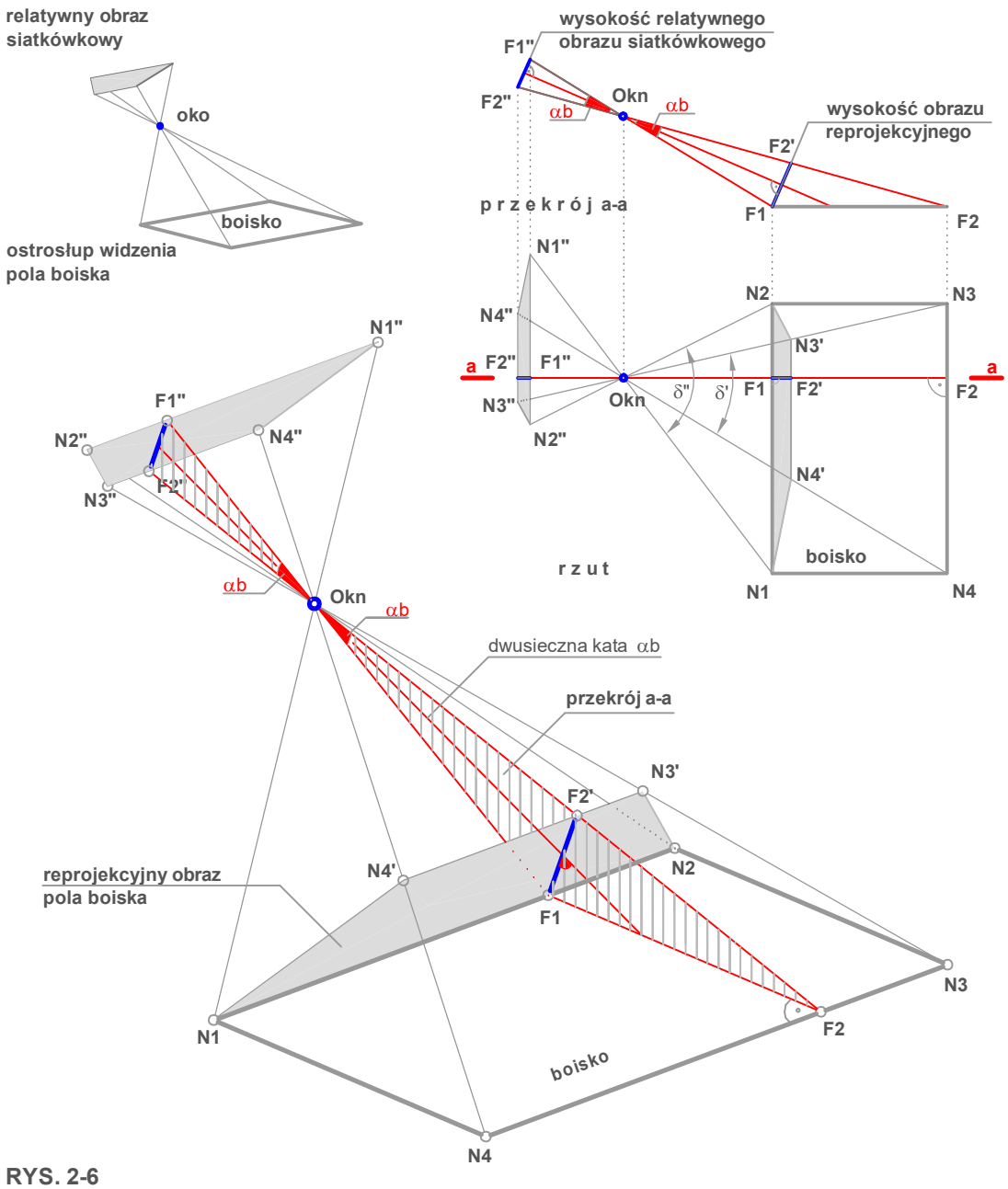
liana Brzuchowskiego, a zwłaszcza z inspiracji jego artykułem z roku 1961[46]. W artykule tym przedstawił on, po raz pierwszy, opracowane przez siebie wykresy jednakowego pionowego kąta widzenia oraz sposoby ich wykorzystania. W tekście tym znajdujemy ponadto, co prawda dość ogólnie zdefiniowane, niemniej ważne z historycznego punktu widzenia, takie pojęcia, jak wysokość i szerokość obrazu powstającego w oku widza.

Pionowy kąt widzenia płaszczyzny boiska (αb) to kąt zawarty pomiędzy liniami widzenia punktu fokusu bliższego (LWF1) i dalszego (LWF2), gdy linie te leżą na płszczyźnie pionowej (rys. 2-6). Kąt ten stanowi różnicę pomiędzy wartością kątów nachylenia tych linii (βf1, βf2), i wynosi: αb=βf1--βf2. Wszystkie wspomniane kąty, zarówno pionowy kąt widzenia boiska (αb), jak i kąty nachylenia linii widzenia fokusów (βf) zależą od wysokości wyniesienia punktu oka (Ho) oraz od odległości tego punktu od pola boiska. Kąt αb osiąga największe wartości przy najwyższym i najbliższym usytuowaniu oka względem obserwowanego pola areny. Kąt ten maleje w miarę oddalania i w miarę obniżania punktu oka w stosunku do fokusu F1. Pionowy kąt widzenia αb decyduje o wysokości powstającego we wnętrzu oka obrazu siatkówkowego pola boiska. Im jest on większy, tym wysokość obrazu jest większa, i odwrotnie. Zależności te przedstawia rys. 2-6. Jeżeli przez linię fokusów bliższych (F1) przeprowadzi się płaszczyznę prostopadłą do dwusiecznej kąta widzenia αb, to stanie się ona płaszczyzną projekcji obrazu pola boiska (rys. 2-6, rys. 2-8). Obrazem tym jest odcinek F1-F2`. Jest to, *de facto,* przekrój ostrosłupa widzenia pola boiska opisaną powyżej płaszczyzną odcinka F1-F2. Płaszczyznę tę nazwano przednią płaszczyzną projekcji (PPP) lub preprojekcji obrazu boiska. Odrzutowany na nią obraz można zaś określić mianem obrazu reprojekcyjnego. Tego rodzaju projekcja odwrotna, od tyłu ekranu, znana jest w kinematografii pod nazwą reprojekcji. Wcześniej wykorzystywana była przez malarzy średniowiecza i renesansu w pomocniczych narzędziach optycznych, w postaci ramy z rozpiętą siatką nicianą, dzielącą obraz na modularne, kwadratowe pola lub ramy z matowym ekranem, które umieszczane były pomiędzy artystą a rysowanym obiektem[47].

Wykonując rysunek w określonej skali, odcinek ten można mierzyć i porównywać z innymi, stanowiącymi obrazy uzyskiwane dla punktu oka usytuowanego na różnych wysokościach (Ho), lecz w jednakowej poziomej odległości (L1) od fokusu F1. Zakres tych porównań jest więc ograniczony do zbioru punktów oka jednakowo odległych, w rzucie poziomym, od fokusu. W celu stworzenia aparatu analitycznego, umożliwiającego porównanie wysokości obrazów dla dowolnego punktu oka w obrębie całej widowni, opracowano model, oparty na charakterystycznej dla oka zasadzie stałej odległości siatkówki od głównego punktu optycznego. Przedłużając linie widzenia LWF1 i LWF2 poza punkt oka, symuluje się wewnętrzne promienie widzenia, przebiegające w oku pomiędzy soczewką i siatkówką. Wprowadzając poza punktem oka płaszczyznę prostopadłą do dwusiecznej kąta widzenia αb, ustanawia się relatywną płaszczyznę projekcji ocznej, nazwaną tylną płaszczyzną projekcji (TPP), która symuluje siatkówkę oka. Przyjmując do analiz zawsze jednakową odległość tej płaszczyzny od punktu oka (OTP), uzyskuje się porównywalne obrazy, których wysokość wyznaczana jest przez odcinek F1``_F2``. Posługując się tą prostą metodą,

[46] Por. J.Brzuchowski, *Uwagi do projektowania trybun sportowych, Wpływ pionowego kąta widzenia,* Architektura 2/1961, Warszawa.

[47] Szczegółowe ilustracje tych przyrządów przedstawiają drzeworyty w traktacie Albrechta Dürera *Underweysung der Messung,* Norymberga 1525. Por. także L. Losos, *Techniki malarskie,* z czeskiego przeł. Dębska. A., Wydawnictwa Artystyczne i Filmowe, Warszawa 1991, s. 28 i 29.

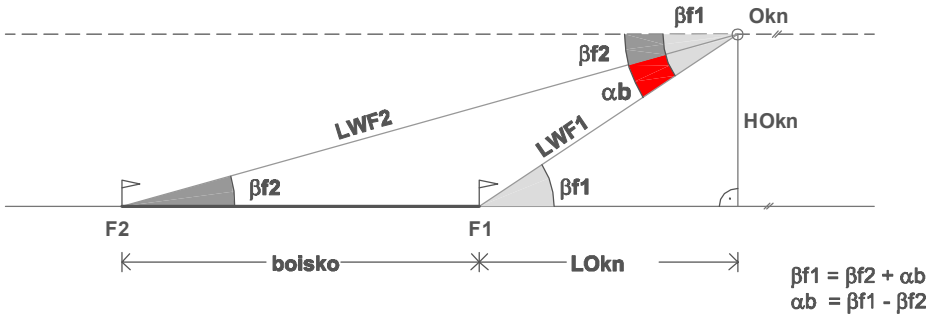


RYS. 2-6
"OSTROSŁUP WIDZENIA" POLA BOISKA - PIONOWY KĄT WIDZENIA

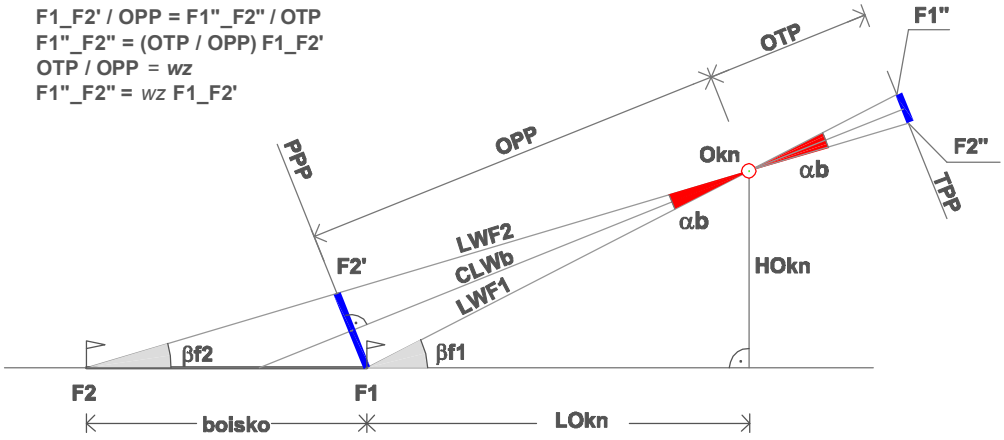
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

LEGENDA

Okn	**- Dowolny punkt oka na widowni.**
F1, F2	**- Fokus bliższy (F1) i dalszy (F2).**
N1,2,3,4	**- Narożniki boiska.**
F1-F2'	**- Reprojekcyjny obraz szerokości boiska (wysokość obrazu).**
N3', N4'	**- Reprojekcyjne obrazy narożników dalszych boiska.**
F1"- F2"	**- Relatywny obraz siatkówkowy szerokości boiska (wysokość obrazu).**
N1",2",3",4"	**- Relatywne obrazy siatkówkowe narożników boiska.**
αb	**- Pionowy kąt widzenia szerokości boiska.**
δ',δ"	**- Poziome kąty widzenia bliższej i dalszej krawędzi bocznej boiska.**



RYS. 2-7
RELACJE POMIEDZY PIONOWYMI KĄTAMI LINII WIDZENIA FOKUSÓW
Źródło - oryginalne opracowanie autora.



RYS. 2-8
WYSOKOŚĆ OBRAZU POLA BOISKA - ZALEŻNOŚCI GEOMETRYCZNE I OPTYCZNE
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

LEGENDA

LWF1 - Linia widzenia fokusu bliższego (F1).
LWF2 - Linia widzenia fokusu dalszego (F2).
HOkn - Wysokość wyniesienia punktu oka Okn.
LOkn - Odległość pozioma punktu oka Okn od fokusu F1.
F1-F2 - Szerokość boiska.
CLWb - Centralna linia widzenia pola boiska (dwusieczna pionowego kąta widzenia αb).
βf1 - Nachylenie LWF1.
βf2 - Nachylenie LWF2.
αb - Pionowy kąt widzenia pola boiska.
PPP - Przednia płaszczyzna projekcji obrazu pola boiska, inaczej płaszczyzna reprojekcji (prostopadła do CLWb i przechodząca przez linię fokusów bliższych LF1).
OPP - Odległość przedniej płaszczyzny projekcji od punktu oka.
TPP - Tylna płaszczyzna projekcji (relatywny odpowiednik siatkówki oka).
OTP - Założona odległość tylnej płaszczyzny projekcji od punktu oka.Dla celów analiz porównawczych wymagane jest przyjęcie jednej stałej wartości OTP.
F1-F2' - Reprojekcyjny obraz boiska.
F1"- F2" - Relatywny obraz "siatkówkowy" szerokości boiska.
wz - Współczynnik zmniejszenia relatywnego obrazu "siatkówkowego".

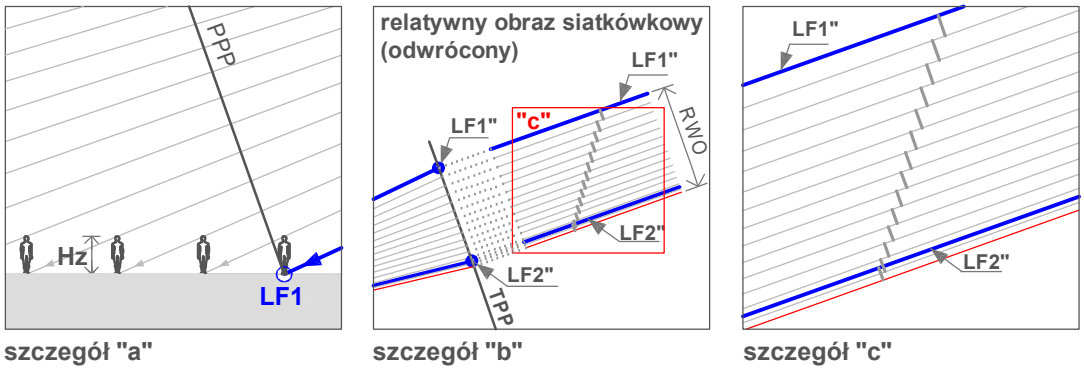
można analizować porównawczo cechy jakościowe obrazów dla wszystkich punktów oka w całym obszarze widowni.

Relację wielkości obrazu reprojekcyjnego i siatkówkowego lub siatkówkowego relatywnego, wyznacza się stosunkiem odległości tych obrazów od centralnego punktu optycznego (środek soczewki oka). Przy ustalaniu wielkości obrazu siatkówkowego można posłużyć się współczynnikiem transformującym (λ), równym iloczynowi OTP/OPP, który wynika z podobieństwa trójkątów F1_F2`_Okn i F1``_F2``_Okn (rys. 2-8). Ponieważ wartość OTP jest stała, a wartość OPP różna dla każdej pozycji oka w przestrzeni widowni, to współczynnik transformujący (λ) jest różny dla każdego analizowanego obrazu. Tłumaczy to, dlaczego nie można bezpośrednio porównywać obrazów z płaszczyzny preprojekcyjnej i dlaczego jedynie miarodajne jest wzajemne porównywanie obrazów przetworzonych, siatkówkowych lub siatkówkowych relatywnych.

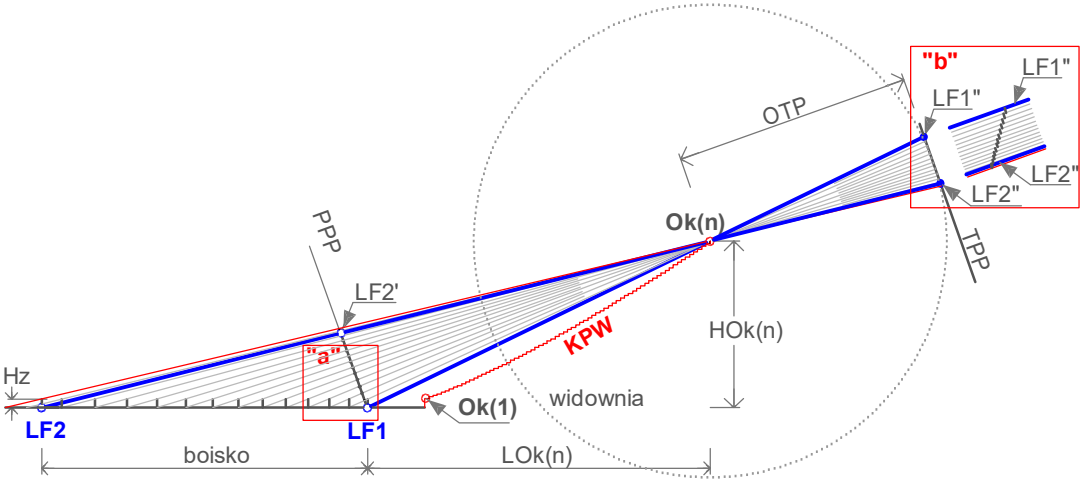
Miarą czytelności obrazu pola gry jest stopień nakładania się obrazów sylwetek zawodników w poszczególnych planach. Im większa wysokość obrazu pola boiska, tym mniejsze nakładanie się obrazów zawodników i lepsze rejestrowanie przestrzeni wolnej pomiędzy nimi. Na rys. 2-9 przedstawiono metodę skalowania wysokości obrazu pola boiska przy użyciu jednostki miary, którą jest wysokość postaci zawodnika. Dla każdej pozycji oka można wykreślić podziałkę wysokości zawodnika i odzwierciedlić ją następnie na relatywnym obrazie pola gry. W opisywanym przykładzie przyjęto wysokość sylwetki zawodnika równą Hz=180cm. Rysowanie podziałki rozpoczyna się od usytuowania odcinka symulującego postać najbliższego zawodnika na linii rzeczywistych fokusów bliższych, czyli na linii bocznej boiska. Następnie przez wierzchołek głowy tego zawodnika prowadzi się prostą z punktu oka (Okn). Prosta ta jest linią widzenia wierzchołka głowy zawodnika i równocześnie punktu boiska za nim. Następnie, w punkcie przecięcia się tej prostej z płaszczyzną boiska ustawia się następny moduł wysokości zawodnika i prowadzi z punktu oka kolejną prostą przez jego wierzchołek do przecięcia z płaszczyzną boiska. Przecięcie to wyznacza punkt ustawienia kolejnego modułu zawodnika. Postępuje się w ten sposób aż do wyczerpania całej głębokości boiska F1-F2. Przedłużając opisane linie poza punkt oka do przecięcia z relatywną płaszczyzną projekcji (RPPo), uzyskuje się obraz wysokości pola obserwacji (RWO) z wpisanymi obrazami wysokości zawodnika (Hz). Wysokość pola obserwacji składa się z wysokości obrazu boiska, powiększonej o wysokość zawodnika usytuowanego na dalszej linii boiska. Dysponując opisanym narzędziem, można modelowo określać obrazy dla każdego punktu oka w obrębie całej widowni. Obrazy te charakteryzują się zróżnicowanymi cechami jakościowymi.

2.2.1. Ostrosłup widzenia

Linie widzenia narożników pola boiska wyznaczają w przestrzeni bryłę geometryczną, która jest ostrosłupem (rys. 2-6). Wierzchołkiem tego ostrosłupa jest punkt oka, a podstawą pole boiska, leżące na poziomej płaszczyźnie areny. W wyniku przedłużenia linii widzenia, we wnętrzu oka powstaje ostrosłup podobny, odwrócony i pomniejszony, którego wierzchołkiem jest centralny punkt soczewki oka, a podstawą – odrzutowany na powierzchni siatkówki obraz pola boiska. Gdyby pole boiska było kołem, to linie widzenia obserwowanych punktów w obrębie tego koła tworzyłyby stożki, zewnętrzny i wewnętrzny, o jednakowych kątach wierzchołkowych. Kąt ten byłby kątem widzenia obserwowanego obiektu. Wielkość obrazu siatkówkowego



szczegół "a" **szczegół "b"** **szczegół "c"**



W przykładzie wykorzystano krzywoliniowy profil widowni o parametrach: Cx=15, HOk1 = 2,00m, LOk1 = 12,00m, S = 85cm, n=71
Pozycja oka - Ok(n) : najdalszy rząd widowni (nr 71), HOk(n) = 34,81m , LOk(n) = 71,50m

RYS. 2-9
ZASADY KONSTRUOWANIA WYKRESU RELATYWNEGO OBRAZU POLA BOISKA Z UWZGLĘDNIENIEM KROTNOŚCI WYSOKOŚCI ZAWODNIKA

Źródło - oryginalne opracowanie autora.

LEGENDA :

LF1	**- Linia fokusów bliższych (bliższa linia boczna boiska).**
LF2	**- Linia fokusów dalszych (dalsza linia boczna boiska).**
Ok(n)	**- Pozycja oka widza w rzędzie najdalszym (rząd nr 71).**
Ok(1)	**- Pozycja oka widza w rzędzie pierwszym (rząd nr 1).**
HOk(n)	**- Wynisienie punktu oka Ok(n) ponad poziom areny.**
LOk(n)	**- Odlgłość pozioma punktu oka Ok(n) od linii fokusów bliższych (LF1).**
Hz	**- Wysokość zawodnika.**
PPP	**- Przednia płaszczyzna projekcji obrazu pola boiska, inaczej płaszczyzna reprojekcji, por. rys 2-8.**
OTP	**- Założona odległość tylnej płaszczyzny projekcji od punktu oka. Dla celów analiz porównawczych wymagane jest założenie jednej stałej wartości OTP dla wszystkich punktów oka, por. rys. 2-8.**
TPP	**- Tylna płaszczyzna projekcji (odpowiednik siatkówki oka).**
RWO	**- Wysokość relatywnego obrazu siatkówkowego pola gry (wysokość obrazu pola boiska powiększona o wysokość zawodnika usytuowanego na linii fokusów dalszych).**
LF1", LF2"	**- Linie fokusów odzwierciedlone w relatywnym obrazie siatkówkowym oka.**
F1-F2'	**- Wysokość obrazu odzwierciedlona na płaszczyźnie reprojekcji (PPP).**
KPW	**- Przykładowy krzywoliniowy profil widowni.**

zależy od wielkości kąta widzenia – im kąt ten jest większy, tym większy obraz we wnętrzu oka. Jeżeli opisany powyżej układ stożków lub ostrosłupów przekroi się płaszczyzną pionową przechodzącą przez punkt oka i prostopadłą do linii fokusów bliższych, to wyznaczy ona przekrój tych brył w postaci trójkątów podobnych o wspólnym wierzchołku w punkcie oka i jednakowym kącie wierzchołkowym. Kąt ten jest tzw. pionowym kątem widzenia, a jego wielkość decyduje o wysokości obrazu siatkówkowego obserwowanego obiektu – w tym przypadku pola boiska. Im pionowy kąt widzenia jest większy, tym wysokość obrazu jest większa.

2.2.2. Izolinie pionowego kąta widzenia pola boiska

Jak wspomniano wcześniej, autorem wykresów jednakowego pionowego kąta widzenia pola boiska jest architekt Julian Brzuchowski, który opublikował je po raz pierwszy w roku 1961. W okresie późniejszym, w różnych pozycjach literatury przedmiotu pojawiały się one w postaci niepełnej i ograniczonej jedynie do wzmianek. W badaniach prowadzonych przez autora niniejszego opracowania nad pionowym kątem widzenia wykresy te odegrały ważną rolę. Dlatego też w dalszej części tekstu poświęca się im więcej uwagi, zamieszczając m.in. szczegółowe objaśnienia zasad ich powstania.

Zgodnie z jednym z podstawowych praw geometrii, kąt środkowy jest dwa razy większy od kąta wpisanego opartego na tym samym łuku, a wszystkie kąty wpisane oparte na tym samym łuku są równe. Jeśli więc kąt środkowy oznaczymy jako 2α, to kąt wpisany będzie wynosił α (rys. 2-10). Kątem środkowym nazywany jest kąt, którego wierzchołek leży w środku okręgu, a ramionami są promienie tego okręgu. Ramiona te oparte są na łuku, będącym częścią okręgu. Miarą kąta środkowego jest taka część kąta pełnego, jaką częścią okręgu jest łuk, na którym kąt ten jest oparty. Kąt wpisany natomiast to kąt, którego wierzchołek leży na okręgu, a ramiona są cięciwami tego okręgu. Podobnie jak w przypadku kąta środkowego, ramiona te oparte są na łuku stanowiącym część okręgu. Jest to więc cecha wspólna obu kątów. Kąty wpisane oparte na łukach równej długości są równe.

Jeżeli szerokość boiska zawartą pomiędzy punktami fokusów F1 i F2 uzna się za cięciwę łuku okręgu, na którym oparte są kąty wpisane, a ramiona tych kątów uzna się za linie widzenia fokusów (F1 i F2), a ponadto pionową oś symetrii boiska uzna się za oś pionową tego okręgu, to wszystkie kąty wpisane w dany okrąg będą miały jednakową wartość i będą pionowymi kątami widzenia szerokości boiska. Okrąg ten wyznacza położenia punktów oka, dla których kąt widzenia boiska jest jednakowy, mimo ich różnych poziomych odległości od boiska i różnych wysokości wyniesienia ponad poziom areny. Okrąg ten określa więc izolinię jednakowego kąta widzenia szerokości boiska (F1-F2).

Przez punkty krańcowe cięciwy F1 i F2 przeprowadzić można nieskończoną liczbę okręgów spełniających warunek, że ich środki leżeć będą na pionowej osi symetrii boiska. Korzystając z opisanej na wstępie zależności zachodzącej pomiędzy kątem środkowym i kątem wpisanym, promienie tych okręgów można dobierać tak, by kąty wpisane, czyli kąty widzenia pola boiska miały pełne wartości, wyrażane w stopniach kątowych, a ich wartości zmieniały się w modułowych odstępach – co pół lub co jeden stopień. Rysując zbiór łuków stanowiących fragmenty tych okręgów, jak na rys. 2-10, otrzymuje się zbiór izolinii jednakowych kątów widzenia pola boiska. Biorąc pod uwagę dopuszczalne nachylenia widowni, pęk racjonalnych łuków ogranicza się do zbioru zawartego pomiędzy izoliniami od 5º do 20º. Skalując od-

powiednio tak opracowany wykres, otrzymuje się przydatne badawczo i projektowo narzędzie. Na rys. 2-12 przedstawiono przetworzony dla celów analitycznych wykres połówkowy. Na osi poziomej i pionowej naniesiono, wyskalowaną w metrach, podziałkę wymiarową. Ponadto wykres uzupełniono o łuk maksymalnego zasięgu widzenia dla piłki nożnej. Jest to przekrój fragmentu sfery o promieniu 127m, wpisującej się w układ łuków tzw. „dobrego widzenia", których promień dla piłki nożnej wynosi Rmax=190m. (Dzięki temu dla każdego punktu oka odczytać można równocześnie podstawowe, charakterystyczne parametry, takie jak: kąt widzenia boiska, wysokość wyniesienia i wartość oddalenia, jak również ocenić relacje w stosunku do dystansu maksymalnego zasięgu widzenia.

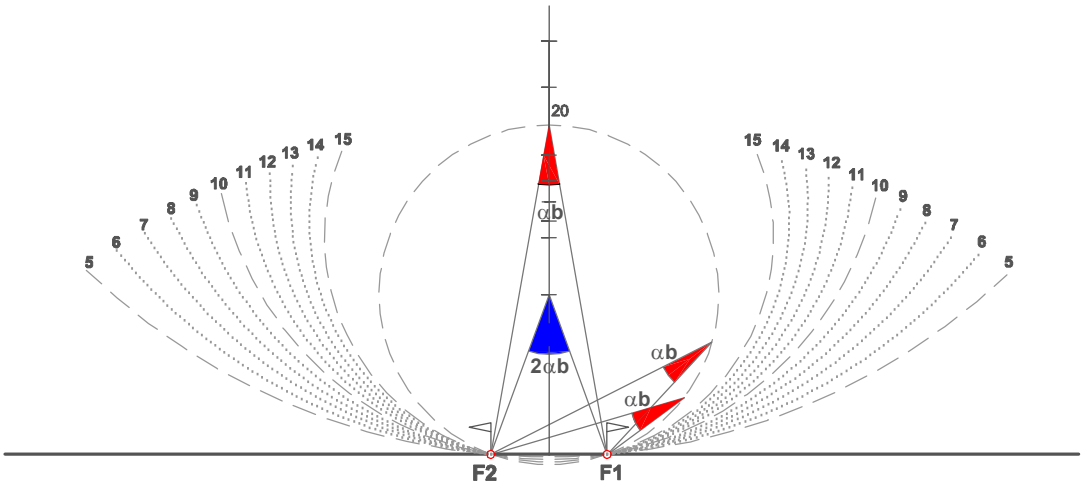
Opisany wykres płaski jest przekrojem pionowym, dla którego płaszczyzna przekroju przebiega przez linię środkową boiska i jest prostopadła do płaszczyzny areny oraz prostopadła do linii bocznej boiska. Układ izolinii jednakowego kąta widzenia pola boiska można też przedstawić trójwymiarowo. Zbiorami punktów jednakowego kąta widzenia w przestrzeni trójwymiarowej są wklęsłe powierzchnie sferyczne – walcowe lub stanowiące wycinek powierzchni torusa. Powstają one w wyniku obrotu pęku izolinii wokół pionowej osi centralnej, jak w przypadku widowni kołowych, bądź w rezultacie przesuwania po prostoliniowej lub krzywoliniowej prowadnicy, jak w przypadku widowni prostokreślnych lub łukowych. Z doświadczeń praktycznych autora wynika, że świadomość tych zależności znacznie ułatwia i przyspiesza proces projektowania, pozwala też unikać błędów, które czasem ujawniają się dopiero w końcowych fazach pracy nad profilem widowni.

2.2.3. Nachylenie dwusiecznej pionowego kąta widzenia pola boiska

Z wcześniejszych analiz izolinii jednakowego kąta widzenia pola boiska wynika, że istnieje nieskończenie wiele punktów oka, dla których pionowy kąt widzenia tego pola ma jednakową wartość. Punkty te leżą na łuku będącym fragmentem okręgu, który przebiega przez punkty fokusów F1 i F2, a środek tego okręgu leży na pionowej osi boiska (rys. 2-10). Jak wykazano na rys. 2-12, wysokości obrazów pola boiska odrzutowane na płaszczyznę preprojekcji (PPP) dla analizowanych trzech punktów oka znacznie się różnią, mimo że dla każdego z nich kąt widzenia odcinka F1-F2, będącego głębokością boiska, jest taki sam i wynosi αb. Z faktu tego wynika wniosek, że wysokość tego obrazu nie zależy wyłącznie od wielkości kąta widzenia, lecz również od wielkości nachylenia linii widzenia fokusów LWF1 i LWF2, a co za tym idzie wielkości nachylenia dwusiecznej kąta widzenia. Na rys. 2-11 przedstawiono modelową analizę zależności wysokości obrazu boiska (F1-F2`) od kąta nachylenia dwusiecznej pionowego kąta widzenia boiska (αb).

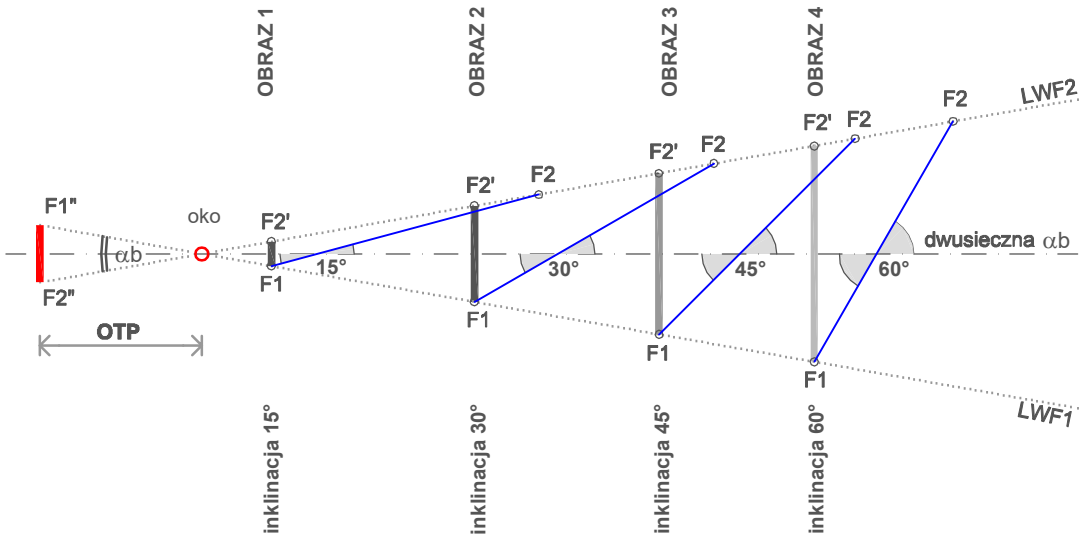
W przykładzie przyjęto kąt widzenia αb=20º. Linie widzenia LWF1 i LWF2 stanowią ramiona tego kata, a jego dwusieczna usytuowana została poziomo. Ponieważ odcinek wyznaczający głębokość boiska (F1-F2) ma stałą długość, a jego skrajne punkty F1 i F2 leżą na ramionach kąta widzenia, to zmiana położenia odcinka F1-F2 może nastąpić jedynie

w wyniku jego przesuwania, któremu towarzyszy obrót, czyli zmiana nachylenia w stosunku do dwusiecznej kąta widzenia (αb).Ustalono cztery przykładowe położenia odcinka F1-F2, dla kątów nachylenia równych 15º, 30º, 45º i 60º. Rysując z każdego punktu F1 linię prostopadłą do dwusiecznej kąta widzenia i prowadząc ją do przecięcia z linią LWF2, otrzymuje się wysokość obrazu preprojekcyjnego dla danego nachylenia dwusiecznej. Z analizy



RYS. 2-10
IZOLINIE PIONOWYCH KĄTÓW WIDZENIA POLA BOISKA PIŁKARSKIEGO

Źródło - opracowanie autora na podstawie: J.Brzuchowski, "Uwagi do projektowania trybub sportowych", Architektura nr 2/1961.

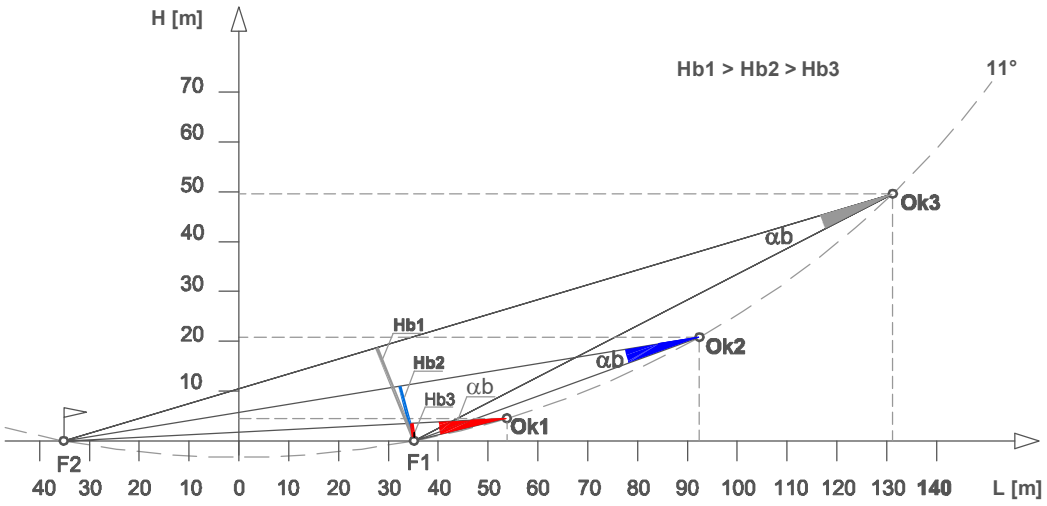


RYS. 2-11
ZALEŻNOŚĆ WYSOKOŚCI REPROJEKCYJNEGO OBRAZU POLA BOISKA OD INKLINACJI DWUSIECZNEJ PIONOWEGO KĄTA WIDZENIA (przykład przedstawia pionowy kąt widzenia αb = 20°)

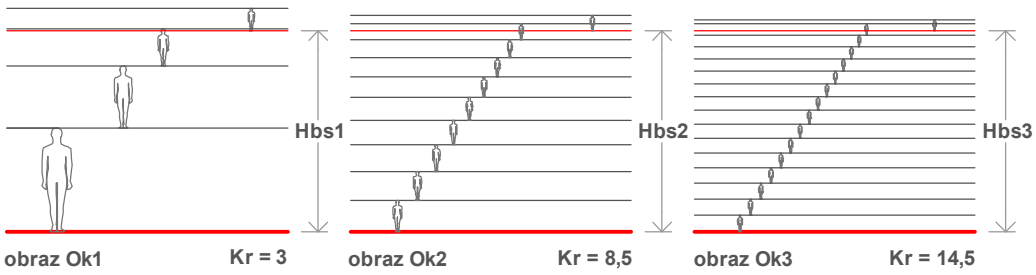
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

LEGENDA

F1, F2 - Fokus bliższy(F1) i fokus dalszy (F2), szerokość boiska.
5,6...20° - Izolinie pionowego kąta widzenia [°].
αb - Pionowy kąt widzenia pola boiska.
LWF2 - Linia widzenia fokusów F2 (dalszych).
LWF1 - Linia widzenia fokusów F1 (bliższych).
OTP - Założona odległość tylnej płaszczyzny projekcji od punktu oka (relatywny odpowiednik odległości środka geometrycznego soczewki oka od siatkówki).
F1-F2' - Obraz reprojekcyjny szerokości boiska.
F1-F2 - Rzeczywista odległość linii bocznych boiska na płaszczyźnie poziomej .
F1"-F2" - Relatywny obraz siatkówkowy szerokości boiska, jednakowy dla wszystkich nachyleń dwusiecznej pionowego kąta widzenia.



RYS. 2-12
WYSOKOŚĆ REPROJEKCYJNEGO OBRAZU POLA BOISKA PRZY STAŁYM PIONOWYM KĄCIE WIDZENIA I ZMIENNYM POŁOŻENIU OKA W PRZESTRZENI
Źródło - oryginalne opracowanie autora.



Rozpatrywać z rys.81.

Hbs1 = Hbs2 = Hbs3

RYS. 2-13
PORÓWNANIE OBRAZÓW SIATKÓWKOWYCH POLA BOISKA PRZY STAŁYM PIONOWYM KĄCIE WIDZENIA I ZMIENNYM POŁOŻENIU OKA W PRZESTRZENI
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

LEGENDA

F1, F2 - Foks bliższy (F1) i fokus dalszy (F2).
αb - Stały pionowy kąt widzenia szerokości boiska.
Ok1,2,3 - Przykładowe punkty oka usytuowane na widowni.
Hb1,2,3 - Wysokość reprojekcyjnego obrazu szerokości boiska.
Hbs1,2,3 - Wysokość siatkówkowego relatywnego obrazu szerokości boiska.
Kr(3) - Krotność wysokości obrazu zawodnika w wysokości obrazu boiska.

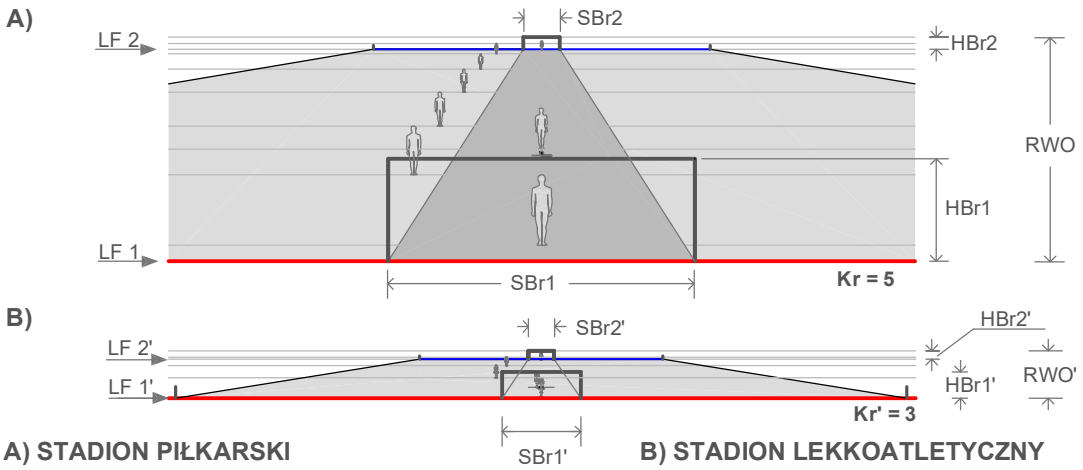
wynika, że przy tym samym kącie widzenia pola boiska (αb) wysokość obrazu boiska (F1-F2`), odrzutowanego na płaszczyznę preprojekcji (PPP) dla różnych pozycji punktu oka, jest różna. Im mniejszy kąt nachylenia dwusiecznej kąta widzenia w stosunku do płaszczyzny boiska, tym mniejsza wysokość tego obrazu. Przy małych kątach nachylenia dwusiecznej kąta widzenia, długości linii widzenia fokusów LWF1 i LWF2 znacznie się różnią, co oznacza znaczne różnice w odległości oka od obserwowanych obiektów, np. postaci zawodnika i w konsekwencji znaczne różnice wysokości obrazów tych obiektów. Różnice te maleją w miarę zwiększania się nachylenia dwusiecznej kąta widzenia.

Mimo jednak tak znacznych różnic w wysokości obrazów na płaszczyźnie preprojekcyjnej (PPP), jak wykazano na rys. 2-11, wysokość relatywnego obrazu siatkówkowego jest jednakowa dla wszystkich analizowanych pozycji punktów oka. Wynika to z identyczności wewnętrznego i zewnętrznego kąta widzenia oraz jednakowego oddalenia tylnej płaszczyzny projekcji (TPP) od punktu oka. Inaczej mówiąc, mimo znacznych różnic w nachyleniu dwusiecznej kąta widzenia, co oznacza widzenie bardziej *płaskie* lub bardziej *z góry,* wysokość obrazów pola boiska, przy jednakowym pionowym kącie widzenia dla różnych pozycji oka, jest identyczna. W celu pokazania konsekwencji takiego przypadku dla trzech przykładowych pozycji punktu oka z rys. 2-12, posługując się omówioną wcześniej metodą (rys. 2-9), wykonano modelowe obrazy siatkówkowe (rys. 2-13). Jak widać, obrazy te różnią się krotnością wysokości zawodnika w wysokości pola boiska i wysokością sylwetek zawodników, zwłaszcza najbliższych. Dla najbliższego i najniżej położonego punktu oka (Ok1) krotność ta wynosi Kr=3, dla najdalszego i najwyżej wyniesionego punktu Ok3, Kr=14. Oznacza to, że przy tym samym pionowym kącie widzenia, a co za tym idzie tej samej wysokości obrazu pola boiska, czytelność głębi przestrzennej w pierwszym przypadku jest znacznie mniejsza niż w przypadku drugim. Jeśli zaś chodzi o obrazy sylwetek zawodników sytuacja jest odwrotna. Wysokość zawodników w obserwacji z punktu Ok1 jest wielokrotnie większa niż z punktu Ok3. Za najkorzystniejsze należy uznać cechy jakościowe obrazu uzyskiwane z punktu Ok2, gdyż łączy on cechę czytelności głębi pola gry z czytelnością sylwetek zawodników. Nawisem mówiąc, obserwacje własne autora wykazują, że w sytuacji swobody w wyborze miejsc, widzowie zajmują w pierwszej kolejności właśnie miejsca o cechach widoczności punktu Ok2.

Opisany przypadek profilu widowni o jednakowym pionowym kącie widzenia w rzeczywistości nie występuje. Projektowane i realizowane profile przecinają izolinie jednakowych pionowych kątów widzenia, wznosząc się od nich szybciej (rys. 2-15 do 2-18). Oznacza to, że pionowe kąty widzenia pola boiska są coraz większe w miarę oddalania się od linii fokusów bliższych. Skutkuje to podobnymi do opisanych powyżej efektami widoczności, z tą jednak różnicą, że w miarę oddalania się rzędów widowni od areny wysokość obrazu boiska rośnie. Rośnie więc też czytelność głębi przestrzennej.

2.2.4. Relatywna wysokość obrazu

Pierwszym wskaźnikiem jakości obrazu, np. pola gry, jest jego wysokość. Przyjmując jako odniesienie wysokość relatywnego obrazu osiąganą przez oko pierwszego rzędu i nadając mu wartość jeden (RWO(1)=1), można relatywnie opisywać wysokość innych obrazów jako jego ułamkową część. Dla przykładu, dla punktu oka Ok(n) (rys. 2-14) tak wyrażona wysokość wynosi RWO(n)=1,368, co należy rozumieć jako 1,368 wysokości RWO(1). Posługując się tą samą zasadą odniesienia do RWO(1),



A) STADION PIŁKARSKI

Pozycja oka Ok(1):
pierwszy rząd widowni, na osi długiej areny:
HOk(1) = 5,37 m αb = 22°35'
LOk(1) = 12,00 m $\beta f1$ = 24°10'

B) STADION LEKKOATLETYCZNY

Pozycja oka Ok(1)':
pierszy rząd widowni, na osi długiej areny:
HOk(1)'= HOK(1)= 5,37 m $\alpha b'$ = 4°51'
LOk(1)' = 51,80m $\beta f1'$ = 5°55'

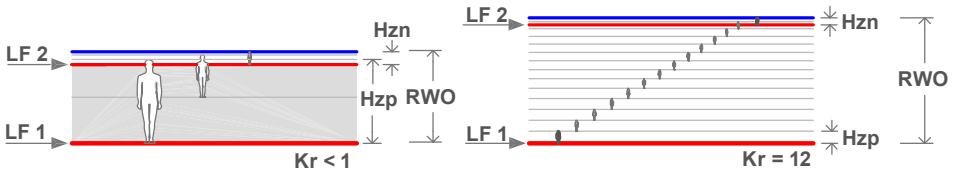
Parametry obrazu : *(jako wielkość odniesienia przyjęto wysokość obrazu w oku obserwatora usytuowanego w pierwszym rzędzie widowni na stadionie piłkarskim RWO(1) = 1)*

RWO = 1 HBr1 = 0,456 SBr1 = 1,368
HBr2 = 0,054 SBr2 = 0,162

RWO' = 0,212 HBr1' = 0,117 SBr1' = 0,351
HBr2' = 0,039 SBr2' = 0,117

Uwaga: Wyniesienie HOk1= 5.37m ustalno dla stadionu piłkarskiego, jako wartość zapewniającą widzenie punktu rzutu karnego (11 m) ponad poprzeczką bramki.

PORÓWNANIE OBRAZÓW POLA GRY DLA EKSTREMALNYCH POZYCJI PUNKTU OKA PRZYKŁADOWEJ WIDOWNI.



Pozycja oka Ok(1): pierwszy rząd widowni :
HOk(1)=2,00m LOk(1)=12,00 m

Pozycja oka Ok(n): najdalszy rząd widowni (nr 71) :
HOk(n) = 34,81 m LOk(n) = 71,50 m

Parametry obrazu :
(jako wielkość odniesienia przyjęto wysokość obrazu dla punktu oka Ok1, RWO(1) = 1)
RWO(1)=1; Hzp(1)=0,913; Hzn(1)=0,139

RWO(n) =1,368; Hzp(n) =0,128; Hzn(n) = 0,076

Analizę przeprowadzono na przykładzie krzywoliniowego profilu widowni o parametrach : Cx=15cm, HOk1=2,00m, LOk1= 2,00m, S=85cm, n=71

RYS. 2-14
WYKRESY RELATYWNYCH OBRAZÓW SIATKÓWKOWYCH BOISKA

Źródło - oryginalne opracowanie autora.

LEGENDA :

LF1 - Linia fokusów bliższych (bliższa linia bramkowa lub linia boczna boiska).
LF2 - Linia fokusów dalszych (dalsza linia bramkowa lub dalsza linia boczna boiska).
RWO - Wysokość relatywnego obrazu siatkówkowego pola gry (wysokość pola boiska powiększona o wysokość zawodnika usytuowanego na dalszej linii fokusów).
Kr - Krotność obrazu wysokości postaci zawodnika w wysokości obrazu boiska.
αb - Pionowy kąt widzenia pola gry, kątowa wysokość obrazu pola gry (RWO).
$\beta f1$ - Kąt nachylenia lini widzenia fokusów bliższych.
HBr1,2 - Wysokość obrazu bramki bliższej (1) i dalszej (2).
SBr1,2 - Szerokość obrazu bramki bliższej (1) i dalszej (2).
Hzp - Wysokość obrazu postaci zawodnika usytuowanego na linii LF1.
Hzn - Wysokość obrazu postaci zawodnika usytuowanego na linii LF2.
Pozostałe oznaczenia jak dla rys.2-13

można też określać wysokość obrazów postaci zawodnika. Dla celów badawczych istotne są zwłaszcza jej ekstrema, tj. wysokość obrazu zawodnika najbliższego, usytuowanego na linii fokusów bliższych (Hzp) i najdalszego (Hzn). W przykładzie wielkości te dla punktu Ok1 wynoszą: Hzp(1)=0.913 oraz Hzn(1)=0,139, a dla punktu Okn odpowiednio: Hzp(n)=0,128 i Hzn(n)=0,076. Narzędzie to pozwala na określanie relacji wielkościowych obserwowanych obiektów, np. postaci zawodników, z możliwością porównań w obrębie tego samego obrazu, jak i porównań pomiędzy różnymi obrazami.

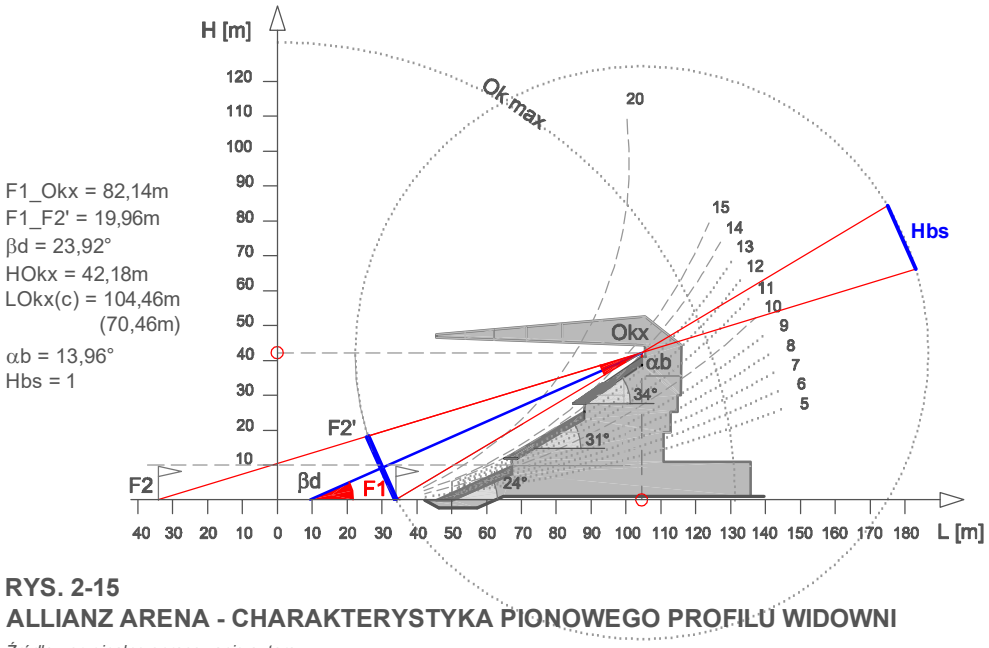
Kolejnym, przydatnym w projektowaniu wskaźnikiem jest krotność wysokości postaci zawodnika w wysokości obrazu pola boiska (Kr). Opisane powyżej obrazy z naniesionymi modułami postaci zawodników umożliwiają określenie ilorazu wysokości zawodnika i wysokości obrazu pola pomiędzy liniami fokusu bliższego i dalszego. W analizowanym przykładzie, dla punktu Ok(n) wskaźnik krotności wynosi Kr=12, a dla punktu Ok(1) przybiera wartość mniejszą od jeden (Kr<1), co oznacza, że postać najbliższego zawodnika jest wyższa niż wysokość obrazu boiska.

Metoda wykreślania relatywnego obrazu może być również zastosowana do analiz poziomego kąta widzenia. Zastępując przekrój pionowy rzutem poziomym boiska i widowni wraz z analizowanym punktem oka, można konstruować relatywne obrazy poziomych odcinków. Nanosząc je natomiast na obraz omówionych wyżej relacji pionowych, uzyskuje obrazy obiektów dwuwymiarowych, np. bramki piłkarskiej (rys. 2-14). Łącząc punkty naroży boiska, odnalezione wcześniej na bliższej i dalszej linii zewnętrznej, w przykładzie jest to linia bramkowa, uzyskuje się obraz perspektywiczny pola boiska. Metoda ta umożliwia graficzne i wskaźnikowe porównywanie pełnych obrazów, uzyskiwanych w analizowanych pozycjach punktu oka. W przykładzie posłużono się nią do porównania parametrów jakościowych obrazów boiska dla oka pierwszego rzędu usytuowanego na osi długiej na stadionie piłkarskim i lekkoatletycznym. Jak widać na rysunkach, obrazy charakteryzujące punkty pierwszego oka, wyniesionego na jednakową wysokość HOk1=5,37m, lecz oddalonego od linii zabramkowej o znacznie zróżnicowane dystanse (LOk1=12m, LOk1`=51.80m), są zasadniczo różne. Wysokość obrazu boiska dla stadionu lekkoatletycznego (RWO`) stanowi zaledwie 0,212 wysokości uzyskiwanej w przypadku stadionu piłkarskiego. Szerokość bramki bliższej wynosi dla stadionu bez bieżni lekkoatletycznej SBr1=1,368 RWO, a dla przypadku z bieżnią SBr1`=0,351 RWO, gdzie dla przypomnienia, RWO oznacza relatywną wysokość obrazu pola gry, której wartość dla stadionu piłkarskiego przyjęto jako jeden.

2.2.5. Wykresy charakterystyk pionowego profilu widowni

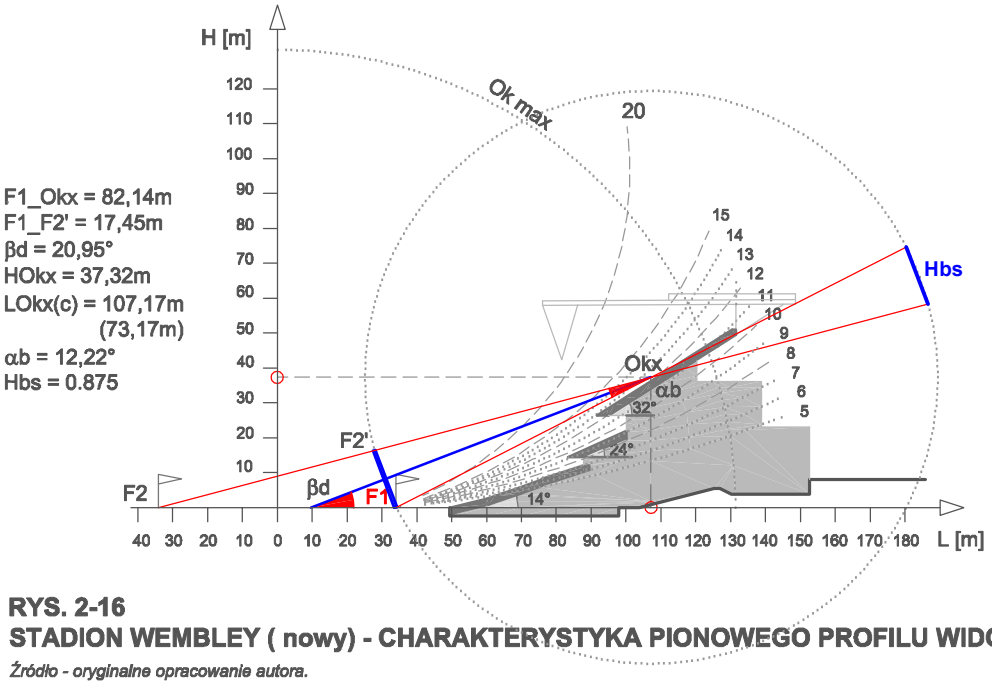
Omawiany wykres stanowić może rodzaj szablonu lub wzornika, przy pomocy którego można szybko badać skutki zastosowania określonego profilu widowni. Łącząc układ szablonu izolinii z wykresami linii widzenia fokusów i z przedstawioną wcześniej metodą określania wysokości obrazu pola boiska, otrzymuje się możliwość bezpośredniego porównywania efektów projektowych jakości widzenia dla poszczególnych punktów oka, usytuowanych w przestrzeni widowni.

Wzornik izolinii jednakowego kąta widzenia, uzupełniony o opisane powyżej elementy, może też służyć do analiz porównawczych zrealizowanych profili widowni. Na rys. 2-15 i kolejnych (do rys. 2-18). przedstawiono cztery przykładowe charakterystyki pionowego profilu widowni znanych współczesnych stadionów. Dla



RYS. 2-15
ALLIANZ ARENA - CHARAKTERYSTYKA PIONOWEGO PROFILU WIDOWNI

Źródło - oryginalne opracowanie autora.



RYS. 2-16
STADION WEMBLEY (nowy) - CHARAKTERYSTYKA PIONOWEGO PROFILU WIDOWNI

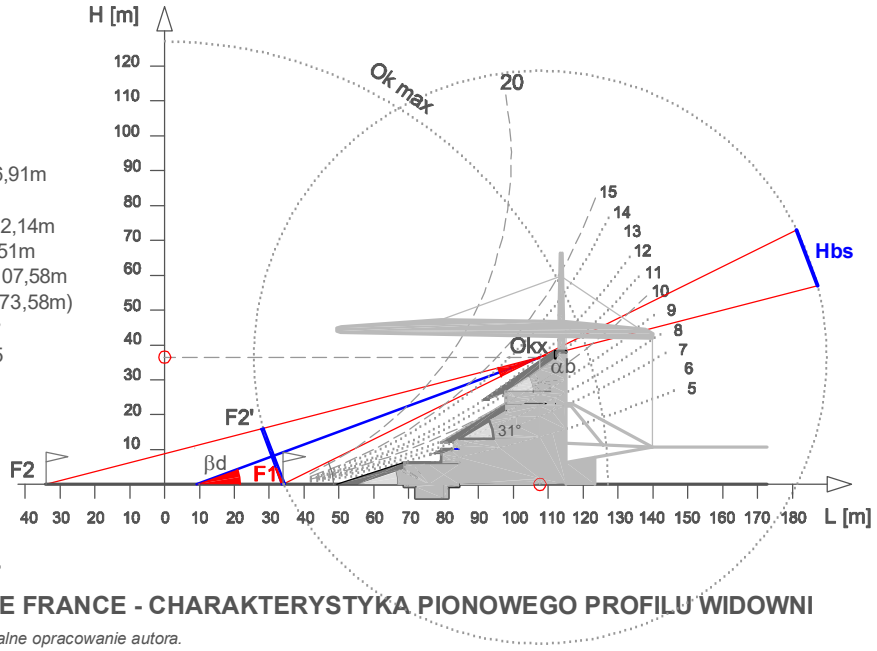
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

Dla jednoznaczności porównań wszystkich analizowanych przykładów (rys.2-20 do 2-23), ustalono wspólny moduł odniesienia, którym jest jednakowa wartość Okx_F1 = 82,14m. Stanowi ona długość linii widzenia fokusu bliższego (LWF1) z najdalszego rzędu widowni (Okx) Allianz Arena w Monachium.

LEGENDA

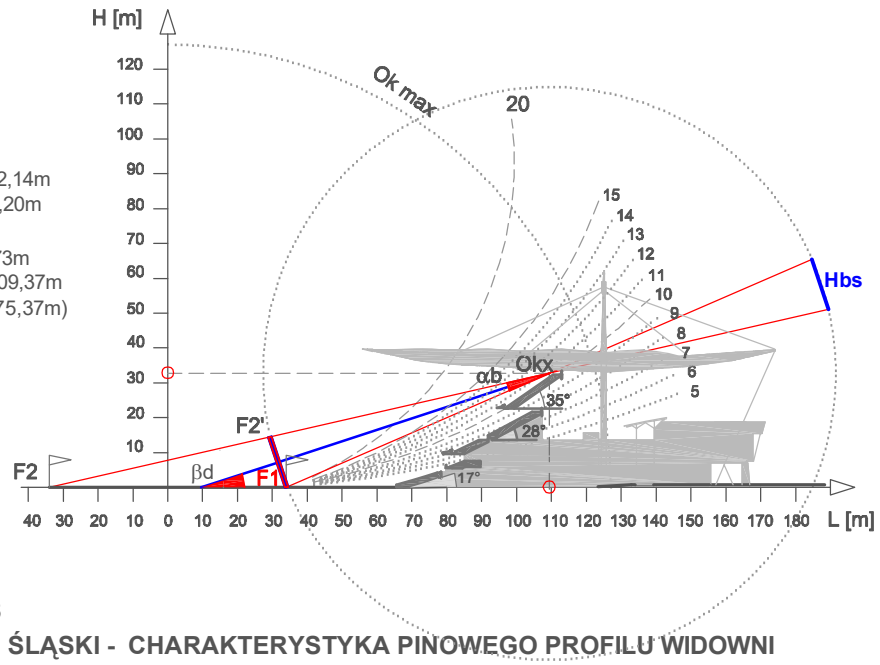
F1_F2 - Szerokość boiska, gdzie F1 i F2 punkty fokusu bliższego i dalszego.
F1_F2' - Wysokość obrazu szerokości boiska.
Okx_F1 - Długość linii widzenia fokusu bliższego (F1) z punktu oka Okx, stała (82,14m).
αb - Pionowy kąt widzenia szerokości pola boiska z punktu oka Okx.
βd - Kąt nachylenia dwusiecznej kąta widzenia αb.
HOkx - Wysokość wyniesienia punktu oka Okx
LOkx(c) - Przesunięcie poziome Okx względem środka boiska (w nawiasie względem F1)
Ok max - Granica maks. zasięgu widzenia dla piłki nożnej (sfera o prom. R=127m).
Hbs - Wysokość relatywnego siatkówkowego obrazu boiska.

F1_F2' = 16,91m
βd = 20,36°
F1_Okx = 82,14m
HOkx = 35,51m
LOkx(c) = 107,58m
(73,58m)
αb = 11,93°
Hbs = 0.855



RYS. 2-17
STADE DE FRANCE - CHARAKTERYSTYKA PIONOWEGO PROFILU WIDOWNI
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

F1_Okx = 82,14m
F1_F2' = 15,20m
βd = 18,17°
HOkx = 32,73m
LOkx(c) = 109,37m
(75,37m)
αb = 10,62°
Hbs = 0,760



RYS. 2-18
STADION ŚLĄSKI - CHARAKTERYSTYKA PINOWEGO PROFILU WIDOWNI
(projektowana nadbudowa widowni wschodniej)
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

	F1_F2' [m]	αb [°]	HOkx [m]	LOkx(c) [m]	βd [°]	Hbs [wskaźnik]
Allianz Arena, Monachium	19,96	13,36	42,18	104,46	23,92	1,000
Wembley, Londyn	17,45	12,22	37,32	107,17	20,95	0,875
Stade de France, Paryż	16,91	11,93	35,51	107,58	20,36	0,855
Stadion Śląski, Chorzów	**15,20**	**10,62**	**32,73**	**109,37**	**18,17**	**0,760**

ZASTAWIENIE PORÓWNAWCZE CHARAKTERYSTYK PIONOWEGO PROFILU WIDOWNI ANALIZOWANYCH STADIONÓW (por. rys. 2-15, 2-16, 2-17, 2-18)

Legenda jak dla rys. 2-15 i 2-16.

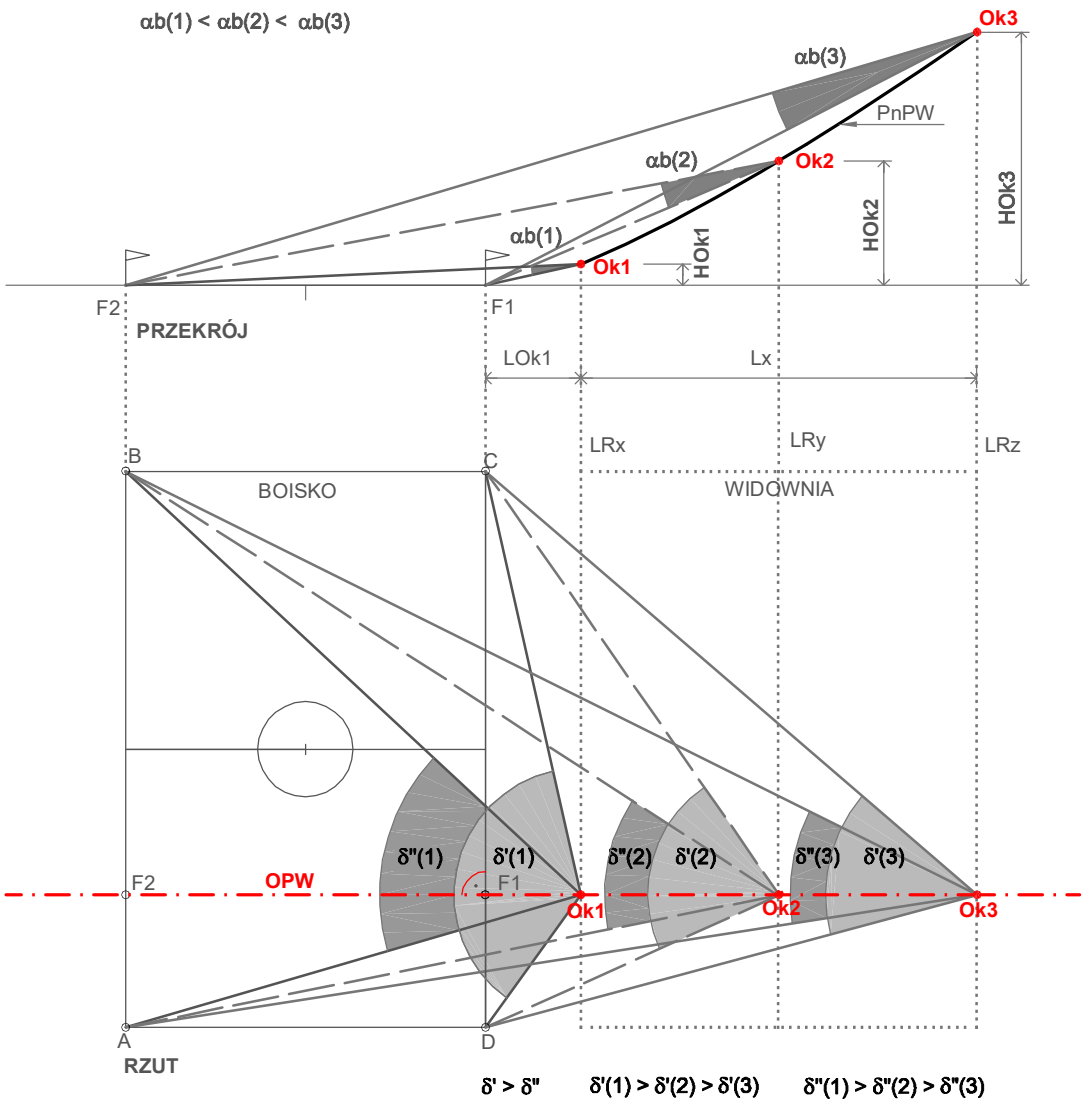
pełniejszego obrazu profile te przedstawiono wraz z przekrojami sylwety zadaszenia. Analizie poddano profile widowni: *Allianz Arena* w Monachium (rys. 2-15), Nowego *Wembley* w Londynie (rys. 2-16), *Stade de France* w Paryżu (rys. 2-17) oraz *Stadionu Śląskiego* w Chorzowie (rys. 2-18). W celu jednoznaczności porównań dla wszystkich analizowanych przykładów ustalono wspólny moduł odniesienia. Jest nim długość linii widzenia fokusu bliższego (LWF1), dla punktu oka najdalszego rzędu widowni (Okx) stadionu *Allianz Arena*. Wartość ta wynosi Okx_F1=82,14m. Pozycje oka Okx dla pozostałych profili wyznaczono wykreślając okrągi o promieniu R=LWF1=Okx_F1=82,14m z punktów środka F1. Punkty Okx leżą na przecięciach łuków tych okręgów z liniami ocznymi[48] najwyższego piętra każdej z badanych widowni. Długość linii widzenia punktu fokusu F1 z tak wyznaczonych punktów oka Okx jest jednakowa dla każdej z widowni, mimo że punkty te mają różne współrzędne wyniesienia i oddalenia. Łącząc punkty Okx z punktam F2 otrzymano linie widzenia fokusów dalszych. Wykreślając łuk o promieniu R=Okx_F1 ze środka w punkcie Okx wyznaczono w każdym z przykładów punkt F2` położony na ramieniu kąta widzenia boiska. Łącząc ten punkt z punktem F1 otrzymano odcinek F1_F2`, który jest prostopadły do dwusiecznej kąta widzenia αb. Odcinek ten jest obrazem szerokości boiska (F1_F2) dla punktu oka Okx, należącego do konkretnego profilu widowni. Obok każdego rysunku definiującego określoną widownię, podano zestaw porównywalnych parametrów charakteryzujących jej profil, takich jak: wysokość obrazu (F1_F2`), kąt widzenia boiska (αb), kąt nachylenia dwusiecznej kąta widzenia (βd) oraz współrzędne pozycji punktu oka Okx (LOkx, HOkx). Ponadto, na rysunkach opisano nachylenia poszczególnych pięter widowni i naniesiono łuk maksymalnego zasięgu widzenia.

Dwa analizowane stadiony tj. *Stade de France* i *Wembley* to stadiony wielofunkcyjne z bieżnią lekkoatletyczną i przekształcalną areną. Na stadionie *Stade de France* przekształcalność tę uzyskuje się poprzez składanie i chowanie widowni dolnej. W przypadku zaś *Wembley*, funkcja lekkiej atletyki wprowadzana jest poprzez podniesienie poziomu areny o ok.4,5m. Odbywa się to w wyniku montażu modułowych praktikabli. Widownia dolna zakrywana jest przez podłogę areny z bieżnią lekkoatletyczną. Zmodernizowana widownia *Stadionu Śląskiego*, również wynika z geometrii areny lekkoatletycznej, później przekształconej w tor do zawodów żużlowych. Jest to jednak arena nieprzekształcalna i o stałych wymiarach, stąd m.in. większe oddalenie pierwszego rzędu.

2.3. Poziomy kąt widzenia

Drugim, po pionowym kącie widzenia, parametrem jakości widzenia jest tzw. poziomy kąt widzenia. Jest on odrzutowanym na płaszczyznę poziomą kątem widzenia danego obiektu, zawartym pomiędzy liniami widzenia skrajnych punktów tego obiektu. W przypadku obserwacji pola boiska, dla każdego punktu oka zlokalizowanego na widowni, charakterystyczne są dwa poziome kąty widzenia: poziomy kąt widzenia bliższej (δ`) i dalszej krawędzi boiska (δ``). Kąty te są kątami wierzchołkowymi *trójkątów widzenia* tych krawędzi odrzutowanymi na płaszczyznę poziomą (rys. 2-6). Na rys. 2-19 przedstawiono zależności wielkości tych kątów od pozycji punktu oka na widowni oraz relacje zachodzące pomiędzy pionowymi i poziomymi

[48] Chodzi tu o linię oczną rzędu widowni (Lo); objaśnienie tego terminu znajduje się w słowniuku stosowanych terminów, w aneksie na końcu pracy.



RYS. 2-19
OGÓLANA CHARAKTERYSTYKA PIONOWYCH I POZIOMYCH KĄTÓW WIDZENIA NA TRYBUNACH PROSTOKREŚLNYCH (oś anatomicznego pola widzenia prostopadła do linii bocznych pola gry)

Źródło - oryginalne opracowanie autora.

LEGENDA

O1... O3 - Pozycje obserwatorów.
OPW - Oś anatomicznego pola widzenia (pokrywa się z osią siedzisk).
F1, F2 - Punkty fokusu: F1- fokus bliższy, F2- fokus dalszy.
AB - Linia fokusów dalszych (dalsza linia boczna boiska).
CD - Linia fokusów bliższych (bliższa linia boczna boiska).
δ' (1,2,3) - Poziome kąty widzenia bliższej krawędzi boiska dla obserwatorów z pozycji 1, 2 i 3.
δ"(1,2,3) - Poziome kąty widzenia dalszej krawędzi boiska dla obserwatorów jw.
αb(1,2,3) - Pionowe kąty widzenia pola boiska obserwatorów z pozycji 1, 2 i 3.
LRx,y,z - Linie rzędów trybuny, odpowiadające lokalizacji obserwatorów (równoległe do linii bocznych boiska).
PnPW - Pionowy profil widowni (krzywoliniowy).

kątami widzenia. Rozpatrzono trzy punkty oka położone na widowni prostokreślnej, o profilu krzywoliniowym. W celu uczytelnienia wyników analizy, wybrano punkty ekstremalne, tj. najniższy i najwyższy, oraz uzupełniająco punkt pośredni. Wszystkie punkty leżą na jednej płaszczyźnie pionowej, prostopadłej do linii bocznej boiska i równocześnie prostopadłej do krawędzi stopni trybuny. Położenie tej płaszczyzny ustalono asymetrycznie w stosunku do osi poprzecznej boiska. Oś anatomicznego pola widzenia leży na tej płaszczyźnie, podobnie jak oś symetrii siedzisk (w rzucie poziomym osie te pokrywają się). Jak widać, im położenia punktu oka są bliższe obserwowanemu obiektowi, tym poziomy kąt widzenia jest większy – odwrotnie niż w przypadku odpowiadającym tym punktom kątom pionowym. Im większy jest poziomy kąt widzenia, tym większego obrotu dokonać musi centralna linia widzenia, przemieszczając się z jednego skrajnego punktu obserwowanego obiektu do drugiego. Jak wynika z omówionej wcześniej charakterystyki aparatu wzrokowego człowieka (por.rozdz.1, p.1.3), normalny, poziomy zakres widzenia osiągany w wyniku zespolonego ruchu oczu i głowy wynosi 75° (±37,5°). Obserwacja obiektów o większym niż 75° poziomym kącie widzenia wymaga dodatkowo ruchu obrotowego tułowia.

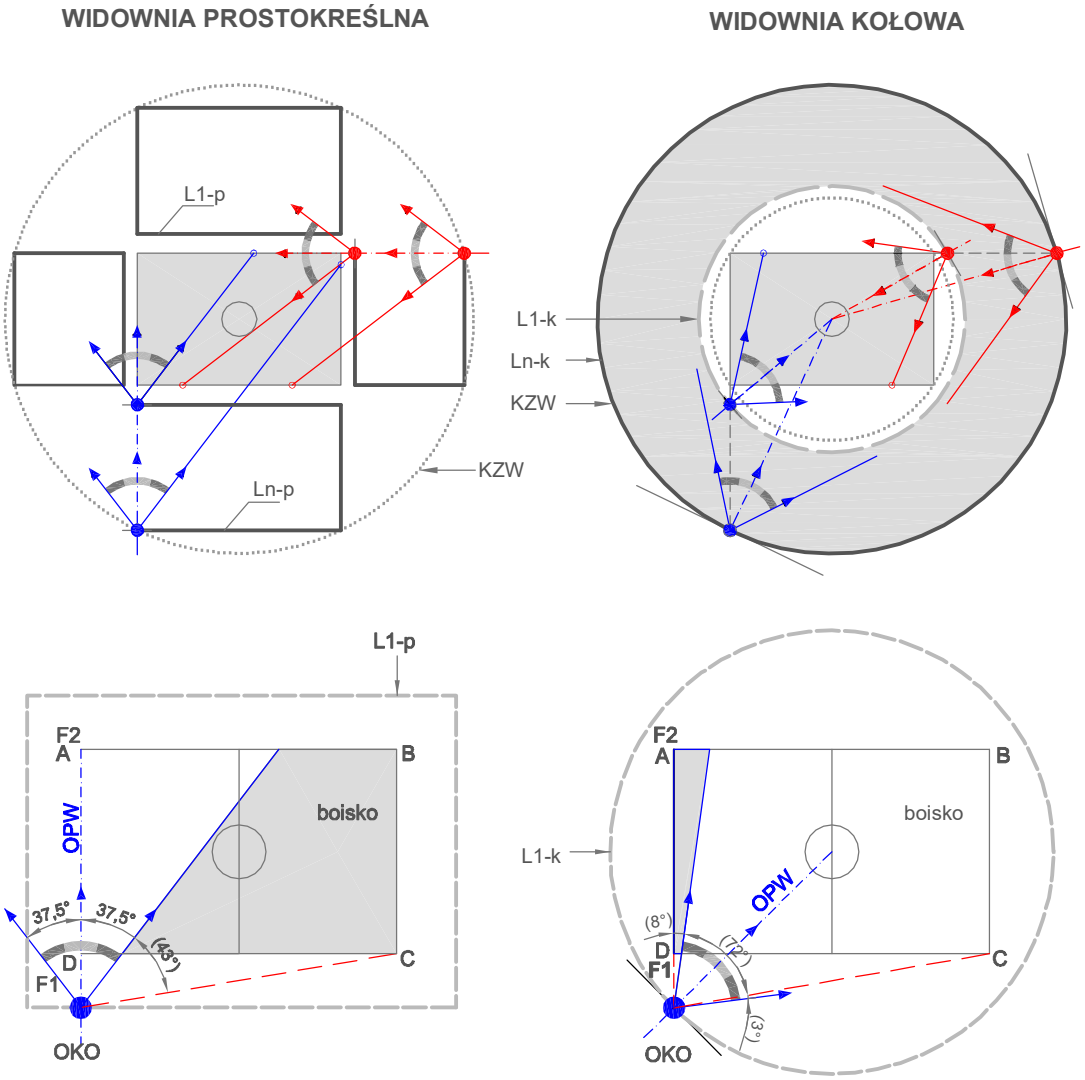
Dwusieczna tego kąta pokrywa się z osią anatomicznego pola widzenia w pozycji ustabilizowanej i wynikającej ze stałej pozycji siedziska. W większości przypadków oś siedziska jest prostopadła do krawędzi stopnia trybuny, a pozycja siedziska w stosunku do areny wynika z kształtu widowni. W związku z powyższym, w przypadku omawianej przykładowej widowni prostokreślnej, dla wszystkich, poza centralną, pozycji oka wystąpi mniejsza lub większa asymetria składowych kątów znajdujących się na lewo i na prawo od osi anatomicznego pola widzenia.

W skrajnym przypadku, gdy oś anatomicznego pola widzenia, która jest równocześnie osią optyczną obrazu siatkówkowego, pokrywa się z linią boczną boiska (widownia prostokreślna rys. 2-20), tylko połowa normalnego poziomego zakresu widzenia, tj. 37.5° obejmuje obiekt zainteresowania, jakim jest pole boiska. Obserwacja przez widza z pierwszego rzędu pozostałej części pola, zawartej w poziomym kącie widzenia równym 43°, wymaga obrotu tułowia o taką samą wartość kątową. Znane są nowo zrealizowane stadiony, gdzie oś ta przesunięta jest nawet poza linię boczną pola gry. Sytuacja taka ma miejsce m.in. na widowni stadionu w Kolonii (fot. 2-7), jak również na przebudowanym reprezentacyjnym stadionie w Poznaniu.

Zupełnie inaczej niż na widowni prostokreślnej przedstawia się wykorzystanie normalnego poziomego zakresu widzenia na widowniach kołowych. Jak wykazano na rys. 2-20, zakres ten dla identycznych, jak w przykładzie widowni prostokreślnej, krytycznych lokalizacji punktu oka obejmuje z ostatniego rzędu całe pole gry, a prawie całe z rzędu pierwszego.

Wartość poziomego kąta widzenia pola boiska zależy od odległości punktu oka od tego pola. Dwusieczna tego kąta wyznacza pionową płaszczyznę osi optycznej obrazu siatkówkowego tego pola. Relacje pomiędzy kątem normalnego poziomego zakresu widzenia i poziomym kątem widzenia pola boiska, określają jakość widzenia dla danego punktu oka usytuowanego na widowni (rys. 2-21). Jeżeli ten drugi jest większy od pierwszego, obserwator musi zwiększyć poziomy zakres widzenia wykonując dodatkowo obrót tułowia. Dla jakości widzenia istotne jest wzajemne położenie dwusiecznych obu kątów. Optymalna jest sytuacja, kiedy obie dwusieczne się pokrywają. Każda rozbieżność położenia dwusiecznej kąta normalnego poziomego zakresu widzenia w stosunku do dwusiecznej poziomego kąta widzenia pola obserwacji wymaga nakierowania tej pierwszej na drugą poprzez obrót tułowia, co przy stałym zamocowaniu siedziska stwarza mniejszy lub większy dyskomfort użytkowy.

Widownie kołowe cechuje harmonia nakierowania obu tych kątów, widownie pro-



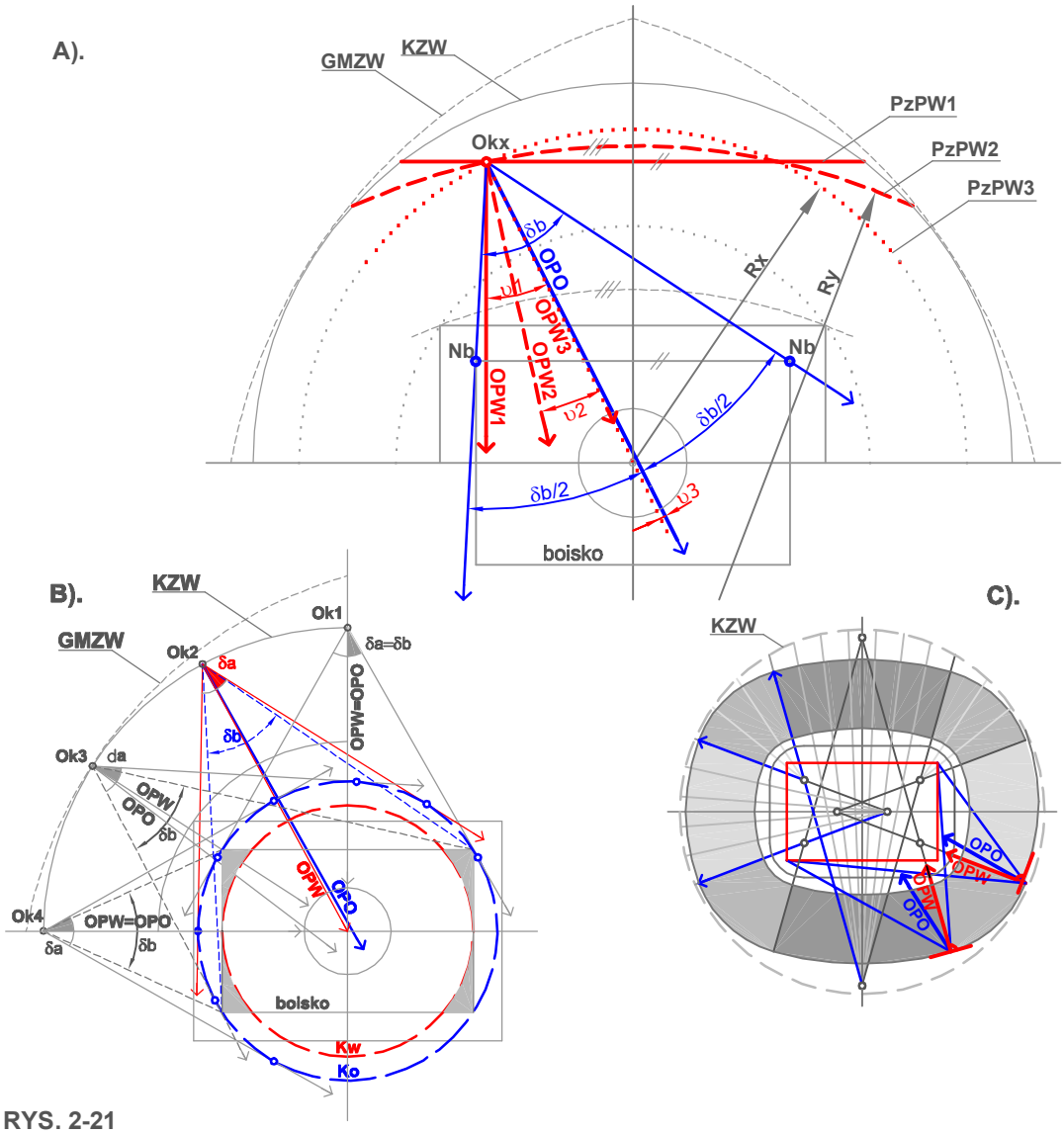
RYS. 2-20
STOPIEŃ WYKORZYSTANIA NORMALNEGO POZIOMEGO ZAKRESU WIDZENIA NA WIDOWNI PROSTOKREŚLNEJ I KOŁOWEJ

Źródło - oryginalne opracowanie autora.

Rysunki przedstawiają porównawczo stopień wykorzystania normalnego poziomego zakresu widzenia (por. rys.1-8 i 1-9) na widowni kołowej i prostokreślnej. Analizie poddano najbardziej krytyczne rejony widowni tj. przedłużenia linii obrysu zewnętrznego boiska piłkarskiego.

LEGENDA

KZW - Koło maksymalnego zasięgu widzenia, wyznaczane minimalnym kątem widzenia (ψ=4`), dla piłki nożnej koło o prom. Rk=127m .
L1- k - Linia pierwszego rzędu widowni kołowej.
Ln- k - Linia ostatniego rzędu widowni kołowej.
L1- p - Linia pierwszego rzędu widowni prostokreślnej.
Ln- p - Linia ostatniego rzędu widowni prostokreślnej.
- Obszary pola obserwacji wymagające ruchu tułowia.
OPW - Oś anatomicznego pola widzenia (pokrywa się z osią siedziska)
F1, F2 - Fokus bliższy (F1), fokus dalszy (F2).



RYS. 2-21
POZIOMY KĄT WIDZENIA POLA BOISKA A ANATOMICZNE POLE WIDZENIA
A). Wpływ poziomej geometrii widowni na położenie osi anatomicznego pola widzenia
B). Widownia kołowa - relacje anatomicznego pola widzenia i pola widzenia boiska
C). Widownia owalna- wpływ geometrii owalu na położenie osi anatomicznego pola widzenia

Źródło - oryginalne opracowanie autora.

LEGENDA

PzPW(1,2,3) - **Poziomy profil widowni: 1- P rostokreślny (układ rzędów równoległy do linii bocznych boiska), 2- Łukowy (układ rzędów w łuku o promieniu Ry), 3- Kołowy (układ rzędów w łuku okręgu o promieniu Rx)**
Okx,1...4 - **Przykładowe położenia oka widza w obrębie koła zasięgu widzenia (KZW).**
OPO - **Oś pola obserwacji (leży na dwusiecznej poziomego kąta widzenia δb).**
OPW(1,2,3) - **Oś anatomicznego pola widzenia ustalona osią południkową siedziska dla rozpatrywanych poziomych profili widowni: prostokreślnego (1), łukowego (2), kołowego (3).**
δb - **Poziomy kąt widzenia pola boiska.**
δa - **Poziomy kąt widzenia pola areny kołowej opisanej na prostokącie boiska**
υ(1,2,3) - **Odchylenie kątowe OPW od osi pola obserwacji (OPO), odpowiednio dla profili PzPW(1,2,3): prostokreślnego - υ1, łukowego - υ2, kołowego - υ3**
Ko, Kw - **Linia zewnętrzna areny kołowej opisanej na prostokącie boiska (Ko) i weń wpisanej (Kw).**

Pozostałe oznaczenia jak dla rys.2-20.

Fot. 2-3. Stadion *Commerzbank Arena*, Frankfurt, (2005). Przykład widowni łukowej o profilu prostoliniowym. Linie rzędów widowni przebiegają łukowo dzięki czemu, określona pozycją siedzisk, oś anatomicznego pola widzenia nakierowana jest dośrodkowo, wykazując konwergencję z osią obrazu pola boiska. Widownie łukowe mają pod tym względem przewagę nad widowniami prostokreślnymi, które cechuje dywergencja obu tych osi. *Foto: autor.*

Fot. 2-4. Stadion *LTU Arena,* Düsseldorf, (2005). Przykład widowni prostokreślnej o profilu prostoliniowym. Linie rzędów widowni przebiegają równoległe do linii bocznych boiska. Ustalona pozycją siedziska, oś anatomicznego pola widzenia jest prostopadła do zewnętrznych krawędzi pola gry. Obiekt należy do nielicznej grupy europejskich stadionów z otwieranym dachem nad areną. *Foto: M. Pelczarski.*

Fot. 2-5. *Gottlieb Daimler Stadion*, Stuttgart, (2005). Widownia łukowa o profilu prostoliniowym łamanym. Arena stadionu służy zawodom lekkoatletycznym i meczom piłkarskim. Widownia odzwierciedla kształt bieżni lekkoatletycznej – jej łuki na osi długiej stadionu zbliżone są do idealnie kołowych. Na pierwszym planie fragment nadbudowanej widowni zachodniej o nachyleniu 33º z siedziskami, których konstrukcja oparć wykształca równocześnie balustradę czołową rzędu.

Foto: M. Pelczarski.

Fot. 2-6. Stadion *Veltins – Arena,* dawniej *Arena AufSchalke,* Gelsenkirchen, (2001). Przykład widowni prostokreślnej wielokrotnie łamanej (co jeden sektor) o profilu prostoliniowym wielokrotnie łamanym. Dzięki częstotliwości łamania linii rzędów i linii profilu rozwiązanie to posiada cechy zbliżone do widowni łukowej o profilu krzywoliniowym. Cechą wyróżniającą tę widownię jest duże nasycenie womitoriami, przy znacznych szerokościach korytarzy południkowych. *Foto: M. Pelczarski.*

Fot. 2-7. *RheinEnergie Stadion,* Kolonia, (2004). Przykład widowni prostokreślnej o profilu prostoliniowym. Nachylenie widowni górnej wynosi 35º, co jest maksymalną normowo dopuszczalną wartością. Tak znaczna stromizna trybun wymagała zastosowania w każdym rzędzie balustrady czołowej. Niezwykłością prezentowanej widowni jest rozwiązanie trybun w rejonie narożnika boiska. Tak dalekie wysunięcie poza linię bramkową skrajnych miejsc powoduje, że mają one ekspozycję widokową nie na boisko lecz na prostopadłe trybuny. Nakierowanie centralnej linii widzenia na najbardziej skrajny narożnik obrazu pola boiska wymaga skręcenia tej osi o kąt dochodzący do wartości ok. 67º. *Foto: autor.*

stoliniowe (o trybunach równoległych do linii bocznych boiska) natomiast – znaczna dysharmonia, zwłaszcza w rejonie narożników boiska. Widownie łukowe, w zależności od promienia łuku, przejawiają cechy zbliżone do pierwszego lub drugiego typu.

2.4. Wykreślne metody projektowania profilu widowni[49]

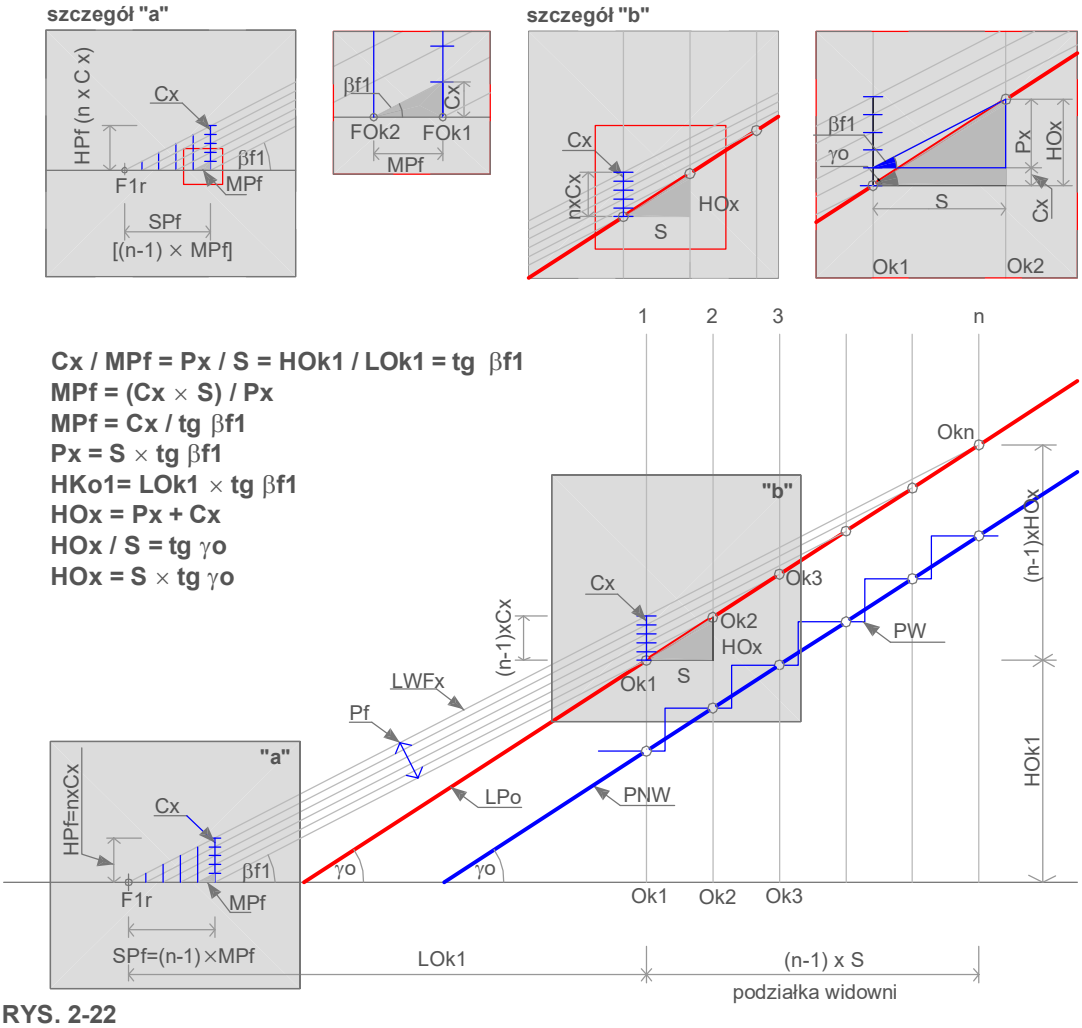
2.4.1. Prostoliniowy profil widowni

Prostoliniowy profil widowni to profil, w którym nominalne punkty oka (Ok) leżą na jednej płaszczyźnie, zwanej płaszczyzną oczną (Po), która jest równoległa do płaszczyzny stycznej do krawędzi stopni widowni. W tzw. „przekroju południkowym", tj przekroju pionowym, prostopadłym do krawędzi stopni, płaszczyzny te odzwierciedlone są w postaci równoległych linii prostych. Stąd nazwa „profil prostoliniowy".

Widownia składa się z powtarzalnych, jednakowych stopni o tej samej głębokości i wysokości. Ma ona jednakowe nachylenie w całym jej obszarze (rys. 2-22). Opisane zależności geometryczne powodują, że linie widzenia wyprowadzane z poszczególnych punktów oka, przechodzące przez założony punkt przewyższenia (PCx) nad okiem usytuowanym w rzędzie niższym, tworzą pasmo równoległych linii widzenia fokusu (LWF), przesuniętych względem siebie w pionie o stałą wartość, równą przewyższeniu Cx. Oznacza to, że linia pionowa przecinająca pasmo tych linii jest dzielona przez nie na równe odcinki o wartości Cx. Suma tych odcinków wyznacza pionowe przesunięcie skrajnych linii LWF (najniższej i najwyższej). Dlatego nazwano je wysokością pasma (HPf). Jego wartość równa jest iloczynowi Cx i liczby rzędów minus jeden (n-1). Linie LWF padają na płaszczyznę areny w punktach oddalonych od siebie o stałą wartość (rys. 2-22 szczegół „a"), nazwaną modułem pasma (MPf). Moduł ten zależy od wartości Cx i kąta nachylenia linii widzenia fokusu βf1, (MPf=Cx/tg βf1). Odległość między skrajnymi punktami odpowiadającymi linii widzenia najdalszego i pierwszego rzędu nazwano szerokością pasma LWF. Jest ona wielokrotnością modułu MPf, równą liczbie rzędów (n), pomniejszonej o liczbę jeden (n-1). Niekiedy stosuje się numerację rzędów zaczynając od zera, jako numeru rzędu pierwszego (Ok1). Wówczas powyższe krotności są równe wartości cyfrowej indeksu ostatniego rzędu. Szerokość pasma LWF, zależy więc od liczby rzędów widowni i w związku z tym, przy dużych widowniach może osiągać znaczne wymiary.

W celu uniknięcia tych konsekwencji stosuje się profile prostoliniowe wielokrotnie łamane, w których każdemu następnemu odcinkowi prostoliniowemu odpowiada nieco większy kąt nachylenia. Dzięki temu należące do tych odcinków pasma LWF wyznaczają na arenie pokrywające się szerokości (SPf). Występuje tu podobieństwo, pod względem zasady ogniskowania linii widzenia fokusu, do krzywoliniowych profili widowni. Zagadnienia te omówiono bardziej szczegółowo w dalszej części niniejszego rozdziału (rys. 2-27).

[49] Część treści zawartych w tym podrozdziale publikowana była wcześniej w bardziej syntetycznej formie w postaci artykułu przeznaczonego do wykorzystania w procesie dydaktycznym. Autor, jako pracownik naukowo-dydaktyczny Wydziału Architektury Politechniki Białostockiej, od wielu lat kieruje zespołem prowadzącym przedmiot występujący w programie nauczania (semestr IX) pod nazwą: *Projektowanie architektoniczne – widownie, duże przekrycia,* por Z. Pelczarski**,** *Wykreślne metody projektowania profilu widowni,* [w:] Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej, Architektura – Zeszyt 21, red. nauk. J.C. Żarnowiecka, Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, Białystok 2008, s. 61-77.

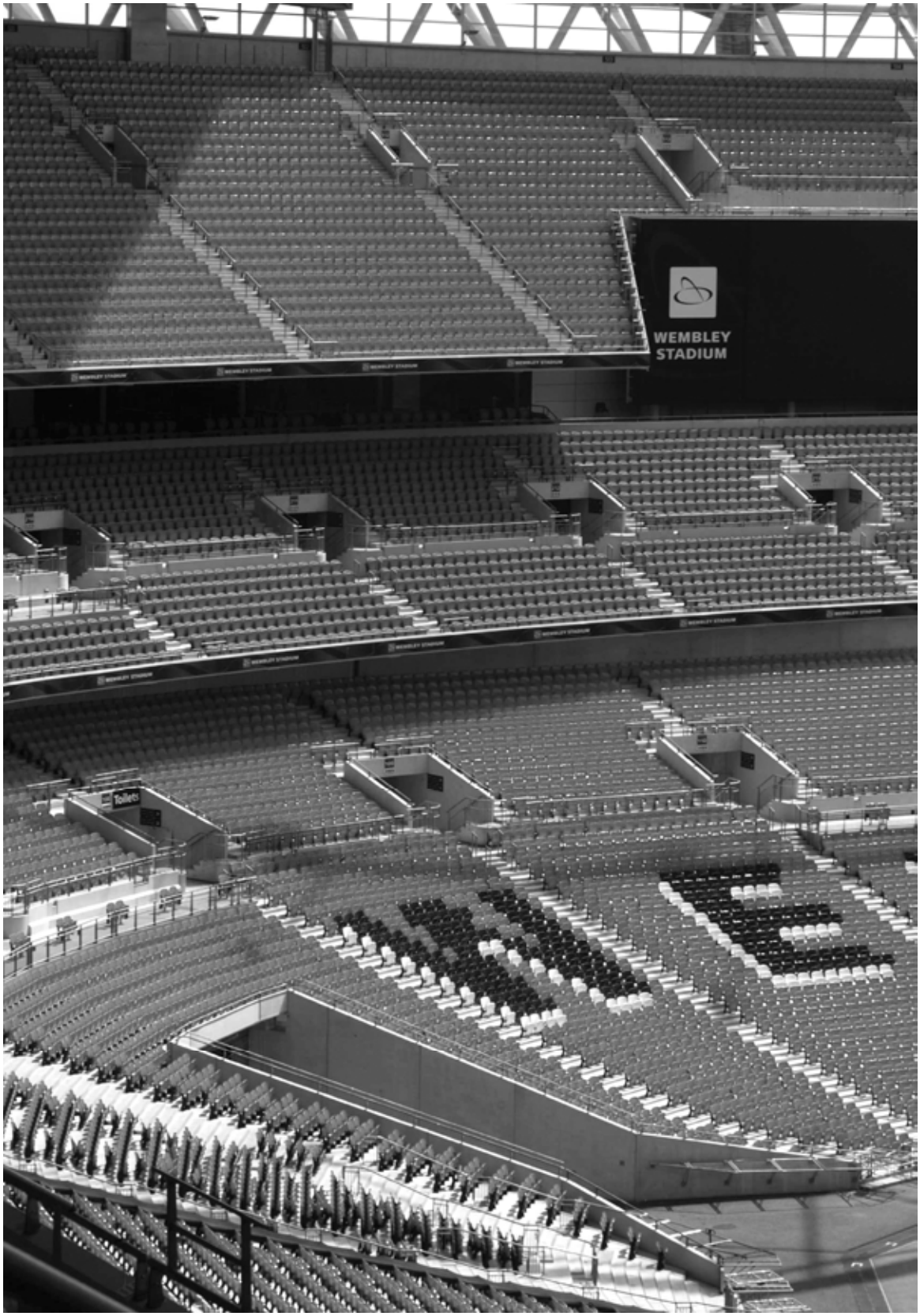


RYS. 2-22
ZASADY KSZTAŁTOWANIA WIDOWNI O PROFILU PROSTOLINIOWYM

Źródło - oryginalne opracowanie autora.

LEGENDA

Ok1...n - Pozycja punktu oka, odpowiednio w rzędzie nr1, nr2, nr3 do "n".
Cx - Dowolne przewyższenie linii widzenia fokusu nominalnego.
S - Poziome względne przesunięcie oka.
HOx - Dowolne względne wyniesienie oka; HOx = Px + Cx; równe wys. stponia trybun.
Px - Dowolne przewyższenie oka.
LWFx - Dowolna linia widzenia fokusu nominalnego.
βf1 - Kąt nachylenia linii widzenia fokusów bliższych.
F1r - Punkt bliższego fokusu rzeczywistego (nom. dla Okn) - na linii bocznej boiska.
FOk1...n - Punkty fokusów nominalnych poszczególnych rzędów widowni.
Pf - Pasmo linii widzenia fokusów nominalnych (pasmo LWF): wiązka równoległych linii widzenia fokusów z punktów oka (Okx) poszczególnych rzędów widowni.
MPf - Moduł pasma LWF; MPf = Cx / tg βf1.
HPf - Wysokość pasma LWF; HPf = (n-1) × Cx, gdzie: n - liczba rzędów.
SPf - Szerokość pasma LWF; SPf = (n-1) × MPf, gdzie: n - iliczba rzędów.
LPo - Linia płaszczyzny ocznej, (przekrój pionowy płaszczyzny przebiegającej przez wszystkie nominlne punkty oka widowni).
γo - Kąt nachylenia płaszczyzny ocznej (równy nachyleniu widowni).
HOk1 - Wyniesienie oka pierwszego rzędu, (bezwzględne, odnoszone do poziomu areny).
LOk1 - Odległość pozioma oka pierwszego rzędu od linii fokusów.
PNW - Prowadnica nachylenia profilu właściwego trybun (PW), równoległa do LPo i przesunięta w dół o nominalną wysokość oczną; dla poz.siedzącej HOs=120cm.



Fot. 2-8. *New Wembley Stadium,* Londyn, (2007). Trzypiętrowa widownia o profilu prostoliniowym o zróżnicowanym układzie rzędów w rzucie poziomym. Widownia dolna posiada cechy typowej widowni prostokreślnej, piętro drugie i trzecie charakteryzuje układ prostokreślny wzdłuż boków boiska i układ łukowy w strefach zabramkowych. Dolne piętra mają dobrze rozwinięty system komunikacyjno-ewakuacyjny, podczas gdy piętro najwyższe cechują w tym względzie znacznie gorsze parametry. Przykład interesującego rozwiązania womitoriów, zapewniającego dobrą segregację ruchu. *Foto: M. Pelczarski.*

Cechy geometryczne prostoliniowego profilu widowni powodują, że chcąc spełnić założone warunki widoczności dla całej widowni należy przede wszystkim zapewnić widoczność punktu fokusu rzeczywistego (F1r) dla rzędu najwyższego (Okn).Terminem *punkt fokusu rzeczywistego* określa się punkt fokusu istotny dla reguł określonych zawodów i w przypadku np. piłki nożnej będzie to punkt leżący na linii bocznej boiska. Oznacza to, że ustalając linię płaszczyzny ocznej profilu widowni należy jej nadać takie nachylenie, które zapewni co najmniej minimalne przewyższenie antropometryczne (Ca=12cm) nad punktem oka w rzędzie przedostatnim Ok(n-1). Przy takim założeniu warunki widoczności w rzędach niższych są coraz lepsze i poprawiają się w miarę obniżania numeracji rzędu. Przebiegi linii widzenia fokusu rzeczywistego (F1r) dla rzędów niższych podnoszą się bowiem w stosunku do przebiegu nominalnego (rys. 2-24). Przez przebieg nominalny rozumie się przebieg równoległy do linii LWF najwyższego rzędu, czyli z zachowaniem przewyższenia Cx dla każdego punktu oka profilu (w przykładzie Cx=Ca).

Linie LWF, prowadzone z poszczególnych punktów oka profilu do punktu fokusu rzeczywistego (F1r), charakteryzuje przewyższenie rzeczywiste (Cr), które jest większe niż nominalne (Cr=Ca+ΔC), (rys. 2-24 szczegół „a,b"). Przewyższenie rzeczywiste jest coraz większe w miarę obniżania się rzędów i w rzędach początkowych może osiągać wartość znacznie przekraczającą minimalną wartość (Cx=Ca), przyjętą dla rzędu najwyższego. Jest to zaleta profili prostoliniowych, co w połączeniu z zaletami ekonomicznymi (modułowość geometrii) oraz komunikacyjnymi (stała geometria schodów) powoduje, że te profile dominują dziś w kształtowaniu widowni.

Warto w tym miejscu wspomnieć o powszechnym w latach pięćdziesiątych poprzedniego stulecia przekonaniu projektantów o wyższości profilu krzywoliniowego (wg tzw. *krzywej idealnej)* nad profilem prostoliniowym. Z perspektywy historycznej poglądy takie uzasadnić można ówczesnym stanem technologii prefabrykacji konstrukcji żelbetowych i stanem myśli architektonicznej i technicznej w dziedzinie budownictwa obiektów sportowo-widowiskowych. Wypada w tym miejscu napomknąć, że powstające wówczas w Polsce stadiony realizowane były głównie z wykorzystaniem tzw. *trybun ziemnych,* a więc konstrukcji inżynierskich, w których uzyskiwanie profilu krzywoliniowego było technicznie stosunkowo proste i ekonomicznie uzasadnione. Takie właśnie widownie miały dwa największe zrealizowane w naszym kraju stadiony, tj. *Stadion X-lecia (*1955) w Warszawie i *Stadion Śląski* (1956) w Chorzowie. Zalety użytkowe profilu krzywoliniowego oceniano wyżej niż profilu prostoliniowego jeszcze w latach siedemdziesiątych, kiedy powstał rewolucyjny pod względem architektonicznym *Stadion Olimpijski* w Monachium (1972). Widownia tego stadionu wykorzystuje profil krzywoliniowy ciągły, przy czym na szczególną uwagę zasługuje widownia zachodnia. Powstała ona bowiem jako konstrukcja żelbetowa prefabrykowana, z profilem o tzw. *krzywej idealnej*. Problem różnic wysokości poszczególnych stopni trybun rozwiązano stosując specjalny, zakładkowy kształt prefabrykatów opieranych na schodkowych występach rygli południkowych, odzwierciedlających linię krzywą profilu. Dzięki temu prefabrykaty mogły mieć jedną wysokość, a za szczelność płyty fałdowej trybuny odpowiadały owe zakładki. Dodatkowym utrudnieniem realizacyjnym był też fakt łukowego, w rzucie poziomym, kształtu prefabrykatu. Idealne linie łukowe geometrii poziomej rzędów zastępuje się dziś linią prostą, wielokrotnie łamaną, składająca się z wielu odcinków prostych, umożliwiających zastosowanie prostokreślnych w kształcie, ekonomicznych, prefabrykatów.

Na rys. 2-22 (szczegół „b") przedstawiono zależności zachodzące pomiędzy geometrią modułu prostoliniowego profilu

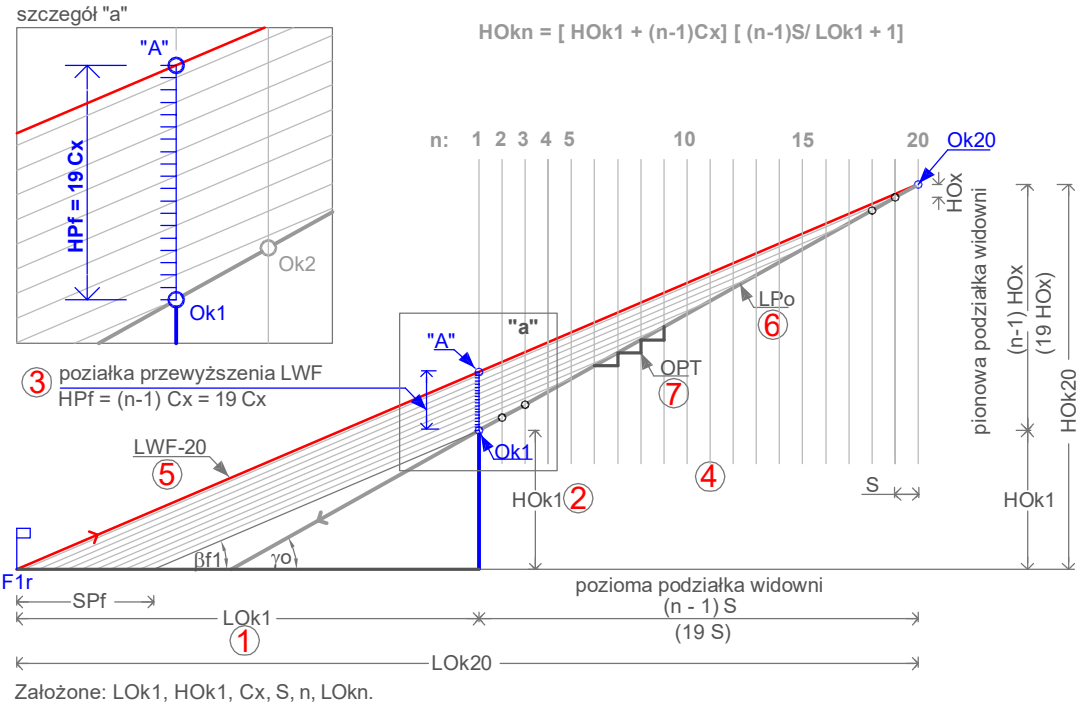
widowni, którym jest jeden powtarzalny stopień trybuny, i nominalnymi liniami widzenia fokusu (LWF). Fakt, że wszystkie punkty oka tworzące profil widowni leżą na jednej linii prostej (LPo), powoduje, że przy stałym poziomym przesunięciu oka w poszczególnych rzędach (S) wyniesienie każdego oka w stosunku do sąsiednich wynosi stałą wartość (HOx). Relacje pomiędzy poziomym przesunięciem oka, jego pionowym wyniesieniem i nachyleniem linii płaszczyzny ocznej (γo) opisuje prosta zależność trygonometryczna: HOx=S×tgγo. Aby spełnić warunek widzenia nominalnego punktu fokusu ponad głową poprzedniego rzędu, oko obserwatora należy wynieść o wartość przewyższenia antropometrycznego (Cx=Ca=12cm), co zapewnia niezakłócony przebieg poziomej centralnej linii widzenia, oraz dodatkowo o wartość przewyższenia oka (Px), które dla danej głębokości rzędu umożliwia najniższe położenie linii widzenia, stycznej do wierzchołka głowy usytuowanej poniżej (punkt przewyższenia PCx). Całkowite wyniesienie oka jest zatem sumą dwóch składowych i wynosi: HOx=Px+Cx. Przebieg linii LWF zależy od wartości głębokości rzędu (S) i wyniesienia oka Px, przy czym Px=HOx-Cx. Zależność tę określa równanie trygonometryczne: tg βf1=Px/S.

2.4.1.1. Wykreślna metoda modelowania prostoliniowego profilu widowni (*metoda najdalszego oka)*

Pasmo linii widzenia fokusu osiąga ponad punktem oka pierwszego rzędu swój pełny wymiar wysokości (Hpf). Fakt ten umożliwia wykreślanie, prostą i szybką metodą, profilu widowni prostoliniowej[50] Jest to metoda polegająca na odnajdowaniu położenia najwyższego punktu oka(Okn), który połączony z okiem pierwszego rzędu (OK1) daje linię płaszczyzny ocznej (LPo), definiującej profil widowni. Znając bowiem położenie tej linii oraz kąt jej nachylenia (γo), można wykreślić przebieg linii środkowej profilu trybuny, tzw. prowadnicy profilu trybuny (PNW). Linia ta jest równoległa do linii płaszczyzny ocznej i przebiega poniżej niej w odległości równej nominalnej wysokości ocznej widza. Dla pozycji siedzącej wynosi ona 120cm, dla pozycji stojącej zaś 160cm. Sposób wykorzystania prowadnicy profilu trybuny do wykreślenia profilu stopni widowni przedstawiono na rys. 2-22.

Wykreślne modelowanie profilu widowni należy rozpocząć od ustalenia wyjściowych parametrów profilu, tj.: odległości pierwszego rzędu od rzeczywistego fokusu (LOk1), wysokości wyniesienia punktu oka pierwszego rzędu (HOk1), liczby rzędów (n), głębokości rzędu (S) oraz wartości przewyższenia (Cx). Sposób postępowania przedstawiono na rys. 2-23. W celu zwiększenia czytelności opisu, kolejność poszczególnych czynności określono umieszczając indeks cyfrowy przy poszczególnych elementach rysunku. W pierwszej kolejności wykreślić należy położenie punktu oka w pierwszym rzędzie (OK1), rysując jego odległość (LOk1) od punktu fokusu (F1r) oraz wyniesienie (HOk1). Następnie na linii pionowej nad punktem Ok1 nanosi się podziałkę przewyższenia linii widzenia fokusów (HPf), odznaczając wielokrotność odcinka o wartości przewyższenia Cx. liczba odcinków Cx powinna być równa liczbie planowanych rzędów minus jeden. Najwyższy punkt tej podziałki oznaczono symbolem „A". Jest to punkt przewyższenia linii widzenia fokusu z najdalszego oka (LWF-20), ponad okiem Ok1. Kolejną czynnością powinno być wrysowanie podziałki widowni w postaci pionowych linii w jednakowych odstępach, równych przyjętej głębokości rzędu (S). Linie podziałki należy ponumerować, nadając numer jeden pierwszemu rzędowi. Ustalenie

[50] Metoda powstała w trakcie i w wyniku prac projektowych nad nową balkonową widownią *Stadionu Śląskiego* w Chorzowie(1987-88), którymi kierował autor. Widownię tę zrealizowno wg. tego projektu i oddano do użytkowania w roku 2000.



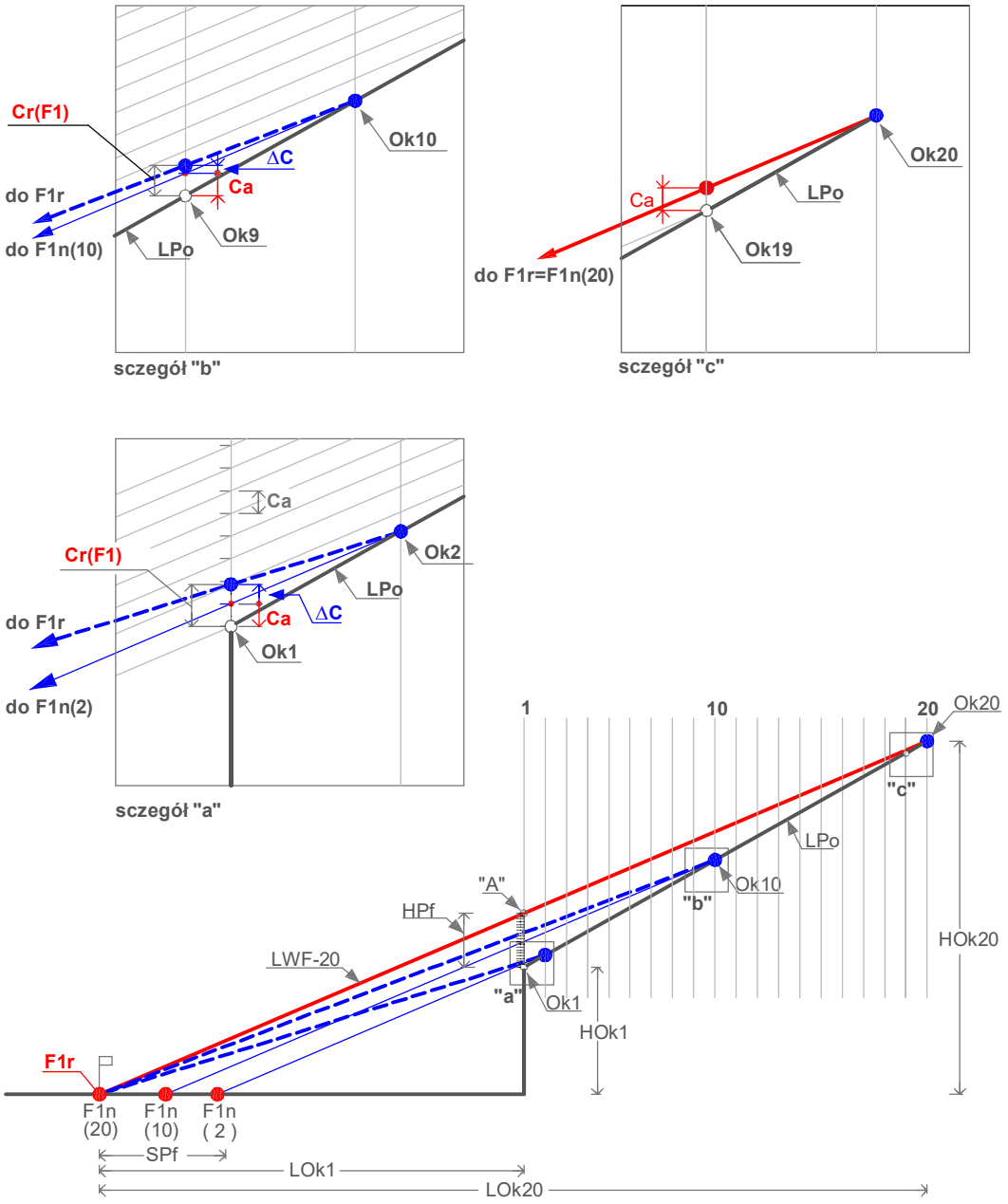
RYS. 2-23

PROSTOLINIOWY PROFIL WIDOWNI - WYKREŚLNA METODA MODELOWANIA PROFILU *"METODA NAJDALSZEGO OKA"*

Źródło - oryginalne opracowanie autora.

LEGENDA

Ok1, Ok20 - Punkty oka, odpowiednio w rzędzie nr1 i nr20.
HOk1 - Wyniesienie oka pierwszego rzędu, (bezwzględne, odnoszone do poziomu areny).
LOk1 - Pozioma odległość oka pierwszego rzędu od linii fokusów rzeczywistych (linia boczna boiska).
Cx - Dowolne przewyższenie linii widzenia fokusów nominalnych.
n - Założona liczba rzędów widowni.
HPf - Wysokość pasma linii widzenia fokusów nominalnych, (w przykładzie HPf=19Cx, gdzie: Cx=Ca=12cm).
S - Poziome względne przesunięcie oka równe głębokości stopnia trybuny (moduł podziałki widowni).
LWF20 - Linia widzenia fokusu nominalnego bliższego (Fo1) z najdalszego rzędu (nr 20).
"A" - Punkt przewyższenia LWF20 nad OK1, wyniesiony o wartość HPf ponad OK1; prosta poprowdzona przez punkt "A" i Fo1 wyznacza pozycję oka w najdalszym rzędzie (Ok20).
LPo - Linia płaszczyzny ocznej (równoległa do linii stycznej do stopni trybun).
γo - Kąt nachylenia płaszczyzny ocznej (równy nachyleniu trybun).
βf1 - Kąt nachylenia linii widzenia fokusów nominalnych (bliższych).
SPf - Szerokość pasma LWF.
OPT - Odwzorowanie profilu trybun (p. oka wyznaczają linię schodkową, składającą się z poziomych odcinków przesunięć (S) i pionowych odcinków wyniesień (HOx).
HOx - Dowolne względne wyniesienie oka; równe wysokości stopnia trybuny (H).
HOk20 - Wysokość wyniesienia oka w rządzie nr 20 (bezwzględna, odnoszona do poziomu areny; w przykładzie HOk20 = 19 H + HOk1, gdzie: H - wysokość stopnia trybuny).
LOk20 - Pozioma odległość oka rzędu nr 20 od linii fokusów nominalnych.
① ⑦ - Indeksami oznaczono kolejność czynności przy modelowaniu profilu widowni.
Pozostałe oznaczenia jak dla rys. 2-22.



RYS. 2-24

RZECZYWISTE PRZEWYŻSZENIE (Cr) W PROSTOLINIOWYM PROFILU WIDOWNI

Źródło - oryginalne opracowanie autora.

LEGENDA

F1r - **Fokus bliższy rzeczywisty (usytuowany na linii bocznej boiska, jednakowy dla wszystkich rzędów, jak w profilu krzywoliniowym)**

F1n(10) - **Fokus bliższy nominalny, wyznaczany przez linię widzenia fokusu nominalnego przebiegającą wg. zasad wyjaśnionych na rys. 2-23 (w nawiasie podano numer rzędu).**

Ca - **Przewyższenie antropometryczne (minimalne), Ca=12cm.**

ΔC - **Przyrost przewyższenia ponad przewyższenie minimalne Ca.**

Cr (F1) - **Przewyższenie rzeczywiste, osiągane przy ogniskowaniu LWF na bliższej linii bocznej boiska (Cr(F1)=Ca+ ΔC).**

Pozostałe oznaczenia jak dla rys. 2-23.

położenia punktu oka najwyższego rzędu (w przykładzie punkt Ok20) polega na poprowadzeniu linii prostej z punktu fokusu (F1r) przez punkt „A" na podziałce przewyższenia, do przecięcia z pionową linią podziałki widowni o numerze 20. Punkt ten jest punktem oka Ok20. Rysując następnie linię prostą łączącą punkt Ok20 z punktem Ok1 otrzymuje się linię płaszczyzny ocznej (LPo) projektowanej widowni. Jest to przekrój pionowy tej płaszczyzny. Płaszczyzna oczna jest zbiorem wszystkich punktów oka w obrębie całej widowni, gdy ta jest prostokreślna i ma profil prostoliniowy. Przecięcia tej linii z liniami pionowymi podziałki wyznaczają punkty oka w poszczególnych rzędach. Linie widzenia prowadzone z każdego z tych punktów, jako równoległe do LWF-20, przechodzą przez punkty podziałki przewyższenia (HPf) i zapewniają założone przewyższenia Cx. W celu szybkiego wyznaczenia szerokości pasma (Spf) wystarczy wykreślenie z punktu Ok1 linii widzenia równoległej do LWF-20. Wysokość stopnia widowni (H) odczytuje się z odwzorowania profilu trybuny, który powstaje przez odkładanie poziomych odcinków prowadzonych z punktów przecięcia LPo i linii podziałki widowni do spotkania z linią podziałki wyższego rzędu. Bezwzględną wysokość wyniesienia najwyższego oka mierzy się, posługując się funkcją mierzenia i wymiarowania programu komputerowego, w którym wykonuje się rysunek, np. AutoCAD.

Przedstawiona metoda umożliwia szybkie, mało pracochłonne i dokładne wykreślanie uproszczonych profili widowni, które dopiero po decyzji wyboru najkorzystniejszego rozwiązania zamienia się na pełny profil trybun i ewentualnie przekrój architektoniczno-budowlany. Przy odpowiedniej wprawie w posługiwaniu się tą metodą, można sprawnie i w krótkim czasie przeprowadzać szybkie analizy alternatywnych rozwiązań, sterując przy tym poszczególnymi parametrami profilu. Możliwych jest wiele wariantów posługiwania się tą metodą – od takiego jak w przedstawionym przykładzie, gdzie punktem wyjścia jest położenie oka w pierwszym rzędzie, przez taki, gdy zaczyna się od dowolnego punktu oka którego usytuowanie jest krytyczne dla założonej koncepcji, do układu odwrotnego, kiedy zadany jest punkt oka najwyższego rzędu, a problemem jest stworzenie racjonalnego profilu dla założonych parametrów wyjściowych. Prezentowana metoda umożliwia też tworzenie profili prostoliniowych łamanych lub profili piętrowych, jak również profili krzywoliniowych, co omawia się w dalszej części niniejszego rozdziału.

2.4.1.2. Determinanty nachylenia profilu

Nachylenie linii płaszczyzny ocznej podstawowego elementu profilu widowni zależy równocześnie od trzech parametrów. Są nimi: przewyższenie linii widzenia fokusu (Cx), odległość fokusu od punktu oka pierwszego rzędu (LOk1) i wysokość wyniesienia punktu oka pierwszego rzędu ponad płaszczyznę areny (HOk1). Modelowanie profilu widowni polega na ustalaniu takich relacji pomiędzy tymi parametrami, które zapewniają najkorzystniejsze, z punktu widzenia założonych priorytetów projektowych, usytuowanie i nachylenie płaszczyzny ocznej. Zwiększanie przewyższenia Cx przy stałej wartości LOk1 i Hok1 powoduje, że podziałka przewyższenia zwiększa się, rośnie wysokość pasma linii widzenia fokusów (HPf), a punkt „A" (przewyższenie najwyższej linii widzenia fokusu) podnosi się. W konsekwencji LWF najdalszego rzędu podnosi się, zwiększa swoje nachylenie i tym samym ustala wyższe wyniesienia punktu oka ostatniego rzędu (w przykładzie HOk-20). Im większa wartość Cx, tym większe nachylenie LWF, a w konsekwencji nachylenie linii płaszczyzny ocznej i równocześnie nachylenie trybun oraz wyniesienie najdalszego punktu oka. Zmniejszanie odległości fokusu od punktu oka pierwszego rzędu (LOk1), przy stałej jego wysokości (Hok1) i stałym przewyższeniu Cx, skutkuje obrotem LWF wokół punktu „A". Prowadzi to w rezultacie do

zwiększania nachylenia tej linii i podnoszenia punktu oka ostatniego rzędu. To z kolei powoduje, że nachylenie linii płaszczyzny ocznej (LPo) również ulega zwiększeniu. Im linia fokusów bliżej oka pierwszego rzędu, tym nachylenie LWF większe, a co za tym idzie nachylenie LPo jest większe, a oko najdalszego rzędu znajduje się wyżej. Podnoszenie punktu oka pierwszego rzędu, przy stałej poziomej jego odległości od fokusu (LOk1) i stałym przewyższeniu Cx, powoduje podnoszenie położenia punktu „A". Prowadzone z punktu fokusu (F1) przez coraz wyżej położony punkt „A" linie widzenia fokusu (LWF) podnoszą się i zwiększają nachylenie, w związku z czym, przecinają linię podziałki rzędu najdalszego coraz wyżej, ustalając coraz wyższą pozycję punktu oka tego rzędu. W wyniku tego linia płaszczyzny ocznej podnosi się i zwiększa swe nachylenie. Z analiz wynika, że zmiana nachylenia w tym przypadku, tj. regulacji wyniesienia oka pierwszego rzędu (HOk1), jest mniej drastyczna niż w przypadku regulacji wcześniej omówionych parametrów Cx i LOk1.

2.4.1.3. Zależność nachylenia profilu od odległości najdalszego oka

Na rys. 2-25 przedstawiono analizę trzech profili prostoliniowych wykreślonych dla identycznych parametrów wyjściowych LOk1, HOk1, Cx i S. Jako wartość zmienną przyjęto głębokość widowni wyrażoną liczbą rzędów (n). Dla pierwszego profilu najdalszy punkt oka usytuowano w rzędzie nr 10, dla drugiego w rzędzie nr 20 i dla trzeciego w rzędzie nr 30. Postępując wg omówionej wcześniej „metody najdalszego oka" wykreślono kolejno linie widzenia fokusu (LWF-10, LWF-20 i LWf-30). Położenie punktu przewyższenia tych linii nad punktem oka pierwszego rzędu (punkt „A") na podziałce przewyższenia wynika z wysokości pasma HPf, która jest iloczynem Cx(n-1), gdzie n oznacza liczbę rzędów. Dla analizowanych w przykładzie profili wysokości te wynoszą odpowiednio: HPf-10=9Cx, HPf-20=19Cx i HPf-30=29Cx. Przesunięcie pionowe kolejnych punktów „A" wynosi więc 10Cx. Dlatego nachylenia linii LWF odpowiadających poszczególnym profilom znacznie się różnią, a wyznaczone nimi na podziałce widowni punkty najdalszego oka (OK10, OK20 i OK30), charakteryzuje znaczne zróżnicowanie wysokości wyniesienia. Linie płaszczyzn ocznych (LPo-10, LPo-20 i LPo-30), należące do poszczególnych profili, cechuje równie wyraźne zróżnicowanie nachylenia. Nachylenia te są tym większe, im większa jest odległość najdalszego oka od punktu oka w pierwszym rzędzie. Zróżnicowania te powodują, że punkt oka leżący na tej samej linii podziałki widowni, np. w rzędzie nr 20, wyznaczony profilem LPo-30, położony jest znacznie wyżej niż wyznaczony profilem LPo-20. Wskazuje to na nieracjonalność długich profili prostoliniowych, która polega na podnoszeniu się całego profilu w efekcie zwiększania głębokości widowni.

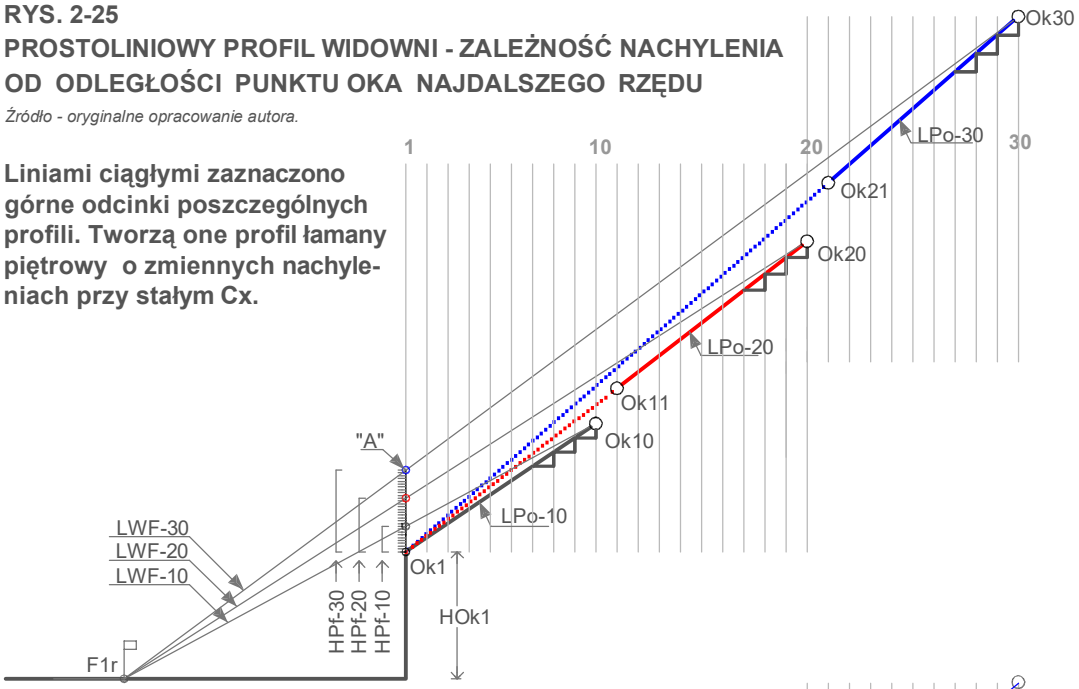
2.4.1.4. Profil prostoliniowy łamany

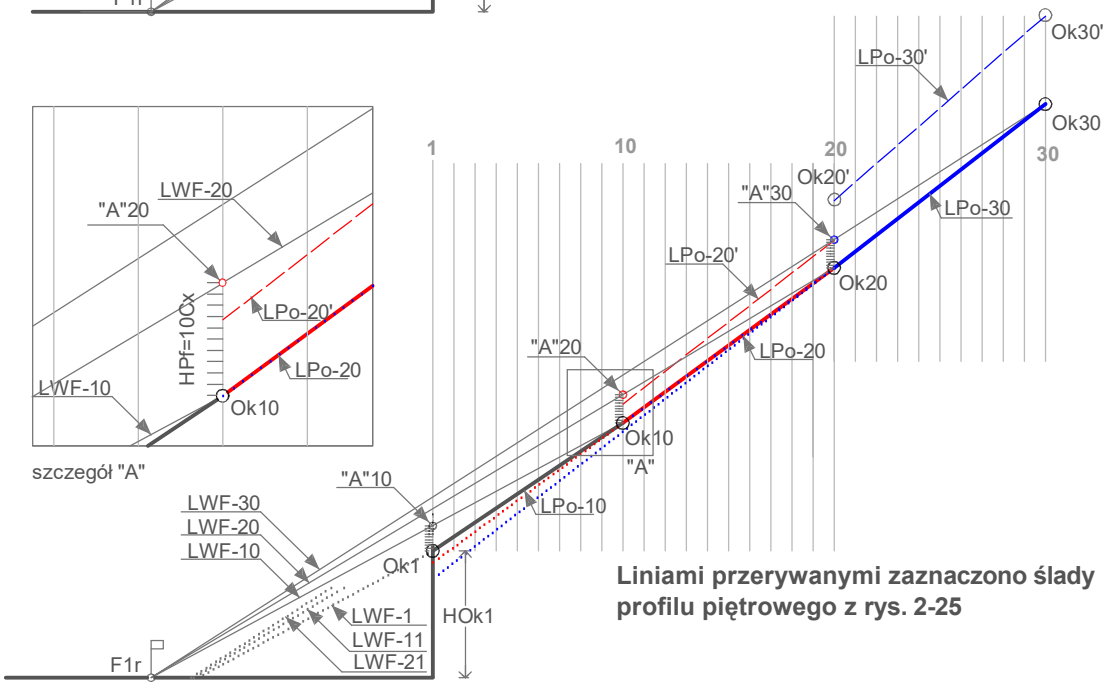
Przy dużej głębokości widowni, równej np.70 rzędów, czyli takiej jaka występuje na stadionach o pojemności widowni przekraczającej 40 tys. miejsc, np. widowni zachodniej *Stadionu Śląskiego*, dla przyjętych w przykładzie parametrów wyjściowych nachylenie LPo-70 wyniosłoby ok. 52º, a wysokość wyniesienia ostatniego rzędu osiągnęłoby blisko 85m. Wartości te daleko odbiegają od możliwych do zaakceptowania. Z analizy tej wynika, że zastosowanie profili prostoliniowych ciągłych ma swoje limity. Limity te wynikają z szybko postępującego, wraz ze zwiększaniem się liczby rzędów, przyrostu nachylenia płaszczyzny ocznej i wysokości wyniesienia najdalszego oka. Przekroczenie głębokości widowni równej ok. 30 rzędów powoduje, że z uwagi na jej stromość i wysokość korony, widownia taka przestaje spełniać standardy użytkowe i standardy bezpieczeństwa.

RYS. 2-25
PROSTOLINIOWY PROFIL WIDOWNI - ZALEŻNOŚĆ NACHYLENIA OD ODLEGŁOŚCI PUNKTU OKA NAJDALSZEGO RZĘDU

Źródło - oryginalne opracowanie autora.

Liniami ciągłymi zaznaczono górne odcinki poszczególnych profili. Tworzą one profil łamany piętrowy o zmiennych nachyleniach przy stałym Cx.





Liniami przerywanymi zaznaczono ślady profilu piętrowego z rys. 2-25

RYS. 2-26
PROSTOLINIOWY ŁAMANY PROFIL WIDOWNI: ZASADY MODELOWANIA METODĄ *NAJDALSZEGO OKA*

Źródło - oryginalne opracowanie autora.

LEGENDA

LPo-10,20,30 - Linia płaszczyzny ocznej z punktem najdalszego oka w rzędzie nr 10 i odpowiednio w rzędzie nr 20 i nr 30.

LPo- 20',30' - Linia plaszczyzn ocznych dla profilu piętrowego z rys. 2-25.

"A"- 10,20,30 - Punkt przewyższenia linii widzenia fokusu (LWF) na podziałce przewyższenia, odpowiadający punktowi oka odpowiednio w rzędach: nr 10, nr 20 i nr 30.

SPf - (21/30) - Szerokość pasma linii widzenia fokusu nominalnego obejmującego linie LWF odpowiednio: 21 do 30, 11 do 20 oraz 1 do 10.

Pozostałe oznaczenia jak dla rys. 2-23.

Fot. 2-9. Stadion *Allianz Arena,* Monachium, (2005). Przykład trzypiętrowej widowni o profilu prostoliniowym. W rzucie poziomym jest to widownia prostokreślna ze współśrodkowymi łukami w rejonie narożników boiska. Nachylenie trybun trzeciego piętra widowni wynosi 35º, przy przewyższeniu linii widzenia fokusu Cx=8,2cm. Wyniesienie najwyższego rzędu osiąga wymiar ok. 40m. Uwagę zwraca oszczędny układ dróg komunikacyjno-ewakuacyjnych, którego parametry mają wpływ na wydłużone czasy ewakuacji. Pojemność widowni osiągnięta dla celów Mistrzostw Świata w Piłce Nożnej (2006) wyniosła 66 600 miejsc siedzących. *Foto: M. Pelczarski.*

Wykorzystując tylko fragmenty każdego z trzech analizowanych profili (rys. 2-25), można uzyskać bardziej ekonomiczną widownię piętrową, składającą się z trzech prostoliniowych odcinków. Każdemu z tych odcinków odpowiada inny moduł wysokości stopnia trybuny, równocześnie jednak wszystkie profile składowe spełniają założone, jednakowe parametry wyjściowe.

Przekształcając profil piętrowy z przykładu przedstawionego na rys. 2-25 w profil ciągły, uzyskuje się profil prostoliniowy łamany. Konstrukcję geometryczną takiego profilu przedstawiono na rys. 2-26. Podobnie jak w wyżej omówionych przypadkach, wykorzystano tu metodę „najdalszego oka". Przy ustalaniu płaszczyzny ocznej poszczególnych odcinków profilu postępuje się identycznie jak w profilu długim przedstawionym na rys. 2-23, przy czym przy wykreślaniu profilu prostoliniowego łamanego podziałki przewyższenia LWF ustawia się nad ostatnim okiem poprzedniego odcinka, które jest równocześnie okiem początkowym następnego odcinka.

W prezentowanym przykładzie wysokość podziałki przewyższenia dla pierwszego odcinka wynosi HPf=(n-1)Cx=9Cx, gdyż obejmuje on rzędy od 1 do 10. Podziałkę tę sytuuje się nad punktem oka pierwszego rzędu(Ok1). Prowadząc linię LWF z punktu fokusu (F1) przez punkt „A"10 podziałki przewyższenia do przecięcia z linią rzędu nr 10 podziałki widowni, uzyskuje się punkt oka Ok10. Łącząc ten punkt z punktem Ok1 linią prostą, otrzymuje się linię płaszczyzny ocznej tego odcinka (LPo-10). Przy ustalaniu pozycji punktu oka w rzędzie nr 20 postępuje się analogicznie. Wysokość podziałki przewyższenia (HPf) obejmuje w tym przypadku rzędy nr 10 do 20 i wynosi 10Cx. Przez punkt „A"20 prowadzi się linię LWF-20 i odnajduje położenie punktu OK20 na odpowiedniej linii podziałki widowni. Łącząc ten punkt z punktem OK10, wykreśla się linię płaszczyzny ocznej LPo-20. Przy rysowaniu ostatniego odcinka profilu postępuje się według tej samej procedury.

Uzyskany profil łamany zapewnia widzenie fokusu rzeczywistego, którym może być obligatoryjny punkt położony np. na linii bocznej boiska z przewyższeniem rzeczywistym minimalnym Cr(min)=Cx dla wszystkich punktów oka, usytuowanych w załamaniach profilu. Linie widzenia fokusu rzeczywistego dla wszystkich pozostałych punktów oka należących do profilu charakteryzują się przewyższeniami o wartości Cr>Cx. Zaletą profilu prostoliniowego łamanego ciągłego jest znaczne obniżenie pozycji najwyższego oka (Ok20, Ok30), w porównaniu z profilem prostoliniowym zwykłym lub piętrowym (Ok20`, Ok30`). W istocie obniżeniu ulegają całe płaszczyzny oczne (LPo-20 i LPo-30). Płaszczyzny te mają ponadto łagodniejsze nachylenia niż w porównywanych profilach. Największą jednak korzyścią zastosowania profilu prostoliniowego łamanego jest zmniejszenie szerokości pasma linii widzenia fukusu (SPf). Jedno pasmo o znacznej szerokości, obejmujące całą widownię, zastępowane jest tu szeregiem pasm wąskich, ogniskujących się w rejonie punktu fokusu rzeczywistego (F1), podobnie jak to ma miejsce w profilu krzywoliniowym. Profil prostoliniowy łamany, łączy więc zalety profilu krzywoliniowego i prostoliniowego. Nawiasem mówiąc, z rozważań powyższych wynika, że profil krzywoliniowy jest w istocie szczególnym profilem prostoliniowym łamanym, o krótkich odcinkach, równych głębokości jednego rzędu, w którym poszczególne płaszczyzny oczne obejmują dwa sąsiednie punkty oka, przesunięte o głębokość rzędu.

Jednym z problemów towarzyszących projektowaniu profili prostoliniowych łamanych jest zmiana wysokości stopnia trybun, występująca na załamaniach profilu. Powoduje to komplikacje związane ze zmianą wysokości stopni schodów komunikacyjno--ewakuacyjnych. Najczęściej spotykanym sposobem rozwiązywania tego problemu jest stosowanie spoczników w miejscach załamań profilu, spoczniki bowiem przerywają ciągłość biegu schodowego.

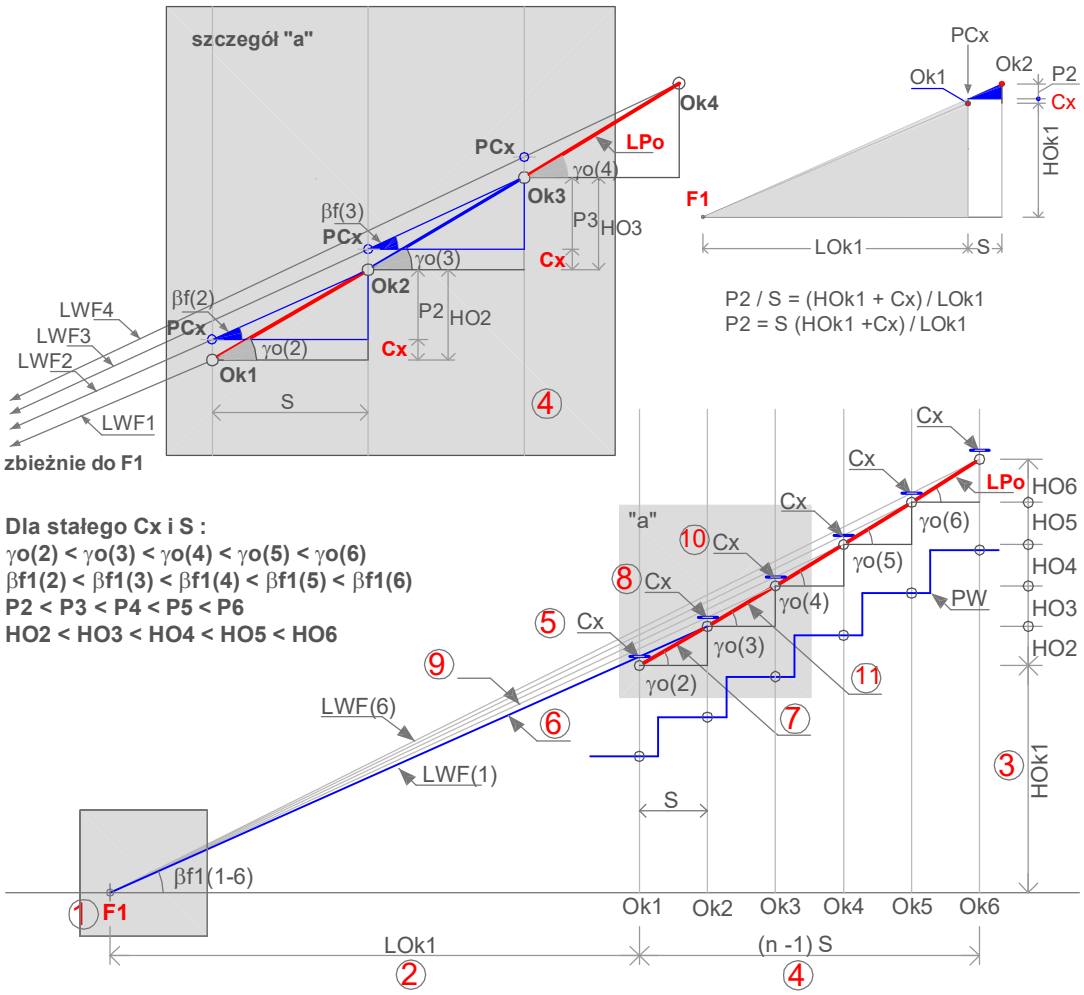
2.4.2. Krzywoliniowy profil widowni

Charakterystyczną cechą krzywoliniowego profilu widowni jest właściwość polegająca na tym, że linie widzenia założonego fokusu bliższego (LWF) dla każdego nominalnego punktu oka (Okx) należącego do profilu, przebiegając z jednakowym przewyższeniem (Cx) nad okiem rzędu poniższego, ogniskują się dokładnie w punkcie tego fokusu (F1). Dzięki temu profil ten zapewnia jednakowe warunki widzenia założonego punktu fokusu dla wszystkich punktów oka profilu (rys. 2-27). Punkty oka poszczególnych rzędów widowni, spełniające opisane warunki, leżą na tzw. *krzywej idealnej,* która jest krzywą paraboliczną. Linia oczna tworzy „łańcuchową" linię łamaną, składającą się z odcinków prostych, łączących dwa sąsiednie punkty oka. W istocie jest to profil prostoliniowy łamany, w którym odcinki składowe obejmują parę punktów ocznych. Każdy z tych odcinków ma inne nachylenie, zwiększające się w miarę powiększania się odległości od punktu pierwszego oka. Cechą wyróżniającą tego profilu jest sukcesywne zwiększanie się wysokości stopnia trybuny w każdym następnym rzędzie, w miarę oddalania się od punktu fokusu. Wynika to z przyrostów przewyższenia oka (Px) w każdym następnym rzędzie, w stosunku do rzędu poprzedniego. Przez przewyższenie oka (Px) rozumie się wyniesienie punktu oka w określonym rzędzie (Okn) ponad nominalny punkt przewyższenia (PCx) nad punktem oka w rzędzie poprzednim (Ok(n-1)).

Wykreślanie profilu rozpoczyna się od zdefiniowania położenia punktu oka pierwszego rzędu (Ok1), czyli od ustalenia jego oddalenia od fokusu (LOk1) i wysokości wyniesienia (HOk1) (rys. 2-27). Decyzji wstępnej wymagają też ustalenia wartości przewyższenia linii widzenia fokusu (Cx) oraz głębokości rzędu (S). Następnie należy wyrysować podziałkę widowni w postaci szeregu linii pionowych, które odzwierciedlają pionowe osie punktów ocznych, rozstawione w odstępach głębokości rzędu (S). Pozycję oka w drugim rzędzie ustala się rysując linię widzenia z punktu F1 poprzez punkt przewyższenia (PCx) nad pierwszym okiem, do przecięcia z linią podziałki widowni odpowiadającej drugiemu rzędowi. Punkt przecięcia się tych linii jest punktem Ok2. Punkt przewyższenia (PCx) odmierza się wcześniej na podziałce widowni pierwszego rzędu w odległości Cx nad punktem oka Ok1. Łącząc punkt Ok1 i Ok2 linią prostą uzyskuje się linię oczną LPo(1-2), która jest przekrojem płaszczyzny ocznej Po(1-2). Punkty oka w kolejnych rzędach wykreśla się powtarzając opisaną procedurę. W wyniku powstaje pęk linii widzenia, które są zbieżne w punkcie fokusu (F1), a każdą z nich cechuje inne nachylenie βf1(1-n), wzrastające sukcesywnie wraz z powiększaniem się liczby rzędów. Odcinki linii ocznej (Lo) zmieniają swoje nachylenie γo(2-n) wg tej samej reguły, tworząc linię łamaną, opisaną na krzywej parabolicznej.

W praktyce projektowej wykreślanie profili krzywoliniowych odbywa się automatycznie, dzięki specjalistycznym programom komputerowym. Program rysuje układ punktów oka, a często też gotowy profil architektoniczno-budowlany powierzchni widowni. Komputer, oprócz wykresu profilu, może również podawać zestaw współrzędnych liczbowych (x,y,z) opisujących każdy jego punkt. Jest to szczególnie przydatne przy wymiarowaniu rysunków wykonawczych oraz przy tyczeniu geodezyjnym w trakcie budowy. Profile krzywoliniowe widowni zachodniej *Stadionu Śląskiego* powstały w wyniku wykorzystania programu komputerowego[51] stworzonego specjal-

[51] Autorami programu *FOCUS* tzw. nakładki do programu *AutoCad* są: odpowiedzialny za opracowanie projektu *Modernizacji Stadionu Śląskiego* w graficznych technikach komputerowych, architekt Wiesław Niewiadomski i współpracujący z nim informatyk Teodor Winkler.



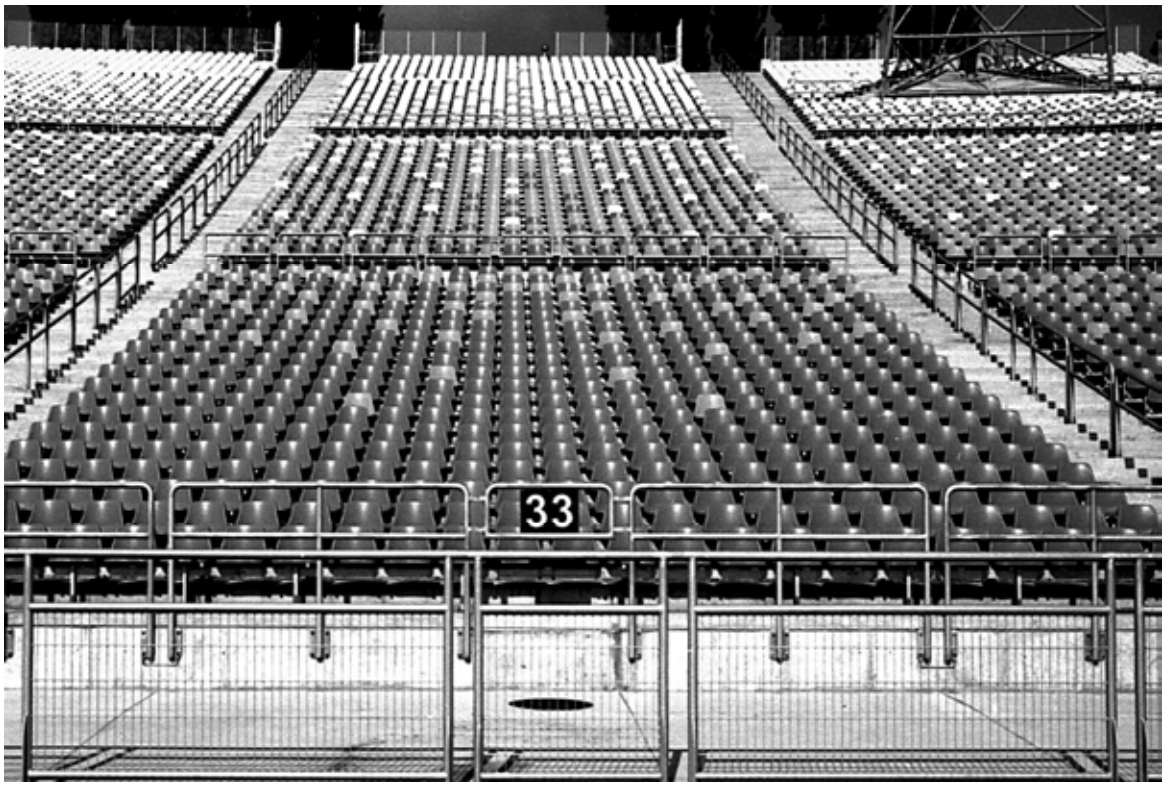
RYS. 2-27
ZASADY KSZTAŁTOWANIA WIDOWNI O PROFILU KRZYWOLINIOWYM

Źródło - oryginalne opracowanie autora.

LEGENDA

F1	**-Fokus bliższy wspólny dla wszystkich punktów oka profilu.**
LOk1	**-Odległość pozioma oka pierwszego rzędu (Ok1) od punktu fokusu.**
HOk1	**-Wyniesienie oka pierwszego rzędu (Ok1) - bezwzględne.**
S	**-Poziome, względne przesunięcie oka (głębokość rzędu).**
Cx	**-Dowolne przewyższenie linii widzenia fokusu (LWF).**
PCx	**-Punkt dowolnego przewyższenia (Cx) nad okiem poprzedniego rzędu.**
Ok(1-6)	**-Pozycje punktu oka w poszczególnych rzędach nr1 do nr6.**
LWF(1-6)	**-Linie widzenia fokusu z poszczególnych punktów oka.**
βf1(1-6)	**-Kąty nachylenia linii widzenia fokusu (zmienne dla każdego rzędu).**
P(2-6)	**-Przewyższenie oka w rzędach nr2 do nr6.**
HO(2-6)	**-Względne wyniesienie oka w rzędach nr2 do nr6.**
LPo	**-Linia płaszczyzny ocznej; odcinki l. prostej łączącej kolejno wszystkie p. oka**
γo(1-6)	**na rzutni pionoewgo profilu widowni.**
PW	**-Kąty nachylenia linii ocznej, zmienne dla każdego rzędu widowni.**
	-Profil trybun; odzwierciedla schodkową linię profilu widoczności po obniżeniu o wartość nominalnej antropometrycznej wysokości ocznej (120cm).
1 11	**-Indeksami oznaczono kolejność czynności przy wykreślaniu profilu.**

Fot. 2-10. *Stadion Śląski,* Chorzów, (1997). Widownia zachodnia. Przykład widowni łukowej o profilu krzywoliniowym. Widok w kierunku areny – wyraźnie widoczna krzywa paraboloidalna profilu. Po lewej rozbieralna bariera bezpieczeństwa pomiędzy megasektorami. *Foto: autor.*



Fot. 2-11. *Stadion Śląski,* Chorzów, (1997). Widownia zachodnia. Przykład widowni łukowej o profilu krzywoliniowym. Widok z poziomu areny na sektor nr 33. Łukowa linia rzędów uzyskiwana jest w wyniku zastępowania teoretycznego łuku odcinkami linii prostej, stanowiącej cięciwy tego łuku. Szerokość sektora tworzona jest z trzech takich odcinków - czwartym jest odcinek ustalający szerokość schodów południkowych. *Foto: autor.*

nie na potrzeby projektowe tego zadania. Zespół projektantów posługiwał się nim w całym okresie tworzenia dokumentacji. Szczególnie przydatny był w fazie strategicznych decyzji projektowych, dotyczących pionowej i poziomej geometrii widowni, kiedy wymagane było znalezienie kompromisowych rozwiązań spełniających równocześnie wymogi użytkowe i ściśle określone inwestorskie założenia ekonomiczne. Nieocenioną zaletą programu jest szybkość działania i łatwość posługiwania się nim. Od wprowadzenia danych wyjściowych profilu do otrzymania jego graficznego i liczbowego obrazu upływa zaledwie kilka sekund. Pozwala to n tworzyć w krótkim czasie wiele profili, przeprowadzać szybką analizę porównawczą efektów i świadomie wybierać najkorzystniejsze rozwiązania. W tym miejscu nasuwa się refleksja na temat postępu w dziedzinie projektowania widowni, zarówno tempa, w jakim ten postęp się dokonuje, jak i jego zakresu. Do czasu rozpowszechnienia komputerowych technik graficznych, podstawowym narzędziem definiowania profili widowni były metody obliczeniowe, gdyż tylko one dawały wymaganą dokładność w wymiarowaniu profilu. Metody graficzne, znane od lat trzydziestych dwudziestego wieku, z uwagi na tradycyjne sposoby kreślarskie, były niewystarczająco dokładne dla celów wykonawczych. Stosowano je głównie w fazie wstępnej, dla zdefiniowania koncepcji rozwiązania. Rysunki wykonawcze poprzedzano żmudnym procesem obliczania, rząd po rzędzie, parametrów profilu widowni. Obliczenia wykonywano za pomocą suwaka logarytmicznego, wspomagając się specjalistycznymi tabelami liczbowymi. Dziś twierdzenia o wyższości metod obliczeniowych nad wykreślnymi utraciły aktualność. Komputerowe techniki graficzne są bowiem podstawowym narzędziem projektanta widowni. Komputer rysuje i liczy równocześnie profile z nieograniczoną dokładnością, umożliwia też precyzyjne mierzenie i wymiarowanie, jak również trójwymiarowe przestrzenne projektowanie i rysowanie. Istnieją programy umożliwiające tworzenie obrazów pola widzenia dla każdego miejsca widowni, a nawet animacji dynamicznej, odzwierciedlającej zmienny obraz ruchomej akcji toczącej się na arenie.

Jedna z metod obliczeniowych, umożliwiająca definiowanie profilu krzywoliniowego, opiera się na wykorzystaniu podobieństwa trójkątów prostokątnych, tj. trójkąta o przyprostokątnych LOk1 i (HOk1+Cx) i trójkąta o przyprostokątnych S i P2 (rys. 2-27). Z zależności P2/S=(HOk1+Cx)/LOk1 wynika, że przewyższenie oka w rzędzie nr 2 wynosi: P2=S(HOk1+Cx)/LOk1. Mając wartość P2, można określić wysokość wyniesienia oka w drugim rzędzie: HOk2=Hok1+P2+Cx, a wartość poziomego przesunięcia Ok2 względem fokusu F1 wynosi LOk2=LOk1+S. Przewyższenie P3 punktu oka Ok3 oblicza się wg wzoru: P3=S(HOk2+Cx)/LOk2. Kolejne przewyższenia (Pn) oblicza się analogicznie, mając parametry usytuowania oka w rzędzie poprzednim HOk(n-1) i LOk(n-1).

Profil krzywoliniowy ustala takie rozmieszczenie nominalnych punktów oka, że z każdego z nich widoczny jest ten sam punkt fokusu, a linia widzenia tego punktu przebiega przez punkt przewyższenia PCx, usytuowany w jednakowej odległości Cx ponad każdym punktem oka. Przy przewyższeniu równym Ca, linia LWF przebiega stycznie do wierzchołka głowy w rzędzie niższym, jest więc najniższą z możliwych linii niezakłóconego widzenia. Poprawę komfortu widzenia uzyskuje się przez zwiększenie przewyższenia Cx, co powoduje podnoszenie linii LWF.

Przy widowniach łukowych linie fokusów układają się równolegle do linii łuków widowni. Ponieważ linia boczna boiska, czyli linia fokusów rzeczywistych, leży w większym oddaleniu, rzeczywiste przewyższenia (Cr) są większe. Wystarczy wówczas stosować przewyższenie Cx=Ca, by osiągać dobre warunki widzenia.

Oddzielnym zagadnieniem jest umowność przyjętej metody z uwagi na nominal-

ną wysokość oczną HO=120cm. Precyzja, z jaką, przy znacznych nakładach, osiąga się efekt ogniskowania linii widzenia w punkcie fokusu dotyczy grupy widzów stanowiących tylko fragment całej populacji. Przewyższenia linii LWF widzów niższych, których wysokość oczna wynosi mniej niż 120cm będą mniejsze niż nominalne. Widzowie ci będą widzieć linię fokusów z zakłóceniami.

Różnice wysokości sąsiednich stopni trybuny wynoszą w praktyce ok. 1-3mm. W przypadku widowni zachodniej *Stadionu Śląskiego,* która liczy 70 rzędów, najniższy rząd ma 11cm wysokości, najwyższy zaś 36cm. (średnio na jeden stopień przypada 3,3mm przyrostu wysokości). Tak fizycznie niewielkie różnice wymiarowe oraz fakt ich zmienności, wynikający z parabolicznej linii profilu, wymaga szczególnej precyzji wykonawstwa i stosowania odpowiednich technologii budowlanych. Przyrosty wysokości stopni trybuny o profilu krzywoliniowym powodują, że schody południkowe w korytarzach komunikacyjno-ewakuacyjnych mają również zmienną wysokość stopnia. Ponieważ na każdą wysokość stopnia trybuny przypadają dwie lub trzy wysokości stopnia schodów, przyrosty ich wysokości wynoszą ok. 1mm. Zwiększanie wysokości stopni ma charakter płynny. Dzięki temu użytkownik schodów o takiej właściwości nie zauważa zmian geometrii stopnia. Doświadczenia autora, oparte na obserwacjach własnych, prowadzonych m.in. na użytkowanych widowniach *Stadionu Śląskiego* wykazują, że użytkownicy podczas poruszania się w górę mają wrażenie, iż idzie im się coraz ciężej; kojarzą to jednak raczej z wysiłkiem związanym z długością przebytej drogi niż z faktem systematycznego zwiększania się wysokości stopnia schodów. Przy schodzeniu występuje zjawisko odwrotne, im niżej tym idzie się łatwiej, mimo że przybywa długości drogi. Ponieważ głębokość stopni ma wartość stałą dla całej widowni, a ich wysokość zmienia się sukcesywnie, wg opisanych powyżej zasad, to schody na widowniach o profilu krzywoliniowym nie odpowiadają algorytmowi schodów wygodnych (2h+s=63). Mimo to jednak, z uwagi na omówione powyżej właściwości użytkowe, normy dopuszczają ich stosowanie.

Realizacja regularnych schodów, z zachowaniem powtarzalności geometrii stopni możliwa jest jedynie na widowniach o profilach prostoliniowych. W tym przypadku możliwe jest zastosowanie schodów wygodnych, których geometria regulowana jest algorytmem 2h+s=63.

W dalszej części pracy autor przedstawia propozycje tworzenia profili widowni prostoliniowych, których geometria jest pochodną geometrii schodów wygodnych. Zagadnieniu temu poświęcono oddzielny rozdział w dalzej części tekstu.

Punkty oka poszczególnych rzędów leżą na linii krzywej parabolicznej. Jej przebieg zależy równocześnie od kilku parametrów. Należą do nich parametry charakteryzujące usytuowanie oka pierwszego rzędu, tj. odległość pozioma od punktu fokusu (LOk1) oraz wysokość wyniesienia (HOk1). Ponadto, parametry określające usytuowanie pozostałych, tworzących profil, punktów oka, takie jak: poziome przesunięcie punktów oka, równoznaczne z głębokością rzędu (S), przewyższenie linii widzenia fokusu (Cx), liczba rzędów (n), decydująca o głębokości widowni.

Ponieważ zmiany wartości poszczególnych parametrów powodują zmiany kształtu profilu, to parametry te można określić mianem determinant profilu. Projektowanie profilu polega na takim doborze wartości każdego z tych parametrów, by uzyskać założony efekt użytkowy, tj. założone warunki widoczności oraz komfort indywidualnego miejsca, przy akceptowalnym nachyleniu widowni.

2.4.2.1. Determinanta głębokości rzędu

Rozpatrzono trzy przykładowe profile o założonych stałych parametrach Cx=15cm, HOk1=2m, LOk1=12m i n=71 rzędów, w których głębokość (S) jest wartością

zmienną i wynosi S=85cm, 90cm, 95cm. Z analizy wynika, że zwiększanie głębokości rzędu powoduje zwiększanie głębokości widowni, zmniejszanie nachylenia trybun oraz zwiększanie wysokości wyniesienia najdalszego oka (Okn). Przyrost głębokości widowni ΔLx jest ilorazem przyrostu głębokości rzędu ΔS i liczby rzędów, pomniejszonej o jeden (n-1).

W przykładzie ΔLx=ΔS(n-1)=5cm×70= =350cm. Przy przyroście głębokości rzędu ΔS=10cm przyrost głębokości widowni wyniesie ΔLx=700cm. Ponieważ głębokość widowni limitowana jest maksymalnym zasięgiem widzenia, zwiększanie głębokości rzędu prowadzi w konsekwencji do zmniejszania liczby rzędów, a co za tym idzie zmniejszania pojemności widowni. W przypadku *Stadionu Śląskiego* głębokość rzędu zwiększono z 75cm do 85cm. Ponieważ krawędź korony stadionu pokrywała się z maksymalnym zasięgiem widzenia, doprowadziło to do zmniejszenia liczby rzędów z 79 do 70. Wyniesienie oka w najdalszym rzędzie (HOk71) zwiększa się o 100cm przy zwiększeniu głębokości rzędu z 85cm do 90cm i o 98cm przy zmianie głębokości rzędu z 90 cm do 95cm. Jest to stosunkowo niewielki skutek w porównaniu z przyrostami wynikającymi ze zmian pozostałych parametrów profilu, które omówiono w dalszej części tekstu.

2.4.2.2. Determinanta przewyższenia linii widzenia fokusu (Cx)

Kolejną determinantą profilu krzywoliniowego jest przewyższenie linii widzenia fokusu Cx. Zmiany przebiegu profilu, jako funkcji przewyższenia C, przeanalizowano na przykładzie czterech przykładowych profi o stałych parametrach, tj.: HOk1=2m, Lok1=24m, S=85cm i n=71 rzędów oraz zmiennych przewyższeniach wynoszących: Cx=12, 15, 20, 25cm. Porównanie tych profili wykazuje, że zwiększanie przewyższenia Cx skutkuje *podnoszeniem* się linii profilu, a co za tym idzie zwiększaniem nachylenia trybun, zwiększaniem wysokości stopni trybun i wysokości wyniesienia oka ostatniego rzędu. Przyrostowi wartości przewyższenia ΔCx=5cm, w przypadku rozpatrywanych profili, odpowiada przyrost wyniesienia najwyższego punktu oka ΔHOk(71)=6,20m. Przyrostowi ΔCx=1cm odpowiada przyrost wyniesienia ΔHOk(71)=1,24m.

Przewyższenie Cx jest podstawowym parametrem decydującym o jakości widzenia. Im większe Cx, tym większe obniżenie krawędzi obrazu w stosunku do linii fokusów oraz większa pewność, że nie dojdzie do zakłócenia widoczności w przypadku, gdy miejsce w rzędzie położonym poniżej zajmie osoba wyższa niż przyjęta nominalnie w celach projektowych (M50c).

Analiza zmian względnego wyniesienia oka w rzędzie najdalszym (HO71), równoznacznego z wysokością stopnia trybun jako funkcji Cx, wskazuje, że dla Cx=12cm, HO71=34,2cm, dla Cx=15cm, HO71= =40,9cm, dla Cx=20cm, HO71=52,3cm, a dla Cx=25cm, HO71=63,6cm. W analizowanym przypadku każdemu przyrostowi Cx o 1cm odpowiada przyrost wysokości ostatniego stopnia trybun ΔHO71=2,27cm.

Wysokość stopnia trybuny ma wpływ na wysokość stopni schodów południkowych. Przekroczenie wysokości 50cm wymaga stosowania balustrad czołowych, ze względów bezpieczeństwa i względów psychologicznych. Krytyczną wysokość stopnia trybun H=50cm profil PRF(Cx20) osiąga w rzędzie nr 54, a profil PRF(Cx25) już w rzędzie nr 30. Przyrosty wysokości stopnia w dolnej części profilu są wolniejsze, przyspieszają natomiast w miarę oddalania się od punktu oka pierwszego rzędu. Przyspieszenia te są tym większe, im większa jest wartość Cx.

Analiza wykazuje, że poprawa jakości obrazu poprzez zwiększanie Cx wiąże się ze znacznym wzrostem nakładów konstrukcyjno-materiałowych. Zwiększenie Cx np. o 10cm (z Cx=15 do Cx=25cm) powoduje przyrost wysokości bezwzględnej korony widowni o 12,4m. Wiąże się to z nakładami na konstrukcję wsporczą i komunikację pionową.

Z jednej strony przewyższenie jest bardzo czułym instrumentem wywierającym znaczny wpływ na przebieg profilu, z drugiej, wobec znacznych różnic antropometrycznej wysokości ocznej i całkowitej przypadkowości konfiguracji rozkładu widzów na widowni, wartość przewyższenia, która rozwiązuje ten problem, musi być większa niż 20cm.

Istotę zagadnienia, jego względność, uwidacznia fakt, że przewyższenia dające komfort widzenia powinny być co najmniej o 5cm większe od minimalnego Ca=12cm. Oznacza to, że linia widzenia przebiega zaledwie 5cm powyżej wierzchołka głowy nominalnego widza. Zupełnie krytycznie należy odnieść się do wartości Cx<12cm, zalecanych w wielu źródłach, a nawet w normach. Profil pochodny przewyższeniu Cx=20cm zapewnia zaledwie 8cm nadwyżkę nad punktem wierzchołka głowy. Dotyczy to oczywiście profilu opartego na antropometrycznych wartościach nominalnych, kiedy wysokość oczna HO=120cm. Profil ten ma stosunkowo dynamiczny przebieg i znaczne nachylenia. Dynamika ta potęguje się przy stosowaniu trybun piętrowych. Zagadnienie względności nominalnej wysokości ocznej (HO=120cm) oraz zagadnienia zależności geometrii schodów od profilu widowni omówiono szerzej w dalszej części pracy.

2.4.2.3. Determinanta wysokości pierwszego rzędu

Kolejnym parametrem mającym wpływ na kształt profilu widowni jest wysokość wyniesienia punktu oka w pierwszym rzędzie (HOk1). Analizie poddano dwa profile charakteryzujące się stałymi wartościami parametrów Cx=15cm, LOk1=24m, S=85cm i n=71 rzędów oraz zmienną wysokością HOk1=2m i 3m. Stwierdzono, że podniesienie punktu oka Ok1 o 1m powoduje podniesienie punktu najdalszego oka (Ok71) o 3,48m. Profil wyższy (PRF3m), charakteryzują też wyższe stopnie trybun. Skutkiem podniesienia położenia pierwszego oka jest zwiększenie względnego wyniesienia oka (HO71) w rzędzie najdalszym(Ok71) – z wartości 41,0cm do 44,5cm. Dalsze podnoszenie pierwszego oka powodować będzie coraz dynamiczniejsze podnoszenie się linii profilu, która przybierać będzie coraz bardziej strome nachylenia, podobnie jak to ma miejsce przy zwiększaniu wartości Cx. Stromość nachylenia profilu zależy bowiem od stosunku odległości pierwszego oka od punktu fokusu (LOk1) do wysokości wyniesienia tego oka HOk1. Im wartość ilorazu LOk1/HOk1 jest mniejsza, tym przebieg profilu jest bardziej dynamiczny. Iloraz ten dla profilu niższego (PRF-2m) wynosi 12, dla profilu wyższego (PRF-3m) wynosi 8, a dla kolejnych wartości HOk1 wzrastających o 1m, iloraz ten wyniesie odpowiednio: 6, 4.8, 4, 3.4, 3. Wartość tego ilorazu zależy na równi od wysokości wyniesienia HOk1, jak i od odległości LOk1. Zmniejszanie tej ostatniej prowadzić będzie do opisanych wcześniej przekształceń profilu.

Położenie punktu oka w pierwszym rzędzie decyduje o położeniu punktu przewyższenia (Pcx), ten z kolei ustala przebieg LWF z Ok2. Nachylenie linii LWF(OK1) jest najmniejsze, wszystkie następne muszą być nachyleniami większymi.

Wysokość HOk1 może wynikać z założeń projektowych dotyczących jakości obrazu. Im wysokość ta jest większa, tym wysokość obrazu pola gry większa (por. rys. 2-13 i rys. 2-14). Większa wysokość tego obrazu to większy kąt nachylenia linii widzenia granic bocznych boiska. Większy kąt widzenia to bardziej przestrzenny obraz i w przypadku piłki nożnej mniejsze nakładanie się obrazów zawodników, łatwiejsze rozróżnianie pozycji poszczególnych zawodników oraz większa czytelność wolnej przestrzeni pomiędzy nimi. Podnoszenie oka pierwszego rzędu poprawia jakość obrazu dolnych i najbliższych boiska miejsc widowni. Poprawa tych parametrów dotyczy automatycznie całej widowni, gdyż miejsca w dalszych rzędach również charakteryzuje większa bezwzględna wysokość

wyniesienia punktów oka. Innym powodem ustalenia znacznej wysokości HOk1 może być założenie zapewnienia bezpośredniego dostępu z pomieszczeń pod trybunami do powierzchni areny. Jeszcze innym – stworzenie naturalnej bariery, chroniącej przed przenikaniem widzów w obręb areny.

2.4.2.4. Determinanta odległości fokusu

Jak wspomniano wcześniej, parametrem, który na równi z wysokością wyniesienia oka pierwszego rzędu (HOk1) wpływa na ksztalt profilu widowni jest odległość tego oka od punktu fokusu (LOk1). Wykreślając dwa przykładowe profile o stałych parametrach Cx=15cm, HOk1=2m, S=85cm i n=71 rzędów oraz zmiennych odległościach LOk1=12 i 24m, przeprowadzono analizę porównawczą obrazującą skutki wywołane zmianą parametru LOk1 na przebieg profilu widowni. Stromość ta zależy, podobnie jak w przypadku opisanej już determinanty wyniesienia pierwszego oka, od stosunku LOk1/HOk1. Z analizy wynika, że im mniejsza odległość LOk1 przy stałej wartości HOk1, tym bardziej stromy profil widowni. W omawianym przykładzie różnica wysokości wyniesienia oka w najdalszym rzędzie (HOk71), spowodowana przybliżeniem punktu fokusu (F1) o 12m, wynosi ΔHOk71=9,29m. Przebieg profilu PRF-12m wynika z większych niż w profilu PRF-24m kątów nachyleń linii widzenia fokusu, co skutkuje większą wysokością stopni trybuny lub, inaczej, większą względną wysokością wyniesienia punktów oka w poszczególnych rzędach. Wysokość ta w przypadku najdalszego oka wzrasta z 41,0cm do 56,4cm. W profilu wyższym, przekroczenie krytycznej wysokości HO=50cm następuje w rzędzie nr 46, co oznacza potrzebę zastosowania bariery czołowej dla pozostałych rzędów nr 47-71. Profil niższy natomiast w żadnym miejscu nie przekracza krytycznej wysokości stopnia.

Przybliżenie widowni do pola gry, zwiększa wysokość kątową widzenia postaci zawodników i wysokość obrazu pola gry. Wpływa tym samym na lepsze parametry widzenia. Równocześnie jednak podnosi profil i zwiększa jego nachylenie, co wymaga większych nakładów materiałowych na konstrukcję wsporczą. Powoduje też komplikacje dotyczące schodów południkowych oraz wymaga barier czołowych w rzędach, w których wysokość stopnia trybun przekracza 50cm. Zjawiska te nasilają się znacznie przy zastosowaniu trybun piętrowych.

2.4.3. *Metoda Daniluka*

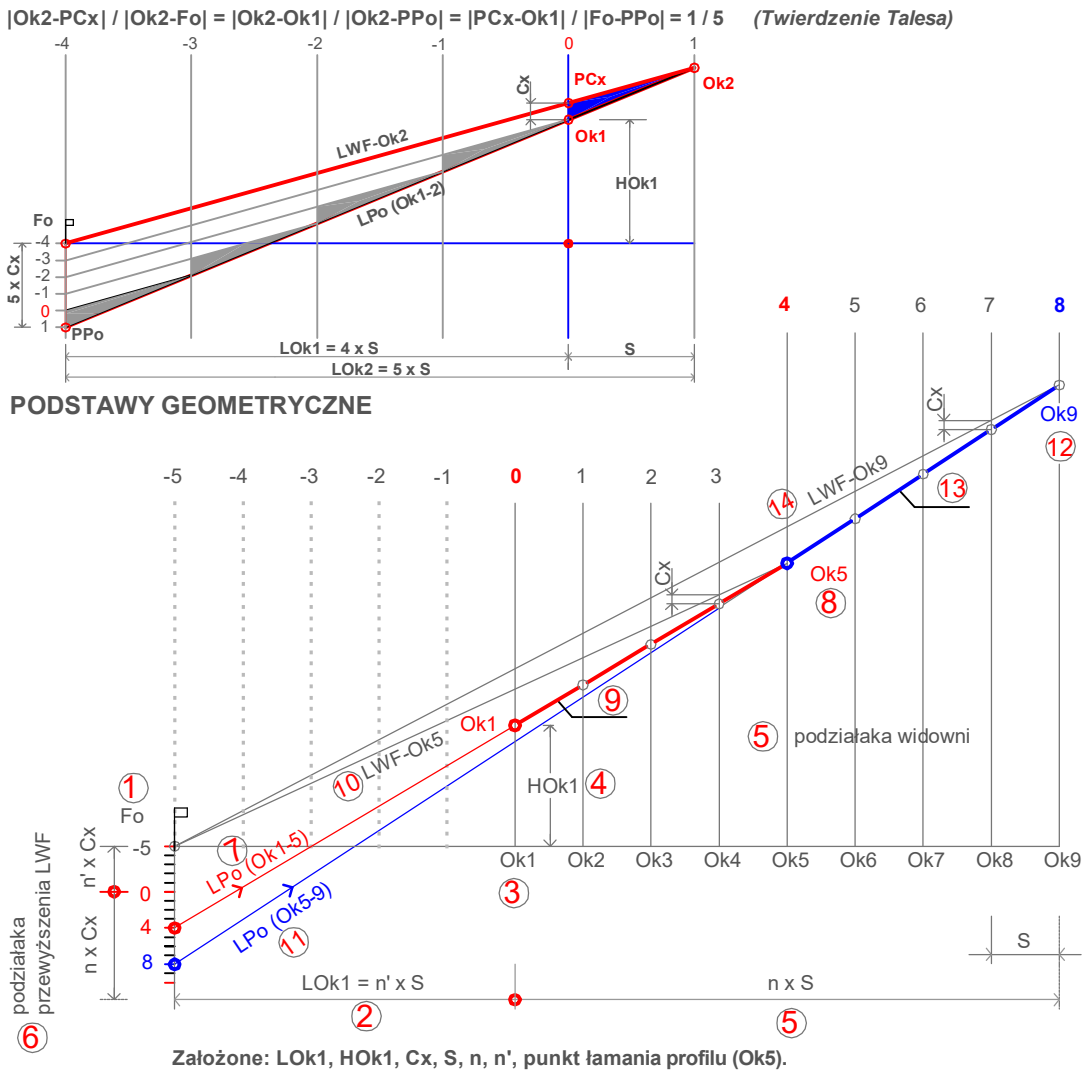
Graficzna metoda wykreślania profilu widowni, opracowana (1936) przez architekta A.M.Daniluka[52], wykorzystuje zależności geometryczne wstępujące pomiędzy liniami widzenia fokusu i nominalnymi płaszczyznami ocznymi, tj. płaszczyznami, na których leżą punkty oka dwóch lub więcej sąsiadujących ze sobą rzędów widowni. Zależności te przedstawiono na rys. 2-28. Daniluk zauważył, że trójkąty (Ok2-PCx-Ok1) i (Ok2-Fo-Ppo), powstające w rozwarciu linii widzenia fokusu (LWF-Ok2) i linii przekroju pionowego płaszczyzny ocznej (LPo) przebiegającej przez punkty oczne sąsiednich rzędów (Ok1 i Ok2), są trójkątami podobnymi. Dostrzegł też, że jeżeli odległość oka pierwszego rzędu od punktu fokusu będzie wielokrotnością modułu podziałki widowni (S), stanowiącego poziome przesunięcia oka, równe modułowi szerokości rzędu, to zgodnie z Twierdzeniem Talesa odcinek Fo-PPo, leżący

[52] Opis w języku polskim oryginalnej *Metody Daniluka* przedstawiony został przez Juliana Brzuchowskiego, por. *Urządzenia sportowe,*Praca zbiorowa pod redakcją R.Wirszyłło, Wydanie III, Arkady, Warszawa 1966. W kolejnym tj.wydaniu IV (ostatnim) z roku 1982 opis ten został całkowicie pominięty.

na pionowej linii podziałki przechodzącej przez punkt fokusu, jest pełną krotnością przewyższenia Cx. Krotność ta równa jest liczbie modułów (S) podziałki widowni określającej odległość rozpatrywanego punktu oka od punktu fokusu (LOk2). Prawidłowość tę można wykazać demonstracyjnie, prowadząc proste równolegle do linii widzenia fokusu (LWF-Ok2), przez punkty przecięć pionowych linii podziałki widowni z linią płaszczyzny ocznej(LPo). Konstrukcja ta dowodzi, że każde zwiększenie podziałki widowni o jeden moduł S, zwiększa podziałkę przewyższenia o jeden moduł Cx, a w konsekwencji na pionowej linii przechodzącej przez punkt fokusu (Fo) odkładane są kolejne odcinki Cx. Znajomość tych zależności umożliwia odnajdywanie położenia punktu oka Ok2 metodą wykreślną. Procedura tej metody wymaga ustalenia położenia punktu oka w pierwszym rzędzie(Ok1), zaczynając od określenia jego wysokości (HOk1). Następnie należy wprowadzić podziałkę widowni z założonym modułem (S), rysując ją po lewej i prawej stronie punktu Ok1. Kolejną czynnością jest ustalenie położenia punktu fokusu (Fo) przez określenie jego odległości (LOk1), jako krotności modułu podziałki widowni. Następnie należy poniżej punktu Fo odłożyć odpowiednią krotność wartości przewyższenia Cx, tworząc podziałkę przewyższenia na linii pionowej, przebiegającej przez punkt Fo. Ustalenie położenia oka Ok2 wymaga poprowadzenia linii prostej z punktu Ppo, przez punkt Ok1, do przecięcia z pionową linią podziałki odpowiadającej Ok2. Ustalenie położenia punktu Ppo na podziałce przewyższenia polega na odliczeniu liczby modułów Cx, równej liczbie modułów S, ustalających odległość Ok2 od punktu fokusu (LOk2). Postępując w ten sposób, uzyskuje się przebieg linii widzenia fokusu z oka Ok2 (LWF-Ok2), która przebiega nad Ok1,, z przewyższeniem Cx. Metoda umożliwia wykreślanie zarówno profili prostoliniowych, z uwzględnieniem profili prostoliniowych-łamanych, jak i profili krzywoliniowych.

Na rys. 2-28 przedstawiono przykład wykreślania profilu prostoliniowego-łamanego za pomocą, *Metody Daniluka*, zmodyfikowanej przez autora niniejszej pracy. Modyfikacja polega na ustaleniu zerowej linii podziałki widowni na pionowej linii oka pierwszego rzędu, a nie, jak w metodzie oryginalnej, na linii fokusu. W celu rozróżnienia podziałek dla poziomej odległości pierwszego oka od fokusu (LOk1) wprowadzona została ujemna numeracja podziałki. Podobnie ustalono numerację podziałki przewyższenia linii widzenia fokusu (LWF). Punkt zerowy podziałki usytuowany jest poniżej punktu Fo, a nie, jak w metodzie pierwotnej w punkcie Fo. Położenie zera odpowiada krotności Cx, równej krotności S w Lok1. Dzięki tym zmianom linia płaszczyzny ocznej (LPo) przecina linię zerową podziałki widowni na wysokości HOk1 i pada na podziałkę przewyższenia w punkcie zero. Wprowadzenie zerowej numeracji pierwszego rzędu powoduje również, że liczba modułów S i Cx jest równa numerowi linii podziałki. Wykreślanie pozycji oka na założonej linii podziałki, opatrzonej odpowiadającym jej numerem, polega na prowadzeniu linii z punktu podziałki przewyższenia o tym samym numerze przez punkt oka, ponad którym przebiegać ma poszukiwana linia widzenia fokusu, do przecięcia z linią podziałki widowni o tym samym numerze. W metodzie oryginalnej punkt początkowy na podziałce przewyższenia musi mieć numer o jeden wyższy niż na podziałce widowni.

Przy wykreślaniu profilu prostoliniowego-łamanego ustala się numery linii podziałek, na których nastąpić ma załamanie. Wyznaczanie pozycji oka w punkcie załamania polega na prowadzeniu linii z punktu podziałki przewyższenia o numerze zgodnym z numerem podziałki załamania przez punkt pierwszego oka na danym odcinku prostoliniowym profilu. Oznacza to, że dla pierwszego załamania będzie to punkt ostatniego oka należącego do poniższego odcinka profilu. Profil krzywolinio-



Założone: LOk1, HOk1, Cx, S, n, n', punkt łamania profilu (Ok5).

RYS. 2-28
MODELOWANIE PROFILU WIDOWNI - GRAFICZNA METODA A.M.DANILUKA (1936).
Modyfikacja metody oryginalnej. Przykład wykreślania profilu prostoliniowego-łamanego

Źródło - oryginalne opracowanie autora.

LEGENDA

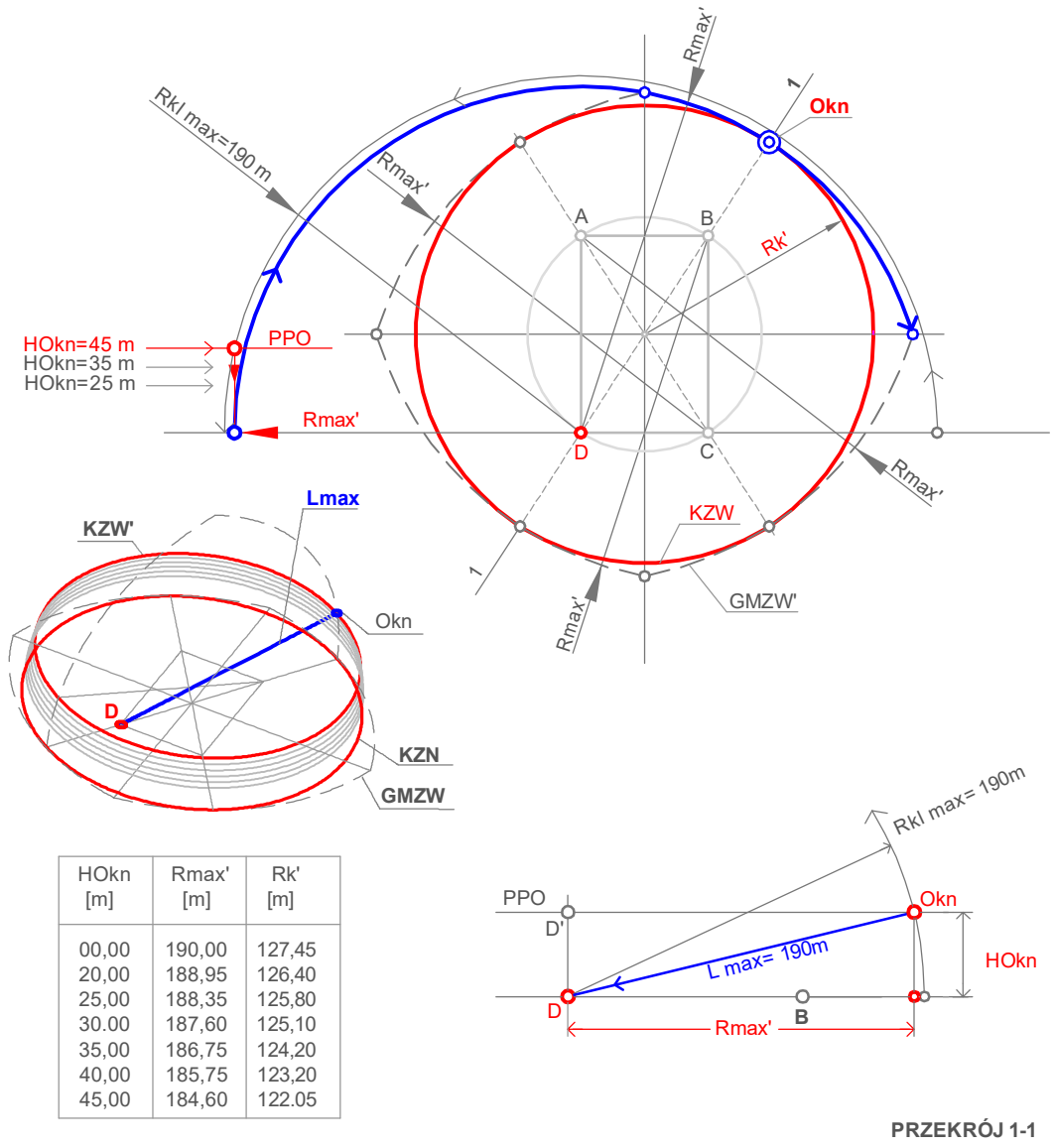
Ok1 - Pozycja oka widza pierwszego rzędu (rząd nr "0").
Ok5,9 - Pozycja oka w miejscach załamań profilu widowni.
LOk1 - Odległość pozioma oka pierwszego rzędu od punktu fokusu.
n - Krotność modułów S i Cx (podziałki widowni i podziałki przewyższenia LWF).
n' - Krotność modułów jak wyżej lecz dla LOk1.
HOk1 - Wyniesienie oka pierwszego rzędu (bezwzględne, odnoszone do poziomu areny).
S - Poziome przesunięcie oka (głębokość rzędu widowni), moduł podziałki widowni.
Fo - Fokus.
Cx - Dowolne przewyższenie linii widzenia fokusu; moduł podziałki przewyższenia LWF.
PCx - Punkt dowolnego przewyższenia (Cx) nad okiem poprzedniego rzędu.
LWF-Ok5,9 - Linia widzenia fokusu przez oko Ok5 i Ok9.
LPo(Ok1-5) - Linia plaszczyzny ocznej (przekrój pionowy tej płaszczyzny) obejmującej punkty oka od Ok1 do Ok5.
LPo(Ok5-9) - Jw. lecz dla punktów oka od Ok5 do Ok9.
PPo -Punkt przecięcia linii płaszczyzny ocznej (LPo) i linii pionowej, przebiegającej przez punkt fokusu.
(1) (12) -Kolejność czynności przy wykreślaniu profilu.

wy wykreśla się podobnie, przy czym odcinek prostoliniowy ma długość odpowiadającą jednemu rzędowi i dwóm sąsiednim punktom oka.

2.5. Graniczne położenie linii ocznej najdalszego rzędu

Zagadnienia ogólne dotyczące zasięgów widzenia omówiono w rozdziale 1. Dla uproszczenia wywodu, na rys. 1-12, 1-13 i 1-14, granice pola maksymalnego zasięgu widzenia (GMZW) oraz koła maksymalnego zasięgu widzenia (KZW) podano w postaci rzutu poziomego na płaszczyznę areny. W związku z faktem znacznego wyniesienia punktu oka najdalszego rzędu ponad poziom areny, które może nawet osiągać wartość ok. 45m, linia widzenia najdalej położonego punktu pola gry przebiega w rzeczywistości pod dużym nachyleniem. Dla ustalenia wymaganego zasięgu widzenia (dla piłki nożnej Lmax=190m) istotna jest rzeczywista długość tej linii przebiegającej w przestrzeni od punktu najdalszego oka (Okn), wyniesionego na wysokość HOkn, do najdalszego narożnika boiska. Na rys. 2-29 przedstawiono, opracowaną przez autora, metodę wyznaczania granicznych położeń oka w najdalszym rzędzie, z uwzględnieniem wysokości jego wyniesienia. Granicę maksymalnego zasięgu widzenia dla teoretycznego punktu oka leżącego na płaszczyźnie areny (wyniesienie Hokn=0) wyznacza się, wykreślając łuk będący fragmentem okręgu o promieniu Rmax=Lmax=190m, ze środkiem zlokalizowanym w najdalej położonym narożniku boiska. Cztery takie łuki, wykreślone ze wszystkich czterech narożników boiska, wyznaczają pole zasięgu widzenia. Inaczej mówiąc każdy punkt oka zlokalizowany we wnętrzu tego pola widzi najdalszy punkt boiska z odległości $L \leq Lmax$. Jeżeli jednak analizowany punkt najdalszego oka będzie się podnosić względem poziomu areny, wystąpi sytuacja jak na przekroju 1-1 (rys. 2-29). Ponieważ krytyczna odległość dobrego widzenia jest stała (Lmax), to położenia punktów oka muszą być wyznaczane w przekroju pionowym przez promień okręgu równy tej odległości (Rmax=Lmax). Łuk będący fragmentem tego okręgu jest zbiorem punktów oka jednakowo odległych od narożnika boiska (D) w pionowym przekroju 1-1, a w przestrzeni trójwymiarowej zbiorem tym jest wycinek powierzchni kuli o tym samym promieniu (Rmax).

Cztery takie powierzchnie wklęsłe wyznaczają przestrzenną granicę maksymalnego zasięgu widzenia dla piłki nożnej. Przecinając bryłę tworzoną przez te powierzchnie płaszczyzną poziomą poprowadzoną na wysokości najwyższego punktu oka (PPO), otrzymuje się linię oczną najdalszego rzędu. W celach projektowych można ją odrzutować na płaszczyznę areny i odczytać rzeczywisty promień (Rmax`) poziomego łuku granicy GMZW. W przypadku koła maksymalnego zasięgu widzenia (KZW), które tworzone jest przez okrąg o promieniu Rk=127 m wpisany w linie GMZW, przestrzenną granicę ustalającą zasięg widzenia stanowi powierzchnia kuli o tym właśnie promieniu, przy czym środek geometryczny kuli leży w środkowym punkcie boiska. Rzeczywistą wielkość koła (KZW`) dla założonego wyniesienia najdalszego oka uzyskuje się w wyniku przecięcia kuli płaszczyzną poziomą przebiegającą przez ten punkt oka. Na rys. 2-29 podano tabelaryczne zestawienie wartości promieni łuków Rmax` granic GMZW i promieni Rk` kół KZW, w zależności od wysokości wyniesienia najdalszego punktu oka (HOkn). Jak widać, różnice pomiędzy wartościami promieni dla wyniesień ekstremalnych są znaczne. Warto zauważyć, że do wysokości wyniesienia równej ok.25m różnice te są niewielkie i powiększają się gwałtownie po jej przekroczeniu. Dla ekstremalnej wartości HOkn=45m Rmax` zmniejsza o 5,4m,



HOkn [m]	Rmax' [m]	Rk' [m]
00,00	190,00	127,45
20,00	188,95	126,40
25,00	188,35	125,80
30.00	187,60	125,10
35,00	186,75	124,20
40,00	185,75	123,20
45,00	184,60	122.05

PRZEKRÓJ 1-1

RYS. 2-29

METODA WYZNACZANIA GRANICZNYCH POŁOŻEŃ OKA W NAJWYŻSZYM RZĘDZIE WIDOWNI (z uwzględnieniem zasięgu widoczności piłki nożnej Lmax=190m)

Źródło - oryginalne opracowanie autora.

LEGENDA

Rkl max - **Promień kuli, której powierzchnia jest zbiorem punktów jednakowo odległych od najdalszego narożnika boiska. Maksymalny zasięg widzenia piłki nożnej (Lmax = 190m) wyznaczany jest przez wycinki powierzchni czterech takich kul.**

PPO - **Pozioma płaszczyzna poprowadzona przez linię oczną najwyższego rzędu, będącą zbiorem punktów oka Okn, usytuowanym na wysokości HOkn.**

Rmax' - **Promień łuku wyznaczającego granicę maksymalnego zasięgu widzenia (GMZW') dla najwyższego rzędu widowni.Pole maksymalnego zakresu widzenia określają cztery łuki wykreślone na poziomej płaszczyźnie ocznej (PPO), których ogniskami są odrzutowane na tę płaszczyznę narożniki boiska (A,B,C,D).**

Rk' - **Promień koła zasięgu widzenia (KZW'), wykreślonego na płaszczyźnie PPO stycznie do linii granicy pola maksymalnego zasięgu widzenia (GMZW',Rmax') .**

a Rk` również o 5,4m w stosunku do wartości teoretycznych dla HOkn=0. Fakt ten jest o tyle istotny, że wpływa na znaczne zmniejszenie powierzchni widowni znajdującej się w polu dobrego widzenia, co w konsekwencji ma wpływ na pojemność widowni, wyrażaną liczbą miejsc.

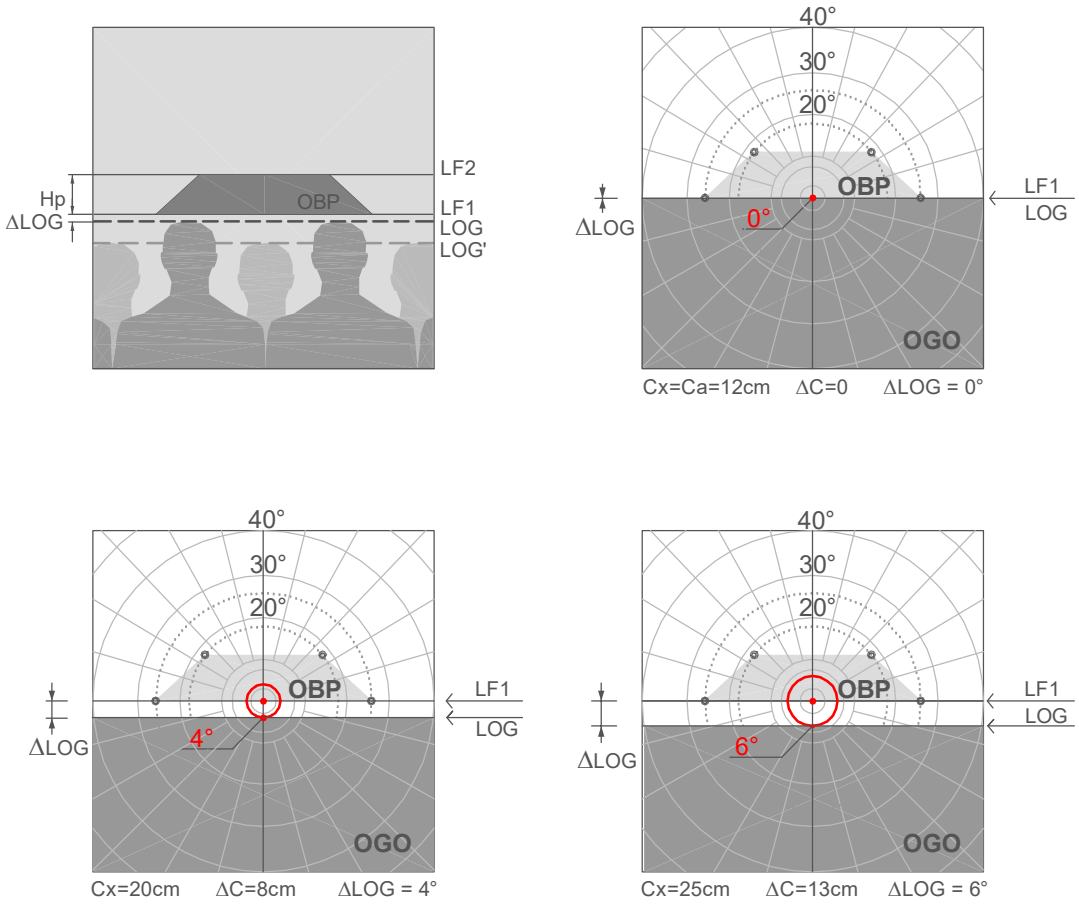
Właściwe parametry granic maksymalnego zasięgu widzenia można wyznaczyć graficznie, posługując się prostą metodą (rys. 2-29), wynikającą z powyższych zależności. Metoda ta polega na jednoczesnym wykorzystaniu wykresu jako rzutu poziomego i przekroju pionowego. Punktem głównym wykresu jest jeden z narożników boiska (D). Przez linię zabramkową (DC) prowadzi się linię prostą. Z punktu D zakreśla się łuk o promieniu Rkl max=190m, opierając go na tej prostej. Jest to promień kuli, której powierzchnia jest zbiorem punktów oka jednakowo odległych od narożnika D, widzianego z przeciwległej widowni. Na łuku tym odkłada się założoną wysokość wyniesienia najdalszego punktu oka (HOkn) poprzez poprowadzenie płaszczyzny ocznej najwyższych punktów oka(PPO). Punkt przecięcia łuku i linii PPO wyznacza pozycję punktu najwyższego oka. Punkt ten odrzutowuje się na prostą przechodzącą przez punkty D i C. Odległość odcinka D_Okn` jest promieniem łuku granicy maksymalnego zasięgu widzenia (Rmax`) dla linii ocznej na wysokości HOkn.

Następnie z punktu D należy wykreślić łuk o promieniu Rmax`, zaczynając od punktu Okn,` aż do przecięcia z osią poprzeczną boiska. Odcinek tego łuku zawarty pomiędzy osią podłużną i poprzeczną boiska w ćwiartce przeciwległej narożnikowi D jest granicą GMZW na wysokości HOkn dla tej ćwiartki. Rysując linię prostą przechodzącą przez punkty D i B (po przekątnej boiska) do przecięcia z łukiem GMZW` uzyskuje się punkt styczności tego łuku i koła KZW`. Wykreślając następnie ze środka boiska okręg przechodzący przez ten punkt, otrzymuje się koło maksymalnego zasięgu widzenia dla wysokości wniesienia najdalszego rzędu (KZW` o promieniu Rk`).

2.6. Anatomiczne pole widzenia a pole obserwacji

Na rys. 2-30 przedstawiono modelowo podstawowe relacje, jakie zachodzą pomiędzy anatomicznym polem widzenia a polem obserwacji (por.rozdz.1, p.1.3.2). Przyjęto, że punktem fiksacji nieruchomego oka, czyli punktem, na który pada centralna linia widzenia, jest punkt leżący na przecięciu osi poprzecznej boiska z jego bliższą linią boczną. W celu uczytelnienia rozważań, rozpatrzono przypadek, gdy punkt oka obserwatora znajduje się na osi poprzecznej boiska i usytuowany jest wysoko (HOk=33,48m) i daleko (LOkx= =64,33m) od bliższej linii bocznej boiska. Dla tego punktu oka obraz pola gry mieści się w pionowym kącie widzenia równym ok.11º oraz poziomym, wynoszącym ok.60º. Obraz zajmuje więc stosunkowo niedużą część pełnego anatomicznego pola widzenia. Relacje wielkości obu pól zmieniają się radykalnie w wyniku przybliżania obserwatora do obserwowanego obiektu, zwłaszcza w zakresie szerokości obrazu. Dla pozycji w pierwszym rzędzie, poziomy kąt widzenia bliższej linii bocznej boiska wynosi ok. 145º, a wiec jej obraz sięga peryferyjnych stref anatomicznego pola widzenia, widzianych wyłącznie jednym okiem, stref widzenia nieostrego i bez rozróżniania barw.

Większość obszaru poniżej poziomej osi anatomicznego pola widzenia zajęta jest przez obraz kilku rzędów widowni znajdujących się przed obserwatorem. Linia styczna do wierzchołków głów widzów w pierwszym rzędzie poniżej obserwatora



RYS. 2-30
WPŁYW WARTOŚCI PRZEWYŻSZENIA LINII WIDZENIA FOKUSU NA POŁOŻENIE LINII OGRANICZENIA POLA OBSERWACJI W ANATOMICZNYM POLU WIDZENIA

Źródło - oryginalne opracowanie autora.

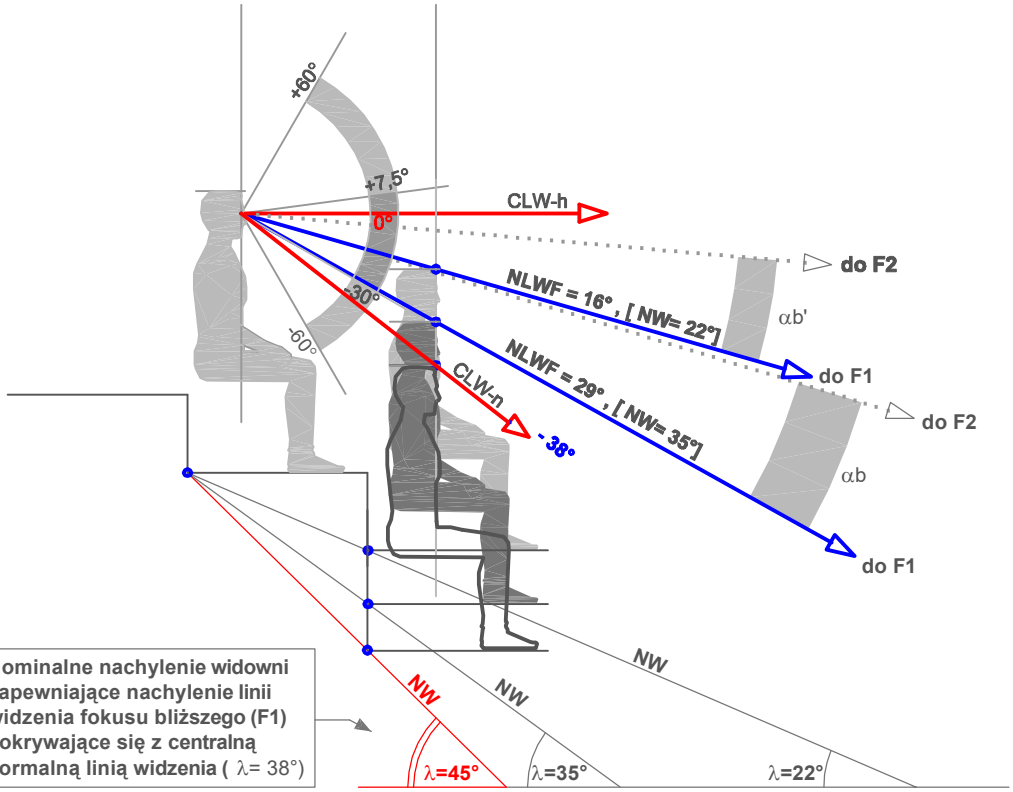
Analizę przeprowadzono dla przykładowego punktu oka usytuowanego na osi poprzecznej boiska, pozycja oka : HOk = 33.48m, Lx = 64,33m, głębokość rzędu widowni S=85cm. Rys. 2-30 należy rozpatrywać łącznie z rys. 1-4.

LEGENDA

LF1 - Linia fokusów bliższych.
LF2 - Linia fokusów dalszych.
Hp - Wysokość obrazu siatkówkowego pola obserwacji (boisko piłkarskie).
LOG - Nominalna linia ograniczenia pola obserwacji (styczna do wierzchołków głów widzów w pierwszym rzędzie poniżej obserwatora)
LOG' - Jw. lecz w drugim rzędzie poniżej obserwatora.
ΔLOG - Kątowe obniżenie LOG w stosunku LF1,
dla: Cx=12cm Δ LOG = 0°
Cx=15cm Δ LOG = 2°
Cx=20cm Δ LOG = 4°
Cx=25cm Δ LOG = 6°.
Ca - Minimalne przewyższenie linii widzenia fokusu równe antropometrycznemu wymiarowi odległości punktu środkowego oka od najwyższego punktu głowy (różnica pomiędzy wysokością ciała i wysokością oczną).
Cx - Dowolne przewyższenie linii widzenia fokusu.
ΔC - Wielkość przewyższenia oka ponad minimalne przewyższenie (Ca)
OBP - Obraz boiska piłkarskiego w anatomicznym polu widzenia (por. rys.1-4) .
OGO - Obszar ograniczający pole obserwacji

Fot. 2-12. Mecz Bundesligi na jednym z niemieckich stadionów (2006). Przykład zakłóceń widzenia linii fokusów (linia bramkowa). Ograniczenie widoczności ma miejsce na widowni o profilu zaprojektowanym zgodnie z obowiązującymi przepisami, czyli dla wysokości ocznej równej 120cm. Powodem zakłócenia jest fakt, że osoba siedząca przed obserwatorem należy do kategorii antropometrycznej znacznie przekraczającej parametry przyjęte przez normatyw projektowania. Zdjęcie ukazuje również wpływ obecnej w polu widzenia siatki piłkochwytu na jakość obrazu. *Foto: autor.*

Fot. 2-13. Obraz pola boiska widziany z najdalszego rzędu trybuny zabramkowej. Zdjęcie wykonano przy ogniskowej obiektywu równej ok.80mm, która jest zbliżona do ogniskowej oka (obrazy widziane przez oko patrzące przez obiektyw i oko nieuzbrojone są identyczne). Zdjęcie przedstawia relacje wielkości poszczególnych obiektów w polu widzenia – szczególnie wyraźne są relacje wysokości postaci stojącej na pierwszym planie i postaci zawodników na płycie boiska. *Foto: autor.*



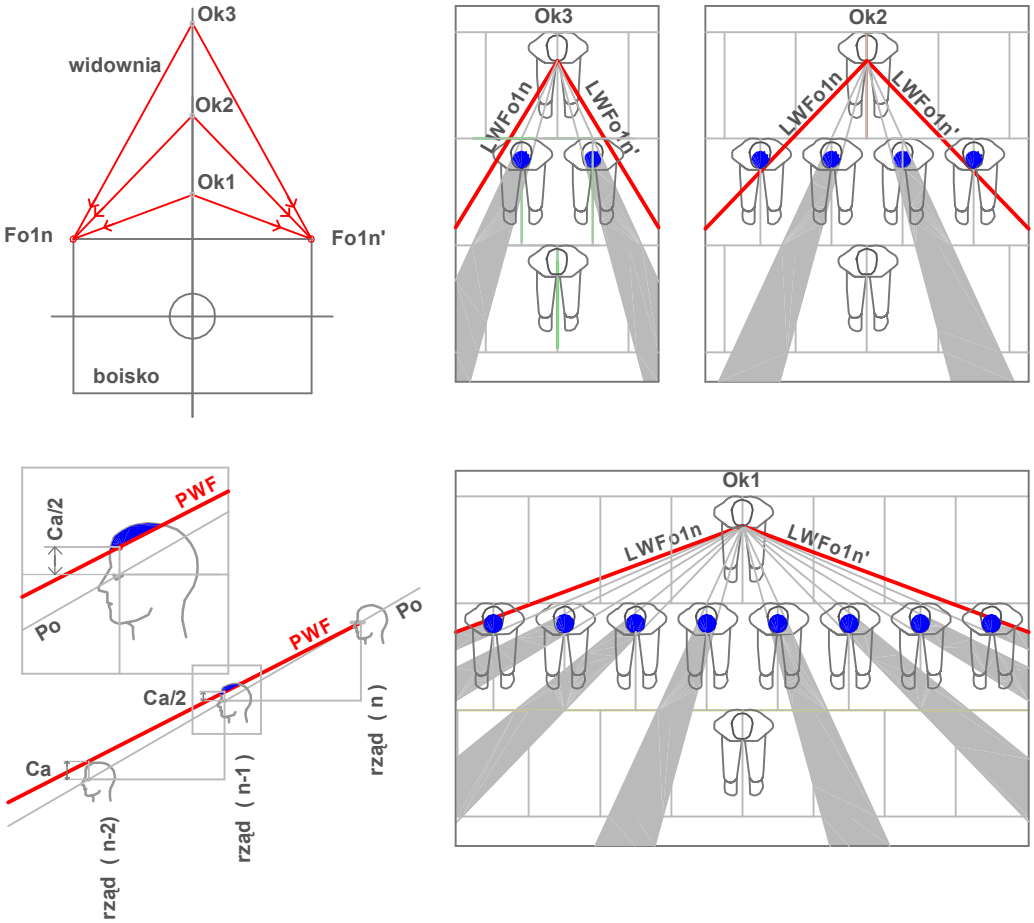
RYS. 2-31
RELACJE POŁOŻENIA CENTRALNEJ NORMALNEJ LINII WIDZENIA I LINII WIDZENIA KRAWĘDZI POLA BOISKA
Źródło - oryginalne opracowanie autora

Rozpatrywać łącznie z rys.1-9 oraz rys. 2-15 do 2-18.

Przedstawiona na rys. 2-31 analiza wykazuje, że najniżej położone linie widzenia, jakimi są linie widzenia fokusu bliższego, znajdują się znacznie powyżej centralnej normalnej linii widzenia tj. linii najbardziej naturalnego, wymagającego najmniejszego wysiłku ustawienia oczu i głowy podczas obserwacji w pozycji siedzącej. Widownia zapewniająca obserwację pola gry z wykorzystaniem linii widzenia o przebiegu zbliżonym do centralnej normalnej linii widzenia wymagałaby nachylenia wynoszącego około 45°.

LEGENDA

CLW-h - Centralna pozioma linia widzenia.
CLW-n - Centralna normalna linia widzenia.
NLWF - Nachylenie linii widzenia punktu fokusu.
NW - Nachylenie widowni.
F1 - Fokus bliższy.
F2 - Fokus dalszy.
λ - Kąt nachylenia widowni.
αb - Pionowy kat widzenia szerokości boiska z najdalszego miejsca widowni o maksymalnym, normatywnym nachyleniu (λ=35°).
αb' - Pionowy kat widzenia szerokości boiska z dolnych miejsc widowni, o łagodnym nachyleniu (λ=22°).



RYS. 2-32
PROFIL WIDOWNI O NAPRZEMIENNYM (SZACHOWNICOWYM) UKŁADZIE SIEDZISK I PRZEWYŻSZENIU NOMINALNYM Ca=12cm CO DRUGI RZĄD. ANALIZA WIDOCZNOŚCI LINII FOKUSÓW BLIŻSZYCH

Źródło - oryginalne opracowanie autora.

Z analizy wynika, że spotykana w literaturze przedmiotu teza o zaletach stosowania przewyższenia Ca=12cm co drugi rząd, przy szachowwnicowym układzie siedzisk, nie jest prawdziwa. Jak wykazuje powyższy rysunek, w rejonie najniższej widowni, który charkteryzują duże poziome kąty widzenia pola boiska występują poważne zakłócenia widoczności linii fokusów. Linia ta przesłaniana jest przez licznych widzów z rzędu sąsiedniego, położonego poniżej.

LEGENDA

LOk - **Pozioma odległość oka obserwatora od linii bocznej boiska.**
Ok1,2,3 - **Przykładowe pozycje widzów w obrębie widowni:**
Ok1 - rząd najbliższy (LOk=19m),
Ok2 - rząd w środkowej strefie widowni (LOk=54m),
Ok3- rząd najdalszy, na granicy strefy dobrego widzenia (LOk=94m).
Fo1n (n') - **Fokus usytuowany w narożnikach boiska.**
Po - **Nominalna płaszczyzna oczna; płaszczyzna wyznaczana położeniem oczu obserwatorów przy nominalnej względnej wysokości ocznej w pozycji siedzącej (H=120cm).**
PWF - **Płaszczyzna linii widzenia fokusów zlokalizowanych na linii bocznej boiska.**
LWFo1n (n') - **Linie widzenia fokusów zlokalzowanych w bliższych narożnikach boiska.**
Ca - **Przewyższenie antropometryczne nominalne: Ca=12 cm ; w przykładowym profilu widowni zapewnione co drugi rząd. Dla pierwszego rzędu poniżej obserwatora Cx = Ca/2 = 6cm.**

stanowi linię ograniczenia pola obserwacji (LOG). O jakości widzenia dolnej granicy pola gry decyduje odległość linii fokusów bliższych (linia boczna boiska, LF1) od linii ograniczenia obserwacji. Przy przewyższeniu antropometrycznym Ca=12cm, gdy linia widzenia przebiega stycznie do LOG, linie te się pokrywają. Przy zastosowaniu przewyższeń większych (Cx>Ca) linia ograniczenia pola obserwacji obniża się o wartość ΔLOG, powiększając margines widzenia pola przed linią fokusów. Wartość ΔLOG można wyrazić w mierze kątowej. Zależy ona od wielkości przewyższenia Cx. Dla Cx=Ca=12cm wielkość ΔLOG=0º, a przykładowo dla Cx=25cm przesunięcie ΔLOG=6º.

Istnienie tego marginesu zwiększa komfort widzenia, pozwalając na obserwację pracy sędziego bocznego i akcji, która często rozgrywa się na powierzchni tego pola. Umożliwia ponadto uzyskiwanie niezakłóconego widzenia linii fokusów w przypadkach, gdy w rzędzie niższym znajdzie się widz o wzroście przewyższającym wartość nominalną (w pozycji siedzącej Hnom=120+12=132cm). Szerzej o tym zagadnieniu autor pisze na końcu niniejszego rozdziału, przedstawiając problem uniwersalnego profilu widowni.

2.7. Rzeczywiste płaszczyzny widzenia a nominalny profil widowni

Ustalając profil widowni według zasad opisanych w p. 2.4 niniejszego rozdziału, otrzymuje się profil nominalny. Wynika to z jednej strony z przyjęcia normatywnych parametrów o wartościach nominalnych, takich jak wysokość oczna, minimalne przewyższenie czy głębokość rzędu, z drugiej – z zastosowania wartości założonych, takich jak oddalenie punktu fokusu czy nachylenie trybun. Profil ten jest konstruowany w pionowej płaszczyźnie, tzw. rzutni profilu, która jest prostopadła do linii krawędzi trybun. Forma przestrzenna widowni powstaje w wyniku przesuwania lub obracania profilu nominalnego po linii tworzącej. Jako tworzącą przyjmuje się najczęściej linię przebiegającą przez punkt fokusu. Będzie to wspólny punkt dla wszystkich rzędów w profilu krzywoliniowym lub punkt fokusu dla najdalszego rzędu w profilu prostoliniowym. W związku z powyższym, staje się ona równocześnie zbiorem punktów fokusu i dlatego nazywa się ją linią fokusów nominalnych. W przypadku widowni prostokreślnej, tworzącą będzie linia prosta, najczęściej pokrywająca się z linią boczną boiska. W przypadku widowni łukowej tworząca, równocześnie linia fokusów nominalnych, będzie łukiem równoległym do łuków widowni. Widownia zaś będzie formą obrotową, powstającą przez obrót profilu nominalnego wokół ogniska tego łuku. Linia fokusów nominalnych odzwierciedlać będzie owal, elipsę lub okrąg widowni.

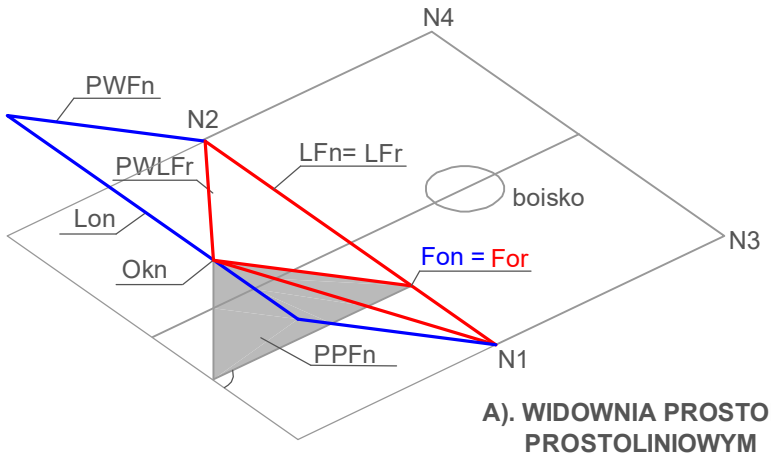
Jak już wspomniano wcześniej, projektowanie profilu widowni sprowadza się w zasadzie do definiowania położenia w przestrzeni linii widzenia fokusu. To zaś wymaga ustalenia położenia punktu fokusu i punktów oka, czyli powierzchni lub płaszczyzny ocznej profilu (por. p. 2.1). Nie zawsze obserwowanie krawędzi boiska odbywa się przy wykorzystaniu linii widzenia fokusów nominalnych, co wynika z różnic kształtu i położenia linii fokusów nominalnych i fokusów rzeczywistych. Przez pojęcie fokus rzeczywisty rozumie się punkt fokusu leżący na linii bocznej boiska. Zagadnienie to wyjaśnia rys. 2-33. Dla jasności wywodu w analizie rozpatrzono wyłącznie linię oczną najdalszego rzędu. Ilustracją przestrzenną układu linii widzenia fokusu nominalnego dla widowni prostokreślnej jest wycinek płaszczyzny powstającej w wyniku przesuwania tej linii po równoległych prowadnicach tworzonych przez linię oczną ostatniego rzędu i linię foku-

sów nominalnych. Linie widzenia fokusów rzeczywistych z danego punktu oka (Okn) tworzą powierzchnię trójkąta Okn_N1_N2. Ponieważ linia fokusów nominalnych pokrywa się z linią fokusów rzeczywistych, trójkąt ten leży na płaszczyźnie fokusów nominalnych. Gdyby linie fokusów nominalnych i rzeczywistych nie pokrywały się, obie powierzchnie miałyby różne nachylenie. W przypadku natomiast widowni łukowych, linie widzenia fokusów nominalnych utworzą powierzchnię wklęsłą, powstającą w wyniku ich radialnego przesuwania po prowadnicach łukowych, gdyż linia fokusów nominalnych i linia oczna analizowanego rzędu są łukami współśrodkowymi. Trójkąt widzenia linii fokusów rzeczywistych Okn_N1_N2 jest natomiast wycinkiem płaszczyzny, która ma tylko jeden punkt styczności z powierzchnią linii widzenia fokusów nominalnych, tj. punkt Okn, w związku z tym wszystkie linie widzenia bocznej granicy boiska przebiegają znacznie powyżej tej powierzchni. Dobrze to widać w przekroju pionowym (południkowym), prowadzonym przez punkt oka Okn (rys. 2-33B). Oznacza to, że parametry widzenia krytycznego obiektu, jakim jest bliższa krawędź pola gry, będą znacznie lepsze niż nominalnie założone dla projektowanego profilu. Najważniejszym z nich będzie, znacznie przekraczające nominalne, przewyższenie linii widzenia. Analiza powyższa dowodzi, że widownie na planie łukowym zapewniają lepsze warunki widoczności niż widownie na planie prostokreślnym. Ta przewaga rośnie jeszcze bardziej, gdy weźmie się pod uwagę zagadnienia poziomego kąta widzenia.

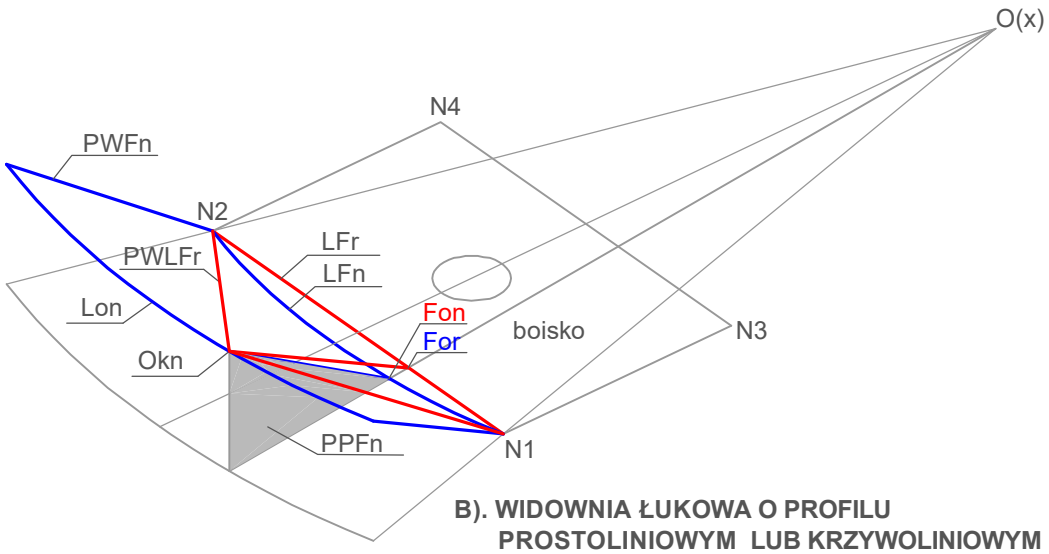
W strefach widowni zlokalizowanych w rejonie narożnika boiska, pod uwagę bierze się równocześnie dwie linie fokusów rzeczywistych, odpowiadające dwóm liniom bocznym boiska (rys. 2-34). Linie fokusów nominalnych dla widowni łukowej przyjmuje się zwykle tak, by przechodziły przez punkt narożnika. Punkt ten najczęściej jest też środkiem łuków ustalających geometrię tego segmentu widowni. Dla takich miejsc rozważa się projektowo dwie płaszczyzny widzenia linii fokusów rzeczywistych, przy czym punktem krytycznym jest sam narożnik. Jedną jest płaszczyzna trójkąta Okn2_N2_N1, drugą płaszczyzna trójkąta Okn2_N2_N3. Linie widzenia punktów fokusów rzeczywistych podnoszą się w miarę oddalania od punktu narożnika N2, osigając ekstremalne wartości nachyleń w narożnikach N1 i N3. Obserwacja tych punktów odbywa się przez podnoszenie osi optycznej oka o tzw. kąt podniesienia, co jest równoznaczne ze zwiększaniem przewyższenia w stosunku do nominalnego (rys. 2-34B).

2.8. Linie fokusów – wyznaczanie krytycznego pola widowni w rejonie narożnika boiska

Jak wykazano wcześniej (por. p. 2.7), krytycznym punktem w projektowaniu profilu widowni i ustalaniu jej geometrii jest narożnik boiska. Warunkiem zapewniającym widoczność całego pola gry jest usytuowanie prostokąta boiska we wnętrzu pola zakreślonego linią fokusów nominalnych. W związku z tym narożniki boiska należy projektować jako co najmniej styczne do linii fokusów nominalnych. Inaczej mówiąc, jeżeli granice pola boiska znajdują się wewnątrz obwodu linii fokusów nominalnych, to wszystkie miejsca widowni mają zapewnione co najmniej nominalne parametry widzenia tych granic. Jeżeli część pola boiska znajdzie się po stronie zewnętrznej nominalnej linii fokusów, to znaczy, że pole to będzie widziane przez część widowni z zakłóceniami widoczności. Im kształt widowni jest bardziej zbliżony do koła, tym większy dysonans w przebiegu linii fokusów nominalnych i rzeczywistych. Chcąc



A). WIDOWNIA PROSTOKREŚLNA O PROFILU PROSTOLINIOWYM



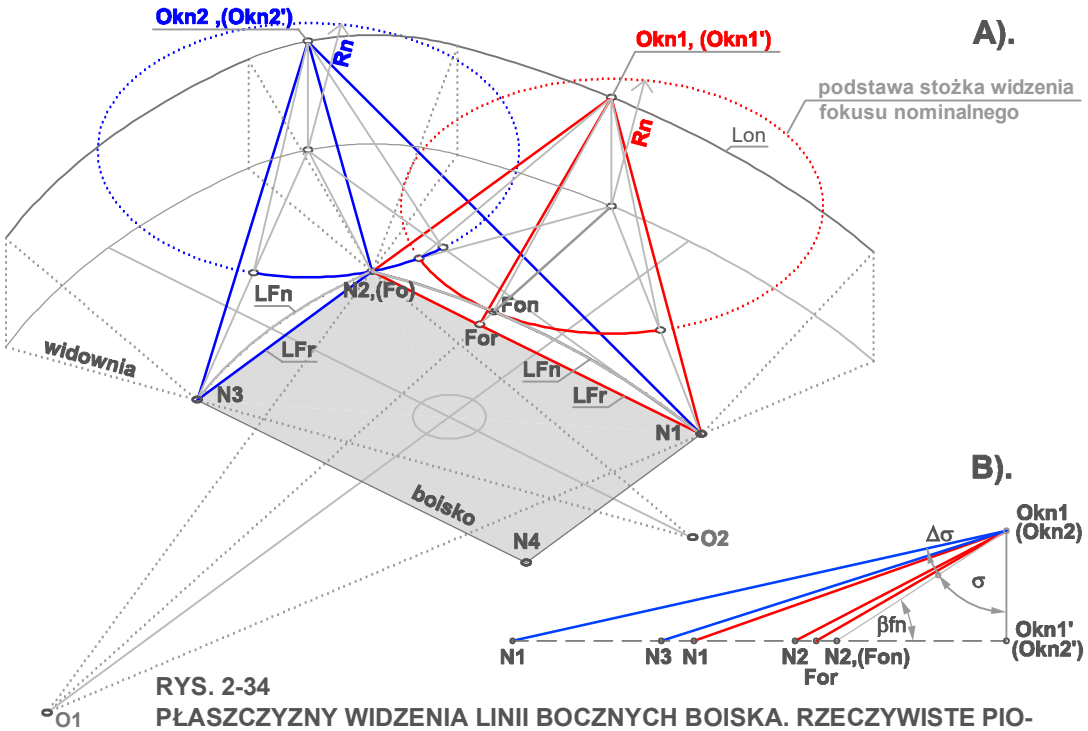
B). WIDOWNIA ŁUKOWA O PROFILU PROSTOLINIOWYM LUB KRZYWOLINIOWYM

RYS. 2-33
PORÓWNANIE RELACJI PŁASZCZYZN WIDZENIA FOKUSÓW NOMINALNYCH I FOKUSÓW RZECZYWISTYCH W RÓŻNYCH TYPACH WIDOWNI

Źródło - oryginalne opracowanie autora.

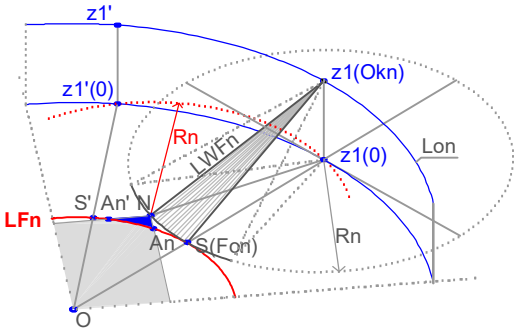
LAGENDA

N1, N2	**- Punkty narożników bliższych boiska.**
N3, N4	**- Punkty narożników dalszych boiska.**
Lon	**- Linia oczna najwyższego rzędu (n).**
O(x)	**- Środek okręgów wyznaczających łuki widowni.**
Okn	**- Przykładowa pozycja oka w najwyższym rzędzie.**
PPFn	**- Pionowa płaszczyzna fokusu nominalnego (rzutnia profilu widowni).**
Fon	**- Punkt fokusu nominalnego.**
For	**- Punkt fokusu rzeczywistego.**
LFn	**- Linia fokusów nominalnych.**
LFr	**- Linia fokusów rzeczywistych (linia boczna boiska).**
PWFn	**- Płaszczyzna (również powierzchnia wklęsła) widzenia fokusu nominalnego.**
PWLFr	**- Plaszczyzna widzenia linii fokusów rzeczywistych.**



RYS. 2-34
PŁASZCZYZNY WIDZENIA LINII BOCZNYCH BOISKA. RZECZYWISTE PIONOWE KĄTY WIDZENIA KRAWĘDZI POLA OBSERWACJI : A). Aksonometria, B). Kompilacja pionowych przekrojów przez punkty narożników boiska

Źródło - oryginalne opracowanie autora.



RYS. 2-35
NAROŻNIK BOISKA NA ZEWNĄTRZ LINII FOKUSÓW - teoretyczne podstawy metody wyznaczania pola zakłóconej widoczności

Źródło - oryginalne opracowanie autora.

Rys. 2-35 wyjaśnia zasady wykorzystane w przedsawionej na rys. 2-36 metodzie wyznaczania geometrii krytycznego pola widowni w rejonie narożnika boiska.

LEGENDA

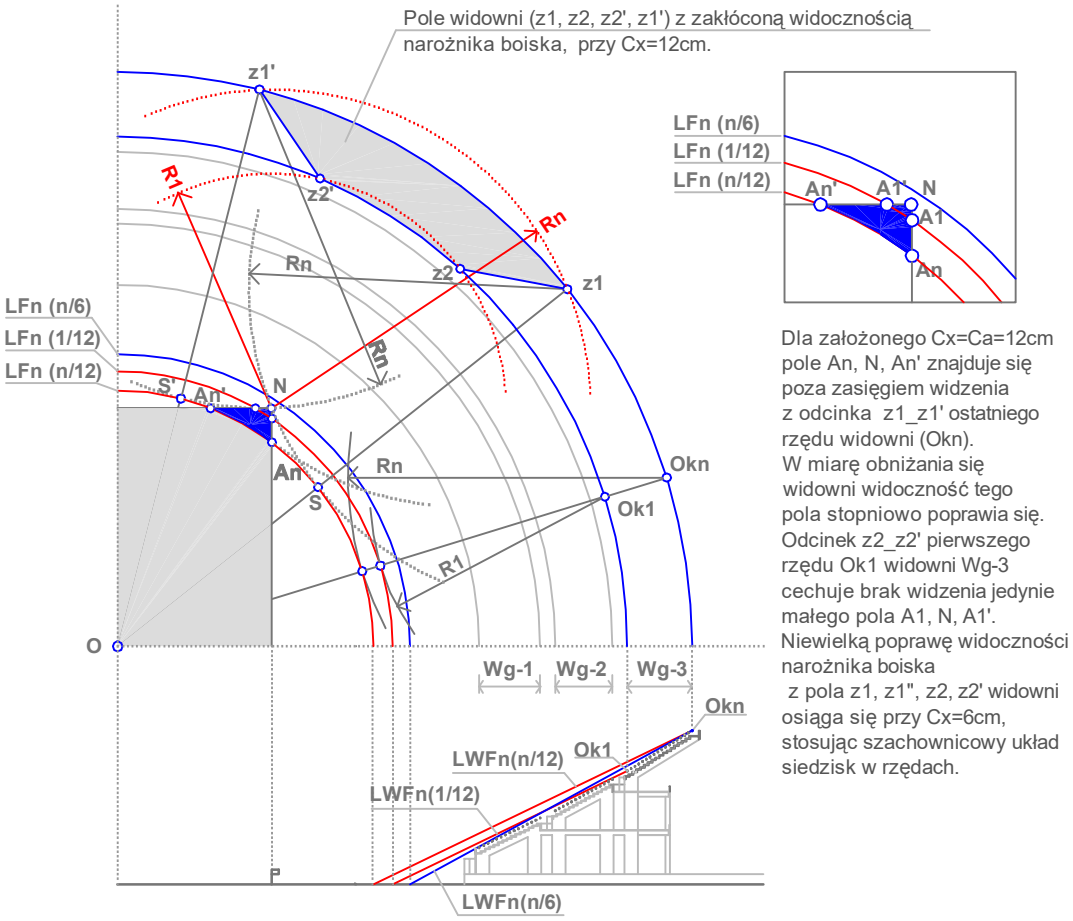
Rn - Promień podstawy stożka widzenia fokusu nominalnego (Fon).
LWFn - Linia widzenia fokusu nominalnego (tworząca stożka jw.).
N - Narożnik boiska (piłka nożna).
O - Centralny punkt boiska.
O1,O2 - Środki okręgów wyznaczających łuki widowni.
An,An' - Punkty przecięcia LFn i linii zewnętrznych boiska.
S(Fon) - Punkt styczności LFn i podstawy stożka widzenia fokusu; równocześnie punkt fokusu nominalnego (Fon).
z1,z1' - Punkty skrajne linii ocznej określające odcinek zakłóconego widzenia narożnika (N).
z1(0), z1'(0) - Jw. lecz odrzutowane na płaszczyznę poziomą (poziom areny).
σ - Kąt podniesienia linii widzenia fokusu nominalnego.
Δσ - Przyrost kąta podniesienia linii widzenia dowolnego fokusu ponad kąt widzenia fokusu nominalnego.
βfn - Kąt nachylenia lini widzenia fokusu nominalnego.
Pozostałe oznaczenia jak dla rys. 2-33

zapewnić widoczność narożnika boiska dla miejsc zlokalizowanych w bezpośredniej jego bliskości, należy linię fokusów nominalnych poprowadzić przez ten narożnik. Powoduje to automatycznie znaczne odsunięcie jej przebiegu od granic boiska w rejonie środkowej osi poprzecznej stadionu. Uwzględnienie trudnych warunków widoczności w stosunkowo niewielkiej strefie widowni powoduje ich pogorszenie dla większości miejsc w obrębie całej widowni. Problemy te stały się powodem podjęcia przez autora szerszych analiz tego zagadnienia i poszukiwań metody określania skali skutków będących wynikiem niedotrzymania założeń nominalnych parametrów widoczności w tych krytycznych rejonach widowni.

Narzędziem pomocniczym, przydatnym w osiągnięciu powyższego celu, jest pojęcie *stożka widzenia fokusu nominalnego.* Stożek widzenia fokusu nominalnego powstaje w wyniku obrotu linii widzenia fokusu nominalnego wokół pionowej osi przebiegającej przez badany punkt oka (rys. 2-34 i 2-35). Linia widzenia fokusu jest tworzącą jego powierzchni, a podstawą jest okrąg leżący na płaszczyźnie areny. Okrąg ten stanowi teoretyczną linię punktów fokusu dla tego punktu oka. Każdemu punktowi oka położonemu na linii ocznej konkretnego rzędu, odpowiada jeden stożek. Każdy z nich ma jeden punkt styczności (S) z linią fokusów nominalnych. Leży on na okręgu podstawy stożka i jest to punkt fokusu nominalnego (Fon).

Na rys. 2-35 przedstawiono podstawy graficznej metody wyznaczania geometrii krytycznego pola widowni w rejonie narożnika boiska, gdy narożnik ten znajduje się na zewnątrz obwodu linii fokusów nominalnych. Do celów demonstracyjnych przyjęto, że linia fokusów nominalnych przecina linie boczne boiska w punktach An i An`, a narożnik N znajduje się na zewnątrz obwodu tej linii. Chcąc znaleźć położenie punktu oka na linii ocznej analizowanego rzędu, z którego narożnik boiska widziany, jest jeszcze bez zakłóceń, należy odnaleźć taki stożek widzenia, którego okrąg podstawy przechodził będzie przez narożnik N i równocześnie będzie styczny do lini fokusów nominalnych. Położenie to znajduje się, kreśląc w płaszczyźnie areny łuk o promieniu podstawy stożka (Rn) ze środka usytuowanego w punkcie narożnika (N). Łuk ten, przecinając rzut linii ocznej analizowanego rzędu w punktach z1(0) i z1`(0) wyznacza rzuty punktów oka, które są wierzchołkami stożków widzenia, spełniających powyższy warunek. Przenosząc te punkty pionowo do góry na linię oczną (Lon) wyznacza się punkty oka z1 i z1`, stanowiące granicę dobrego widzenia punktu N. Wszystkie punkty oka znajdujące się na tej linii ocznej pomiędzy punktami z1 i z1`, będą miały zakłócone widzenie narożnika boiska.

Opierając się na powyższych zasadach, można wyznaczać kształt i wielkość pola widowni, dla którego nie są dotrzymane założone nominalne parametry widoczności. Do wyjaśnienia sposobu przeprowadzania takiej analizy wybrał autor przykład widowni o profilu prostoliniowym łamanym, na planie koła (rys. 2-36). Badaniu poddano najwyższe piętro tej widowni (segment Wg-3). Opisaną na rys. 2-35 metodą wyznaczono krytyczne punkty oka na linii ocznej ostatniego rzędu (z1 i z1`) oraz na linii ocznej pierwszego rzędu (z2 i z2`) tego segmentu widowni. Wcześniej ustalono linie fokusów nominalnych dla każdego rzędu oddzielnie. Pole boiska objęte zakłóconą widocznością dla ostatniego rzędu, mieści się w trójkącie An_N_An` i dotyczy miejsc zlokalizowanych w tym rzędzie pomiędzy punktami z1 i z2. Pole takie dla rzędu pierwszego wyznacza natomiast trójkąt A1_N_A1` i dotyczy miejsc pomiędzy punktami z2 i z2`. Łącząc linią punkty z1 i z2 oraz z1` i z2`, otrzymuje się obrys pola widowni o zakłóconym widzeniu. Jak widać, obszar boiska, którego one dotyczą, zmniejsza się wraz z obniżaniem się i przybliżaniem linii ocznej do areny. Zakłócenia widzenia rejonu narożnika boiska nie występują w niżej zlokalizowanych



Dla założonego Cx=Ca=12cm pole An, N, An' znajduje się poza zasięgiem widzenia z odcinka z1_z1' ostatniego rzędu widowni (Okn). W miarę obniżania się widowni widoczność tego pola stopniowo poprawia się. Odcinek z2_z2' pierwszego rzędu Ok1 widowni Wg-3 cechuje brak widzenia jedynie małego pola A1, N, A1'. Niewielką poprawę widoczności narożnika boiska z pola z1, z1", z2, z2' widowni osiąga się przy Cx=6cm, stosując szachownicowy układ siedzisk w rzędach.

RYS. 2-36
METODA WYZNACZANIA GEOMETRII KRYTYCZNEGO POLA WIDOWNI W REJONIE NAROŻNIKA BOISKA. Analiza przykładowej widowni kołowej o profilu prostokreślnym łamanym, Cx=Ca=12cm

Źródło - oryginalne opracowanie autora.

W przykładzie rozpatrzono segment Wg-3 widowni.

LEGENDA

Wg-1,2,3 - Segmenty widowni.
Ok1, Okn - Położenie oka : w rzędzie pierwszym (1) , w rzędzie ostatnim (n).
LWFn (1,n/12) - Linia widzenia fokusu nominalnego (LWFn) z rzędu pierwszego (1) lub ostatniego (n) przy przewyższeniu Cx=Ca=12cm.
LWFn (n/6) - Linia widzenia fokusu z rzędu ostatniego przy przewyższeniu Cx=6cm.
LFn (1,n/12) - Linia fokusów nominalnych (LFn, zbiór fokusów dla danego rzędu widowni na całym obwodzie) dla rz. pierwszego (1) i ostatniego (n), przy Cx=12cm.
LFn(1/6) - Jw. lecz przy Cx= 6cm.
N - Narożnik boiska (piłka nożna).
O - Centralny punkt boiska.
An,An' - Punkty przecięcia LFn(12) i linii zewnętrznych boiska.
A1,A1' - Punkty przecięcia LF1(12) i linii zewnętrznych boiska.
z1,z1' - Punkty skrajne odcinka linii ocznej ostatniego rzędu określające niezakłócone widzenie narożnika boiska (N), przy Cx=12cm.
z2,z2' - Jw. lecz linii ocznej pierwszego rzędu
Rn - Promień stożka widzenia fokusu nominalnego dla linii ocznej ostatniego rzędu, będącej zbiorem punktów oka Okn.
R1 - Jw. lecz dla pierwszego rzędu.

segmentach widowni Wg-2 i Wg-3. Znając położenie i liczbę miejsc z nieprawidłową widocznością oraz znając zakres zakłóceń, można poszukiwać rozwiązań poprawiających warunki w tym obszarze. Jednym z nich może być zastosowanie szachownicowego układu siedzisk, z równoczesnym zwiększeniem ich rozstawu, innym – lokalne zwiększenie nachylenia widowni w tym rejonie, czy wręcz zmiana profilu widowni z przeznaczeniem na miejsca specjalne.

2.9. Uniwersalny profil widowni[53]

Widownie współczesnych stadionów, podobnie jak w starożytności, tworzone są przez tarasowe układy stopni stanowiących tzw. rzędy. Główne parametry geometryczne i antropometryczne kształtujące profil widowni przedstawiono na początku niniejszego rozdziału na rys. 2.1. Dla jasności wywodu przypomnieć wypada, że głębokość rzędu determinowana jest fizycznymi wymiarami człowieka w pozycji siedzącej oraz wymiarami przejścia umożliwiającego komunikację i ewakuację. Wysokość stopni poszczególnych rzędów natomiast, wynika z kąta nachylenia linii widzenia punktu *fokusu*. Niezakłócone widzenie tego punktu zapewnia pełną widoczność całego pola gry. Jeśli chodzi o areny piłkarskie, to punkt ten sytuuje sie zwykle na przecięciu najbliższej linii bocznej boiska i pionowej płaszczyzny rzutni profilu widowni. Obserwacja tego punktu możliwa jest tylko wtedy, gdy linia widzenia przebiega z odpowiednim przewyższeniem nad punktem oka widza z rzędu poniższego. Inaczej mówiąc, kiedy linia widzenia łącząca punkt fokusu z punktem oka obserwatora przebiega stycznie do wierzchołka głowy widza z poniższego rzędu lub ponad nim. W praktyce projektowej stosuje się normatywną wartość antropometryczną *wysokości ocznej* dla pozycji siedzącej, która wynosi 120cm.[54] Oznacza to, że cała widownia zaprojektowana jest dla jednej kategorii antropometrycznej widzów charakteryzujących się taką właśnie cechą. Przy założeniu, że wysokość siedziska jest stała dla całej widowni i wynosi 43cm (z uwzględnieniem wyniesienia stopy podeszwą obuwia równego 3cm) wartość ta odpowiada mężczyznom kategorii M25c i kobietom kategorii K85c[55] w centylowej skali rozkładu wartości cech antropometrycznych dla populacji polskiej (rys. 1-10). Inaczej mówiąc, dla 75% mężczyzn i zaledwie 15% kobiet *wysokość oczna*, a co za tym idzie wyniesienie wierzchołka głowy w pozycji siedzącej, jest większa od normatywnej. Oznacza to równocześnie,

[53] Zagadnieniu temu poświęcony był referat przygotowany przez autora na XXXVI Ogólnopolską Konferencję Ergonomiczną OKE `2008 i Międzynarodową Konferencją Ergonomiczną „Człowiek – Nauka – Środowisko", MSE `2008, Karpacz**,** który był następnie opublikowany, por. Z. Pelczarski, *Zagadnienia ergonomiczne w projektowaniu widowni współczesnych stadionów. Problem wysokości ocznej*, [w:] *Ergonomia w architekturze i urbanistyce. Kierunki badań w 2009 roku*, red. nauk. J. Charytonowicz., Wydawnictwo Polskiego Towarzystwa Ergonomicznego, Oddział Wrocław, Wrocław 2009, s. 35-42.

[54] Za PN-EN 13200-1:2005.

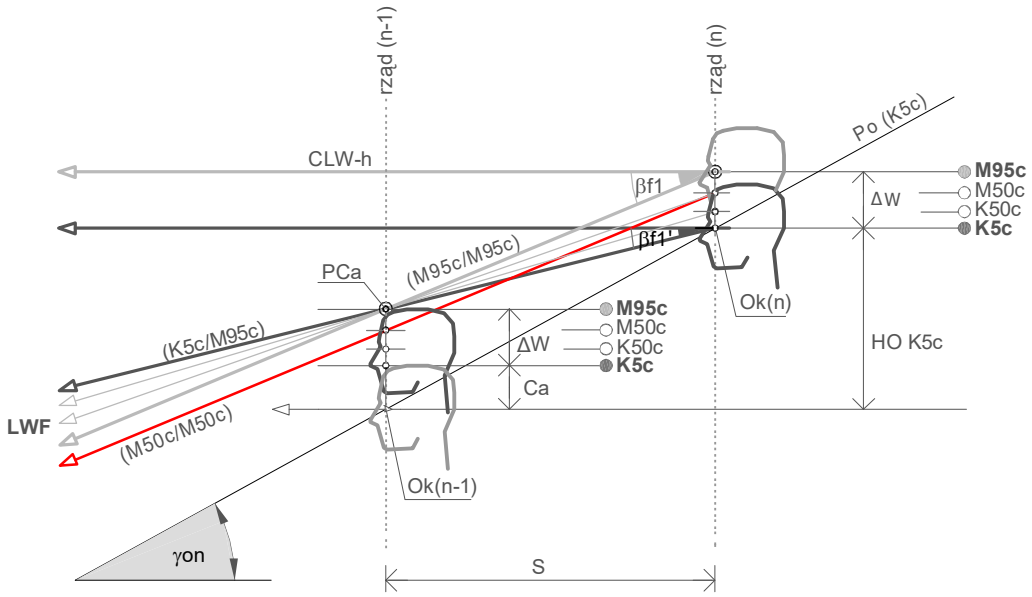
[55] Autor stosuje własny system oznaczania centylowej kategorii antropometrycznej. Jest to modyfikacja systemu spotykanego w literaturze przedmiotu, wg którego kategoria omawiana w powyższym tekście oznaczona byłaby jako 85cK, gdzie indeks 85c oznacza pozycję skali centylowej, a indeks K przynależność do populacji żeńskiej, M zaś męskiej. Por. A. Gedliczka**,** P. Pochopień, Szklarska, Z Welon, *Atlas miar człowieka. Dane do projektowania i oceny ergonomicznej. Antropometria, biomechanika, przestrzeń pracy, wymiary bezpieczeństwa,* Centralny Instytut Ochrony Pracy (COIP), Warszawa 2001.

że dla 25% mężczyzn i 85% kobiet *wysokość oczna* jest mniejsza od normatywnej.

Znaczne zróżnicowania antropometryczne pomiędzy męską i żeńską częścią populacji oraz równie duże w obrębie tych grup rodzą poważne problemy przy projektowaniu profilu widowni. Konfiguracja widzów tworzących w obrębie widowni wielotysięczny zbiór jednostek o odmiennych cechach antropometrycznych jest całkowicie przypadkowa i przy kolejnych napełnieniach widowni całkowicie różna. Na widowni zaprojektowanej na podstawie wyżej opisanych zasad normowych w wielu miejscach musi dojść do sytuacji, w której za widzem należącym do przedziału wysokości ocznej HOs≥M25c i K85c znajdzie się widz z przedziału HOs≤M25c i K85c. Ponieważ punkt oka obserwatora znajduje się poniżej położenia nominalnego (HOsn=120cm), a punkt przewyższenia minimalnego (PCa) nad punktem oka w rzędzie niższym podniesie się powyżej położenia normowego, podniesie się również linia widzenia fokusu (LWF). Oznacza to, że analizowana grupa widzów nie będzie widzieć założonego punktu fokusu, a co za tym idzie linii wyznaczającej bliższą granicę pola gry. Linia ta będzie przesłaniana przez kontury postaci widzów z rzędu niższego. Przesunięcie punktu fokusu będzie tym większe, im niżej w stosunku do położenia normowego znajdzie się punkt oka obserwatora i im wyżej ponad normatywny wyniesiony będzie punkt przewyższenia w rzędzie niższym (rys. 2-37). Różnica wysokości ocznej (ΔW) pomiędzy kobietą kategorii K5c i mężczyzną kategorii M95c, dla pozycji siedzącej, gdy wysokość siedziska jest stała, wynosi 15,4cm. Sprawia ona, że przy najbardziej niekorzystnym układzie, tj. takim, gdy najniższa linia widzenia K5c przebiega ponad głową M95c, dla przykładowej widowni o nachyleniu 29° nachylenie LWF-K5c/M95c wyniesie zaledwie 14°, wobec nominalnego nachylenia równego 23°. Tak płaski kąt nachylenia najniższej linii widzenia spowoduje, że padać ona będzie na płaszczyznę boiska znacznie dalej niż bliższa linia boczna boiska. Innymi słowy pole pomiędzy tym punktem i linią boczną będzie zasłonięte. Stopień zasłonięcia będzie wzrastał wraz z oddalaniem się oraz podnoszeniem punktu oka obserwatora. Na rys. 2-38 przedstawiono zależność stopnia zakłóceń widzenia od pozycji obserwatora na widowni, analizując położenia punktu oka w rzędach nr 2, 10, 20, 30, 40 i 50. Dla opisywanej powyżej przykładowej widowni obserwator K5c, zlokalizowany w najdalszym rzędzie (rząd nr 50) oddalonym o ok. 64m od bliższej krawędzi boiska i wyniesiony o ok. 26m ponad poziom areny, mający w rzędzie przed sobą widza M95c, będzie widział bez zakłóceń pas o szerokości ok. 24m, co stanowi zaledwie ok. 35% pełnej szerokości boiska (68m). Równie obrazowym przedstawieniem stopnia zakłóceń widzenia dla przedstawionej powyżej sytuacji jest porównanie pionowego kąta widzenia szerokości pola gry. Kąt ten przy pełnym widzeniu całej szerokości boiska dla najdalszego punktu oka wynosi 11°, a przy ograniczeniach przedstawionych powyżej zaledwie 2,5°.

Dodatkowym zagadnieniem są różnice pomiędzy nominalnym i rzeczywistym położeniem punktu oka w pozycji siedzącej, które mogą być bardzo duże – niezależnie od kategorii antropometrycznej widza. Stefan Nixdorf[56] przeprowadził szczegółowe badania tego zagadnienia. Wynika z nich, że maksymalne nachylenia tułowia do przodu powoduje obniżenie punktu oka o ok. 10cm w stosunku do wysokości w pozycji nominalnej, również odchylenie do tyłu skutkuje obniżeniem o podobnej wartości. Zmianom usytuowania punktu oka w przestrzeni towarzyszą zmiany wartości przewyższenia linii widzenia fokusu. Przy przesunięciu do

[56] Por. S. Nixdorf, Stadium ATLAS. Technical Recommendations for Grandstands in Modern Stadiums, Ernst & Sohn, Berlin 2008, s. 156, 157.

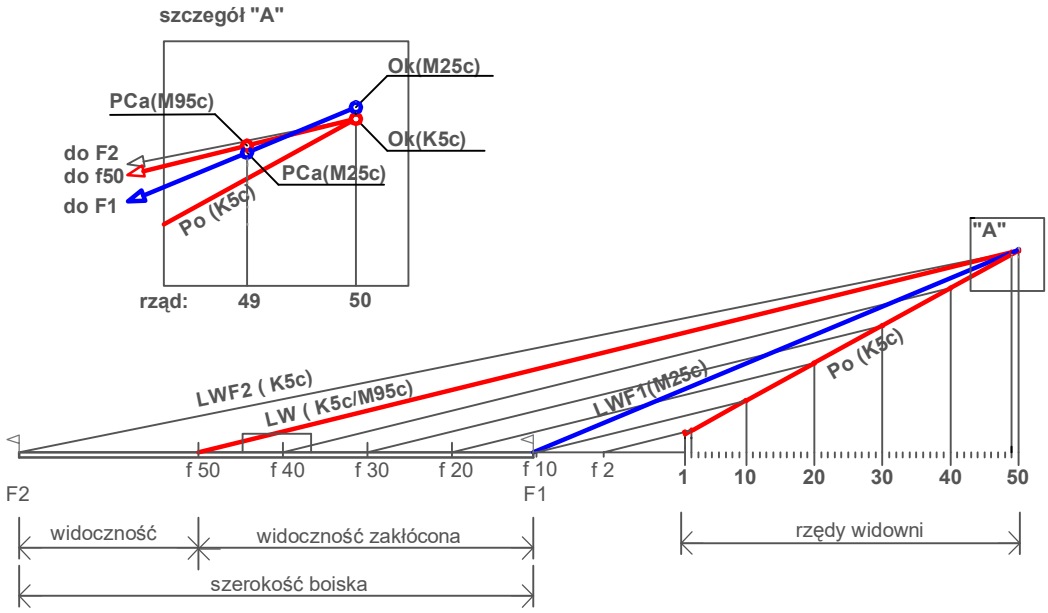


RYS. 2-37
ANALIZA RZECZYWISTYCH PRZEWYŻSZEŃ I NACHYLEŃ LINII WIDZENIA FOKUSU BLIŻSZEGO W ASPEKCIE CENTYLOWEGO ROZKŁADU ANTROPOMETRYCZNEJ WYSOKOŚCI OCZNEJ W POPULACJI POLSKIEJ

Źródło - oryginalne opracowanie autora.

LEGENDA

CLW - h - **Centralna pozioma linia widzenia.**
Po (K5c) - **Płaszczyzna oczna nominalna dla K5c.**
M95c, M50c, K50c, K5c -
Charakterystyczne wartości (w tym przypadku wysokości ocznej w pozycji siedzącej) rozkładu centylowego dla populacji polskiej; gdzie: M - mężczyźni; K - kobiety; 95c, 50c, 5c - oznacza 95, 50, 5 centyli co znaczy, że dla 95, 50, 5% populacji dany parametr antropometryczny jest niższy.
LWF (K5c/M95c) -
Linia widzenia fokusu dla oka K5c nad głową M95c.
LWF (M50c/M50c) -
Linia widzenia fokusu dla oka M50c nad głową M50c.
HO K5c - **Względne nominalne wyniesienie oka K5c.**
βf1 - **Kąt nachylenia LWF (M95c/M95c), oko M95c nad głową M95c.**
βf1' - **Kąt nachylenia LWF (K5c/M95c), oko K5c nad głową M95c.**
γon - **Kąt nachylenia nominalnej płaszczyzny ocznej dla K5c, (nominalne płaszczyzny oczne dla pozostałych centylowych wartości K i M są do niej równoległe).**
Ca - **Przewyższenie antropometryczne równe odległości oka od najwższego punktu głowy (PCa), nominalne Cx=Ca=12 cm.**
ΔW - **Przyrost wyniesienia oka ponad K5c, odzwierciedlający rozkład centylowy (w przedziale K5c-M95c), dla populacji polskiej ΔW = 15,4 cm.**
S - **Poziome przesunięcie oka; odpowiada głębokości rzędu widowni.**
PCa - **Punkt antropometrycznego przewyższenia Ca, przez który przebiega najniższa z możliwych linii widzenia fokusu (LWF).**
Rząd (n) - **Nominalna oś pionowa położenia oka i punktu PCa w dowolnym rzędzie (n).**
Rząd (n-1) - **Nominalna oś pionowa położenia oka i punktu PCa w rzędzie o jeden niższym od dowolnego rzędu (n) widowni.**
Ok(n) - **Położenie oka w rzędzie (n).**
Ok(n-1) - **Położenie oka w rzędzie (n-1).**



RYS. 2-38
NORMATYWNY PROFIL WIDOWNI (M25c)- ANALIZA WIDOCZNOŚCI POLA GRY DLA KOBIETY Z GRUPY NAJNIŻSZYCH (kategoria K5c) PONAD MĘŻCZYZNĄ Z GRUPY NAJWYŻSZYCH (kategoria M95c)

Źródło - oryginalne opracowanie autora.

Rozpatrywać łącznie z rys. 2-37.

Rysunek ilustruje wagę problemu różnic antropometrycznych w zbiorze potencjalnych widzów. Stopień zakłoceń widzenia fokusu nominalnego zależy od relacji kategorii antropometrycznych do których należą obserwator i widz zajmujący sąsiedni rząd poniżej. Ponadto zasadnicze znaczenie dla wielkości tych zakłoceń ma miejsce usytuowania obserwatora na widowni. Przykładowo w analizowanym przypadku, obserwator K5c zajmujący rząd nr 50, oddalony od krawędzi boiska o ok.64 i wyniesiony ponad poziom areny o ok.26m, mający w rzędzie przed sobą widza M95c będzie widział bez zakłóceń pas boiska o szerokości ok. 24m, co stanowi zaledwie 35% pełnej szerokości boiska.

LEGENDA

F1	**- Fokus bliższy.**
F2	**- Fokus dalszy.**
Ok(K5c)	**- Punkt oka kobiety K5c.**
Ok(M50c)	**- Punkt oka mężczyzny M50c.**
PCa(M50c)	**- Punkt antropometrycznego przewyższenia (Ca) nad Ok(M50c).**
PCa(M95c)	**- Punkt antropemetrycznego przewyższenia (Ca) nad Ok(M95c).**
Po(K5c)	**- Płaszczyzna oczna dla kobiet K5c.**
LWF1(M25c)	**- Linia widzenia fokusu bliższego z oka Ok(M25c).**
LW(K5c/M95c)	**- Najniższa linia widzenia z oka K5c ponad głową M95c.**
LWF2(K5c)	**- Linia widzenia fokusu dalszego z oka K5c.**
f(2, 10, do 50)	**- Fokusy rzeczywiste osiągane przez linie widzenia z oka K5c ponad głową M95c z rzędów nr 2, 10, 20, 30, 40 i 50.**

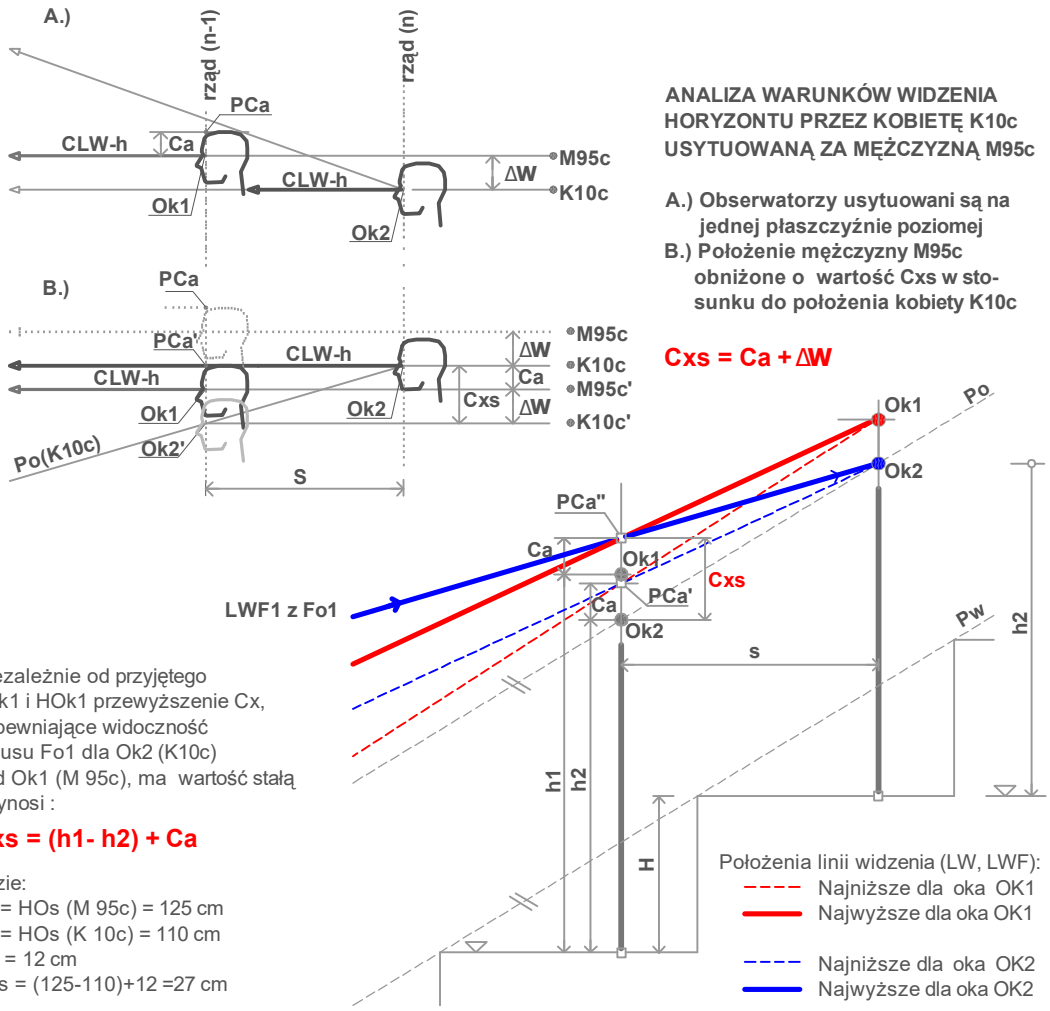
tyłu i obniżeniu (odchylenie do tyłu) przewyższenie zmniejsza się mniej więcej o połowę wartości nominalnej, przesunięcie do przodu i obniżenie (nachylenie do przodu) również powoduje zmniejszenie przewyższenia, choć w nie tak dużym zakresie.

Dobrą ilustracją omawianego problemu jest prosta analiza warunków widzenia horyzontu przez obserwatora usytuowanego za osobą wyższą od siebie. Jeżeli osoby te znajdują się na tym samym poziomie (rys. 2-39 A), to centralna pozioma linia widzenia (CLW-h) z punktu oka Ok2 trafia w kontur postaci osoby przesłaniającej widok horyzontu. Przebiega ona równolegle do odpowiadającej jej linii wyprowadzonej z punktu oka Ok1 i jest obniżona w stosunku do niej o wartość ΔW, stanowiącą różnicę antropometrycznej wysokości ocznej obu osób. Chcąc umożliwić widzenie horyzontu obserwatorowi (Ok2) należy obniżyć położenie osoby znajdującej się przed nim o taką wartość, żeby linia CLW-h przebiegła co najmniej stycznie do wierzchołka jego głowy (rys. 2-39 B). Przy obniżeniu o wartość ΔW nastąpi wyrównanie poziomu położenia obu punktów oka. Dalsze obniżenie o wartość równą przewyższeniu antropometrycznemu Ca (odległość poziomej osi oka od wierzchołka głowy o wartości nominalnej równej 12cm) spowoduje, że centralna pozioma linia widzenia, biegnąc z punktu Ok2, zajmie położenie styczne do tego wierzchołka (punkt Pca`) i bez przeszkód osiągnie horyzont. Podsumowując powyższe można stwierdzić, że osiągnięcie założonego celu wymaga obniżenia położenia osoby przesłaniającej widok horyzontu lub wyniesienia obserwatora znajdującego się za tą osobą o wartość Cxs, zwaną *przewyższeniem linii widzenia*, która musi być równa co najmniej sumie wartości Ca i ΔW.

W poszukiwaniu rozwiązania problemu równorzędności warunków widoczności w kontekście różnic antropometrycznych widzów autor przeprowadził własne badania nad uniwersalnym profilem widowni, który byłby pozbawiony opisanych wcześniej mankamentów. Profil ten powinien zapewnić niezakłóconą widoczność nominalnego fokusu wszystkim widzom, niezależnie od ich przynależności do poszczególnych kategorii centylowych i od konfiguracji tych kategorii w obrębie widowni.[57]

Na rys. 2-39 przedstawiono zasady ustalania takiego właśnie profilu widowni gwarantującego widoczność fokusu bliższego dla założonego, szerokiego spektrum antropometrycznej wysokości ocznej. Przykładowo przyjęto spektrum, ograniczone maksymalną wartością odpowiadającą mężczyźnie kategorii M95c i minimalną, odpowiadającą kobiecie kategorii K10c. Wartości maksymalnej odpowiada położenie punktu oka oznaczone symbolem Ok1 i antropometryczna wysokość oczna h1, minimalnej zaś – odpowiednio Ok2 i h2. Z analizy wynika, że profil uniwersalny powinien być projektowany dla wartości minimalnej, czyli dla kategorii K10c, z równoczesnym zastosowaniem znacznego przewyższenia linii widzenia fokusu (Cxs). Przewyższenie to powinno być równe różnicy maksymalnej i minimalnej wysokości ocznej, powiększonej o wartość przewyższe-

[57] Podobnym zagadnieniem, lecz w odniesieniu do projektowania audytoriów dydaktycznych, zajmował się A.J. Grudziński oraz A. Kosecki, który opracował własną metodę wyznaczania profilu widowni audytorium z uwzględnieniem różnic antropometrycznych słuchaczy. Należy jednak podkreślić, że z uwagi na znaczne różnice pojemności i skali przestrzennej widowni stadionowych i audytoryjnych, problem ten w obu przypadkach ma zasadniczo różne znaczenie. W przypadku audytoriów istnieje możliwość zmiany konfiguracji rozmieszczenia użytkowników widowni, co na widowni stadionowej z numerowanymi miejscami nie jest możliwe. Por. A.J. Grudziński, *Audytoria dydaktyczne,* Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1979, s. 58-59; oraz A. Kosecki, *Ergonomiczna analiza kształtu uniwersalnego sali audytoryjnej, Technologia kształcenia w wyższych uczelniach technicznych,* Zeszyty Międzyuczelniane Nr 7, Kraków, 1975.



Niezależnie od przyjętego LOk1 i HOk1 przewyższenie Cx, zapewniające widoczność fokusu Fo1 dla Ok2 (K10c) nad Ok1 (M 95c), ma wartość stałą i wynosi :

Cxs = (h1- h2) + Ca

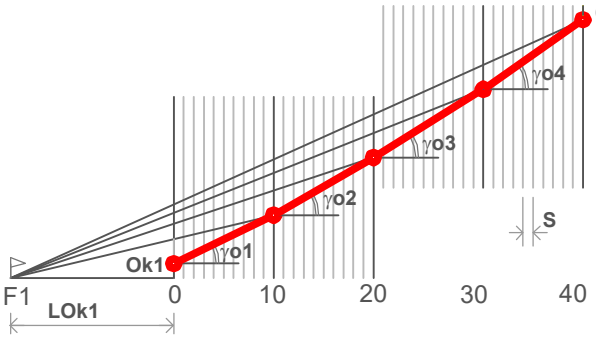
gdzie:
h1 = HOs (M 95c) = 125 cm
h2 = HOs (K 10c) = 110 cm
Ca = 12 cm
Cxs = (125-110)+12 =27 cm

RYS. 2-39
ZASADY USTALANIA PROFILU WIDOWNI ZAPEWNIAJĄCEJ WIDOCZNOŚĆ LINI FOKUSÓW BLIŻSZYCH (LFo1) DLA ZAŁOŻONEGO SPEKTRUM ANTROPOMETRYCZNEJ WYSOKOŚCI OCZNEJ (K10c-M95c) *Źródło - oryginalne opracowanie autora.*

Profil widowni wykreślony dla h2 = HOs(K 10c) = 110 cm, przy zastosowaniu przewyższenia Cxs=27cm zapewni niezakłóconą widoczność założonej linii fokusów (LF1) w całym założonym antropometrycznym spektrum widzów populacji polskiej (K10c-M95c) tj. obejmującym :90 % kobiet (K10c - K99c) oraz 95 % mężczyzn (M1c - M95c).

LEGENDA

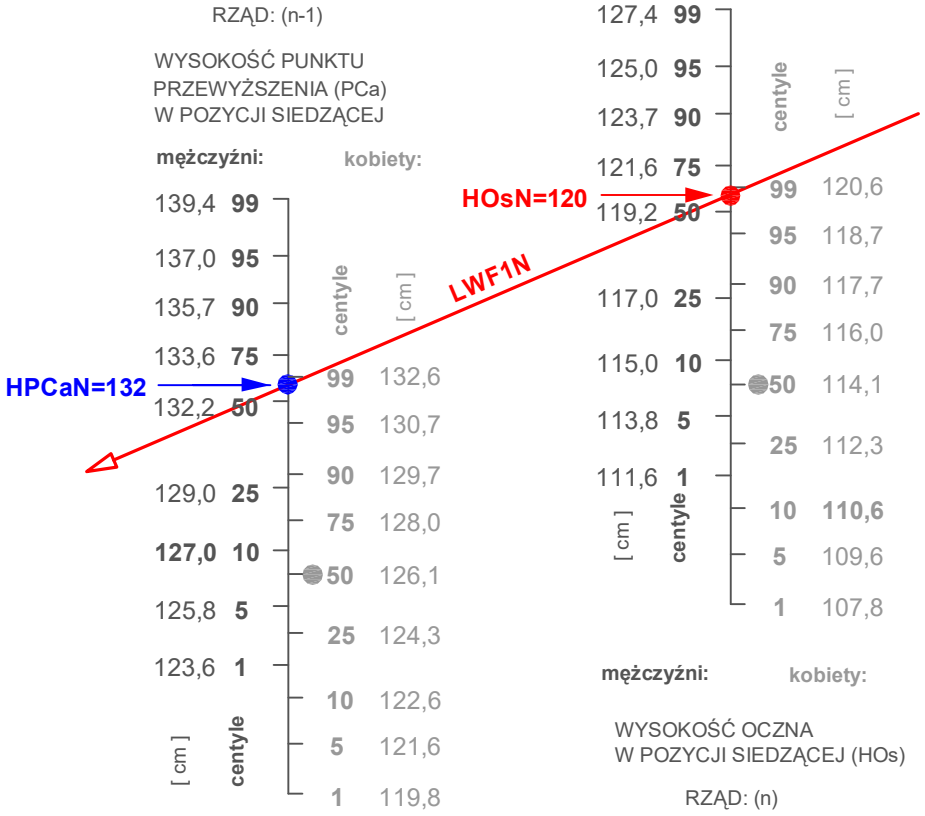
M95c,K10c - Symbol wartości określonej cechy antropometrycznej wyrażonej w skali rozkładu centylowego; gdzie: M- mężczyźni, K- kobiety; 95c, 10c - symbol wartości w skali centylowej.
h1 - Antropometryczna wysokość oczna w pozycji siedzącej (HOs) mężczyzny M95c.
h2 - Antropometryczna wysokość oczna w pozycji siedzącej (HOs) kobiety K10c.
OK1 - Położenie oka mężczyzny M95c.
OK2 - Położenie oka kobiety M10c.
Ca - Przewyższenie antropometryczne.
Cxs - Minimalne przewyższenie linii widzenia fokusu (LWF1) dla założonego spektrum antropometrycznej wysokości ocznej; w przykładzie dla Ok2 (K10c) nad Ok1 (M 95c), przy Ca=12 cm.
PCa' - Punkt antropometrycznego przewyższenia Ca nad OK2.
PCa'' - Punkt antropometrycznego przewyższenia Ca nad OK1.
Fo1 - Założone położenia fokusu bliższego.
S - Poziome przesunięcie oka.
LOk1 - Pozioma odległość oka pierwszego rzędu od fokusu.
HOk1 - Bezwzględne wyniesienie oka pierwszego rzędu ponad arenę.
Pozostałe oznaczenia jak dla rys. 2-37.



Parametry profilu:
profil prostoliniowy, łamany
Cx = 27cm,
S = 110cm,
HOs= 110,6cm, (K10c)
LOk1 = 18m,
HOk1 = 1,60m,
kąty nachylenia widowni:
γo1= 26°
γo2= 30°
γo3= 32°
γo4= 35°
HOk41 = 28,48m

RYS. 2-40
PRZYKŁADOWY PROFIL WIDOWNI SPEŁNIAJĄCEJ WARUNEK NIEZAKŁÓCONEJ WIDOCZNOŚCI LINII FOKUSÓW BLIŻSZYCH DLA CAŁEGO SPEKTRUM K10c-M95c ANTROPOMETRYCZNEJ WYSOKOŚCI OCZNEJ POPULACJI POLSKIEJ

Źródło - oryginalne opracowanie autora.



RYS. 2-41
WYKRES POŁOŻENIA LINII WIDZENIA FOKUSÓW BLIŻSZYCH DLA NORMATYWNEJ WYSOKOŚCI OCZNEJ W POZYCJI SIEDZĄCEJ (HOs=120cm) NA TLE ANTROPOMETRYCZNEGO CENTYLOWEGO ROZKŁADU WYSOKOŚCI OCZNEJ W POPULACJI POLSKIEJ.

Źródło - oryginalne opracowanie autora.

LEGENDA

HOs -Wysokość (względna) położenia oka w pozycji siedzącej, różna dla każdej kategorii centylowej widzów; mierzona przy stałej wysokości siedziska.

PCa -Punkt antropometrycznego przewyższenia wyniesiony ponad punkt oka o wartość Ca=12cm.

HOsN -Nominalna wysokość oczna w pozycji siedzącej (HOsN=120cm) zalecana przez normę PN-EN 13200-1.

PCaN -Nominalny punkt przewyższenia, wyniesiony ponad HOsN o wartość Ca; wysokość tego punktu wynosi: HPCaN=120cm+12cm=132cm.

LWF1N -Nominalna linia widzenia fukusu bliższego przebiegająca z oka w pozycji HOsN przez punkt przewyższenia PCaN.

nia antropometrycznego: Cxs=(h1-h2)+Ca, gdzie Ca=12cm. Dla przyjętego spektrum wysokości ocznej wartość przewyższenia Cxs wyniesie 27cm, czyli wartość przekraczającą minimalne antropometryczne przewyższenie o 15cm.

Na rys. 2-40 przedstawiono przykład profilu widowni, spełniającego warunki profilu uniwersalnego. Charakterystyczne parametry tego profilu zamieszczono obok rysunku. Jest to profil prostoliniowy, łamany, złożony z czterech odcinków. Nachylenia widowni nie przekraczają maksymalnego dopuszczanego normą, tj. kąta 35˚. Znaczne przewyższenie Cxs=27cm powoduje niewielkie zwiększenie odległości pierwszego rzędu od punktu fokusu (LOk1=18m). Tak zaprojektowany profil widowni zapewni jednak wszystkim osobom ze zbioru tworzonego przez przedział K10c-M95c centylowego rozkładu wartości antropometrycznych niezakłócone widzenie całego pola gry. Efekt ten będzie zachowany dla dowolnej konfiguracji antropometrycznych kategorii widzów, tworzących ten zbiór. Zakłócenia widzenia mogą wystąpić jedynie incydentalnie w przypadku pojawienia się na widowni osób z grupy bardzo wysokich mężczyzn M96c-M99c, stanowiącej 3% populacji męskiej i z grupy najniższych kobiet K1c-K9c, stanowiących 9% populacji żeńskiej.

Jak wykazano, profile widowni projektowane z zastosowaniem zalecanej przez normy uśrednionej wysokości ocznej w pozycji siedzącej (HOs=120cm) oraz minimalnych przewyższeń (Ca=12cm) nie zapewniają równorzędnych warunków widoczności dla wszystkich widzów, preferując średnio wysokich i wysokich mężczyzn oraz kobiety z grupy najwyższych (rys. 2-41). Są to konsekwencje stosowania uproszczonych metod projektowania i kompromisu pomiędzy jakością parametrów widoczności i kosztami inwestycji. Wydaje się, że postęp w dziedzinie projektowania i budowy wielkich widowni już wkrótce doprowadzi do zmiany hierarchii priorytetów, stawiając na pierwszym miejscu parametr widoczności.

Rozdział 3
RELACJE POMIĘDZY PROFILEM WIDOWNI I PROFILEM SCHODÓW POŁUDNIKOWYCH

Projektując widownię, należy zapewnić w jej obrębie wygodne i bezpieczne drogi komunikacji i ewakuacji, co wiąże się z tworzeniem odpowiednich warunków do przemieszczania się widzów, zarówno w kierunku równoleżnikowym, jak i południkowym. Pierwszy rodzaj przemieszczeń wymaga odpowiedniej głębokości rzędów, drugi odbywa się w kierunku prostopadłym do krawędzi stopni trybun, w związku z czym wymaga stosowania schodów. Schody te tworzą odpowiednio szeroki tzw. *korytarz południkowy,* który umożliwia dostęp do poszczególnych tarasowych stopni widowni zwanych *rzędami widowni.* Jest to najbardziej typowy sposób aranżacji poruszania się widzów po powierzchni widowni, stosowany już w teatrach i amfiteatrach starożytnej Grecji i Rzymu.

Każdemu stopniowi trybun odpowiada najczęściej układ dwóch lub trzech stopni schodów. Pionowe i poziome geometrie stopni trybun i stopni schodów są wzajemnie wynikowe, co rodzi określone implikacje projektowe. Wysokość i głębokość stopni trybun jest krotnością wysokości i głębokości stopni schodów. Te zależności geometryczne powodują, że nachylenia stopni trybun i nachylenia schodów są jednakowe. W przypadku widowni o profilach prostoliniowych, geometrie poszczególnych stopni trybun i schodów są jednakowe dla znacznego fragmentu lub całej widowni. W przypadku widowni o profilach krzywoliniowych geometrie te są zmienne dla każdego stopnia widowni – przy stałych głębokościach zmianie ulegają wysokości stopni.

W praktyce projektowej, przyjmuje się na ogół za nadrzędne determinanty profilu widoczności. Oznacza to, że ustalając profil widowni, bierze się pod uwagę przede wszystkim parametry związane z założonymi standardami widoczności. Przy takim podejściu geometria widowni, jej nachylenie i wymiary stopni trybun wynikają z profilu widoczności, a geometria schodów jest pochodną tego profilu. Jedynym ograniczeniem w tym przypadku są wytyczne normowe, określające dopuszczalne minimalne i maksymalne wymiary stopnia schodów[58]. W związku z tym powstają schody, aczkolwiek zgodne z zaleceniami normy, to jednak niespełniające wymogów algorytmu tzw. „schodów wygodnych" (2H+S=63cm). Dzieje się tak dlatego, że uwarunkowania związane z dobrą widocznością nie mają żadnych związków przyczynowo-skutkowych z uwarunkowaniami schodów wygodnych.

W dalszej części niniejszego rozdziału autor przedstawia wyniki własnych badań nad prostoliniowymi profilami widowni, które jako pochodne od profili schodów wygodnych zapewniają równocześnie zarówno prawidłowe parametry widoczności, jak i komfortowe schody, dostosowane do psychofizycznych wymogów człowieka.

[58] Polska Norma PN-EN 13200-1: 2005, wprowadzona za Normą Europejską z 2003 roku, ustala maksymalną dopuszczalną wysokość stopnia schodów na widowni Hmax = 200 mm i minimalną głębokość stopnicy Smin = 250 mm, jednocześnie nachylenie schodów dla tych warunków nie powinno być większe niż 35°.

Fot. 3-1. *Allianz Arena*, Monachium (2006) – fragment widowni, widok czołowy. Przykład relacji geometrycznych pomiędzy schodami południkowymi i stopniami trybun. Każdemu stopniowi trybun odpowiadają trzy modułowe stopnie schodów. *Foto: M. Pelczarski.*

Fot. 3-2. *Allianz Arena*, Monachium (2006) – fragment widowni, widok z góry. Zależności przestrzenne pomiędzy stopniami trybun i schodami międzysektorowymi. Skrajne siedziska sektorów sytuowane liniowo, równolegle do linii policzkowej schodów. *Foto: M. Pelczarski.*

3.1. Teoretyczne podstawy projektowania schodów

Podstawowym problemem przy projektowaniu schodów jest ustalenie głębokości i wysokości stopnia, a co za tym idzie nachylenia biegu schodowego. Powszechnie wykorzystuje się do tego celu metodę obliczeniową przy pomocy tzw. „algorytmu schodów wygodnych" *2h+s=630*, który jest równaniem algebraicznym, gdzie h oznacza wysokość stopnia, s oznacza jego głębokość, 630 jest wyrażoną w milimetrach, uśrednioną długością kroku mężczyzny i kobiety[59]. Schody o takiej geometrii są dostosowane do budowy anatomicznej człowieka, jego możliwości ruchowych, a poruszaniu się po nich towarzyszy najbardziej ekonomiczne zużycie energii i poczucie psychofizycznego komfortu[60].

Uzasadnienie tego równania przedstawiono na rys. 3-1. Człowiek posiada zdolność poruszania się po płaszczyźnie poziomej, wykorzystując tzw. *krok poziomy*, pionowo po drabinie dzięki tzw. *krokowi pionowemu* i po pochylni lub schodach dzięki tzw. „krokowi pochyłemu". W pierwszym przypadku przemieszczanie ciała następuje w kierunku poziomym, w drugim pionowym, a w trzecim równocześnie w poziomym i pionowym. Analizując te ruchy w odniesieniu do jednego stopnia schodów można je przedstawić wektorowo. W pierwszym przypadku będzie to wektor poziomy, w drugim pionowy, a w trzecim, wypadkowy skierowany w dół lub w górę, którego składowymi są wektory poziomy i pionowy. Z badań antropometrycznych i ergonomicznych wynika, że normalny uśredniony krok poziomy mężczyzny i kobiety wynosi 630mm[61], a ustalony na tej samej zasadzie krok pionowy stanowi jego połowę i wynosi 315mm.

Relacje pomiędzy wysokością i głębokością stopnia schodów wygodnych ustala matematyczna funkcja liniowa[62], której wykresem na płaszczyźnie w kartezjańskim układzie współrzędnych jest linia prosta dana równaniem y=ax+b, gdzie „y" oznacza wysokość stopnia (h), „x" oznacza głębokość stopnia (s). Wyraz wolny „b", ustalający punkt przecięcia osi „y" (przy x=0) posiada wartość równą wysokości kroku pionowego, tj. Hkr=315[mm]. Współczynnik kierunkowy „a", ustalający nachylenie prostej i jej punkt przecięcia z osią „x" powinien mieć taką wartość, by przy y=0, x miało wartość równą długości kroku poziomego tj. Skr=630[mm]. Osiąga się to przy a=-0,5. Po zastosowaniu oznaczeń powszechnie stosowanych w projektowaniu schodów równanie to przybiera formę: h=-0,5s+315, i jest przekształconą postacią równania 2h+s=630.

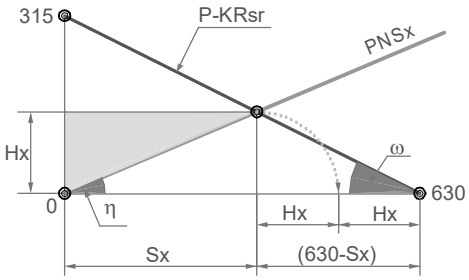
Linii będącej wykresem równania „wygodnych schodów" nadano nazwę prowadnicy geometrii stopni schodów wygodnych

[59] Twórcą tej formuły powstałej ok. 1672 r. jest Francois Blondel, dyrektor Królewskiej Akademii Architektury w Paryżu. W równaniu Blondela długość kroku wynosiła 24 ówczesne cale, por. R. Sinnott, *Safety and Security in Building Design,* Collins, London 1985, s. 133.

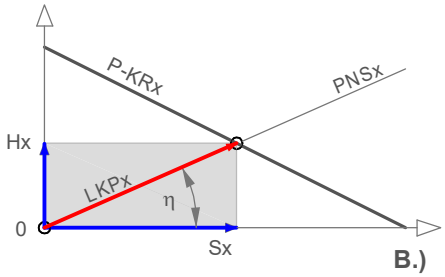
[60] Badaniem relacji pomiędzy geometrią schodów i zużyciem energii zajmował się niemiecki fizjolog G.Lehman. Wykazał on doświadczalnie, że schody o nachyleniu 30° i stopniu 17/29 cm, odpowiadające algorytmowi 2H+S=63cm, są najkorzystniejsze pod względem zużycia energii (10 cal/kGm) i komfortu użytkowania, por. E. Grandjean, *Ergonomia mieszkania,aspekty fizjologiczne i psychologiczne w projektowaniu,* Arkady, Warszawa 1978, s. 164-165.

[61] Długość uśrednionego kroku s = 630mm podawana jest powszechnie w literaturze przedmiotu. Znaleźć ją można m.in. w E. Neufert, *Podręcznik projektowania architektoniczno-budowlanego,* Arkady, Warszawa 2005, s. 194, czy w polskich normach dotyczących schodów np. w PN-EN 13056.

[62] W literaturze przedmiotu spotyka się graficzne przedstawienie wykresów funkcji liniowej „schodów wygodnych", są to jednak prezentacje bez objaśnień, por. np. R. Sinnott, *Safety and Security in Building Design,* Colins, London, 1985, s. 137. Z uwagi na ważne znaczenie dla niniejszej pracy autor przedstawia własne, szczegółowe uzasadnienia tych wykresów wraz z opisem sposobów ich wykorzystywania.



A.)



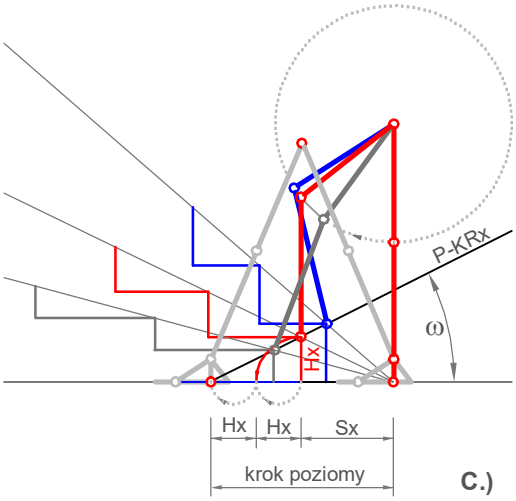
B.)

tgω=315/630=0,5
tgω=Hx/(630-Sx)=0.5
Hx=(630-Sx)/2
2Hx=630-Sx

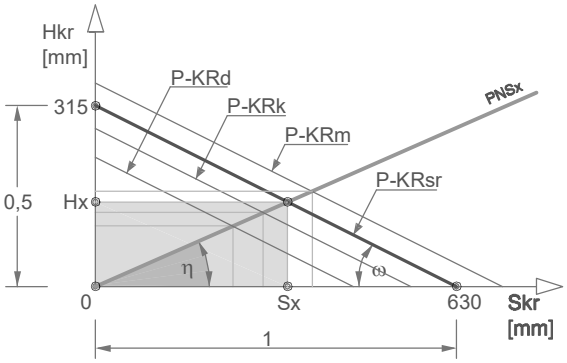
2Hx+Sx=630

dla: Hx=0 Sx=630 [mm]
tj. długość kroku poziomego,

dla: Sx=0 Hx=630/2=315 [mm]
tj. wysokość kroku pionowego



C.)



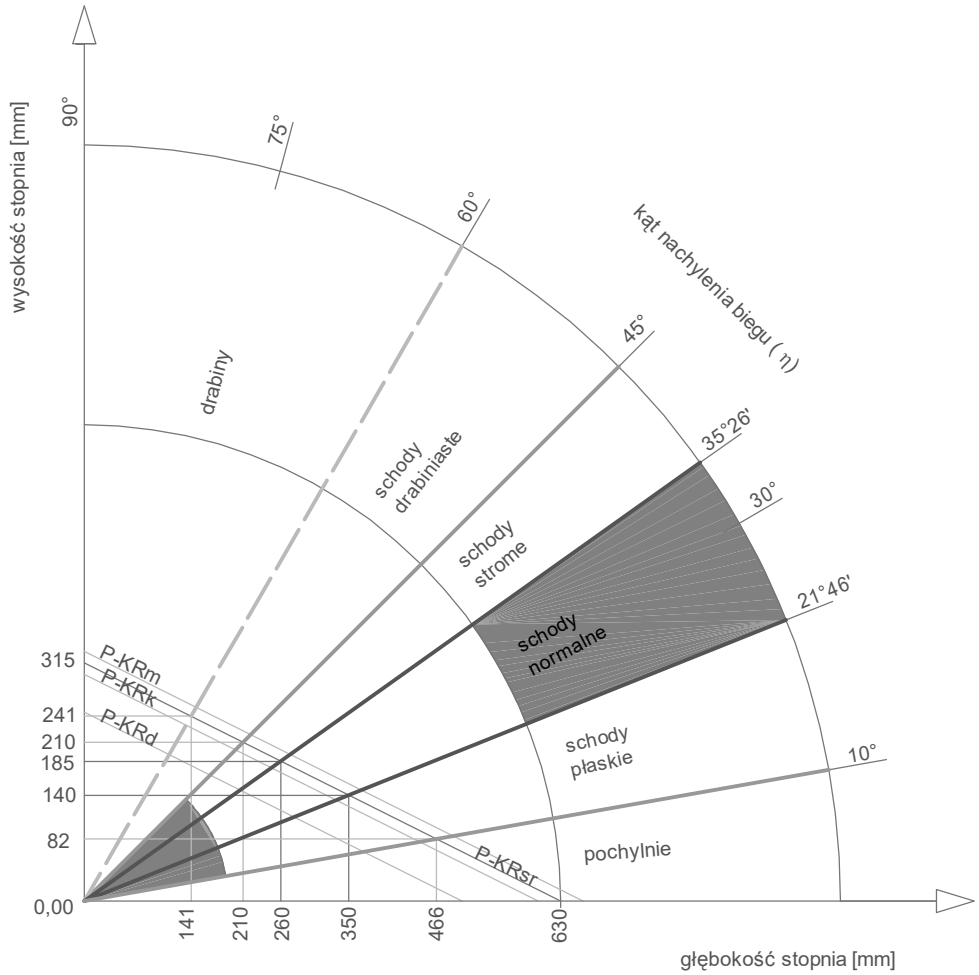
D.)

RYS. 3-1
TEORETYCZNE PODSTAWY GEOMETRII SCHODÓW WYGODNYCH.
RÓWNANIE BLONDELA : "2H + S = DŁUGOŚĆ KROKU"

Źródło: rys.3-1A, rys. 3-1C - oryginalne opracowanie autora; rys.3-1B, rys.3-1D - opracownie autora na podstawie: P.Hyks, M.Gaborik, O.Vrana "Schody", wyd.II, Arkady, Warszawa 1984.

LEGENDA

P-KRx - Prowadnica geometrii stopnia schodów dla dowolnej długości kroku. (Odcinek prostej będącej wykresem funkcji liniowej postaci y=ax+b).
ω - Kąt nachylenia P-KRx.
P-KRm - Jw. lecz dla średniego kroku mężczyzny.
P-KRk - Jw. lecz dla średniego kroku kobiety.
P-KRd - Jw. lecz dla średniego kroku dziecka.
P-KRsr - Jw. lecz dla uśrednionego kroku kobiety i mężczyzny.
PNSx - Dowolna prowadnica nachylenia schodów (Punkt przecięcia z P-KRx wyznacza długość " kroku pochyłego").
η - Kąt nachylenia PNSx.
Skr - Długość kroku.
Hkr - Wysokość kroku.
Hx - Wysokość stopnia schodów dla danej PNSx , (składowa pionowa "kroku pochyłego").
Sx - Głębokość stopnia dla warunku jw., (składowa pozioma "kroku pochyłego").
LKPx - Wypadkowy wektor "kroku pochyłego".

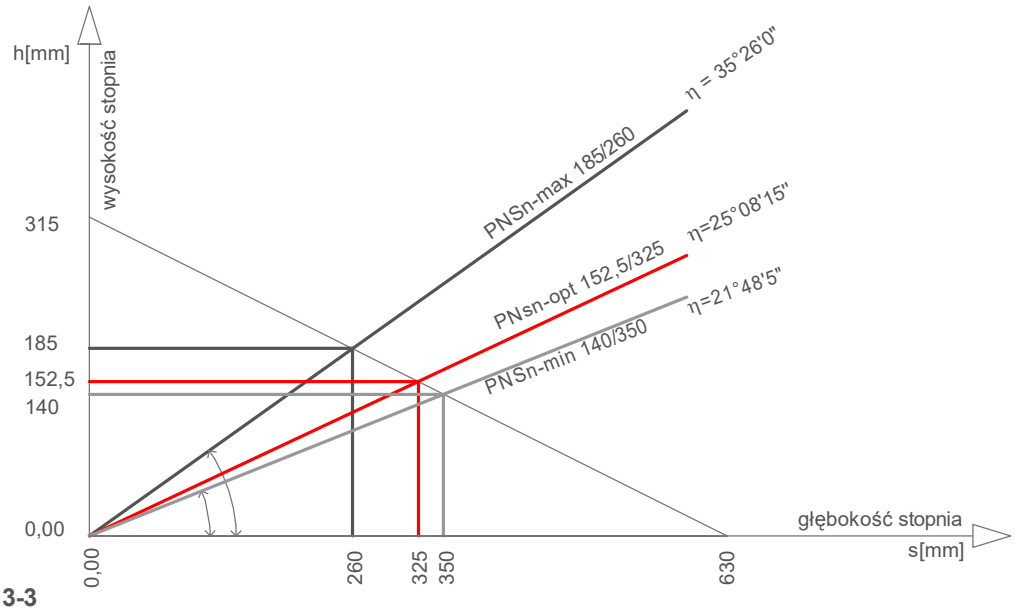


RYS. 3-2
CHARAKTERYSTYKA RODZAJÓW SCHODÓW W ZALEŻNOŚCI OD NACHYLENIA BIEGU

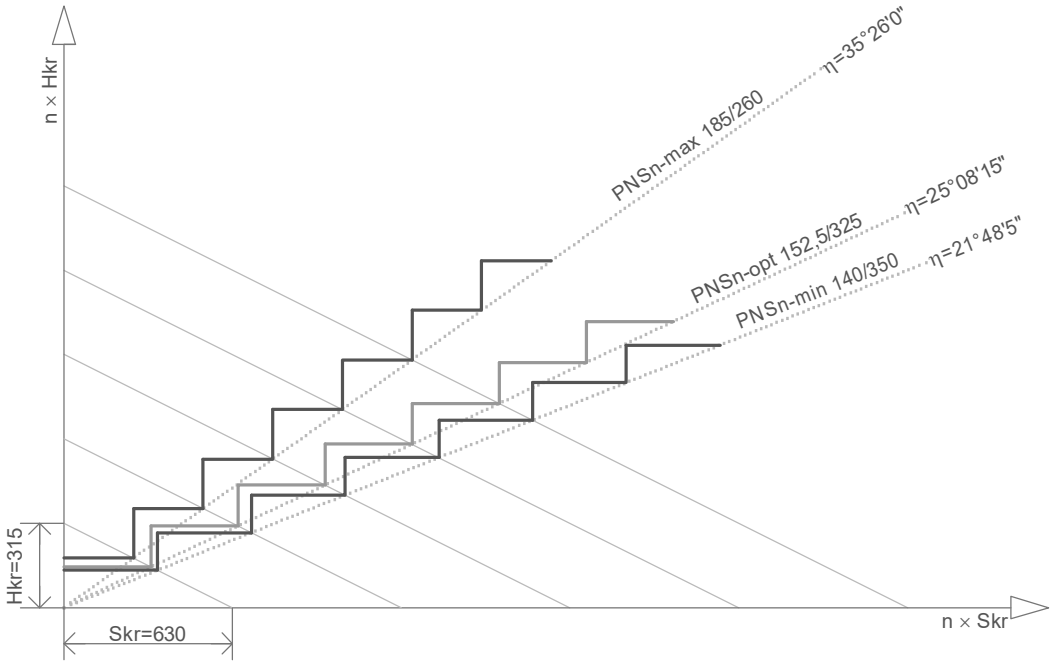
Źródło - opracowanie autora na podstawie: P. Hyks, M Gaborik, O. Vrana, "Schody", wyd.II, Arkady, Warszawa 1984.

LEGENDA

P-KRm - Prowadnica geometrii stopnia schodów dla średniej długości kroku mężczyzny; odcinek prostej będącej wykresem funkcji liniowej postaci y=ax+b będącej odzwierciedleniem algorytmu schodów wygodnych (2h+s = dł. kroku).
P-KRk - Jw. lecz dla średniego kroku kobiety.
P-KRd - Jw. lecz dla średniego kroku dziecka.
P-KRsr - Jw. lecz dla uśrednionego kroku kobiety i mężczyzny.



RYS. 3-3
GRANICZNE PARAMETRY STOPNI DLA SCHODÓW NORMALNYCH



RYS. 3-4
PRZYKŁADOWE WYKRESY SCHODÓW NORMALNYCH

Źródło - rys.3-3 i rys.3-4, oryginalne opracowanie autora z wykorzystaniem zasad przedstawionych na rys.3-1D.

LEGENDA

PNSn-max - Prowadnica nachylenia schodów normalnych o największym (granicznym) nachyleniu, pochodna najmniejszej dopuszczalnej głębokości stopnia, s(min) = 26cm

PNSn-min - Prowadnica nachylenia schodów normalnych o najmniejszym (granicznym) nachyleniu pochodna najmniejszej wysokości stopnia h(min) = 14cm.

PNSn-opt - Prowadnica schodów optymalnych, wymagających najmniejszego nakładu energii; stopień: 15,25 / 32,5 cm; nachylenie: 25°8'15".

Skr - Długość kroku

Hkr - Wysokość kroku

(P-KRx). Jej nachylenie w stosunku do osi „x" ma stałą wartość dla dowolnej długości kroku poziomego i wynosi ω=26,565051° (określa ją tg ω=Hkr/Skr=0,5). Linia poprowadzona z punktu „zero" układu współrzędnych przez wybrany punkt leżący na prowadnicy geometrii stopni (P-Krx) wyznacza wysokość i głębokość pierwszego stopnia schodów, ustala też nachylenie biegu. Prostą tę nazwano prowadnicą nachylenia schodów (PNS).

Z badań i doświadczeń praktycznych wynika, że schody występują w zakresie nachyleń zawartych w przedziale 10-45° (rys. 3-2). Powyżej nachylenia wynoszącego 45° mamy do czynienia z drabinami, poniżej nachylenia 10° z pochylniami. Schody dzielą się, z uwagi na ich nachylenie i geometrię stopnia, na trzy grupy: schody płaskie, których nachylenia mieszczą się w przedziale 10-21°, schody normalne o nachyleniu 21-35° oraz schody strome, które charakteryzują się nachyleniem 35-45° [63]. Z warunku maksymalnego nachylenia widowni, które norma określa jako 35°, wynika, że schody strome należy całkowicie wykluczyć z rozpatrywania w kontekście projektowania widowni. Z analizy z kolei nachyleń profili widowni z uwagi na warunki widoczności wynika, że podstawowym rodzajem przydatnych schodów są schody normalne i w wyjątkowych przypadkach, górna strefa schodów płaskich.

Znajomość opisanych zależności geometrycznych i matematycznych umożliwia wykorzystanie w praktyce projektowej prostej i efektywnej metody graficznej pozwalającej wykonywać wykresy profili schodów i ustalać ich optymalne parametry (rys. 3-3 i rys. 3-4). Metoda ta wymaga wstępnego stworzenia uniwersalnego szablonu prowadnic geometrii stopnia schodów. Na wyskalowany układ osi współrzędnych należy nanieść podziałki uśrednionego kroku poziomego (n x 630mm, na osi poziomej) i kroku pionowego (n x 315mm, na osi pionowej). Następnie, połączyć liniami prostymi odpowiadające sobie punkty dla kolejnych kroków, zaznaczone na osiach, w wyniku czego otrzymuje się szereg równoległych prowadnic geometrii stopnia schodów, Każda z nich jest opisanym wcześniej wykresem funkcji zdefiniowanej równaniem wygodnych schodów. Wykreślanie biegu schodowego z równoczesnym ustalaniem wysokości i głębokości stopnia polega na poprowadzeniu linii prostej z punktu „zero" układu współrzędnych z założonym nachyleniem do przecięcia z kolejnymi prowadnicami geometrii stopnia. Jest to opisana wcześniej prowadnica nachylenia biegu. Odrzutowanie punktu przecięcia obu prowadnic pierwszego kroku na oś poziomą wyznacza głębokość pierwszego stopnia schodów, odrzutowanie zaś na oś pionową – jego wysokość. Pozostałe stopnie uzyskuje się poprzez kopiowanie stopnia pierwszego i odpowiednie sytuowanie na kolejnych punktach przecięcia prowadnic.

3.2. Profil widowni pochodny od profilu schodów normalnych

Przestawioną powyżej metodę można zastosować do projektowania prostoliniowych profili widowni, których geometria będzie pochodną geometrii wygodnych schodów (rys. 3-5). Jeżeli założy się na przykład, że na każdy stopień trybun widowni będą przypadać trzy stopnie obsługujących schodów, to dla stworzenia szablonu stopni trybun wystarczy graficznie wyróżnić co trzecią prowadnicę geometrii

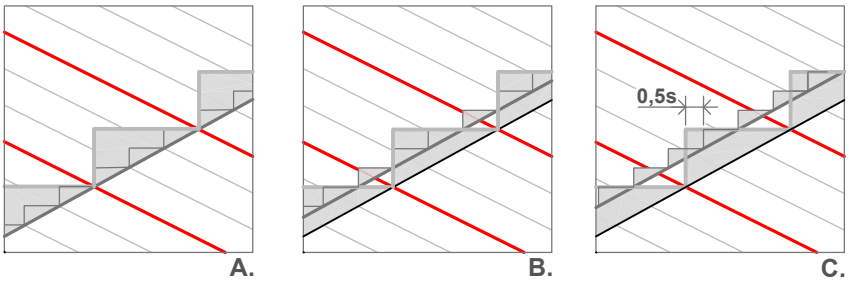
[63] Klasyfikację schodów ustalono na podstawie pracy: P. Hykš, M. Gáborik, O. Wrona, *Schody,* Arkady, Warszawa1984, s. 14,wprowadzając własną modyfikację zakresu schodów normalnych. Dolną granicę nachylenia schodów normalnych określono przyjmując za DIN 18065 minimalną wysokość stopnia h=14cm, górną zaś – biorąc minimalną głębokość stopnia s=26cm.

stopnia schodów. Będą one równocześnie prowadnicami geometrii stopnia trybun i stopni schodów. Postępując według zasady omówionej przy objaśnianiu sposobu wykreślania biegu schodowego otrzymuje się wykres profilu stopni trybun o takiej właściwości, że wysokość każdego stopnia trybun jest równa trzem wysokościom stopnia schodów, a jego głębokość równa jest trzem głębokościom stopni schodów. Następnie można wykreślić profil schodów, wybierając jeden z wariantów relacji profilu schodów i profilu stopni trybun (rys. 3-5, detal A, B lub C). W wyniku takich działań otrzymuje się prostoliniowy profil widowni o określonym nachyleniu, a co za tym idzie określonym nachyleniu linii widzenia fokusu, zintegrowany ze schodami wygodnymi.

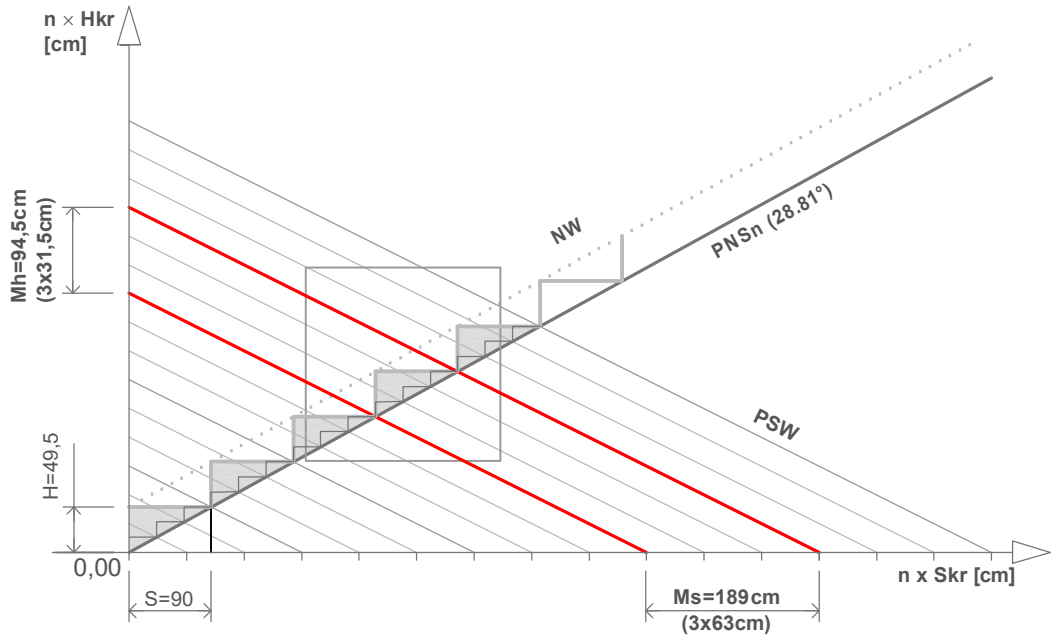
Ponieważ przedział nachyleń schodów normalnych ogranicza się do zakresu od 21° do 35°, to liczba odpowiadających tym nachyleniom stopni jest również ograniczona. Na rys. 3-6 przedstawiono zestawienie dziesięciu wykresów profili widowni pochodnych schodom normalnym dla wariantu, gdy stopniowi trybuny odpowiadają trzy stopnie schodów. Przy tworzeniu tego wykresu zasadą nadrzędną było przyjęcie realnych wykonawczo wymiarów modułowych stopni schodów. Założono szereg wymiarowy, w którym głębokości stopni schodów zmieniają się co 10mm, a wysokości co 5mm. W związku z tym, wymiary stopni trybun zmieniają się odpowiednio w zakresie głębokości o 30mm i wysokości o 15mm. Nachylenia biegów schodowych oraz równe im nachylenia widowni mają przy takim założeniu wartości wynikowe. Nachylenia te są również nachyleniami płaszczyzny ocznej, przebiegającej równolegle, z wyniesieniem nominalnym równym 120cm. Dla każdego profilu wyznaczono ponadto nachylenia linii widzenia fokusu, przyjmując dla przykładu przewyższenie antropometryczne Ca=12cm. W praktyce projektowej, przy nabyciu wprawy w sporządzaniu omawianych wykresów, można posługiwać się jedynie liniami prowadnic, pozostawiając wykreślanie wybranego profilu widowni na sam koniec procesu decyzyjnego.

3.3. Model podniesionego profilu widowni

Jak wspomniano wcześniej, profile widowni pochodne od schodów normalnych są profilami prostoliniowymi o zgodnych nachyleniach trybun i obsługujących je schodów. Na potrzeby niniejszej pracy nazwano je normalnymi modelami profili. Liczba tych profili, jak i zakres nachyleń są, jak wykazano powyżej, ściśle ograniczone. Analizy innych możliwości zastosowania schodów wygodnych przy równoczesnej swobodzie kształtowania profilu trybun w zakresie parametrów widoczności doprowadziły do rozwiązania, które nazwano *modelem profilu podniesionego* (rys. 3-7). W modelu tym nachylenia schodów odpowiadają nachyleniom schodów normalnych, natomiast nachylenia trybun, a co za tym idzie nachylenia płaszczyzny ocznej są od tych pierwszych znacznie większe. Zaletą takiego modelu jest możliwość uzyskiwania stromych, przekraczających kąt 35°, profili trybun, które mogą być obsługiwane przez schody wygodne. Uzyskano to poprzez zastosowanie uzupełniających stopni schodów w układzie równoleżnikowym. Dzięki temu, jak widać w przykładowym modelu przedstawionym na rys. 3-7, stosując bardzo komfortowe schody, np. o stopniu 16,5/30cm i nachyleniu biegu równym η=28,8° można uzyskać nachylenie widowni o kącie λ=36,3°. Jak łatwo zauważyć, różnica tego nachylenia wynosi w tym przypadku 7,7°. Wykorzystując wszystkie modułowe stopnie schodów normalnych, których geometrie pokazano w zestawieniu na rys. 3-6, uzyskano dzie-



Warianty relacji przestrzennych profilu widowni i profilu schodów

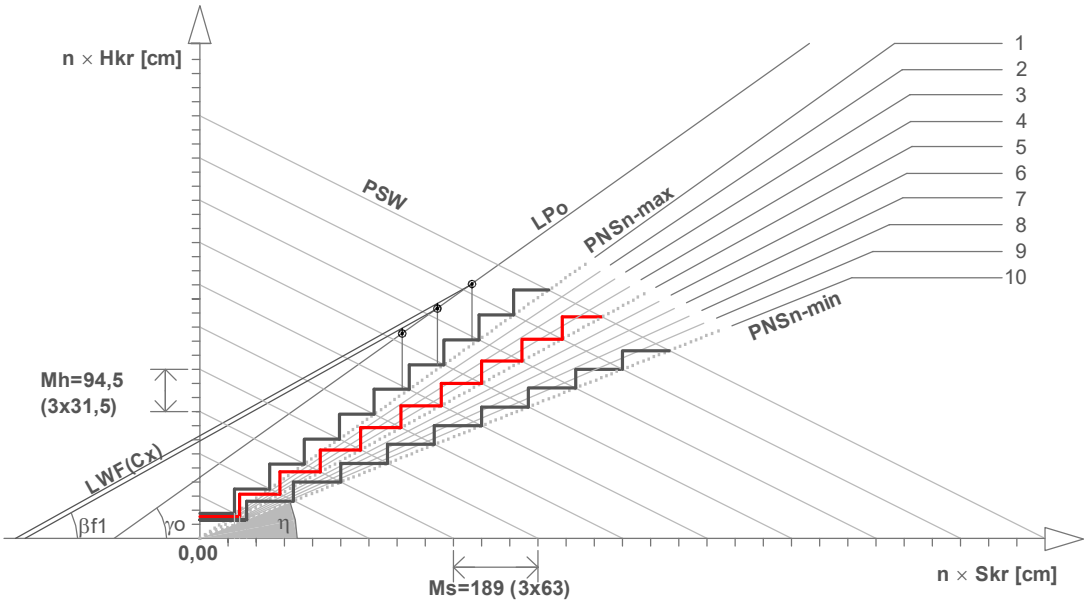


RYS. 3-5
PRZYKŁADOWY WYKRES PROFILU WIDOWNI POCHODNEGO OD PROFILU SCHODÓW NORMALNYCH (h/s = 16,5/30cm) O NACHYLENIU $\lambda = \eta = 28,81°$

Źródło - oryginalne opracowanie autora.

LEGENDA

PNSn - Prowadnica nachylenia schodów normalnych h/s = 16,5/30; nachylenie: $\eta = 28,81°$.
NW - Nachylenie widowni (λ) równe nachyleniu schodów (η).
PSW - Prowadnice geometrii stopni widowni pochodnych od geometrii stopni schodów normalnych (stopień widowni = trzy stopnie schodów).
Ms - Moduł poziomy PSW równy trzem średnim krokom poziomym, Ms = 3 x 63 = 189 cm.
Mh - Moduł pionowy PSW równy trzem średnim krokom pionowym, Mh = 3 x 31,5 = 94,5 cm.
Skr - Długość kroku.
Hkr - Wysokość kroku.
S - Głębokość stopnia widowni.
H - Wysokość stopnia widowni.
s - Głębokość stopnia schodów.
h - Wysokość stopnia schodów.



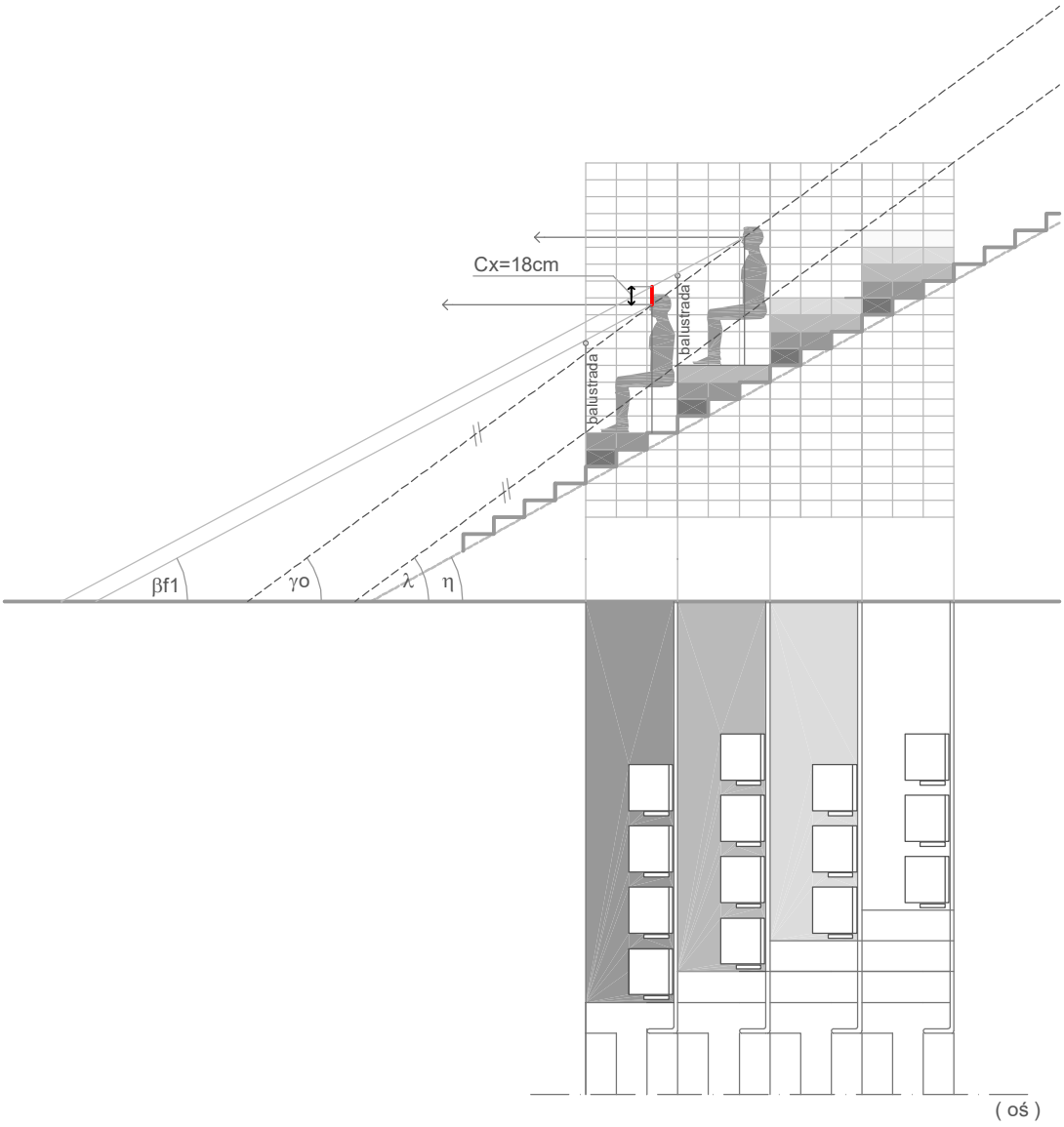
1	- η=35,43°	H/S= 55,5/ 78	3x(18.5/26)	βf1	= 29,15°
2	- η=33,69°	H/S= 54,0/ 81	3x(18,0/27)	βf1	= 27,41°
3	- η=32,00°	H/S= 52,5/ 84	3x(17,5/28)	βf1	= 25,71°
4	- η=30,38°	H/S= 51,0/ 87	3x(17.0/29)	βf1	= 24,15°
5	- η=28,81°	H/S= 49,5/ 90	3x(16,5/30)	βf1	= 22,62°
6	- η=27,30°	H/S= 48,0/ 93	3x(16,0/31)	βf1	= 21,16°
7	- η=25,84°	H/S= 46,5/ 96	3x(15,5/32)	βf1	= 19,77°
8	- η=24,44°	H/S= 45,0/ 99	3x(15,0/33)	βf1	= 18,44°
9	- η=23,10°	H/S= 43,5/102	3x(14,5/34)	βf1	= 17,16°
10	- η=21,80°	H/S= 42,0/105	3x(14,0/35)	βf1	= 15,95°

RYS. 3-6
ZESTAWIENIE WYKRESÓW PROFILI WIDOWNI POCHODNYCH OD PROFILI SCHODÓW NORMALNYCH (STOPIEŃ WIDOWNI = 3 STOPNIE SCHODÓW)

Źródło - oryginalne opracowanie autora.

LEGENDA

PNSn-max - Prowadnica nachylenia schodów normalnych o największym (granicznym) nachyleniu, pochodna najmnieszej, dopuszczalnej głębokości stopnia s(min) = 26cm.
PNSn-min - Prowadnica nachylenia schodów normalnych o najmniejszym (granicznym) nachyleniu, pochodna najmniejszej wysokości stopnia h(min) = 14cm.
η - Kąt nachylenia prowadnicy PNSn równy kątowi nachylenia płaszczyzny ocznej (γo).
βf1 - Kąt nachylenia linii widzenia fokusów.
LPo - Linia płaszczyzny ocznej (równoległa do prowadnicy PNSn).
LWF(Cx) - Linia widzenia fokusów dla przewyższenia Cx=Ca=12cm.
PSW - Prowadnice geometrii stopni widowni pochodnych geometrii stopni schodów normalnych (stopień widowni = trzy stopnie schodów).
Ms - Moduł poziomy prowadnicy PSW równy trzem średnim krokom poziomym.
Mh - Moduł pionowy prowadnicy PSW równy trzem średnim krokom pionowym.
Skr - Długość kroku.
Hkr - Wysokość kroku.
S - Głębokość stopnia widowni.
H - Wysokość stopnia widowni.



RYS. 3-7
MODEL WIDOWNI POCHODNEJ OD PROFILU SCHODÓW NORMALNYCH 16,5/30cm. PROFIL PODNIESIONY - WYKORZYSTUJĄCY SCHODY POŁUDNIKOWE I RÓWNOLEŻNIKOWE (nachylenie widowni większe niż nachylenie schodów południkowych)
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

LEGENDA

βf1 **- kąt nachylenia linii widzenia fokusów** , βf1**=28,1°.**
η **- kąt nachylenia schodów 16,6/30 cm,** η**=28,8°.**
γo **- kąt nachylenia płaszczyzny ocznej, równy kątowi nachylenia widowni** (λ), γo**= 36,3°.**

sięć modeli profili podniesionych, co podwoiło liczbę przydatnych projektowo profili widowni pochodnych od schodów normalnych. Sposób zestawiania opisanego modelu profilu podniesionego w całą widownię oraz zasady aranżacji womitoriów dla takich rozwiązań przedstawiono w dalszej części pracy w rozdziale piątym.

3.4. Wzornik nachyleń profili widowni pochodnych od profili schodów normalnych

W celu ułatwienia i przyspieszenia decyzji projektowych opracowano tabelaryczne zbiorcze zestawienie profili widowni pochodnych od schodów normalnych (rys. 3-8) Profile zestawiono według kryterium nachylenia linii widzenia fokusu (NLWF) – od największych, do najmniejszych nachyleń. Wyraźnie rozdzielono modele profili normalnych od profili podniesionych. Tabela pozwala szybko porównać parametry poszczególnych profili i wstępnie wybrać optymalny profil. Uzupełnieniem powyższego zestawienia jest wzornik nachyleń linii widzenia fokusu (rys. 3-9), umożliwiający pobieranie (przez kopiowanie) wybranej linii i przenoszenie do rozwiązywanego projektowo wykresu profilu widowni. Linie widzenia mają rzeczywiste nachylenia kątowe, a każdą z nich oznaczono numerem profilu odpowiadającym zestawieniu tabelarycznemu i opisano kąty ich nachyleń oraz kąty nachyleń odpowiadających im widowni. Oddzielnie wykreślono pęk linii dla profili normalnych, oddzielnie pęk linii dla profili podniesionych.

Narzędziem pomocnym przy projektowaniu profili widowni z zastosowaniem wzornika linii widzenia fokusu dla profili pochodnych od schodów normalnych jest przedstawiona na rys. 3-10 metoda graficzna. Pozwala ona wybrać linię widzenia fokusu odpowiadającą określonemu profilowi widowni, w zależności od zakładanych parametrów usytuowania punktu oka w pierwszym rzędzie i liczby rzędów w projektowanej widowni lub jej odcinku. Metoda polega na określeniu linii widzenia fokusu dla najdalszego punktu oka i zastosowaniu odpowiadającego jej profilu widowni dla niżej położonych punktów oka. Na pionowej osi ocznej pierwszego oka oznacza się punkt oka Ok1. Następnie powyżej tego punktu nanosi się wysokość pasma fokusów (WPF) dla założonego przewyższenia i liczby rzędów. Wysokość ta ustala położenie tzw. punktu obrotu (PObr). Przez punkt ten prowadzi się wiązkę linii widzenia fokusu, przenosząc je z wzornika nachyleń. Poniżej punktu Ok1, na pionowej osi ocznej, odmierza się w skali rysunku podziałkę wyniesienia pierwszego oka. Linie poziome, poprowadzone z punktów tej podziałki, symulują linie poziomu areny i przecinając się z liniami LWF, wyznaczają punkty fokusów dla każdej z linii widzenia i dla każdego wyniesienia Ok1. Uzupełniając rysunek podziałką odległości pierwszego oka od fokusu (LOk1), otrzymuje się wykres umożliwiający pełny przegląd relacji zachodzących pomiędzy nachyleniami linii widzenia fokusu dla punktu najdalszego oka (Okn) oraz wyniesieniem (HOk1) i przesunięciem (LOk1) pierwszego oka.

Wzornik nachyleń linii widzenia modelowych profili pochodnych schodom normalnym umożliwia szybkie, wstępne projektowanie profilu widowni. Jedna z metod wypróbowanych w praktyce polega na wykorzystaniu wykresu wiązki linii wzornika w taki sposób, że wspólny punkt ich zbiegu sytuuje się w punkcie fokusu (rys. 3-11). Następnie ustala się główne założenia projektowanego profilu widowni. W przykładzie tworzy je odległość pierwszego oka od fokusu (LOk1) i orientacyjnie przyjęta odległość ostatniego oka (Lokn). Metoda opiera się na *metodzie najdalszego oka*, opisanej wcześniej w rozdziale

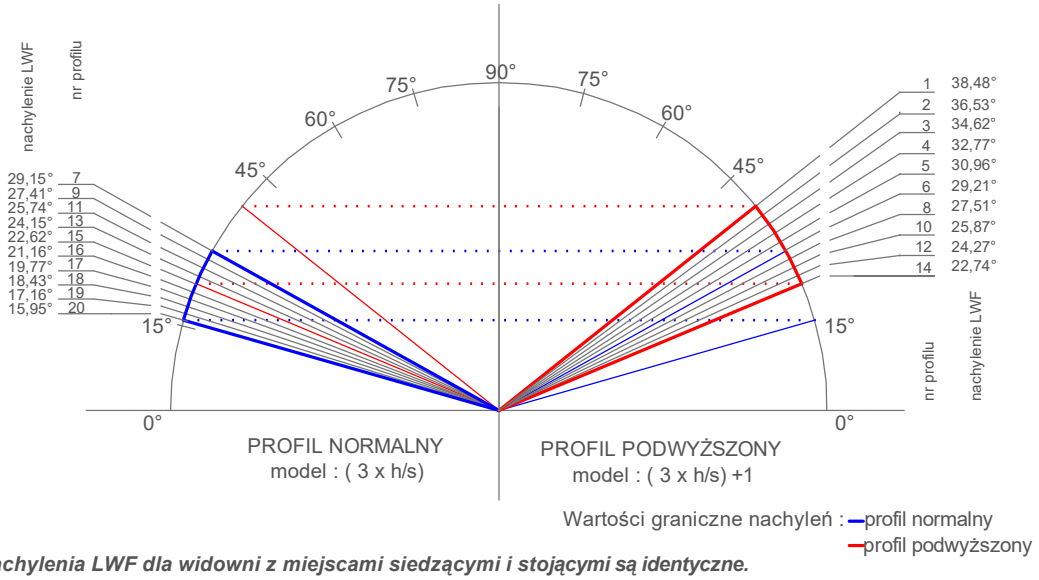
NP	schody h/s [cm/cm]	model profilu normalny 3x(h/s)	model profilu podniesiony 3x(h/s)+1h	trybuna H/S [cm/cm]	balustrada czołowa ΔHbl [cm]	NS [η°]	NW [λ°]	NLWF1 [βf1°]
1	18,5/26		X	74/78	+12	35,43°	43,49°	38,48°
2	18/27		X	72/81	+13	33,69°	41,63°	36,53°
3	17,5/28		X	70/84	+14	32,01°	39,81°	34,62°
4	17/29		X	68/87	+15	30,38°	38,01°	32,77°
5	16,5/30		X	66/90	+16	28,81°	36,25°	30,69°
6	16/31		X	64/93	+17	27,30°	34,53°	29,21°
7	18,5/26	X		55,5/78	+25	35,43°	35,45°	29,15°
8	15,5/32		X	62/96	+18	25,84°	32,86°	27,51°
9	18/27	X		54/81	+25	33,69°	33,69°	27,41°
10	15/33		X	60/99	+19	24,44°	31,22°	25,87°
11	17,5/28	X		52,5/84	+26	32,01°	32,01°	25,74°
12	14,5/34		X	58/102	+20	23,10°	29,62°	24,27°
13	17/29	X		51/87	+27	30,38°	30,38°	24,15°
14	14/35		X	56/105	+21	21,80°	28,07°	22,74°
15	16,5/30	X		49,5/90		28,81°	28,81°	22,62°
16	16/31	X		48/93		27,30°	27,30°	21,16°
17	15,5/32	X		46,5/96		25,84°	25,84°	19,77°
18	15/33	X		45/99		24,44°	24,44°	18,43°
19	14,5/34	X		43,5/102		23,10°	23,10°	17,16°
20	14/35	X		42/105		21,80°	21,80°	15,95°

RYS. 3-8
ZESTAWINE PARAMETRÓW PROFILI WIDOWNI POCHODNYCH OD PROFILI SCHODÓW NORMALNYCH. ***Profile zestawiono wg hierarchii nachylenia linii widzenia fokusu (NLWF)***
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

UWAGA: *Wysokość stopnia trybun H>50cm wymaga stosowania balustrady czołowej. Minimalna wysokość tej balustrady (Hbl min), stosowana na najnowszych stadionach niemieckich, wynosi 65 cm. Linia widzenia fokusu bliższego (LWF1) we wsystkich prezentowanych profilach widowni przebiega ponad balustradą czołową.*

LEGENDA

NP - **Numer profilu.**
h/s - **Charakterystyka stopnia schodów, gdzie: h - wysokość stopnia, s - głębokość stopnia.**
3x(h/s) - **Model profilu widowni normalny, gdzie geometria stopnia trybun jest pochodna trzem stopniom schodów południkowych: H=3h, S=3s, NW=NS.**
3x(h/s)+1h - **Model profilu widowni podniesiony, gdzie geometria stopnia trybun jest pochodna trzem stopniom schodów południkowychi jednemu stopniowi schodów równoleżnikowych: H=4h, S=3s, NW>NS.**
H/S - **Charakterystyka stopnia trybun, gdzie: H - wysokość stopnia, S - głębokość stopnia.**
NS - **Nachylenie schodów południkowych widowni,** [η°].
NW - **Nachylenie trybyn widowni,** [λ°].
NLWF1 - **Nachylenie linii widzenia fokusu bliższego,** [βf1°]**, przy Cx=Ca=12cm.**
ΔHbl - **Wielkość przewyższenia LWF ponad krawędź balustrady czołowej o minimalnej wysokości Hbl min = 65cm. (wskazuje o ile można podwyższyć balustradę czołową bez kolizji z LWF).**

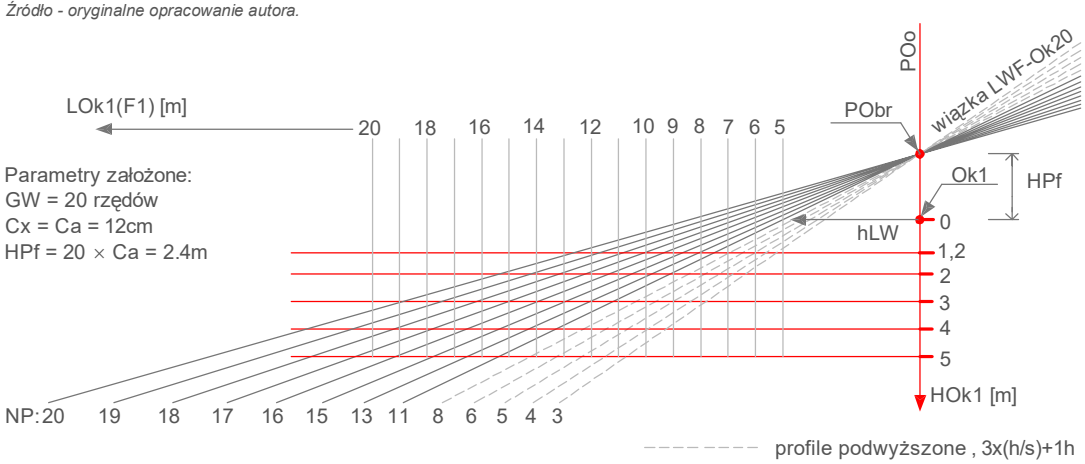


Nachylenia LWF dla widowni z miejscami siedzącymi i stojącymi są identyczne.
Rozpatrywać łącznie z zestawieniem tabelarycznym (rys. 3-8).

RYS. 3-9

WZORNIK NACHYLEŃ LINII WIDZENIA FOKUSU (LWF) DLA TRYBUN O PROFILACH POCHODNYCH OD PROFILI SCHODÓW NORMALNYCH

Źródło - oryginalne opracowanie autora.



HOk1=1,2M -antropometryczna wysokość oczna w poz.siedzącej

HOk1= 2M - zalecana wysokość minimalna, gdzie hLW przebiega ponad osobą stojącą

RYS. 3-10

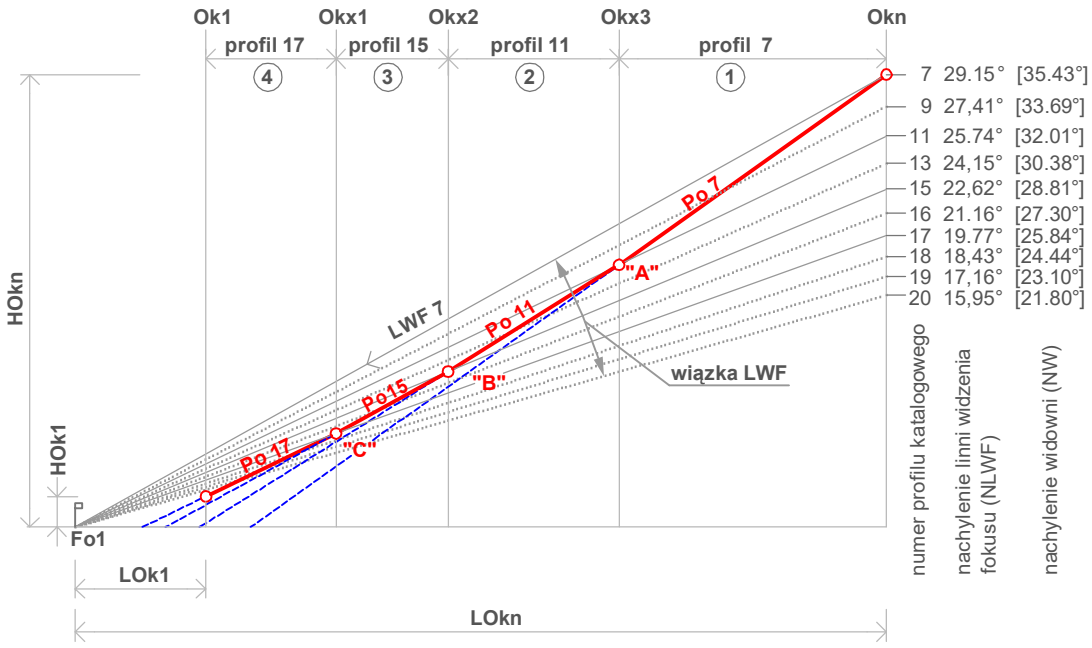
KONSTRUOWANIE PROFILU WIDOWNI W OPARCIU O WZORNIKI PROFILI POCHODNYCH OD PROFILI SCHODÓW NORMALNYCH. Wybór profilu w zależności od poszukiwanego LOk1 i HOk1

Źródło - oryginalne opracowanie autora.

LEGENDA

POo - Pionowa oś punktu oka.
LWF-Ok20 - Linia widzenia fokusu dla oka w rzędzie nr20.
NP - Numer profilu z wzornika profili pochodnych od schodów normalnych.
hLW - Pozima linia widzenia.
HPf - Wysokość pasma linii widzenia fokusów nominalnych (LWF).
GW - Głębokość widowni.
PObr - Punkt obrotu linii widzenia fokusu (LWF); wiązka LWF przeniesiona została z wzornika profili widowni pochodnych schodom normalnym; położenie punktu PObr na pionowej osi ocznej wynika z wysokości pasma HPf.

Pozostałe oznaczenia jak na rys. 3-11.



RYS. 3-11
WIDOWNIA O PROFILU PROSTOKREŚLNYM ŁAMANYM, POCHODNYM OD PROFILU SCHODÓW NORMALNYCH. Modelowanie profilu za pomocą wiązki linii widzenia fokusu

Źródło - oryginalne opracowanie autora.

Parametry przykładowej widowni :

założone:
LOk1 = 12m
LOkn = 74.5m

wynikowe:
HOk1 = 2,8m
HOkn = 41,5m
przy zastosowaniu profili : nr 7, 11, 15, 17 (z katalogu profili pochodnych schodom normalnym).

LEGENDA

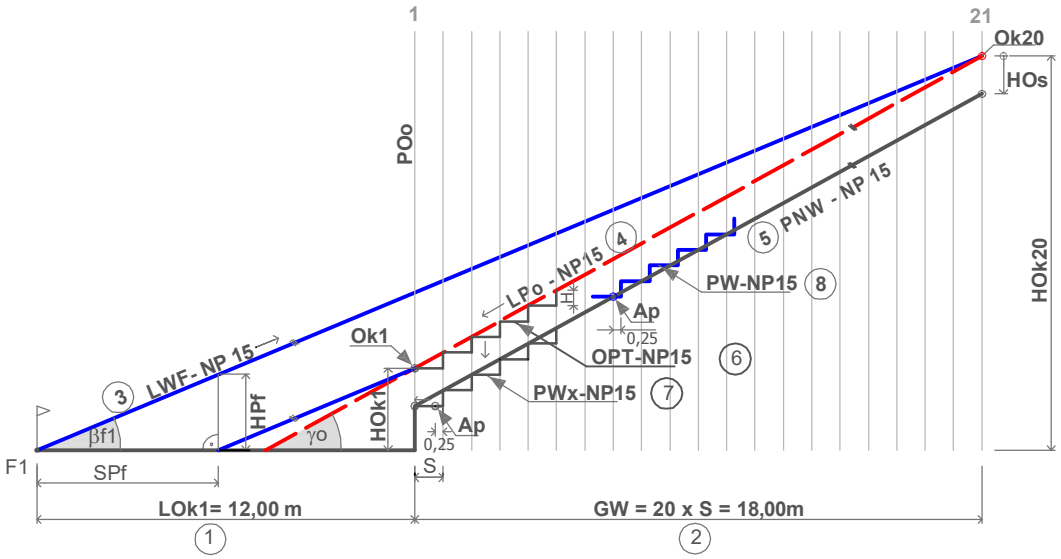
Ok1	**- Położenie oka w pierwszym rzędzie.**
Okn	**- Położenie oka w ostatnim rzędzie.**
Okx(1,2,3)	**- Położenie oka w miejscach załamań profilu widowni.**
HOk1	**- Wyniesienie oka pierwszego rzędu, (bezwzględne, odnoszone do poz. areny).**
LOk1	**- Odległość pozioma oka pierwszego rzędu od linii fokusów.**
HOkn	**- Wysokość wyniesienia oka w najwyższym rządzie.**
LOkn	**- Odległość pozioma oka ostatniego rzędu od linii fokusów.**
7,9...20	**- Profile katalogowe widowni pochodne od schodów normalnych (charakterystyka szczegółowa na rys. 3-8 i rys. 3-9).**
LWF	**- Linia widzenia fokusu bliższego (Fo1).**
LWF 7	**- Linia widzenia fokusu jw. z najdalszego rzędu, z wykorzystaniem profilu nr 7.**
Po 7,...17	**- Nachylenie płaszczyzny ocznej (Po) odpowiadające nachyleniu widowni (NW) o profilu nr 7, 11, 15, 17.**
"A, B, C"	**- Punkty przecięcia płaszczyzn ocznych (Po) odcinka widowni z liniami widzenia fokusu (LWF) poszczególnych profili katalogowych.**
①-④	**- Cyfry oznaczają kolejność wyznaczania odcinków przy modelowaniu profilu widowni.**

o profilu prostoliniowym, Konstruowanie profilu można zacząć od pierwszego lub od ostatniego punktu oka. W przykładzie przyjęto opcję drugą, ustalając, że wysokość wyniesienia pierwszego oka będzie wartością wynikową. Pozycja najdalszego oka ustalona jest odległością LOkn. Punkt Okn powstaje na przecięciu wybranej linii widzenia, należącej do wiązki wzornika, z odpowiadającą ostatniemu oku pionową linią podziałki widowni. W przykładzie jest to linia profilu nr 7 (LWF7) z katalogu profili. Ustalenie punktu Okn daje w wyniku jego wysokość wyniesienia ponad poziom areny. Następnie rysuje się linię oczną modelowego profilu (Po7), kopiując ją z katalogu. Każdy punkt przecięcia tej linii z dowolną linią widzenia tworzącą wiązkę jest potencjalnym punktem załamania profilu.

W przykładzie przyjęto punkt pierwszego załamania („A") na przecięciu linii ocznej Po7 z linią LWF11. Dalej postępuje się według opisanego schematu – z punktu załamania prowadzi się linię oczną Po11. Następnie ustala się kolejny punkt załamania; w przykładzie jest to punkt przecięcia z LWF15. Postępując podobnie ustalono też ostatni odcinek profilu, którym jest profil modelowy nr 17. W ten sposób otrzymano wstępny przebieg profilu łamanego dla całej widowni, łącznie z wartością wyniesienia dla punktu pierwszego oka.

Jeżeli analizy tak uzyskanego, wstępnego wyniku projektowego uzna się za akceptowalne, przystępuje się do drugiego etapu – etapu uszczegóławiającego. Polega on na korekcie lokalizacji punktów załamania („A", „B" i „C") profilu widowni. Korekta ta wynika z faktu, że każdy z przyjętych profili modelowych, stanowiących poszczególne odcinki profilu łamanego, charakteryzuje się inną głębokością rzędu; dla każdego z nich należy wykreślić podziałkę widowni. Punkt załamania należy ponownie ustalić, przyjmując go tym razem na przecięciu linii ocznej z najbliższą znajdującą się poniżej linią podziałki widowni. Następnie należy przenieść równolegle linię oczną i linię widzenia poniższego profilu, wyprowadzając je z nowego punktu załamania („A1"). Korygując w ten sposób położenie pozostałych punktów załamania, otrzymuje się precyzyjny wykres profilu widowni, który można zamienić na profil budowlany.

Pełny proces konstruowania profilu widowni na podstawie wzorników profili pochodnych od schodów normalnych przedstawiono przykładowo na rys. 3-12. W przykładzie wykorzystano katalogowy profil NP15, pochodny od schodów h/s=16.5/30cm, dla modelu 3x(h/s), o stopniu trybuny H/S=49,5/90 cm (rys. 3-8). Parametry założone to odległość pierwszego oka od fokusu LOk1=12m, liczba rzędów n=20 i przewyższenie Cx=Ca=12cm. Konstruowanie profilu rozpoczyna się od wykreślenia odległości LOk1 oraz podziałki widowni (n-1)xS. Wykorzystując metodę najdalszego oka, w pierwszej kolejności ustala się punkt tego oka (Ok20). Uzyskuje się to, kopiując z wzornika linię widzenia fokusu profilu LWF-NP15 i wstawiając ją w punkt fokusu. Poszukiwany punkt Ok20 wyznacza się przez przecięcie tej linii z pionową linią podziałki tego punktu oka. Mając wykreślony punkt najdalszego oka, prowadzi się z niego linię płaszczyzny ocznej Po-NP15., Punkty oczne poszczególnych rzędów, w tym punkt pierwszego oka (Ok1), wyznaczane są przez przecięcia tej linii z liniami podziałki widowni. Ustala się też w ten sposób wysokość wyniesienia pierwszego oka (HOk1). Kolejnym krokiem jest wykreślenie linii będącej prowadnicą budowlanego profilu widowni (PNW-PN15). Uzyskuje się to poprzez wyrysowanie linii równoległej do linii ocznej (Po-NP15), przesuniętej w dół o nominalną wysokość oczną HOs=120cm. Następnie rysuje się linię schodkową profilu, odkładając poziome odcinki pomiędzy liniami podziałki i wyprowadzając je z każdego punktu oka. Po połączeniu odpowiadających sobie końców tych odcinków odcinkami pionowymi otrzymuje się odzwierciedlenie profilu budowlanego na linii ocznej. Linię tę przenosi się, poprzez kopiowanie, w dół,



Parametry założone :
LOk1 = 12,00m ; GW = 21 rzędów; Cx=Ca= 12cm
Profil NP 15 (H/S = 49,5/90cm, γo = 28,81°, βf1 = 22,62°

Parametry wynikowe:
HOk 1 = 2,60 m ; HOk 20 = 12,50 m
HPf = 20x0,12 = 2,40m ; SPf = 5,76 m

RYS. 3-12
PRZYKŁAD KONSTRUOWANIA PROFILU WIDOWNI W OPARCIU O WZORNIKI PROFILI POCHODNYCH OD PROFILI SCHODÓW NORMALNYCH. Zastosowanie profililu PN15 pochodnego od profilu schodów normalnych h/s=16.5/30cm

Źródło - oryginalne opracowanie autora.

LEGENDA

F1	**- Fokus rzeczywisty bliższy (linia boczna boiska).**
LOk1,LOk20	**- Odległość pozioma punktów oka od linii fokusów rzeczywistych.**
GW	**- Głębokość widowni.**
S	**- Poziome względne przesunięcie oka równe głębokości stopnia trybuny.**
H	**- Wysokości stopnia trybuny równe względnemu wyniesieniu oka (HOkx).**
POo	**- Pionowa oś punktu oka.**
Ok1,Ok20	**- Położenie oka, odpowiednio w rzędzie nr1 i nr20.**
HOs	**- Wysokość względna położenia oka w pozycji siedzącej (antropometryczna wysokość oczna, nominalnie HOs=120cm).**
NP15	**- Profil nr 15 z wzornika profili pochodnych od schodów normalnych.**
LWF	**- Linia widzenia fokusu nominalnego.**
βf1	**- Kąt nachylenia LWF odpowiadający profilowi NP15 przeniesiony z wzornika nachyleń.**
LPo	**- Linia płaszczyzny ocznej.**
γo	**- Kąt nachylenia LPo odpowiadający profilowi NP15, przeniesiony z wzornika nachyleń.**
SPf	**- Szerokość pasma LWF.**
HPf	**- Wysokość pasma LWF.**
OPT	**- Odwzorowanie profilu trybuny wyznaczone płaszczyzną oczną.**
PNW	**- Prowadnica nachylenia profilu właściwego trybuny , równoległa do LPo i przesunięta pionowo w dół o wartość HOs.**
PWx	**- Odwzorowanie profilu trybuny na PNW.**
Ap	**- Punkt przebicia poz. płaszczyzny stopnia trybuny przez pionową oś oczną.**
PW	**- Właściwy profil widowni określający geometrię budowlaną widowni, uzyskany w wyniku poziomego przesunięcia PWx w kierunku areny, do pokrycia się punktu Ap z pionową osią oczną.**
① - ⑦	**- Kolejność czynności w trakcie konstruowania profilu widowni.**
HOk1, HOk20	**- Wyniesienie oka, odpowiednio w rzędzie nr1 i nr20 (bezwzględne, odnoszone do poziomu areny).**

na linię prowadnicy widowni tak, by była ona styczna do górnej, wypukłej krawędzi stopni. Kolejną czynnością jest poziome przesunięcie schodkowej linii profilu budowlanego, tak by punkt „Ap" znalazł się na liniach podziałki widowni. Punkt „Ap" jest punktem przecięcia pionowej osi oka z poziomą płaszczyzną stopnia trybun. Jego położenie wynika z poziomego przesunięcia w stosunku do pachwiny stopnia trybuny o nominalny dystans równy 25cm.

3.5. Nachylenie widowni – determinanty psychofizyczne

Na projektowane nachylenie widowni mają wpływ nie tylko czynniki wynikające z profilu widoczności oraz ze sposobu poruszania się po powierzchni trybun, czy dostosowania do wymiarów antropometrycznych w pozycji siedzącej i stojącej, ale także uwarunkowania psychologiczne użytkowników. Stosunek emocjonalny do amfiteatralnych form przestrzennych widowni podobny jest do tego, jaki wywołują analogiczne formy naturalne. Widownie o nachyleniu przekraczającym kąt 35° odbierane są jako strome, a ich użytkowaniu może towarzyszyć dyskomfort psychiczny wynikający z naruszenia poczucia bezpieczeństwa.

Problem ekstremalnych nachyleń widowni pojawił się wraz z rozwojem trybun piętrowych. Wiąże się on głównie z widowniami stadionów piłkarskich, dla których główną wytyczną projektową stanowi założenie jak największego przybliżenia widza do pola boiska. Usytuowanie pierwszego rzędu w odległości ok. 6m od linii bocznej pola gry, w połączeniu z dążeniem do osiągania jak największych pojemności widowni, przy równoczesnym uwzględnieniu granic pola tzw. „dobrej widoczności", skutkuje piętrzeniem trybun i zwiększaniem ich nachylenia. Nachylenie to rośnie w miarę oddalania się od areny i coraz wyższego wynoszenia ponad jej poziom. Na wielu współczesnych stadionach nachylenie najwyższego piętra widowni osiągnęło wartość krytyczną. W Europie przykładem takiego przypadku jest Stadion *San Siro* w Mediolanie, na którym nachylenie najwyższych trybun wynosi 41°, co jest tym bardziej dramatyczne, że wysokość korony dochodzi do ok. 46 m (rys. 3-13A). W wyniku tego i podobnych negatywnych doświadczeń, określono normatywną granicę nieprzekraczalnych nachyleń trybun. Według tych ustaleń nachylenie klasycznej widowni nie powinno być większe niż 35°[64].Jest to maksymalne nachylenie, akceptowane jeszcze przez większość użytkowników, jako dające komfort psychiczny wynikający z poczucia bezpieczeństwa, niewywołujące lęku przestrzeni, lęku wysokości i towarzyszącego mu zjawiska *vertigo,* czy wrażenia *odpadania od stoku.*

W teatrach antycznych najbardziej strome nachylenie trybun mieściło się w przedziale 35°-36°. Pisze o tym Witruwiusz – raz objaśniając prawidłowe wymiary stopni widowni przy projektowaniu teatru typu rzymskiego, drugi raz, wykładając zasady geometrii teatru greckiego[65]. Potwierdzenie tej prawidłowości znajdujemy ponadto

[64] Taki właśnie warunek maksymalnego, dopuszczalnego nachylenia widowni zawarto w p.5.1: *Widownia –wymagania ogólne* normy PN-EN 13200-1 (2003/2005).

[65] Witruwiusz podaje minimalne i maksymalne wymiary stopni trybun stosowane w teatrach rzymskich. Analizując je można stwierdzić, że nachylenie widowni tych teatrów mogło zawierać się w przedziale od ok. 26,5° do ok. 36,8°. Z opisu zasad kształtowania teatru typu greckiego wynika natomiast, że maksymalne nachylenie trybun wynosiło 11:16, co odpowiada kątowi ok. 34,5°, por. Witruwiusz, *O Architekturze Ksiąg Dziesięć,* Pruszyński i S-ka, przełożył K. Kumaniecki, redakcja J. Ciechanowicz, Warszawa, 2004, Księga V, Rozdz. VI i VII.

w badaniach archeologicznych zachowanych do dziś pozostałości tych budowli[66]. Również amfiteatry rzymskie miały widownie, których najbardziej strome fragmenty nie przekraczały nachylenia równego kątowi 35°. W *Koloseum*, najdoskonalszym z nich, kąt taki charakteryzował jedynie najwyższą trybunę (*maenianum summum in ligneis).*[67] Składająca się z czterech segmentów, przedzielonych przejściami równoleżnikowymi, trybuna główna miała natomiast nachylenie mniejsze, którego średnia wartość wynosiła około 32°.

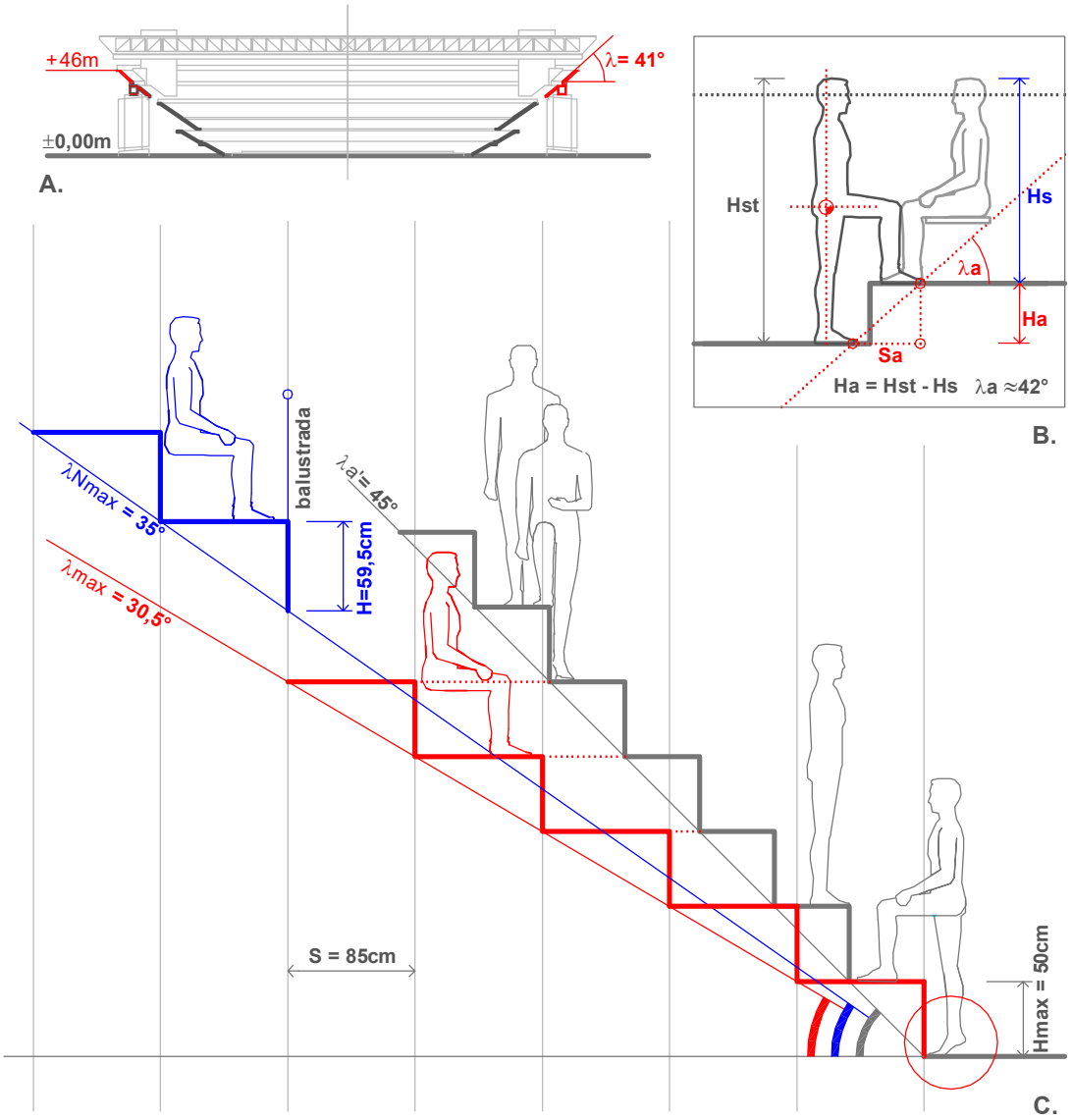
Krytyczne nachylenie profilu widowni (λmax=35°) odpowiada największemu nachyleniu profilu schodów normalnych – profilu, w którym wysokość stopnia wynosi 18.5cm, a głębokość 26cm. Nie jest przypadkiem fakt, że maksymalne nachylenie widowni dopuszczone przez normę pokrywa się z granicznym nachyleniem wyznaczającym najbardziej stromy spadek schodów normalnych, a więc takich, które zapewniają jeszcze pełny psychofizyczny komfort użytkowania. Ocena bowiem stromizny widowni odbywa się przede wszystkim poprzez odniesienie do parametrów obsługujących ją schodów południkowych (prostopadłych do poziomic). Drugim istotnym czynnikiem w tej ocenie jest wysokość uskoku pomiędzy poziomami stopni trybun.

Jak już na wstępie wspomniano, ukształtowana tarasowo, schodkowa powierzchnia widowni kojarzy się ze zboczem, górskim stokiem czy skarpą, spotykanymi w krajobrazie naturalnym. Człowiek podświadomie reaguje na nią identycznie jak na owe formy naturalne, choć jej tarasowa forma stwarza warunki znacznie bezpieczniejsze. Reakcje te są jeszcze wyraźniejsze w przypadku schodów, gdzie niewielkie wymiary stopni sprzyjają, zwłaszcza przy schodzeniu, powstawaniu obawy przed upadkiem i stoczeniem się. Szerokie tarasy stopni trybun eliminują rzeczywiste niebezpieczeństwo obsunięcia się, do którego mogłoby dojść na zboczu o tym samym nachyleniu, niemniej jednak optyczne analogie do stromego stoku powodują niepokój i dyskomfort psychiczny. Odczucia dyskomfortu pogłębiają się wraz ze wzrostem wysokości wyniesienia ponad poziom areny. Wyniesienie to na dużych współczesnych stadionach bywa porównywalne do wysokości piętnastopiętrowego budynku mieszkalnego. Siedzenie w odległym, tak wysoko położonym rzędzie stromej widowni, z natury rzeczy przodem do spadku, może wywoływać odczucia podobne do doznawanych przy siedzeniu nad brzegiem urwiska.

Psychologiczna bariera największego nachylenia tarasowej formy amfiteatralnej wyznaczana jest parametrami maksymalnego *kroku pochyłego*, kroku, któremu zawdzięczamy umiejętność chodzenia po zboczach i schodach. Maksymalny *krok pochyły* (wstępujący i zstępujący) wynika z wymiarów antropometrycznych i cech biomechanicznych ludzkiej nogi, takich jak, rozmieszczenie stawów, ich zdolności ruchowe, długość poszczególnych jej części, siła mięśni. Przeciętny, sprawny fizycznie człowiek potrafi bez pomocy poręczy poruszać się w górę po stopniach, których wysokość równa jest różnicy antropometrycznej wysokości ciała w pozycji stojącej i w pozycji siedzącej normalnej (tj. takiej, kiedy kąt pomiędzy udem i podudziem oraz udem i osią pionową tułowia jest kątem prostym). Nachylenie takich stopni wynosi ok. 42°, a poruszanie się po nich w górę od-

[66] Z badań archeologicznych dotyczących teatrów rzymskich na terenie Azji Mniejszej wynika, że kąt nachylenia widowni, stosowany przez ich budowniczych wynosił 35°-36°. Por. H. Golasz-Szołomicka, *Wybrane teatry rzymskie w Azji Mniejszej,* Architectus, Nr 2(20), 2006, str. 3-20, Wydział Architektury Politechniki Wrocławskiej.

[67] Za Mario Docci, *Amphitheatrum Flavium: the Stadium of the Caesars,* Arena, 75/2004, str. 4-13. Potwierdzają to również własne analizy autora, wykonane na podstawie licznych publikacji pionowych przekrojów *Koloseum*.



RYS. 3-13
NACHYLENIE WIDOWNI - DETERMINANTY PSYCHOFIZYCZNE
A. Stadion *San Siro* w Mediolanie, przykład widowni o nachyleniu λ = 41° (przekraczającym normatywne nachylenie λN max = 35°); B. Parametry maksymalnego "kroku pochyłego"; C. Krytyczne wartości nachyleń;

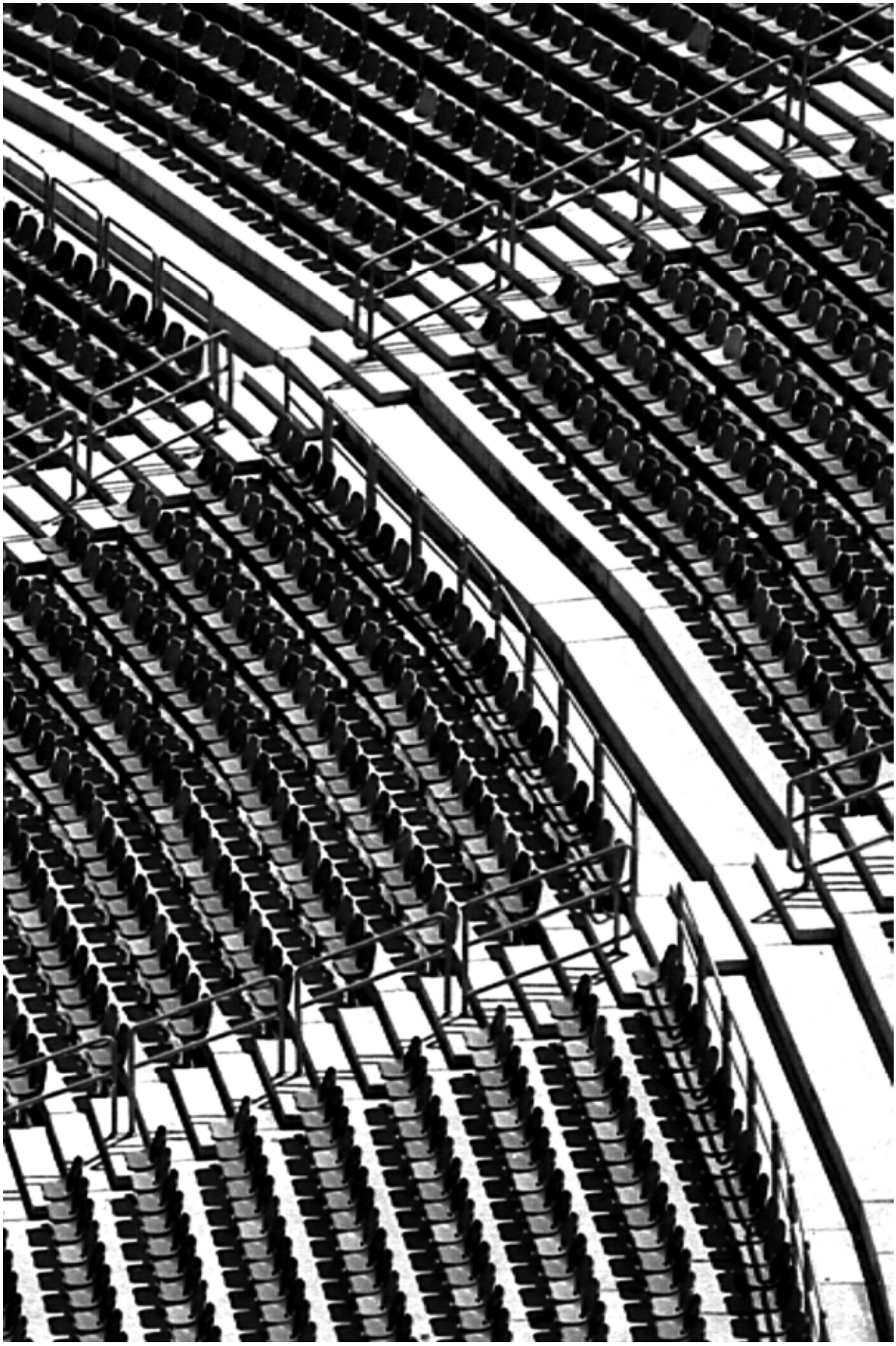
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

LEGENDA

Hmax - Maksymalna wysokość stopnia widowni normalnej, tj. o nachyleniu λ≤35° i wysokości stopnia H ≤ 50cm (bez wymogu stosowania balustrad).
S - Podziałka widowni, głębokość stopnia widowni (dla siedzisk stałych Smin=85cm).
λmax - Maksymalny kąt nachylenia widowni normalnej z miejscami do siedzenia (o stopniu H=50cm i S=85cm, λmax=30,5°).
λNmax - Maksymalny, wg. normy PN-EN 13200-1, kąt nachylenia widowni (λNmax = 35°).
λa - Maksymalnego kąt nachylenia "kroku pochyłego" (λa ~ 42°; nachylenie schodów stromych o stopniach wysokich).
λa' - Jw. lecz podniesiony (λa'=45°; wymaga "wspięcia na palcach").
Sa - Składowa pozioma maksymalnego "kroku pochyłego".
Ha - Składowa pionowa maksymalnego "kroku pochyłego".
Hs, Hst - Antropometryczna wysokość w pozycji siedzącej (Hs) i stojącej (Hst).

Fot. 3-3. *Allianz Arena*, Monachium (2006) – fragment drugiego piętra trybun zachodnich. Zdjęcie uwidacznia relacje przestrzenne pomiędzy stałymi elementami widowni i ich użytkownikami – widzami rozmieszczonymi w poszczególnych rzędach. W górnej części obrazu widoczny system velariów umożliwiający kontrolowanie stopnia nasłonecznienia areny i widowni. *Foto: M. Pelczarski.*

Fot. 3-4. *Gottlieb-Daimler Stadion*, Stuttgart – nowa trybuna zachodnia (2005). Przykład stromej widowni o profilu prostoliniowym wyposażonej w system balustrad w każdym rzędzie. Element tworzący balustradę stanowi integralną część konstrukcji siedziska. Jest to patent firmy S&H, która zaopatrzyła w siedziska zmodernizowaną widownię *Stadionu Śląskiego* w Chorzowie. *Foto: M. Pelczarski.*



Fot. 3-5. *Stadion Śląski* – fragment widowni zachodniej. Przykład widowni o profilu krzywoliniowym. Każdemu rzędowi odpowiadają dwa stopnie schodów południkowych. Głębokość stopnia schodów wynosi 42,5cm, co ułatwia przechodzenie ze schodów na powierzchnię rzędu. *Foto: archiwum ZPiW-TB.*

bywa się pojedynczymi krokami, z dostawianiem nogi na każdym wyższym stopniu (rys. 3-13B). Możliwe jest pokonywanie stopni o ok. 10 cm wyższych (rys. 3-13C), co wynika z faktu naturalnej zdolności do wspinania się na palcach dolnej stopy podczas przemieszczania środka ciężkości ciała przy wchodzeniu i stawania na palcach stopy opuszczanej przy schodzeniu[68].

Określona opisanymi powyżej cechami psychofizycznymi człowieka graniczna, uśredniona dla całej dorosłej populacji, wysokość pionowego uskoku dwóch poziomów wynosi ok. 50cm i, jak wykazano, wynika z rozmiarów maksymalnego, wstępującego i zstępującego, „kroku pochyłego". Jej przekroczenie wymaga stosowania zabezpieczeń balustradowych[69]. Fakt ten ma zasadnicze znaczenie w projektowaniu widowni. Wynikają z niego zarówno zasady kształtowania pojedynczego stopnia trybun, jak i reguły określania psychologicznie akceptowalnego nachylenia widowni.

O kącie nachylenia widowni decydują dwie składowe geometryczne: omówiona powyżej wysokość stopnia trybun, ale też i jego głębokość (rys. 3-13C). Jeżeli przyjmie się maksymalną, niewymagającą jeszcze balustrady czołowej, wysokość stopnia równą 50cm, jako wartość stałą, to o nachyleniu widowni decydować będzie zmienny wymiar głębokości stopnia. Dla nachylenia widowni o kącie równym 35º, zalecanego przez europejską normę PN-EN 13200-1 jako maksymalne, wynikowa głębokość stopnia, przy powyższym warunku jego wysokości, wynieść musi ok. 71cm. Wymiar ten klasyfikuje profil tej widowni jako przydatny wyłącznie dla miejsc stojących. Maksymalne nachylenie widowni ze stałymi siedziskami (niepodnoszonymi), spełniającej warunek maksymalnej wysokości stopnia H=50cm, osiąga się przy minimalnej dla takiej widowni głębokości stopnia Smin=85cm. Nachylenie dla tego przypadku wynosi $\lambda max=30,5°$. Jest ono, jak widać, znacznie mniejsze niż graniczne nachylenie dopuszczane przez normę. Chcąc natomiast dla tej widowni zastosować maksymalny, dopuszczony normą, kąt nachylenia $\lambda Nmax=35°$ należy przyjąć wynikową wysokość stopnia trybun H=59,5cm, która jednak bezwzględnie wymaga zabezpieczenia w postaci balustrady czołowej.

Omówione, psychofizyczne aspekty maksymalnych nachyleń trybun, dotyczą najpowszechniej stosowanych rozwiązań widowni, które można nazwać normalnymi bądź klasycznymi, a z racji na podobieństwa do antycznych pierwowzorów – tradycyjnymi. Widzowie rozmieszczani są na tarasowo piętrzących się rzędach w sposób możliwie najbardziej zwarty, dający jak największe zagęszczenie w ramach ograniczonej powierzchni sektora widowni. Przejścia wzdłuż rzędów aranżowane są przed frontem siedzisk, a pomiędzy poszczególnymi rzędami nie stosuje się balustrad. Często też sektory widowni składają się z nieprzerwanego ciągu kilkudziesięciu następujących po sobie rzędów, bez podziału na mniejsze pola.

Poczucie bezpieczeństwa, związane ze stopniem nachylenia widowni, zwiększa się znacznie, gdy na krawędzi stopni trybun stosuje się balustrady, choćby w postaci poziomej poręczy. Komfort psychiczny wzrasta jeszcze bardziej, gdy balustrada ma formę przegrody pełnej, a zwłaszcza, gdy towarzyszy jej dodatkowo, usytuowana na odpowiedniej wysokości, płaszczyzna blatu. Często balustrada taka jest niezbędna,

[68] Wniosek ten pochodzi z doświadczalnych badań prowadzonych przez autora w trakcie projektowania i realizacji widowni *Stadionu Śląskiego* w Chorzowie.

[69] Podobne ustalenia zawiera § 296.1 Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, Dz.U. Nr 75, Poz. 690, Warszawa, 15 czerwca 2002r. cyt.: *Schody zewnętrzne i wewnętrzne, służące do pokonania wysokości przekraczającej 0,5m, powinny być zaopatrzone w balustrady lub inne zabezpieczenia od strony przestrzeni otwartej.*

również z innych powodów. W przypadku wysokich stopni trybun oparcia siedzisk z rzędów niższych tworzą niebezpieczne elementy sprzyjające utracie równowagi, zwłaszcza przy popchnięciu przechodzącej osoby, znajdującej się na ogół w pozycji odwróconej tj. tyłem do areny. Ponadto, przy wysokim usytuowaniu płaszczyzny posadzki rzędu wyższego, zapewnienie bezpieczeństwa i komfortu dla miejsc z rzędów niżej zlokalizowanych wymaga stosowania odpowiednich osłon dla pleców i głowy. W dalszej części pracy przedstawiono różne odmiany takich rozwiązań. Pozwalają one na tworzenie widowni specjalnych, nawiązujących do standardów lóż balkonowych, znanych z XIX wiecznych teatrów i oper. Widownie tego typu umożliwiają stosowanie nachyleń o wartościach kątowych znacznie przekraczających limity, cechujące widownie tradycyjne.

Rozdział 4
CZAS EWAKUACJI I JEGO WPŁYW NA UKŁAD I PARAMETRY DRÓG KOMUNIKACYJNYCH

Ewolucyjny rozwój nowożytnych, wielkich obiektów sportowo-widowiskowych, jakimi są stadiony, trwa ponad sto lat. Współcześnie na świecie funkcjonuje ponad czterysta stadionów, których pojemność widowni przekracza czterdzieści tysięcy miejsc. Szczególnie dynamiczny rozwój budownictwa tych obiektów nastąpił na przełomie XX i XXI wieku, kiedy powszechną zasadą stało się zadaszanie całej widowni. Coraz częściej dach przekrywa nie tylko widownię, ale i arenę stadionu. W okresie tym nastąpił również znaczny postęp w zakresie kształtowania widowni. Wprowadzono unormowane standardy projektowe i użytkowe dotyczące komfortu i bezpieczeństwa widzów. Elementów mającymi zasadnicze znaczenie dla tych standardów, są drogi komunikacji i ewakuacji w obrębie widowni. Treścią niniejszego rozdziału są, wynikające z tych zagadnień, uwarunkowania i problemy w dziedzinie projektowania architektonicznego. Autor przedstawia własne metody projektowe oraz analizy, uwagi i spostrzeżenia wynikające z wieloletniej praktyki projektowej i realizacyjnej w tej dziedzinie.[70]

4.1. Czas ewakuacji

Doświadczenia ostatnich lat w dziedzinie projektowania i realizacji wielkich stadionów pozwoliły określić standardy bezpieczeństwa, do których m.in. należy czas ewakuacji widowni. Jest on jednym z najważniejszych czynników mających wpływ na kształt wielkich widowni.

Terminem *czas ewakuacji,* określa się w literaturze przedmiotu czas, w którym wszyscy widzowie są w stanie wyjść z obszaru widowni i znaleźć się w tzw. *pierwszej strefie bezpieczeństwa.* W praktyce oznacza to czas, potrzebny ostatniemu widzowi, zajmującemu najdalej położone od wyjścia ewakuacyjnego miejsce, na opuszczenie widowni.

Norma PN-EN 13 200-1 określa maksymalny dopuszczalny czas ewakuacji widowni do pierwszej strefy bezpieczeństwa – wynosi on 8 minut. Normy włoskie, już w latach dziewięćdziesiątych, ustalały maksymalny czas ewakuacji widowni do pierwszej strefy bezpieczeństwa jako 5 minut i kolejne 5 minut dla ewakuacji do strefy zewnętrznej stadionu. Wiele nowych stadionów zrealizowano z widowniami, które charakteryzuje czas ewakuacji równy lub mniejszy niż 5 minut. Należy do nich m.in. *Stadion Śląski* w Chorzowie.

[70] W ogólnym zarysie zagadnienia te prezentowane były przez autora wcześniej, por. Z.Pelczarski, *Projektowanie dróg komunikacji i ewakuacji w obrębie widowni wielkich obiektów sportowo-widowiskowych,* [w:] Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej, Architektura – Zeszyt 20, red. nauk. J.C. Żarnowiecka, Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, Białystok 2008, s. 57-70.

4.2. Przepustowość przejścia ewakuacyjnego

Przepustowość przejścia ewakuacyjnego określono doświadczalnie, w warunkach eksploatacyjnych widowni istniejących stadionów. Norma PN-EN 13 200-1 podaje, że przy poruszaniu się po drogach ewakuacyjnych w obrębie widowni, takich jak: schody korytarzy południkowych, korytarze równoleżnikowe, przejścia w rzędach i womitoria przepustowość (P) wynosi 79 osób/1min/1,2m szerokości przejścia[71]. W Wielkiej Brytanii, tzw. *Green Guide* (*Guide to Safety at Sports Grounds*)[72] zaleca przyjmowanie dla obszaru widowni z miejscami siedzącymi przepustowość dróg ewakuacyjnych równą 73 osoby/1min/1,0m szerokości przejścia, co po przeliczeniu na podwójne normatywne pasmo ewakuacji daje 87,6 osoby/1min/1,2m. Autorzy podkreślają jednak, że jest to maksymalna dopuszczalna przepustowość i zalecają przyjmowanie wartości mniejszych z uwagi na prawdopodobieństwo pojawienia się wśród ewakuowanych osób mniej sprawnych i dzieci. Według innych źródeł[73] przepustowość jednego pasma ruchu o szerokości 0,6m wynosi 40 osób/1min, a dwóch pasm (1,2m) odpowiednio 80 osób/1min. Badania autora, wykonane podczas realizacji i eksploatacji widowni *Stadionu Śląskiego*, potwierdzają taką właśnie przepustowość. Przepustowość 80 osób/1min/1,2m przyjęto w analizach przedstawionych w dalszej części niniejszego rozdziału.

4.3. Przepustowość układu ewakuacyjnego

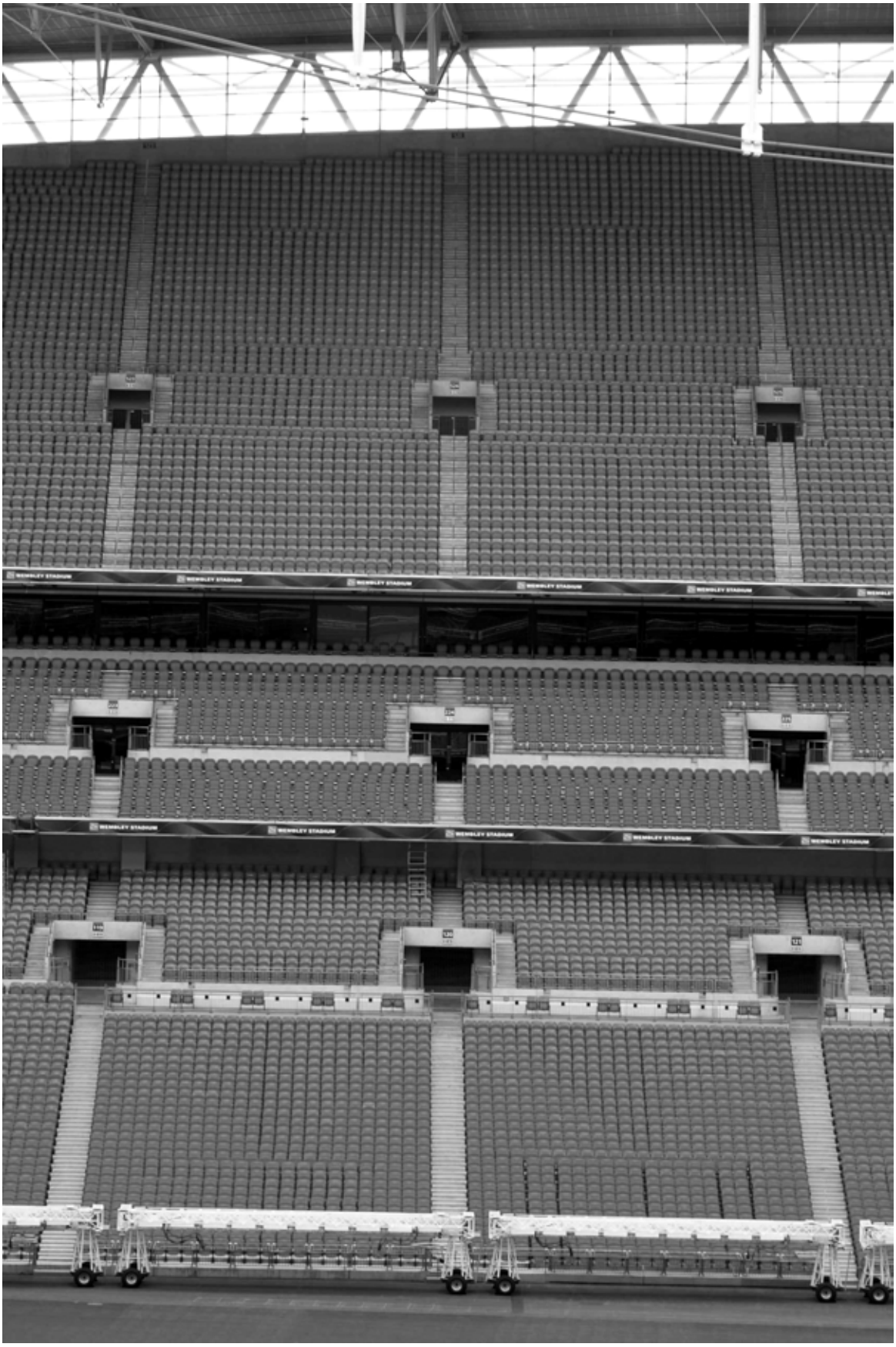
Na rys. 4-1 przedstawiono zasady i uwarunkowania działania układu ewakuacyjnego widowni.Układ ewakuacyjny składa się na ogół z przejścia w obrębie rzędu widowni, z przejścia w obrębie schodów południkowych i przejścia w obrębie womitorium. Czas ewakuacji widowni jest sumą czasów ewakuacji poszczególnych elementów układu. Można go też określić ilorazem sumy długości dróg układu i średniej prędkości poruszania się po wszystkich elementach układu. Niektóre źródła stosują taki właśnie sposób obliczania czasu ewakuacji, podając prędkość poruszania się po płaszczyźnie poziomej i po schodach w odniesieniu do jednego pasma ruchu. Przy poruszaniu się po płaszczyznach poziomych prędkość ta wynosi 100m /1min, a przy poruszaniu się po schodach 30m /1min.

O czasie ewakuacji z obszaru widowni decyduje jednak nie tyle prędkość, ile przepustowość przejść ewakuacyjnych. Przejście o najmniejszej przepustowości decyduje o sprawności całego układu i wynikowo o czasie ewakuacji. Czas ewakuacji jest funkcją przepustowości najsłabszego ogniwa układu, Te=f(Pe min). Jeżeli przepustowość w rzędzie będzie nawet większa niż na korytarzu południkowym,to i tak wejście na korytarz będzie możliwe dopiero wtedy, gdy powstanie na nim wolne miejsce. System zasilania korytarza południko-

[71] Por. PN-EN 13200-1, *Obiekty widowiskowe, Część 1: Wymagania dotyczące projektowania widowni, Wyszczególnienie,* Załącznik E: *Przepustowość wyjścia z widowni,* s. 24.

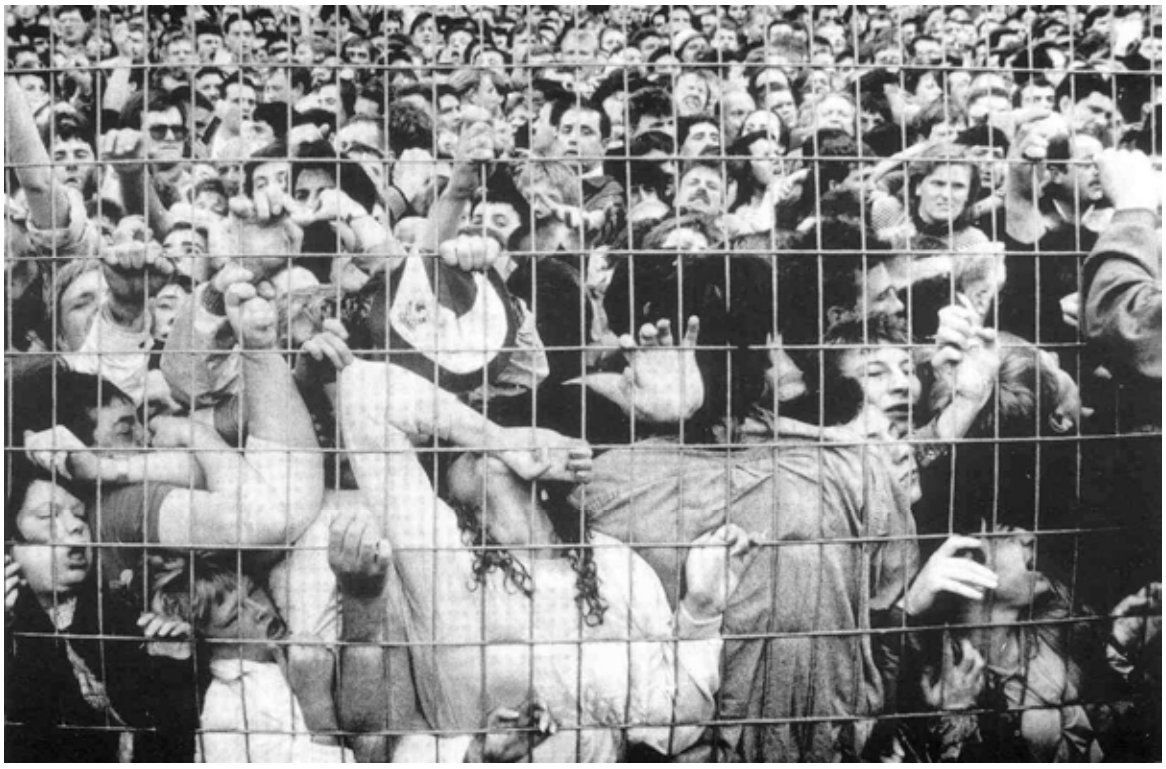
[72] Jest to oracowany przez specjalną komisję rządową kodeks o mocy prawnej, określający obligatoryjne zasady bezpieczeństwa na stadionach sportowych w Wielkiej Brytanii. Jedną z dziedzin, objętą tym dokumentem jest projektowanie nowych i modernizowanych stadionów. Por. *The Green Guide* (Fourth Edition), *Guide to Safety at Sports Grounds*, HMSO (Her Majesty`s Stationery Office), London 1997.

[73] Por. G. John, R. Sheard, *Stadia. A Design and Development Guide*, Architectural Press, Oxford – Boston –Melbourne 1997, s. 163.



Fot. 4-1. Stadion *Wembley* (2008) – fragment widowni. Widoczny układ komunikacji i ewakuacji na poszczególnych piętrach trybun. Zróżnicowane szerokości womitoriów decydują o różnych czasach ewakuacji osiąganych w obsługiwanych przez nie sektorach widowni. *Foto: M. Pelczarski.*

Fot. 4-2. Stadion *Wembley* (1923) – finał piłkarskiego pucharu Anglii. Mecz odbył się cztery dni po ukończeniu budowy stadionu. Na stadion o pojemności 120 tys. miejsc (w tym 30 tys. miejsc siedzących) wtargnęło wówczas 200 tys. kibiców. Policja nie interweniowała, a mecz się odbył przy obecności tysięcy widzów na płycie areny. *Foto: reprodukcja, M.B. Michalik, Kronika Sportu, Warszawa 1993, s. 308.*

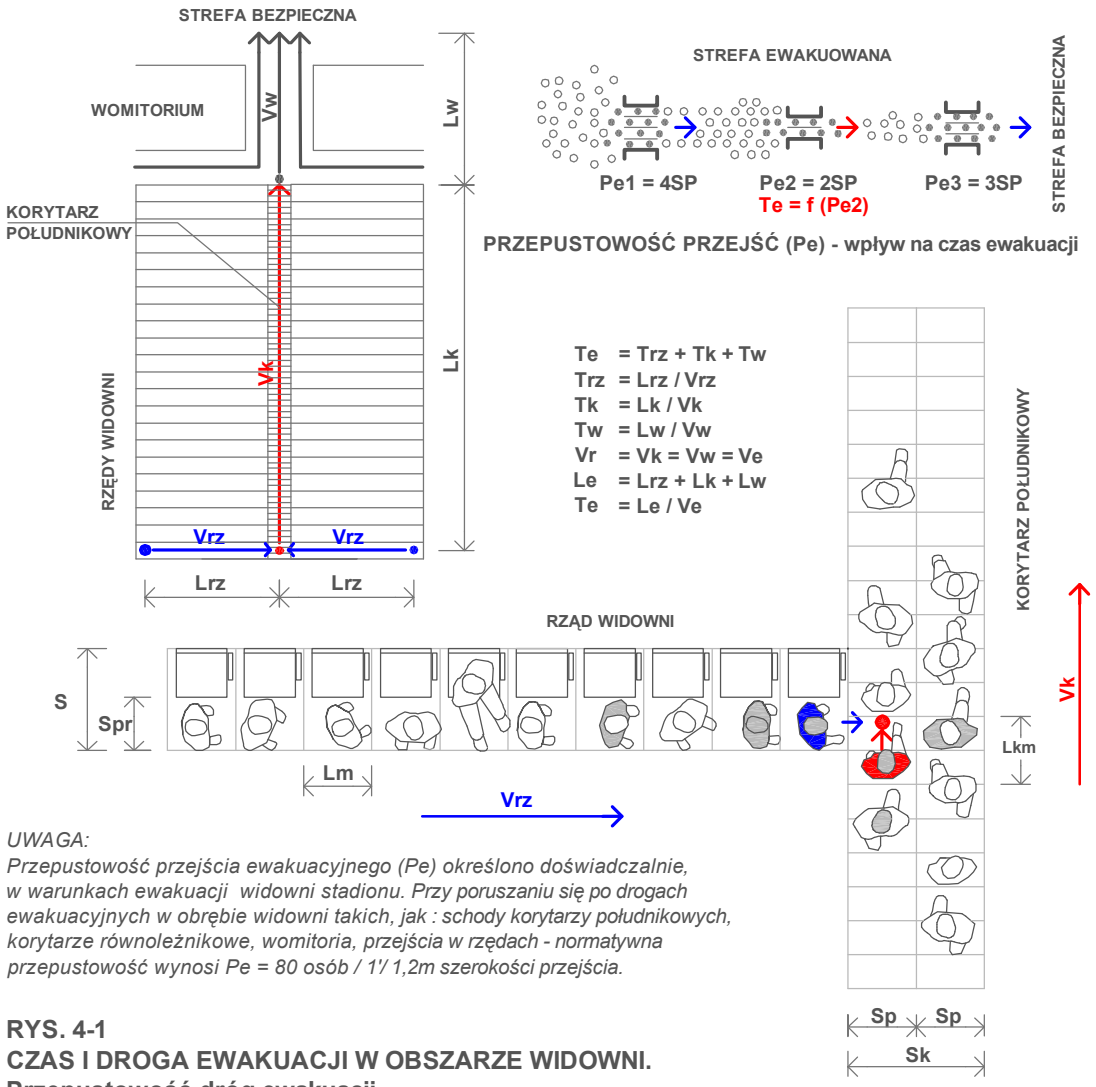


Fot. 4-3. Tragedia na Stadionie *Hillsborough*, Sheffield, 15 kwietnia 1989r. W trakcie meczu Liverpool przeciw Nottingham Forest zginęło 96 kibiców, a 200 odniosło poważne rany. W wyniku dochodzenia ustalającego przyczyny katastrofy powstał tzw. *Raport Taylora,* który stał się podstawą radykalnych zmian przepisów regulujących projektowanie współczesnych stadionów.

Foto: reprodukcja – za O. Luder, Sports Stadia after Hillsborough, s. 48.

Fot. 4-4. *Stadion Śląski* – widownia zachodnia. Moment opuszczania trybun po zakończonym koncercie. Parametry dróg komunikacji i ewakuacji w obrębie widowni zapewniają nieprzekraczający pięciu minut czas ewakuacji z każdego sektora. Zdjęcie przedstawia ostatnią fazę opróżniania widowni: puste sektory – stan napełnienia schodów południkowych. *Foto: autor.*

Fot. 4-5. *Stadion Śląski* – fragment areny, tunel południowy. Końcowa faza opróżniania płyty areny po zakończonym koncercie. Pojemność areny dla funkcji koncertowej wynosi 15-20 tys. osób. Uzyskanie normatywnego czasu ewakuacji (5-8 minut) wymaga uruchamiania wspomagających tunele dodatkowych dróg komunikacji za pośrednictwem pomostów nad fosą i korytarzy widowni. *Foto: autor.*



UWAGA:
Przepustowość przejścia ewakuacyjnego (Pe) określono doświadczalnie, w warunkach ewakuacji widowni stadionu. Przy poruszaniu się po drogach ewakuacyjnych w obrębie widowni takich, jak : schody korytarzy południkowych, korytarze równoleżnikowe, womitoria, przejścia w rzędach - normatywna przepustowość wynosi Pe = 80 osób / 1' 1,2m szerokości przejścia.

RYS. 4-1
CZAS I DROGA EWAKUACJI W OBSZARZE WIDOWNI.
Przepustowość dróg ewakuacji

Źródło - oryginalne opracowanie autora.

LEGENDA

Pe(1) - Przepustowość przykładowych przejść ewakuacyjnych o szerokościach wyrażonych ilością pasm ruchu (Sp). Przepustowość pasma ruchu wynosi 40 osób / 1 minutę. Szerokość pasma ruchu Sp = 0,6m.

Te - Całkowity czas ewakuacji w minutach. Czas, w jakim widz z najdalej położonego miejsca sektora widowni, poruszając się po wyznaczonych drogach ewakuacji, osiągnie strefę bezpieczną.

Trz - Czas ewakuacji rzędu widowni. Czas, w jakim widz z najdalej położonego miejsca w rzędzie, osiągnie korytarz południkowy.

Tk - Czas ewakuacji korytarza południkowego. Czas, w jakim widz z najdalej położonego rzędu, poruszając się po korytarzu południkowym, osiągnie strefę womitorium.

Tw - Czas ewakuacji strefy womitorium. Czas, w jakim widz pokonuje drogę od ostaniego stopnia schodów korytarza południkowego do zewnętrznej strefy bezpieczeństwa.

Le - Całkowita długość drogi ewakuacji, na którą składają się odcinki: Lrz - w rzędzie widowni (po powierzchni poziomej), Lk- po schodach korytarza południkowego,
Lw- w strefie womitorium (po jednej z powierzchni- poziomej lub schodowej lub po obu z nich).

Ve - Wypadkowa (rzeczywista) prędkość ewakuacji. Mają na nią wpływ prędkości składowe: Vrz - w obrębie rzędu widowni, Vk - w obrębie korytarza południkowego i Vw- w obrębie womitorium.
Jej prędkość określa jedna z ww. wymienionych składowych - ta z nich, która ma najmniejszą wartość, wynikającą z najmniejszej przepustowości.

S - Głębokosc rzędu widowni.

Spr - Szerokość przejścia ewakuacyjnego (pasma ruchu) w rzędzie.

Sp - Szerokość pojedyńczego pasma ruchu na korytarzu południkowym i w strefie womitorium, Sp= 0,6m.

Sk - Szerokość korytarza południkowego (minimalna normatywna), Sk(min) = 2 x 0,6m = 1,2m.

Lm - Odstęp pomiędzy widzami poruszającymi się przejściem ewakuacyjnym w rzędzie widowni (wartość równa rozstawowi siedzisk).

Lkm - Odstęp pomiędzy widzami poruszającymi się po schodach korytarza południkowego.

wego można porównać do drenu, gdzie na całej jego długości następuje przesączanie medium, a jego prędkość zależy od szybkości wypływu z kolektora zbiorczego, który, gdy wypełniony w 100%, nie przyjmuje przesączania. Pojemność korytarza południkowego określona jest przez jego powierzchnię. Liczba osób znajdujących się w jego obrębie jest ilorazem tej powierzchni i wskaźnika powierzchniowego na jedną osobę. Przyjmuje się, że odstęp pomiędzy widzami poruszającymi się po schodach południkowych wynosi minimum dwie głębokości stopnia schodów. Przechodzenie widzów z poszczególnych rzędów widowni na schodowy korytarz południkowy ma następujący przebieg:

- w pierwszym momencie ewakuacji, wchodzą na korytarz widzowie z siedzisk najbliższych korytarza schodowego (na korytarzu znajduje się liczba osób stanowiąca połowę jego pojemności);
- w drugiej fazie, wchodzą na korytarz widzowie z siedzisk strefy brzegowej widowni, wypełniając całkowicie powierzchnię korytarza;
- w trzeciej fazie, równolegle w czasie, następuje wchodzenie widzów z rzędów najniższych w miejsca powstałe w wyniku opuszczania korytarza przez widzów w strefie womitorium i wchodzenie widzów na całej długości korytarza w wyniku ustępowania miejsca przez znajdujących się już na korytarzu – stopniowo całkowicie opróżniają się rzędy najniższe i ubywa osób w rzędach wyższych.

4.4. Ewakuacyjny moduł pojemności widowni

Minimalna szerokość schodowego korytarza południkowego wynosi: Skmin= =2×0,6m=1,2m, tj. dwa pasma ruchu, każde o szerokości 0,6m. Znając przepustowość pojedynczego pasma ruchu, można określić liczbę osób przemieszczającą się po tym paśmie w założonym czasie ewakuacji (Te). Mnożąc tę wartość razy dwa, otrzymuje się wielkość odniesioną do minimalnej normatywnej szerokości korytarza południkowego (Sk min). Wielkość tę określono mianem ewakuacyjnego modułu pojemności widowni (Mpw). Mpw=Pe×Te, gdzie: Pe – przepustowość korytarza o szerokości Sk min wynosząca 80 osób w ciągu jednej minuty, Te – założony czas ewakuacji. Przykładowo dla czasu ewakuacji Te=2min moduł Mpw(2min) wynosi 2×80=160 osób, dla maksymalnego dopuszczalnego czasu Te=8min moduł Mpw(8min) wynosi 8×80=640 osób.

Odpowiednikiem, modułu Mpw, wyrażonego liczbą osób, jest powierzchnia widowni zapewniająca miejsca dla tej liczby osób. Indywidualne miejsce dla jednej osoby stanowi fragment powierzchni widowni, którego wielkość i kształt umożliwiają komfortowe usytuowanie osoby w pozycji siedzącej oraz zapewnienie przejścia dla innych osób. Aranżacja funkcjonalno-przestrzenna widowni polega na tworzeniu układów składających się z rzędów indywidualnych miejsc sytuowanych na stopniach trybun, które dzięki spiętrzaniu, zapewniają widoczność areny z każdego rzędu. Powierzchnię jednego miejsca określa iloczyn głębokości rzędu i szerokość miejsca. Powierzchnia widowni odpowiadająca modułowi Mpw jest iloczynem liczby osób określonej modułem i powierzchni jednego miejsca. Powierzchnia ta jest wartością stałą dla danego modułu, może jednak przybierać różne kształty, w zależności od założonej liczby miejsc w rzędzie i wynikającej z tego różnej długości korytarza południkowego. Długość korytarza południkowego dla określonego modułu Mpw, wyrażona liczbą rzędów, jest wynikiem ilorazu liczby miejsc określonych modułem i liczby miejsc w rzędzie. Wartości te

podano w odniesieniu do poszczególnych modułów w zestawieniu tabelarycznym na rys. 4-2. Na rysunku tym przedstawiono również przykładowe zestawienia kształtów i układów modułu Mpw(5min) dla czasu Te=5min, dla trzech długości rzędów, wyrażonych liczbą miejsc w rzędzie (Nmr), tj. 14, 28 i 40. Dla Nmr=40 długość korytarza południkowego Lkp=10 rzędów, dla Nmr=28 Lkp=14 rzędów, a dla Nmr=14 Lkp=28 rzędów. Z zestawień tych wynika, jak różne, przy stałej pojemności i powierzchni modułu, mogą być jego kształty – od prostokąta wydłużonego równoleżnikowo do prostokąta wydłużonego południkowo. Kształty te wpływają na układ widowni i proporcje powierzchni widowni do powierzchni korytarzy południkowych oraz rozstawy tych korytarzy.

4.5. Zależność pomiędzy powierzchnią widowni i powierzchnią komunikacyjno-ewakuacyjną

Na rys. 4-3 przedstawiono zależności geometryczne pomiędzy powierzchnią rzędu (Pr) i odpowiadającą mu powierzchnią korytarza południkowego (Pkr). Stosunek tych powierzchni jest równy stosunkowi długości rzędu (Lr) i szerokości korytarza (Sk), ponieważ głębokość rzędu widowni (S) i długość odpowiadającego mu korytarza południkowego (S) są sobie równe.

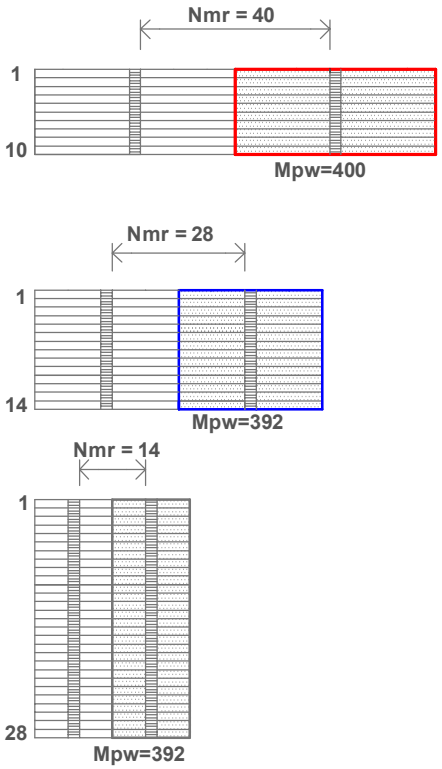
$$Pkr/Pr=Sk/Lr$$

gdyż: $Pr=Lr\times S$ i $Pkr=Sk\times S$

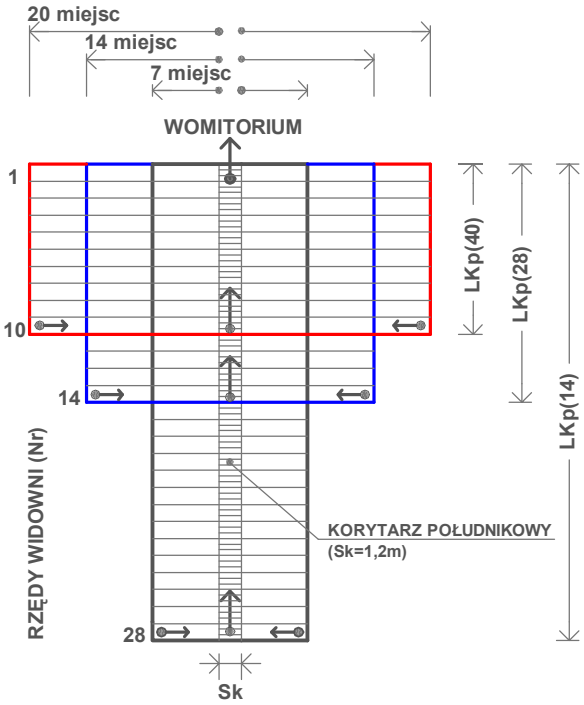
Proporcje powierzchni obsługiwanego rzędu i powierzchni obsługującego go odcinka korytarza południkowego określane być mogą zatem zależnościami liniowymi Sk / Lr. Zależności te rozciągają się na cały moduł Mpw, gdyż jego strukturę tworzy zwielokrotniony układ pojedynczego rzędu i odpowiadającego mu odcinka korytarza południkowego.

4.6. Modele sektora widowni

Widownia składa się z wielu autonomicznych części, z których każdy ma własny system komunikacji i ewakuacji. Części te określa się mianem sektorów. Sektory widowni mogą składać się z jednego, lub więcej, ewakuacyjnego modułu pojemności widowni (Mpw). Na rys. 4-3 przedstawiono sposób tworzenia modelu sektora składającego się z trzech ewakuacyjnych modułów Mpw, zestawionych południkowo, przy założeniu poruszania się po korytarzu południkowym od dołu do góry. Każdy dodatkowy moduł Mpw wymaga zwiększenia szerokości korytarza o dodatkowy moduł korytarza (Mkp), zapewniający ewakuację dla modułu Mpw znajdującego się poniżej. Powoduje to skokowe zwiększanie się szerokości korytarza południkowego. Trzy moduły Mpw obsługiwane muszą być przez sześć modułów Mkp. W praktyce, w zakresie układów południkowych, występują trzy modele sektora, w zależności od liczby modułów Mpw. Są to modele typu: 1Mpw, 2Mpw i 3Mpw, (por. rys. 4-4).



Wpływ kształtu modułu Mpw na układ komunikacyjno-ewakuacyjny widowni.



Te=5', Mpw(5')= 400, Nmr= 14, 28 i 40, Sk(min)=1,2m

Porównawcze zestawienie kształtów przykładowego modułu Mpw(5') w zależności od długości rzędu.

Mpw = Pek × Te
Lkp = Nr = Mpw / Nrm
Uwaga: Wartość Lkp=Nr zaokraglono do pełnej liczby rzędów

Wzory obliczeniowe - podstawowe zależności

Te [min]	Mpw [osoby]	LKp(14)	LKp(28)	LKp(40)
		[rzędy]		
2	160	11	6	4
3	240	17	9	6
4	320	22	12	8
5	400	28	14	10
6	480	34	17	12
7	560	40	20	14
8	640	45	22	16

Zestawienie długości korytarzy południkowych w zależności od wielkości modułu Mpw, dla wybranych długości rzędu (Nmr=14,28 i 40)

RYS. 4-2
UKŁAD KOMUNIKACJI I EWAKUACJI W OBRĘBIE WIDOWNI. EWAKUACYJNY MODUŁ POJEMNOŚCI WIDOWNI - warianty dla czasu ewakuacji Te=5' i przykładowych ilości miejsc w rzędzie Nrm=14,28,40

Źródło - oryginalne opracowanie autora.

LEGENDA

Mpw - Ewakuacyjny moduł pojemności widowni określony ilością osób, które w założonym czasie ewakuacji są w stanie opuścić widownię, korzystając z korytarza południkowego o szerokości Sk(min).

Pek - Przepustowość korytarza południkowego o minimalnej, normatywnej szerokości Sk(min) = 1,2 m, wynosi 80 osób w ciągu 1 minuty.

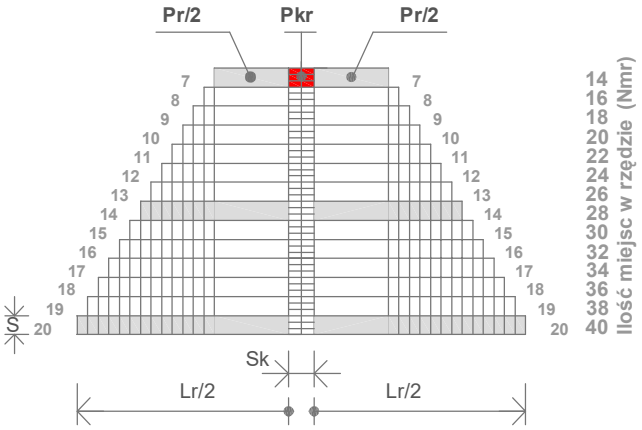
Nmr - Ilość miejsc w rzędzie zawarta pomiędzy dwoma korytarzami południkowymi. W przypadku rzędów obsługiwanych tylko przez jeden korytarz, dopuszczalna ilość miejsc wynosi 0.5 x Nmr.

Nr - Ilość rzędów widowni zapewniająca wymaganą pojemność dla założonego modułu Mpw, przy założonej ilości miejsc w rzędzie (Nmr). Nr = Mpw / Nmr.

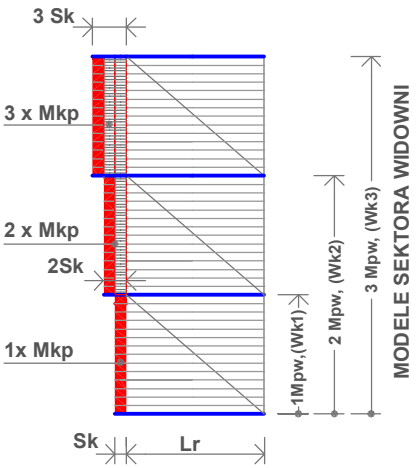
LKp(28) - Długość korytarza południkowego wyrażona ilością obsługiwanych rzędów widowni; przykładowo dla Te = 8' i Nmr= 28 LKp(28) = Nr(28) = Mpw(8') / Nrm = 640 / 28 = 22,9. Indeksem (28) oznaczono założoną wartość Nmr.

Uwaga: *Pozostałe oznaczenia jak dla rys.4-1.*

Pr = Lr x S
Pkr = Sk x S
Pkr/ Prz = Sk / Lr



Porównawcze zestawienie modeli rzędów widowni.
Zależności geometryczne pomiędzy powierzchnią rzędu i powierzchnią korytarza południkowego.



Zależności pomiędzy modelem sektora widowni i modułem korytarza południkowego (Mkp).

Nmr [miejsca]	Lr [m]	Wk1 [%]	Wk2 [%]	Wk3 [%]
14	7	17,14	25,72	34,29
16	8	15,00	22,50	30,00
18	9	13,33	20,00	26.66
20	10	12,00	18,00	24,00
22	11	10,91	16.37	21,82
24	12	10,00	15,00	20,00
26	13	9,23	13,85	18,46
28	14	8,57	12,86	17,14
30	15	8,00	12,00	16,00
32	16	7,50	11,25	15,00
34	17	7,06	10,59	14,12
36	18	6,67	10.00	13.33
38	19	6,32	9,45	12.63
40	20	6,00	9,00	12.00

Tabelaryczne zestawienie wskaźników Wk dla modeli sektorów 1Mpw, 2Mpw i 3Mpw i dla różnych szerokości sektora.

Model sektora: **1 Mpw**
Wk1/100 = Sk/ Lr
Wk1 [%] = 100 Sk / Lr

Model sektora: **2 Mpw**
Wk2/100 = 3Sk/2Lr
Wk2 [%] = 300 Sk/2Lr = 150 Sk/Lr

Model sektora: **3 Mpw**
Wk3/100 = 6Sk/3Lr
Wk3 [%] = 600 Sk/3Lr = 200 Sk/Lr

Metoda obliczania procentowego wskaźnika powierzchni komunikacyjno-ewakuacyjnej widowni.

RYS. 4-3
WSKAŹNIK POWIERZCHNI KOMUNIKACYJNO - EWAKUACYJNEJ WIDOWNI

Źródło - oryginalne opracowanie autora.

LEGENDA

Lr - Długość rzędu widowni; Lr= Nrm x Lm.
S - Głębokość rzędu (stopnia) widowni.
Pr - Powierzchnia rzędu widowni dla dowolnej wartości Nmr; Pr = Lr x S.
Pkr - Powierzchnia fragmentu korytarza południkowego, odpowiadająca jednemu rzędowi widowni; Pkr= Sk x S.
Wk - Procentowy wskaźnik powierzchni komunikacyjnej widowni. Wk określa powierzchnię korytarza południkowego, jako procentową część obsługiwanej przez ten korytarz powierzchni widowni. Wk1, Wk2, Wk3 - wskaźnik dla sektorów o modelu: 1 Mpw, 2 Mpw, 3 Mpw.
Mkp - Jednostka modułowa korytarza południkowego, równa korytarzowi o szerokości Sk(min)=1,2m i długości Lkp.

Uwaga: *Pozostałe oznaczenia jak dla rys. 4-1 i rys. 4-2.*

4.7. Wskaźnik powierzchni komunikacyjno-ewakuacyjnej

Bardzo przydatnym narzędziem w procesie projektowania widowni jest możliwość określenia, już we wczesnych fazach budowania modelu widowni, wielkości powierzchni niezbędnej do prawidłowej obsługi komunikacyjno-ewakuacyjnej.

Opracowana przez autora metoda budowania modeli widowni z wykorzystaniem ewakuacyjnego modułu Mpw umożliwia wskaźnikowe określanie wymaganej powierzchni komunikacyjno-ewakuacyjnej. Procentowy wskaźnik powierzchni komunikacyjno-ewakuacyjnej widowni (Wk) określa powierzchnię korytarza południkowego, jako procentową część obsługiwanej przez ten korytarz powierzchni widowni. Na rys. 4-3 podano sposób obliczania wskaźników Wk1, Wk2 i Wk3, odpowiednio dla poszczególnych modeli sektora 1Mpw, 2Mpw i 3Mpw. Wskaźniki te określa się ze wzorów:

dla modelu 1Mpw: Wk1[%]=100Sk/Lr;
dla modelu 2Mpw: Wk2[%]=150Sk/Lr;
dla modelu 3Mpw: Wk3[%]=200Sk/Lr;
gdzie:
Sk – minimalna szerokość korytarza południkowego równa 1,2m;
Lr – długość rzędu wyrażona w metrach.

W tabeli na rys. 4-3 podano zestawienia wyliczonych wskaźników powierzchni komunikacyjno-ewakuacyjnej dla długości rzędów od 7m do 20m, uwzględniając wszystkie ww. modele sektorów. Z analiz tych wskaźników wynika, że powierzchnia korytarza południkowego wzrasta wraz ze wzrostem liczby modułów Mpw – dla modelu dwumodułowego półtorakrotnie, dla trzymodułowego – dwukrotnie w stosunku do modelu jednomodułowego.

Z analiz wartości procentowego wskaźnika powierzchni komunikacyjno-ewakuacyjnej wynika ponadto, że im mniejsza liczba miejsc w rzędzie, tym większa powierzchnia komunikacyjna korytarza. Dla przykładu, przy 14 miejscach w rzędzie, wskaźniki wynoszą:

Wk1=17,14%, Wk2=25,72%
i Wk3=34,29%,

natomiast dla wariantu z 28 miejscami w rzędzie wartości wskaźników znacznie spadają, i przedstawiają się następująco:

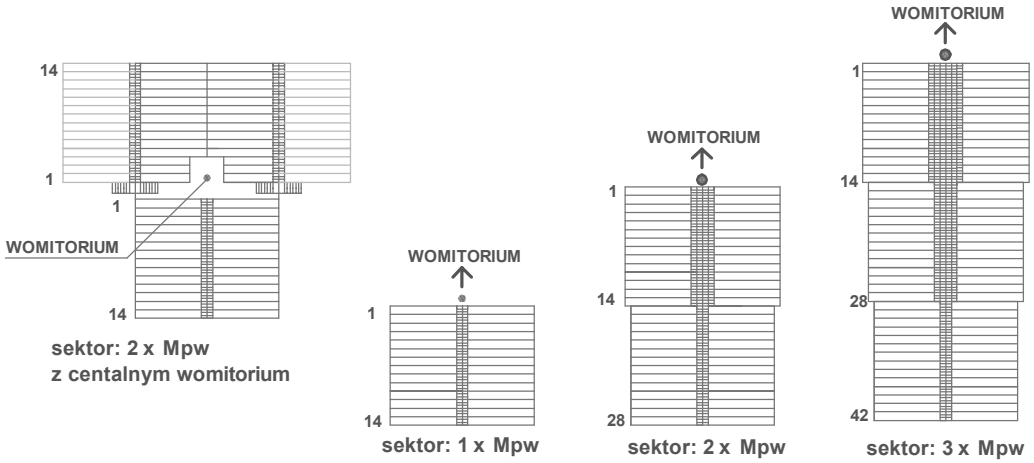
Wk1=8,57%, Wk2=12,86%
i Wk3=17,14%.

4.8. Kształtowanie geometrii sektora

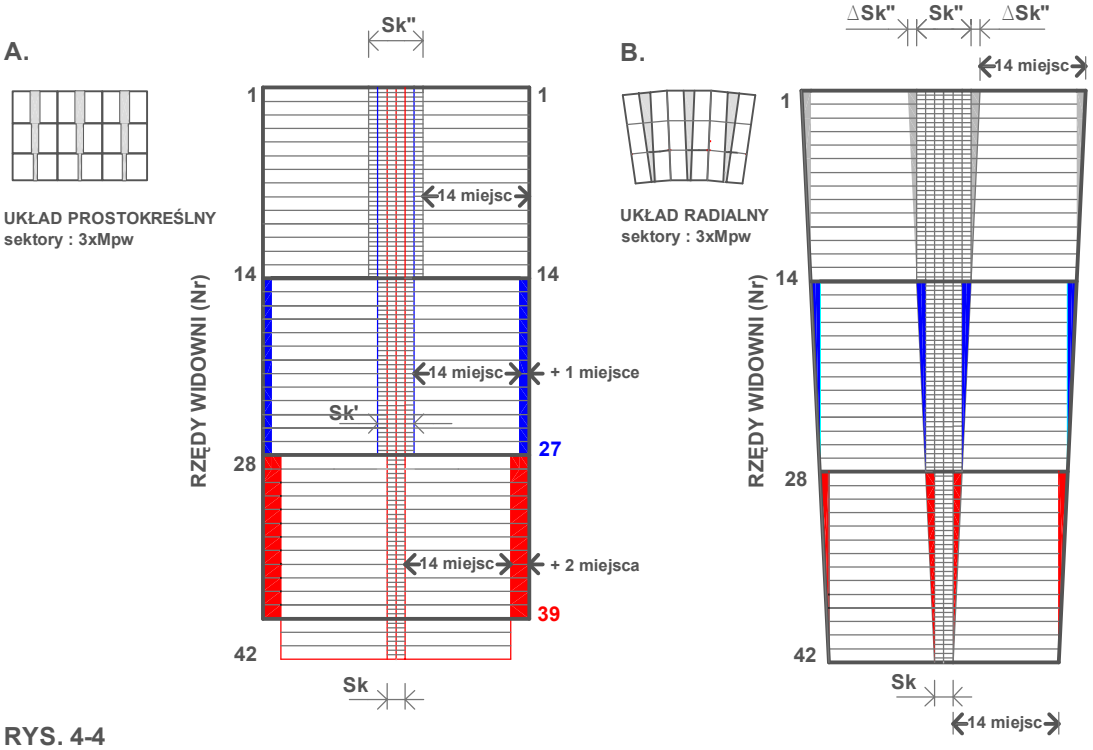
Proste, wstępne zestawienie modułów Mpw wymaga dalszych przekształceń dostosowujących do ogólnego układu widowni. Na rys. 4-4 przedstawiono zasady kształtowania powtarzalnego sektora widowni, przy zastosowaniu ewakuacyjnego modułu pojemności widowni (Mpw), dla założonego czasu ewakuacji Te=5min i założonej szerokości sektora Nmr=28 miejsc.

Odmiennie rozwiązuje się problem poszerzającego się korytarza południkowego w widowniach prostokreślnych, w których rzędy i sektory tworzą układy prostoliniowe i równoległe do linii bocznych boiska, odmiennie w przypadku widowni krzywoliniowych, w których rzędy mają przebiegi łukowe lub linii prostych wielokrotnie łamanych, a sektory są trapezami o dośrodkowym układzie radialnym.

W przypadku widowni prostokreślnych, szerokość sektora powinna być jednakowa na całej głębokości widowni. Przetwarzanie wstępnego układu modelowego polega na dodawaniu liczby miejsc w rzędach. W module najniższym dodano łącznie 4 miejsca, w module środkowym zaś 2 miejsca. Zabieg ten umożliwia uzyskanie prostokątnego kształtu sektora, pozwalającego



MODELOWE ZESTAWIENIA MODUŁÓW Mpw. Wstępne kształtowanie sektora widowni.



RYS. 4-4
PRZYKŁAD KSZTAŁTOWANIA POWTARZALNEGO SEKTORA WIDOWNI Z ZASTOSOWANIEM EWAKUACYJNEGO MODUŁU POJEMNOŚCI. A. Transformacja sektora 3xMpw dla widowni o układzie prostokreślnym. B. Transformacja sektora 3xMpw dla widowni o układzie radialnym

Źródło - oryginalne opracowanie autora.

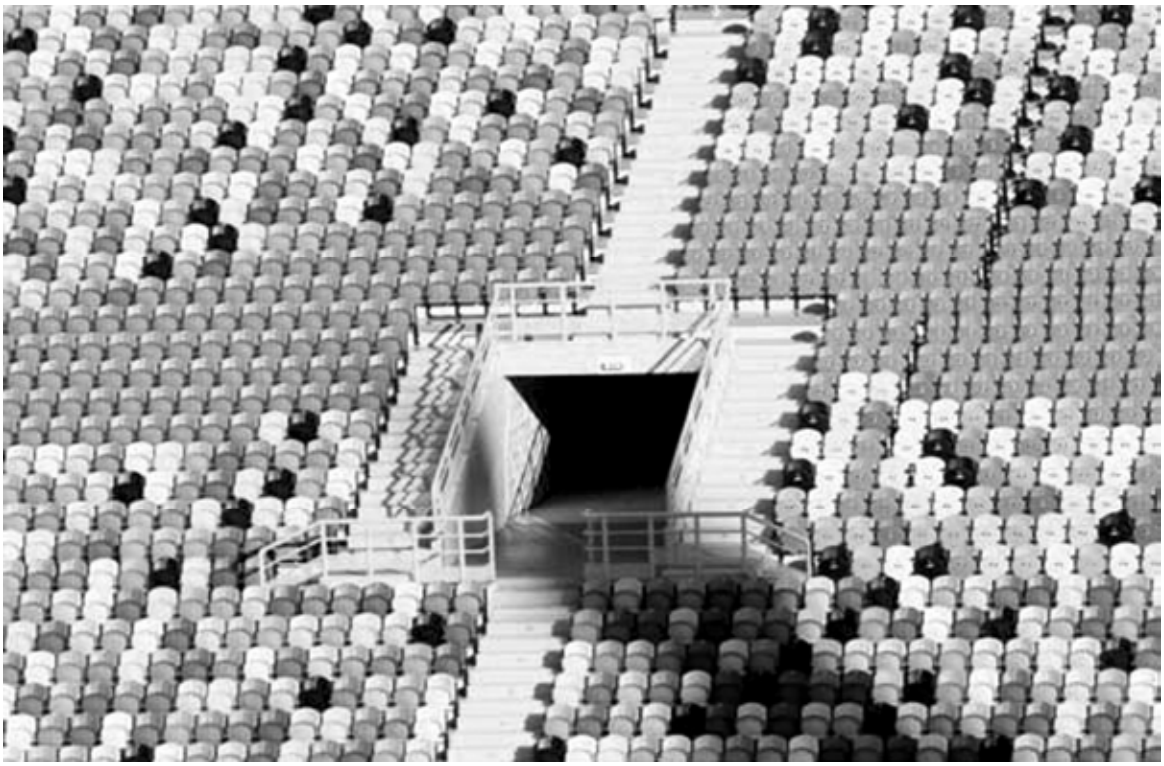
UWAGA:

Na rys.4. przedstawiono zasady kształtowania powtarzalnego sektora widowni przy zastosowaniu ewakuacjnego modułu pojemności Mpw(5') dla założonego czasu ewakuacji Te = 5' oraz szerokości sektora wynoszącej Nrm = 28 miejsc.

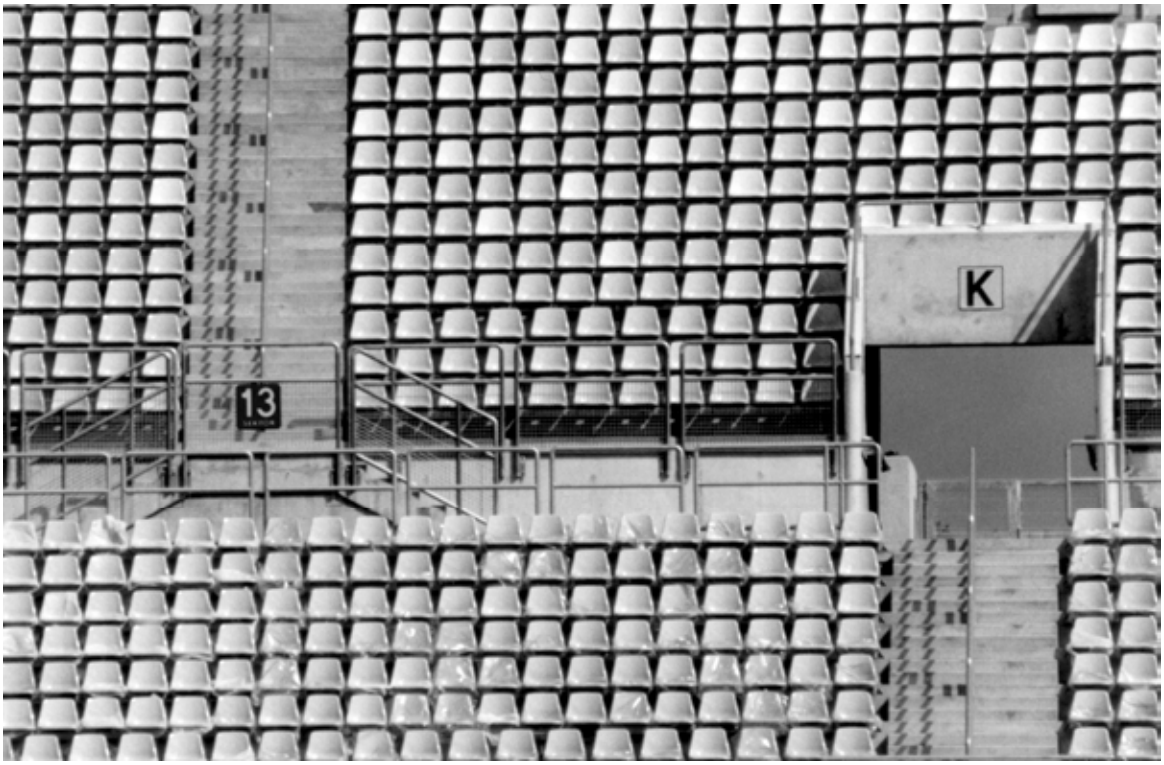
LEGENDA

Sk - Szerokość korytarza południkowego dla najniższego modułu Mpw, Sk = Sk(min) = 2Sp = 1,2m.
Sk' - Szerokość korytarza południkowego dla środkowego modułu Mpw, Sk' = 4Sp = 2.4 m.
Sk" - Szerokość korytarza południkowego dla najwyższego modułu Mpw, Sk" = 6Sp = 3,6 m.
ΔSk" - Przyrost szerokości Sk'', wynikający z inklinacji krawędzi korytarza.

Uwaga: *Pozostałe oznaczenia jak dla rys.4-1, rys.4-2 i rys.4-3.*



Fot. 4-6. Stadion im. *Jose Alvalade*, Lisbona. Fragment widowni – przykład aranżacji z osiowym układem schodów południkowych nad i poniżej womitorium. System pozwala na segregację pasm ruchu widzów w obrębie przestrzeni womitorium. *Foto: archiwum Estadio Jose Alvalade, Lisbona.*



Fot. 4-7. *Stadion Śląski* – fragment górnej widowni wschodniej. Aranżacja dróg ewakuacji zapewnia czas ewakuacji nieprzekraczający pięciu minut. Widoczne obejście na poziomie womitoriów i przesunięcie położenia schodów południkowych w górnej części trybun. Szerokość womitorium wynosi 2,6m, mieszcząc cztery pasma ruchu (4 x 0,6m) i przestrzeń dla pochwytów. *Foto: autor.*

na liniowe zestawianie z innymi sektorami. W celu zachowania określonej ewakuacyjnym modułem pojemności należy następnie zmniejszyć liczbę rzędów w transformowanych modułach, w module najniższym z 14 do 12 rzędów, w module środkowym z 14 do 13 rzędów. W wyniku tych działań głębokość całkowita sektora spada z 42 do 39 rzędów.

W przypadku widowni o układzie radialnym łamanym kształt sektora należy doprowadzić do kształtu trapezu, którego geometrię należy wcześniej określić jako wynikową z modelowych łuków widowni. Polega to na znalezieniu kąta inklinacji krawędzi zewnętrznych sektora i krawędzi południkowych korytarza komunikacyjnego. Rozwiązania tego typu wymagają niewielkich naddatków powierzchni, zarówno w obrębie widowni, jak i korytarzy południkowych. W praktyce ukośne krawędzie poszczególnych pól widowni wywołują potrzebę przesunięć układu siedzisk w poszczególnych rzędach.

■

Podsumowując należy stwierdzić, że o czasie ewakuacji z obszaru widowni decyduje przepustowość przejść ewakuacyjnych, a nie nominalna prędkość poruszania się po drogach ewakuacji. W ciągu jednej minuty, człowiek pokonuje (nominalnie) po terenie płaskim dystans 100m, a po schodach dystans 30m. Dystanse, odpowiadające czasowi ewakuacji równemu 5 minut, wyniosłyby odpowiednio 500m i 150m. W praktyce, składowe drogi ewakuacji w obszarze widowni są wielokrotnie krótsze, poruszanie się po nich nie ma charakteru swobodnego przemieszczania się, a prędkość poruszania jest znacznie niższa. Jedynym miarodajnym sposobem określania czasu ewakuacji jest wyznaczona doświadczalnie przepustowość przejścia ewakuacyjnego i projektowana na tej podstawie przepustowość całego układu ewakuacyjnego.

Przedstawiona metoda projektowania widowni przy pomocy ewakuacyjnego modułu pojemności widowni (Mpw) znacznie ułatwia i przyspiesza trudny proces projektowy. Ponadto daje ona projektantowi narzędzie, pozwalające kompleksowo ogarniać zagadnieninia przestrzenno-funkcjonalne projektowanej widowni już we wczesnych fazach definiowania koncepcji architektoniczno-budowlanej. Doświadczenia wykonawcze i dziesięcioletnie eksploatacyjne zmodernizowanego *Stadionu Śląskiego* potwierdzają w praktyce prawidłowość przedstawionych metod projektowych. W czasie każdej z około dwudziestu wielkich imprez sportowych i widowiskowych, kiedy wypełnienie trybun osiągało 100% pojemności widowni, czas ewakuacji w obszarze całej widowni (ok. 48 tys. widzów) nie przekroczył projektowanych 5 minut.

Fot. 4-8. *Stadion Olimpijski* w Berlinie w trakcie modernizacji (2005). Fragmenty widowni dolnej o krytycznie ekstensywnym układzie dróg komunikacyjno-ewakuacyjnych. Projekt: GMP Architekten.
Foto: autor.

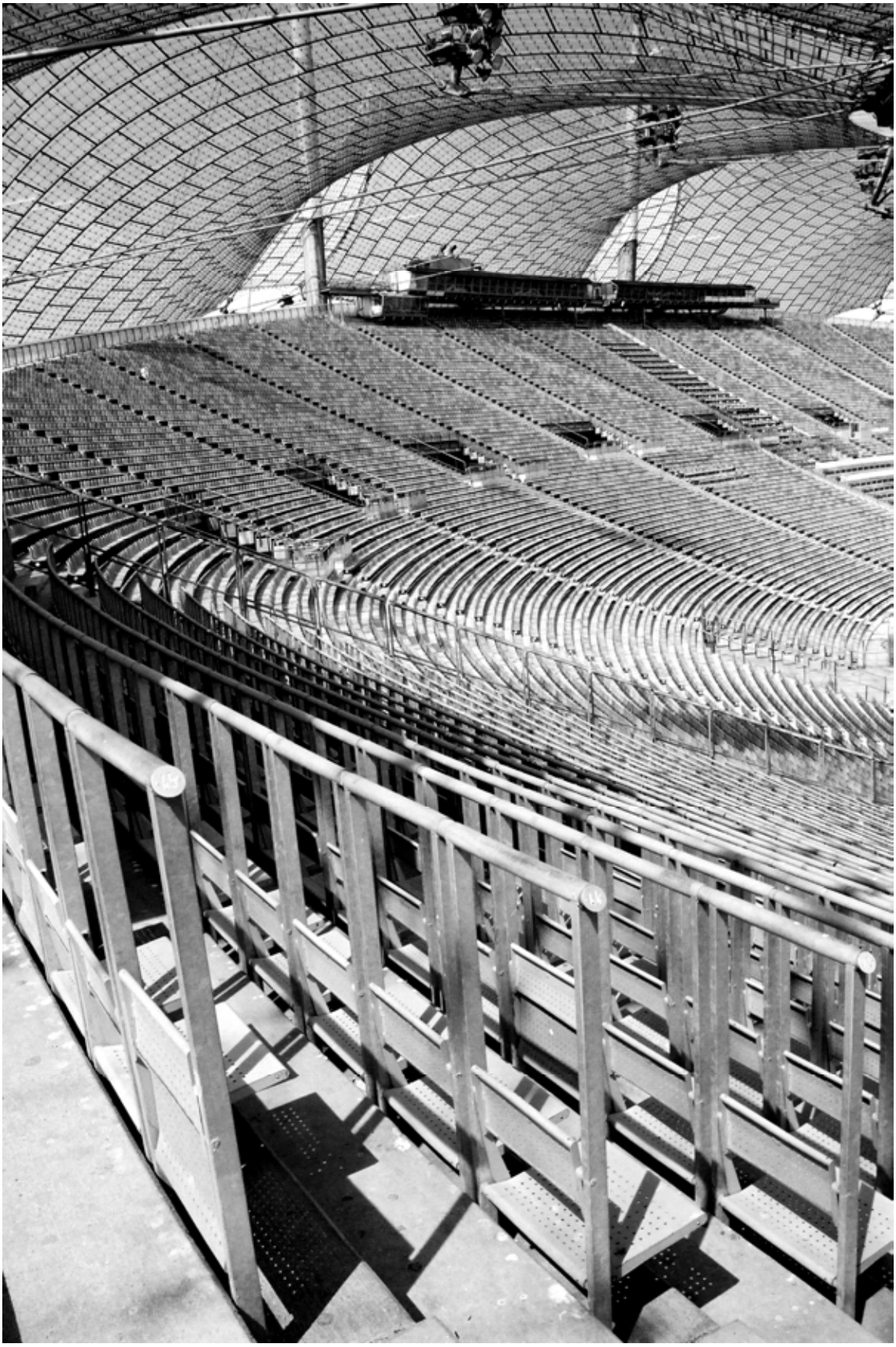
Fot. 4-9. Stadion *Toyota*, miasto Toyota. Przykład widowni o gęstym układzie schodów południkowych. Szerokość sektorów ograniczono do 14 miejsc w rzędzie, co jest charakterystyczne dla wszystkich japońskich stadionów przygotowanych na Mistrzostwa Świata w Piłce Nożnej *Japonia-Korea 2002*. Jest to efekt zaostrzonych przepisów bezpieczeństwa, wynikających z zagrożeń wystąpienia trzęsień ziemi.
Foto: reprodukcja, materiały reklamowe 2002 FIFA Word Cup KOREA – JAPAN.

Rozdział 5
NIEKONWENCJONALNE ROZWIĄZANIA PROJEKTOWE

5.1. Trybuny o podwyższonym standardzie komfortu i stromych nachyleniach

Rozwiązanie z obniżonym przejściem z przodu (rys. 5-1) ma dwie podstawowe zalety. Pierwszą z nich jest wydzielenie dwóch całkowicie niezależnych stref funkcjonalnych, tj. strefy przejścia i strefy siedzisk. Dzięki temu widzowie siedzący i oglądający widowisko nie muszą ustępować miejsca osobom przechodzącym. Drugą zaletą takiej aranżacji jest obniżenie poziomu przejścia w stosunku do poziomu siedzisk. Powoduje to, że pozioma linia widzenia osoby siedzącej przebiega w przybliżeniu na wysokości głowy osoby przechodzącej. Poprawia to znacznie komfort psychiczny użytkowników, unika się bowiem krępujących sytuacji znanych z tradycyjnych widowni, gdy głowa widza siedzącego znajduje się na wysokości talii widza przechodzącego. Obecność balustrady wzdłuż krawędzi rzędu wynika ze względów bezpieczeństwa, pozwalając z jednej strony stosować stopień trybuny o wysokości przekraczającej 50cm, z drugiej, zapewniając osłonę dla widzów z rzędu poniższego. Dobre efekty przynieść może stosowanie wypełnienia z litego materiału w dolnej części balustrady. Dodatkowym efektem, o którym wypada też wspomnieć, jest wyraźne, fizyczne wydzielenie przestrzeni pojedynczego rzędu. Minimalna głębokość rzędu tego typu wynosi 135cm, co oznacza, że dwa rzędy takiej widowni odpowiadają trzem rzędom widowni tradycyjnej. Wynika z tego, że uzyskanie opisanego komfortu indywidualnych miejsc prowadzi do zmniejszenia intensywności wykorzystania powierzchni widowni o jedną trzecią i jednocześnie do zmniejszenia ogólnej jej pojemności. Proponowane rozwiązanie nie wpływa na rozstaw siedzisk. Cechuje je łatwość zajmowania i opuszczania siedziska. Stwarza też (przy balustradzie) korzystne warunki dla pozycji stojącej, co ma znaczenie podczas dynamicznego kibicowania.

Wyższy standard użytkowy indywidualnych miejsc można osiągnąć stosując koncepcję trybuny z blatem czołowym i obniżonym przejściem z tyłu (rys. 5-2, rys. 5-3). Zaletą tego rozwiązania, w porównaniu z omówionym wcześniej, jest całkowite wyeliminowanie przesłaniania przez osobę przechodzącą pola obserwacji osoby siedzącej. Ponadto, ponieważ łączna wysokość balustrady i stopnia trybuny, po trosze dzięki obniżeniu poziomu przejścia, jest większa od wysokości przechodzącego widza, nie ma też problemu zakłóceń widzenia areny przez obserwatorów z sąsiedniego rzędu wyższego. Zastosowanie blatu jako elementu uzupełniającego balustradę, oprócz powodów użytkowych, ma też znaczenie psychologiczne. Tego typu element zwiększa poczucie bezpieczeństwa, przez co pomaga w akceptacji większych nachyleń widowni. Z uwagi na sposób zajmowania miejsca, polegający na wejściu od tyłu, wymagana jest odpowiednia przestrzeń pomiędzy siedziskami. Najkorzystniejszy jest układ zdwojonych, obrotowych krzeseł w normalnym rozstawie i większa przerwa pomiędzy sąsiednimi parami krzeseł. Z przerwy tej korzystają dwa przylegające do niej siedziska. Minimalna głębokość rzędu wynosi 140cm, z czego 60cm zajmuje przejście, a 80cm służy zmieszczeniu siedziska i blatu. Z uwagi na zwiększone rozstawy siedzisk i znaczną głębokość rzędu, opisywany układ można zaliczyć do ekstensywnych, jeśli chodzi o gęstość rozmieszczenia indywidualnych miejsc. Nadaje się on dla miejsc specjalnych, przeznaczonych dla mediów i widzów uprzywilejowanych



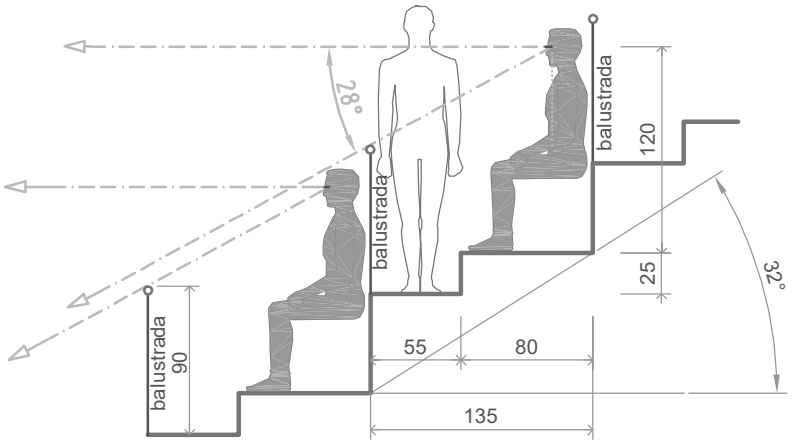
Fot. 5-1. *Stadion Olimpijski* w Monachium – stan w roku 2006. Na pierwszym planie sektor widowni zabramkowej, jako przykład sposobu kształtowania miejsc umożliwiających zamiennie przyjmowanie pozycji stojącej lub siedzącej. *Foto: M. Pelczarski.*

(VIP). Profil tej widowni jest pochodny od profilu schodów normalnych o parametrach 5x18,5/28cm i nachyleniu 33,5º. Posługując się tym układem jako podstawowym, można tworzyć wiele innych, o zwiększonym nachyleniu widowni. Uzyskuje się to wprowadzając dodatkowe schody w przestrzeni ścieżki przejścia. Skrajnym przykładem zastosowania modelu trybun z blatem czołowym i wejściem od tyłu, jest niemalże pionowy układ (nachylenie 75º) przedstawiony na rys. 5-4. Każdy z rzędów przybiera postać balkonu przynależnego do oddzielnego piętra. Komunikację między piętrami zapewniają schody zlokalizowane w strefie zewnętrznej, poza widownią. Koncepcja takiego kształtowania widowni może być przydatna wtedy, gdy chodzi o *szybkie* podniesienie punktu oka pierwszego rzędu widowni głównej, przy równoczesnym zachowaniu jego bliskiego dystansu do linii fokusów. Motywem takiego działania jest zapewnienie również dolnym rzędom widowni dużego pionowego kąta widzenia pola boiska.

Innym, teoretycznym i niekonwencjonalnym modelem stromej widowni, jest autorska propozycja Jeana Nouvel`a, przedstawiona w pracy konkursowej na projekt *Grand Stade* (obecnie *Stade de France*) w Paryżu (rys. 5-5). Pomysł polega na tworzeniu modułów widowni składających się z trzech rzędów widowni obsługiwanych przez jedno womitorium. Środkowy rząd znajduje się na poziomie posadzki womitorium. Rząd niższy wymaga zejścia, a wyższy podejścia po schodach, których biegi są równe głębokości rzędu i ukierunkowane równolegle do rzędów. O nachyleniu widowni decyduje różnica wysokości pomiędzy poziomami womitoriów, gdyż wysokość pojedynczego stopnia widowni jest 1/3 tej wartości. Im wyższe womitorium, przy zachowaniu stałej głębokości rzędu, tym bardziej strome nachylenie widowni, ale też większa liczba stopni schodów. Im większa liczba schodów w biegu, tym większa powierzchnia widowni przeznaczona na komunikację. Jest to przykład stromej widowni obsługiwanej jednakże schodami normalnymi. Jest to możliwe, ponieważ nachylenie schodów nie ma żadnych związków geometrycznych z nachyleniem widowni. Zaletą tego pomysłu jest logika i prostota, wadą zaś znaczne zapotrzebowanie na powierzchnię komunikacyjną. Sytuację poprawić by nieco mogło wprowadzenie dodatkowych siedzisk w rzędzie środkowym, które mogłyby się znaleźć w wolnym polu na długości biegu schodów.

5.2. Womitoria równoleżnikowe

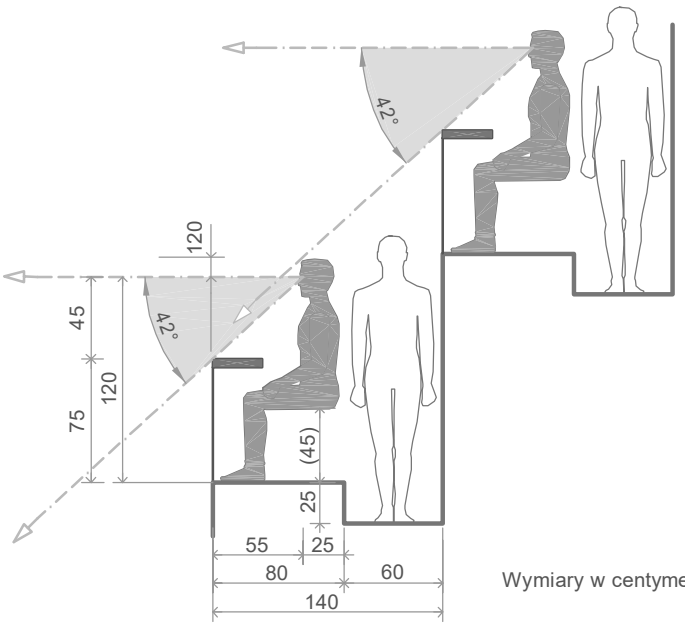
Klasyczne, tradycyjne womitorium jest miejscowym wycięciem fragmentu widowni, które zapewnia przestrzenne powiązanie pomiędzy widownią i zewnętrzną strefą funkcjonalną stadionu. Dzięki niemu możliwe jest wejście na określony fragment powierzchni trybun i wyjście z niego. Wycięcie to wymaga zabezpieczenia balustradowego na bocznych i górnych krawędziach i obejmuje z reguły kilka rzędów widowni. Szerokość womitorium wynika z pojemności sektora widowni, który jest przez nie obsługiwany i z założonego czasu ewakuacji. Wysokość otworu womitorium wynika z uwarunkowań antropometrycznych, podobnych do tych, które stosuje się przy projektowaniu korytarzy lub tuneli dla ruchu pieszego. Zwykle balustradom bocznym towarzyszą, przebiegające jednostronnie lub dwustronnie, schody południkowe, zapewniające dostęp do rzędów znajdujących się obok lub nad womitorium. Womitoria tego typu stanowią istotny element kompozycyjny wewnętrznej elewacji klasycznej widowni, która w tym zakresie niewiele się zmieniła od czasów antycznych. W architektonicznym rozumieniu, każde z osobna jest silną, autonomiczną formą przestrzen-



Wymiary w centymetrach [cm]

RYS. 5-1
TRYBUNA O PODWYŻSZONYM KOMFORCIE UŻYTKOWYM - RZĄD Z BALUSTRADĄ I OBNIŻONYM PRZEJŚCIEM Z PRZODU

Źródło - oryginalne opracowanie autora.

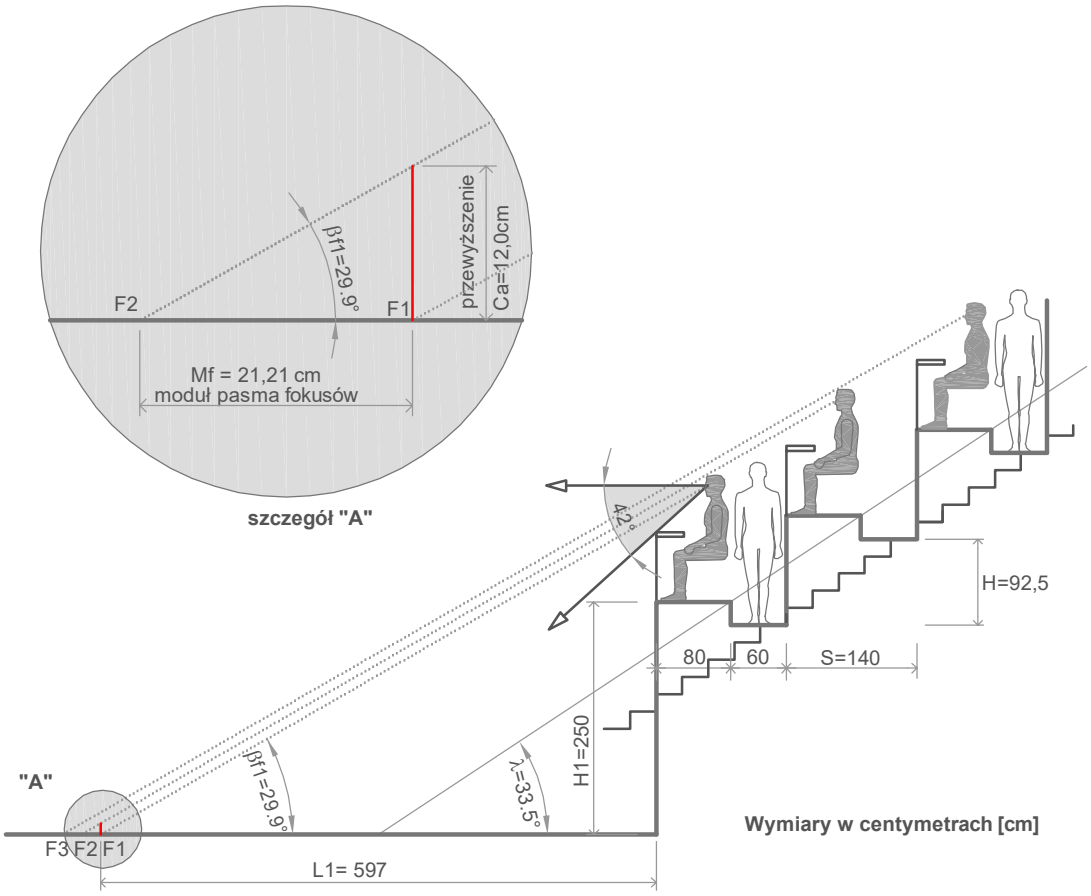


Wymiary w centymetrach [cm]

RYS. 5-2
TRYBUNA O PODWYŻSZONYM KOMFORCIE UŻYTKOWYM - RZĄD Z BLATEM CZOŁOWYM I OBNIŻONYM PRZEJŚCIEM Z TYŁU

Źródło - oryginalne opracowanie autora.

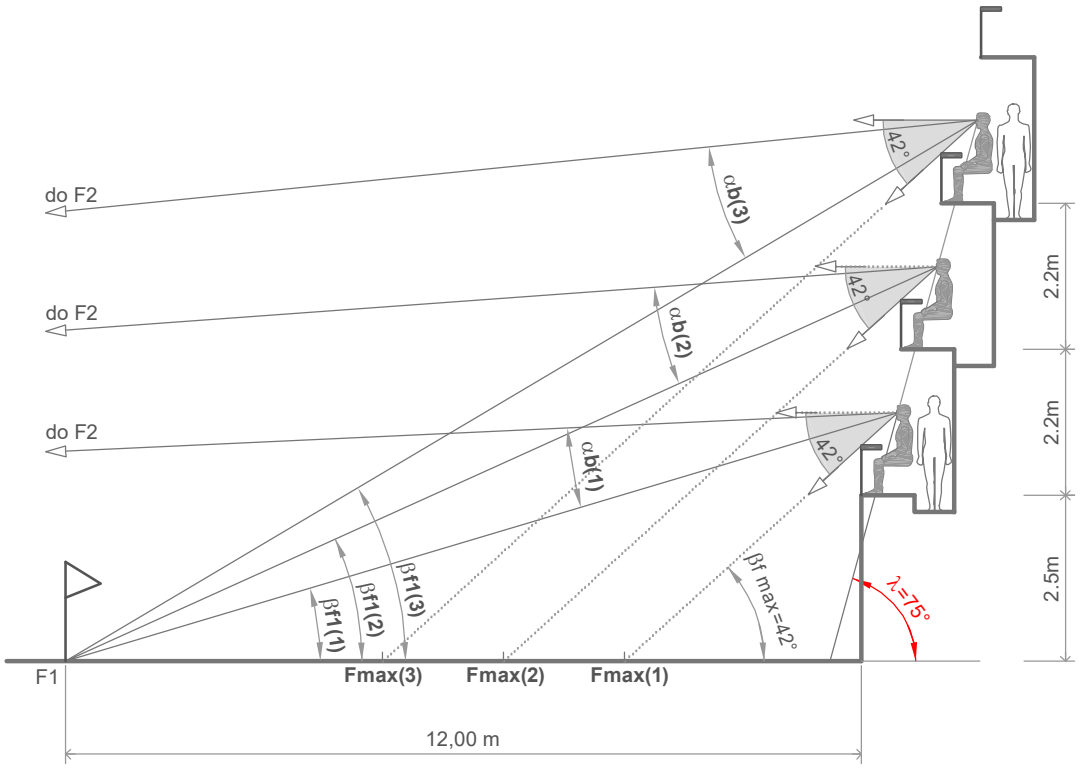
Na rys.5-1 i rys.5-2 przedstawiono propozycje rozwiązań trybun z wydzielonym pasem ruchu, dzięki czemu każdy rząd widowni składa się z dwóch stref funkcjonalnych - strefy przejścia i strefy siedzisk. Przejście zostało obniżone w stosunku do strefy siedzisk o 25cm, co podkreśla niezależność funkcjonalną obu części rzędu widowni, jak również zwiększa komfort użytkowy, poprzez zrównanie poziomu głowy osoby siedzącej i przechodzącej. Dodatkową korzyścią tej decyzji jest zmniejszenie efektu przesłaniania pola obserwcji osoby siedzącej przez osobę przechodzącą.



RYS. 5-3
PRZYKŁAD WIDOWNI WYKORZYSTUJĄCEJ RZĘDY Z BLATEM CZOŁOWYM I WYDZIELONYM PRZEJŚCIEM TYLNYM - O NACHYLENIU RÓWNYM NACHYLENIU SCHODÓW
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

Rozpatrywać łącznie z rys.2-22.

Dla szerokości rzędu S= 80cm + 60cm = 140cm ustalona została geometria schodów południkowych w oparciu o algorytm schodów wygodnych (2h+s = 65 cm).GŁębokość stopnia schodów s = 140 : 5 = 28cm, dla której wysokość stopnia wynosi : h = (65 - 28) : 2 = 18.5 cm.
Wysokość stopnia trybun (mierzona pomiędzy ścieżkami komunikacji) wynosi :
H = 5 x h = 5 x 18,5 = 92,5 cm.
Nachylenie widowni jest równe nachyleniu schodów i wynosi : λ= 33,5°.
Kąt nachylenia linii widzenia najbliższej krawędzi pola obserwacji wynika z założonego przewyższenia Ca = 12cm i wynosi : β f1 = 29,9°.
Dla założonej wysokości wyniesienia pierwszego rzędu H1= 2,5m położenie fokusu dla tego rzędu (F1) znajduje się w odległości L1 = 5,97 m.
Moduł pasma fokusów wynosi Mf = 21,21cm.



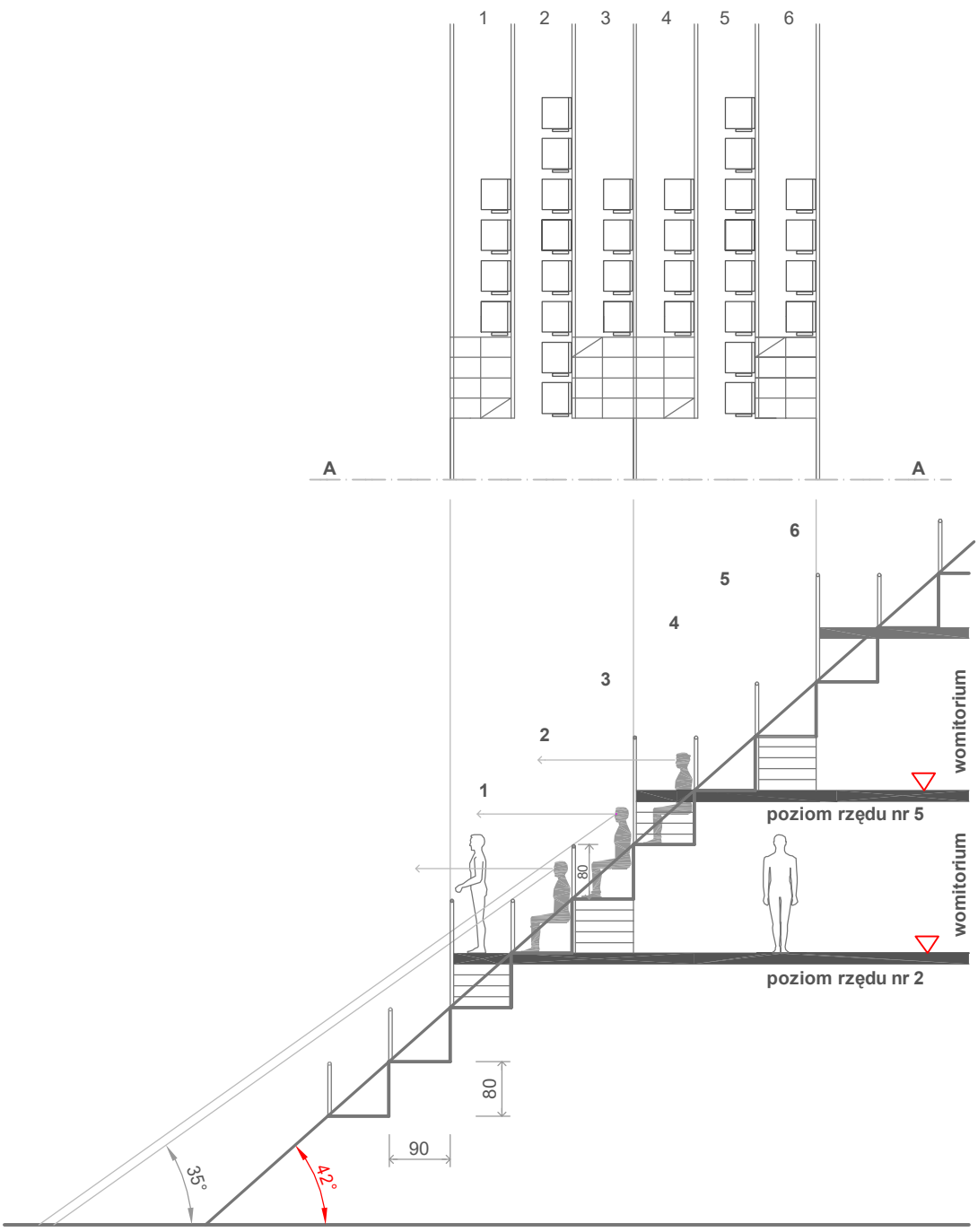
RYS. 5-4
WIDOWNIA STROMA O NACHYLENIU 75°

Źródło - oryginalne opracowanie autora.

Przykład możliwości kształtowania widowni z wykorzystaniem rzędów z blatem czołowym i przejściem tylnym. Widownia może przybierać formę pionowej lub niemalże pionowej ściany z balkonami. Koncepcja ta może być przydatne przy projektowaniu profilu widowni typu "talerz", w którym widownia dolna ma większe nachylenie niż widownia górna. Profil ten umożliwia wysokie sytuowanie krawędzi początkowej widowni zasadniczej, przy równoczesnym znacznym zbliżeniu jej do granicy pola gry, co zapewnia zwiększenie pionowego kąta widzenia boiska dla miejsc położonych w tej strefie. Stroma widownia dolna może obsługiwać miejsca specjalne, przeznaczone np. dla przedstawicieli mediów.

LEGENDA

λ **- Kąt nachylenia widowni :** λ=75°.
βf max - Kąt nachylenia linii widzenia najbliższej krawędzi maksymalnego pola obserwacji, βf max = 42°.
βf1 (1,2,3) - Kąty nachylenia płaszczyzny widzenia bliższej linii bocznej boiska: βf1(1)=17°, βf1(2)= 24°, βf1(3) =31°.
αb(1, 2, 3) - Pionowe kąty widzenia pola boiska: αb(1) = 14°, αb(2) = 20°, αb(2) = 25°.
Fmax (1,2,3) - Najbliższe punkty fokusu dla poszczególnych rzędów.



przekrój A-A

wymiary w centymetrach [cm]

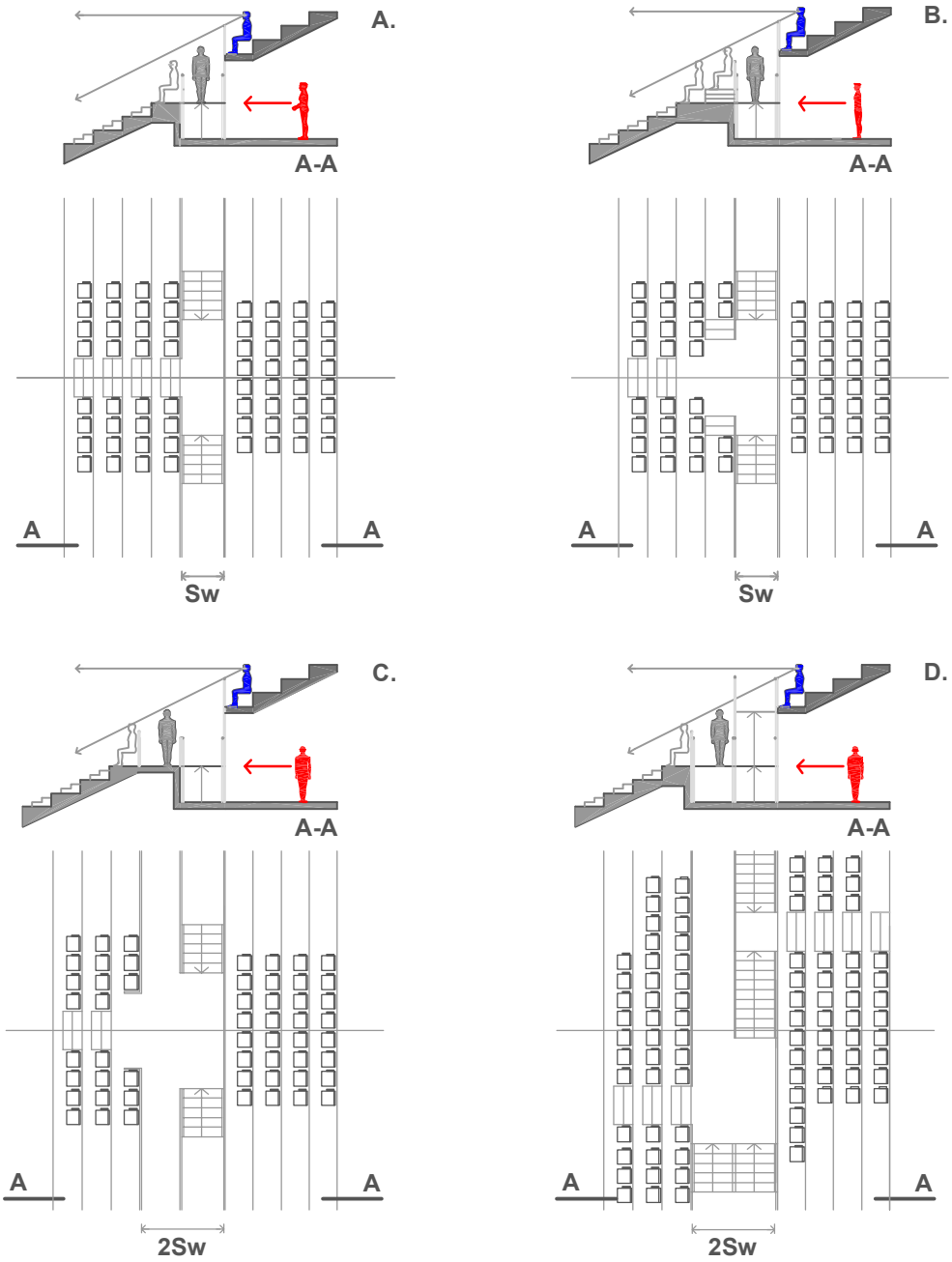
RYS. 5-5
MODEL STROMEJ WIDOWNI O NACHYLENIU 42° POCHODNEJ OD SCHODÓW 16/30cm; SCHODY POŁUDNIKOWE ZASTĄPIONO UKŁADEM SCHODÓW RÓWNOLEŻNIKOWYCH DOSTĘPNYCH Z WOMITORIÓW

Źródło - opracowanie autora na podstawie konkursowej koncepcji Grand Stade w Paryżu, arch. J. Nouvel.

ną, kontrastującą z jednorodną formalnie, wypełnioną siedziskami powierzchnią trybun. Wynikający z zadań funkcjonalnych układ womitoriów w obrębie całej widowni tworzy najczęściej kompozycję liniową, równoleżnikowo rozłożonych, powtarzających się punktów. Rytm tych punktów odpowiada rytmowi podziałów widowni na sektory i piętra.

Istnieje też inny, niż poprzeczne przecinanie stopni trybun, sposób komunikacyjnego powiązania widowni z przestrzeniami znajdującymi się pod nią, Jest to *womitorium równoleżnikowe*, aranżowane wzdłuż belek nośnych poszczególnych rzędów. Koncepcja takiego rozwiązania powstała przy projektowaniu przez autora tzw. *trybuny dziennikarskiej,* jako niezbędnego obiektu tymczasowego, umożliwiającego realizację widowni wschodniej na *Stadionie Śląskim*. Trybuna ta miała stalową konstrukcję nośną, w której poszczególne stopnie widowni wytwarzane były przez biegnące poprzecznie do głównych ukośnych rygli, dźwigary kratowe. Chodziło o to, żeby, bez stosowania wymianów lub dodatkowych rygli, przedostać się w środkowy rejon widowni z położonej pod trybuną powierzchni komunikacyjnej. Rozwiązano to, rezygnując z jednego rzędu i zamiast poziomej płyty stropowej w przestrzeni pomiędzy dźwigarami kratowymi, rozsuniętymi o 140cm, zaprojektowano dwa przeciwstawne biegi schodowe. W ten sposób powstało sprawnie działające centralne womitorium, uzyskane przy bardzo niewielkich nakładach materiałów i pracy.

Na rys. 5-6 przedstawiono kilka wersji rozwiązania, wykorzystującego opisaną powyżej ideę. W rozsuniętą widownię wstawiono schody o biegach równoległych do krawędzi rzędów. Wysokość biegu ustalono w taki sposób, by poziom dolny zapewniał normatywną wysokość poprzecznego przejścia pod krawędzią widowni górnej. Z analiz wynika, że aby uzyskać ten efekt, wystarczy przyjąć sześć stopni schodów wygodnych. Użytkownik, po przekroczeniu tej krawędzi, ma nad głową wolną przestrzeń. Zmieniając kierunek na równoległy do stopni trybun, może swobodnie poruszać się po schodach aż do osiągnięcia poziomu spocznika na widowni. Jak widać na rysunkach, w każdym przypadku, osoby poruszające się na poziomie górnego spocznika nie przesłaniają linii widzenia obserwatorów z rzędów widowni górnej. Ciekawą cechą prezentowanego rozwiązania jest fakt, że zarówno rozsunięcie zapewniające zmieszczenie dwóch pasm ruchu jak i czterech, można uzyskać w ramach jednego profilu widowni, czyli bez potrzeby podnoszenia i zmieniania profilu widowni górnej. Najprostsze jest rozwiązanie zaprezentowane na rys. 5-6A. Womitorium obsługuje tylko widownię dolną, zasilając ją od góry. Spocznik górny znajduje się na poziomie ostatniego rzędu widowni dolnej. Brak jest przejścia pomiędzy sektorami po powierzchni widowni. Przejście takie jest co prawda możliwe, wymaga jednak zejścia schodami na poziom spocznika dolnego i podejścia biegiem schodów w sąsiednim sektorze. Możliwa jest rezygnacja z jednego biegu, co ograniczyłoby jednak swobodę poruszania się miedzy sektorami. Pozostawienie dwóch biegów znacznie poprawia przepustowość ewakuacyjną tego węzła, wpływa na skrócenie czasu ewakuacji. Zapewnia też drugą drogę ewakuacji. Wariant z rys. 5-6B jest mutacją powyższego wariantu – ma wszystkie jego cechy, z tą jednak różnicą, że poziom spocznika górnego wyrównany jest z przedostatnim rzędem widowni dolnej. Daje to w efekcie rezultat wyrównania wysokości usytuowania głów osób siedzących w ostatnim rzędzie i znajdujących się na spoczniku. Rozszerzenie powierzchni spocznika, wynikające z potrzeby aranżacji wejść na podniesiony poziom ostatniego rzędu, poprawia sprawność ewakuacyjną tego miejsca. W przypadku zaistnienia potrzeby zapewnienia przejść między sektorami, usytuowanych na powierzchni widowni, można zastosować propozycję zilustrowaną na rys. 5-6C. W rozwiązaniu tym, pomiędzy ostatnim rzędem widowni dolnej i szczeliną womi-



RYS. 5-6
WOMITORIA RÓWNOLEŻNIKOWE

Źródło - oryginalne opracowanie autora.

LEGENDA

1.) - Womitorium proste, zasilające segment widowni jednokierunkowo od góry.
2.) - Womitorium pogrążone, zasilające widownię w sposób jw.
3.) - Womitorium z korytarzem równoleżnikowym, zasilające widownię w sposób jw.
4.) - Womitorium z korytarzem równoleżnikowym, zasilające widownię dwukierunkowo od dołu i od góry.
Sw - Szerokość womitorium równa minimalnej szerokości korytarzy południkowych, Sw = Sk min = 1,2m.

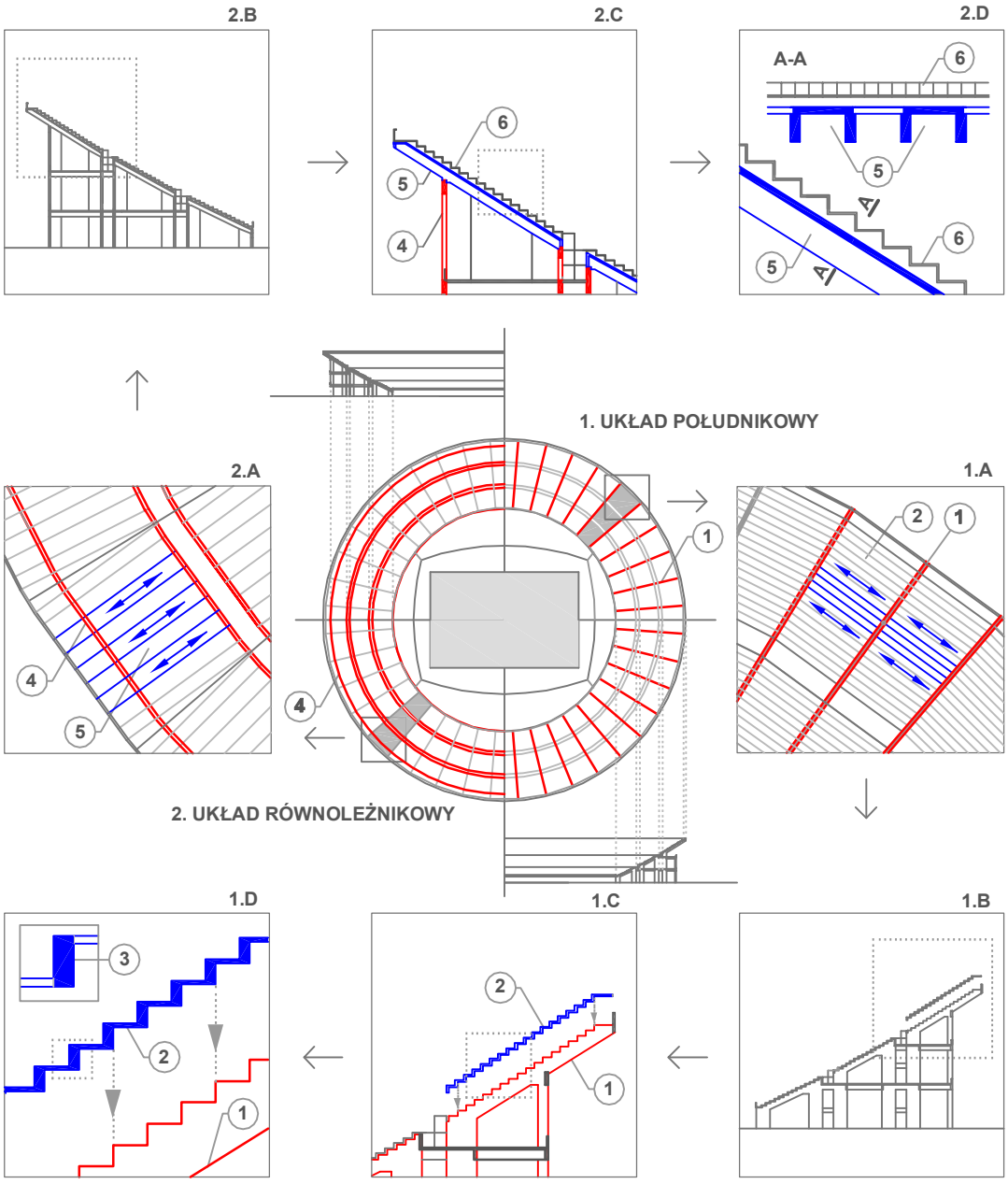
torium zaprojektowano korytarz komunikacyjny, który umożliwia przemieszczanie się po jednym poziomie w obrębie całej widowni. Rozwiązanie to jest korzystne z uwagi na sprawność funkcjonowania służb porządkowych i dozoru technicznego, ma też znaczenie dla polepszenia systemu ewakuacji. Omówione dotychczas przykłady rozwiązań nie dawały możliwości równoczesnego powiązania womitorium z widownią dolną i górną. Opcję taką wyjaśnia rys. 5-6D. Wymaga ona znacznego rozbudowania spocznika górnego, gdyż pozwolić on musi na zmieszczenie jednego lub dwóch dodatkowych biegów prowadzących na poziom pierwszego rzędu widowni górnej. Wykorzystanie tego typu womitorium w aranżacji dużej widowni łukowej można prześledzić w dalszej części pracy (rys. 5-14). Opisany wariant umożliwia przemieszczanie się pomiędzy poszczególnymi sektorami w kierunku południkowym, przez co zapewnia więcej kierunków ewakuacji.

Womitoria równoleżnikowe pod względem funkcjonalnym w niczym nie ustępują klasycznym, a niektóre ich odmiany są wręcz od nich korzystniejsze, zwłaszcza jeśli chodzi o przesłanianie pełnego pola widzenia z miejsc zlokalizowanych w ich bezpośrednim sąsiedztwie. Do ich zalet należy też z pewnością to, że nie zakłócają układu siedzisk w sektorach, co oprócz znaczenia dla układu komunikacyjnego ważne jest też z punktu widzenia czytelności numeracji miejsc i orientacji topograficznej na widowni. Mają one znaczną przewagę nad tradycyjnymi w zakresie prostoty schematu ustroju konstrukcji nośnej, nie wymagają bowiem stosowania zdwojonych rygli ukośnych lub lokalnych wymianów. Równie ważny jest w tym kontekście aspekt ograniczenia do minimum liczby prefabrykowanych elementów modułowych tworzących płytę fałdową widowni. Zdaniem autora, o atrakcyjności tej koncepcji decydują jednak przede wszystkim jej walory architektoniczne. Zastosowanie womitoriów równoleżnikowych pozwala na całkowitą zmianę wyrazu architektonicznego wnętrza stadionu. Po pierwsze, wyeliminowane mogą być zupełnie rytmy powtarzalnych, schematycznych form perforujących powierzchnię widowni, charakterystycznych przy stosowaniu womitoriów tradycyjnych. Często, zwłaszcza przy mniejszych powierzchniach trybun, perforacje te dominują i rozrywają jej spójność. Po drugie, wymagane ze względów bezpieczeństwa balustrady na krawędziach szczeliny womitoryjnej będą przebiegać horyzontalnie wokół całej widowni. W przypadku wykorzystania balustrad pełnych daje to szansę na uczynienie kierunku horyzontalnego kierunkiem dominującym. To zaś przyczyni się do złagodzenia negatywnego, psycho-fizycznego oddziaływania stromych nachyleń widowni. Nawiasem mówiąc, w przypadku wielkich widowni o układzie tradycyjnym, dominujący jest kierunek pionowy, podkreślany przez międzysektorowe schody południkowe. Ich dynamika może przywodzić na myśl skojarzenia ze skocznią narciarską powtórzoną dziesiątki razy. Po trzecie wreszcie, szczeliny womitoryjne ze wspomnianym obramieniem z balustrad przyczynią się do uzyskania efektu podziału widowni na autonomiczne enklawy, każda przypisana policzalnej grupie widzów. Sprzyjać to będzie większej identyfikacji widzów z fragmentem przestrzeni wnętrza stadionu, dając poczucie przynależności terytorialnej i zmniejszając poczucie anonimowości i stopienia w jedną masę z wielotysięcznym tłumem.

5.3. Równoleżnikowy układ konstrukcji wsporczej widowni

Powszechnie wykorzystywanym, konstrukcyjnym systemem nośnym widowni jest *układ południkowy* (rys. 5-7.1). Głównymi elementami wsporczymi są w nim południkowo ustawione rygle ukośne i oparte na nich, równoleżnikowe (poprzeczne) belki nośne poszczególnych stopni trybun (fot.xxx) Ich charakterystyczną cechą jest równoczesność funkcji konstrukcyjnych i użytkowych, gdyż pionowa część stopnia trybun jest belką nośną o dużej rozpiętości i znacznych rozmiarach w przekroju poprzecznym. Problemem technicznym w tych systemach jest rozwiązanie oparcia poszczególnych belek na ryglach w sposób zapewniający powstanie trybun o profilu gwarantującym założone parametry widoczności. Zazwyczaj osiąga się to poprzez formowanie górnej krawędzi rygla w postaci linii schodkowej, odzwierciedlającej projektowany profil widowni. Kolejnym problemem jest zmienność długości i kąta skrajnych krawędzi prefabrykatów płyty fałdowej. Występuje to w widowniach łukowych, które wykonuje się jako linię składającą się z wielu odcinków prostych łamanych na osi rygli. W przypadku umieszczania kubatur użytkowych pod trybunami, wymagana jest pełna szczelność konstrukcji płyty fałdowej, która musi pełnić funkcje odwodnionego i ocieplonego przekrycia dachowego, a równocześnie tworzyć powierzchnię użytkową widowni.

Autor proponuje tworzenie odmiennego, niż powszechnie stosowany, *równoleżnikowego (podłużnego) układu* konstrukcji nośnej trybun (rys. 5-7.2). W układzie tym, główne rygle nośne przebiegają równolegle do linii rzędów widowni. W przypadku widowni kołowej będą to pierścienie tworzące współśrodkowe okręgi. Istotnym elementem koncepcji jest rozdzielenie funkcji elementów nośnych i elementów wytwarzających profil widowni. Na ryglach równoleżnikowych opierane są elementy nośne pochyłej płyty stanowiącej podstawę dla filigranowej, lekkiej, ewentualnie wymienialnej, konstrukcji stopni trybun. Płyta ta, gładka od góry, może być tworzona z wykorzystaniem prefabrykatów typu „T" lub „U", stosowanych w mostownictwie. Górna powierzchnia płyty może być uzupełniona o warstwy hydroizolacji i termoizolacji, jak w przekryciach dachowych. Rozwiązuje to problem prawidłowego układu warstw przegrody stropodachowej, co nie jest możliwe do uzyskania w przypadku rozwiązań tradycyjnych. Ponadto, ponieważ warstwy te nie są poddawane naciskom użytkowym z posadzki widowni, do ich wytworzenia stosować można lekkie technologie ociepleń i odwodnień dachowych. Istnieje możliwość zastosowania elementów osłonowych, mocowanych od spodu do żeber płyty, które tworzyć mogą jednolite podniebienie trybun. Zamknięte w ten sposób przestrzenie stanowić mogą kanały do prowadzenia instalacji infrastruktury technicznej, a po zdemontowaniu osłony, mogą być dostępne eksploatacyjnie od dołu. Zestaw małogabarytowych prefabrykatów aranżujących stopnie trybun może być wyposażony w system umożliwiający precyzyjną rektyfikację, z możliwością tworzenia prostoliniowych i krzywoliniowych profili widowni. Jedną z zalet takiego rozwiązania jest możliwość wymiany elementów tworzących profil trybuny bez naruszania głównej konstrukcji nośnej i warstw izolacyjnych. Atrakcyjność systemu polega na prostocie technologicznej, która wynika z pełnego rozdzielenia zadań funkcjonalnych poszczególnych elementów konstrukcji.



RYS. 5-7
UKŁAD KONSTRUKCJI WSPORCZEJ WIDOWNI: 1. Południkowy, 2. Równoleżnikowy

Źródło - oryginalne opracowanie autora.

LEGENDA

① - Rygiel ukośny w układzie południkowym; górna płaszczyzna schodkowa.
② - Płyta fałdowa oparta na ryglach ukośnych, tworząca stopnie widowni.
③ - Belka nośna płyty fałdowej.
④ - Rygiel poziomy lub ściana nośna w układzie równoleżnikowym.
⑤ - Dźwigar ukośny płytowo-żebrowy, oparty na ryglach równoleżnikowych; odstępy pomiędzy dźwigarami równe rozstawowi żeber, wypełnione płytą prefabrykowaną.
⑥ - Lekka prefabrykowana konstrukcja stopni widowni wsparta na pochyłej płycie nośnej.

Fot. 5-2. *Stadion Śląski*-budowa widowni wschodniej (2001). Widoczny fragment żelbetowej konstrukcji widowni górnej. Każdemu sektorowi odpowiada oddylatowany moduł konstrukcyjny składający się z trzech rygli. Projektowany profil widowni uzyskiwany jest dzięki odpowiedniej geometrii tworzących powierzchnię trybun prefabrykatów i wycięć w górnej krawędzi rygli. *Foto: Z. Pelczarski.*

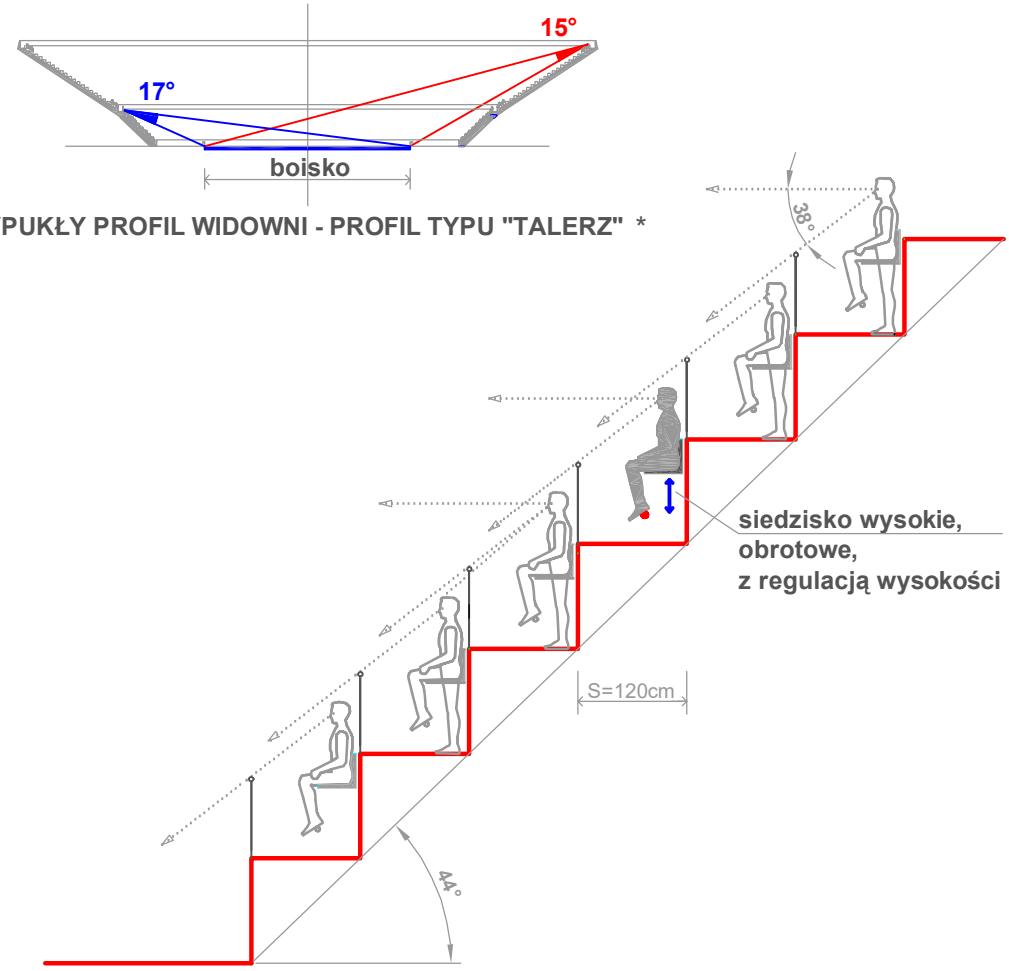
Fot. 5-3. Projekt koncepcyjny stadionu piłkarskiego *Hetman* w Białymstoku opracowany w ramach konkursu urbanistyczno-architektonicznego (Urząd Miejski w Białymstoku, 2007); autorzy: G. Dąbrowska-Milewska, J. Kabac, Z. Pelczarski, J. Żarnowiecka,, M. Pelczarski (konstrukcja). W projekcie widowni zastosowano *womitoria równoleżnikowe*, ukośne układy schodów międzysektorowych i siedzisk oraz podłużny układ konstrukcji wsporczej. *Wizualizacja: A. Babula, B. Dudziński.*

5.4. Zastosowanie siedzisk wysokich – wypukły profil widowni typu *„talerz”*

Wprowadzenie obowiązku wyposażania widowni w indywidualne, numerowane siedziska, nastąpiło stosunkowo niedawno, bo w początkach lat dziewięćdziesiątych poprzedniego stulecia. Jednym z motywów jakimi kierowały się władze FIFA i UEFA były względy bezpieczeństwa. W środowisku kibiców piłkarskich spotkać można jednak wiele krytycznych poglądów na ten temat. Kibice uważają, że *przyspawanie* do wygodnego fotela nie służy spontanicznemu dopingowi, na który oczekuje ich drużyna. Podczas meczu, zwłaszcza w jego kulminacyjnych momentach, cała widownia wstaje. Każdy kto uczestniczył w wielkim, emocjonującym spektaklu, jakim jest gra o dużą stawkę, wie, że nie jest to widowisko statyczne. W takich momentach zmieniają się całkowicie warunki widoczności, gdyż profil widowni zaprojektowano dla teoretycznych parametrów wysokości punktu oka w pozycji siedzącej. Na wielu stadionach, uwzględniając te wymagania kibiców, wydziela się strefy z miejscami stojącymi. Znane są też przykłady stosowania systemów pozwalających, w zależności od potrzeb widowiska, przekształcać widownię z miejscami siedzącymi, na miejsca stojące.

Biorąc powyższe pod uwagę, jak również zespół problemów związanych z przewyższeniem linii widzenia, wynikających z różnorodności antropometrycznej widzów i losowego ich rozłożenia na widowni, uwzględniając także inne mankamenty typowych rozwiązań, autor analizuje niekonwencjonalny model widowni, wykorzystującej tzw. *wysokie siedziska* (rys. 5-8). Istnieje kilka powodów, dla których warto rozważać przydatność tego typu siedzisk w projektowaniu widowni stadionowej. Siedzisko wysokie, to siedzisko klasyczne, lecz wyniesione na wysokość, która jest równa różnicy wysokości ciała w pozycji stojącej i tzw. *wysokości siedzeniowej* (odległość od wierzchołka głowy do siedziska). Dzięki temu głowa w pozycji stojącej i siedzącej znajduje się na tym samym poziomie. Na jednym poziomie, w obu przypadkach, znajdują się też oczy – i jest to poziom wysokości ocznej w pozycji stojącej. Oparcie dla nóg zapewniane jest przez odpowiednio usytuowany podnóżek. Takie usytuowanie w przestrzeni pozwala na łatwe zmienianie pozycji ze stojącej na siedzącą i odwrotnie. Możliwa jest też pozycja półstojąca-półsiedząca, z jedną nogą opartą na podłożu trybuny a drugą no podnóżku. Przy siadaniu niewymagane jest, obciążające mięśnie, obniżanie położenia całego ciała.

Jeżeli profil widowni zaprojektuje się w taki sposób, że linia widzenia fokusu przebiegać będzie z punktu oka osoby w pozycji siedzącej, nad wierzchołkiem głowy osoby stojącej przy balustradzie w rzędzie niższym, to otrzyma się widownię o bardzo ciekawych cechach. Mianowicie, zarówno osoby siedzące jak i stojące przy balustradzie bądą miały niezakłócony widok pełnego pola gry, niezależnie od pozycji widzów w niższym rzędzie. Efektem przyjętego na wstępie założenia jest przewyższenie linii widzenia fokusu Cx=48cm. Przy nachyleniu widowni bliskim 45º przyrosty wysokości są bardzo szybkie, w związku z czym stosowanie opisywanego modelu powinno być ograniczone do 10-20 dolnych rzędów. Konsekwencją tak dużego przewyższenia jest znaczna wartość modułu pasma fokusu, co powodować będzie potrzebę większego oddalenia pierwszego rzędu od linii bocznej boiska, w zamian jednak widzowie dolnych rzędów będą mieć dużą, w przeciwieństwie do rozwiązań typowych, wysokość obrazu boiska w związku z dużym pionowym kątem widzenia. Widownia o takich cechach stwarza możliwości projektowania profilu typu *talerz,* tzn. takiego, w którym, odwrotnie niż dotychczas, dolna widownia



RYS. 5-8
UNIWERSALNY PROFIL WIDOWNI - ZASTOSOWANIE PROFILU STROMEGO I SIEDZISK WYSOKICH O REGULOWANEJ WYSOKOŚCI. Teoretyczny model widowni o profilu wypukłym typu "talerz"

Źródło - oryginalne opracowanie autora.

Rozpatrywać łącznie z treścią podrozdziału 2.2 i 2.9.

* Profil tego typu odkryto w datowanym na lata 250-275 n.e. teatrze antycznym w Salge położonym na terenie Azji Mniejszej. W obiekcie tym nachylenie widowni dolnej wynosi 36°, a górnej 34° .
Źródło: H. Golasz-Szołomicka, Wybrane teatry rzymskie w Azji Mniejszej, Architectus, 2006 Nr2(20).

Przedstawiony powyżej teoretyczny model profilu widowni i aranżacji siedzisk jest propozycją rozwiązania problemu *profilu uniwersalnego*, profilu widowni który zapewnia jednakowe warunki widoczności dla całego spektrum kategorii antropometrycznych widzów. Zastosowanie siedzisk wysokich umożliwia obserwację pola gry zarówno w pozycji siedzącej, jak i stojącej, co sprzyja większej swobodzie kibicowania. Siedzisko obrotowe z rotacją w zakresie ok. 30° eliminuje potrzebę skręcania tułowia. Wykorzystanie wypukłego profilu widowni typu *talerz* umożliwia znaczne zwiększenie pionowego kąta widzenia pola boiska, a co za tym idzie wysokości obrazu, dla miejsc w najniższej części widowni. Bliskość areny i opisane cechy widoczności czynić mogą z tych miejsc najbardziej atrakcyjną część widowni. Autor miał możliwość praktycznego sprawdzenia tych efektów projektując i realizując tzw. *tymczasową trybunę dziennikarską* w trakcie modernizacji *Stadionu Śląskiego*.

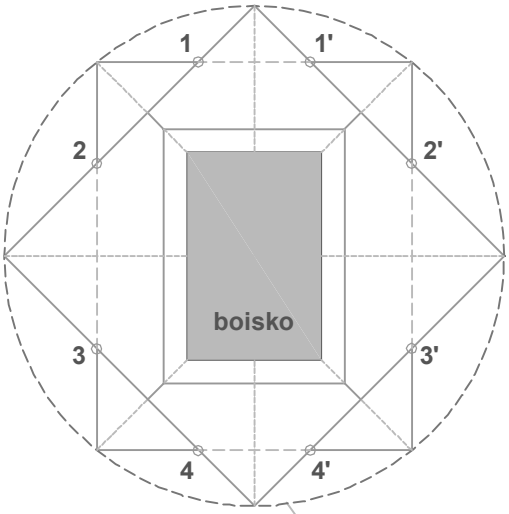
jest bardziej stroma niż górne. Logika takiego modelu polega na tym, by widzom z pierwszych rzędów, mających przywilej bliskości areny, poprawić pionowy kąt widzenia szybko zwiększając wyniesienie oka w kolejnych rzędach. Ponieważ, wysokość położenia rzędów względem poziomu areny jest stosunkowo niewielka, w porównaniu z górnymi trybunami, użytkownicy łatwiej akceptować będą strome nachylenie w tej części widowni. Widzowie widowni górnej, wyniesieni bardzo wysoko, znajdą się na trybunach o łagodnym nachyleniu, co zwiększy ich poczucie bezpieczeństwa i poprawi ogólny komfort psychiczny.

Przedstawiony powyżej wariant jest opcją ekstremalnie komfortową. Model pozwala również przyjąć założenia bardziej zbliżone do powszechnie spotykanych, czyli z pominięciem problemu przesłaniania widoczności przez osoby przechodzące lub wstające ze swojego miejsca. Wówczas, wobec tak dużej wysokości stopnia trybun z jakim mamy do czynienia w modelu, o położeniu najniższej linii widzenia decyduje pochwyt balustrady, a nie wierzchołek głowy widza z poniższego rzędu. Przewyższenie nominalne, czyli nad punktem oka wyniesionym na normową wysokość 160cm, wynosi w opisywanym przykładzie ok. 23cm, co daje wystarczającą rezerwę eliminującą zagrożenie zasłaniania przez osoby z grupy najwyższych. Poziomy moduł pasma fokusów wynosi ok. 30cm, co umożliwia większe niż w modelu powyższym przybliżenie linii boiska do pierwszego rzędu widowni. Przy tych parametrach linia widzenia fokusu z rzędu trzydziestego padać będzie na arenę w odległości ok. 12m od krawędzi najniższego rzędu, w takiej też odległości może się znaleźć linia pola gry, widoczna bez zakłóceń ze wszystkich trzydziestu rzędów.

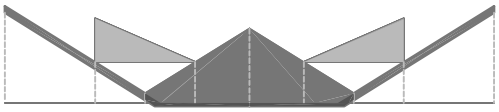
Opisywany, teoretyczny model widowni, uzupełniony być może o jeszcze jeden element poprawiający jego wartości użytkowe a mianowicie, regulację wysokości siedziska. Zastosowanie, pneumatycznych regulatorów wysokości siedziska, powszechnych dziś we wzornictwie mebli do siedzenia, mogłoby stać się odpowiedzią na problemy wynikające z antropometrycznych zróżnicowań widzów. Rozwiązanie takie umożliwiałoby osobom niższym dostosowywanie wysokości położenia oka do pozycji zapewniającej widzenie punktu fokusu. Stosunkowo łatwy do spełnienia w siedziskach o tego typu konstrukcji jest postulat ograniczonej rotacji wokół osi pionowej. Jest to dziś obowiązkowa cecha wielu rodzajów krzeseł i foteli. Możliwość obrotu siedziska pozwalałaby poprawić parametry jakości widzenia, eliminując nieergonomiczne skręcenia tułowia na statycznym siedzisku. O problemie tym autor pisał wcześniej, przy okazji omawiania zagadnień poziomego kąta widzenia i osi anatomicznego pola widzenia. To proste rozwiązanie poprawiłoby znacznie walory widowni, a zwłaszcza prostoliniowych ich odmian.

5.5. Widownia rozetowa

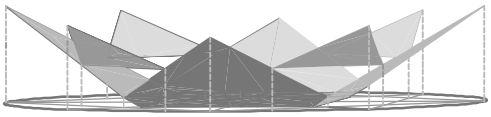
Analizy widowni prostokreślnych o rzutach prostokątnych wykazują, że istotną wadą tych rozwiązań są niskie parametry widoczności w rejonie naroży boiska (por rys. 2-20, oraz rys. 2-21). Z drugiej strony bezsporny jest fakt, że należą one do najbardziej efektywnych, jeśli chodzi o koszty budowy, zwłaszcza przy zastosowaniu prostoliniowego profilu widowni. Autor podjął próbę stworzenia teoretycznego modelu widowni wykorzystującego zalety tego typu trybun, z równoczesnym rozwiązaniem problemów dobrej widoczności w ich krytycznych strefach. W efekcie powstała idea, którą, z uwagi na jej kształt, można nazwać *widownią rozetową* (rys. 5-9). Ogólnie mówiąc, jest to formuła widowni aranżowanej z wielu segmentów o kształcie



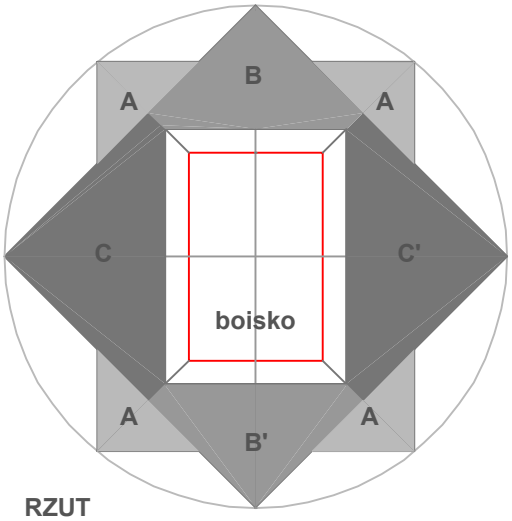
MODEL LINEARNY



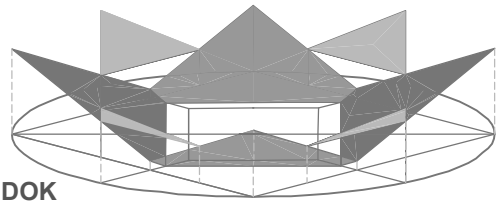
PRZEKRÓJ



WIDOK



RZUT



WIDOK

RYS. 5-9
MODEL TEORETYCZNY WIDOWNI ROZETOWEJ

Źródło - oryginalne opracowanie autora.

Pod segmentami typu "A" możliwa jest lokalizacja trybun balkonowych lub pomieszczeń użytkowych z widokiem na arenę i wnętrze stadionu. Charakter relacji zewnętrznych krawędzi widowni i poziomych kątów widzenia umożliwia, bez szkody dla widoczności, znaczne przybliżenie usytuowania podpór konstrukcyjnych do obrysu areny, co wpływa na zmniejszenie rozpiętości elementów nośnych zadaszenia.

LEGENDA

A, B, C... - Segmenty widowni.
1,1'- 4,4' - Główne punkty konstrukcji wsporczej trybun i zadaszenia.
KZW - Koło maksymalnego zasięgu widzenia piłki nożnej.

trójkąta. Forma trójkąta pozwala bowiem na koncentrację widzów przy głównej osi optycznej pola widzenia boiska. Rozwarcie ramion trójkąta ma ponadto układ harmoniczny z ramionami poziomych kątów widzenia pola gry. Aranżacja przestrzenna układu trójkątów wywodzi się z koncepcji prostokreślnych widowni ośmiokątnych (por. rys. 1-17). Cała forma ośmioramiennej gwiazdy wpisana jest w koło maksymalnego zasięgu widzenia, w związku z czym najdalsze miejsca mieszczą się w normatywnym zasięgu dobrego widzenia. Fakt, że trójkątny segment widowni styka się jedynie swym wierzchołkiem z granicą tego zasięgu, ustala istotną cechę tej widowni, którą można zawrzeć w stwierdzeniu: *im dalej od areny i wyżej, tym mniej miejsc*. Zgodność przebiegu zewnętrznych krawędzi widowni z układem ramion poziomych kątów widzenia umożliwia, bez szkody dla widoczności, znaczne przybliżenie usytuowania podpór konstrukcyjnych do obrysu areny (punkty 1, 1` do 4, 4`). To z kolei wpływa wybitnie na zmniejszenie rozpiętości elementów konstrukcyjnych zadaszenia, odgrywając zasadniczą rolę w redukcji ich przekrojów i gabarytów przestrzennych. Ma też poważne znaczenie przy rozpatrywaniu przekrycia otworu nad samą areną. Pozwala ponadto na zastosowanie obudowy zewnętrznej, odzwierciedlającej kształt rzutu. Przegrody tworzące tę obudowę wytwarzać będą przestrzenne aneksy widowni, z jednej strony wydzielające fragmenty widowni, z drugiej otwierające je na wnętrze stadionu. Trójkątne widownie balkonowe, usytuowane przekątniowo, nakierowane są osiami na centrum areny, i mogą mieścić pod sobą trybuny specjalne i kubatury użytkowe zaplecz. Rozwiązanie to pozwala też na wykorzystywanie trawersowych schodów, przebiegających po krawędziach trójkątów. Daje to wymierne korzyści wynikające z łagodniejszego nachylenia schodów w stosunku do bardziej stromego nachylenia widowni. Zagadnienie to omówiono bardziej szczegółowo w p. 5.6 niniejszego rozdziału.

Wydaje się, że zastosowanie przedstawionej modelowej idei w praktyce projektowo-realizacyjnej przyniosłoby wyraźne korzyści ekonomiczne. Stadion z widownią rozetową miałby wysokie walory użytkowe, nie tylko w zakresie widoczności, ale też z uwagi na charakter wnętrza, dobrze odpowiadającego potrzebom psychologicznym widzów. Zewnętrzna forma architektoniczna, zwłaszcza przy zastosowaniu dynamicznych, wspornikowych nadwieszeń wierzchołkowych części widowni, wpisać by się mogła do grupy najbardziej oryginalnych w swoim rodzaju.

5.6. Schody o biegach ukośnych – widownie prostoliniowe o cechach widowni łukowych

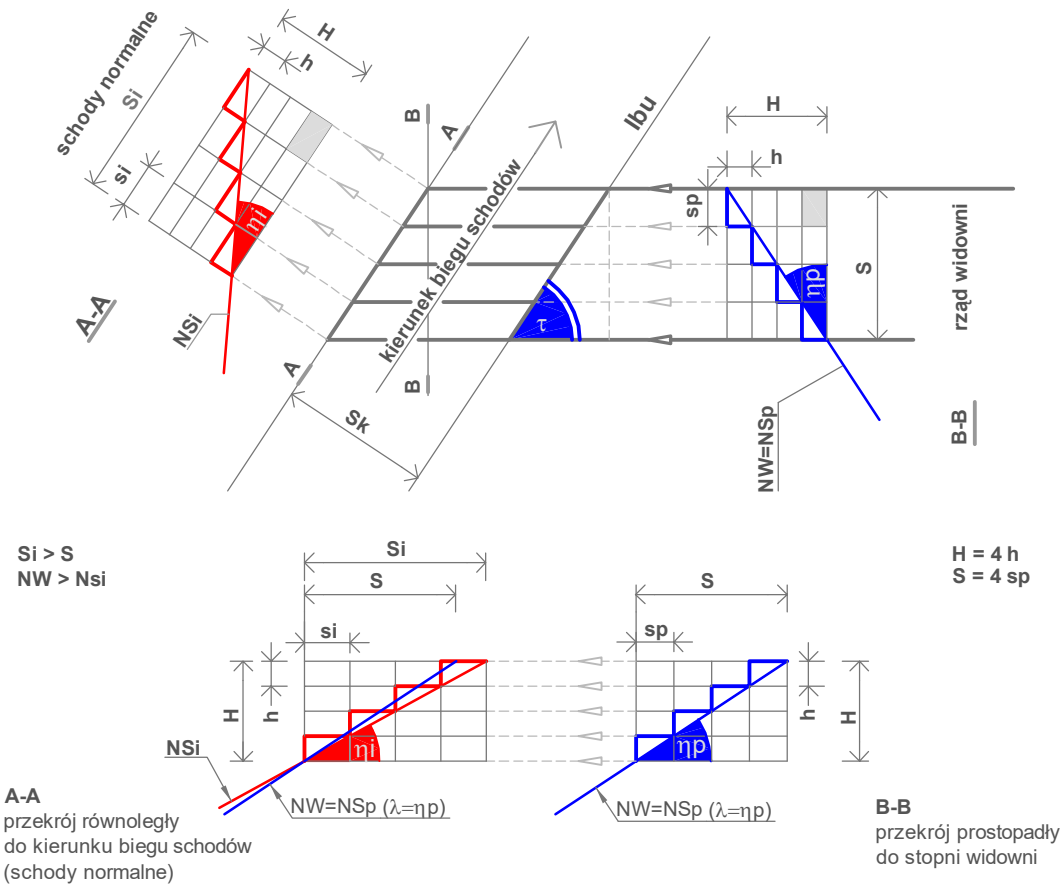
Schody ukośne lub inaczej schody o biegu ukośnym, to szczególny rodzaj schodów, w których kierunek biegu w rzucie poziomym nie jest prostopadły do krawędzi stopnic, lecz nachylony do nich. Kierunek poruszania się po takich schodach odpowiada kierunkowi biegu ustalanemu przez krawędzie policzkowe. O ich użytkowej przydatności decyduje naturalny dla człowieka sposób chodzenia polegający na stawianiu lewej i prawej stopy niemalże na jednej linii, tworzącej oś kroku (fot. 5-3) Dzięki temu, mimo że krawędź noskowa stopnicy przebiega ukośnie do kierunku poruszania się, długość kroków lewej i prawej nogi jest równa, a geometria śladu lewej i prawej stopy na stopnicy jest niemalże jednakowa. Należy jednak wyraźnie zaznaczyć, że schody ukośne mogą być wykorzystywane tylko w określonym zakresie inklinacji ich biegu. W związku z potrzebą zastosowania takich właśnie

schodów na widowni wschodniej *Stadionu Śląskiego* autor przeprowadził doświadczalne badania z udziałem wielu osób reprezentujących zróżnicowane kategorie antropometryczne. Badania te pozwoliły ustalić zakres inklinacji biegu schodów, przy którym chodzenie po nich nie sprawia użytkownikom różnicy w stosunku do schodów o biegach normalnych. Doświadczenia te wykazały, że dopuszczalna inklinacja powinna się mieścić w przedziale 58º-90º, przy czym inklinacja 90º charakteryzuje bieg normalny, w którym kąt pomiędzy linią policzka i linią krawędzi stopnia jest kątem prostym. Jest jeszcze jeden czynnik, który wyjaśnia dlaczego użytkownicy akceptują schody o biegach ukośnych. Otóż, obserwacje sposobu chodzenia po schodach wykazują, że większość osób, zarówno przy schodzeniu, jak i podchodzeniu, stawia tylko część stopy na stopnicy. Przy schodzeniu stopa stawiana jest tak, że palce nadwieszone są nad krawędzią stopnia. Wynika to z podświadomego wyszukiwania i wyczuwania krawędzi stopnia, po to by stopa przenosząca ciężar ciała miała możliwość obrotu na krawędzi stopnia, przy równoczesnym zwiększeniu pewności *odbicia* w trakcie stawiania kroku. Przy podchodzeniu natomiast, z tych samych powodów *sensorycznych*, stopa kontaktuje się ze stopnicą również tylko częścią swej powierzchni, pozostawiając piętę nadwieszoną nad krawędzią noskową. Umożliwia to wyczuwanie krawędzi stopni, automatyczne kontrolowanie ich układu w przestrzeni i dostosowywanie do tego układu właściwego kroku. Dzięki tym mechanizmom możemy poruszać się bezpiecznie po dobrze zaprojektowanych schodach z zamkniętymi oczami lub bez zbytniej koncentracji na samym schodzeniu lub podchodzeniu.

Zainteresowanie tym rodzajem schodów w projektowaniu widowni wynika z faktu, że pozwalają one na poruszanie się po trawersie bardziej od nich stromej trybuny. Dzięki temu nachylenie trybun może być bardziej strome niż nachylenie schodów, które można projektować jako schody normalne – wygodne. Większe nachylenie widowni z kolei zapewnia lepszą widoczność. Schody ukośne umożliwiają ponadto projektowanie widowni prostokreślnych, mających jednak cechy widowni łukowych. Przebiegające po trawersach schody południkowe można aranżować w układzie dośrodkowym, uzyskując sektory nakierowane na centrum areny, co wraz z ukośnym, dośrodkowym układem siedzisk, daje efekty użytkowe podobne do uzyskiwanych na widowniach łukowych.

Na rys. 5-10 przedstawiono podstawowe zasady zastosowania schodów o biegach ukośnych w projektowaniu widowni. Zasady te opierają się na opisanej w rozdziale 3 koncepcji profili widowni pochodnych od profili schodów normalnych. Geometria stopnia widowni powstaje w wyniku zwielokrotnienia wymiarów stopnia schodów normalnych, lecz nie wprost, ale w wyniku odpowiedniego odrzutowania. Schody o biegu ukośnym mają tę cechę, że w przekroju równoległym do kierunku biegu (przekrój A-A) mają geometrię schodów normalnych, a w przekroju prostopadłym do krawędzi stopni (przekrój B-B) geometria stopni zmienia się w ten sposób, że głębokość stopnia maleje, a wysokość pozostaje bez zmian. Jeżeli skonstruuje się stopień widowni wykorzystując geometrię stopni schodów z przekroju B-B, np. według zasady czterokrotnego powielenia, i powiąże się go z czterema stopniami ukośnymi w sposób pokazany na rys. 5-10, to otrzyma się moduł widowni o specjalnych cechach. Schody w kierunku zgodnym z inklinacją biegu będą schodami normalnymi, wygodnymi i spełniającymi wymogi algorytmu 2h+s=63cm, a widownia, będąc z nimi geometrycznie spójną, będzie miała jednak większe od nich nachylenie.

Jak już wcześniej zaznaczono, zastosowanie schodów o biegach ukośnych ma pewne ograniczenia. Dotyczą one dopuszczalnej inklinacji biegu oraz doboru parametrów schodów normalnych z uwagi na przydatność w konstruowaniu stopnia widowni. Na rys. 5-11 wyjaśniono metodę

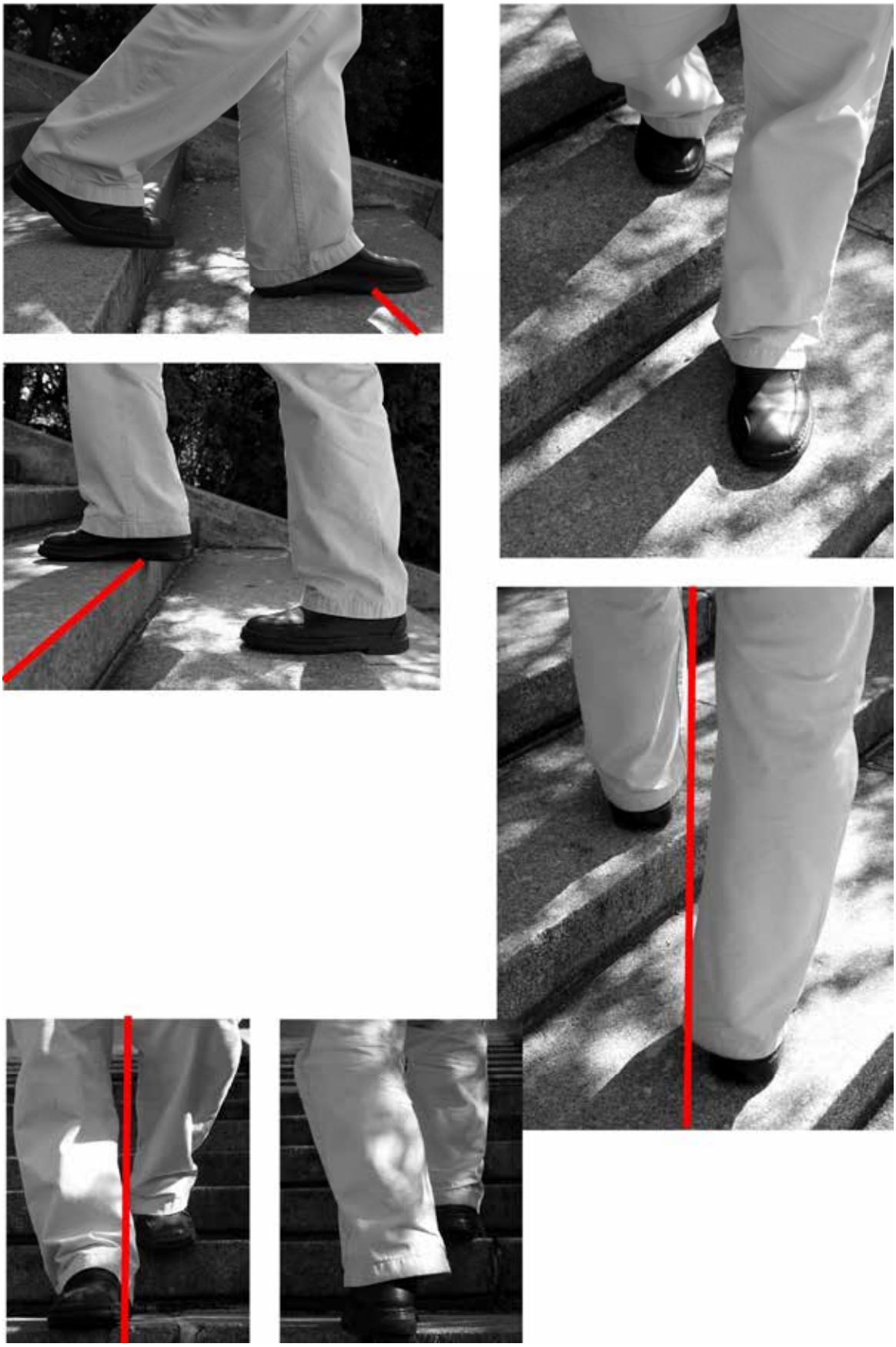


RYS. 5-10
ZASTOSOWANIE SCHODÓW NORMALNYCH UKOŚNYCH NA KORYTARZACH KOMUNI - KACYJNYCH I EWAKUACYJNYCH W OBRĘBIE WIDOWNI
Zasady modelowania profilu i rzutu widowni

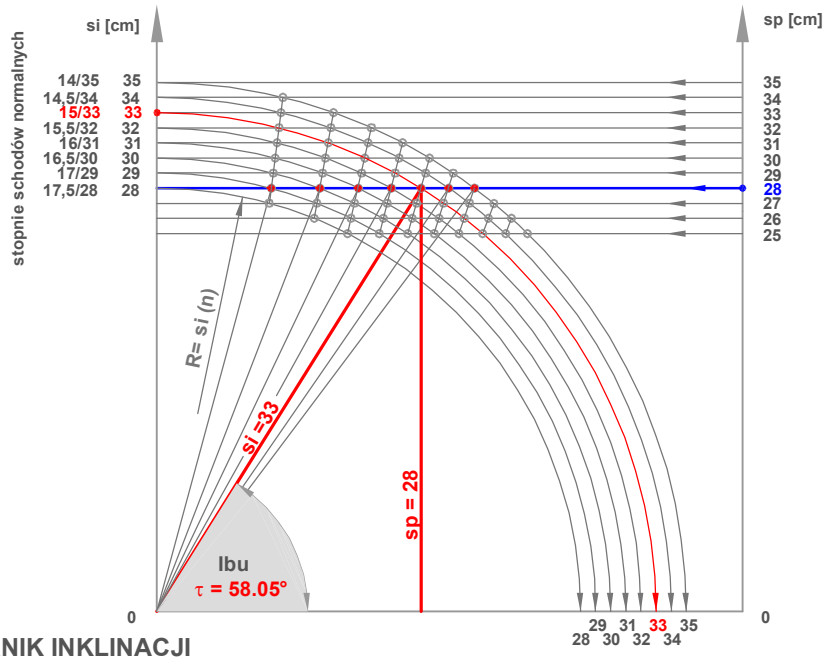
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

LEGENDA

lbu - Inklinacja biegu schodów ukośnych wyrażona kątem τ mierzonym w rzucie poziomym pomiędzy linią policzkową biegu i krawędzią noska stopnia schodów.
Sk - Szerokość korytarza schodowego.
S - Głębokość powtarzalnego rzędu widowni.
Si - Długość krawędzi policzkowej schodów ukośnych odpowiadająca głębokości rzędu.
H - Wysokość stopnia widowni.
sp - Głębokość stopnia schodów mierzona prostopadle do krawędzi noskowej.
si - Głębokość stopnia schodów mierzona równolegle do ukośnej krawędzi policzkowej.
h - Wysokość stopnia schodów.
NW - Nachylenie widowni (λ).
NSp - Nachylenie schodów mierzone na płaszczyźnie pionowej prostopadłej do krawędzi nosków stopni schodów wyrażone kątem ηp; NSp = Nw, $\eta p = \lambda$.
NSi - Nachylenie schodów normalnych mierzone na płaszczyźnie pionowej równoległej do kierunku biegu schodów, (krawędzi policzkowej biegu schodów) wyrażone kątem ηi NSi < Nw ; $\eta i < \lambda$.



Fot. 5-4. Zasady poruszania się po schodach. Anatomiczna liniowość śladu kroków umożliwia chodzenie po schodach ukośnych. Nadwieszenie stopy nad krawędzią stopnia schodów – pięty przy podchodzeniu i palców przy schodzeniu – służy kontroli kroku. *Foto: M. Pelczarski. Opracowanie: autor.*



WZORNIK INKLINACJI

schody normalne ukośne		parametry widowni dla: sp = 28cm przy S = 3 x sp					
hi/si [cm/cm]	si[cm]	lbu [τ°]	NSi [δi°]	NW [λ°]	ΔN [(λ–δi)°]	H [cm]	S [cm]
17 / 29	**29**	74,91	30,38	31,26	0,88	51	84
16,5 / 30	**30**	68,96	28,81	30,51	1,70	49.5	84
16 / 31	**31**	64,59	27,30	29,74	2.44	48	84
15,5 / 32	**32**	61,04	25,84	28,97	3,13	46,5	84
15 / 33	**33**	58,05	24,44	28,18	3,74	45	84

ZESTAWIENIE PARAMETRÓW WIDOWNI DLA ZAŁOŻONEGO sp = 28cm i S = 3 x sp

schody normalne ukośne		Inklinacja biegu [τ°]						
hi/si [cm/cm]	sp / si	28	29	30	31	32	33	34
17 / 29	29	74,91	-	-	-	-	-	-
16,5 / 30	30	68,96	75,16	-	-	-	-	-
16 / 31	31	64,59	69,31	75,41	-	-	-	-
15,5 / 32	32	61,04	64,99	69,64	75,64	-	-	-
15 / 33	33	58,05	61,50	65,38	69,95	75,86	-	-
14,5 / 34	34	-	58,53	61,93	65,75	70,25	76,07	-
14 / 35	35	-	-	59,00	62,34	66,10	70,54	76,27

ZESTAWIENIE WARTOŚCI INKLINACJI [τ °] SCHODÓW UKOŚNYCH DLA OKREŚLONYCH RELACJI WARTOŚCI *si* i *sp*. ***Wartości si i sp podano w centymetrach [cm]***

RYS. 5-11

SCHODY NORMALNE UKOŚNE. WZORNIK INKLINACJI. Przykładowe zestawienie alternatywnych parametrów widowni dla założonego sp = 28cm i S = 3 x sp.

Źródło - oryginalne opracowanie autora.

LEGENDA

ΔN - Przyrost nachylenia widowni (NW) w stosunku do nachylenia schodów (NSi), [°] .

Pozostałe oznaczenia jak dla rys.5-10.

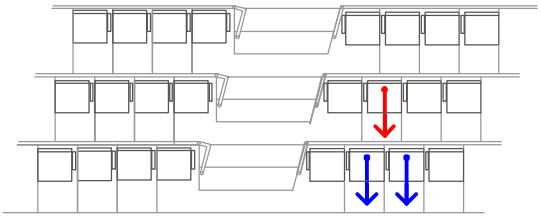
definiowania kąta inklinacji dla poszczególnych stopni z katalogu schodów normalnych w zależności od założonej głębokości stopnia mierzonego prostopadle do krawędzi noskowej (sp). Konstruując wzornik inklinacji zauważono, że jeżeli dla każdej głębokości stopnia (si) z katalogu schodów normalnych wykreśli się łuk (ćwiartka okręgu) o równym jej promieniu (R=si(n)), a następnie w tej samej skali w wykres wrysuje się szerg linii prostych równoległych do podstawy wykresu i odległych od niej o poszczególne wartości (sp), to linie te będą przecinać łuki w punktach wyznaczających położenie, a co za tym idzie, nachylenie policzka względem krawędzi stopnia schodów ukośnych. Wyniki uzyskane wykreślnie opracowano również tabelarycznie. Tabela ta umożliwia szybkie decyzje projektowe w zakresie doboru rodzaju schodów, ich inklinacji i geometrii profilu trybun. Posługując się wzornikiem, opracowano ponadto przykładowe zestawienie alternatywnych parametrów widowni dla założonej wartości sp=28cm oraz głębokości stopnia widowni S=3sp. W analizowanym zestawie stopni normalnych największe zyski w zakresie zwiększenia nachylenia widowni w stosunku do nachylenia schodów daje stopień 15/33. Przy inklinacji Ibu= 58,05º różnica nachylenia schodów i widowni (ΔN) wynosi 3,74º.

Ukośny, trawersowy przebieg korytarzy międzysektorowych ma też, oprócz opisanych powyżej korzyści, inne zalety. Należy do nich możliwość dośrodkowej aranżacji układu korytarzy i dośrodkowego ustawienia siedzisk, co widownie prostokreślne może zbliżać do widowni łukowych. Odpowiednio zaprojektowane schody ukośne umożliwiają racjonalne zastosowanie szachownicowego układu siedzisk (rys. 5-12A). Przy właściwym doborze kąta inklinacji do głębokości rzędu i rozstawu siedzisk można uzyskać przesunięcie osi siedzisk w poszczególnych rzędach o połowę ich rozstawu, poprawiając tym samym znacznie wartości użytkowe widowni. Na klasycznych widowniach zabieg ten stosuje się w praktyce realizacyjno-projektowej bardzo rzadko z uwagi na znaczne straty powierzchniowe w rejonie styku schodów i linii skrajnych siedzisk sektora. W przypadku rozwiązania z zastosowaniem schodów ukośnych takie straty w ogóle nie występują. Co ważne, problem ten rozwiązuje niewielka inklinacja Ibu=75º. Kolejną zaletą idei ukośnych schodów jest wykorzystanie ich do tworzenia ukośnego układu krzeseł (rys. 5-12B). Układ ten nakierowuje oś anatomicznego pola widzenia na oś optyczną obrazu pola boiska, a ponadto poprawia znacznie warunki użytkowe indywidualnego miejsca poprzez wytworzenie wygodniejszej przestrzeni przed siedziskiem. W przykładzie powyższym, zaprezentowano rozwiązanie o znacznym komforcie użytkowym, wynikającym z przyjęcia bardzo wygodnych schodów hi/si=15/33cm i głębokości rzędu, mierzonej prostopadle do krawędzi rzędu S=4sp=112cm. Głębokość użytkowa mierzona w kierunku inklinacji wynosi 132cm. Warunki przestrzenne indywidualnego miejsca można jeszcze bardziej poprawić, stosując zygzakową linię krawędzi rzędu.

Na rys. 5-13 zaprezentowano teoretyczny model stadionu z widownią prostokreślną, na której zastosowano omówione wcześniej schody o biegach ukośnych w układzie dośrodkowym. W części środkowej każdej z czterech trybun przyjęto ustawienie siedzisk prostopadłe do krawędzi rzędów (pola ciemnoszare), w sektorach skrajnych zastosowano ukośny układ siedzisk, zgodny z kierunkiem schodów ukośnych (pola jasnoszare). Podział na sektory wynika z przyjętego kryterium maksymalnej liczby miejsc w rzędzie, która wynosi 28.

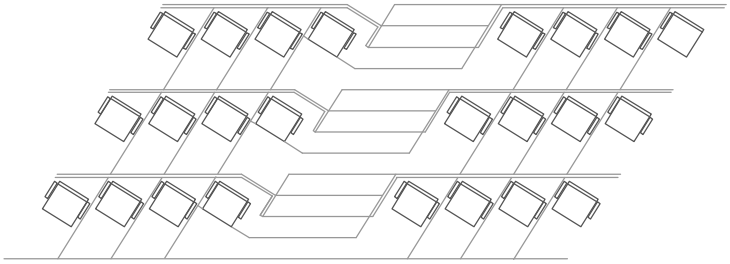
Dla obu widowni, tj. dolnej i górnej, przyjęto jednakowy kąt inklinacji schodów ukośnych Ibu=59,00º. Szczegółowe parametry widowni podano na rysunku. Analizując przebieg osi anatomicznego pola widzenia (OPW), który ustalany jest pozycją siedzisk oraz przez porównanie go z osiami pola obserwacji (OPO), będącymi dwusiecznymi poziomych katów widzenia pola

Ibu = 75,41°
sp = 30cm
si = 31cm
hi/si = 16/31cm
S= 3sp=90cm
H= 3hi = 48cm
NSi=27,30°
NW=28,07°



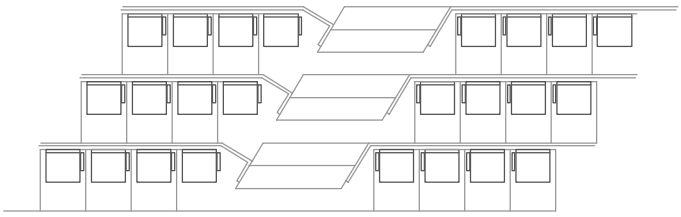
A.)
WYKORZYSTANIE SCHODÓW UKOŚNYCH DO TWORZENIA NAPRZEMIENNEGO UKŁADU SIEDZISK.

Ibu = 58,05°
sp = 28cm
si = 33cm
hi/si = 15/33cm
S= 4sp = 112cm
H= 4hi = 60cm
NSi=24,44°
NW=28,18°



B.)
WYKORZYSTANIE SCHODÓW UKOŚNYCH DO TWORZENIA UKOŚNEGO UKŁADU SIEDZISK I ZWIĘKSZONEGO NACHYLENIA WIDOWNI.

Ibu =59.00°
sp = 30cm
si = 35cm
hi/si = 14/35cm
S= 3sp =90cm
H=3hi = 42cm
NSi=21,80°
NW= 25,02°



C.)
WYKORZYSTANIE SCHODÓW UKOŚNYCH DO TWORZENIA ZWIĘKSZONEGO NACHYLENIA WIDOWNI.

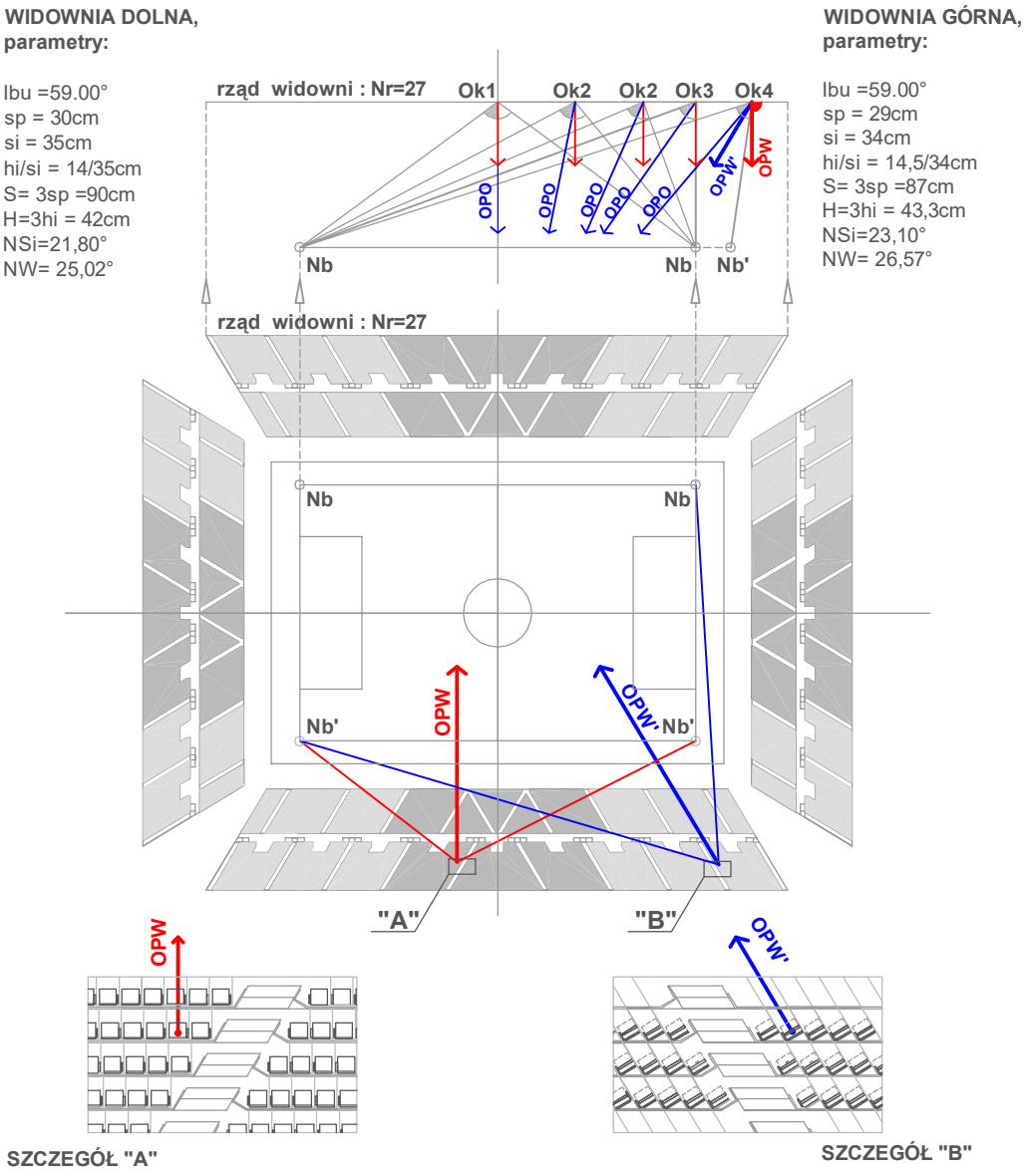
RYS. 5-12
ZASTOSOWANIE SCHODÓW UKOŚNYCH W ARANŻOWANIU PROFILU I UKŁADU FUNKCJONALNEGO WIDOWNI

Źródło - oryginalne opracowanie autora.

Zastosowanie schodów ukośnych pozwala uzyskiwać większe nachylenia widowni przy równoczesnym zachowaniu normatywnch nachyleń schodów. Umożliwia też dośrodkową orientację układu siedzisk, a przez to zmniejszenie dywergencji osi anatomicznego pola widzenia (ustalonego układem siedziska) i osi pola obserwacji (pokrywającej się z dwusieczną poziomego kąta widzenia pola boiska), zwłaszcza na widowniach prostokreślnych. Jeszcze inną zaletą schodów ukośnych jest łatwość tworzenia ekonomicznych, naprzemianległych w rzędach, układów siedzisk.

LEGENDA

Wszystkie oznaczenia jak dla rys. 5-10.



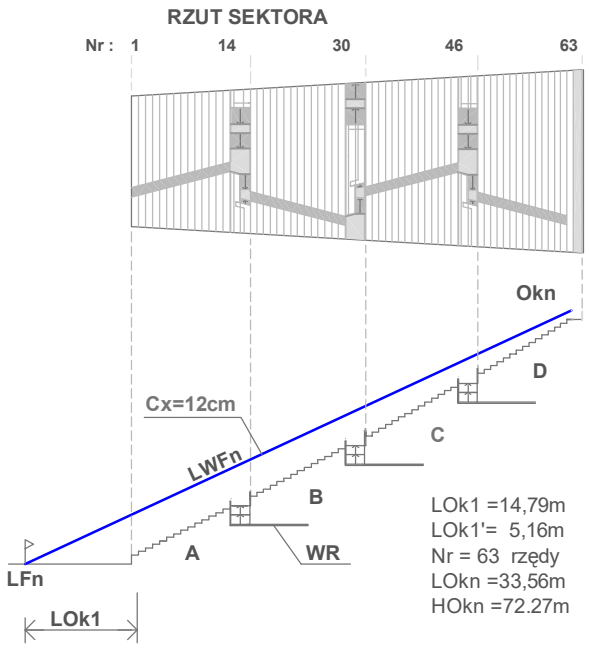
RYS. 5-13
STADION Z WIDOWNIĄ PROSTOKREŚLNĄ PROSTOKĄTNĄ. Zastosowanie ukośnych korytarzy południkowych i ukośnego układu siedzisk. Analiza dywergencji centralnej linii anatomicznego pola widzenia i pola obserwacji.

Źródło - oryginalne opracowanie autora.

Rys. 5-13 przedstawia teoretyczny model widowni prostokreślnej, która dzięki zastosowaniu schodów ukośnych zbliżona jest pod względem konwergencji osi anatomicznego pola widzenia i osi pola obserwacji do widowni łukowych.

LEGENDA

Nb - Narożnik bliższy pola boiska.
Nb' - Narożnik dalszy pola boiska.
OPW - Oś anatomicznego pola widzenia ustalona pozycją siedziska prostopadłą do linii rzędów widowni.
OPW" - Oś anatomicznego pola widzenia ustalona pozycją siedziska równoległą do linii ukośnego korytarza południkowego.
OPO - Oś pola obserwacji położona na dwusiecznej poziomego kąta widzenia skrajnych narożników boiska.



PARAMETRY SEGMENTÓW SEKTORA :

A :

lbu = 76.64°
sp = 31cm
si = 32cm
hi/si = 15,5/32cm
H = 3hi = 46.5cm
S= 3sp = 93cm
NSi = 25,84°
NW = 26,57°

B:

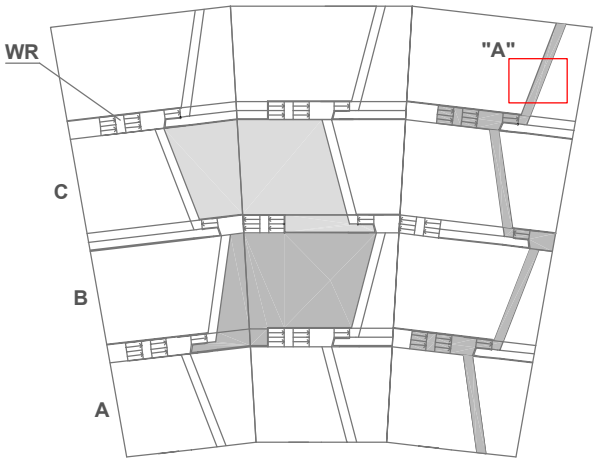
lbu = 75,41°
sp = 30cm
si = 31cm
hi/si = 16/31cm
H = 3hi =48cm
S= 3sp = 90cm
NSi = 27,30°
NW = 28,07°

C:

lbu = 75,16°
sp = 29cm
si = 30cm
hi/si = 16,5/30cm
H = 3hi = 49,5cm
S= 3sp = 87cm
NSi = 28,81°
NW = 29,64°

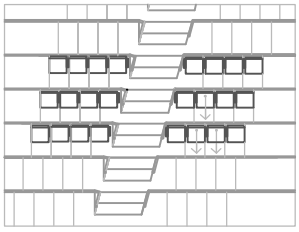
D:

lbu = 74,90°
sp = 28cm
si = 29cm
hi/si = 17/29cm
H = 3hi =51cm
S= 3sp = 84cm
NSi = 30,38°
NW = 31,26°



WR - WOMITORIUM RÓWNOLEŻNIKOWE

SZCZEGÓŁ "A"



RYS. 5-14
PRZYKŁADOWA WIDOWNIA Z ZASTOSOWANIEM SCHODÓW UKOŚNYCH, NAPRZEMIENNEGO UKŁADU SIEDZISK I WOMITORIÓW RÓWNOLEŻNIKOWYCH.

Źródło - oryginalne opracowanie autora.

Rys. 5-14 przedstawia teoretyczny model widowni łukowej łamanej, o profilu prostoliniowym łamanym, w którym głównym motywem zastosowania schodów ukośnych był naprzemienny układ siedzisk. Układ ten znacznie poprawia parametry widoczności, zwłaszcza przy wykorzystywaniu minimalnych przewyższeń anatomicznych Cx = Ca = 12cm. Womitoria równoleżnikowe, w połączeniu z zygzakowym układem korytarzy południkowych, pozwalają na aranżację widowni cechującą się wysokimi walorami funkcjonalnymi i oryginalnością architektoniczną.

LEGENDA

LFn - Linia fokusów nominalnych dla widzów ostat. rzędu, przy przewyższeniu Ca=12cm

Pozostałe oznaczenia jak dla rys. 5-10.

boiska, można stwierdzić, że proponowany model widowni stadionu jest pod względem jakości parametrów widoczności zbliżony do typu stadionów o widowniach łukowych (por. rys. 2-20 i rys.2-21). Efekty te można osiągnąć na widowni prostokreślnej, a więc pod względem budowlanym najbardziej ekonomicznej dzięki zastosowaniu koncepcji schodów ukośnych.

Dla podkreślenia różnic i zarazem zakresu korekt jakości widzenia zapewnianych przez proponowane rozwiązanie (w porównaniu z rozwiązaniami tradycyjnymi) w górnej części rys. 5-13 przedstawiono wykres przebiegu osi anatomicznego pola widzena (OPW) i osi pola obserwacji (OPO) dla widowni prostokreślnej z klasycznym, prostopadłym przebiegiem schodów i ustawieniem siedzisk (por. rys. 2-20 i rys. 2-21). Pierwszym, poważnym i szczegółowym opracowaniem projektowym z wykorzystaniem powyższej idei widowni, z dodatkowo zastosowaną koncepcją womitoriów równoleżnikowych, była praca złożona w ramach konkursu architektonicznego na koncepcję stadionu miejskiego w Białymstoku[74].

Ilustracją możliwości projektowych wynikających ze stosowania opisywanej koncepcji, pozwalających na odejście od utartych schematów aranżacji widowni, jest opracowane przez autora modelowe rozwiązanie dużej widowni łukowej (rys. 5-14). W rozwiązaniu tym zastosowano, oprócz schodów o biegach ukośnych, opisane wcześniej womitoria równoleżnikowe. Jednym z motywów wykorzystania schodów ukośnych jest w tym przypadku cel realizacji naprzemiennego, szachownicowego układu siedzisk. Przyjęte inklinacje schodów, nieco inne dla każdego segmentu sektora, dość łagodne, bo zbliżone do kąta 75º, wynikają właśnie z tego założenia. Zmiany kierunku inklinacji korytarzy schodowych, spowodowane są po części względami kompozycyjnymi, po części wymogami wynikającymi z przyjętego rodzaju womitorium równoleżnikowego. Bardziej szczegółowe przedstawienie rozwiązania tego womitorium zawiera rys. 5-6D. Efektem architektonicznym, który autor stawiał sobie za cel przy projektowaniu zaprezentowanego modelu widowni, było osiągnięcie takiej aranżacji, by wydzielone przestrzennie, odmienne kształtem, autonomiczne strefy sprzyjały identyfikowaniu się z nimi stosunkowo niedużej grupy widzów. Służą temu równoleżnikowe szczeliny widowni, organizujące womitoria oraz zmiany kierunków przebiegu korytarzy schodowych. Podobne, lecz bardziej schematyczne podziały sektorów na trzy wyraźnie wydzielone części zaprojektowano i zrealizowano pod kierunkiem autora na widowni *Stadionu Śląskiego* w Chorzowie. Doświadczenia wieloletniej eksploatacji tej widowni potwierdzają słuszność takich założeń.

5.7. Widownia na planie koła

Widownia kołowa to szczególny rodzaj widowni, której rzędy tworzą koncentryczne okręgi o wspólnym środku, zlokalizowanym w centralnym punkcie areny. Widownie antycznych teatrów miały widownie będące wycinkami właśnie widowni kołowej. Współczesne widownie tego typu znane są z aren korridy i reprezentacyjnych kortów tenisowych. Zastosowano je na niektórych stadionach piłkarskich, jak również na

[74] Chodzi o konkurs Urzędu Miejskiego w Białymstoku na opracowanie koncepcji urbanistyczno-architektonicznej projektu stadionu piłkarskiego *Hetman* oraz jego zaplecza treningowego, Białystok 2007. W projekcie tym autor odpowiadał za koncepcję widowni i areny stadionu. (Zespół autorski: J. Kabac, G. Milweska-Dąbrowska, Z. Pelczarski, J. Żarnowiecka)

dwufunkcyjnych stadionach bejsbolowych i futbolu amerykańskiego. Rozwiązania takie spotyka się również na stadionach krykieta i futbolu australijskiego.

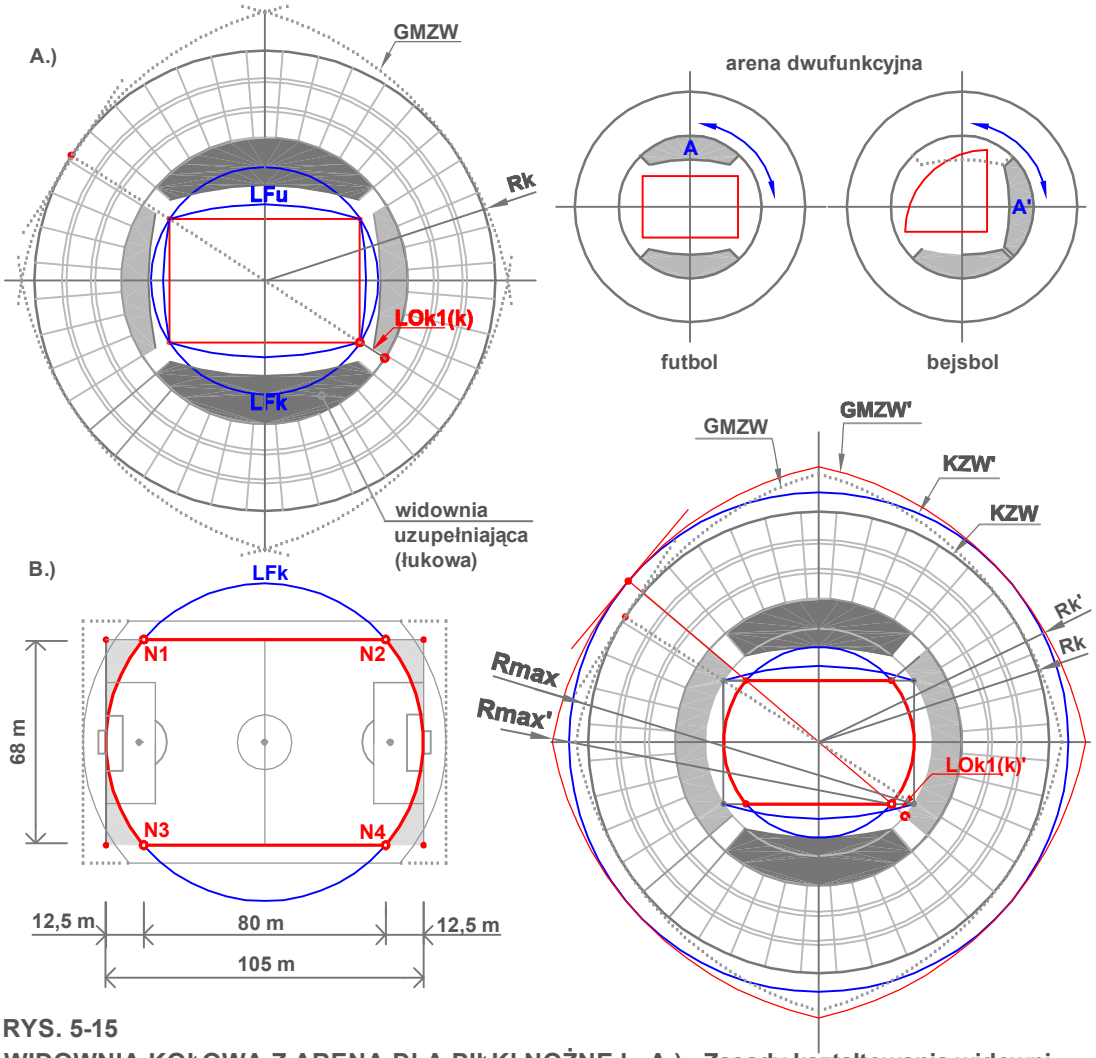
Widownia kołowa wyróżnia się spośród wszystkich znanych rodzajów widowni najlepszymi i najbardziej wyrównanymi dla wszystkich miejsc parametrami widoczności, które osiągane są w pełnym zakresie, zwłaszcza przy arenie kołowej. Można ją określić mianem idealnej widowni amfiteatralnej. Jako forma radialna, wytwarza wśród widzów i zawodników najsilniejsze poczucie więzi współuczestnictwa w spektaklu sportowym. Otaczając kołową arenę, definiuje wnętrze o najkorzystniejszych proporcjach. Sprzyja też harmonicznym z nią i najbardziej ekonomicznym, kołowym formom zadaszeń.

W przypadku stadionów z widownią kołową, z klasycznym boiskiem do piłki nożnej, położenie pierwszego rzędu ustala się biorąc pod uwagę warunki widoczności wzdłuż południka przechodzącego przez narożnik boiska. Uwzględnia się przy tym możliwość wkomponowania niekołowej widowni uzupełniającej, sytuowanej w przestrzeni pomiędzy boiskiem i dolną krawędzią widowni kołowej. Widoczność punktu fokusu położonego w narożniku boiska, który jest punktem najbardziej zbliżonym do linii pierwszego rzędu, decyduje zatem o profilu całej widowni kołowej. Punkty oka pierwszego rzędu odsuwa się na taką odległość i wynosi się na taką wysokość, by zmieścić odpowiednią liczbę rzędów, wspomnianych już, trybun uzupełniających. Trybuny te projektuje się jako prostoliniowe lub łukowe. W przypadku profilu krzywoliniowego linia fokusów jest okręgiem opisanym na prostokącie obrysu pola boiska. W przypadku profilu prostoliniowego linia ta odpowiada linii ocznej najwyższego rzędu, a okręgi punktów fokusu dla niższych rzędów mają coraz większe promienie. Na rys. 5-15A można zauważyć znaczne różnice w przebiegu nominalnej, kołowej linii fokusów (LFk) i linii fokusów rzeczywistych, która jest krawędzią pola boiska. Oznacza to, że rzeczywiste przewyższenia linii widzenia fokusu w obrębie całej widowni znacznie przekraczają nominalne, które występują wyłącznie w czterech krytycznych południkach przechodzących przez narożniki boiska. W prezentowanym przykładzie przewyższenia rzeczywiste dla miejsc położonych na poprzecznej osi stadionu wynoszą od ok. 32cm dla pierwszych rzędów widowni kołowej do ok. 24cm dla rzędów najdalszych – przy nominalnym przewyższeniu Ca=12cm. Wartości te uzyskuje się przy stosunkowo łagodnym nachyleniu widowni, wynoszącym 26°do 32°. Opisane powyżej cechy stanowią jedną z istotnych zalet widowni kołowej.

Dla widowni dolnej, posiadającej charakter pomocniczy, linie fokusów (Lfu) i pochodny od nich profil trybun ustala się niezależnie od założonych dla zasadniczej widowni kołowej. Znane są przykłady wykorzystania tych trybun jako mobilnych, przestawialnych obrotowo, w sposób pokazany na rys. 5-15. Rozwiązanie to umożliwia rearanżację areny i zmianę jej funkcji z piłkarskiej na bejsbolową.

Kolejną, wielką zaletą widowni kołowych jest fakt, że centralna oś optyczna anatomicznego pola widzenia, ustalonego pozycją siedziska, niemalże pokrywa się z dwusieczną poziomego kąta widzenia boiska (por. rys. 2-20 i rys. 2-21). Zapewnia to wszystkim widzom bardzo zbliżone warunki widzenia i znacznie większy, w porównaniu widowniami prostokreślnymi i łukowymi, komfort obserwacji pola gry – z minimalnym zakresem ruchu głowy i bez potrzeby ruchu tułowia. Większe oddalenie widzów w rejonie południka przebiegającego po osi poprzecznej boiska jest tylko pozorną wadą, gdyż w rzeczywistości dokładnie odpowiada parametrom uzyskiwanym dla takich wyniesień w widowniach prostokreślnych lub łukowych.

Uwzględniając, wykazane powyżej, liczne zalety widowni kołowej, autor podjął próbę odpowiedzi na pytanie: czy możliwe byłoby zmniejszanie konfliktu kształ-



RYS. 5-15

WIDOWNIA KOŁOWA Z ARENĄ DLA PIŁKI NOŻNEJ. A.) - Zasady kształtowania widowni uzupełniającej. B.) - Propozycja zmiany kształtu boiska - wpływ na geometrię widowni

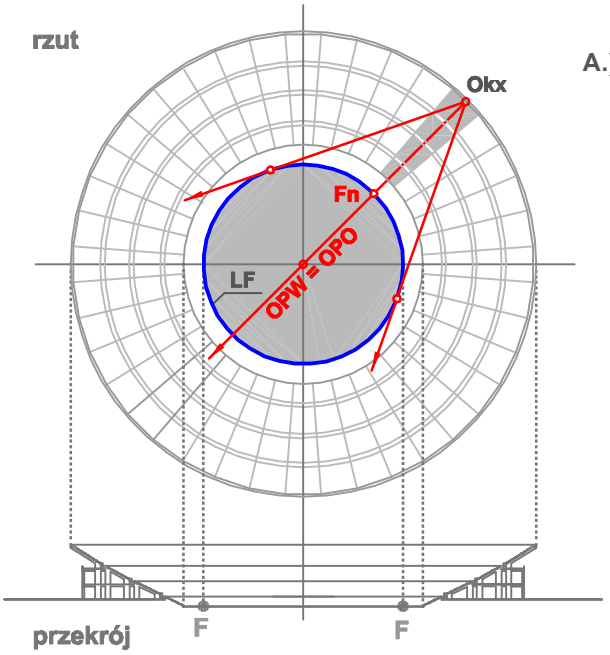
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

LEGENDA

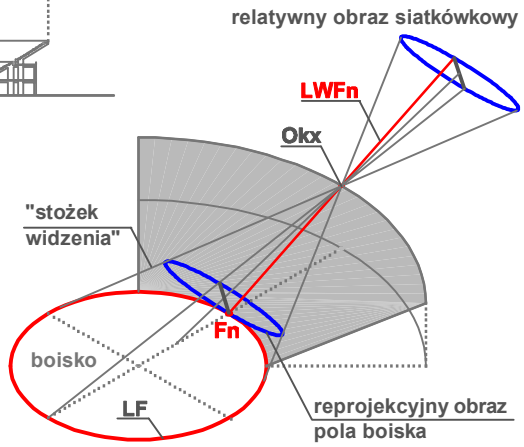
LFk - Linia fokusów najdalszego rzędu widowni kołowej.
LFu - Linia fokusów najdalszego rzędu widowni uzupełniającej (łukowej).
LOk1(k) - Odległość linii ocznej pierwszego rzędu widowni kołowej od linii fokusów na arenie z klasycznym boiskiem.
LOk1(k)' - Odległość linii ocznej pierwszego rzędu widowni kołowej od linii fokusów na arenie z boiskiem zmodyfikowanym (z łukową linią bramkową).
N1-N4 - Narożniki zmodyfikowanego pola boiska.
GMZW - Granice pola maksymalnego zasięgu widzenia dla boiska klasycznego.
GMZW' - Granice pola maksymalnego zasięgu widzenia dla boiska zmodyfikowanego.
Rmax - Promień łuku maksymalnego zasięgu widzenia określający minimalny kąt widzenia piłki nożnej (ϕ = 22 cm) równy ψ= 0°4´dla boiska klasycznego; Rmax = 190 m.
Rmax' - J.w. lecz dla boiska zmodyfikowanego.
KZW - Koło maksymalnego zasięgu widzenia dla boiska klasycznego (wyznaczone okręgiem stycznym do linii GMZW).
KZW' - Koło maksymalnego zasięgu widzenia dla boiska zmodyfikowanego .
Rk - Promień koła maksymalnego zasięgu widzenia dla boiska klasycznego (Rk = ok. 127 m).
Rk' - Promień koła maksymalnego zasięgu widzenia dla boiska zmodyfikowanego (Rk' = ok. 137m).

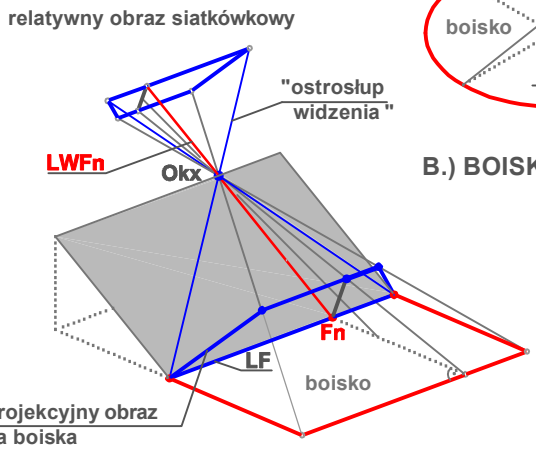
tów widowni i boiska poprzez modyfikacje geometrii tego ostatniego. Jedną z propozycji jest przedstawiona na rys. 5-15B zmiana dotycząca linii bramkowej. Jeżeli w prostokąt klasycznego boiska do piłki nożnej wpisze się okrąg styczny do linii bramkowych, to uzyskuje się rozwiązanie, w którym linia bramkowa może przybrać formę łuku koncentrycznego z łukami rzędów widowni kołowej. Linia tego okręgu może być przyjęta jako linia fokusów wyznaczających profil całej widowni. Narożniki nowego boiska przesuwają się o ok. 12,5m w kierunku dośrodkowym, a linia boczna skraca się do długości l=80m. Dzięki takiemu zabiegowi zabramkowe fragmenty widowni mogą być na całej swej głębokości trybunami kołowymi o równoległym przebiegu do linii bramkowej. Pola położone pomiędzy liniami bocznymi boiska i okręgiem pierwszego rzędu wypełnione być mogą trybunami uzupełniającymi, rozwiązanymi jako prostokreślne lub łukowe. Przesunięcie narożników przynosi również inne korzyści. Należy do nich znaczne zwiększenie pojemności widowni, wynoszące ok. 15% (tj. ok. 15 tys. miejsc). Wynika to z faktu zwiększenia promienia koła maksymalnego zasięgu widzenia ze 127m do ok. 137m. Promienie łuków maksymalnego zasięgu widzenia (Rmax`=Rmax=190m), wykreślanych z przesuniętych narożników, wyznaczaj bowiem większą powierzchnię tzw. *pola dobrego widzenia.* Uzyskane efekty można też interpretować inaczej. Mianowicie, zmiana geometrii boiska poprawia widoczność krytycznego punktu, jakim jest narożnik boiska. Dla tej samej widowni, lecz ze zmienionym boiskiem, dystans najdalszego punktu oka od narożnika zmniejsza się o ok. 10 m.

Inną, bardziej radykalną propozycją modyfikacji kształtu boiska jest rozwiązanie przedstawione na rys. 5-16. W przypadku tym boisko i widownia mają kształty harmoniczne, wynikające z cech współśrodkowych okręgów. Linia fokusów ostatniego rzędu jest okręgiem pokrywającym się z okręgiem, który jest granicą zewnętrzną boiska. Boisko kołowe nawiązuje do boisk charakterystycznych dla krykieta i futbolu australijskiego. Kolejną innowacją jest położenie bramek w centralnym punkcie pola, podobnie jak w krykiecie. Wynika to z założenia, że głównym punktem zainteresowania widzów jest akcja w rejonie bramki. Centralne usytuowanie tych elementów zapewnia identyczne warunki widzenia dla wszystkich miejsc określonego rzędu, w obrębie całej widowni, w czasie całego meczu. Przypomnieć w tym miejscu należy, że w przypadku klasycznego boiska, widzowie zajmujący miejsca w zabramkowej strefie widowni widzą przeciwległą bramkę z odległości, zbliżonej do maksymalnego zasięgu widzenia (Lmax=190m). Z założeń tych wynikają też zupełnie nowe zasady gry, które w zarysie opisano na rysunku. Kołowy kształt boiska, a co za tym idzie kołowa linia fokusów rzeczywistych, pozwala na zastosowanie trybun kołowych na całej głębokości widowni, umożliwiając eliminowanie trybun uzupełniających. Linie widzenia pełnego obwodu krawędzi zewnętrznej boiska, skupiając się w centralnym punkcie soczewki oka obserwatora, tworzą powierzchnię stożka. Mamy tu do czynienia ze „stożkiem widzenia" w przeciwieństwie do „ostrosłupa widzenia", który jest charakterystyczny dla klasycznego boiska prostokątnego. Nominalne linie widzenia fokusu leżą na pionowych płaszczyznach południków i również tworzą powierzchnię stożkową. Stożek widzenia pola boiska styka się z tą powierzchnią tylko wzdłuż jednej linii, która jest linią południka. Inaczej mówiąc, tylko jedna linia widzenia leży na obu powierzchniach równocześnie. Oznacza to, że każda inna odrywa się od tej powierzchni i podnosi tym wyżej, im dalej od przekroju południkowego. Podnosząc się, zwiększa kąt nachylenia i przewyższenie nad rzędem położonym poniżej. Inaczej można powiedzieć, że linia fokusów, będąca w przypadku klasycznego boiska prostą prostopadłą do profilu południkowego, zakrzywia się i szybciej oddala, przez co szybciej podnoszą się linie wi-



A.) MODEL STADIONU Z WIDOWNIĄ NA PLANIE KOŁA - Z ARENĄ I BOISKIEM O KSZTAŁCIE KOŁA





B.) BOISKO KOŁOWE - WIDOWNIA KOŁOWA

C.) BOISKO PROSTOKĄTNE - WIDOWNIA PROSTOKREŚLNA

RYS. 5-16

WIDOWNIA KOŁOWA Z ARENĄ KOŁOWĄ. ANALIZA PORÓWNAWCZA CHARAKTERYSTYK WIDZENIA POLA BOISKA O KSZTAŁCIE KOŁA I PROSTOKĄTA.

Źródło: oryginalne opracowanie autora.

Rozpatrywać łącznie z rys.2-6, rys.2-8, rys.2-20, rys.2-21 i rys.2-33.

LEGENDA

Okx - Analizowany, dowolny punkt oka.
LF - Linia fokusów (pokrywa się z linią zewnętrzną boiska).
Fn - Nominalny punkt fokusu.
LWFn - Linia widzenia nominalnego punktu fokusu.
OPW - Oś anatomicznego pola widzenia ustalona pozycją siedziska prostopadłą do linii rzędów widowni.
OPO - Oś pola obserwacji położona na dwusiecznej poziomego kąta widzenia skrajnych punktów obrysu pola boiska.

dzenia leżących na niej punktów. Zjawisko to można wyraźnie zaobserwować analizując obraz reprojekcyjny pola gry, który jest przekrojem stożka widzenia płaszczyzną prostopadłą do dwusiecznej kąta widzenia. Obraz ten jest elipsą styczną tylko w jednym punkcie do okręgu linii fokusów, podczas gdy w przypadku boiska klasycznego obraz reprojekcyjny ma wspólną z boiskiem całą linię bliższej jego krawędzi.

Dotychczasowa, ewolucyjna droga wykształcania się formy współczesnego stadionu polegała na poszukiwaniu najkorzystniejszych rozwiązań widowni dla określonych boisk, najczęściej prostokątnych. Oddzielny przypadek stanowią stadiony wielofunkcyjne, zwłaszcza z bieżniami dla lekkiej atletyki lub torami żużlowymi. Nadrzędne były zasady i przepisy poszczególnych dyscyplin sportowych, powstałe zresztą znacznie wcześniej przed początkiem rozwoju współczesnego stadionu. Forma widowni, pochodna od wielkości i kształtu areny, uzyskiwała zatem wynikowe parametry widoczności. Zdaniem autora, kolejne fazy ewolucji stadionu powinny bardziej niż dotychczas uwzględniać zagadnienia związane z komfortem dobrego widzenia, w tym anatomiczne limity zasięgu widzenia człowieka. W obrębie areny dopuścić należy zmiany, celem większego dostosowania wielkości i kształtu pola gry do właściwości aparatu wzrokowego widzów zasiadających na trybunach.

ZAKOŃCZENIE

Uwagi końcowe

Główną uwagę koncentruje autor na grupie zagadnień o kluczowym znaczeniu w procesie projektowania największych budowli widowiskowych naszych czasów, jakimi są współczesne stadiony. Są to mianowicie zagadnienia związane z architektoniczną formą amfiteatralnej widowni o dużej pojemności oraz zagadnienia wzajemnych relacji widowni i areny, w zakresie ich kształtów i wielkości. Czynnikiem decydującym o tej formie jest przede wszystkim dobra widoczność pola areny z wszystkich miejsc widowni.

Z uwagi na ściśle określone ramy pracy nie przedstawiono w niej pełnego zakresu aspektów wyczerpujących problematykę projektową współczesnego stadionu. Z tego samego powodu w dociekaniach pominięto też szereg zagadnień o charakterze ogólnym, pośrednio wiążących się z tematem pracy, dotyczących np. psychologicznej, socjologicznej, czy kulturowej roli wielkich widowisk we współczesnym życiu społecznym, czy też przyczyn zmieniającej się natury współczesnego sportu.

W swej podstawowej części praca stanowi kontynuację i rozwinięcie rozważań na temat teorii projektowania wielkich widowni, publikowanych przez współprojektanta pierwotnej formy Stadionu Śląskiego, architekta Juliana Brzuchowskiego. Publikacje te – a ostatnia, jak pisano we wstępie, miała miejsce w roku 1982 – były dotychczas jedynym, szerzej rozpowszechnionym, rodzimym źródłem wiedzy z tej dziedziny[75].

Podjęte badania mają znaczenie praktyczne i wynikają z doświadczeń autora, związanych z jego wieloletnią funkcją generalnego projektanta Modernizacji Stadionu Śląskiego w Chorzowie, obecnie największego, reprezentacyjnego, wielofunkcyjnego obiektu widowiskowego w Polsce.

Od samego początku pracy nad monografią nadrzędne znaczenie miały rygory dysertacji habilitacyjnej, zwłaszcza związane z wykazaniem osobistego wkładu autora w dziedzinę teorii projektowania wielkich widowni. Tłumaczy to przyjęty układ pracy, odniesienia do własnych zrealizowanych oryginalnych osiągnięć projektowych i formułę graficzną, opartą na autonomicznych, autorskich planszach rysunkowych. Łącznie w pracy zamieszczono 91 rysunków, przedstawiając je na 75 arkuszach formatu A-4 – 80 rysunków to oryginalne opracowania autora, a 11 to opracowania autora na podstawie innych źródeł. Spis rysunków i ich źródeł zamieszczono w aneksie do pracy. Uzupełnia go, opracowany oddzielnie, liczący ponad 280 pozycji, zbiorczy wykaz oznaczeń i symboli zastosowanych na rysunkach. Są to wyniki znacznie szerszych analiz graficznych, których pełny zakres nie mógł być w całości przedstawiony ze względu na jasność wywodu i ograniczone ramy pracy. W tym miejscu należy też podkreślić, że wykresy graficzne stanowią podstawę warsztatu badawczego autora oraz to, że uzyskanie prezentowanych rezultatów nie byłoby możliwe bez umiejętności po-

[75] Autor pisze o tym szczegółowo we wstępie do niniejszej pracy, por. s. 12. Wypada w tym miejscu wspomnieć, że współautorem pierwotnego projektu Stadionu Śląskiego była architekt Danuta Bredy-Brzuchowska, która przez pierwsze dwa lata modernizacji (1994-1995) czynnie uczestniczyła w powstawaniu projektu, jako konsultant i opiniodawca. Dzięki tej współpracy możliwy był m.in. dostęp do oryginalnej dokumentacji projektowej, pochodzącej z wczesnych lat pięćdziesiątych, zawierającej m.in. wykresy profilu widowni i wykresy jej geometrii poziomej.

sługiwania się odpowiednimi komputerowymi programami graficznymi.

Łącznie w pracy przedstawiono 27 analiz, 21 metod projektowych i 9 niekonwencjonalnych rozwiązań projektowych, które stanowią oryginalne opracowania autora. Większość z nich powstała z potrzeb praktycznych. Tworzyły one bowiem podstawy teoretyczne, wykorzystywane przy projektowaniu i realizacji nowej widowni Stadionu Śląskiego oraz opracowywaniu dokumentacji projektowej kilku innych stadionów i trybun dla boisk piłkarskich[76]. Materiał ten służył ponadto celom dydaktycznym, w związku z prowadzonymi przez autora wykładami i ćwiczeniami projektowymi na Wydziale Architektury Politechniki Białostockiej. Pełny wykaz przedstawionych w pracy autorskich analiz, metod i postulatywnych propozycji projektowych zamieszczono w aneksie do tekstu podstawowego. Każdą pozycję tego wykazu zaopatrzono w odnośniki do określonych rozdziałów, stron i rysunków pracy, dzięki czemu możliwe jest wyrywkowe zapoznawanie się ze szczegółowymi jej objaśnieniami.

Część ilustracyjną monografii uzupełnia 39 plansz fotograficznych, na których przedstawiono łącznie 87 zdjęć. Większość z nich stanowią oryginalne fotografie pochodzące z własnego archiwum autora (34), archiwum biura projektów (ZPiW-TB, 4) i archiwum Stadionu Śląskiego (WOKiS, 8). Pozostałe zdjęcia są reprodukcjami, przytoczonymi za innymi źródłami.

Ważnym efektem pracy jest ponadto weryfikacja terminologii stosowanej w literaturze przedmiotu. Brak określonych pojęć wymagał niejednokrotnie od autora opracowania własnych ich definicji i wprowadzenia nowego nazewnictwa. Dla jednoznaczności wywodu zostały one zebrane i usystematyzowane w formie, słownika stosowanych terminów liczącego blisko 70 haseł. Słownik ten umieszczono w końcowej części pracy. Objaśnienia znaczeń poszczególnych haseł zaopatrzono w odnośniki kierujące do fragmentów tekstu zasadniczego, w których są one szerzej opisywane.

Rozdział pierwszy ma charakter faktograficzny. Przywołane zostały w nim wszystkie te informacje, które określają, pole badań wyznaczone tematem pracy i opisują stan wiedzy w obszarze tego pola. Postawiono w nim za cel prezentację podstaw teoretycznych, które umożliwiły przeprowadzenie badań zasadniczych - zwłaszcza związanych z charakterystyką aparatu wzrokowego człowieka. Wątek historyczny, zarówno dotyczący antycznych budowli widowiskowych, jak i rozwoju koncepcji widowni nowożytnego teatru, ma na celu przedstawienie punktu wyjścia dla rozpoczętego pod koniec XIX wieku procesu ewolucyjnego wykształcania się architektonicznej formy współczesnego stadionu. Ujęcie historyczne okazało się również najwłaściwsze przy definiowaniu pojęcia *współczesny stadion.* Najistotniejsze było przy tym wykazanie, że architektoniczna forma współczesnego stadionu ulegała w ciągu około stuletniej historii jego istnienia ciągłym przemianom, osiągając coraz dojrzalsze stadia, że był i jest to proces o charakterze ewolucyjnym.

Kolejne rozdziały zawierają analizy determinant i problemów projektowych oraz prezentacje autorskich rozwiązań i metod projektowania widowni współczesnych stadionów. W rozdziale drugim przedstawiono dociekania dotyczące szerokiego spektrum zagadnień wynikających z uwarunkowań

[76] Chodzi tu o projekt koncepcyjny i architektoniczno-budowlany *Stadionu Ludowego* w Sosnowcu, projekt koncepcyjny przebudowy stadionu *Ruchu-Chorzów*, jak również projekt konkursowy stadionu *Hetman* w Białymstoku, a ponadto zrealizowane projekty zadaszonych trybun stalowych, w tej liczbie: dla boiska treningowego przy *Stadionie Śląskim*, zastępczej *Trybuny Dziennikarskiej* wykorzystywanej w okresie budowy widowni wschodniej *Stadionu Śląskiego*, trybun głównych stadionów miejskich w Redzie i Mysłowicach.

percepcji wzrokowej. Zagadnienia te mają zasadniczy i nadrzędny wpływ na kształtowanie przestrzennej formy widowni. Uzasadnia to obszerność tego rozdziału, w którym oprócz wątków analitycznych znalazł się opis wielu wykreślnych metod projektowania profilu widowni. Rozdział trzeci poświęcono w całości problemowi relacji pomiędzy profilem widowni i profilem schodów korytarzy południkowych. Przedstawiono w nim własne metody rozwiązywania konfliktu geometrii obu tych profili poprzez zastosowanie profili widowni pochodnych od profili schodów normalnych. Treścią rozdziału czwartego jest czas ewakuacji i jego wpływ na parametry dróg komunikacyjnych. Układ tych dróg oraz ich rozmiary decydują o aranżacji sektorów widowni. Szczególne znaczenie mają relacje powierzchniowe korytarzy komunikacyjno-ewakuacyjnych i obsługiwanych przez nie stref z indywidualnymi miejscami dla widzów. W tej części pracy autor prezentuje też własne metody projektowe kształtowania geometrii sektorów widowni, które oparte są na wykorzystaniu tzw. *ewakuacyjnego modułu pojemności widowni.* Rozdział piąty, ostatni, zawiera szereg postulatywnych, modelowych rozwiązań projektowych widowni, będących odpowiedzią na wyłonione wcześniej w pracy problemy. Są one autorskimi, niekonwencjonalnymi propozycjami, których praktyczne zastosowanie mogłoby się przyczynić do dalszego rozwoju architektonicznych form współczesnego stadionu. Część z nich jest w trakcie przygotowań do objęcia ochroną patentową.

Podsumowanie, wnioski i postulaty

Historia budowli służących widowiskom jest historią kształtowania się funkcjonalnych i przestrzennych relacji pomiędzy dwoma komplementarnymi rodzajami przestrzeni – widownią i sceną (areną). Przestrzenie te powinny być tak uformowane, by scena – przestrzeń ekspozycji była centrum optycznym i akustycznym widowni. Inaczej mówiąc centralne linie widzenia, a co za tym idzie osie akustycznego pola słyszalności każdego odbiorcy usytuowanego na widowni, powinny skupiać się w centralnym punkcie przestrzeni ekspozycji.

■

Protoplastą współczesnych stadionów jest antyczny amfiteatr – budowla z centralną areną, otoczoną na całym obwodzie widownią. Amfiteatr jako budowla widowiskowa wykształcił się w starożytności najpóźniej, czerpiąc z doświadczeń dobrze rozwiniętych przed nim form architektonicznych, takich jak teatr, odeon, stadion i cyrk. Forma amfiteatru wywodzi się bezpośrednio od teatru. Można powiedzieć, że powstała ona, z domknięcia widowni teatru rzymskiego do pełnego obwodu i powiększenia *orchestry*. Ewolucja architektonicznej formy teatru i amfiteatru antycznego trwała około ośmiu stuleci[77]. Okazało się, na tle współczesnej wiedzy archeologicznej, że opisane przez Witruwiusza zasady budowy teatrów greckich i rzymskich trzeba traktować jako modele teoretyczne, zrealizowane jedynie jednostkowo. Mimo tak bogatej spuścizny archeologicznej, nie zachowały się żadne, choćby szczątkowe, rysunki lub opisy projektów wielkich obiektów widowiskowych starożytności. Nie dysponujemy też jakimikolwiek innymi dokumentami świadczącymi o stosowaniu określonych metod ustalania widoczności przy ich wznoszeniu. Analizy dobrze zachowanych budowli, jak choćby *Ko-*

[77] Najstarsze teatry antyczne pochodzą z IV wieku p.n.e., najmłodsze z IV wieku n.e. Do dziś odkryto i zbadano ok. 750 pozostałości teatrów i odeonów, 160 dalszych znanych jest ze wzmianek literaturowych, a liczba rozpoznanych pozostałości amfiteatrów przekracza 200.

loseum czy teatru w Epidauros, wskazują jednak, że ich projektanci i budowniczowie po mistrzowsku rozwiązywali problemy funkcjonalne i konstrukcyjne – nie odbiegając poziomem tych rozwiązań od nam współczesnych. Stanowi to wystarczającą podstawę dla twierdzenia, że tworząc tak doskonałe budowle musieli się oni posługiwać ugruntowaną wiedzą z tej dziedziny i określonymi sposobami jej wykorzystywania. Projektowanie profilu widowni, stanowiącego główny czynnik decydujący o parametrach widoczności pola areny, wymaga znajomości podstawowych zasad geometrii i trygonometrii, podstawowych reguł optyki, operowania linią prostą utożsamianą z promieniem widzenia, umiejętności przedstawiania przebiegu linii prostej w trójwymiarowej przestrzeni i rozumienia ogólnych zasad perspektywy liniowej. Z historii rozwoju matematyki, astronomii, fizyki i geografii oraz rysunku i malarstwa wiadomo, że w czasach powstawania starożytnych budowli widowiskowych opisany powyżej zakres wiedzy był już dobrze ugruntowany. Z pewnością też ta wiedza teoretyczna znajdowała zastosowanie w praktyce, o czym świadczą osiągnięcia techniczne, w tym w dziedzinie budownictwa. Parametry takie jak zasięg widzenia i słyszenia określano zapewne doświadczalnie drogą kolejnych udoskonaleń istniejących już budowli. Rezultatem tych doświadczeń były kanony budowlane ściśle ustalające kształty i proporcje całej budowli oraz jej elementów. Taki właśnie charakter mają opisy zasad budowania teatrów, które znajdujemy u Witruwiusza. Szczytem ewolucji form antycznych budowli widowiskowych z centralną areną był powstały pod koniec I w.n.e. *Amfiteatr Flawiuszy (Koloseum).* Pod względem parametrów profilu widowni, zachowane do dziś Koloseum podobne jest do wielkich współczesnych stadionów. Profil ten jest profilem prostoliniowym, nieciągłym wielokrotnie łamanym. Średnie nachylenie poszczególnych jego odcinków wynosi ok. 35°. *Hypogeum,* odkryte pod areną Koloseum, wyprzedziło, koncepcyjnie i inżyniersko, o prawie dwa tysiące lat, rozwiązania mobilnej sceny z aktywnym podsceniem, zastosowane po raz pierwszy w teatrze nowożytnym dopiero pod koniec XIX wieku.

■

W czasach nowożytnych pierwsze budowle służące organizowaniu wielkich widowisk przeznaczonych dla wielotysięcznych rzesz widzów, nawiązujące do antycznych pierwowzorów, zaczęły powstawać dopiero na przełomie XIX i XX wieku. W momencie wykształcania się pierwszych form współczesnego stadionu istniała już bardzo dobrze rozwinięta dziedzina nowożytnego budownictwa teatralnego. Rozpoczęty w epoce Renesansu ewolucyjny proces wykształcania się wnętrza teatralnego doprowadził właśnie do pełnego zrozumienia akustycznych i optycznych uwarunkowań projektowych. Istniały już wówczas przykłady praktycznego zastosowania teorii projektowania profilu widowni z wykorzystaniem pojęcia *przewyższenia linii widzenia* i pojęcia *punktu fokusu*. Projektanci wnętrz teatralnych swobodnie operowali też pojęciem *poziomego i pionowego kąta widzenia* i pojęciami maksymalnego *zasięgu widzenia i słyszenia*. Wiedzę tę z czasem zaczęto wykorzystywać do projektowania widowni stadionowych.

■

Współczesny sport wykształcił się na przestrzeni XIX wieku, a zasady i reguły większości popularnych dziś dyscyplin sportowych stworzone zostały w drugiej połowie tego stulecia. Wówczas też powstały pierwsze kluby sportowe i zrzeszające je związki – najpierw lokalne i krajowe, wkrótce po nich międzynarodowe[78].

[78] Zasady współczesnego futbolu opracowano w Anglii w roku 1848, a pierwszy klub piłkarski powstał w roku 1863 (Sheffield FC). W podobnym czasie oficjalnie ukonstytuowały się pozostałe gry tzw. wielkiego pola,

Jednym z czynników decydujących o dynamicznym rozwoju sportu i jego masowości były głębokie zmiany w strukturach społecznych i organizacji pracy, wywołane rewolucją przemysłową. Stopniowo do boisk zaczęto dobudowywać trybuny, prawdopodobnie wzorując się na trybunach znanych z torów wyścigów konnych. Zaczątkiem stadionu piłkarskiego były trybuny główne, które uzupełniano kolejnymi, doprowadzając stopniowo do pełnego domknięcia obwodu boiska. Trudne do przecenienia są też zasługi nowożytnego ruchu olimpijskiego dla popularyzacji gier i sportów oraz rozwoju budownictwa i architektury sportowej, a w tej mierze dla rozwoju koncepcji nowożytnego stadionu. Przyjęte przez MKOl zasady organizacyjne olimpiad, a zwłaszcza zasada przyznawania praw organizowania tychże coraz to innym krajom, w połączeniu z wielkim prestiżem kolejnych olimpiad przyczyniły się do powstania na całym świecie wielu kompleksów olimpijskich, stanowiących najwyższej jakości dzieła sztuki architektonicznej i budowlanej.

■

Proces formowania się kształtu i wielkości areny stadionu olimpijskiego trwał ok. 40 lat, a powstałe w tym okresie stadiony można określić mianem stadionów I generacji. Zapoczątkowała go adaptacja antycznego stadionu w Atenach (1896), na którym około dwa tysiące lat wcześniej odbywały się Igrzyska Panateńskie, a zakończyła budowa stadionu olimpijskiego w Berlinie (1936)[79]. Ostatecznie pole areny przybrało kształt pochodny od owalu bieżni lekkoatletycznej, która z kolei, spełniając warunek czterystumetrowej długości torów, odpowiedniej długości prostych i promieni łuków, musiała zmieścić wewnątrz swojego obrysu normatywne boisko piłkarskie.[80] Linia zewnętrzna areny z kolei wyznaczyła kształt dolnej widowni. Górne obrysy widowni natomiast ustalane były granicami zasięgu dobrego widzenia. Były to stadiony całkowicie otwarte, na których dach pojawiał się nad niewielkimi fragmentami widowni. Zasady te ustaliły kanon formy architektonicznej stadionu olimpijskiego na następne czterdzieści lat i dały początek stadionom II generacji. Równolegle do ruchu olimpijskiego, i niezależnie od niego, dynamicznie rozwijały się sporty piłki i wielkiego pola, takie jak piłka nożna, futbol amerykański, rugby i bejsbol. Rozwojowi temu towarzyszyło wykształcanie się formy stadionu piłkarskiego – z areną bez bieżni lekkoatletycznej. Najważniejszym przedstawicielem tego rodzaju stadionów był, istniejący do dziś, *Estádio do Maracanã* w Rio de Janeiro (1950). Był to pierwszy z wielkich stadionów piłkarskich z charakterystyczną *widownią łukową*. Rzut poziomy tej widowni jest *eliptycznym* owalem o kształcie zbliżonym do koła[81]. Taką też formę ma obrys areny z wpisanym weń

takie jak: rugby (1871), futbol australijski(1866), futbol amerykański (1867) i bejsbol (1871). Kolebką nowoczesnej lekkiej atletyki była również Anglia. Pierwsze krajowe mistrzostwa lekkoatletyczne Wielkiej Brytanii odbyły się w roku 1866. Równie dynamicznie, jak wyżej wymienione sporty, rozwijało się kolarstwo torowe.

[79] Arena *White City Stadium* stadionu olimpijskiego czwartych z kolei igrzysk w Londynie (1908) mieściła tor kolarski, bieżnie lekkoatletyczne, boisko do rugby i piłki nożnej oraz zespół basenów pływackich. Począwszy od igrzysk w Londynie piłka nożna weszła w skład oficjalnych dyscyplin olimpijskich. Tory kolarskie obecne były na arenach stadionów olimpijskich aż do roku 1928, czyli do olimpiady w Amsterdamie.

[80] Na dziesięć dyscyplin, wykorzystujących *boiska wielkiego pola*, aż sześć posługuje się boiskiem prostokątnym. Kształty, proporcje i wielkości tych prostokątów są podobne. W przypadku futbolu, rugby i futbolu amerykańskiego podobieństwo to wynika ze wspólnych korzeni historycznych. Jak wynika z analiz, wszystkie boiska prostokątne mieszczą się w polu wyznaczanym wewnętrzną krawędzią bieżni lekkoatletycznej. Nie jest to koincydencja przypadkowa, lecz efekt ewolucyjnego, wzajemnego dostosowywania się tych geometrii

[81] Geometrię owalu areny charakteryzują jego, zbliżone do siebie wymiarami, osie: długa, równa 160m, i krótka, równa 120m.

prostokątem boiska. Niemalże idealnie radialny charakter widowni daje w wyniku koncentryczny układ linii widzenia i bardzo ergonomiczne poziome kąty widzenia. Skutkiem ubocznym takiego rozwiązania jest, co prawda, zwiększenie odległości trybun od linii bocznych boiska, ale w zamian rekompensują go duże przewyższenia linii widzenia, przy stosunkowo łagodnych kątach nachylenia widowni.

■

Wielkie zmiany przyniósł przełom lat sześćdziesiątych i siedemdziesiątych XX wieku. Jedną z nich była realizacja piłkarskiego stadionu *Azteca Stadium*, na którym rozgrywane były mecze piłki nożnej w czasie Igrzysk Olimpijskich w Meksyku (1968). Rozwiązania zastosowane przy kształtowaniu areny i wielkiej widowni (105 tys. miejsc) wyprzedziły o prawie pół wieku czasy im współczesne. Rzut widowni, w tym przypadku, odzwierciedla swym kształtem boisko. Jest to owal zbliżony formą do prostokąta, trybuny boczne i zabramkowe mają łagodne łuki, które łączą się w rejonie narożników pola gry w pełny obwód za pośrednictwem trzeciego rodzaju łuku o relatywnie małym promieniu. Przyjęta przez projektantów formuła poziomej geometrii widowni powoduje dośrodkowe nakierowanie centralnych linii widzenia z każdego miejsca całej widowni, przy równoczesnym znacznym jej zbliżeniu do areny. Jest to wzorcowe rozwiązanie konfliktu łukowych kształtów widowni i prostokątnego boiska[82]. Profil widowni składa się z czterech pięter o układzie balkonowym. Nachylenia widowni górnej, charakteryzującej się profilem prostoliniowym, wynoszą od 35º do 38º. *Azteca Stadium* jest pierwszym stadionem, który tak wcześnie dysponował na całym obwodzie zespołem indywidualnych lóż z apartamentowymi zapleczami, które stały się powszechne na stadionach realizowanych pod koniec XX wieku. Kolejną nowością było wspornikowe zadaszenie o wysięgu 50m, osłaniające ok. 80% powierzchni widowni na całym jej obwodzie. Osiągnięcia te oznaczały początek rozwoju, kolejnej, III generacji współczesnych stadionów.

Dwa inne wydarzenia z tego okresu miały jeszcze wielkie znaczenie dla rozwoju architektonicznej formy współczesnego stadionu. Chodzi tu o spektakularne, rewolucyjne projekty założeń olimpijskich w Monachium (1972) i w Montrealu (1976). Nie wprowadziły one, co prawda, istotnych nowości w zakresie organizacji funkcjonalno-przestrzennej widowni i areny, ale są przykładami nowej architektury obiektów sportowo-widowiskowych, dla której nadrzędną wytyczną były wartości ideologiczne i symboliczne, uzyskiwane bez ograniczeń wynikających z kosztów realizacji. W każdym z tych przypadków architekci osiągnęli założone cele przy zastosowaniu ultranowoczesnych, na owe czasy, rozwiązań technicznych. Stadion monachijski jest do dziś niedoścignionym przykładem krajobrazowej architektury o znamionach kojarzących się z otwartością antycznych teatrów greckich. Stadion montrealski z kolei jest prekursorskim stadionem halowym z otwieranym dachem i uważany jest za arcydzieło nowoczesnej architektury organicznej.

■

Po serii katastrof, które wydarzyły się w latach osiemdziesiątych XX wieku na stadionach angielskich, rząd Wielkiej Brytanii powołał specjalną komisję śledczą. Prace komisji rozpoczęły się bezpośrednio po wypadkach na stadionie Hillsborough, których skutkiem było 96 ofiar śmiertelnych (1989). Rok później opublikowano raport końcowy tzw. *Raport Taylora,* w wyniku którego w Wielkiej Brytanii

[82] W rozwiązaniach najnowszych stadionów piłkarskich często odchodzi się od takiego modelu, zastępując go, ze względów ekonomicznych, układem widowni prostokreślnych, równoległych do linii bocznych boiska. Odbywa się to, niestety, kosztem obniżenia jakości użytkowych tych widowni.

podjęto gruntowną przebudowę wszystkich stadionów oraz wprowadzono szereg regulacji prawnych i organizacyjnych, zawartych w kodeksie, znanym pod nazwą *Green Guide*. Wkrótce, w ślad za Wielką Brytanią, poszły inne kraje europejskie oraz UEFA i FIFA. W ciągu dekady 1990-2000 mamy do czynienia z gwałtownym przeobrażeniem istniejących stadionów i budową wielu nowych – według nowych zasad. Podstawową zmianą było obligatoryjne wprowadzenie numerowanych, indywidualnych siedzisk z oparciami, ustalenie wymaganych bezpieczeństwem przestrzeni umożliwiających prawidłową ewakuację oraz zakaz stosowania trybun z miejscami stojącymi w czasie meczów najwyższej rangi. Bezpieczeństwo i komfort widza stały się podstawową wytyczną dla projektantów i realizatorów obiektów sportowych. Powstające według tych przepisów stadiony należały już do następnej, najnowszej, IV generacji stadionów.

■

Trudno byłoby twierdzić, że istnieje jakiś jeden, dominujący kanon kształtowania zewnętrznej formy architektonicznej najnowszych stadionów. Na pewno elementem decydującym o plastyce ogólnej bryły stadionu jest w znakomitej większości przypadków konstrukcja i forma dachu. W roku 2008 istniało na świecie 115 dużych stadionów, których całe widownie lub widownie i areny przekryte były dachem. Aż 40% z nich należy do drugiej grupy, którą można określić mianem stadionów halowych, pozostałe 60% to obiekty z dachem obwodowym, najczęściej o konstrukcji wspornikowej, osłaniającym samą tylko widownię. Stadiony halowe dzielą się na dwa rodzaje, z dachem stałym oraz z dachem ruchomym, pozwalającym na otwieranie wnętrza. Inną charakterystyczną cechą architektury najnowszych stadionów jest całkowite lub częściowe obudowywanie wcześniej otwartych stref zewnętrznych widowni, takich jak obejścia, pochylnie i schody. Ma to na celu podnoszenie komfortu tych stref, które osłonięte ścianami kurtynowymi, na ogół przeźroczystymi, są mniej narażone na niedogodne warunki atmosferyczne. Utrwala się tendencja do podziału widowni na strefy, które są wyraźnie zróżnicowane pod względem jakości użytkowych i przeznaczone dla bardziej lub mniej uprzywilejowanych widzów. Stałym elementem widowni współczesnego stadionu są luksusowe loże, będące przejawem tych podziałów. Dla ich lokalizacji wybiera się najbardziej atrakcyjne, z uwagi na ekspozycję widokową, rejony widowni. Jest to zwykle jedno lub więcej pięter usytuowanych tuż nad widownią dolną, w zasięgu pola bardzo dobrego widzenia, określanego odległością nieprzekraczającą 150m. Innym nurtem, wyraźnie widocznym w rozwoju koncepcji najnowszych stadionów, jest poszukiwanie rozwiązań funkcjonalnie elastycznych, tzn. takich, które mogą przystosowywać swoją arenę i widownię do różnych funkcji. Najczęściej chodzi o zmianę z funkcji piłkarskiej na lekkoatletyczną lub bejsbolową, a także koncertową. Znane są również przypadki zmiany widowni i areny dla boiska wielkiego pola na widownię i arenę dla boisk małego pola (koszykówka, piłka ręczna, siatkówka, tenis)[83].

■

Główną uwagę projektantów najnowszych stadionów zajmują spektakularne konstrukcje zadaszeń i obudowy zewnętrznej. W dziedzinie poprawy parametrów widoczności we wnętrzu stadionu trudno zauważyć, dorównujący powyższym, postęp w stosunku do zasad i standardów ustalonych przed pół wiekiem – a niektóre najnowsze rozwiązania wykazują nawet cechy regresu w tym względzie. Stwier-

[83] Mowa tu o *Saitama Super Arena w Japonii. Obiekt ten jest stadionem halowym ze stałym dachem i widownią o maksymalnej pojemności wynoszącej ok. 30 tys. miejsc (dla piłki nożnej)*. Szerszy opis tego rozwiązania znajduje się na stronach 43-45 niniejszej pracy.

dzenia tego nie zmienia fakt wprowadzenia nowych przepisów bezpieczeństwa i zastosowania w ich wyniku indywidualnych siedzisk z oparciami.

■

Sport współczesny wszedł w świat przemysłu rozrywkowego. Telewizja uczyniła zeń masowe widowisko teatralne naszych czasów, swoiste misterium przełomu XX i XXI wieku. Najważniejsze imprezy piłkarskie, turnieje tenisa ziemnego, wyścigi Formuły-1, czy zawody igrzysk olimpijskich są dzisiaj transmitowane do ponad 200 krajów, widownia liczona jest w miliardach kibiców, a przychody ze sprzedaży praw do transmisji można opisać równie wielkimi liczbami. Wiele dyscyplin uległo zmianom, dostosowując się do rygorów technologii przekazu telewizyjnego. Wymogi wolnego rynku wywierają wpływ na reguły zawodów, miejsce i czas ich przeprowadzania.

Przedmiotem zainteresowania rzesz kibiców przed telewizorami jest przekaz z przebiegu meczu, czyli relacja z rzeczywistego wydarzenia we wnętrzu stadionu, w którym aktywny udział biorą zarówno zawodnicy, jak i widzowie. Dlatego też wydaje się, że telewizja nigdy nie straci zainteresowania żywą, gorącą widownią, współtworzącą atmosferę i dramaturgię spektaklu. W tym kontekście współczesny stadion stał się wielkim studiem telewizyjnym, ze spontanicznie reagującą wielką widownią, śledzącą wydarzenia rozgrywające się na arenie.

■

Dominujący wpływ na formę współczesnego stadionu mają, działające w nowej rzeczywistości sportu komercyjnego, światowe organizacje, reprezentujące poszczególne dyscypliny sportowe. Szczególnie aktywne są w tym względzie Światowy i Europejski Związek Piłki Nożnej (FIFA i UEFA) oraz Międzynarodowy Komitet Olimpijski (MKOl). Powołały one w ramach swych struktur organizacyjnych stałe komitety ds. budownictwa stadionów, które ustalają zasady funkcjonalne, warunki techniczne i warunki bezpieczeństwa. Określają one i kontrolują standardy użytkowe, decydując o dopuszczalnych minimalnych wartościach ich parametrów. Mają też wpływ na normy określane przez Międzynarodowy Komitet Normalizacyjny. Poprzez wydawane cyklicznie zarządzenia i zalecenia, a zwłaszcza certyfikaty i licencje dopuszczające do użytkowania, oddziałują one na budownictwo i projektowanie stadionów w poszczególnych krajach. Standardy te nie zawsze jednak wynikają z przesłanek zapewnienia najwyższych parametrów użytkowych dla całej widowni.

Przy projektowaniu widowni dla większości gier zespołowych, zarówno tzw. dużego pola, jak i małego pola, niezależnie od kształtu i wielkości wykorzystywanej piłki, standard widoczności wyznaczany jest przez minimalny kąt widzenia piłki (ψw), którego wartość wynosi 0°4′ (0,067°). W tym miejscu przypomnieć należy, że oko ludzkie rozpoznaje dwa punkty jako oddzielne obiekty w przestrzeni, gdy kątowa odległość pomiędzy nimi jest równa kątowi 0°1′ lub 0,017° (ψm) lub od niego większa. Tak więc, dopuszczalny minimalny kąt widzenia piłki jest zaledwie cztery razy większy od kąta określającego rozdzielczość siatkówki oka ludzkiego. W konsekwencji tych regulacji graniczną odległość najdalszych rzędów widowni określa się, wyliczając odległość, z jakiej piłka, stosowana w określonej dyscyplinie sportowej, postrzegana jest w wielkości kątowej równej minimalnemu kątowi widzenia (ψw). Dla piłki nożnej, która jest kulą o średnicy 22 cm odległość ta wynosi 190m. Liniami będącymi zbiorem punktów zachowujących w przestrzeni tę odległość określone są granice pola maksymalnego zasięgu widzenia. Parametr ten jest jednym z najważniejszych elementów mających wpływ na formę współczesnych stadionów. Decyduje bowiem o wielkości przestrzennej widowni, jej pojemności i kształcie. To z kolei przekłada się na walory użytko-

we, parametry dróg komunikacji i ewakuacji, koszty budowy trybun i zadaszenia.

Wymienione powyżej autorytety, ustalające standardy widoczności dla współczesnych stadionów, mają świadomość, że dopuszczone przez nie do stosowania wartości minimalne są drastycznie niskie. Dowodem na to jest fakt, że oprócz minimalnych, podają one również, znacznie korzystniejsze, wartości zalecane. Dla piłki nożnej zalecany dystans pomiędzy obserwatorem a najdalszym punktem obserwacji określono jako równy 150m (jest to dystans o 40m mniejszy niż dla dopuszczalnego minimalnego kąta widzenia). Odpowiada to kątowi widzenia piłki ψw = 0°5′ (0,084°); jest to też minimalny kąt czytelności znaków literowych i cyfrowych[84]. Ma to istotne znaczenie z uwagi na system identyfikacji zawodników za pomocą numerów umieszczanych na ubiorach sportowych. Czytelność tych numerów, wobec znacznej odległości pola gry, jest podstawowym parametrem pozwalającym na rozpoznawanie poszczególnych zawodników i śledzenie przebiegu zawodów. Z analiz wynika jednak, że zastosowanie zalecanego zasięgu widoczności (150m)[85], przy zachowaniu obowiązujących dziś wymiarów boiska, spowodowałoby znaczny spadek pojemności widowni, sięgający ok.60% pojemności uzyskiwanej przy minimalnym kącie widzenia piłki. Potwierdza to tezę, że poprawę niskich wartości jakościowych w zakresie widoczności na dużych współczesnych stadionach można uzyskać jedynie poprzez zmniejszenie odległości najdalej usytuowanego obserwatora od najdalszego punktu obserwowanego pola – albo poprzez zmniejszenie pojemności widowni, albo poprzez zmniejszenie wymiarów i zmianę kształtu boiska.

■

Kształt, wielkość i cechy motoryczne ciała ludzkiego powinny decydować o architektonice widowni na równi ze specyficznymi zasadami działania aparatu wzrokowego. Projektowanie organizacji funkcjonalno-przestrzennej widowni wymaga uwzględnienia wielu warunków wynikających z cech anatomicznych człowieka i stosowania wiedzy z dziedziny ergonomii i antropometrii. Pięć cech antropometrycznych ma podstawowe znaczenie w projektowaniu widowni. Są to: *wysokość oczna w pozycji siedzącej, wysokość oczna w pozycji stojącej, szerokość łokciowa, wysokość podkolanowa* oraz *długość od pośladka do kolana,* decydująca o głębokości rzędu. W praktyce projektowej wartości wymiarowe odpowiadające wyżej wymienionym cechom przyjmuje się na ogół bezkrytycznie – na podstawie ustaleń normowych. Są to wartości uśrednione dla całej populacji, przy czym o sposobie tego uśrednienia decydują autorzy norm. Tym samym, współdziałając z naczelnymi organizacjami sportowymi i ekspertami w dziedzinie projektowania i budowy stadionów, ustalają oni standardy komfortu i bezpieczeństwa. Szczególnie istotne znaczenie mają dopuszczone do stosowania minimalne wartości poszczególnych parametrów. Są one przejawem kompromisu pomiędzy akceptowalnym jeszcze przez użytkowników, minimalnym stopniem komfortu, określanym przez odpowiednie przepisy normami bezpieczeństwa i interesami inwestora, zawartymi w rachunku

[84] W ergonomii, przy uwzględnieniu cech przeciętnego obserwatora, doświadczeń praktycznych i wymogu bezbłędnego odczytu, przyjmuje się optymalny pionowy kąt widzenia, zapewniający czytelność liter i cyfr o wartości ψ=0º18`. Wartości tej odpowiada, stosowany zamiennie dla uproszczenia, algorytm H=L/200, gdzie: H oznacza wysokość liter, a L odległość obserwatora. Jak widać, wartość parametru zapewniającego czytelność szczegółów obrazu jest wielokrotnie wyższa niż w przypadku norm stosowanych przy projektowaniu widowni stadionów.

[85] Zasięg widoczności równy 150m oznacza, że cała widownia oraz arena wraz z boiskiem muszą się znaleźć w polu koła o promieniu 90m.

ekonomicznym inwestycji. Wobec wielkiej skali przestrzennej stadionowej widowni, najmniejsza nawet zmiana jednego z parametrów geometrycznych, np. zwiększenie głębokości rzędu, skutkuje poważnym przyrostem nakładów realizacyjnych, a co za tym idzie zwiększeniem kosztów.

■

Znaczne różnice antropometryczne pomiędzy męską i żeńską częścią populacji oraz równie duże w obrębie tych grup rodzą poważne trudności przy projektowaniu widowni, zwłaszcza jeśli chodzi o jej profil w kontekście warunków widoczności. Konfiguracja widzów tworzących w obrębie widowni wielotysięczny zbiór jednostek o odmiennych cechach antropometrycznych jest całkowicie przypadkowa i przy kolejnych napełnieniach widowni całkowicie różna. Pełną wiedzę o cechach fizycznych podmiotu działań projektowych, który to podmiot obejmuje cały zbiór potencjalnych użytkowników widowni, uzyskuje się czerpiąc dane z atlasów antropometrycznych, charakteryzujących konkretną populację. Szczególnie przydatnym narzędziem jest centylowy system rejestracji danych antropometrycznych, znany od połowy XIX wieku, a w pełni rozwinięty i udoskonalony w pierwszych latach po II wojnie światowej[86].

■

Przeprowadzone w pracy badania wykazały, że profile widowni projektowane z zastosowaniem zalecanej przez normy uśrednionej *wysokości ocznej* w pozycji siedzącej (HOs=120cm) oraz minimalnych przewyższeń linii widzenia fokusu (Ca=12cm) nie zapewniają równorzędnych warunków widoczności dla wszystkich widzów. Efektem takich założeń jest fakt, że cała widownia zaprojektowana jest dla jednej tylko, konkretnej kategorii antropometrycznej widzów. Są to konsekwencje stosowania uproszczonych metod projektowania i kompromisu pomiędzy jakością parametrów widoczności i kosztami inwestycji. Na widowni zaprojektowanej na podstawie wyżej opisanych zasad normowych w wielu miejscach musi dojść do sytuacji, w której nominalne parametry widoczności nie będą dotrzymywane. W poszukiwaniu rozwiązania problemu równorzędności warunków widoczności w kontekście różnic antropometrycznych widzów autor przeprowadził własne badania nad uniwersalnym profilem widowni oraz opracował metodę projektowania takiego profilu. Profil ten zapewnia niezakłóconą widoczność nominalnego fokusu wszystkim widzom, niezależnie od ich przynależności do poszczególnych kategorii centylowych i od konfiguracji tych kategorii w obrębie widowni. Zdaniem autora dalszy postęp w dziedzinie projektowania i budowy wielkich widowni już wkrótce doprowadzi do zmiany priorytetów, stawiając na naczelnym miejscu parametr równorzędności warunków widoczności dla wszystkich użytkowników widowni.

■

Podstawową cechą rozróżniającą widownie stadionów jest kształt linii tworzących je rzędów. Z uwagi na to kryterium, w całym zbiorze zrealizowanych, współczesnych stadionów można wyróżnić dwa ich rodzaje. Widownie o łukowej geometrii planu rzędów i widownie, w których rzędy tworzą w rzucie poziomym linie proste, równoległe do linii bocznych pola boiska Pierwszy rodzaj, znany i stosowany od czasów antycznych, zapewnia mniejszą lub większą koncentryczność głównych osi optycznych poszczególnych indywidualnych miejsc. W drugim, osie te przebiegają

[86] Przeprowadzone przez autora badania nad definicją *uniwersalnego profilu widowni* możliwe były właśnie dzięki zastosowaniu tego systemu. Centylowy system rejestracji danych antropometrycznych wykorzystany też został w proponowanej w pracy metodzie oceny geometrycznych parametrów rzędu widowni oraz aranżacji układu siedzisk.

równolegle do siebie i prostopadle do linii bocznych boiska – w związku z tym wymagają od widzów, zwłaszcza w rejonach narożników boiska, nakierowywania tych osi na pole obserwacji poprzez obrót głowy i tułowia. Wiąże się to z mniejszym, w porównaniu z widowniami łukowymi, komfortem obserwacji. Względy techniczno-ekonomiczne powodują, że w przypadku widowni łukowej odchodzi się dziś od projektowania pełnej linii łukowej, zastępując ją odcinkami linii prostej, stanowiącymi cięciwy teoretycznego łuku wzorcowego. Z tych samych względów inwestorzy, zwłaszcza budujący stadiony piłkarskie, coraz częściej decydują się na zastępowanie widowni łukowych odmianami widowni prostokreślnych.

■

Większość widowni dużych współczesnych stadionów rozwiązano w układzie trybun dwu- lub trzypiętrowych, stosując znaczne nadwieszenia pięter. Są to konsekwencje maksymalizacji pojemności widowni, przy równoczesnych limitach geometrycznych podyktowanych zasięgiem dobrego widzenia. Wyniesienie najwyższych rzędów widowni ponad poziom areny osiąga często wysokość równą 40-50m. Na wielu współczesnych stadionach nachylenie najwyższego piętra widowni przekroczyło wartość krytyczną. Widownie o nachyleniu większym niż kąt 35° odbierane są jako strome, a ich użytkowaniu może towarzyszyć dyskomfort psychiczny wynikający z naruszenia poczucia bezpieczeństwa. Odczucia dyskomfortu pogłębiają się wraz ze wzrostem wysokości wyniesienia ponad poziom areny. Poczucie bezpieczeństwa, zwiększa się znacznie, gdy na krawędzi stopni trybun stosuje się balustrady, choćby w postaci poziomej poręczy. Komfort psychiczny wzrasta jeszcze bardziej, gdy balustrada ma formę przegrody pełnej, a zwłaszcza, gdy towarzyszy jej dodatkowo, usytuowana na odpowiedniej wysokości, płaszczyzna blatu.

■

Wszystkie, stanowiące główny nurt pracy, studia, analizy, metody i postulatywne rozwiązania projektowe widowni współczesnych stadionów były w pierwszej kolejności opracowywane przez autora graficznie, w formie rysunków i wykresów, a następnie opisywane. Pełny ich wykaz zamieszczono w aneksie, na końcu pracy. Stanowią one część tzw. *warsztatu projektowego* autora, sprawdzonego w działaniu praktycznym, m.in. przy realizacji widowni *Stadionu Śląskiego*. Narzędziem, które umożliwiło ich powstanie był komputer oraz program komputerowego wspomagania projektowania AutoCAD – program tworzony i rozpowszechniany przez firmę Autodesk. Wykorzystano zarówno grafikę dwuwymiarową (2D), jak i trójwymiarową (3D). Rozwój komputerowych technik graficznych spowodował, że wykreślne metody projektowania profilu widowni, traktowane dotychczas jedynie pomocniczo, jako niewystarczająco dokładne, stały się dziś podstawowym narzędziem projektanta stadionów. Wynika to z nieskończonej precyzji rysunku komputerowego. Obraz rysowanych elementów opisywany jest za pomocą figur i brył geometrycznych, umiejscowionych w matematycznie zdefiniowanym układzie współrzędnych, odpowiednio dwu- lub trójwymiarowym. Dzięki temu obrazy punktów, uosabiających punkty oka lub punkty obserwowanych obiektów, jak również obrazy odcinków linii prostej, uosabiających linie widzenia, usytuowane w przestrzeni wnętrza stadionu, opisywane są równocześnie matematycznie. Umożliwia to idealnie dokładne określanie współrzędnych położenia poszczególnych punktów w przestrzeni, a wynikowo mierzenie odległości pomiędzy nimi i pomiędzy punktami odniesienia, wymiarowanie wielkości i usytuowania obiektów, łącznie z określaniem ich kierunków. Wszystko to powoduje, że stosowane jeszcze niedawno obliczeniowe techniki projektowania

profilu widowni stały się zbędne. Zastąpił je komputer, który równocześnie rysuje i liczy parametry profilu.

■

Przedstawione w pracy wykreślne analizy i metody projektowania widowni wykorzystują podstawowe, optyczne i kinetyczne zasady działania aparatu wzrokowego. Opierają się one na elementarnych prawach *optyki geometrycznej*, która operuje m.in. takimi pojęciami, jak: *promień świetlny* i *prostoliniowe rozchodzenie się światła*. Ich podstawę stanowią analizy tzw. *obrazu siatkówkowego* i tzw. *centralnej linii widzenia*, które tworzą zasadnicze elementy układu optycznego oka. Odzwierciedleniem *centralnej linii widzenia* jest linia prosta przebiegająca w trójwymiarowej przestrzeni. Dzięki temu do badań skomplikowanych relacji pomiędzy obrazem siatkówkowym we wnętrzu oka a rzeczywistym obrazem obiektów w przestrzeni wykorzystywać można proste konstrukcje geometryczne. Założenia te są, pod wieloma względami, zbieżne z podstawami powszechnie znanych metod wykreślania perspektywy linearnej. Pozwoliły one na zdefiniowanie elementarnych pojęć, tworzących podstawy aparatu badawczego, m.in. takich jak: punkt oka, centralna linia widzenia, punkt fokusu, przewyższenie linii widzenia fokusu, linia oczna profilu, nachylenie linii widzenia, nachylenie profilu widowni, poziomy i pionowy kąt widzenia, czy relatywny obraz siatkówkowy. Te z kolei umożliwiły opracowanie syntetycznych, graficznych schematów, opisujących mechanizmy procesu percepcji wzrokowej oraz modeli badawczych tworzonych dla analiz określonych problemów projektowych. Szczególnie istotne, na tle występujących w literaturze przedmiotu metod, są wprowadzone przez autora pojęcia linii ocznej profilu i linii ocznej rzędu. Pierwsze z nich umożliwia znaczne uproszczenie wykresu profilu widowni, gdyż eliminuje potrzebę wykreślania schodkowego profilu ustalającego pozycje punktów oka i jego odpowiednika w postaci konturu profilu budowlanego. Elementy te zastępuje jedna linia oczna, która wraz z liniami podziałki widowni obrazuje, najistotniejszy w fazie modelowania profilu, układ punktów oka. Projektowanie profilu przy pomocy linii ocznej znacznie przyspiesza proces dochodzenia do rozwiązań optymalnych. Technika ta daje możliwość porównywania cech wielu profili równocześnie z natychmiastowym wyłanianiem ich wad i zalet. Można powiedzieć, że daje ona architektowi szansę na świadome i szybkie projektowanie, z ominięciem żmudnych procesów, polegających na wielokrotnej weryfikacji założeń wstępnych. Linia oczna rzędu, drugie z omawianych pojęć, zastępuje w fazach poszukiwania najkorzystniejszej geometrii rzutu poziomego docelowy rysunek budowlanych krawędzi poszczególnych rzędów. Linie te, przebiegając przez punkty oka poszczególnych rzędów, wyznaczają układ tych punktów w rzucie poziomym projektowanej widowni i tworzą, łącznie z jej profilami, kompleksowy obraz przestrzennego modelu widowni.

Pojęcie linii ocznej profilu pozwoliło również na nowe objaśnienia zasad tradycyjnych metod wykreślania krzywoliniowego i prostoliniowego profilu widowni oraz opracowanie metod analiz parametrów tych profili. Przyczyniło się też do powstania autorskiej metody definiowania profili prostoliniowych, nazwanej metodą najdalszego oka, jak również do opracowania modyfikacji, znanej od lat trzydziestych XX wieku, metody Daniluka. Ważne znaczenie ma także, zdefiniowane przez autora, prawo wzrostu nachylenia linii ocznej profilu prostoliniowego wraz ze wzrostem długości tej linii. Świadomość tych zależności pozwoliła na opracowanie metody projektowania profili prostoliniowych łamanych.

■

Aparat badawczy, oparty na wymienionych powyżej pojęciach elementarnych, stworzył podstawy do przeprowadzenia

studiów i analiz kluczowych zagadnień wynikających z uwarunkowań percepcji wzrokowej. Należą do nich m.in., uwzględniane w niedostatecznym zakresie w praktyce projektowej, zagadnienia pionowego i poziomego kąta widzenia. Jednym z istotnych rezultatów badań w tym zakresie jest twierdzenie, że nie tylko wielkość pionowego kąta widzenia decyduje o jakości obrazu, ale że ważne znaczenie ma też kąt nachylenia dwusiecznej tego kąta. Ważne jest także twierdzenie, że pionowy kąt widzenia jest równy różnicy kątów nachylenia linii widzenia fokusu bliższego i dalszego. Do stwierdzeń rzucających nowe światło na problematykę nachylenia linii widzenia pola obserwacji należy także to, że przy stosowanych obecnie nachyleniach widowni linie widzenia dolnej krawędzi obrazu pola gry znajdują się znacznie powyżej najbardziej naturalnego i wymagającego najmniejszego wysiłku ustawienia oczu i głowy w pozycji siedzącej[87] oraz również i to, że cały obraz pola obserwacji znajduje się w górnej części anatomicznego pola widzenia – część dolna tego pola zajęta jest przez obraz sylwet widzów zajmujących miejsca w rzędach znajdujących się poniżej obserwatora. Do problematyki pionowego kąta widzenia należy też bardzo przydatne narzędzie projektowe i badawcze jakim jest relatywny obraz siatkówkowy i metoda określania i obiektywnego porównywania wysokości relatywnych obrazów boiska. Inną grupę zagadnień tej samej natury stanowią rozpatrzone w pracy problemy związane z przewyższeniem linii widzenia fokusu, jak również problematyka uniwersalnego profilu widowni, profilu który zapewnia wszystkim widzom należącym do określonej populacji dobre warunki widoczności, niezależnie od ich płci i kategorii antropometrycznej.

Równie ważną grupę zagadnień, mających istotny wpływ na parametry widoczności widowni, stanowią zagadnienia dotyczące poziomego kąta widzenia. W pracy przeprowadzono szereg modelowych analiz pod kątem ustalenia zależności pomiędzy poziomym zakresem widzenia, określonym przez możliwości anatomiczne człowieka, uzyskiwanym przy zespolonym ruchu oczu, głowy i tułowia, a poziomym kątem widzenia skrajnych punktów pola gry. Badaniu poddano również zależności pomiędzy kształtem widowni i boiska a poziomym kątem widzenia boiska. Z analiz tych wynika, że w przypadku widowni prostokreślnych, zdobywających coraz większą popularność, na dużych obszarach tych widowni poziomy kąt widzenia boiska jest znacznie większy niż normalny poziomy zakres widzenia[88]. Oznacza to, że widzowie zmuszeni są przy obserwacji skrajnych punktów pola gry do obrotu nie tylko głowy, ale i tułowia. Oddzielnym problemem jest wynikająca z kształtu rzędów widowni rozbieżność, tzw. dywergencja pomiędzy kierunkami osi siedziska i osi pola obserwacji, która jest określona dwusieczną poziomego kąta widzenia boiska. Dywergencja tych osi maleje przy zmianie kształtu rzędów na łukowe i zanika przy idealnie kołowej widowni.

■

Na marginesie badań podstawowych przeprowadzono też sprawdzające anali-

[87] Chodzi tu o tzw. *centralną normalną linię widzenia*. Z badań ergonomicznych wynika, że nachylenie tej linii w pozycji siedzącej wynosi 38°. Chcąc zapewnić najbardziej komfortowe warunki obserwacji, należałoby przyjąć takie nachylenie widowni, że linia ta pokrywałby się z dwusieczną pionowego kąta widzenia obrazu wysokości pola gry. Spełnienie tego warunku wymagałoby jednak znacznie większego niż normowe nachylenia trybun.

[88] W ergonomii przez pojęcie normalny poziomy zakres widzenia rozumie się taki zakres widzenia, który uzyskuje się dzięki optymalnemu (najbardziej naturalnemu i niewymagającemu wysiłku), zespolonemu ruchowi oczu i głowy – bez potrzeby obrotu tułowia. Zakres ten określa poziomy kąt widzenia, równy 75° (po 37,5°na lewo i na prawo od osi anatomicznego pola widenia).

zy, spotykanych w literaturze przedmiotu, obiegowych poglądów o charakterze tzw. złotych środków. W wyniku tych analiz podważono prawdziwość takich twierdzeń, jak np. twierdzenia o istotnym znaczeniu tzw. zadzierania głowy dla poprawy widoczności, czy o pozytywach stosowania przewyższenia anatomicznego w co drugim rzędzie, przy szachownicowym układzie siedzisk.

■

Oddzielny wątek pracy poświęcony został badaniom nad relacjami zachodzącymi pomiędzy profilem widowni i profilem schodów korytarzy południkowych. Schody te mają zasadnicze znaczenie dla aranżacji układu komunikacyjno-ewakuacyjnego widowni, umożliwiają bowiem dostęp do poszczególnych rzędów, czyli tarasowych stopni trybun. W praktyce projektowej, ustalając profil widowni, bierze się pod uwagę przede wszystkim czynniki związane z założonymi parametrami widoczności. Przy takim podejściu geometria widowni, jej nachylenie i wymiary stopni trybun wynikają z profilu widoczności, a geometria schodów jest pochodną tego profilu. W związku z tym powstają schody, chociaż zgodne z zaleceniami normy[89], to jednak niespełniające wymogów algorytmu tzw. schodów wygodnych (2h+s=63cm). Dzieje się tak dlatego, że warunek dobrej widoczności nie ma żadnych związków przyczynowo-skutkowych z warunkiem projektowania schodów wygodnych. Analizy tych relacji doprowadziły do opracowania modeli i sposobów projektowania prostoliniowych profili widowni pochodnych od profili schodów wygodnych. Profile te zapewniają równocześnie zarówno prawidłowe parametry widoczności, jak i komfortowe schody, dostosowane do psychofizycznych wymogów człowieka. Efektem ubocznym tej części pracy są dociekania dotyczące teorii projektowania schodów, a zwłaszcza badania nad uzasadnieniem prawdziwości algorytmu schodów wygodnych. Z naukowego punktu widzenia ważny jest opracowany przez autora matematyczny i antropometryczno-geometryczny model tego algorytmu.

■

Kolejnymi zagadnieniami, które stanowią przedmiot zainteresowania autora, są determinanty kształtujące organizację funkcjonalno-przestrzenną widowni, zwłaszcza związane z tzw. *czasem ewakuacji*. Podstawowy parametr wyjściowy, tj. przepustowość przejścia ewakuacyjnego został ustalony doświadczalnie w warunkach funkcjonującej widowni Stadionu Śląskiego, a następnie wielokrotnie sprawdzony w czasie imprez przeprowadzanych na tym stadionie. Oprócz prezentacji własnych metod projektowania układu komunikacyjno-ewakuacyjnego, opartego na zastosowaniu pojęcia *ewakuacyjnego modułu pojemności widowni,* autor przedstawia, szczególnie przydatne w procesie decyzyjnym początkowych faz projektowania, opracowane przez siebie wskaźniki, określające proporcje powierzchniowe pomiędzy elementami komunikacji ogólnej i sektorami siedzisk. Przeprowadzone badania związane z *czasem ewakuacji widowni* wykazują, że w praktyce rygory odpowiednich warunków ewakuacji samej widowni rzadko są stosowane w odniesieniu do powierzchni areny, która w czasie koncertów gromadzi od 15 do 25 tys. słuchaczy. Obowiązujące normy całkowicie pomijają ten problem. W rezultacie czas ewakuacji z tej strefy stadionu znacznie przekracza wartości obowiązujące w obszarze widowni.

■

Zawarte w ostatnim rozdziale pracy, modelowe rozwiązania projektowe należy

[89] Norma PN-EN 13200-1 nie stawia wymogu stosowania algorytmu *schodów wygodnych,* a parametry schodów na widowniach stadionowych reguluje trzema parametrami. Są to: maksymalna wysokość stopnia (200mm), minimalna głębokość stopnicy (250mm) oraz maksymalne nachylenie biegu (35°).

traktować jako wnioski i postulaty autora, które stanowią odpowiedzi na część wyłonionych wcześniej w pracy pytań. Propozycje te określono terminem rozwiązań niekonwencjonalnych dla podkreślenia ich oryginalności i braku precedensów wcześniejszego ich stosowania. Dwa spośród prezentowanych rozwiązań, a mianowicie *womitoria równoleżnikowe* i *schody o biegach ukośnych* były wcześniej sprawdzone praktycznie przy realizacji widowni wschodniej *Stadionu Śląskiego*. Pozostałe są propozycjami teoretycznymi, zastosowanymi dotychczas jedynie studialnie w kursowych i dyplomowych projektach studenckich, a także w koncepcyjnym projekcie stadionu piłkarskiego *Hetman* w Białymstoku, opracowanym współautorsko w ramach konkursu urbanistyczno-architektonicznego[90]. W projekcie tym wykorzystano ideę *womitoriów równoleżnikowych,* ukośne układy schodów międzysektorowych w obrębie powierzchni widowni oraz podłużny układ konstrukcji wsporczej trybun.

■

Podjęte w pracy badania dotyczące historycznych aspektów i uwarunkowań rozwoju architektonicznej formy współczesnego stadionu, jak również analizy cech funkcjonalnych jego najnowszych przedstawicieli, pozwalają na sformułowanie wniosku ogólnego, jednego z najważniejszych dla podstawowej problematyki pracy. Jest nim mianowicie twierdzenie, że wielkość i kształt pola gry, które jest równocześnie polem obserwacji, powstały wyłącznie w wyniku określenia reguł gry, w zupełnym oderwaniu od uwarunkowań percepcji wzrokowej potencjalnych rzesz obserwatorów. Przy tworzeniu tych reguł, ponad sto lat temu, nie brano pod uwagę widowiskowego aspektu akcji toczącej się na boisku, ani potrzeby współistnienia boiska i wielkich trybun widowni. Przemiany kształtu i wielkości areny zakończyły się w latach trzydziestych XX wieku, a dalsza ewolucja formy stadionu dotyczyła już tylko widowni i innych elementów budowli. Konsekwencją tych faktów jest istniejący do dziś konflikt pomiędzy wyborem kształtu prostokątnego boiska i kołowego lub owalnego kształtu widowni, najkorzystniejszego z uwagi na warunki widoczności. Równie ważnym skutkiem tego stanu rzeczy jest drastycznie niski, bo bliski granicy możliwości percepcji oka ludzkiego, akceptowany jednak z konieczności przez normy, standard widoczności. Zależy on przede wszystkim od odległości pomiędzy obserwatorem i najdalej położonym obiektem pola obserwacji. Odległość ta zaś jest pochodna od wielkości pola boiska, wielkości areny i głębokości widowni. Powszechnie obecna dziś we wnętrzu stadionu technologia telewizyjna tylko pozornie rozwiązuje problem limitu odległości dobrego widzenia. Pozwala, co prawda, widzowi – oddalonemu poza zakres anatomicznej percepcji szczegółów – widzieć te szczegóły na wielkim ekranie w znacznym powiększeniu, jednak obraz pomocniczy i przetworzony odbierany jest z przesunięciem czasowym. Śledzenie przez kibiców obecnych na widowni toczącej się na boisku akcji wymaga, posiadającego dobre parametry jakościowe, realnego obrazu, odbieranego bezpośredniego przez aparat wzrokowy.

Stwierdzenia powyższe upoważniają do sformułowania ogólnych postulatów dotyczących przyszłościowych kierunków rozwoju wnętrza współczesnego stadionu. Wnętrze to tworzone być powinno przez nowe relacje widowni i areny. W relacjach tych priorytetem muszą być standardy widoczności, ściśle dostosowane do anatomicznych cech percepcji wzrokowej człowieka, a wielkość i kształt areny winny być pochodne od tych standardów. Rodzić to będzie konieczność weryfikacji reguł znanych dziś gier zespołowych i dyscyplin sportowych dużego pola, prowadzącej być może do powstawania całkiem nowych rodzajów sportów.

[90] Szerzej o tym projekcie autor pisze na stronach 224 i 238 niniejszej pracy.

PODZIĘKOWANIE

Przedstawiona rozprawa jest rezultatem najważniejszego dotychczas mojego doświadczenia zawodowego, którym jest zrealizowana przebudowa *Stadionu Śląskiego*.

Urzeczywistnienie obu przedsięwzięć, tj. powstanie projektu i niniejszej pracy zawdzięczam wielu osobom. Pragnę im wszystkim tą drogą bardzo serdecznie podziękować.

Głęboką wdzięczność wyrażam przede wszystkim Pani Danucie Bredy-Brzuchowskiej, żonie Pana Juliana Brzuchowskiego, współautorce pierwotnego projektu *Stadionu Śląskiego*, za matczyną wręcz opiekę w początkowym okresie pracy nad projektem modernizacji oraz za udostępnienie bezcennych materiałów archiwalnych.

Ogromną pomoc okazał mi też Profesor Maciej Krasiński. Przyjacielskie z Nim dyskusje, Jego opinie i kompetentne rady oraz spojrzenie przez pryzmat Jego doświadczeń twórczych dodawały skrzydeł i odwagi przy podejmowaniu odpowiedzialnych decyzji. Dobrym duchem, wspierającym w trudnych chwilach, był także Michał Dołhun – przyjaciel, doradca i wielki inspirator.

Za całe wyświadczone mi dobro jestem wymienionym osobom wielce zobowiązany.

Szczególną wdzięczność winien jestem Ryszardowi Jurkowskiemu, duchowemu opiekunowi, którego przyjacielska obecność przez wiele lat wspierała mnie i Zespół, a przywożone z całego świata cenne, fachowe materiały i książki poszerzały świadomość.

Czuję się też w obowiązku wymienić szerokie grono znakomitych polskich architektów, którzy w imieniu Inwestora lub jako sędziowie konkursowi opiniowali, recenzowali i oceniali efekty pracy kierowanego przeze mnie Zespołu. Należą do nich m.in.: Szczepan Baum, Wojciech Buliński, Mariusz Cup, Tadeusz Czerwiński, Stanisław Deńko, Piotr Franta, Andrzej Gałkowski, Jurand Jarecki, Stefan Kuryłowicz, Stanisław Niemczyk, Wojciech Obtułowicz, Dieter Paleta oraz Tomasz Taczewski. W ostatnim czasie dołączyli do nich również Aleksander Franta i Henryk Buszko. Wszystkim im serdecznie dziękuję za wnikliwy i życzliwy osąd, a często też wsparcie i inspirującą radę.

Specjalne podziękowania winien jestem Panu Józefowi Bąkowi oraz Panu Jerzemu Górze, którzy jako kolejni dyrektorzy WOKiS – *Stadion Śląski* udostępniali mi bogate materiały archiwalne i zawsze wspierali w działaniach projektowych, a pośrednio naukowych.

Słowa podziękowania kieruję do Pana Roda Shearda za podarowaną mi bezcenną książkę jego autorstwa i inspirującą korespondencję oraz do Pana Luisa Alvarado Escalante z Meksyku, współtwórcy *Stadionu Azteka* i autora traktatu *Isoptica* – za umożliwienie zapoznania się z jego teorią projektowania wielkich widowni. Podziękowania winien też jestem Panu Klausowi – Michaelowi Kochowi – za życzliwą opinię o efektach przebudowy *Stadionu Śląskiego*, jak również za jego wielką uprzejmość, dzięki której dane nam było zapoznanie się z ostatnią fazą robót modernizacyjnych na *Stadionie Olimpijskim* w Berlinie.

Podziękowania składam też współautorom projektu i wszystkim współpracownikom, zwłaszcza zaś Panu Teodorowi Badorze, szefowi biura i specjaliście odpowiedzialnemu za fundamentowanie i konstrukcje żelbetowe, Panu Januszowi Machowi, odpowiedzialnemu za konstrukcje stalowe, i Panu Wiesławowi Niewiadomskiemu, architektowi kierującemu zespołem komputerowego wspomagania projektowania. Bez ich twórczego współdziałania nie powstałby projekt, a co za tym idzie, i niniejsza praca.

Wielką wdzięczność winien jestem Redakcji Oficyny Wydawniczej Politechni-

ki Białostockiej, zwłaszcza Pani Jadwidze Żukowskiej, której wnikliwa analiza tekstu i twórcza korekta językowa przyczyniły się do podniesienia wartości pracy. Dziękuję również Pani Joannie Ziółkowskiej za cierpliwość i wyrozumiałość w okresie trudnej pracy nad składem oraz Pani Monice Magdziak, która bardzo mi pomagała, panując nad grafiką komputerową plansz rysunkowych.

Dziękuję także całemu Kolegium Dziekańskiemu Wydziału Architektury Politechniki Białostockiej, obecnej i poprzednich kadencji, szczególnie Pani Dziekan Grażynie Dąbrowskiej-Milewskiej – za życzliwy doping i skuteczną zachętę. Do tych słów dołączam też podziękowanie, dla najbliższych kolegów z Wydziału, pierwszych czytelników pracy – Jana Kabaca i Andrzeja Chwaliboga – za szczery osąd i słowa otuchy.

Pragnę podziękować recenzentom – Panu Profesorowi Andrzejowi Basiście i Panu Profesorowi Waldemarowi Wawrzyniakowi – za cenne uwagi, rady i sugestie, które przyczyniły się do nadania pracy ostatecznej formy.

Dziękuję także moim najbliższym: synowi Michałowi – za pomoc w zdobywaniu wielu ważnych pozycji literatury oraz za bogaty materiał fotograficzny, córce Annie – za cenne uwagi dotyczące szaty graficznej pracy oraz żonie Elżbiecie za wytrwałość i wsparcie.

WYKAZ ŹRÓDEŁ I LITERATURY

WYDAWNICTWA ZWARTE

Adamczewska-Wejchert H., Wejchert K., *Małe Miasta. Problemy urbanistyczne stale aktualne,* Arkady, Warszawa 1986.

Adrian M.J., Cooper J.M., *Biomechanics of Human Movement,* William C. Brown, 2 Sub Eition, 1994.

Alberti, Leon Baptysta; *Ksiąg dziesięć o sztuce budowania*, z tekstu włoskiego przeł. Irena Biegańska; przedmowa do wydania polskiego Kazimierz Dziewoński, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1960.

Alvarado E. L., *Isopticas. Tecnica en el proyecto de optima visibilidad para espectadores,* Mexico 1971.

Architects *Sports Stadia after Hillsborough*, Owend Luder, RIBA.

Basista A.,*Opowieści budynków: architektura czterech kultur,* Wydawnictwo Naukowe PWN, Kraków1995.

Basista A., *Architektura: dlaczego jest, jaka jest,* Znak, Kraków 2000.

Basista A., *Notatki architekta na temat kompozycji*, Akademia Sztuk Pięknych w Krakowie, Zeszyt Naukowy Architektury Wnętrz – 6/2001, Kraków 2001.

Basista A., *Historia architektury od początków do końca XVIII wieku*, Politechnika Białostocka – Wydział Architektury, Białystok 2004.

Basista A., *Kompozycja dzieła architektury,* Towarzystwo Autorów i Wydawców Prac Naukowych *Universitas,* cop. 2006.

Batogowska A., Słowikowski J.: *Atlas antropometryczny dorosłej ludnośc*i *Polski dla potrzeb projektowania,* Prace i Materiały IWP, zeszyt 137, Warszawa 1989.

Berger H., *Light Structures, Structures of Light. The Art and Engineering of Tensile Architecture*, Birkhauser Verlag, Basel/ Boston/ Berlin 1996.

Berthold M., *Historia teatru,* przeł. z fr. Żmij-Zielińska D., Wydawnictwa Artystyczne i Filmowe, Warszawa 1980.

Bogoslowskij W. W., Daniluk A. M.: *Raszczot widimosti i postrojenje miest dla zritielej w zrieliszczno-massowych soorużenjach*, Moskwa 1940.

Bożyk E., *Historia architektury budynku teatralnego i techniki sceny w teatrze europejskim*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Kraków 1956.

Cakir A.,*Visual Display Terminals*, John Wiley and Sons Ltd (April 16, 1980).

Charytonowicz J., *Zasady kształtowania laboratoryjnych stanowisk pracy,* Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1994.

Corlett E.N.,*The Ergonomics of Workspaces and Machines: A Desin Manual*, 2nd Edition, Taylor & Francis, Limited, London 1995.

Culley P., Pascoe J., *Stadium Engineering,* Thomas Telford, Londyn 2005.

Deręgowski J. B., *Oko i obraz;Studium psychologiczne*, PWN.

Dyba K., *Perspektywa linijna*, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1979.

FIFA Quality Concept, *Handbook of Requirements for Football Turf,* marzec 2006.

FIFA/UEFA, *Technical Recommendations for the Construction or Modernisation of Football Stadia*, FIFA, Zurich 1994-2003.

Fikus M., *Przestrzeń w zapisach architekta,* Agencja Wydawnicza Zebra Sp. z o.o., Poznań, Kraków 1999.

Forsyth M., *Buildings for Music: The Architect, the Musician, and the Listener from the Seventeenth Century to the Present Day*, CUP Archive, 1985.

Fourny D., Fradette B., *Ilustrowana encyklopedia sportu*, Muza S.A., Warszawa 2001.

Fruin J., *Pedestrian and Planing Design*, Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners, Elevator World Inc. Educational Services Division, Mobile, Alabama 1971**.**

G*ames of the* XXVIII *Olympiad* – ATHENS 2004, Broadcaster Handbook, Athens Olympic Broadcasting (AOB) 2004.

Gardner`s H., *Art through the Ages,* wyd.VII, Harcourt Brace Jovanowich, Inc. 1976.

Gibson J.J., *The Perception of the Visual World,* Houghton Mifflin, 1950.

Gedliczka A., Pochopień P., Szklarska., Welons Z., *Atlas miar człowieka. Dane do pro-*

jektowania i oceny ergonomicznej. Antropometria, biomechanika, przestrzeń pracy, wymiary bezpieczeństwa, Centralny Instytut Ochrony Pracy (COIP), Warszawa 2001.

Gintowt M., Krasiński M., *Wojewódzka hala widowiskowo-sportowa w Katowicach*, 1963.

Gorokhov V.A., Lunts L.B., *Parks of the world,* Strojistad, Moskwa 1985.

Górska E., *Ergonomia,* Politechnika Warszawska, Warszawa 2002.

Grand Project of Korea Towards the 21ST Century, Korean Institute of Architects, Space Group, Seoul 1999.

Grandjean E., *Ergonomia mieszkania. Aspekty fizjologiczne i psychologiczne w projektowaniu,* Arkady, Warszawa 1978.

Graves M., *The art of color and design*, The Art School-Pratt Institute, 1951.

Grudziński A.J., *Audytoria dydaktyczne*, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1979.

Grzegorczyk B., *Architektura i budownictwo teatralne we Wrocławiu od około 1770 roku do schyłku XIX wieku,* Wydawnictwo Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław 2000.

Hall E. T., *Ukryty wymiar,* Muza SA, Warszawa 2003.

*Historia teatru***,** pod red. **Johna Russella Browna**, red. nauk. wyd. pol. **Marek Pikut**, z ang. przeł. Hanna Bałtyn-Karpińska, Wydaw. Naukowe PWN, Warszawa 2007.

Holgate A., *The Art of Structural Engineering. The work of Jörg Schlaich and his Team,* Axel Menges, Stuttgart – London 1997.

Hyks P., Gaborik M., Vrana O., *Schody,* wydanie II, Wydawnictwo „Arkady", Warszawa 1984.

Inglis S., *The Football Grounds of Europe,* Willow Books Collins, London 1990.

Inquiry by the Rt Hon Lord Justice Taylor. *The Hillsborough Stadium Disaster*, Interim Report Cm 765. IMSO, London 1989.

John G., Campbell K., *Handbook of Sports and Recreational Building Design,* Volume 1: *Outdoor Sports*, Volume 2: *Indoor sports*, Sports Council, Technical Unit for Sport, 2nd edition, Architectural Press, 1995.

John G., Sheard R., *Stadia. A Design and Development Guide*, wyd. II, Architectural Press, Oxford – Boston – Melbourne 1997.

Kasjusz Dion, *Historia Rzymu*,Księga XLIII - 22, oraz Księga LXII – 18, Loeb *Classica Library* edition, 1916, http://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Cassius_Dio/43*

Kendik E., *Assessment of Escape Routes in Building and a design method for calculating Pedestrian Movement*. Society of Fire Protection Engineers Technology, Report 85-4 (1985), Hemisphere Pub. Corp.

Ketchell N., Cole, S.,*The EGRESS code for human movement and behaviour in emergency evacuations in Engineering for Crowd Safety* Elsevier. (Ed Smith RA, Dickie J), 1993.

Klichowski L*., Lęk, strach, panika*. *Przyczyny i zapobieganie,* Wydawnictwo PRINTER, Poznań 1994.

Koch K.M., Habermann K. J., przy współpracy: Forster B., Göppert K., Herzog T., Pudenz J., Taylor W., Wakefield D., *Membrane structures. Innovative Building with Film and Fabric,* Prestel Verlag, Munich – Berlin – London – New York 2004.

Kogyo Taiyo Corporation, *Membrane Structures,* Osaka 1991.

Konior L., *Homo Architectonicus. Szkice, krytyka, wspomnienia,* Wydawnictwo Literackie, Kraków 2004.

Kosecki A., *Ergonomiczna analiza kształtu uniwersalnego sali audytoryjnej, Technologia kształcenia w wyższych uczelniach technicznych*, Zeszyty Międzyuczelniane Nr 7, Kraków, 1975.

Kronika sportu, opr. zespół pod kierunkiem **M. B. Michalika**, Wydawnictwo „Kronika", Warszawa 1993.

Kuldschun H., Rossmann E., *Budownictwo dla upośledzonych fizycznie. Projektowanie obiektów i urządzeń,* Arkady, Warszawa 1980.

Kumaniecki K., *Historia kultury starożytnej Grecji i Rzymu*, PWN, Warszawa 1964.

Kuryłowicz S., *Architektura – idea i jej realizacja,* Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki, Studio A`Deco, Kraków – Warszawa 2000.

Kysiak M., *Architektura pawilonów wystawowych. Funkcja, forma, konstrukcja,* Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1998.

Losos L., *Techniki malarskie,* z czeskiego przeł. Dębska. A., Wydawnictwa Artystyczne i Filmowe, Warszawa 1991.

Lowson B., *How Designers Think, Fourth Edition*: *The Design Process Demystified,* Wiley, 2 edition (September 15, 1992).

Łapaczewska K., *Pole widzenia*. *Badania modelowe*, Instytut Wzornictwa Przemysłowego Prace i Materiały, Zeszyt 102, Warszawa 1986.

Matusewicz Cz., *Widowisko sportowe. Analiza psychospołeczna,* Akademia Wychowania Fizycznego w Warszawie, Warszawa 1990.

McCormick, Ernest J., Sanders M. S., *Human Factors in Engineering and design,* wyd.V, International Student Edition, Singapore 1983.

McCormick, *Human Factors Engineering*, McGraw-Hill Science/Engineering/Math; 7 edition (January 1, 1993).

Minczewa-Gospodarek K., *Wzornictwo przemysłowe a moralne zużycie przedmiotu użytkowego. Zarys uwarunkowań i zależności*, Biblioteka Wzornictwa 23`97, Instytut Wzornictwa Przemysłowego, Warszawa 1997.

Neufert E., *Bauentwurfslehre* 1972, 32 Sportanlagen, s. 369-373.

Neufert E., *Podręcznik Projektowania architektoniczno-budowlanego,* wyd. III, Arkady, Warszawa 2005.

Nicholson A. S., *Health, Safety and Ergonomics,* Butterworth-Heinemann Ltd (30 Sep 1988).

Niels D., Tilley A. R., Bardagjy J. C., *„Humanscale 1/2/3”,* The MIT Pres, Massachusetts Institute of Technology, Massachusett, Cambridge 1990.

Niemczyk E., *Hala Ludowa we Wrocławiu,* Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1997.

Nixdorf S., *Stadium ATLAS. Technical Recommendations for Grandstands in Modern Stadiums,* Ernst & Sohn, Berlin 2008.

Nowak E., *Atlas antropometryczny populacji polskiej: Dane do projektowania*, Instytut Wzornictwa Przemysłowego, Warszawa 2000.

Otto F., *Dachy wiszące. Forma i konstrukcja*, „Arkady”, Warszawa 1959.

Palladio A., *Cztery księgi o architekturze,* z pierwodruku włoskiego wydanego w Wenecji w roku 1570 przełożyła Rzepińska M., Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1955.

Palej A., *Miasta cywilizacji informacyjnej. Poszukiwanie równowagi pomiędzy światem fizycznym a światem wirtualnym,* Politechnika Krakowska, Kraków 2003.

Panofsky E., *Meaning in the Visual Arts*, University of Chicago Press, 1983.

Pelczarski Z., *Wybrane aspekty procesu projektowego w architekturze,* [w:] Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej, Architektura – Zeszyt 14, red. nauk. Włodarczyk J. Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, Białystok 1994, s. 55-64.

Pelczarski Z., *Projektowanie dróg komunikacji i ewakuacji w obrębie widowni wielkich obiektów sportowo-widowiskowych,* [w:] Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej, Architektura – Zeszyt 20, red. nauk. Żarnowiecka J.C. Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, Białystok 2008, s. 57-70.

Pelczarski Z., *Wykreślne metody projektowania profilu widowni,* [w:] Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej, Architektura – Zeszyt 21, red. nauk. Żarnowiecka J.C., Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, Białystok 2008, s. 61-77.

Pelczarski Z., *Zagadnienia ergonomiczne w projektowaniu widowni współczesnych stadionów. Problem wysokości ocznej,* [w:] *Ergonomia w architekturze i urbanistyce. Kierunki badań w 2009 roku,* red. nauk. Charytonowicz J., Wydawnictwo Polskiego Towarzystwa Ergonomicznego, Oddział Wrocław, Wrocław 2009, s. 35-42.

Pevsner N.; [tł. z niem. Jan Wydro], *Historia architektury europejskiej*, T. 1., Arkady, Warszawa 1979.

Pevsner N.; [tł. z niem. Jan Wydro], *Historia architektury europejskiej*, T. 2., Arkady, Warszawa 1980.

Pheasant S., *Bodyspace. Anthopometry, Ergonomics and the Design of Work,* wyd. III, CRC, Taylor& Francis Ltd., London 2005.

Pheasant S., *Ergonomics,Work and Health,* Aspen Pub;1st edition (January 15,1991).

Pheasant S., *Anthropometrics: an Introduction*, BSI Standards (31 Dec 1990).

Platner S.B., *A Topographical Dictionary of Ancient Rome*, Oxford University Press, 1929.

Pliniusz Starszy, *Historia naturalna*, Księga XXXVI - 24, tł. na j. ang. J. Bostock, Perseus Digital Library, Tufts University; www.perseus.tufts.edu/hpper.

Popplewell Committee of Inquiry into Crowd Safety and Control at Sports Grounds. Final Report. Cmnd 9710 Jan (1986).

Przytuła S., Olszanowski W., *Społeczna analiza widowiska sportowego,* Uniwersytet Szczeciński, Pomorska Filia Polskiej Fundacji Promocji Kadr, Szczecin 1997.

Rasmussen S. E., *Odczuwanie architektury*, Biblioteka architekta, Wydawnictwo Muratator, Warszawa 1999.

Rębielak J., *Struktury przestrzenne o dużych rozpiętościach,* Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1992.

Roebuck J.A., *Engineering Antropometry Methods,* John Wiley & Sons Inc (July 9, 1975).

Seating-Sightlines, Conversion of Terracing, Seat Types, The Football Stadia Advisory Design Council**,** London 1991.

Shapiro J., *Guide to Safety at Sports Grounds,* wyd. IV, The Stationery Office, London 1997.

Sheard R., *Sports Architecture,* Spon Press, Taylor & Francis Group, London, New York 2003.

Sheard R., *The stadium. Architecture for the New Global Culture,* Periplus editions, Sydney 2003.

Shields A., Wright M., *Arenas: A planning, design and management guide,* Spots Council, London 1989.

Sime J. *Crowd Safety Management and Communications in Disasters*, MoSHE. 1992 Available from the Building Research Establishment, Borehamwood or from JSA Research Consultants, Goldalming, Surrey.

Sinnott R., *Safety und Security in Building Design,* Collins Professional and Technical Books, London 1985.

Skoczek A*., Wybrane zagadnienia projektowania architektonicznego hal sportowo-widowiskowych,* Kraków 1966.

Skrentny W., *Das grosse Buch der deutschen Fußballstadien*, Verlag Die Werkstatt, Götingen 2001.

Smith W., *A Dictionary of Greek and Roman Antiquities*, John Murray, London, 1875.

Spampinato A., *Stades du Monde. Sport & Architecture,* Tectum, Antwerpia 2004.

Sports Stadia After Hillsborough, The Royal Institute of British Architects, The Sport Council and The Football Trust – London, Owen Luder, London 1990.

Sports stadia. Encyklopedia of Architecture. *Design, Engineering, and Construction*, Volume 4, The American Institute of Architects, Joseph A. Wilkes, FAIA,1989.

Still G.K., *Crowd Dynamics*, PhD Thesis, Mathematics Department, Warwick University, August 2000.

Szafer T. P., *Współczesna Architektura Polska,* Wydawnictwo „Arkady", Warszawa 1988.

Szewczuk W., *Psychologia*, PZWS,Warszawa 1975.

Tacyt, *Roczniki* (*Ab excessu divi Augusti*), Ksiega IV - 62 i 63, także Ksiega XIII - 31, *Complete Works of Tacitus. Tacitus*, A.J. Church, W. J. Brodribb, S. Bryant, Perseus, New York: Random House, Inc. Random House, 1942, Perseus Digital Library, Tufts University; www.perseus.tufts.edu/hpper.

Taczewski T., *Współczesna architektura Katowic,* Wydawnictwo SARP, Katowice 2000.

Taiyokogyo, *Membrane Structures for Soccer Stadiums. Stadiums with Membrane Structures for 2002 FIFA World Cup Korea/Japan,* Mak Max, 2002.

***Technical Recommendation and Requirements for the Construction of New Stadia*,** complited by FIFA in co-operation with UEFA.

Teoretyczne problemy projektowania, Prace Naukowe Instytutu Cybernetyki Technicznej Politechniki Wrocławskiej, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1979.

The Green Guide (Third Edition), Guide to Safety at Sports Grounds, HMSO, London 1990.

The Green Guide (Fourth Edition), Guide to Safety at Sports Grounds, HMSO, London1997.

Thompson, P. Marchant. E.W. *Modelling Techniques for Evacuation. Engineering for Crowd Safety* (Ed Smith RA, Dickie J) Elsevier. (1993).

Tilley A. R., Dreyfuss H., *The Measure of Man and Woman: Human Factors in Design,* Wiley, (December 31, 2001).

***Time-Saver Standards for BuildingTypes*,** Mc Graw-Hill Book Company, 1980, rozdz.10, Recreation and Entertainment, Sports Arenas, s. 1177-1184.

Tolloczko J.J.A., Clarke J.N., *Stadia 2000. Stadia, Arenas and Grandstands. Design, construction and operation*, Thompson Millennium Stadium, The Concrete Society, London – New York 1998.

Tytyk E., *Projektowanie ergonomiczne*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 2001.

Urządzenia sportowe *– planowanie, projektowanie, budowa, użytkowanie*, wyd. IV

całkowicie zmienione, praca zbiorowa pod red. **R.Wirszyłły**, Arkady, Warszawa 1982.

Urządzenia sportowe *– projektowanie i budowa*, wyd. III poszerzone, praca zbiorowa pod red. **R. Wirszyłły**, Instytut Urbanistyki i Architektury, Arkady, Warszawa 1966.

Urządzenia sportowe *– projektowanie i budowa*, wyd. II, praca zbiorowa pod red. **R. Wirszyłły**, Instytut Urbanistyki i Architektury, Arkady, Warszawa 1959.

Urządzenia sportowe *– wytyczne do projektowania*, praca zbiorowa pod red. **R. Wirszyłły** i **T. Kuchara**, Instytut Urbanistyki i Architektury, Państwowe Wydawnictwa Techniczne, Warszawa 1954.

Vasari Giorgio, *Żywoty najsławniejszych malarzy, rzeźbiarzy i architektów*, przetł. [z wł.], wstępem i objaśnieniami opatrzył Karol Estreicher, Warszawa, Kraków: Państwowe Wydawnictwo Naukowe. Oddział, 1990.

Wallis A., *Socjologia i kształtowanie przestrzeni,* PIW, Warszawa 1971.

Wawrzyniak W., *Sacrum w architekturze. Paradygmaty Kościoła Św. Ducha i Zboru Zielonoświątkowego we Wrocławiu,* Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1996.

Wejchert K., *Elementy kompozycji urbanistycznej,* Wydawnictwo „Arkady", Warszawa 1984.

Wells C., *Football Grounds from the air,* Wydawnictwo Myriad, Londyn 2006.

Wielka Historia Świata *Tom 3 Świat okresu cywilizacji klasycznych,* praca zbiorowa pod redakcją **Aleksandra Krawczuka**, Oficyna Wydawnicza FOGRA, 2005.

Wilkes J. A., *Encyklopedia of Architecture. Design, Engineering&Construction,* Volume 4, The American Institute of Architects, Sports Facilities Group,USA, Kansas City, Missouri 1989.

Wimmer M., *Olympic bildings*, Edition Leipzig 1976.

Winter D.A., *Biomechanics of Human Movement,* John Wiley & Sons (February 1980).

Witruwiusz*. O architekturze ksiąg dziesięć,* przekład K. Kumaniecki, wyd. II, Prószyński i S-ka, SA, Warszawa 2004.

Woodson W.E., *Human by Factors Design Handbook,* McGraw-Hill Professional, 2 edition (January 1, 1992).

Zabłocki W., *Architektura*, BOSZ, Olszanica 2007.

Zabłocki W., *Najnowsze stadiony,* Międzynarodowe warsztaty, SARP Warszawa, 1998.

Zabłocki W., *Walczę, więc jestem,* PIW, Warszawa 2006.

Ziobro E., *Ergonomia; wybrane zagadnienia,* Politechnika Wrocławska, Wrocław 1989.

WYDAWNICTWA CIĄGŁE

Aglionby J., *United Colors of Footbal,* The Guardian Unlimited, Forum, nr 24/2004.

Architektura sportu, Architektura & Biznes, nr 7/8 2004.

Arene, Area nr75, Federico Motta Editore,Milano 2004.

Bajno-Sobucka B., *Membrany*, Architektura-Murator s. 109, 3/2001.

Bordigoni J.C., Arnold F., Letessier J., *Grand Stade. Le sport spectacle a choisi sa cathedrale*, Architecture Interieure-Cree, nr 261, Octobre 1994, s. 57-65.

Brzuchowski J., *Badanie przekroju widowni,* Architektura nr 1/1949.

Brzuchowski J., *Problemy nowoczesnego stadionu,* WF., nr 1/1948.

Brzuchowski J., *Uwagi do projektowania trybun sportowych,* Architektura nr 2/1961.

Bulanda-Jansen A., *Gorączka piłkarska EURO 2004,* Architektura&Biznes, nr 7-8/2004, s. 30-39, (wydanie poświęcone architekturze stadionów).

Clifford P. *Tynecastle football stadium crowd movement simulation*, Stadia and Arenas: Development, design and management. Stadia & Arenas 2000, 16-17th June 1999, London Arena, The Concrete Society.

Dieduł A., *Prezentacje, Moskwa – miasto Olimpiady-80*, Architektura, s. 50, 11-12/77.

Docci M., *Amphiteatrum Flavium – the Stadium of the Caesars*, Area, nr 75, augusto 2004.

Folwarski T., *Hala Sportowa pod Wielką Krokwią*, Archivolta, s. 44, 2(6)/2000.

Gaudin B., Gaudin H., *Stade et ville reconcilies – Stade Charlety,Paris XIII,*Architecture.

Interieure-Cree, nr 261,octobre 1994, s. 75-84.
Grzybowska-Kwiecińska L., *Stadion Śląski w Chorzowie,* Architektura i Sport, nr 2-3/2006.
Harness B., Rouse J., *A sense of place*, Stadia, nr 39/2006, s. 80-83.
Historia. Stadion SKS Warszawianka, Architekt nr 9(21)/2001, s. 22.
Januszkiewicz K., *Energooszczędna, wielofunkcyjna hala w Lizbonie*, Archiwolta, nr 4(8)/2000, s. 14.
Jąkalska I., *Dach w architekturze*, Architekt nr 7-8 /2001, s. 43.
Kaczmarek J., *Architektura kontra kibice. Problemy,* Architektura-Murator, nr 6/1995, s. 35.
Krasiński M., *Hala sportowa „Legia" w Warszawie*, Architektura, nr 1-2/77, s. 44.
Krawczyk D., *Hala sportowa pod wielką krokwią,* Archivolta, nr 3(11)/2001, s. 77.
Kusztra M., *Pierwszy etap,* Architektuta, nr 7/1998, s. 24-26.
Majewski J. S., *Hala sportowo-widowiskowa w Gdyni*, konkurs SARP, Architektura--Murator, nr 9/2000, s. 80.
Martenstein H., *Igrzyska korupcji*, Forum, nr 32/2004, s. 60.
Membrane Construction, DTAIL, nr 6/2000.
Panstadia International, *The Definitive Journal For The Sports Facility Industry Worldwide*, Quarterly Report.
Pelczarski Z., *Modernizacja śląskiego giganta,* Architektura i Biznes, nr 12/1998, s. 30-35.
Pelczarski Z., *Polifunkcyjny megateatr,* Architektura i Biznes, nr 10/1998, s. 40-42.
Prezentacje: *Projekt stadionu sportowego „Wisła – Kraków"*, Architekt nr 4(16)/2001.
Przed XXI Igrzyskami Olimpijskimi „Montreal" 1976, Architektura, nr 11/75 s. 363.
Przewodnik Olimpijski. Stadiony pełne sponsorów, Polityka, nr 33/2004.
Pudło z betonu. Projekt stadionu „Wisła – Kraków", Architektura – Murator, nr 4/2003 s. 103.
Rębielak J., *Konstrukcja nośna przekryć powłokowych*, Architektura, 2/83, s. 69.
Ryńska D. E., *Millenium Dome w Londynie,* Architektura-Murator, nr3/2001 s. 115.
Sheard R., *Building for the digital audience,* Stadium & Arena Management, April 2000.
Stadiums, DETAIL, nr 9/2005, (wydanie w całości poświęcone najnowszym stadionom).
Sydney 2000*. XXVII Letnie Igrzyska Olimpijskie. Projekt Nowego Millenium*, Riba Press Office, Archivolta, 2(6)/2000 s. 9.
Vogliazzo M., *Saint Denis Stadium,* l`ARCA, nr 122/ 1998, s. 22-29.
Wrzesińska J., *Wkraczając w XXI wiek. Stadion w Sidney*, Architektura-Murator, 9/2000 s. 98.
Zabłocki W., *Architektura Sportowa – Sydney 2000*, Architektura & Biznes, 9/2000, s. 46.
Zabłocki W., *Historia Biura Projektów Budownictwa Ogólnego „Budopol" w Warszawie*, Architektura, 9-10 `79, s. 8.
Zabłocki W., *Obiekty sportowe. Architektura Olimpijska*, Architekt, s. 18-19.
Zaranek M., *Tu wszyscy są wygrani,* Magazyn Sportowy, 10 września 2004. s. 6.

INNE ŹRÓDŁA

Biuletyn Informacyjny PZPN 1/95, PZPN, Warszawa 1995.
Kocur M., *Rekonstrukcje teatru antycznego*, Wykład wygłoszony w Instytucie Sztuki PAN w Warszawie, czerwiec 2003, http://www.kocur.uni.wroc.pl
Kopaliński W., *Słownik wyrazów obcych i zwrotów obcojęzycznych*, pierwsze wydanie w Internecie, Wydawnictwo De Agostini Polska, http://www.slownik-online.pl
Membrane Structures for Soccer Stadium. Stadium with Membrane Structures for 2002 FIFA World Cup Korea/Japan, Mak Max.
Pelczarski M., *Tendencje w kształtowaniu dachów o dużych rozpiętościach w obiektach sportowych*, Rozprawa doktorska, promotor Janusz Rębielak, Wydział Architektury i Urbanistyki Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2007.
Polska Norma PN-EN 13200-1, *Obiekty widowiskowe, Część 1: Wymagania dotyczące projektowania widowni,* Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2005.
System licencji PZPN dla klubów – sezon 2006/2007, PZPN, Warszawa 2006.

Ustawa z dnia 22 sierpnia 1997, *O bezpieczeństwie imprez masowych* / Dz. U. z 2001, Nr 120, poz. 1298, z późniejszymi zmianami/.

Wawrzyniak Z.M., *Materiały do wykładu z biometrologii*, Zakład Profilaktyki Zagrożeń Środowiskowych, Akademia Medyczna w Warszawie; Instytut Systemów Elektronicznych, Politechnika Warszawska; http://www.zdrowiepubliczne.info/pliki/materialy/semestr%203/biometrologia/wyk_BioMetro_5.pdf.

Wojsznis P., *Techniki wspomagające projektowanie widowni hal sportowych*, Rozprawa doktorska, promotor Elżbieta Trocka-Leszczyńska, Wydział Architektury i Urbanistyki Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2009.

WYBRANE ADRESY INTERNETOWE

www.ancient-greece.org
www.ballparks.com
www.birdair.com
www.crowddynamics.com
www.detail.de
www.estadiodeportivocali.com
www.eurostadiums.com
www.fifa.com
www.fussballtempel.net
www.globalstadia.com
www.jeannouvel.com
www.olimpijski.pl.
www.olympiapark-muenchen.de
www.olympic.org
www.panstadia.com
http://penelope.uchicago.edu/~grout
http://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts
www.perseus.tufts.edu/hopper
www.planum.net
www.portugal2004.pt
www.saitama-arena.co.jp
www.sam.uk.com
www.skyspan.com
www.stadionwelt.de
www.structurae.de www.uefa.com
www.suderj.rj.gov.br/maracana.asp
www.tin.it/arca
www.universitariodedeportes.biz
www.worldstadiums.com
Google Earth

SŁOWNIK STOSOWANYCH TERMINÓW

Słownik opracowano w układzie alfabetycznym. Na końcu objaśnień podano odniesienia do tych fragmentów pracy, w których znajduje się szersze omówienie znaczenia poszczególnych terminów (kursywa). Obok pełnych nazw stosowanych terminów (wielkie litery) podano ich nazwy skrócone (małe litery) i ich symbole (w nawiasach).

ANATOMICZNE POLE WIDZENIA
W ergonomii, psychologii, fizjologii, oftalmologii polem widzenia nazywane jest psychofizjologiczne odzwierciedlenie obrazu siatkówkowego powstającego w nieruchomym oku, tzn. fiksującym jeden stały punkt rzeczywisty. Granice, kształt i inne cechy jakościowe tego obrazu, jak wyrazistość, jasność i czytelność barw, wynikają z cech anatomicznych oka i głowy. Pola widzenia lewego i prawego oka różnią się. Przy widzeniu obuocznym pola te częściowo się na siebie nakładają, dając w wyniku tzw. obuoczne pole widzenia. Z uwagi na potrzebę rozróżnienia od innych rodzajów pól widzenia polu temu nadano w pracy nazwę *anatomiczne pole widzenia.*

Przy graficznym przedstawianiu anatomicznego pola widzenia wykorzystuje się układ współrzędnych, który jest rozwinięciem południków i równoleżników wklęsłej czaszy półkulistej. Odzwierciedla ona modelowo wklęsłą powierzchnię siatkówki oka teoretycznego, usytuowanego na osi symetrii pary oczu rzeczywistych.. Jednostkę miary stanowią tu stopnie kątowe, podobnie jak w siatce kartograficznej. Centralna linia widzenia (CLW) przebiega prostopadle do płaszczyzny wykresu i pada w jego centralny punkt wyznaczany przez skrzyżowanie osi i południków. Punkt ten odzwierciedla zogniskowane, centralne punkty widzenia (CPW) siatkówek obu oczu.

Dwuoczne pole widzenia ma kształt zbliżony do owalu. Jego granice w kierunku poziomym sięgają po ok.90° na lewo i na prawo od pionowej osi głowy, wyznaczając poziomy zakres równy ok. 180°. Zakres pola widzenia ku górze wynosi ok. 60°, a ku dołowi ok. 70°, co łącznie tworzy pionowy zakres równy ok. 130°. Wokół centralnego punktu widzenia znajduje się obszar najostrzejszego widzenia o promieniu ok. 3,5°, odpowiadający żółtej plamce, zwany środkowym polem widzenia. Im dalej koncentrycznie na zewnątrz, tym wyrazistość widzenia maleje. W peryferyjnych strefach pola widzenia rozpoznawane są jedynie ogólne kontury poruszających się obiektów i zanika widzenie barw. W okulistyce do badania pola widzenia używany jest polomierz (perymetr).

Szerzej w tekście: p. 1.3.2.Pole widzenia, s. 72-77, rys. 1-4.

ANTROPOMETRYCZNE PRZEWYŻSZENIE LINII WIDZENIA FOKUSU (Ca)
– jeden z głównych parametrów wykresu widoczności profilu widowni. Wartość minimalnego przewyższenia linii widzenia fokusu (LWF) ponad punktem oka usytuowanym w rzędzie poprzedzającym (Ok(n-1)), które umożliwia widzenie punktu fokusu. Wartość ta (Ca) równa jest antropometrycznemu wymiarowi odległości punktu środkowego oka od najwyższego punktu głowy (różnica pomiędzy wysokością ciała i wysokością oczną, mierzona na osi pionowej przechodzącej przez środkowy punkt oka); w skrócie: *przewyższenie antropometryczne* lub *minimalne*, również *nominalne* (z uwagi na wymagania normowe).

Szerzej w tekście: p. 2.1. Przewyższenie linii widzenia – główne parametry antropometryczne i geometryczne kształtujące profil widowni, s. 97-106, rys. 2-1, rys. 2-2, rys. 2-3, rys. 2-4.

BEZWZGLĘDNE WYNIESIENIE PUNKTU OKA (HOkx)
– pionowe wyniesienie dowolnego punktu oka (Okn) profilu widowni w stosunku do poziomu płaszczyzny areny, na której leży punkt fokusu. Wartość tego wyniesienia stanowi sumę bezwzględnego wyniesienia punktu oka pierwszego rzędu (HOk1) i sumy (w profilu krzywoliniowym) lub wielokrotności (w profilu prostoliniowym) względnych wyniesień oka (HOx) poszczególnych rzędów, usytuowanych powyżej rzędu pierwszego; w profilu prostoliniowym HOkx=HOk1+(n-1)×HOx, w profilu krzywoliniowym
HOkx=HOk1+(HO2+HO3+HO4+....HOn).

Szerzej w tekście: rys. 2-22 (s. 131), rys. 2-27 (s. 135) oraz rys. 2-27 (s. 143).

CENTRALNA LINIA WIDZENIA (CLW), linia widzenia
– promień świetlny tzw. *promień widzenia* wysyłany przez obserwowany punkt rzeczywistego obiektu jako światło odbite lub własne, przebiegający równocześnie przez centralny punkt soczewki oka, punkt obrotu gałki ocznej i punkt zagłębienia *żółtej plamki* w obrębie siatkówki oka. Jest to promień najostrzejszego widzenia, gdyż pada na najczulszy obszar fotoreceptorów siatkówki. Jego droga w układzie optycznym oka nie ulega załamaniom i jest on równocześnie osią optyczną tego układu. Padając na siatkówkę oka tworzy on punkt będący obrazem siatkówkowym punktu rzeczywistego. Wiązka promieni tworzy na siatkówce oka obraz odzwierciedlający rzeczywisty obiekt. Jako obraz optyczny jest on obrazem rzeczywistym, pomniejszonym i odwróconym. Centralna linia widzenia wyznacza centralny punkt antropometrycznego pola widzenia. W wykresach i rysunkach geometrycznych, wykorzystywanych w poszczególnych metodach projektowania widowni, *centralna linia widzenia* reprezentowana jest przez odcinek linii prostej, usytuowany w trójwymiarowej przestrzeni wnętrza stadionu, łączący obserwowany punkt w obrębie areny z analizowanym *teoretycznym punktem oka.*

Szerzej w tekście: p. 1.3. Charakterystyka aparatu wzrokowego człowieka, s. 69-81, rys. 1-3 do 1-7.

CZAS EWAKUACJI (Te)
– czas, w którym wszyscy widzowie są w stanie wyjść z obszaru widowni i znaleźć się w tzw. *pierwszej strefie bezpieczeństwa.* W praktyce oznacza to czas, potrzebny ostatniemu widzowi, zajmującemu najdalej położone od wyjścia ewakuacyjnego miejsce, na opuszczenie widowni. Norma PN-EN 13 200-1 określa maksymalny dopuszczalny czas ewakuacji widowni do pierwszej strefy bezpieczeństwa jako 8 minut. Normy włoskie, już w latach dziewięćdziesiątych, ustalały maksymalny czas ewakuacji widowni do pierwszej strefy bezpieczeństwa jako 5 minut i kolejne 5 minut dla ewakuacji do strefy zewnętrznej stadionu. Wiele nowych stadionów zrealizowano z widowniami, które charakteryzuje czas ewakuacji krótszy niż 5 minut lub równy 5 minutom.

Szerzej w tekście: Rozdział 4. Czas ewakuacji i jego wpływ na parametry dróg ewakuacyjnych, s. 197-211

DOWOLNE PRZEWYŻSZENIE LINII WIDZENIA FOKUSU, przewyższenie (Cx), także moduł podziałki przewyższenia pasma linii widzenia fokusów (Pf)
– wartość dowolnego przewyższenia linii widzenia fokusu (LWF) równa wyniesieniu tej linii ponad punkt oka usytuowany w poprzedzającym rzędzie (Ok(n-1)); Cx ≥ Ca, por. objaśnienia przewyższenia antropometrycznego (Ca). Im wartość Cx jest większa, tym niżej w stosunku do linii fokusów przebiega linia ograniczenia pola obserwacji, a co za tym idzie – tym szerszy pas niezakłóconego pola obserwacji poniżej linii fokusów.

Szerzej w tekście: p. 2.1. Przewyższenie linii widzenia – główne parametry antropometryczne i geometryczne kształtujące profil widowni, s. 97-106, rys. 2-1, 2-2 i 2-3.

EWAKUACYJNY MODUŁ POJEMNOŚCI WIDOWNI (Mpw)
– liczba widzów obsługiwana przez korytarz ewakuacyjny (schody południkowe) o minimalnej, normatywnej szerokości dwóch pasm ruchu (Sk=2×0,6m=1,2m) w określonym czasie ewakuacji (Te). Wartość ta może być też wyrażona powierzchnią fragmentu widowni, niezbędną dla zmieszczenia tej liczby widzów, lub w postaci modelu fragmentu widowni, w którym dla założonej liczby miejsc w rzędzie określa się liczbę rzędów niezbędnych do zmieszczenia tej liczby widzów. Tak zdefiniowane pojęcie ewakuacyjnego modułu pojemności widowni pozwoliło autorowi na opracowanie metody projektowania widowni, która już we wstępnych fazach koncepcyjnych umożliwia szybkie budowanie jej modelu funkcjonalno-przestrzennego i precyzyjne określanie wszystkich parametrów planu widowni.

Szerzej w tekście: p. 4.4. Ewakuacyjny moduł pojemności widowni, s. 203-205, rys. 4-2.

GŁĘBOKOŚĆ RZĘDU WIDOWNI (S)
– poziome przesunięcie sąsiednich punktów oka (Okn i Ok(n-1)) w profilu widowni, wyznaczające tzw. *podziałkę widowni;* także poprzeczny wymiar stopnia (rzędu) widowni. Wynika on z wymogów antropometrycznych i ergonomicznych dla pozycji siedzącej i przejścia umożliwiającego komunikację i ewakuację (E).

Szerzej w tekście: rys. 2-1 (s. 98).

GŁĘBOKOŚĆ WIDOWNI (GW)
– liczba rzędów widowni, także wymiar podstawy widowni, będący sumą głębokości wszystkich rzędów; GW= n × S.

GRAFICZNE METODY WYZNACZANIA PROFILU WIDOWNI
– wykreślne metody definiowania profilu widowni, ustalające na rzutni profilu wszystkie jego parametry. Metody te wykorzystują podstawowe, optyczne i kinetyczne zasady działania aparatu wzrokowego. Opierają się one na elementarnych prawach *optyki geometrycznej*, która operuje m.in. takimi pojęciami, jak: *promień świetlny* i *prostoliniowe rozchodzenie się światła*. Ich podstawę stanowią analizy tzw. *obrazu siatkówkowego* i tzw. *centralnej linii widzenia*, które tworzą zasadnicze elementy układu optycznego oka. Odzwierciedleniem *centralnej linii widzenia* jest linia prosta przebiegająca w trójwymiarowej przestrzeni. Dzięki temu do badań skomplikowanych relacji pomiędzy obrazem siatkówkowym we wnętrzu oka a rzeczywistym obrazem obiektów w przestrzeni wykorzystywać można elementarne graficzne konstrukcje geometryczne. Zastąpienie metod obliczeniowych graficznymi stało się możliwe dzięki zastosowaniu rozwiniętych, powszechnie dostępnych, komputerowych technik graficznych, takich jak np.*AutoCAD.* Pozwalają one wykreślać profile trybun z nieograniczoną dokładnością, umożliwiając precyzyjne mierzenie i wymiarowanie – zarówno w dwu, jak i w trójwymiarowej przestrzeni.

Szerzej w tekście: p. 2.4. Wykreślne metody projektowania profilu widowni, s.130-152.

KĄT NACHYLENIA PŁASZCZYZNY OCZNEJ (γo)
– kąt zawarty pomiędzy płaszczyzną oczną lub płaszczyzną do niej równoległą a płaszczyzną poziomą; mierzony na płaszczyźnie pionowej prostopadłej do krawędzi przenikania obu tych płaszczyzn. Kąt ten jest równy kątowi nachylenia widowni, gdyż płaszczyzna oczna jest równoległa do płaszczyzny stycznej do krawędzi stopni trybun widowni.

Szerzej w tekście: rys. 2-1 (s. 98).

KĄT NACHYLENIA SCHODÓW (η)
– kąt zawarty pomiędzy płaszczyzną styczną do zewnętrznych krawędzi stopni schodów (nosków) lub płaszczyzną równoległą do niej a płaszczyzną poziomą; mierzony na płaszczyźnie pionowej, prostopadłej do krawędzi przenikania obu tych płaszczyzn.

Szerzej w tekście: p. 3.1. Teoretyczne podstawy projektowania schodów, s. 175-179, rys. 3-1 do 3-4.

KĄT NACHYLENIA WIDOWNI (λ)

– kąt zawarty pomiędzy płaszczyzną styczną do zewnętrznych krawędzi stopni trybun widowni lub płaszczyzną do niej równoległą a płaszczyzną poziomą mierzony na płaszczyźnie pionowej, prostopadłej do krawędzi przenikania obu tych płaszczyzn.

Szerzej w tekście: rys.2-1 (s.98).

KOŁO MAKSYMALNEGO ZASIĘGU WIDZENIA, (KZW)

– wyznacza granicę minimalnego kąta widzenia piłki (ψ = 4`); dla piłki nożnej koło o promieniu Rk=127m

Szerzej w tekście: rys.1-12 do 1-14, także 2.5.Graniczne położenie linii ocznej najdalszego rzędu,s. 152-154, rys. 2-29.

KORYTARZ POŁUDNIKOWY

– główny element systemu komunikacyjno-ewakuacyjnego widowni, przebiegający pomiędzy dwoma sektorami siedzisk. Łączy on wejście na powierzchnię widowni (womitorium) z poszczególnymi tarasami rzędów sektora i ma postać schodów, których bieg ma na ogół kierunek prostopadły do krawędzi stopni widowni. W rzucie ogólnym całej widowni biegi tych schodów tworzą układ dośrodkowy, dlatego, przez analogię do systemu siatki kartograficznej, nazwano je schodami lub korytarzami południkowymi. W ujęciu tym linie rzędów, podobnie jak i korytarze do nich równoległe, mają układ równoleżnikowy.

Szerzej w tekście: fot. 4-1 (s. 199) oraz fot. 4-4 (s. 201), rys. 4-1 (s. 202).

KROK POZIOMY, PIONOWY I POCHYŁY

Człowiek posiada zdolność poruszania się po płaszczyźnie poziomej, wykorzystując tzw. *krok poziomy*, pionowo po drabinie dzięki tzw. *krokowi pionowemu* i po pochylni lub schodach dzięki krokowi, któremu nadano nazwę „*kroku pochyłego*". W pierwszym przypadku przemieszczanie ciała następuje w kierunku poziomym, w drugim pionowym, a w trzecim równocześnie w poziomym i pionowym. Analizując te ruchy w odniesieniu do jednego stopnia schodów, można je przedstawić wektorowo. W pierwszym przypadku będzie to wektor poziomy, w drugim pionowy, a w trzecim, wypadkowy skierowany w dół lub w górę, którego składowymi są wektory poziomy i pionowy. Z badań antropometrycznych i ergonomicznych wynika, że długość uśrednionego kroku poziomego mężczyzny i kobiety wynosi 630mm, a ustalony na tej samej zasadzie krok pionowy stanowi jego połowę i jego wysokość wynosi 315mm. Relacje pomiędzy wysokością i głębokością stopnia schodów wygodnych, które uosabiają składowe *kroku pochyłego,* ustala matematyczna funkcja liniowa. Jej wykresem na płaszczyźnie w kartezjańskim układzie współrzędnych jest linia prosta dana równaniem y=ax+b, gdzie „y" oznacza wysokość stopnia (H), „x" oznacza głębokość stopnia (S). Wyraz wolny „b", ustalający punkt przecięcia osi „y" (przy x=0), posiada wartość równą wysokości kroku pionowego (315mm). Współczynnik kierunkowy „a", ustalający nachylenie prostej i jej punkt przecięcia z osią „x", posiada wartość a=-0,5. Po zastosowaniu oznaczeń powszechnie stosowanych w projektowaniu schodów równanie to przybiera formę: H=-0,5S+315, i jest przekształconą postacią równania 2H+S=630.

Szerzej w tekście: p. 3.1. Teoretyczne podstawy projektowania schodów, s. 175-179, rys. 3-1 do 3-4.

KRZYWOLINIOWY PROFIL WIDOWNI

– profil, który ustala takie rozmieszczenie nominalnych punktów oka, że z każdego z nich widoczny jest ten sam punkt fokusu. Inaczej mówiąc, wszystkie linie widzenia fokusu ogniskowane są w jednym, wspólnym punkcie fokusu, spełniając równocze-

śnie warunek przebiegu przez punkty przewyższenia PCx, usytuowane w odległości Cx ponad punktem oka poprzedniego rzędu. Punkty oka poszczególnych rzędów widowni leżą na tzw. *krzywej idealnej,* która jest krzywą paraboliczną. Cechą wyróżniającą profil krzywoliniowy jest progresywne zwiększanie się wysokości stopnia trybuny w każdym następnym rzędzie, w miarę oddalania się od punktu fokusu. Profil ten jest w istocie szczególnym profilem prostoliniowym łamanym, w którym odcinki łamanej linii ocznej obejmują tylko dwa sąsiednie punkty oka, przesunięte o jedną głębokość rzędu.

Szerzej w tekście: p. 2.4.2. Krzywoliniowy profil widowni, s. 142-145, rys. 2-27, fot. 2-10 i 2-11.

LINIA FOKUSÓW (LF)
– zbiór punktów fokusu całej widowni, tworzący dla danego przewyższenia Cx linię ciągłą, przebiegającą w założonej, stałej odległości od pierwszego punktu oka (LOk1). W przypadku widowni o profilu krzywoliniowym jest to jedna linia o kształcie odzwierciedlającym kształt rzędów widowni, w przypadku widowni o profilu prostoliniowym jest to szereg równoległych linii, odpowiadających poszczególnym rzędom.

Szerzej w tekście: 2.8. Linie fokusów – wyznaczanie krytycznego pola widowni w rejonie narożnika boiska, s. 160-165, rys. 2-33, 2-34 i 2-35.

LINIA PŁASZCZYZNY (POWIERZCHNI) OCZNEJ, linia oczna profilu (LPo) – linia łącząca poszczególne punkty oka w profilu widowni. W przypadku profili prostoliniowych linia prosta równoległa do linii bazowej budowlanego profilu trybun; w przypadku profili krzywoliniowych – krzywa paraboliczna. Linia ta jest przekrojem płaszczyzny lub powierzchni ocznej pionową płaszczyzną rzutni profilu.

Szerzej w tekście: p. 2.1. Przewyższenie linii widzenia – główne parametry antropometryczne i geometryczne kształtujące profil widowni, s. 97-101, rys. 2-1, 2-2 i 2-3

LINIA OCZNA RZĘDU WIDOWNI (Lo)
– linia teoretyczna będąca zbiorem punktów oka dowolnego rzędu widowni, na całej jej długości lub obwodzie. Linia ta jest wyniesiona ponad płaszczyznę stopnia widowni o nominalną wartość antropometrycznej wysokości ocznej, równą 120 cm dla pozycji siedzącej i 160 cm dla pozycji stojącej. Jej kształt odzwierciedla geometrię poziomą rzędu widowni. Przebiega ona równolegle do krawędzi stopnia widowni i jest przesunięta w kierunku poziomym o nominalną wartość równą 25 cm od tylnej jego krawędzi. Linie oczne wszystkich rzędów widowni wyznaczają płaszczyznę (w przypadku widowni o profilu prostoliniowym) lub wklęsłą powierzchnię (w przypadku widowni o profilu krzywoliniowym) oczną widowni.

Szerzej w tekście: p. 2.8. Linie fokusów – wyznaczanie krytycznego pola widowni w rejonie narożnika boiska, s. 160-165, rys. 2-33, 2-34 i 2-35.

MINIMALNY (ANATOMICZNY) KĄT WIDZENIA (ψm)
– kąt widzenia równy 0°1′ (0,017°), wynikający z rozdzielczości receptorów siatkówki oka ludzkiego, pozwalający rozróżnić dwa punkty w przestrzeni jako oddzielne obiekty.

MINIMALNY KĄT WYRAŹNEGO WIDZENIA (ψw)
– kąt widzenia równy 0°4′ (0,068°) pozwalający na wyraźne widzenie ruchomych elementów gier sportowych, takich jak piłka czy krążek. Kąt ten stanowi podstawę do obliczania maksymalnego zasięgu wyraźnego widzenia w poszczególnych dyscyplinach sportu. W przypadku piłki nożnej, której średnica wynosi 22cm, zasięg ten wynosi 190 m. Dla odległości tej kątowy wymiar piłki wynosi 0°4′.

Szerzej w tekście: p. 1.6. Zasięg widzenia, s. 89-93, rys. 1-12 do 1-15.

NOMINALNA WARTOŚĆ OKREŚLONEGO PARAMETRU WIDOWNI

– wartość narzucona przez obowiązującą normę, wytyczne lub zalecenia; także wartość założona, modelowa lub teoretyczna - wynikająca z zastosowania określonej metody projektowania i potrzeby uśrednienia jej wyników.

NORMALNE NACHYLENIE CENTRALNEJ LINII WIDZENIA

– najbardziej naturalne, najwygodniejsze i wymagające najmniejszego wysiłku ustawienie centralnej linii widzenia w płaszczyźnie pionowej. Dla obserwatora w pozycji siedzącej jest to nakierowanie centralnej linii widzenia w dół pod kątem 38° w stosunku do położenia poziomego – dla pozycji stojącej kąt ten wynosi 30°.

Szerzej w tekście: p. 1.3.4. Zakres widzenia, s. 78-79, rys. 1-9, także rys. 2-31 (s. 157).

OBLICZENIOWA METODA WYZNACZANIA PROFILU WIDOWNI

– metoda polegająca na matematycznym wyliczaniu współrzędnych poszczególnych punktów oka tworzących profil widowni, opierająca się na prawie podobieństwa trójkątów. Są to trójkąty prostokątne leżące na rzutni profilu widowni. Większy z nich określa położenie punktu przewyższenia linii widzenia fokusu (PCx) ponad okiem w rzędzie poprzedzającym (Ok(n-1)) w układzie bezwzględnym, tzn.w odniesieniu do punktu fokusu – mniejszy definiuje położenie analizowanego punktu oka (Ok(x)) w układzie względnym, tzn. w odniesieniu do parametrów pojedynczego rzędu i punktu PCx. Wspólnym elementem obu trójkątów jest linia widzenia fokusu analizowanego punktu oka (Ok(x)), na której leżą przeciwprostokątne tych trójkątów. Definicja projektowanego profilu wymaga przyjęcia założeń wyjściowych w postaci takich parametrów jak: współrzędne punktu pierwszego oka, odniesione do punktu fokusu (LOk1 i HOk1), przewyższszenie linii widzenia fokusu (Cx) oraz przesunięcie poziome punktu oka (S). Obliczenia wykonuje się przy zastosowaniu równania: Px/S = (HOk(n-1)+Cx)/LOk(n-1), gdzie Px oznacza przewyższenie punktu oka Okx nad punktem PCx w rzędzie poprzednim.

Szerzej w tekście: p. 2.4.2. Krzywoliniowy profil widowni, s. 142-145, rys. 2-27.

OBRAZ REPROJEKCYJNY

– przekrój ostrosłupa widzenia prostokątnego pola boiska płaszczyzną prostopadłą do dwusiecznej pionowego kąta widzenia αb, kiedy płaszczyzna ta równocześnie przechodzi przez linię boczną boiska. Płaszczyznę tę nazwano przednią płaszczyzną projekcji (PPP). Tego rodzaju projekcja odwrotna, tj. od tyłu ekranu, znana jest w kinematografii pod nazwą reprojekcji, a odrzutowany w ten sposób obraz nazywany jest obrazem reprojekcyjnym. Pojęcie obrazu reprojekcyjnego przydatne jest w analizach wpływu pionowego kąta widzenia na parametry jakościowe obrazu oraz badaniu przewyższeń linii widzenia fokusów rzeczywistych w zależności od kształtu widowni oraz kształtu i wielkości pola obserwacji.

Szerzej w tekście: p.2.2. Pionowy kąt widzenia, s. 106-112, rys. 2-6, 2-7, 2-8, 2-11 i 2-12.

OBRAZ SIATKÓWKOWY OBIEKTU

– zbiór obrazów siatkówkowych poszczególnych punktów materialnych leżących na widocznej powierzchni oglądanego obiektu.

Szerzej w tekście: p. 1.3.1. Oko, s. 70-73, rys. 1-3

ODLEGŁOŚĆ OKA PIERWSZEGO RZĘDU OD FOKUSU (LOk1)

– mierzona w poziomie odległość punktu oka pierwszego rzędu profilu widowni (OK1) od nominalnego punktu fokusu

bliższego (F1); także od linii fokusów bliższych (LF1). Parametr ten ustala relacje pomiędzy areną i widownią. Jego wartość ma duży wpływ na nachylenie profilu widowni, a w przypadku profilu krzywoliniowego na jego kształt.

Szerzej w tekście: p. 2.4.1. Prostoliniowy profil widowni, s. 130-137, rys. 2-22 i 2-23, także 2.4.2.Krzywoliniowy profil widowni, s. 142-144, rys. 2-27.

OPTYKA GEOMETRYCZNA
– najstarsza i podstawowa do dziś część optyki. Wprowadza pojęcie *promień świetlny* jako cienką strużkę światła (odpowiednik prostej w geometrii). Opisuje rozchodzenie się światła jako bieg promieni, bez wnikania w naturę światła. Według optyki geometrycznej światło rozchodzi się w ośrodkach jednorodnych po liniach prostych, na granicy ośrodków ulega odbiciu, a przechodząc do drugiego ośrodka ulega załamaniu.

OSTROSŁUP WIDZENIA POLA BOISKA
– tworzą go, wyprowadzone z dowolnego punktu oka widowni, linie widzenia narożników prostokątnego pola boiska. Wierzchołkiem tego ostrosłupa jest punkt oka, a podstawą pole boiska, leżące na poziomej płaszczyźnie areny. W wyniku przedłużenia linii widzenia we wnętrzu oka powstaje ostrosłup podobny, odwrócony i pomniejszony, którego wierzchołkiem jest centralny punkt soczewki oka, a podstawą, odrzutowany na powierzchni siatkówki, obraz pola boiska. Jeżeli opisany powyżej układ ostrosłupów przekroi się płaszczyzną pionową przechodzącą przez punkt oka i prostopadłą do linii fokusów bliższych, to wyznaczy ona przekrój tych brył w postaci trójkątów podobnych o wspólnym wierzchołku w punkcie oka i jednakowym kącie wierzchołkowym. Kąt ten jest tzw. pionowym kątem widzenia, a jego wielkość decyduje o wysokości obrazu siatkówkowego obserwowanego obiektu. Im pionowy kąt widzenia jest większy, tym wysokość obrazu jest większa.

Szerzej w tekście: p. 2.2.1. Ostrosłup widzenia, s. 110-112, rys. 2-6 (s. 108).

OŚ ANATOMICZNEGO POLA WIDZENIA (OPW)
– centralna linia widzenia anatomicznego pola widzenia. Z definicji tego pola wynika, że pozycja tej osi ustalana jest przez pozycję siedziska i że pokrywa się ona z osią siedziska. Pozycja tej osi odrzutowana na płaszczyznę poziomą stanowi odniesienie dla poziomego zakresu widzenia oraz odniesienie dla zakresu rotacji osi pola obserwacji.

Szerzej w tekście: p. 1.3.2. Pole widzenia, s. 72 oraz 2.3. Poziomy kąt widzenia, s. 121-130, rys. 2-21, także 5.6. Schody o biegach ukośnych – widownie prostoliniowe o cechach widowni łukowych, s. 229-238, rys. 5-13, również rys. 5-16 A (s. 242).

OŚ POLA OBSERWACJI (OPO)
– dwusieczna poziomego kąta widzenia pola obserwacji. Kąt ten określany jest przez odrzutowane na płaszczyznę poziomą linie widzenia skrajnych punktów tego pola. Oś pola obserwacji stanowi odniesienie dla ustalania, wyrażonych kątowo, poziomych zakresów widzenia, które charakteryzują komfort widzenia określonego punktu oka usytuowanego na widowni. Pozwala ona również określać stopień dywergencji w stosunku do osi anatomicznego pola widzenia.

Szerzej w tekście: p. 2.3. Poziomy kąt widzenia, s. 121-130, rys. 2-21, także 5.6. Schody o biegach ukośnych – widownie prostoliniowe o cechach widowni łukowych s. 229-238, rys. 5-13, również rys.5-16 A (s. 242).

PASMO LINII WIDZENIA FOKUSU (Pf)
– układ równoległych linii widzenia fokusu (LWFx), biegnących z poszczególnych

punktów oka (Okx) profilu prostoliniowego przez punkty przewyższenia (PCx) do przecięcia z płaszczyzną areny. Linie te są przesunięte wobec siebie w pionie o stałą wartość, równą przewyższeniu Cx. Pasmo linii widzenia fokusu osiąga ponad punktem oka pierwszego rzędu (Ok1) swój pełny wymiar wysokości (HPf).Wysokość ta (przekrój pionowy pasma) jest wielokrotnością przewyższenia Cx i wynosi HPf=Cx×(n-1), gdzie „n" oznacza liczbę rzędów. Padając na poziomą płaszczyznę areny pasmo wyznacza punkty fokusu poszczególnych rzędów profilu (punktów oka). Są one przesunięte wobec siebie w poziomie o wartość modułu pasma MPf=Cx/tgβf1, gdzie βf1 jest kątem nachylenia linii widzenia fokusu. Rozpiętość pomiędzy najbliższym i najdalszym punktem fokusu (przekrój poziomy pasma) nazwano *szerokością pasma fokusów* (SPf); SPf=MPf×(n-1).

Szerzej w tekście: p. 2.4.1. Prostoliniowy profil widowni, s. 130-137, rys. 2-22 i 2-23.

PIONOWY KĄT WIDZENIA (α)

– kąt zawarty pomiędzy liniami widzenia skrajnych punktów obserwowanego obiektu, gdy linie te leżą na płaszczyźnie pionowej lub gdy są odrzutowane na płaszczyznę pionową. Kąt ten wyznacza optyczną wysokość kątową obiektu i jego obrazu siatkówkowego.

Szerzej w tekście: 2.2. Pionowy kąt widzenia, s. 106-110, rys. 2-6, 2-7 i 2-8.

PIONOWY NORMALNY ZAKRES WIDZENIA

– zakres normalnego widzenia rozpatrywany w płaszczyźnie pionowej (odrzutowany na płaszczyznę pionową). Zakres ten przy zespolonym ruchu oczu, głowy i tułowia wynosi 180°, symetrycznie po 90° w górę i w dół od poziomej centralnej linii widzenia. Strefa poza zasięgiem widzenia wynosi 180°. Niesymetrycznie wobec poziomej linii widzenia rozkładają się granice pola postrzeganego przy wyłącznym ruchu gałek ocznych. Granica ta sięga 7,5° ponad tę linię i 30° w dół poniżej tej linii. Ruch oczu zapewnia łącznie kąt normalnego widzenia równy 37,5°. Zakres normalnego widzenia osiągany przy zespolonych ruchach oczu i głowy wynosi 120°, tzn. 60° w górę, ponad horyzont i 60° w dół, poniżej horyzontu.

Szerzej w tekście: p. 1.3.4. Zakres widzenia, s. 78-79, rys. 1-9.

PŁASZCZYZNA WIDZENIA LINII FOKUSÓW

– płaszczyzna, po której przesuwa się centralna linia widzenia dowolnego punktu oka (Ok(x)) fiksująca poszczególne punkty bliższej krawędzi bocznej prostokątnego pola boiska. Jest to płaszczyzna, na której leży jeden z boków ostrosłupa widzenia tego pola. Z analizy przebiegu linii widzenia prostokątnego pola boiska z dowolnego punktu oka Ok(x), usytuowanego na widowni (rys. 2-2) wynika, że dwie z nich mają najistotniejsze znaczenie dla jakości widzenia. Są to linie widzenia punktów fokusu usytuowanych w bliższych narożnikach boiska (F` i F``). Są to skrajne położenia centralnej linii widzenia przy obserwacji bliższej krawędzi boiska. Centralna linia widzenia, gdy śledzi poszczególne punkty fokusu leżące na tej krawędzi, porusza się po jednej płaszczyźnie, gdyż punkt oka (punkt obrotu) jest stały, a obserwowana linia boczna boiska F`F``jest odcinkiem linii prostej. Linię tę nazwano linią fokusów (LF), a płaszczyznę, płaszczyzną widzenia linii fokusów (PWF). Warunkiem niezakłóconej widoczności linii fokusów jest takie usytuowanie płaszczyzny PWF, by żaden obiekt w obrębie widowni lub areny nie przebijał pola leżącego na niej trójkąta widzenia F`F``Ok(x), a co najwyżej był do niego styczny.

Szerzej w tekście: p. 2.1. Przewyższenie linii widzenia – główne parametry antropometryczne i geometryczne kształtujące profil widowni, s. 97-101, rys. 2-2 i 2-3, także 2.2.1. Ostrosłup widzenia, s. 110-112, rys. 2-6 (s. 108).

PODZIAŁKA WIDOWNI
– stosowany w konstruowaniu wykresu profilu widowni układ pionowych osi, przechodzących przez poszczególne punkty oka należące do tego profilu. Osie te uosabiają linie oczne poziomego rzutu widowni lub rzędy widowni. Ich poziomy rozstaw ma stałą wartość równą głębokości rzędu (S).

Szerzej w tekście: rys. 2-1 (s. 98), rys. 2-22 (s. 131).

POLE OBSERWACJI
– obszar w obrębie areny, dla którego należy zapewnić niezakłócone widzenie każdego punktu jego powierzchni z każdego miejsca na widowni. W przypadku gier zespołowych jest to pole boiska o określonym kształcie i wielkości – ze ściśle oznaczonymi granicami. W celu uzyskania pełnego obrazu pola obserwacji aparat analizatora wzrokowego przestawia – za pośrednictwem ruchów gałki ocznej, głowy, a w szczególnych przypadkach tułowia – centralną linię widzenia, nakierowując ją w pierwszej kolejności na skrajne punkty tego pola.

Szerzej w tekście: p. 2.2.1. Ostrosłup widzenia, s. 110-112, rys. 2-6 (s. 108).

POZIOMY KĄT WIDZENIA (δ)
– kąt zawarty pomiędzy liniami widzenia skrajnych punktów obserwowanego obiektu, gdy linie te leżą na płaszczyźnie poziomej lub gdy są odrzutowane na płaszczyznę poziomą. Kąt ten wyznacza optyczną szerokość kątową obiektu i jego obrazu siatkówkowego.

Szerzej w tekście: 2.3. Poziomy kąt widzenia, s. 121-130, rys. 2-19 do 2.21, także rys. 2-6 (s. 108).

POZIOMY NORMALNY ZAKRES WIDZENIA
– zakres normalnego widzenia rozpatrywany w płaszczyźnie poziomej (odrzutowany na płaszczyznę poziomą). Zakres ten osiągany przy zespolonym ruchu oczu, głowy i tułowia wynosi ok. 220°, symetrycznie po 110° na lewo i prawo od osi centralnej Oznacza to, że strefa poza zasięgiem widzenia wynosi 140°. Dzięki wyłącznemu ruchowi oczu widzimy pole ograniczone kątem 30° (± 15°). Zespolony ruch oczu i głowy pozwala natomiast, ogarnąć pole określone kątem 75° (± 37,5°).

Szerzej w tekście: p. 1.3.4.Zakres widzenia, s. 78-79, rys. 1-8.

PROFIL WIDOWNI (PW)
– pionowy, teoretyczny przekrój widowni (wykreślony na rzutni profilu widowni) przedstawiający wykres układu pionowych wyniesień i poziomych przesunięć *punktów oka* w poszczególnych rzędach, wraz z charakterystycznymi parametrami, takimi jak: wykres linii widzenia fokusu dla wszystkich *punktów oka,* odległość fokusu od oka pierwszego rzędu, wyniesienie oka pierwszego rzędu, nachylenia płaszczyzny ocznej, pionowe kąty widzenia, przewyższenia linii widzenia, głębokość i szerokość rzędu. Kontur profilu widowni odzwierciedla budowlany kontur trybun, który jest w stosunku do niego obniżony o wartość nominalnej antropometrycznej wysokości ocznej (H=120 cm) i przesunięty w poziomie w kierunku areny o wartość Sp=S-25cm, gdzie: S – głębokość rzędu, 25 cm – nominalne poziome przesunięcie punktu oka w stosunku do tylnej krawędzi rzędu.

Szerzej w tekście: p. 2.4. Wykreślne metody projektowania profilu widowni, s. 130-152, rys. 2-22 i rys. 2-27.

PROFIL WIDOWNI POCHODNY OD SCHODÓW NORMALNYCH
– profil widowni, w którym geometria stopnia widowni powstaje w wyniku zwielokrotnienia wymiarów stopnia schodów południkowych normalnych. Na przykład przy założeniu, że stopień widowni odpowiada trzem stopniom określonych schodów normalnych, otrzymuje się profil widowni ze stopniami trybun o potrójnej głębokości i potrójnej wysokości stopnia schodów. Ponieważ oba rodzaje stopni są geometrycznie podobne, nachylenie widowni

i nachylenie schodów jest jednakowe. Przedział nachyleń schodów normalnych ogranicza się do zakresu od 21° do 35°. Powoduje to, że liczba odpowiadających tym nachyleniom rodzajów stopni schodów, a co za tym idzie stopni trybun, jest również ograniczona. Biorąc pod uwagę realność wykonawczą, ustalono szereg wymiarowy, w którym wysokości stopni schodów normalnych zmieniają się co 5mm, a odpowiadające im głębokości co 10mm. Dla tego założenia zbiór schodów normalnych ogranicza się do dziesięciu rodzajów. Tyle też liczy zbiór profili widowni pochodnych od tych schodów. Profile te ponumerowano i opracowano dla nich tabelaryczne zestawienie wszystkich ich parametrów. Zaletą tych profili jest komfort użytkowy wynikający z zastosowania schodów wygodnych.

Szerzej w tekście: p. 3.2. Profil widowni pochodny od profilu schodów normalych, s. 179-181, rys. 3-5.

PROMIEŃ ŚWIETLNY

– nieskończenie wąska wiązka światła. Jest to model używany do opisu rozchodzenia się światła w *optyce geometrycznej*. W ośrodku jednorodnym, tzn. takim, którego właściwości są jednakowe w każdym jego punkcie, promienie rozchodzą się po liniach prostych. Na granicy ośrodków o różnych współczynnikach załamania ulegają odbiciu i załamaniu.

PROSTOLINIOWY PROFIL WIDOWNI

– profil, w którym nominalne punkty oka (Ok) poszczególnych rzędów widowni leżą na jednej linii prostej (linia oczna profilu (Po)).Linia ta jest równoległa do linii stycznej do zewnętrznych krawędzi stopni rzędów widowni i linii tzw. prowadnicy nachylenia widowni (PNW). Linia oczna jest wyniesiona w stosunku do tej ostatniej o wartość nominalnej wysokości ocznej (120cm). Charakterystyczną cechą tego profilu jest przebieg linii widzenia fokusu (LWF), które tworzą wiązkę (pasmo) linii równoległych, przesuniętych w pionie o wartość przewyższenia Cx. W związku z tym widzialność założonego punktu fokusu dla wszystkich punktów oka profilu jest zapewniona wtedy, gdy jest ona zapewniona dla tylko jednego punktu, którym jest punkt najdalszego oka. Pasmo linii widzenia fokusu, padając na płaszczyznę areny, wyznacza szereg punktów fokusu oddzielnych dla każdego rzędu. W rzucie poziomym widowni tworzą one pasmo linii fokusów o kształcie odzwierciedlającym kształt rzędów widowni. Szerokość tego pasma (SPf) zależy od liczby rzędów widowni i w przypadku dużych widowni może osiągać znaczne wymiary.

Szerzej w tekście: p 2.4.1. Prostoliniowy profil widowni, s. 130-138, rys. 2-23 i 2-24.

PROSTOLINIOWY ŁAMANY PROFIL WIDOWNI

– profil, w którym nominalne punkty oka (Ok) poszczególnych rzędów widowni leżą na linii ocznej, składającej się z wielu odcinków linii prostej, tworzących linię ciągłą łamaną. Poszczególne segmenty linii ocznej mają coraz większe nachylenia, w wyniku czego powstaje linia łamana wklęsła. Nachylenia te projektuje się w taki sposób, by punkty fokusu ostatnich rzędów poszczególnych segmentów pokrywały się, dzięki czemu szerokości pasm linii fokusów tych pasm również się pokrywają. W efekcie, w porównaniu z profilem prostoliniowym, szerokość pasma linii fokusów całej widowni jest znacznie mniejsza. To z kolei pozwala na przybliżenie pozycji punktu pierwszego oka do pola boiska. Charakterystyczną cechą profilu prostoliniowego jest stałe przewyższenie oka dla całego profilu, a co za tym idzie stała wysokość stopnia trybun.

Szerzej w tekście: p. 2.4.1.4. Profil prostoliniowy łamany, s. 138-141, rys. 2-25 i 2-26.

PRZEPUSTOWOŚĆ PRZEJŚCIA EWAKUACYJNEGO

– sprawność przejścia ewakuacyjnego mierzona liczbą osób, które w czasie jednej minuty są w stanie przemieścić się po tym przejściu. Wymagana przez normę PN-EN 13 200-1 przepustowość przejścia ewakuacyjnego na widowniach stadionowych została określona doświadczalnie, w warunkach eksploatacyjnych widowni istniejących stadionów. Wedug tej normy przy poruszaniu się po drogach ewakuacyjnych w obrębie widowni, takich jak: schody korytarzy południkowych, korytarze równoleżnikowe, przejścia w rzędach i womitoria przepustowość (P) wynosi 79 osób/1min/ 1,2m szerokości przejścia. Norma ta stanowi równocześnie, że minimalna szerokość głównych dróg ewakuacji, takich jak schody południkowe i womitoria nie może być mniejsza niż dwa pasma ruchu o szerokości 0.6m każde, a przejście w rzędzie nie może mieć mniejszej szerokości niż 35cm.

Szerzej w tekście: p. 4.2. Przepustowość przejścia ewakuacyjnego, także 4.3. Przepustowość układu ewakuacyjnego, s. 198-203, rys. 4-1.

PRZEWYŻSZENIE OKA (Px)

– wielkość względnego wyniesienia punktu oka w określonym rzędzie (Okn) profilu widowni ponad nominalny punkt przewyższenia (PCx) położony nad punktem oka w rzędzie poprzednim (Ok(n-1)). Przewyższenie oka(Px) jest jedną z dwóch składowych względnego wyniesienia oka (HOx). Drugą składową jest przewyższenie linii widzenia fokusu (Cx).

Szerzej w tekście: 2.4.1. Prostoliniowy profil widowni, s. 130-134, rys. 2-22 oraz 2.4.2.Krzywoliniowy profil widowni, s. 142-144, rys. 2-27.

PUNKT FOKUSU, fokus (Fo)

– położony w obrębie areny, główny punkt wykresu widoczności profilu widowni, w którym ogniskowane są linie widzenia biegnące z punktów oka poszczególnych rzędów widowni. Dla profilu widowni zasadnicze znaczenie ma fokus bliższy, gdyż definiuje on dolną (bliższą) krawędź niezakłóconego pola obserwacji. Należy on do linii fokusów bliższych, która zwykle pokrywa się z linią określającą granice pola gry.

Szerzej w tekście: p. 2.1. Przewyższenie linii widzenia – główne parametry antropopmetryczne i geometryczne kształtujące profil widowni, s. 97-99, także s. 105-106, rys. 2-5 oraz 2.9. Uniwersalny profil widowni, s. 165-168, rys. 2-38 i 2-39

PUNKT OKA, oko (Ok)

– umowny punkt usytuowany w przestrzeni widowni, stosowany w graficznych i obliczeniowych metodach projektowania widowni, uosabiający tzw. *oko teoretyczne*, a dokładniej, środek geometryczny soczewki *oka teoretycznego.* Pojęcie *oka teoretycznego* (oko Cyklopa) zastępuje skomplikowany, stereoskopowy układ pary oczu. Wprowadza się go ze względu na potrzebę uproszczenia modelowych metod projektowania. Punkt ten umiejscowiony jest na przecięciu poziomej osi, przebiegającej przez środki geometryczne soczewek obu oczu rzeczywistych oraz, prostopadłej do niej, pionowej osi symetrii binarnego układu soczewek. Zakłada się, że punkt obrotu *teoretycznej gałki ocznej* pokrywa się z punktem środkowym jego soczewki, czyli z *teoretycznym punktem oka.* Ponadto, że oś pionowa i oś pozioma obrotu głowy przebiegają przez *teoretyczny punkt oka*, jak również, że pionowa oś obrotu tułowia pokrywa się z pionową osią głowy. Punkt oka zlokalizowany jest na wysokości równej antropometrycznej wysokości ocznej w pozycji siedzącej lub stojącej. Wyprowadzona z niego pozioma centralna linia widzenia pokrywa się z poziomą osią symetrii rozstawu gałek ocznych. Zakłada się równocześnie, że jego pionowa oś obrotu oddalona jest od tylnej krawędzi rzędu widowni o nominalną wartość 25cm.

Szerzej w tekście: p. 1.3. Charakterystyka aparatu wzrokowego człowieka, s. 69-81.

RELATYWNY OBRAZ SIATKÓWKOWY
– umowny obraz siatkówkowy powstający na tzw. tylnej płaszczyźnie projekcji symulującej siatkówkę oka. Autor stworzył modelowy aparat analityczny oparty na, charakterystycznej dla oka, zasadzie stałej odległości siatkówki od głównego punktu optycznego. Wprowadzając poza punktem oka płaszczyznę prostopadłą do dwusiecznej kąta widzenia αb, ustanawia się relatywną płaszczyznę projekcji ocznej, nazwaną tylną płaszczyzną projekcji (TPP), która symuluje siatkówkę oka. Wykreślając w trójwymiarowej przestrzeni linie widzenia poszczególnych punktów obserwowanego obiektu, a następnie przedłużając je poza punkt oka, do przebicia z tylną płaszczyzną projekcji, uzyskuje się ich relatywny obraz siatkówkowy. Przyjmując do analiz zawsze jednakową odległość tej płaszczyzny od punktu oka (OTP), uzyskuje się obrazy w tej samej, relatywnej skali, co pozwala na porównywanie ich pod względem kształtu i wielkości. Posługując się tą prostą metodą, można analizować cechy jakościowe obrazów, uzyskiwane przez dowolne punkty oka w całym obszarze widowni.

Szerzej w tekście: p. 2.2. Pionowy kąt widzenia, s. 106-118, rys. 2-6 do 2-9 oraz rys. 2-12 do 2-14.

RZĄD WIDOWNI
– linia oczna (Lo) przebiegająca w planie (rzucie poziomym) widowni przez punkty oka usytuowane na jednej wysokości ponad poziomem areny; także jeden ze stopni tarasowego układu przestrzennego widowni. Pozioma płaszczyzna tego stopnia jest powierzchnią użytkową widowni, służącą aranżacji stojących lub siedzących miejsc dla widzów. Miejsca te mają układ rzędowy, stąd nazwa rząd widowni.

Szerzej w tekście: rys. 2-1 (s. 98), rys. 2-33 (s. 161), rys. 2-34 i 2-35 (s. 162, rys. 4-1 (s. 202), fot. 3-3 (s. 193), fot. 3-5 (s. 194).

RZUTNIA PROFILU WIDOWNI
– pionowa płaszczyzna przekroju widowni, przebiegająca przez analizowany punkt lub punkty oka, pokrywająca się z pionową płaszczyzną osi anatomicznego pola widzenia, ustalaną kierunkiem osi siedziska. W przypadku widowni o rzucie prostokreślnym płaszczyzna ta jest prostopadła do krawędzi stopni trybun i najczęściej prostopadła do linii bocznej boiska. W przypadku widowni łukowych rzutnia profilu pokrywa się z południkiem łuku widowni, do którego należy analizowany punkt oka. Szczególnym przypadkiem jest widownia z diagonalnym układem siedzisk. W przypadku tym rzutnia profilu widowni przebiega przez oś symetrii siedziska i analizowany punkt oka, lecz nie jest prostopadła do krawędzi stopni widowni, ani też się nie pokrywa z określonym południkiem łuku widowni.

Szerzej w tekście: p. 2.7. Rzeczywiste płaszczyzny widzenia a nominalny profil widowni, s. 159-160, także rys. 2-1, s. 100.

SCHODY NORMALNE,
schody wygodne
– schody o geometrii dostosowanej do budowy anatomicznej człowieka oraz jego możliwości ruchowych. Poruszaniu się po nich towarzyszy najbardziej ekonomiczne zużycie energii i poczucie psychofizycznego komfortu. Powszechnie do ustalenia parametrów takich schodów wykorzystuje się metodę obliczeniową przy pomocy tzw. „algorytmu schodów wygodnych", w postaci równania algebraicznego $2H+S=630$, gdzie H oznacza wysokość stopnia, S oznacza jego głębokość, a 630 jest wyrażoną w milimetrach, uśrednioną długością kroku mężczyzny i kobiety. Nachylenia schodów normalnych mieszczą się w przedziale od 21° do 35°. Zakres ten ustalono na podstawie określonej normami DIN minimalnej głębokości stopni schodów wygodnych, równej 26cm i minimalnej ich wysokości, równej 14cm.

Szerzej w tekście: p. 3.1. Teoretyczne podstawy projektowania schodów, s. 175-179, rys. 3-1 do 3-4.

SCHODY O BIEGACH UKOŚNYCH, schody ukośne
– szczególny rodzaj schodów, w których kierunek biegu w rzucie poziomym nie jest prostopadły do krawędzi stopnic, lecz nachylony do nich. Kierunek poruszania się po takich schodach odpowiada kierunkowi biegu ustalanemu przez krawędzie policzkowe. O ich użytkowej przydatności decyduje naturalny dla człowieka sposób chodzenia, polegający na stawianiu lewej i prawej stopy niemalże na jednej linii, tworzącej oś kroku. Dzięki temu, mimo że krawędź noskowa stopnicy przebiega ukośnie do kierunku poruszania się, długość kroków lewej i prawej nogi jest równa, a geometria śladu lewej i prawej stopy na stopnicy jest niemalże jednakowa. Zainteresowanie tym rodzajem schodów w projektowaniu widowni wynika z faktu, że pozwalają one na poruszanie się po trawersie bardziej od nich stromej trybuny. Dzięki temu nachylenie trybun może być bardziej strome niż nachylenie schodów, które można projektować jako schody normalne – wygodne. Większe nachylenie widowni z kolei zapewnia lepszą widoczność. Schody ukośne umożliwiają ponadto projektowanie widowni prostokreślnych, mających jednak cechy widowni łukowych. Przebiegające po trawersach schody południkowe można aranżować w układzie dośrodkowym, uzyskując sektory nakierowane na centrum areny, co wraz z ukośnym, dośrodkowym układem siedzisk daje efekty użytkowe podobne do uzyskiwanych na widowniach łukowych.

Szerzej w tekście: p. 5.6. Schody o biegach ukośnych – widownie prostoliniowe o cechach widowni łukowych, s. 229-238, rys. 5-10 do 5-14.

STADION, stadion współczesny
– monumentalna budowla użyteczności publicznej, służąca organizowaniu widowisk o charakterze sportowym z udziałem wielkich rzesz widzów. Wykorzystywany jest również do innych celów, jak m.in. koncerty muzyczne, spektakle teatralne, imprezy rozrywkowe, zgromadzenia polityczne i religijne. Protoplastą współczesnych stadionów jest antyczny amfiteatr – budowla z centralną areną, otoczoną na całym obwodzie widownią. Ewolucyjny proces wykształcania się architektonicznej formy współczesnego stadionu rozpoczął się pod koniec XIX wieku w wyniku rozwoju współczesnego sportu, zwłaszcza gier dużego pola, takich jak piłka nożna, rugby, futbol amerykański i bejsbol oraz dyscyplin lekkoatletycznych. Duży wpływ na ten proces miał fakt powstania nowożytnego ruchu olimpijskiego, jak również międzynarodowych, światowych i kontynentalnych, turniejowych rozgrywek piłkarskich.

Dwa czynniki wpłynęły na zmianę natury współczesnego sportu, odgrywając zasadniczą rolę w najnowszej historii stadionu – są nimi komercjalizacja sportu i jego związki z telewizją. Letnie igrzyska olimpijskie w Rzymie (1960) miały dla współczesnego sportu charakter przełomowy. Międzynarodowy Komitet Olimpijski (MKOl) zdecydował wówczas po raz pierwszy o sprzedaży praw do transmisji telewizyjnych, uruchamiając tym samym proces przemian, polegający na stopniowym odchodzeniu od idei sportu amatorskiego na rzecz zawodowstwa. Oficjalna rezygnacja z formuły amatorskiej nastąpiła w roku 1981, a cztery lata później wydano zgodę na wykorzystanie symboli olimpijskich do celów komercyjnych. Decyzje te spowodowały gwałtowny wzrost telewizyjnej widowni i wpływów finansowych. Wkrótce potem inne dziedziny sportu, cieszące się zainteresowaniem kibiców na całym świecie, poszły śladem MKOl. Sport wszedł w świat przemysłu rozrywkowego. Telewizja uczyniła ze sportu masowe widowisko teatralne naszych czasów, swoiste misterium przełomu XX i XXI wieku. W tym kontekście współczesny stadion stał się wielkim studiem telewizyjnym, w którym widownia wypełniona kibicami stanowi ważny element scenograficzny, niezbędne tło dla wydarzeń rozgrywających się na arenie.

Pojemności widowni średnich i dużych stadionów najnowszej generacji zawierają się w przedziale od 30 do 90 tys. miejsc. Uległy one znacznemu zmniejszeniu w porównaniu z osiąganym na stadionach poprzednich generacji. Jak wynika ze źródeł historycznych, rekordową frekwencję publiczności odnotowano w roku 1950 na legendarnym *Estadio Maracana* w Rio de Janeiro, podczas finałowego meczu Mistrzostw Świata w Piłce Nożnej. Na trybunach znajdowało się wówczas ponad 200 tys. kibiców. Powodem tych spadków pojemności widowni są reformy przeprowadzone na początku lat dziewięćdziesiątych XX w. przez Światową Federację Piłki Nożnej (FIFA). W wyniku tej reformy wszystkie miejsca na widowniach stadionów piłkarskich muszą być wyposażone w indywidualne, numerowane siedziska z oparciami.

Forma widowni współczesnych stadionów powstaje w wyniku rozmieszczenia kilkudziesięciu tysięcy widzów w przestrzeni w taki sposób, że każdy z nich ma zapewniony niezakłócony widok na pole areny, komfortową przestrzeń indywidualnego miejsca oraz bezpieczne warunki komunikacji i ewakuacji. Podobnie jak w starożytnych budowlach widowiskowych, tworzą ją tarasowe układy stopni stanowiących tzw. rzędy.

Charakterystyczną cechą profilu widowni dużych współczesnych stadionów jest jego wielopiętrowość. Poszczególne piętra trybun nasuwają się balkonowo jedne nad drugimi, co pozwala uzyskiwać większe pojemności widowni, mieszcząc wszystkich widzów w polu zasięgu tzw. *dobrej widoczności.*

Areny pierwszych stadionów nowożytnych igrzysk olimpijskich były bardzo rozległe, gdyż mieściły tory kolarskie, bieżnie lekkoatletyczne, boiska piłkarskie i zespoły basenów pływackich. Tak bogaty zestaw funkcji powodował, że musiały być one bardzo rozległe, a okalające je widownie przekraczały dzisiejsze normy zasięgu widoczności. Tory kolarskie obecne były na arenach tych stadionów aż do roku 1928, czyli do olimpiady w Amsterdamie.

Proces formowania się kształtu i wielkości areny nowożytnego stadionu olimpijskiego trwał ok. 40 lat, a zakończyła go budowa stadionu olimpijskiego w Berlinie (1936). Polegał on na ustalaniu się rodzaju dyscyplin sportowych właściwych do rozgrywania na arenie głównego obiektu igrzysk. Ostatecznie pole areny przybrało kształt pochodny od owalu bieżni lekkoatletycznej, która z kolei, spełniając warunek czterystumetrowej długości torów, odpowiedniej długości prostych i promieni łuków, musiała zmieścić wewnątrz swojego obrysu normatywne boisko piłkarskie. Linia zewnętrzna areny z kolei wyznaczyła kształt dolnej widowni. Górne obrysy widowni natomiast ustalane były granicami zasięgu dobrego widzenia. Zasady te określiły kanon formy architektonicznej stadionu olimpijskiego na następne czterdzieści lat. Równolegle w tym czasie formował się drugi rodzaj stadionu, mianowicie stadion piłkarski z areną przeznaczoną wyłącznie na boisko do piłki nożnej, futbolu amerykańskiego lub rugby. Z czasem widownie łukowe wyparte zostały na tych stadionach przez coraz bardziej powszechne dziś widownie prostokreślne, tzn. o liniach rzędów równoległych do linii bocznych boiska. Areny tego typu stadionów przybrały natomiast kształt prostokąta.

Trudno byłoby twierdzić, że istnieje jakiś jeden, dominujący kanon kształtowania zewnętrznej formy architektonicznej najnowszych stadionów. Na pewno elementem decydującym o plastyce ogólnej bryły stadionu jest w znakomitej większości przypadków konstrukcja i forma dachu. W roku 2008 istniało na świecie 115 dużych stadionów, których całe widownie lub widownie i areny przekryte były dachem. Aż 40% z nich należy do drugiej grupy, którą można określić mianem stadionów halowych; pozostałe 60% to obiekty z dachem obwodowym, najczęściej o konstrukcji wspornikowej, osłaniającym samą tylko widownię. Stadiony halowe dzielą się na dwa rodzaje,

z dachem stałym oraz z dachem ruchomym, pozwalającym na otwieranie wnętrza.

Inną charakterystyczną cechą architektury najnowszych stadionów jest całkowite lub częściowe obudowywanie, wcześniej otwartych, stref zewnętrznych widowni, takich jak obejścia, pochylnie i schody. Ma to na celu podnoszenie komfortu tych stref, które osłonięte, na ogół przezroczystymi ścianami kurtynowymi, są mniej narażone na niedogodne warunki atmosferyczne. W przypadku stadionów halowych, budowlana przegroda zewnętrzna jest z natury rzeczy wręcz konieczna, gdyż wynika z definicji wnętrza zamkniętego. Obecność osłonowych ścian elewacyjnych zmienia zasadniczo wyraz architektoniczny stadionów, które upodobniają się do innych budynków użyteczności publicznej dużej skali. Wyraźnie widoczne na stadionach poprzedniej generacji charakterystyczne podniebienia widowni, ujawniające jej obecność w zewnętrznej bryle stadionu, znikają obecnie za parawanem ściany kurtynowej.

Szerzej w tekście: p. 1.2. Definicja współczesnego stadionu, s. 34-69.

UKŁAD DRÓG KOMUNIKACJI I EWAKUACJI WIDOWNI

– system przejść w obrębie widowni umożliwiający dojście do każdego indywidualnego miejsca oraz wyjście zeń do strefy poza widownią. Składa się on na ogół z przejścia w obrębie rzędu widowni, z przejścia w obrębie schodów południkowych i przejścia w obrębie womitorium. Niekiedy stosowane są dodatkowe przejścia równoleżnikowe umożliwiające przesuwanie położenia schodów południkowych w stosunku do womitorium, a także tworzenie dodatkowych połączeń komunikacyjnych pomiędzy tymi schodami. Projektowanie układu komunikacyjno-ewakuacyjnego polega na definiowaniu liczby, długości i szerokości tych przejść, przy uwzględnieniu komfortu i bezpieczeństwa obsługiwanych przez nie widzów. Podstawową decyzją projektową jest ustalenie liczby sektorów widowni, co na ogół wiąże się z ustaleniem liczby i rozmieszczenia womitoriów. Jednym z najważniejszych parametrów wyjściowych projektu jest tzw. czas ewakuacji, regulujący stopień sprawności ewakuacji, a przez to stopień bezpieczeństwa widowni.

Szerzej w tekście: Rozdział 4. Czas ewakuacji i jego wpływ na parametry dróg ewakuacyjnych, s. 197-211.

WIDOWNIA KOŁOWA

– widownia, której poszczególne rzędy stanowią idealne okręgi o wspólnym środku, usytuowanym w centralnym punkcie areny. Osie anatomicznego pola widzenia wszystkich punktów oka koncentrują się w tym właśnie punkcie, dzięki czemu ten typ widowni charakteryzuje się najbardziej jednorodnymi warunkami widoczności. Idealna kolistość wnętrza wytwarzanego przez taką widownię oddziałuje pozytywnie na widzów, zwiększając psychologiczne poczucie współuczestnictwa. Jest to znane z psychologii zjawisko oddziaływania *magicznego kręgu ogniska,* czy *okrągłego stołu*.

Szerzej w tekście: p. 1.7. Rodzaje widowni, s. 93-96, rys. 1-16; 2.3. Poziomy kąt widzenia, s. 121-130, rys. 2-20 i 2-21; 5.7. Widownia na planie koła,s. 238-243, rys. 5-15 i 5-16, także fot. 1-9, fot. 1-30 i fot. 1-31.

WIDOWNIA ŁUKOWA

– widownia o łukowej geometrii planu rzędów. Rodzaj widowni, znany i stosowany od czasów antycznych, zapewnia mniejszą lub większą koncentryczność osi anatomicznego pola widzenia poszczególnych punktów oka. Względy techniczno-ekonomiczne powodują, że w przypadku widowni łukowej odchodzi się dziś od projektowania pełnej linii łukowej, zastępując ją odcinkami linii prostej, które są cięciwami teoretycznego łuku wzorcowego.

Widownie łukowe występują w trzech wyraźnie rozróżnialnych odmianach. Pierwszą tworzą rozwiązania wykorzystujące geometrię koła. Drugą odmianę stanowią widownie owalne, o kształcie zbli-

żonym do elipsy, a trzecią takie, w których owal zbliżony jest kształtem do prostokąta. Linię owalu konstruuje się zwykle z trzech rodzajów, wzajemnie stycznych, łuków składowych.

Szerzej w tekście: p. 1.7. Rodzaje widowni, s. 93-96, rys. 1-16; 2.3. Poziomy kąt widzenia, s. 121-130, rys. 2-20 i 2-21, fot. 2-3 i 2-5, także fot. 3-5.

WIDOWNIA PROSTOKREŚLNA

– widownia, której rzędy tworzą w rzucie poziomym linie proste, równoległe do prostych linii bocznych pola boiska. Osie anatomicznego pola widzenia poszczególnych punktów oka przebiegają równolegle do siebie i prostopadle do linii bocznych boiska. Mankamentem tego typu widowni jest rozbieżność kierunku osi pola obserwacji (dwusieczna poziomego kata widzenia pola boiska) i kierunku osi anatomicznego pola widzenia. Rozbieżność ta jest szczególnie duża w rejonach widowni położonych w pobliżu narożników boiska, i jest tym większa, im niżej położone są miejsca obserwatorów.

Szerzej w tekście: p. 1.7. Rodzaje widowni, s. 93-96, rys. 1-17; 2.3. Poziomy kąt widzenia, s. 121-130, rys. 2-20 i 2-21, fot. 2-4 i 2-7.

WOMITORIUM

– miejscowe wycięcie fragmentu widowni, które zapewnia przestrzenne i komunikacyjne powiązanie pomiędzy widownią i zewnętrzną strefą funkcjonalną stadionu. Dzięki niemu możliwe jest wejście na określony fragment powierzchni trybun i wyjście z niego. Wycięcie to wymaga zabezpieczenia balustradowego na bocznych i górnych krawędziach i obejmuje z reguły kilka rzędów widowni. Klasyczne womitorium znane jest od czasów starożytnych. Szerokość womitorium wynika z pojemności sektora widowni, który jest przez nie obsługiwany i z założonego czasu ewakuacji. Wysokość otworu womitorium wynika z uwarunkowań antropometrycznych, podobnych do tych, które stosuje się przy projektowaniu korytarzy lub tuneli dla ruchu pieszego. Zwykle balustradom bocznym towarzyszą, przebiegające jednostronnie lub dwustronnie, schody południkowe, zapewniające dostęp do rzędów znajdujących się obok lub nad womitorium.

Szerzej w tekście: p. 4.3. Przepustowość układu ewakuacyjnego, s. 198-203, rys. 4-1, fot. 4-1, fot. 4-7.

WOMITORIUM RÓWNOLEŻNIKOWE

– womitorium, które powstaje w wyniku rozsunięcia stopni widowni i wprowadzenia, w uzyskaną w ten sposób szczelinę, schodów równoleżnikowych. Schody te łączą powierzchnię widowni z poziomem użytkowym znajdującym się pod nią. Ich biegi mają kierunek równoległy do kierunku belek nośnych rzędów widowni i nie wymagają przerywania ciągłości tych belek, jak to ma miejsce w przypadku klasycznego womitorium. Jedną z zalet tego systemu jest fakt, że rozsunięcie, zapewniające zmieszczenie zarówno dwóch jak i czterech pasm ruchu, można uzyskać w ramach jednego profilu widowni, czyli bez potrzeby podnoszenia i zmieniania profilu widowni górnej. Koncepcja takiego rozwiązania powstała przy projektowaniu przez autora tzw. *trybuny dziennikarskiej,* jako niezbędnego obiektu tymczasowego, umożliwiającego realizację widowni wschodniej na „Stadionie Śląskim". Obiekt ten został zrealizowany i funkcjonował przez okres budowy widowni wschodniej. Po zakończeniu tego etapu modernizacji rozebrano go i przeniesiono do jednego z klubów sportowych w okolicach Warszawy. O atrakcyjności tej koncepcji decydują nie tylko liczne walory konstrukcyjne i korzyści ekonomiczne, ale przede wszystkim jej walory architektoniczne. Zastosowanie womitoriów równoleżnikowych pozwala na całkowitą, w porównaniu z rozwiązaniami klasycznymi, zmianę wyrazu architektonicznego wnętrza stadionu.

Szerzej w tekście: p. 5.2. Womitoria równoleżnikowe, s. 214-221, rys. 5-6.

WSKAŹNIK POWIERZCHNI KOMUNIKACYJNO-EWAKUACYJNEJ WIDOWNI (Wk)

– wskaźnik określający powierzchnię korytarza południkowego (schodów południkowych), jako procentową część obsługiwanej przez ten korytarz powierzchni widowni. Wskaźnikowe określanie wymaganej powierzchni komunikacyjno-ewakuacyjnej możliwe jest dzięki proponowanej metodzie budowania modeli widowni z wykorzystaniem ewakuacyjnego modułu ewakuacyjnego (Mpw). Zestawienia tych wskaźników dla poszczególnych modeli sektorów widowni opracowano w postaci tabelarycznej. Dzięki temu decyzje dotyczące geometrii planu sektora widowni (szerokości i długości jego pola) mogą być podejmowane we wczesnych fazach projektowych z uwzględnieniem niezbędnych nakładów powierzchniowych na komunikację i ewakuację.

Szerzej w tekście: p. 4.7. Wskaźnik powierzchni komunikacyjno-ewakuacyjnej, s. 207, rys. 4-3.

WYKRES WIDOCZNOŚCI PROFILU WIDOWNI

– wykres linii widzenia punktu fokusu, obejmujący wszystkie projektowane punkty oka na rzutni profilu widowni. Podstawowy element profilu widowni poprzedzający opracowanie jego konturu budowlanego. W pracy przedstawiono uproszczoną metodę projektowania wykresu widoczności, wykorzystującą pojęcie linii ocznej i podziałki widowni.

Szerzej w tekście: p. 2.4. Wykreślne metody projektowania profilu widowni, s. 130-152, rys. 2-22 do 2-28.

WYNIESIENIE PIERWSZEGO OKA (HOk1)

– bezwzględne, odnoszone do poziomu areny, wyniesienie punktu oka pierwszego rzędu w profilu widowni. Parametr ten ustala relacje wysokościowe pomiędzy areną i widownią. Jego wartość ma duży wpływ na nachylenie profilu widowni, a w przypadku profilu krzywoliniowego – na jego kształt. Decyduje on ponadto o wysokości wyniesienia najdalszego punktu oka, czyli o całkowitej wysokości widowni. Ma też podstawowe znaczenie dla zakresu pionowych kątów widzenia charakteryzujących określony profil widowni.

Szerzej w tekście: p. 2.4.1.2. Determinanty nachylenia profilu, s. 137-138; p. 2.4.2.3. Determinanta wysokości pierwszego rzędu, s. 148-149

WYSOKOŚĆ OCZNA (HOs)

– względna, odnoszona do poziomu posadzki rzędu, wysokość wyniesienia punktu oka. W przypadku pozycji siedzącej składa się na nią antropometryczna wysokość oczna w pozycji siedzącej (WOs) i wysokość siedziska (Hk). W praktyce projektowej stosuje się nominalną wysokość oczną określoną przez normę (PN-EN 13 200-1). Dla pozycji siedzącej wynosi ona HOs=120cm, a dla pozycji stojącej HOst=160cm. Oznacza to, że cała widownia zaprojektowana jest dla jednej kategorii antropometrycznej widzów, charakteryzujących się taką właśnie cechą. Przy założeniu, że wysokość siedziska jest stała dla całej widowni i wynosi 43cm (z uwzględnieniem, równego 3cm, wyniesienia stopy podeszwą obuwia), nominalna wartość wysokości ocznej w pozycji siedzącej odpowiada mężczyznom kategorii M25c i kobietom kategorii K85c, w centylowej skali rozkładu wartości cech antropometrycznych dla populacji polskiej. Inaczej mówiąc, dla 75% mężczyzn i zaledwie 15% kobiet *wysokość oczna*, a co za tym idzie wyniesienie wierzchołka głowy w pozycji siedzącej, jest większa od normatywnej. Oznacza to równocześnie, że dla 25% mężczyzn i 85% kobiet *wysokość oczna* jest mniejsza od normatywnej.

Szerzej w tekście: p. 1.4. Istotne parametry antropometryczne, s. 82-86, rys. 1-10; 2.1. Przewyższenie linii widzenia – główne parametry antropometryczne i geometryczne kształtujące profil widowni, s. 97, rys. 2-1; 2.9.Uniwersalny profil widowni, s. 165-172.

WZGLĘDNE WYNIESIENIE PUNKTU OKA (HOx)

– pionowe wyniesienie dowolnego punktu oka (Okn) profilu widowni w stosunku do punktu oka w rzędzie poprzednim (Ok.(n-1)) .Aby spełnić warunek widzenia nominalnego punktu fokusu ponad głową widza z poprzedniego rzędu, oko obserwatora należy wynieść o wartość przewyższenia antropometrycznego (Ca=12cm), co zapewnia niezakłócony przebieg poziomej centralnej linii widzenia, oraz dodatkowo o wartość przewyższenia oka (Px). Przewyższenie oka musi mieć taką wartość, by, przy określonej głębokości rzędu (S), poprowadzona z tego oka najniższa linia widzenia, przechodząc stycznie do wierzchołka głowy widza w rzędzie poniższym (punkt przewyższenia PCx) osiągnęła założony punkt fokusu. Całkowite wyniesienie oka jest zatem sumą dwóch składowych i wynosi: HOx=Px+Cx. Przebieg linii widzenia fokusu (LWF) zależy od wartości głębokości rzędu (S) i wyniesienia oka Px, przy czym Px=HOx-Cx. Zależność tę określa równanie trygonometryczne: tg βf1=Px/S, gdzie kąt βf1 jest kątem nachylenia linii widzenia fokusu bliższego.

Szerzej w tekście: p. 2.4.1. Prostoliniowy profil widowni, s. 134, rys. 2-22, szczegół „b”.

WZORNIK NACHYLEŃ LINII WIDZENIA FOKUSU DLA TRYBUN O PROFILACH POCHODNYCH OD SCHODÓW NORMALNYCH

– wykresy linii widzenia fokusu dla profili prostoliniowych pochodnych od schodów normalnych, opisane i zebrane w jedną wiązkę linii, ogniskujących się w punkcie fokusu. Wykresy te tworzą wzornik umożliwiający pobieranie z niego w czasie pracy nad profilem projektowanej widowni gotowych wykresów linii widzenia i wstawianie ich do tworzonego modelu. W pracy przedstawiono przykładowy wzornik dla minimalnego (anatomicznego) przewyższenia Ca=12cm. Możliwe jest, na tej samej zasadzie, opracowanie katalogu tego typu wzorników, uwzględniających cały szereg dowolnych przewyższeń Cx.

Szerzej w tekście: p. 3.4.Wzornik nachyleń profili widowni pochodnych od profili schodów normalnych, s. 184-190, rys. 3-8, rys. 3-9, rys. 3-10, rys. 3-11, rys. 3-12.

ZAKRES NORMALNEGO WIDZENIA

– zakres normalnego pola obserwacji, tzn. takiego, które osiąga się przy największym poczuciu fizycznego i psychicznego komfortu i najmniejszym zmęczeniu obserwatora. Oko *widzi* centralnym punktem widzenia za pośrednictwem centralnej linii widzenia. Analizując obraz siatkówkowy oglądanego obiektu, nakierowuje centralną linię widzenia na badany punkt obiektu (fiksacja). Zakres pola fiksacji, lub inaczej pola obserwacji, zależy od ruchów samych gałek ocznych, ruchów samej głowy bądź tułowia lub od różnego stopnia zespolenia tych ruchów. Ograniczenia anatomiczne powodują, że poszczególne ruchy są możliwe tylko w określonych granicach.

Szerzej w tekście: p. 1.3.4. Zakres widzenia, s. 79, rys. 1-8 i rys. 1-9.

SŁOWNIK SKRÓTÓW

AutoCAD Program tworzony i rozpowszechniany przez firmę *Autodesk*, wykorzystywany do dwuwymiarowego i trójwymiarowego komputerowego wspomagania projektowania (CAD – ang., *Computer Aided Design).*

DIN Niemiecka Norma (DIN – niem., *Deutsches Institut für Normung*).

ETFE Mambrany w postaci całkowicie przeźroczystych folii wytwarzanych z polimeru, którym jest *etylen tetrafluoroetylen*, zwany w skrócie ETFE.

EURO-2012 Mistrzostwa Europy w Piłce Nożnej 2012, oficjalnie UEFA EURO 2012 – czternaste finały piłkarskich Mistrzostw Europy mężczyzn w historii, organizowane wspólnie przez dwa państwa: Polskę i Ukrainę.

FIFA Międzynarodowa Federacja Związków Piłki Nożnej (fr., *Fédération Internationale de Football Association*.

GMP *GMP – Architekten* lub *GMP – von Gerkan, Marg und Partner*; jedno z największych niemieckich architektonicznych biur projektowych, założone w 1965 i prowadzone do dziś przez znanych architektów Mainharda von Garkana i Volkwina Marga. Biuro specjalizuje się m.in. w projektowaniu stadionów.

HOK Największe architektoniczno-inżynierskie biuro projektowe na terenie USA i czwarte pod względem ilości zleceń i wielkości dochodów na Świecie. Nazwa pochodzi od pierwszych liter nazwisk założycieli firmy, którymi byli George Hellmuth, Gyo Obata i George Kassabaum. Powstała ona w roku 1955 w St. Louis. W roku 1983 utworzono w jej ramach jednostkę specjalizującą się w projektowaniu obiektów sportowych *HOK Sport Venue Event*, która objęła swym zasięgiem cały Świat.

LOBB Brytyjska firma z siedzibą w Londynie, specjalizująca się, podobnie jak HOK, w projektowaniu obiektów sportowo-widowiskowych. Obie firmy łączy nazwisko architekta Roda Shearda, który od roku 1993 pełnił funkcję dyrektora *LOBB,* a w roku 1998 doprowadził do połączenia *LOBB* z *HOK*.

MKOl Międzynarodowy Komitet Olimpijski.

PKOl Polski Komitet Olimpijski.

PN-EN Polska wersja Normy Europejskiej – opracowanej przez Europejski Komitet Normalizacyjny i przyjętej przez Polski Komitet Normalizacyjny.

PTFE Membrany tworzone z tkanin technicznych o osnowie z włókna szklanego pokrytych *teflonem* czyli *polytetrafluoroetylenem*, zwanym w skrócie PTFE.

PZMot Polski Związek Motorowy.

PZPN Polski Związek Piłki Nożnej.

UEFA Unia Europejskich Związków Piłki Nożnej (ang., *Union of European Football Associations*); stosowana jest także nazwa *Europejska Unia Piłkarska.*

WOKiS – *Stadion Śląski* Wojewódzki Ośrodek Kultury i Sportu – *Stadion Śląski* w Chorzowie.

ZPiW-*TB* Zakład Projektowania i Wdrożeń – *TB,* Spółka z o.o., Katowice; biuro prejektów, które w okresie od roku 1994 do roku 2008 pełniło funkcje generalnego projektanta inwestycji p.n. *Modernizacja Stadionu Śląskiego.*

ZBIORCZY WYKAZ PODSTAWOWYCH OZNACZEŃ I SYMBOLI ORAZ ICH OBJAŚNIENIA

W wykazie podano jedynie te oznaczenia i symbole, które dla wywodu mają znaczenie pierwszorzędne i podstawowe. Z uwagi na czytelność, pominięto oznaczenia i symbole drugorzędne, a pochodne od podstawowych. Na ogół mają one te same znaki literowe, co podstawowe, a różnią się dodanymi do nich indeksami literowymi lub cyfrowymi. Objaśnienia ich znaczeń umieszczono w legendach towarzyszących każdemu rysunkowi. Wykaz przedstawiono w układzie alfabetycznym. Dla oznaczenia kątów zastosowano litery alfabetu greckiego, a cały ich zbiór umieszczono na końcu wykazu.

■

„A” Punkt przewyższenia linii widzenia fokusu najdalszego oka (LWF) nad punktem oka pierwszego rzędu (OK1), wyniesiony o wartość HPf ponad OK1 (najwyższy punkt podziałki przewyższenia, stosowany w „metodzie najdalszego oka”).

„A”10,20,30 Punkty przewyższenia linii widzenia fokusu (LWF) na podziałce przewyższenia, odpowiadające analizowanym punktom oka, zlokalizowanym odpowiednio w rzędach: nr 10, nr 20 i nr 30.

a, 2a, 4a Odległości obiektów od oka obserwatora.

A,B Skrajne punkty obserwowanego obiektu.

A’B’ Obrazy skrajnych punktów obserwowanego obiektu „wyświetlone” na siatkówce oka; obraz siatkówkowy tego obiektu jest obrazem optycznym, rzeczywistym, pomniejszonym i odwróconym.

„A, B, C” Punkty przecięcia płaszczyzn ocznych (Po) projektowanych odcinków profilu widowni z liniami widzenia fokusu (LWF) poszczególnych profili katalogowych; punkty łamania prostoliniowego profilu widowni.

a,b Obserwowane linie proste „a” i „b”, równolegle do CLW, leżące na wspólnej z nią płaszczyźnie poziomej.

An, An’ Punkty przecięcia linii fokusów nominalnych (LFn) i linii zewnętrznych boiska.

Ao,Ao’,Bo,Bo’ Obrazy punktów A,A’,B,B’ na siatkówce oka.

Ap Punkt przebicia poziomej płaszczyzny stopnia trybuny przez pionową oś oczną; położenie punktu Ap ustalono umownie, sytuując go w odległości 25cm od tylnej krawędzi rzędu.

■

Ca Wartość minimalnego przewyższenia linii widzenia fokusu (LWF) ponad punktem oka usytuowanym w rzędzie poprzedzającym (Ok(n-1)), które umożliwia widzenie punktu fokusu. Wartość ta równa jest antropometrycznemu wymiarowi odległości punktu środkowego oka od najwyższego punktu głowy (różnica pomiędzy wysokością ciała i wysokością oczną, mierzona na osi pionowej przechodzącej przez środkowy punkt oka); inaczej w skrócie: *przewyższenie antropometryczne* lub *minimalne*, również *nominalne* (z uwagi na wymagania normowe).

CLW-A Centralna linia widzenia nakierowana na punkt „A”.

CLWb Centralna linia widzenia pola boiska; dwusieczna pionowego kąta widzenia (αb).

CLWh Centralna pozioma linia widzenia.

CLWn Centralna normalna linia widzenia.

CPW Centralny punkt widzenia; środek zagłębienia w obszarze tzw.”żółtej plamki” na siatkówce oka.

Cr (F1) Przewyższenie rzeczywiste, osiągane w prostoliniowych profilach widowni przy ogniskowaniu linii widzenia fokusu (LWF) poszczególnych rzędów na punkcie fokusu położonym na bliższej linii bocznej boiska; Cr(F1)=Ca+ΔC.

Cx Dowolne przewyższenie linii widzenia fokusu; także moduł podziałki przewyższenia pasma linii widzenia fokusów (Pf); wartość przewyższenia linii widzenia fokusu (LWF) ponad punktem oka usytuowanym w poprzedzającym rzędzie (Ok(n-1)); Cx ≥ Ca, por. objaśnienie przewyższenia antropometrycznego (Ca).

Cxs Minimalne przewyższenie linii widzenia fokusu bliższego (LWF1) zapewniające niezakłóconą widoczność punktu fokusu dla wszystkich kategorii widzów założonego spektrum antropometrycznej wysokości ocznej.

ΔC Przyrost przewyższenia Cx ponad przewyższenie Ca.

Cog Centralna antropometryczna oś głowy.

Cpo Centralny punkt oka (punkt obrotu gałki ocznej).

■

E Szerokość przejścia komunikacyjno-ewakuacyjnego.

EF, E’F’ Drogi poruszających się obiektów, EF = E’F’.

EoFo, (Eo’Fo’) Obraz siatkówkowy drogi EF, (E’F’); EoFo > Eo’Fo’.

■

f(2, 10, do 50) Fokusy rzeczywiste osiągane przez linie widzenia z oka K5c ponad głową M95c z rzędów nr 2, 10, 20, 30, 40 i 50.

F1 Punkt fokusu bliższego; fokus bliższy.

F2 Punkt fokusu dalszego; fokus dalszy.

F1_F2 Szerokość boiska, gdzie F1 i F2 punkty fokusu bliższego i dalszego.

F1-F2’ Reprojekcyjny obraz szerokości boiska (wysokość obrazu).

F1”-F2” Relatywny obraz siatkówkowy szerokości boiska (wysokość obrazu), przy stałym kącie widzenia szerokości boiska (αb) jest on jednakowy dla wszystkich nachyleń dwusiecznej pionowego kąta widzenia.

Fo Punkt fokusu; fokus.

Fon Punkt fokusu nominalnego; fokus nominalny.

For Punkt fokusu rzeczywistego; fokus rzeczywisty.

FOk1..n Punkty fokusów nominalnych dla poszczególnych rzędów widowni.

■

GW Głębokość widowni.

GMZW Granice pola maksymalnego zasięgu widzenia.

■

H Wysokość stopnia widowni, równa względnemu wyniesieniu oka (HOkx).

h Wysokość stopnia schodów.

h/s Charakterystyka stopnia schodów, gdzie: h – wysokość stopnia, s – głębokość.

H/S Charakterystyka stopnia trybun, gdzie: H – wysokość stopnia, S – głębokość.

h1 Antropometryczna wysokość oczna w pozycji siedzącej (HOs) mężczyzny M95c.

h2 Antropometryczna wysokość oczna w pozycji siedzącej (HOs) kobiety K10c.

Ha Składowa pionowa maksymalnego „kroku pochyłego”.

Hb Wysokość reprojekcyjnego obrazu szerokości boiska.

Hbs Wysokość siatkówkowego relatywnego obrazu szerokości boiska.

Hc Wysokość wyniesienia fokusu ponad linię oczną.

Hk Wysokość kroku.

hLW Pozioma linia widzenia.

HO Względne, pionowe wyniesienie oka.

HOk1 Wyniesienie oka pierwszego rzędu, (bezwzględne, odnoszone do poziomu areny).

HOk20 Wysokość wyniesienia oka, np. w rządzie nr 20 (bezwzględna, odnoszona do poziomu areny; np. HOk20=19H+HOk1, gdzie: H – wysokość stopnia trybuny).

HOkn Wysokość wyniesienia oka w najwyższym rządzie.

HOkx Wysokość wyniesienia punktu oka Okx.

HOs Wysokość (względna) położenia oka w pozycji siedzącej, różna dla każdej kategorii centylowej widzów, mierzona wg zleceń normy PN-EN 13200-1 przy stałej wysokości siedziska Hsk=40cm.

HOsN Nominalna wysokość oczna w pozycji siedzącej (HOsN=120cm) przy stałej wysokości siedziska (Hsk=40cm), zalecana przez normę PN-EN 13200-1.

HOst Wysokość (względna) położenia oka w pozycji stojącej.

HOx Dowolne, pionowe, względne wyniesienie oka, równe wysokości stopnia trybuny; HOx=Px+Cx.

Hp Wysokość obrazu siatkówkowego pola obserwacji (boisko piłkarskie).

HPf Wysokość pasma linii widzenia fokusów nominalnych.

Hs, Hst Wysokość antropometryczna w pozycji siedzącej (Hs) i stojącej (Hst).

Hsk Wysokość siedziska.

HWFn Pozorna wysokość wyniesienia fokusu (Fox) ponad płaszczyznę widowni normalnej.

HWFod Wysokość wyniesienia fokusu (Fox) ponad płaszczyznę widowni odwrotnej.

HWFp Wysokość wyniesienia fokusu (Fox) ponad płaszczyznę widowni poziomej.

Hx Wysokość kroku dla danej prowadnicy nachylenia schodów (PNSx), (składowa pionowa „kroku pochyłego").

Hz Wysokość zawodnika.

Hzn Wysokość obrazu postaci zawodnika usytuowanego na linii LF2.

Hzp Wysokość obrazu postaci zawodnika usytuowanego na linii LF1.

ΔHbl Wielkość przewyższenia LWF ponad krawędź balustrady czołowej o minimalnej wysokości Hblmin=65cm. (wskazuje jaki jest zakres ewentualnego podwyższenia balustrady czołowej, bez kolizji z LWF).

■

Ibu Inklinacja biegu schodów ukośnych wyrażona kątem τ□, mierzonym w rzucie poziomym pomiędzy linią policzkową biegu i krawędzią noska stopnia schodów.

■

Ko, Kw Linia zewnętrzna areny kołowej opisanej na prostokącie boiska (Ko) i weń wpisanej (Kw).

KPW Przykładowy, krzywoliniowy profil widowni.

Kr Krotność obrazu wysokości postaci zawodnika w wysokości obrazu boiska.

KZW Koło maksymalnego zasięgu widzenia, wyznaczające granicę minimalnego kąta widzenia piłki (ψ=4`); dla piłki nożnej koło o promieniu Rk=127m.

KZW-L Koło maksymalnego zasięgu widzenia dla lekkiej atletyki (Rk=138m).

■

L Odległość postaci zawodnika od obserwatora.

L1-k Linia pierwszego rzędu widowni kołowej.

L1-p Linia pierwszego rzędu widowni prostokreślnej.

LF Linia fokusów; zbiór punktów fokusu całej widowni, tworzący dla danego przewyższenia Cx linię ciągłą; w przypadku widowni o profilu krzywoliniowym jest to jedna linia o kształcie odzwierciedlającym kształt rzędów widowni; w przypadku widowni o profilu prostoliniowym jest to szereg równoległych linii odpowiadających poszczególnym rzędom.

LF1 Linia fokusów bliższych.

LF2 Linia fokusów dalszych.

LF1", LF2" Linie fokusów odzwierciedlone w relatywnym obrazie siatkówkowym oka.

LFn Linia fokusów nominalnych.

LFr Linia fokusów rzeczywistych (linia boczna boiska).

Lkm Odstęp pomiędzy widzami poruszającymi się po schodach korytarza południkowego.

LKp(28) Długość korytarza południkowego, wyrażona ilością obsługiwanych rzędów widowni.

Ln-k Linia ostatniego rzędu widowni kołowej.

Ln-p Linia ostatniego rzędu widowni prostokreślnej.

Lo Linia oczna; odcinki linii prostej łączące kolejno wszystkie punkty oka w przekroju pionowym widowni (w profilu) lub w jej rzędach (w rzucie poziomym).

LOG Nominalna linia ograniczenia pola obserwacji (styczna do wierzchołków głów widzów usytuowanych w rzędzie poniższym).

LOk(n) Odległość pozioma punktu oka Ok(n) od punktu fokusu nominalnego; także od linii fokusów bliższych (LF1).

LOk1 Odległość pozioma oka pierwszego rzędu (OK1) od punktu fokusu nominalnego; także od linii fokusów bliższych (LF1).

LOk20 Pozioma odległość oka np. rzędu nr 20 od linii fokusów nominalnych.

LOkn Odległość pozioma oka ostatniego rzędu od punktu fokusu nominalnego; także od linii fokusów.

LOkx(c) Przesunięcie poziome punktu oka Okx względem środka boiska (w nawiasie podano przesunięcie względem punktu F1).

Lon Linia oczna najwyższego rzędu (n).

Lp1 Linia przenikania płaszczyzn PCa i PWF(Ca).

Lp2 Linia przenikania płaszczyzn PCa i PWF(Cx).

LPo Linia płaszczyzny ocznej (równoległa do linii stycznej do stopni trybun).

Lr Długość rzędu widowni; Lr=Nrm×Lm.

LRx,y,z Linie rzędów trybuny uosabiane przez linie oczne (Lo), odpowiadające lokalizacji analizowanych obserwatorów (równoległe do linii bocznych boiska).

LW(K5c/M95c) Najniższa linia widzenia z oka K5c ponad głową M95c.

LWF Linia widzenia punktu fokusu, w skrócie linia widzenia fokusu.

LWF1 Linia widzenia fokusu bliższego (F1).

LWF1N Nominalna linia widzenia fukusu bliższego przebiegająca z oka w pozycji HOsN=120cm przez punkt przewyższenia PCaN, usytuowany w rzędzie poniższym na wysokości HPCaN=132cm.

LWF2 Linia widzenia fokusów dalszego (F2).

LWF(Cx) Linia widzenia fokusów dla przewyższenia Cx.

LWF (K5c/M95c) Linia widzenia fokusa dla oka K5c nad głową M95c.

LWF (M50c/M50c) Linia widzenia fokusu dla oka M50c nad głową M50c.

LWFn Linia widzenia fokusu nominalnego (tworząca stożka widzenia fokusu nominalnego).

LWFx Dowolna linia widzenia fokusu nominalnego.

ΔLOG Kątowe obniżenie LOG w stosunku LF1.

■

M95c, K10c Symbol wartości określonej cechy antropometrycznej wyrażonej w skali rozkładu centylowego; gdzie: M – mężczyźni, K – kobiety; 95c, 10c – symbol wartości w skali centylowej.

MPf Moduł pasma linii widzenia fokusu (LWF); MPf=Cx/tg βf1; poziome przesunięcie punktów fokusu dla dwóch sąsiednich punktów oka na widowni o profilu prostoliniowym.

Mh Moduł pionowy prowadnicy geometrii stopni widowni pochodnych od stopni schodów normalnych (PSW), równy np. trzem średnim krokom pionowym (stopień widowni = trzy stopnie schodów); Mh=3×31,5=94,5 cm.

Mkp Jednostka modułowa korytarza południkowego, równa korytarzowi o szerokości Sk(min)=1,2m i długości wyrażonej ilością obsługiwanych rzędów widowni (Lkp).

Ms Moduł poziomy prowadnicy geometrii stopni widowni pochodnych od stopni schodów normalnych (PSW), równy np. trzem średnim krokom poziomym (stopień widowni = trzy stopnie schodów); Ms=3×63=189cm.

■

n Założona liczba rzędów widowni, także krotności modułów S i Cx (podziałki widowni i podziałki przewyższenia LWF).

N Narożnik boiska.

N1",2",3",4" Relatywne obrazy siatkówkowe narożników boiska.

NLWF1 Nachylenie linii widzenia fokusu bliższego (βf1).

Ng Najwyższy punkt głowy.

Nmr Ilość miejsc w rzędzie, zawarta pomiędzy dwoma korytarzami południkowymi.

NP Numer profilu z wzornika profili pochodnych od schodów normalnych.

NP15 Profil np. nr 15 z wzornika profili pochodnych od schodów normalnych.

Nr Ilość rzędów widowni, zapewniająca wymaganą pojemność dla założonego modułu Mpw, przy założonej ilości miejsc w rzędzie (Nmr); Nr=Mpw/Nmr.

Nr LWF Numer linii LWF odpowiadającej poszczególnemu położeniu oka.

NS Nachylenie schodów południkowych widowni (η)□□.

NSi Nachylenie schodów normalnych mierzone na płaszczyźnie pionowe równoległej do kierunku biegu schodów, (krawędzi policzkowej biegu schodów) wyrażone kątem ηi; NSi<Nw, ηi<λ.

NSp Nachylenie schodów mierzone na płaszczyźnie pionowej prostopadłej do krawędzi nosków stopni schodów wyrażone kątem ηp; NSp=Nw, ηp=λ.

NW Nachylenie widowni (λ).

ΔN Przyrost nachylenia widowni (NW) w stosunku do nachylenia schodów.

■

O Centralny punkt boiska.

Ob1, Ob2, Ob3 Obserwowane obiekty.

OBP Obraz boiska piłkarskiego w anatomicznym polu widzenia.

OGO Obszar ograniczający pole obserwacji.

Ok Punkt oka – umowny punkt usytuowany w przestrzeni widowni, stosowany w graficznych i obliczeniowych metodach projektowania widowni, uosabiający centralny punkt soczewki oka teoretycznego określonego widza. Pojęcie oka teoretycznego (oko Cyklopa), zastępującego parę oczu, wprowadzono ze względu na potrzebę uproszczenia metod projektowania. Punkt oka zlokalizowany jest na wysokości równej antropometrycznej wysokości ocznej. Wyprowadzona z niego pozioma centralna linia widzenia pokrywa się z poziomą osią symetrii rozstawu gałek ocznych. Zakłada się równocześnie, że jego pionowa oś obrotu oddalona jest od tylnej krawędzi rzędu widowni o nominalną wartość równą 25cm i pokrywa się z pionową osią obrotu głowy i tułowia.

Ok1 Punkt oka pierwszego rzędu.

Ok(K5c) Punkt oka widza należącego do określonej centylowej kategorii antropometrycznej, przykładowo kobiety K5c.

Ok max Granica maksymalnego zasięgu widzenia (dla piłki nożnej granicę tę tworzą cztery powierzchnie sferyczne o promieniu R=127m).

Ok(n) Punkt oka (w skrócie oko) w rzędzie (n).

Ok(n-1) Punkt oka w rzędzie (n-1).

Okn Dowolny punkt oka na widowni.

Okx Analizowany, dowolny punkt oka w obrębie koła zasięgu widzenia (KZW).

Okx_F1 Długość linii widzenia fokusu bliższego (F1) z punktu oka Okx,

OPO Oś pola obserwacji, położona, w przypadku piłki nożnej, na dwusiecznej poziomego kąta widzenia skrajnych narożników boiska.

OPP Odległość przedniej płaszczyzny projekcji od punktu oka.

OPT Odwzorowanie profilu trybun (punkty oka wyznaczają linię schodkową, składającą się z poziomych odcinków przesunięć (S) i pionowych odcinków wyniesień (HOx).

OPW Oś anatomicznego pola widzenia ustalona, prostopadłą do linii rzędów widowni, pozycją siedziska (pokrywa się z osią siedziska).

OPW" Oś anatomicznego pola widzenia, ustalona pozycją siedziska równoległą do linii ukośnego korytarza południkowego.

OTP Założona odległość tylnej płaszczyzny projekcji od punktu oka. Dla celów analiz porównawczych wymagane jest przyjęcie jednej stałej wartości OTP; relatywny odpowiednik odległości środka geometrycznego soczewki oka od siatkówki.

O(x) Środek okręgów wyznaczających łuki widowni.

■

P(2-6) Przewyższenie oka w określonych rzędach, np. od rzędu nr2 do nr6; pionowe wyniesienie rozpatrywanego punktu oka w stosunku do punktu oka z rzędu poprzedniego.

PCa Punkt antropometrycznego przewyższenia linii widzenia fokusu (Ca).

PCaN Nominalny punkt przewyższenia wyniesiony ponad HOsN o wartość Ca; wysokość tego punktu wynosi: HPCaN=120cm+12cm=132cm.

PCx Punkt dowolnego przewyższenia (Cx) nad punktem oka poprzedniego rzędu.

PE Płaszczyzna ekspozycji.

Pe(1) Przepustowość przykładowych przejść ewakuacyjnych o szerokościach wyrażonych ilością pasm ruchu (Sp). Przepustowość pasma ruch wynosi

40 osób / 1 minutę. Szerokość pasma ruchu Sp = 0,6m.

Pek Przepustowość korytarza południkowego o minimalnej, normatywnej szerokości Sk(min)=1,2m.

Pf Pasmo linii widzenia fokusów nominalnych (pasmo LWF); wiązka równoległych linii widzenia fokusów z punktów oka (Okx) poszczególnych rzędów widowni.

Pkr Powierzchnia fragmentu korytarza południkowego, odpowiadająca jednemu rzędowi widowni; Pkr=Sk×S.

P-KRd Prowadnica geometrii stopnia schodów dla średniego kroku dziecka.

P-KRk Prowadnica geometrii stopnia schodów dla średniego kroku kobiety.

P-KRm Prowadnica geometrii stopnia schodów dla średniego kroku mężczyzny.

P-KRsr Prowadnica geometrii stopnia schodów dla uśrednionego kroku kobiety i mężczyzny.

P-KRx Prowadnica geometrii stopnia schodów dla dowolnej długości kroku.

PNSn-max Prowadnica nachylenia schodów normalnych o największym (granicznym) nachyleniu, pochodna najmniejszej dopuszczalnej głębokości stopnia schodów, Smin=26cm.

PNSn-min Prowadnica nachylenia schodów normalnych o najmniejszym (granicznym) nachyleniu pochodna najmniejszej wysokości stopnia Hmin=14cm.

PNSn-opt Prowadnica schodów optymalnych, wymagających najmniejszego nakładu energii; stopień: 15,25/32,5cm; nachylenie: 25°8’15”.

PNSn Prowadnica nachylenia schodów normalnych.

PNSx Dowolna prowadnica nachylenia schodów.

PNW Prowadnica nachylenia profilu właściwego trybun (PW), równoległa do LPo.

Po Nominalna płaszczyzna oczna (również powierzchnia, w przypadku widowni łukowych i widowni o profilach krzywoliniowych); płaszczyzna (powierzchnia) przechodząca przez nominalne punkty oka.

POo Pionowa oś punktu oka.

PObr Punkt obrotu linii widzenia fokusu (LWF).

PPFn Pionowa płaszczyzna fokusu nominalnego.

PPO Pozioma płaszczyzna prowadzona przez nominalne linie oczu (Okn) położone w najwyższym rzędzie widowni na wysokości HOkn.

PPo Punkt przecięcia linii płaszczyzny ocznej (LPo) i linii pionowej, przebiegającej przez punkt fokusu.

PPP Przednia płaszczyzna projekcji obrazu pola boiska (inaczej płaszczyzna reprojekcji); prostopadła do centralnej linii widzenia pola boiska (CLWb) będącej dwusieczną pionowego kąta widzenia boiska i przechodząca przez linię fokusów bliższych (LF1).

PnPW Pionowy profil widowni.

PzPW Poziomy profil widowni.

Pr Powierzchnia rzędu widowni dla dowolnej wartości Nmr; Pr=Lr×S.

PSW Prowadnice geometrii stopni widowni pochodnych geometrii stopni schodów normalnych (np. stopień widowni = trzy stopnie schodów).

PW Właściwy profil widowni określający geometrię budowlaną widowni.

PWF Płaszczyzna widzenia fokusów.

PWF’ Płaszczyzna widzenia linii fokusów bliższych.

PWF” Płaszczyzna widzenia linii fokusów dalszych.

PpCa Płaszczyzna przewyższenia antropometrycznego (Ca); płaszczyzna będąca zbiorem nominalnych punktów antropometrycznego przewyższenia (PCaN).

Pw Płaszczyzna bazowa trybuny (styczna do krawędzi stopni trybuny).

PWF(Cx) Płaszczyzna widzenia fokusu przy przewyższeniu Cx.

PWFn Płaszczyzna (również powierzchnia wklęsła) widzenia fokusu nominalnego.

PWL Pole widzenia lewego oka.

PWLFr Płaszczyzna widzenia linii fokusów rzeczywistych.

Pwo Obuoczne pole widzenia.

PWP Pole widzenia prawego oka.

PWps Przyśrodkowe pole widzenia. Obejmuje najbliższy obszar centralnego punktu.

PWs Środkowe pole widzenia. Obejmuje obszar „żółtej plamki", której odpowiada stożek widzenia o kącie wierzchołkowym ok. 7°. Charakteryzuje się najwyraźniejszym widzeniem**.**

PWx Odwzorowanie profilu trybuny na PNW.

Px Dowolne przewyższenie oka.

■

R1 Promień podstawy stożka widzenia fokusu nominalnego (Fon) dla linii ocznej pierwszego rzędu (Lo1) analizowanego fragmentu widowni.

Rgo Zakres rotacji gałki ocznej wobec Cpo.

Rk Promień koła maksymalnego zasięgu widzenia.

Rk1,2,3,4 Promienie kół maksymalnego zasięgu widzenia dla określonych dyscyplin**:**

Rk1=127m, (Rmax=190m) – piłka nożna,

Rk2=170m, (Rmax=240m) – rugby,

Rk3=180m, (Rmax=240m) – futbol amerykański,

Rk4=171m, (Rmax=240m) – futbol australijski (boisko minimalne).

Rkl max Promień kuli, której powierzchnia jest zbiorem punktów jednakowo odległych.

Rmax Promień łuku maksymalnego zasięgu widzenia, określający minimalny kąt widzenia piłki stosowanej w danej dyscyplinie sportowej, także krążka ($\psi = 0°4'$).

Rmax' Promień łuku wyznaczającego granicę maksymalnego zasięgu widzenia (GMZW') dla najwyższego rzędu widowni.Pole maksymalnego zakresu widzenia dla boiska piłkarskiego określają cztery łuki wykreślone na poziomej płaszczyźnie ocznej (PPO), których ogniskami są odrzutowane na tę płaszczyznę narożniki boiska.

Rn Promień podstawy stożka widzenia fokusu nominalnego (Fon) dla linii ocznej ostatniego rzędu (Lon) analizowanego fragmentu widowni,

Rng Zakres rotacji punktu Ng wobec punktu Apo przy odchyleniach głowy do przodu lub do tyłu.

Ro Zakres rotacji centralnego punktu oka (Cpo) wobec punktu Apo.

RWO Wysokość relatywnego obrazu siatkówkowego pola gry (wysokość pola boiska.

Rząd (n) Nominalna oś pionowa położenia oka i punktu PCa w dowolnym rzędzie (n).

Rząd (n-1) Nominalna oś pionowa położenia oka i punktu PCa w rzędzie o jeden niższym od dowolnego rzędu (n) widowni.

Rzb Promień zewnętrznego łuku bieżni.

Rzw Promień łuku maksymalnego zasięgu widzenia dla lekkiej atletyki.

■

S Głębokość rzędu (stopnia) widowni; poziome (względne)przesunięcie oka; moduł podziałki widowni.

s Głębokość stopnia schodów.

S(Fon) Punkt styczności linii fokusów nominalnych (LFn) i podstawy stożka widzenia fokusu; równocześnie punkt fokusu nominalnego (Fon).

Sa Składowa pozioma maksymalnego „kroku pochyłego".

Si Długość krawędzi policzkowej schodów ukośnych odpowiadająca głębokości rzędu.

si Głębokość stopnia schodów, mierzona po ukośnej krawędzi policzkowej.

Sk Szerokość schodowego korytarza południkowego; nominalnie Sk(min)=2×0,6m=1,2m.

Skr Długość kroku.

So Punkt obrotu gałki ocznej; punkt przecięcia osi obrotów oka.

sp Głębokość stopnia schodów mierzona prostopadle do krawędzi noskowej.

Sp Szerokość pojedyńczego pasma ruchu na korytarzu południkowym i w strefie womitorium, Sp=0,6m.

SPf Szerokość pasma linii widzenia fokusu (LWF); SPf=(n-1)×MPf, gdzie: n – liczba rzędów.

Spr Szerokość przejścia ewakuacyjnego (pasma ruchu) w rzędzie.

Ss Środek geometryczny soczewki oka; promienie świetlne (promienie widzenia) przechodzące przez ten punkt nie ulegają załamaniom; umowny punkt oka.

SsO,(SsO') Odległość obieków AB i A'B' od punktu oka.

Sw Szerokość womitorium, równa minimalnej szerokości korytarzy południkowych, Sw=Skmin=1,2m.

■

t1, t2 Czasy, w jakich poruszają się obiekty; obiekt O1 po drodze EF i obiekt O2 po drodze E'F'; t1 = t2.

Te Całkowity czas ewakuacji wyrażony w minutach. Czas, w jakim widz z najdalej położonego miejsca sektora widowni, poruszając się po wyznaczonych drogach ewakuacji, osiągnie strefę bezpieczeństwa.

Tk Czas ewakuacji korytarza południkowego. Czas, w jakim widz z najdalej położonego rzędu, poruszając się po korytarzu południkowym, osiągnie strefę womitorium.

to1, to2 Czas, w jakim obrazy poruszających się obiektów (Oo1 i Oo2) pokonują siatkówkowe obrazy drogi EoFo i Eo'Fo'; to1=to2=t1=t2; EoFo>Eo'Fo'.

TPP Tylna płaszczyzna projekcji (relatywny odpowiednik siatkówki oka).

Trz Czas ewakuacji rzędu widowni. Czas, w jakim widz z najdalej położonego miejsca w rzędzie osiągnie korytarz południkowy.

Tw Czas ewakuacji strefy womitorium. Czas, w jakim widz pokonuje drogę od ostatniego stopnia schodów korytarza południkowego do zewnętrznej strefy bezpieczeństwa.

■

Wb Wysokość podeszwy obuwia.

Wg-1,2,3 Segmenty widowni górnej.

Wk Procentowy wskaźnik powierzchni komunikacyjnej widowni. Wk określa powierzchnię korytarza południkowego, jako procentową część obsługiwanej przez ten korytarz powierzchni widowni.

WK-x Wskaźnik komfortu widzenia dla dowolnego przewyższenia Cx; im wskaźnik WK jest większy tym pole widzenia pasma poniżej linii fokusów jest większe. Dla przewyższenia Ca wskaźnik WK=0, a płaszczyzna widzenia fokusu (PWF) przechodzi przez linię fokusów.

WOs Antropometryczna wysokość oczna w pozycji siedzącej (mierzona od płaszczyzny siedziska).

WOst Antropometryczna wysokość oczna w pozycji stojącej.

Wpk Antropometryczna wysokość podkolanowa.

ΔW Przyrost wyniesienia oka ponad wysokość oczną K5c, odzwierciedlający rozkład centylowy w przedziale K5c-M95c; dla populacji polskiej ΔW=15,4cm.

■

v1, v2 Prędkość z jaką poruszają się obiekty O1 i O2; v1=v2.

Ve Wypadkowa (rzeczywista) prędkość ewakuacji. Mają na nią wpływ prędkości składowe: Vrz – w obrębie Rzędu widowni, Vk – w obrębie korytarza południkowego i Vw – w obrębie korytarza południkowego. Jej wartość określa jedna z wymienionych składowych, mianowicie składowa o najmniejszej wartości (wynikającej z najmniejszej przepustowości).

vo1, vo2 Prędkość (vo1) poruszania się obrazu obiektu Oo1 po obrazie drogi EoFo i prędkość (vo2) obrazu obiektu Oo2 po obrazie drogi Eo'Fo'; vo1>vo2.

■

x Poziome przesunięcie punktu obrotu gałki ocznej (Cpo) wobec (Apo).

y Pionowe przesunięcie punktu obrotu gałki ocznej (Cpo) wobec punktu obrotu głowy (Apo).

■

z1,z1' Punkty skrajne linii ocznej ostatniego rzędu, określające niezakłócone widzenie narożnika boiska (N).

z2,z2' Punkty skrajne linii ocznej pierwszego rzędu, określające niezakłócone widzenie narożnika boiska (N).

■

α Pionowy kąt widzenia dowolnego obiektu.

αb Pionowy kąt widzenia pola gry, kątowa wysokość obrazu pola gry.

αo,(**αo'**) Pionowy kąt widzenia obiektu AB, (A'B').

αz Pionowy kąt widzenia postaci zawodnika o nominalnej wysokości Hz=180cm.

βf1 Kąt nachylenia linii widzenia fokusu bliższego, kąt nachylenia płaszczyzny widzenia bliższej linii bocznej boiska.

βf2 Kąt nachylenia linii widzenia fokusu dalszego, kąt nachylenia płaszczyzny widzenia dalszej linii bocznej boiska.

βfn Kąt nachylenia lini widzenia fokusu nominalnego.

βd Kąt nachylenia dwusiecznej pionowego kąta widzenia pola gry (αb).

βf max Kąt nachylenia linii widzenia najbliższej krawędzi maksymalnego pola obserwacji.

γo Kąt nachylenia płaszczyzny ocznej, równy kątowi nachylenia trybun.

γon Kąt nachylenia nominalnej płaszczyzny ocznej dla K5c, (nominalne płaszczyzny oczne dla pozostałych centylowych wartości K i M są do niej równoległe).

δ' (**1,2,3**) Poziome kąty widzenia bliższej krawędzi boiska dla obserwatorów z pozycji 1, 2 i 3.

δ" (**1,2,3**) Poziome kąty widzenia dalszej krawędzi boiska dla obserwatorów z pozycji 1, 2 i 3.

δo,(**δo'**)□□ Poziomy kąt widzenia odcinka CD, EF, (C'D', E'F').

δa Poziomy kąt widzenia pola areny kołowej opisanej na prostokącie boiska.

δb Poziomy kąt widzenia prostokątnego pola boiska.

δ',δ" Poziome kąty widzenia bliższej (δ') i dalszej (δ") krawędzi bocznej boiska.

η Kąt nachylenia prowadnicy schodów (PNS).

λ Kąt nachylenia trybun widowni.

λNmax Maksymalny, normatywny, kąt nachylenia widowni; λNmax=35° (wg. PN-EN 13200-1).

λa Maksymalny kąt nachylenia „kroku pochyłego" (λa ~ 42°; nachylenie schodów stromych o stopniach wysokich).

λa' Maksymalny kąt nachylenia „kroku pochyłego podniesionego" (λa'=45°; wymaga „wspięcia na palcach").

σ Kąt podniesienia linii widzenia fokusu nominalnego.

Δσ Przyrost kąta podniesienia linii widzenia dowolnego fokusu ponad kąt widzenia fokusu nominalnego.

τ Kąt inklinacji biegu schodów ukośnych (Ibu) mierzony w rzucie poziomym pomiędzy linią policzkową biegu i krawędzią noska stopnia schodów.

υ Odchylenie kątowe osi anatomicznego pola widzenia (OPW) od osi pola obserwacji (OPO), dywergencja kątowa osi OPW i osi OPO.

ψ Minimalny kąt widzenia piłki nożnej (φ□=22cm) równy 0°4′.

ω Kąt nachylenia prowadnicy geometrii stopnia schodów (P-KRx) dla dowolnej długości kroku.

WYKAZ ANALIZ, METOD I NIEKONWENCJONALNYCH PROPOZYCJI PROJEKTOWYCH STANOWIĄCYCH ORYGINALNE OPRACOWANIA AUTORA

Rozdział 1
PODSTAWY TEORETYCZNE – DEFINICJE I POJĘCIA PODSTAWOWE

1. Analiza zasad działania aparatu wzrokowego człowieka oraz praw optyki geometrycznej i cech obrazu siatkówkowego w aspekcie ich zastosowania w graficznych metodach projektowania widowni, rys. 1-3 (s. 73), rys. 1-6, rys. 1-7 (s. 76)
2. Analiza geometrycznych determinant wielkości obrazu siatkówkowego, rys. 1-5 (s. 75)
3. Analiza poziomych i pionowych normalnych zakresów widzenia, rys. 1-8, rys. 1-9 (s. 78)
4. Analiza antropometrycznych i ergonomicznych determinant istotnych w projektowaniu widowni - liniowe wykresy centylowego rozkładu wybranych wartości antropometrycznych, rys. 1-10 (s. 86)
5. Analiza wielkości i kształtu boisk *wielkiego pola*, rys. 1-11 (s. 88)
6. Trójwymiarowy obraz krzywej centylowego rozkładu wartości antropometrycznych, rys. 1-10 A (s. 86)
7. Metoda wyznaczania pola maksymalnego zasięgu widzenia dla bieżni lekkoatletycznej, rys. 1-14 (s. 90)
8. Metoda obrazowania rozkładu jednakowego pionowego kąta widzenia – mapy izolinii jednakowych pionowych katów widzenia wysokości zawodnika, rys. 1-15 (s. 92)
9. Systematyka kształtów widowni i ich aren, rys. 1-16 (s. 94), rys. 1-17 (s. 95)

Rozdział 2
ZAGADNIENIA WYNIKAJĄCE Z UWARUNKOWAŃ PERCEPCJI WZROKOWEJ

1. Analiza głównych parametrów antropometrycznych i geometrycznych kształtujących profil widowni, rys. 2-1, s. 98
2. Analiza wpływu przewyższenia płaszczyzn widzenia linii fokusów na jakość widzenia dolnego obszaru pola obserwacji, rys. 2-2, rys. 2-3, s. 100
3. Analiza wpływu obrotu głowy w płaszczyźnie pionowej na wartość przewyższenia linii widzenia fokusu, rys. 2-4 (s. 102)
4. Analiza relacji pomiędzy wyniesieniem punktu oka i wyniesieniem punktu fokusu – charakterystyka widowni poziomej, odwrotnej i normalnej, rys. 2-5 (s. 105)
5. Analizy pionowego kata widzenia – objaśnienia pojęć: ostrosłup widzenia, relatywny obraz siatkówkowy, obraz reprojekcyjny, wysokość obrazu pola boiska, rys. 2-6 (s. 108), rys. 2-7 (s. 109)
6. Metoda konstruowania wykresu relatywnego obrazu siatkówkowego pola boiska z uwzględnieniem krotności wysokości zawodnika, rys. 2-8 (s. 109), rys. 2-9 (s. 111)
7. Analizy wysokości relatywnych obrazów siatkówkowych i obrazów reprojekcyjnych pola boiska przy stałym pionowym kącie widzenia i zmiennym położeniu punktu oka w przestrzeni, rys. 2-10, rys. 2-11 (s. 114), rys. 2-12, rys. 2-13 (s. 115)
8. Porównawcze wykresy relatywnych obrazów siatkówkowych pola gry dla ekstremalnych położeń punktów oka, rys. 2-14 (s. 117)
9. Metoda porównywania profili widowni za pomocą relatywnego obrazu siatkówkowego, izolinii pionowych kątów widzenia i sfery maksymalnego zasięgu widzenia, rys. 2-15, rys. 2-16 (s. 119), rys. 2-17, rys. 2-18 (s. 120)
10. Analiza poziomego kąta widzenia w aspekcie stopnia wykorzystania normalnego poziomego zakresu widzenia oraz stopnia konwergencji osi anatomicznego pola widzenia i osi pola obserwacji, rys. 2-19 (s. 122), rys. 2-20 (s. 124), rys. 2-21 (s. 125)
11. Metoda projektowania *profilu* widowni za pomocą *linii płaszczyzn ocznych*, podziałki widowni i linii lub pasma linii widzenia fokusu, rys. 2-22 (s. 131)

12. Wyznaczanie ciągłego profilu widowni metodą *najdalszego oka,* rys. 2-23 (s. 135)
13. Wyznaczanie łamanego profilu widowni metodą *najdalszego oka*, rys. 2-26 (s. 139)
14. Prawo wzrostu nachylenia linii płaszczyzny ocznej profilu widowni wraz ze wzrostem długości tej linii, rys. 2-25 (s. 139)
15. Analiza nominalnych i rzeczywistych przewyższeń linii widzenia fokusu w prostoliniowym profilu widowni, rys. 2-24 (s. 136)
16. Kształtowanie krzywoliniowego profilu widowni jako szczególnego przypadku profilu prostoliniowego łamanego, rys. 2-27 (s. 143)
17. Wyznaczanie profilu widowni za pomocą zmodyfikowanej metody Daniluka, rys. 2-28 (s. 151)
18. Metoda wyznaczania rzeczywistej linii maksymalnego zasięgu widzenia, rys. 2-29 (s. 153)
19. Metoda obrazowania położenia linii ograniczenia pola obserwacji w anatomicznym polu widzenia, rys. 2-30 (s. 155)
20. Analiza stopnia dywergencji centralnej normalnej linii widzenia i linii widzenia fokusu na tle pionowego anatomicznego zakresu widzenia, rys. 2-31 (s. 157)
21. Analiza prawdziwości tezy o zaletach profili widowni z anatomicznym przewyższeniem Ca = 12cm, w co drugim rzędzie, przy naprzemiennym układzie siedzisk, rys. 2-32 (s. 158)
22. Analiza relacji płaszczyzn widzenia fokusów rzeczywistych i powierzchni widzenia fokusów nominalnych w różnych typach widowni, rys. 2-33 (s. 161)
23. Analiza płaszczyzn widzenia linii fokusów rzeczywistych w rejonie narożnika boiska, rys. 2-34 (s. 162)
24. Metoda wyznaczania geometrii krytycznego pola widowni w rejonie narożnika boiska rys. 2-35 (s. 162), rys. 2-36 (s. 164)
25. Analiza rzeczywistych przewyższeń i nachyleń linii widzenia fokusu bliższego w aspekcie centylowego rozkładu antropometrycznej wysokości ocznej, rys. 2-37, (s. 167)
26. Analiza widoczności pola gry dla ekstremalnego układu widzów w aspekcie wartości ich cech antropometrycznych, rys. 2-38 (s. 168)
27. Metoda projektowania profilu uniwersalnego, zapewniającego widoczność linii fokusów bliższych dla zadanego spektrum antropometrycznej wysokości ocznej, rys. 2-39 (s. 170), rys.2-40 (s. 171)
28. Analiza przebiegu linii widzenia fokusu bliższego dla normatywnej wysokości ocznej na tle antropometrycznego centylowego rozkładu wysokości ocznej w populacji polskiej, rys. 2-41 (s. 171)

Rozdział 3
RELACJE POMIĘDZY PROFILEM WIDOWNI I PROFILEM SCHODÓW POŁUDNIKOWYCH

1. Analiza teoretycznych podstaw geometrii schodów wygodnych – równanie Blondela, rys. 3-1 A, C (s.176), rys. 3-3, rys. 3-4 (s. 178)
2. Modelowanie profilu widowni metodą profili pochodnych od schodów normalnych, rys. 3-5 (s. 181)
3. Wzorniki nachyleń linii widzenia fokusu dla trybun o profilach pochodnych od profili schodów normalnych, rys. 3-6 (s. 182), rys. 3-8 (s. 185), rys. 3-9 (s. 186), rys. 3-12 (s. 189)
4. Profil widowni podniesiony - o nachyleniu większym niż nachylenie schodów, rys. 3-7 (s. 183)
5. Projektowanie profilu widowni pochodnego od profilu schodów normalnych za pomocą wiązki linii widzenia fokusu, rys. 3-10 (s. 186), rys. 3-11 (s. 187)
6. Analiza wielkości nachylenia widowni w aspekcie determinant psychofizycznych, rys. 3-13 (s. 192)

Rozdział 4
CZAS EWAKUACJI I JEGO WPŁYW NA UKŁAD I PARAMETRY DRÓG KOMUNIKACYJNYCH

1. Analiza determinant przepustowości dróg ewakuacji w obrębie widowni, rys. 4-1 (s. 202)

2 Metoda projektowania układu komunikacji i ewakuacji w obrębie widowni w oparciu o *ewakuacyjny moduł pojemności widowni*, rys. 4-2 (s. 205)
3. Metoda modelowania układu ewakuacji widowni z zastosowaniem wskaźników powierzchni komunikacyjno-ewakuacyjnej, rys. 4-3 (s. 206)
4. Metody transformacji modelowych sektorów projektowanych w oparciu o zastosowanie *ewakuacyjnego modułu pojemności widowni*, rys. 4-4 (s. 208)

Rozdział 5
NIEKONWENCJONALNE ROZWIĄZANIA PROJEKTOWE

1. Modele trybun o podwyższonym standardzie komfortu i stromych nachyleniach, rys. 5-1, rys. 5-2 (s.215), rys. 5-3 (s. 216), rys. 5-4 (s. 217)
2. Womitoria równoleżnikowe, rys. 5-6 (s. 220)
3. Równoleżnikowy układ konstrukcji wsporczej widowni, rys. 5-7 (s. 223)
4. Uniwersalny profil widowni z zastosowaniem siedzisk wysokich regulowanych i wypukłego profilu widowni typu *talerz*, rys. 5-8 (s. 226)
5. Widownia rozetowa, rys. 5-9 (s. 228)
6. Analiza cech schodów o biegach ukośnych w aspekcie przydatności w projektowaniu widowni - wzornik inklinacji schodów normalnych ukośnych, rys. 5-10 (s. 231), rys. 5-11 (s. 233)
7. Widownie prostokreślne o cechach widowni łukowych - zastosowanie schodów o biegach ukośnych w celu tworzenia dośrodkowego układu osi optycznych, rys. 5-13 (s. 236)
8. Widownie o podwyższonym komforcie – zastosowanie schodów o biegach ukośnych w celu zwiększenia nachyleń profilu widowni przy zachowaniu łagodnych nachyleń schodów oraz ekonomicznych, naprzemiennych w rzędach układów siedzisk, rys. 5-14 (s. 237)
9. Widownia kołowa z areną dla piłki nożnej – analiza konfliktu kształtów widowni i pola obserwacji, rys. 5-15 (s. 240)
10. Widownia kołowa z areną kołową – analiza porównawcza parametrów widoczności widowni kołowych i prostokreślnych, rys. 5-16 (s. 242)

SPIS RYSUNKÓW I WYKAZ ICH ŹRÓDEŁ

RYS. 1-1 …… **16**
ANTYCZNE PROTOTYPY WSPÓŁCZESNEGO STADIONU
Źródło - opracowanie autora na postawie: Witruwiusz, O architekturze ksiąg dziesięć, przekład K.Kumaniecki, wyd.II, Prószyński i S-ka, Warszawa 2004 oraz Games of the XXVIII Olympiad - Athens 2004, Broadcaster Hanbook, AOB 2004.

RYS. 1-2 …… **22**
PORÓWNANIE PROFILU, KSZTAŁTU I WIELKOŚCI WIDOWNI KOLOSEUM I PRZYKŁADOWEGO WSPÓŁCZESNEGO STADIONU (STADE de FRANCE)
Źródło - opracowanie autora na podstawie: M.Docci, Amphitheatrum Flavium - the Stadium of the Caesars, Area nr75, Milano 2004, s.4-13 oraz M.Vogliazzo, Saint Denis Stadium, l´ARCA, nr 122/1998, s.22-29.

RYS. 1-3 …… **73**
OGÓLNE ZASADY DZIAŁANIA APARATU ANALIZATORA WZROKOWEGO
Źródło - opracowanie autora na podstawie: K. Łapaczewska, Pole widzenia - badania modelowe, Instytut Wzornictwa Przemysłowego, Prace i Materiały, Zeszyt 102, Warszawa 1986.

RYS.1-4 …… **74**
ANATOMICZNE OBUOCZNE POLE WIDZENIA - WRAŻENIOWE, PSYCHOFIZJOLOGICZNE ODZWIERCIEDLENIE FIZYCZNEGO OBRAZU ODRZUTOWANEGO PRZEZ SYSTEM OPTYCZNY OCZU NA ICH SIATKÓWCE
Źródło - opracowanie autora na podstawie: K. Łapaczewska, Pole widzenia - badania modelowe, Instytut Wzornictwa Przemysłowego, Prace i Materiały, Zeszyt 102, Warszawa 1986.

RYS. 1- 5 …… **75**
WIELKOŚĆ SIATKÓWKOWEGO OBRAZU OBSERWOWANEGO OBIEKTU. DETERMINANTY GEOMETRYCZNE
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 1-6 …… **76**
PERSPEKTYWA OPTYCZNA OBRAZU SIATKÓWKOWEGO JAKO FUNKCJA KĄTA WIDZENIA
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 1-7 …… **76**
PERCEPCJA WZROKOWA RUCHOMYCH OBIEKTÓW W PRZESTRZENI. ZJAWISKO PARALAKSY
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 1-8 …… **78**
POZIOMY ZAKRES WIDZENIA
Źródło - opracowanie autora na podstawie: A. Gedliczka, P.Pochopień, A. Szklarska, Z. Welon - Atlas miar człowieka; Dane do projektowania i oceny ergonomicznej, COIP, Warszawa 2001

RYS. 1-9 …… **78**
PIONOWY ZAKRES WIDZENIA
Źródło - opracowanie autora na podstawie: A. Gedliczka, P.Pochopień, A. Szklarska, Z. Welon - Atlas miar człowieka; Dane do projektowania i oceny ergonomicznej, COIP, Warszawa 2001.

RYS. 1-10 …… **86**
ANALIZA CENTYLOWEGO ROZKŁADU WARTOŚCI WYBRANYCH CECH ANTROPOMETRYCZNYCH W POPULACJI POLSKIEJ - ZESTAWIENIA LINIOWE NA TLE WARTOŚCI NOMINALNYCH OKREŚLONYCH PRZEZ NORMĘ PN-EN 13200-1. Wykresy wykonano dla stałej wysokości siedziska hs = 43cm (z uwzględnieniem wyniesienia stopy podeszwą obuwia hb = 3cm)
Źródło - opracowanie autora na podstawie: A.R.Tilley, The Measure of Man and Woman, John Wiley & Sons, New York 2002 oraz A. Giedliczka, Atlas miar człowieka; Dane do projektowania i oceny ergonomicznej, CIOP, Warszawa 2001.

RYS. 1-11 …… **88**
ZESTAWIENIE PORÓWNAWCZE KSZTAŁTÓW I WIELKOŚCI BOISK WIELKIEGO POLA I BIEŻNI LEKKOATLETYCZNEJ
Źródło - oryginalne opracowania autora.

RYS. 1-12 …… **90**
POLE MAKSYMALNEGO ZASIĘGU WIDZENIA PIŁKI NOŻNEJ (wg normy PN-EN 13200-1: Rmax=190m, zalecany: R rek =150m)
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 1-13 …… **90**
KOŁA MAKSYMALNYCH ZASIĘGÓW WIDZENIA DLA GIER WIELKIEGO POLA

I DUŻEJ PIŁKI
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 1-14 …… **90**
POLE MAKSYMALNEGO ZASIĘGU WIDZENIA BIEŻNI LEKKOATLETYCZNEJ (wg normy PN-EN 13 200 -1: R max=230 m, zalecany: R rek=190m)
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 1-15 …… **92**
IZOLINIE JEDNAKOWYCH KĄTÓW WIDZENIA POSTACI ZAWODNIKA (PIŁKA NOŻNA) WYRAŻONYCH KROTNOŚCIĄ MINIMALNEGO KĄTA WIDZENIA ψ □=0°4'
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 1-16 …… **94**
RZUTY WIDOWNI O ŁUKOWEJ GEOMETRII POZIOMEJ DLA BOISK PROSTOKĄTNYCH: 1) Kołowa, 2) Owalna, odzwierciedlająca elipsę, 3) Owalna, odzwierciedlająca prostokąt
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS.1-17 …… **95**
RZUTY WIDOWNI O PROSTOKREŚLNEJ GEOMETRII POZIOMEJ DLA BOISK PROSTOKĄTNYCH
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 2-1 …… **98**
GŁÓWNE PARAMETRY ANTROPOMETRYCZNE I GEOMETRYCZNE KSZTAŁTUJĄCE PROFIL WIDOWNI
Źródło - opracowanie autora na podstawie normy PN-EN 13 200-1

RYS. 2-2 …… **100**
PROFIL WIDOWNI - PŁASZCZYZNY WIDZENIA LINII FOKUSÓW
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 2-3 …… **100**
WPŁYW PRZEWYŻSZENIA PŁASZCZYZNY WIDZENIA LINII FOKUSÓW BLIŻSZYCH NA JAKOŚĆ WIDZENIA DOLNEGO OBSZARU OBSERWACJI
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 2-4 …… **102**
ZMIANY POŁOŻENIA OKA PRZY RUCHU GŁOWY- WPŁYW NA POŁOŻENIE LINII WIDZENIA FOKUSU I WARTOŚĆ JEJ ANTROPOMETRYCZNEGO PRZEWYŻSZENIA
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 2-5 …… **105**
RELACJE POMIĘDZY WYNIESIENIEM PUNKTU OKA I WYNIESIENIEM PUNKTU FOKUSU: Porównanie widowni odwrotnej, poziomej i o nachyleniu normalnym
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 2-6 …… **108**
„OSTROSŁUP WIDZENIA" POLA BOISKA - PIONOWY KĄT WIDZENIA
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 2-7 …… **109**
RELACJE POMIEDZY PIONOWYMI KĄTAMI LINII WIDZENIA FOKUSÓW
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 2-8 …… **109**
WYSOKOŚĆ OBRAZU POLA BOISKA - ZALEŻNOŚCI GEOMETRYCZNE I OPTYCZNE
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS . 2-9 …… **111**
ZASADY KONSTRUOWANIA WYKRESU RELATYWNEGO OBRAZU POLA BOISKA Z UWZGLĘDNIENIEM KROTNOŚCI WYSOKOŚCI ZAWODNIKA
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 2-10 …… **114**
IZOLINIE PIONOWYCH KĄTÓW WIDZENIA POLA BOISKA PIŁKARSKIEGO
Źródło - opracowanie autora na podstawie: J.Brzuchowski, „Uwagi do projektowania trybun sportowych", Architektura nr 2/61.

RYS. 2-11 …… **114**
ZALEŻNOŚĆ WYSOKOŚCI REPROJEKCYJNEGO OBRAZU POLA BOISKA OD INKLINACJI DWUSIECZNEJ PIONOWEGO KĄTA WIDZENIA (przykład przedstawia pionowy kąt widzenia αb = 20°)
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 2-12 …… **115**
WYSOKOŚĆ REPROJEKCYJNEGO OBRAZU POLA BOISKA PRZY STAŁYM PIONOWYM KĄCIE WIDZENIA I ZMIENNYM POŁOŻENIU OKA W PRZESTRZENI
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 2-13 …… **115**
PORÓWNANIE OBRAZÓW SIATKÓWKOWYCH POLA BOISKA PRZY STAŁYM PIONOWYM KĄCIE WIDZENIA I ZMIENNYM POŁOŻENIU OKA W PRZESTRZENI
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 2-14 ..... **117**
WYKRESY RELATYWNYCH OBRAZÓW SIATKÓWKOWYCH BOISKA
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 2-15 ..... **119**
ALLIANZ ARENA - CHARAKTERYSTYKA PIONOWEGO PROFILU WIDOWNI
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 2-16 ..... **119**
STADION WEMBLEY (nowy)- CHARAKTERYSTYKA PIONOWEGO PROFILU WIDOWNI
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 2-17 ..... **120**
STADE DE FRANCE - CHARAKTERYSTYKA PIONOWEGO PROFILU WIDOWNI
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 2-18 ..... **120**
STADION ŚLĄSKI - CHARAKTERYSTYKA PIONOWEGO PROFILU WIDOWNI
(projektowana nadbudowa widowni wschodniej)
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 2-19 ..... **122**
OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA PIONOWYCH I POZIOMYCH KĄTÓW WIDZENIA NA TRYBUNACH PROSTOKREŚLNYCH (oś anatomicznego pola widzenia prostopadła do linii bocznych pola gry)
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 2-20 ..... **124**
STOPIEŃ WYKORZYSTANIA NORMALNEGO POZIOMEGO ZAKRESU WIDZENIA NA WIDOWNI PROSTOKREŚLNEJ I KOŁOWEJ
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 2-21 ..... **125**
POZIOMY KĄT WIDZENIA POLA BOISKA A ANATOMICZNE POLE WIDZENIA
Źródło - oryginalne opracowanie autora

RYS. 2-22 ..... **131**
ZASADY KSZTAŁTOWANIA WIDOWNI O PROFILU PROSTOLINIOWYM
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 2-23 ..... **135**
PROSTOLINIOWY PROFIL WIDOWNI - WYKREŚLNA METODA MODELOWANIA PROFILU „METODA NAJDALSZEGO OKA”
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 2-24 ..... **136**
RZECZYWISTE PRZEWYŻSZENIE (Cr) W PROSTOLINIOWYM PROFILU WIDOWNI
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 2-25 ..... **139**
PROSTOLINIOWY PROFIL WIDOWNI - ZALEŻNOŚĆ NACHYLENIA OD ODLEGŁOŚCI PUNKTU OKA NAJDALSZEGO RZĘDU
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 2-26 ..... **139**
PROSTOLINIOWY ŁAMANY PROFIL WIDOWNI: ZASADY MODELOWANIA METODĄ „NAJDALSZEGO OKA”
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 2-27 ..... **143**
ZASADY KSZTAŁTOWANIA WIDOWNI O PROFILU KRZYWOLINIOWYM
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 2-28 ..... **151**
MODELOWANIE PROFILU WIDOWNI - GRAFICZNA METODA A.M.DANILUKA (1936). Modyfikacja metody oryginalnej. Przykład wykreślania profilu prostoliniowego-łamanego
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 2-29 ..... **153**
METODA WYZNACZANIA GRANICZNYCH POŁOŻEŃ OKA W NAJWYŻSZYM RZĘDZIE WIDOWNI (z uwzględnieniem zasięgu widoczności piłki nożnej Lmax=190m)
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 2-30 ..... **155**
WPŁYW WARTOŚCI PRZEWYŻSZENIA LINII WIDZENIA FOKUSU NA POŁOŻENIE LINII OGRANICZENIA POLA OBSERWACJI W ANATOMICZNYM POLU WIDZENIA
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 2-31 ..... **157**
RELACJE POŁOŻENIA CENTRALNEJ NORMALNEJ LINII WIDZENIA I LINII WIDZENIA KRAWĘDZI POLA BOISKA
Źródło - oryginalne opracowanie autora

RYS. 2-32 ..... **158**
PROFIL WIDOWNI O NAPRZEMIENNYM (SZACHOWNICOWYM) UKŁADZIE SIEDZISK I PRZEWYŻSZENIU NOMINALNYM Ca=12cm CO DRUGI RZĄD. ANALIZA WIDOCZNOŚCI LINII FOKUSÓW

BLIŻSZYCH
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 2-33 ..... **161**
PORÓWNANIE RELACJI PŁASZCZYZN WIDZENIA FOKUSÓW NOMINALNYCH I FOKUSÓW RZECZYWISTYCH W RÓŻNYCH TYPACH WIDOWNI
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 2-34 ..... **162**
PŁASZCZYZNY WIDZENIA LINII BOCZNYCH BOISKA. RZECZYWISTE PIONOWE KĄTY WIDZENIA KRAWĘDZI POLA OBSERWACJI: A) Aksonometria, B) Kompilacja pionowych przekrojów przez punkty narożników boiska
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 2-35 ..... **162**
NAROŻNIK BOISKA NA ZEWNĄTRZ LINII FOKUSÓW - teoretyczne podstawy metody wyznaczania pola zakłóconej widoczności
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 2-36 ..... **164**
METODA WYZNACZANIA GEOMETRII KRYTYCZNEGO POLA WIDOWNI W REJONIE NAROŻNIKA BOISKA. Analiza przykładowej widowni kołowej o profilu prostokreślnym łamanym, Cx=Ca=12cm
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 2-37 ..... **167**
ANALIZA RZECZYWISTYCH PRZEWYŻSZEŃ I NACHYLEŃ LINII WIDZENIA FOKUSU BLIŻSZEGO W ASPEKCIE CENTYLOWEGO ROZKŁADU ANTROPOMETRYCZNEJ WYSOKOŚCI OCZNEJ W POPULACJI POLSKIEJ
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 2-38 ..... **168**
NORMATYWNY PROFIL WIDOWNI (M25c) - ANALIZA WIDOCZNOŚCI POLA GRY DLA KOBIETY Z GRUPY NAJNIŻSZYCH (kategoria K5c) PONAD MĘŻCZYZNĄ Z GRUPY NAJWYŻSZYCH (kategoria M95c)
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 2-39 ..... **170**
ZASADY USTALANIA PROFILU WIDOWNI ZAPEWNIAJĄCEJ WIDOCZNOŚĆ LINII FOKUSÓW BLIŻSZYCH (LFo1) DLA ZAŁOŻONEGO SPEKTRUM ANTROPOMETRYCZNEJ WYSOKOŚCI OCZNEJ (K10c-M95c)
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 2-40 ..... **171**
PRZYKŁADOWY PROFIL WIDOWNI SPEŁNIAJĄCEJ WARUNEK NIEZAKŁÓCONEJ WIDOCZNOŚCI LINII FOKUSÓW BLIŻSZYCH DLA CAŁEGO SPEKTRUM K10c-M95c ANTROPOMETRYCZNEJ WYSOKOŚCI OCZNEJ POPULACJI POLSKIEJ
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 2-41 ..... **171**
WYKRES POŁOŻENIA LINII WIDZENIA FOKUSÓW BLIŻSZYCH DLA NORMATYWNEJ WYSOKOŚCI OCZNEJ W POZYCJI SIEDZĄCEJ (HOs=120cm) NA TLE ANTROPOMETRYCZNEGO CENTYLOWEGO ROZKŁADU WYSOKOŚCI OCZNEJ W POPULACJI POLSKIEJ
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 3-1 ..... **176**
TEORETYCZNE PODSTAWY GEOMETRII SCHODÓW WYGODNYCH. RÓWNANIE BLONDELA : „2H + S = DŁUGOŚĆ KROKU"
Źródło - rys.3-1A, rys. 3-1C - oryginalne opracowanie autora; rys.3-1B, rys.3-1D - opracownie autora na podstawie: P.Hyks, M.Gaborik, O.Vrana „Schody", wyd.II, Arkady, Warszawa 1984.

RYS. 3-2 ..... **177**
CHARAKTERYSTYKA RODZAJÓW SCHODÓW W ZALEŻNOŚCI OD NACHYLENIA BIEGU
Źródło - opracowanie autora na podstawie: P. Hyks, M Gaborik, O. Vrana, „Schody", wyd. II, Arkady, Warszawa 1984.

RYS. 3-3 ..... **178**
GRANICZNE PARAMETRY STOPNI DLA SCHODÓW NORMALNYCH
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 3-4 ..... **178**
PRZYKŁADOWE WYKRESY SCHODÓW NORMALNYCH
Źródło - rys.3-3 i rys.3-4, oryginalne opracowanie autora z wykorzystaniem zasad przedstawionych na rys. 3-1D.

RYS. 3-5 ..... **181**
PRZYKŁADOWY WYKRES PROFILU WIDOWNI POCHODNEGO OD PROFILU SCHODÓW NORMALNYCH (h/s=16,5/30cm) O NACHYLENIU λ=η □= 28,81°
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 3-6 ..... **182**
ZESTAWIENIE WYKRESÓW PROFILI WIDOWNI POCHODNYCH OD PROFILI SCHODÓW NORMALNYCH (STOPIEŃ WIDOWNI = 3 STOPNIE SCHODÓW)
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 3-7 ..... **183**
MODEL WIDOWNI POCHODNEJ OD PROFILU SCHODÓW NORMALNYCH 16,5/30cm. PROFIL PODNIESIONY - WYKORZYSTUJĄCY SCHODY POŁUDNIKOWE I RÓWNOLEŻNIKOWE (nachylenie widowni większe niż nachylenie schodów południkowych)
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 3-8 ..... **185**
ZESTAWIENIE PARAMETRÓW PROFILI WIDOWNI POCHODNYCH OD PROFILI SCHODÓW NORMALNYCH. Profile zestawiono wg hierarchii nachylenia linii widzenia fokusu (NLWF)
Źródło - oryginalne opracowanie autora

RYS. 3-9 ..... **186**
WZORNIK NACHYLEŃ LINII WIDZENIA FOKUSU (LWF) DLA TRYBUN O PROFILACH POCHODNYCH OD PROFILI SCHODÓW NORMALNYCH
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 3-10 ..... **186**
KONSTRUOWANIE PROFILU WIDOWNI W OPARCIU O WZORNIKI PROFILI POCHODNYCH OD PROFILI SCHODÓW NORMALNYCH. Wybór profilu w zależności od poszukiwanego LOk1 i HOk1
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 3-11 ..... **187**
WIDOWNIA O PROFILU PROSTOKREŚLNYM ŁAMANYM, POCHODNYM OD PROFILU SCHODÓW NORMALNYCH. Modelowanie profilu za pomocą wiązki linii widzenia fokusu
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 3-12 ..... **189**
PRZYKŁAD KONSTRUOWANIA PROFILU WIDOWNI W OPARCIU O WZORNIKI PROFILI POCHODNYCH OD PROFILI SCHODÓW NORMALNYCH. Zastosowanie profilu PN15 pochodnego od profilu schodów normalnych h/s=16.5/30cm
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 3-13 ..... **192**
NACHYLENIE WIDOWNI - DETERMINANTY PSYCHOFIZYCZNE: A) Parametry maksymalnego „kroku pochyłego", B) Krytyczne wartości nachyleń, C) Stadion San Siro w Mediolanie, przykład widowni o nachyleniu λ □= 41° (przekraczającym normatywne nachylenie λN max = 35°)
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 4-1 ..... **202**
CZAS I DROGA EWAKUACJI W OBSZARZE WIDOWNI. Przepustowość dróg ewakuacji
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 4-2 ..... **205**
UKŁAD KOMUNIKACJI I EWAKUACJI W OBRĘBIE WIDOWNI. EWAKUACYJNY MODUŁ POJEMNOŚCI WIDOWNI - warianty dla czasu ewakuacji Te=5' i przykładowych ilości miejsc w rzędzie Nrm=14, 28, 40
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 4-3 ..... **206**
WSKAŹNIK POWIERZCHNI KOMUNIKACYJNO - EWAKUACYJNEJ WIDOWNI
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 4-4 ..... **208**
PRZYKŁAD KSZTAŁTOWANIA POWTARZALNEGO SEKTORA WIDOWNI Z ZASTOSOWANIEM EWAKUACYJNEGO MODUŁU POJEMNOŚCI. A. Transformacja sektora 3xMpw dla widowni o układzie prostokreślnym. B. Transformacja sektora 3xMpw dla widowni o układzie radialnym
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 5-1 ..... **215**
TRYBUNA O PODWYŻSZONYM KOMFORCIE UŻYTKOWYM - RZĄD Z BALUSTRADĄ I OBNIŻONYM PRZEJŚCIEM Z PRZODU
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 5-2 ..... **215**
TRYBUNA O PODWYŻSZONYM KOMFORCIE UŻYTKOWYM - RZĄD Z BLATEM CZOŁOWYM I OBNIŻONYM PRZEJŚCIEM Z TYŁU
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 5-3 ..... **216**
PRZYKŁAD WIDOWNI WYKORZYSTUJĄCEJ RZĘDY Z BLATEM CZOŁOWYM I WYDZIELONYM PRZEJŚCIEM TYLNYM -

O NACHYLENIU RÓWNYM NACHYLENIU SCHODÓW
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 5-4 ..... **217**
WIDOWNIA STROMA O NACHYLENIU 75°
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 5-5 ..... **218**
MODEL STROMEJ WIDOWNI O NACHYLENIU 42° POCHODNEJ OD SCHODÓW 16/30cm; SCHODY POŁUDNIKOWE ZASTĄPIONO UKŁADEM SCHODÓW RÓWNOLEŻNIKOWYCH DOSTĘPNYCH Z WOMITORIÓW
Źródło - opracowanie autora na podstawie konkursowej koncepcji Grand Stade w Paryżu, arch. J. Nouvel.

RYS. 5-6 ..... **220**
WOMITORIA RÓWNOLEŻNIKOWE
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 5-7 ..... **223**
UKŁAD KONSTRUKCJI WSPORCZEJ WIDOWNI: 1. Południkowy, 2. Równoleżnikowy
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 5-8 ..... **226**
UNIWERSALNY PROFIL WIDOWNI - ZASTOSOWANIE PROFILU STROMEGO I SIEDZISK WYSOKICH O REGULOWANEJ WYSOKOŚCI. Teoretyczny model widowni o profilu wypukłym typu „talerz"
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 5-9 ..... **228**
MODEL TEORETYCZNY WIDOWNI ROZETOWEJ
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 5-10 ..... **231**
ZASTOSOWANIE SCHODÓW NORMALNYCH UKOŚNYCH NA KORYTARZACH KOMUNIKACYJNYCH I EWAKUACYJNYCH W OBRĘBIE WIDOWNI. Zasady modelowania profilu i rzutu widowni
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 5-11 ..... **233**
SCHODY NORMALNE UKOŚNE. WZORNIK INKLINACJI. Przykładowe zestawienie alternatywnych parametrów widowni dla założonego sp=28cm i S=3xsp.
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 5-12 ..... **235**
ZASTOSOWANIE SCHODÓW UKOŚNYCH W ARANŻOWANIU PROFILU I UKŁADU FUNKCJONALNEGO WIDOWNI
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 5-13 ..... **236**
STADION Z WIDOWNIĄ PROSTOKREŚLNĄ PROSTOKĄTNĄ. Zastosowanie ukośnych korytarzy południkowych i ukośnego układu siedzisk. Analiza dywergencji centralnej osi anatomicznego pola widzenia i osi pola obserwacji
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 5-14 ..... **237**
PRZYKŁADOWA WIDOWNIA Z ZASTOSOWANIEM SCHODÓW UKOŚNYCH, NAPRZEMIENNEGO UKŁADU SIEDZISK I WOMITORIÓW RÓWNOLEŻNIKOWYCH
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 5-15 ..... **240**
WIDOWNIA KOŁOWA Z ARENĄ DLA PIŁKI NOŻNEJ: A) Zasady kształtowania widowni uzupełniającej, B) Propozycja zmiany kształtu boiska - wpływ na geometrię widowni
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

RYS. 5-16 ..... **242**
WIDOWNIA KOŁOWA Z ARENĄ KOŁOWĄ. ANALIZA PORÓWNAWCZA CHARAKTERYSTYK WIDZENIA POLA BOISKA O KSZTAŁCIE KOŁA I PROSTOKĄTA
Źródło - oryginalne opracowanie autora.

SPIS FOTOGRAFII I WYKAZ ICH ŹRÓDEŁ

Fot. 0-1. …… **9**
Jedna ze stu fotografii z lat 1900-40 z niemieckiej ekspozycji *Fascynacja futbolem* zorganizowanej w ramach promocji przed Mundialem 2006.
Foto: reprodukcja – za B.T. Wileński, Kadra poetów na mundial,Gazeta Wyborcza, 26 maj 2006r.

Fot. 0-2. …… **9**
Commerzbank Arena, Frankfurt – fragment widowni podczas meczu Bundesligi (2006).
Foto: autor.

Fot. 0-3. …… **10**
Stadion Śląski w Chorzowie – moment rytualnego odśpiewywania hymnu państwowego przez kibiców polskiej drużyny narodowej przed jednym z międzypaństwowych meczów.
Foto: archiwum WOKiS-Stadion Śląski.

Fot. 0-4. …… **10**
Arena *Stadionu Śląskiego* podczas jednego z wielu koncertów muzyki rockowej.
Foto: autor.

Fot. 1-1. …… **15**
Delfy. Stadion – V w. p.n.e przebudowny w poł. II w. n.e.
Foto: reprodukcja – za K. Kumaniecki, Historia Kultury Starożytnej Grecji i Rzymu, PWN, Warszawa 1964, s. 91.

Fot. 1-2. …… **15**
Teatr w Delfach – IV w.p.n.e.
Foto: http://ancient-greece.org/architecture/delphi-theater.html.

Fot. 1-3. …… **15**
Makieta starożytnego Rzymu (1937) ze zbiorów Muzeum Cywilizacji Rzymskiej.
Foto:http://penelope.uchicago.edu/~grout/encyclopaedia_romana/imperialfora/model.html.

Fot. 1-4. …… **37**
Ceremonia otwarcia I Nowożytnych Igrzysk Olimpijskich – Ateny (1896).
Foto: http://www.olympic.org,2006.

Fot. 1-5. …… **37**
Stadion Panateński, Ateny – zdjęcie satelitarne.
Foto: Google Earth, 2006.

Fot. 1-6. …… **37**
Stadion Olimpijski, Londyn (1908*).*
Foto: reprodukcja – za M. Wimmer, Olympic Buildings, Edition Leipzig, 1976, s. 93.

Fot. 1-7. …… **37**
Stadion Olimpijski, Amsterdam (1928).
Foto: reprodukcja – za M. Wimmer, Olympic Buildings, Edition Leipzig, 1976, s. 98.

Fot. 1-8. …… **37**
*Los Angeles Memorial Coliseum***,** Los Angeles (1923) – stadion olimpijski (1932, 1984).
Foto: reprodukcja – za M. Wimmer, Olympic Buildings, Edition Leipzig, 1976, s. 99.

Fot. 1-9. …… **38**
Stadion *Maracana (Estadio Jurnalista Mario Filho),* Rio de Janeiro, Brazylia (1950).
Foto: http://www.suderj.rj.gov.br/maracana.asp.

Fot. 1-10. …… **38**
Azteca Stadium, miasto Meksyk (1968).
Foto: reprodukcja – za M. Wimmer, Olympic Buildings, Edition Leipzig, 1976, s. 120.

Fot. 1-11. …… **41**
Olimpiapark – kompleks obiektów XX Olimpiady w Monachium (1972).
Foto: *www.olympiapark-muenchen.de.*

Fot. 1-12. …… **41**
Stadion Olimpijski w Montrealu (1976, 1986).
Foto: zdjęcie satelitarne, Google Earth, 2008.

Fot. 1-13. …… **41**
Przykładowe stadiony z terenu Stanów Zjednoczonych reprezentujące nurt uproszczonych, graniastych form przestrzennych, wykorzystujących wielopiętrowe widownie prostokreślne o profilach prostoliniowych.
Foto:http// www.ballparks.com,2007.

Fot. 1-14. …… **44**
Stade de France, Paryż (1998*).*
Foto: reprodukcja z broszury promocyjnej Komitetu Organizacyjnego MŚ – FIFA, Francja 1998.

Fot. 1-15. …… **44**
Druga nagroda w konkursie architektonicznym na projekt Stadionu Narodowego Francji, Saint Denis, Paryż, architekt Jean Nouvel (1994).
Foto: http://www.jeannouvel.com.

Fot. 1-16. …… **44**
Saitama Super Arena, Saitama, Japonia (2000).
Foto: www.saitama-arena.co.jp.

Fot. 1-17. …… **47**
Veltins Arena, Gelsenkirchen.
Foto: M. Pelczarski.

Fot. 1-18. …… **48**
Veltins Arena, Gelsenkirchen. Przykład areny wielofunkcyjnej.
Foto: www.stadionwelt.de, 2005.

Fot. 1-19. …… **48**
Allianz Arena, Monachium.
Foto: reprodukcja – za Herzog & de Meuron, The Allianz Arena in Munich, Detail nr 9/2005, s. 95.

Fot. 1-20. …… **49**
King Fahd International Stadium, Riyadh, Arabia Saudyjska (1987).
Foto: http//www.stadionwelt.de, 2005.

Fot. 1-21. …… **49**
Stadio Sant Nicola, Bari (1990).
Foto:, http//www.stadionwelt.de, 2005.

Fot. 1-22. …… **49**
Toyota Stadium, miasto Toyota, Japonia (2001).
Foto: reprodukcja – broszura reklamowa firmy MakMax, Membrane Structures for Soccer Stadiums, 2002.

Fot. 1-23. …… **49**
Big Eye Stadium, miasto Oita, Japonia (2001).
Foto: reprodukcja – broszura reklamowa firmy MakMax, Membrane Structures for Soccer Stadiums, 2002.

Fot. 1-24. …… **49**
Veltins Arena, Gelsenkirchen (2001).
Foto:http//www.stadionwelt.de, 2005.

Fot. 1-25. …… **49**
Allianz Arena, Monachium (2005).
Foto:http//www.stadionwelt.de, 2005.

Fot. 1-26. …… **50**
Arena Pusan, miasto Pusan, Korea Południowa (2002). Współczesne *Koloseum.*
Foto: reprodukcja z materiałów reklamowych firmy Hightex – wykonawcy membranowego poszycia.

Fot. 1-27. …… **53**
Fragment widowni zachodniej *Commerzbank Arena* we Frankfurcie.
Foto: autor.

Fot. 1-28. …… **53**
Przykład aranżacji wnętrza pomieszczenia loży (*sky box)* na jednym z amerykańskich stadionów. *Foto: Archiwum ZPiWTB*.

Fot. 1-29. …… **54**
Stadion *Wembley* (nowy), Londyn**.** Fragment widowni – przykład sposobu rozwiązania lóż dla widzów uprzywilejowanych.
Foto: M. Pelczarski.

Fot. 1-30. …… **56**
Shea Stadium, Nowy York (1964-2008).
Foto: http://www.ballparks.com, 2007.

Fot. 1-31. …… **56**
Three Rivers Stadium, Pittsburgh, Pennsylvania (1970-2001).
Foto: http://www.ballparks.com, 2007.

Fot. 1-32. …… **56**
Estadio Teodoro Fernandez (Monumental de la „U'), Ate – Lima, Peru (2000).
Foto: www.universitariodedeportes.biz/index.php?historia.

Fot. 1-33. …… **56**
Estadio Deportivo Cali, Cali, Kolumbia (2008).
Foto:www.estadiodeportivocali.com/sitio/home,2008.

Fot. 1-34. …… **60**
Stadion Śląski w Chorzowie (1970) – ponad 80 tys. kibiców na widowni podczas meczu międzypaństwowego.
Foto: archiwum WOKiS – Stadion Śląski.

Fot. 1-35. …… **60**
Stadion Śląski- budowa trybun ziemnych (1955).
Foto: archiwum WOKiS – Stadion Śląski.

Fot. 1-36. …… **60**
Stadion Śląski – degradacja konstrukcji widowni. *Foto: archiwum WOKiS- Stadion Śląski.*

Fot. 1-37. …… **61**
Stadion Śląski – widok ogólny od strony południowej; stan z roku 2006.
Foto: P. Oleś, archiwum WOKiS – Stadion Śląski.

Fot. 1-38. …… **61**
Stadion Śląski i jego otoczenie (2006).
Foto: P. Oleś, archiwum WOKiS – Stadion Śląski.

Fot. 1-39. …… **63**
Stadion Śląski – widok z lotu ptaka od strony północnej.
Foto: T. Najdzień, archiwum ZPiW-TB.

Fot. 1-40. …… **63**
Stadion Śląski – widok ogólny projektu zadaszenia *SATURN 2005*.
Wizualizacja: M. Morga, archiwum ZPiW-TB.

Fot. 1-41. …… **64**
Stadion Śląski – kadry.
Foto: autor (C,D,E,F,); archiwum ZPiW-TB (B,G); archiwum WOKiS – Stadion Śląski (A).

Fot. 1-42. …… **67**
Wielkie ekrany telewizyjne umożliwiające oglądanie bezpośredniej transmisji z przebiegu meczu i obrazu pola gry w skali 1:1 z widowni istniejących stadionów.
Foto: reprodukcja – folder reklamowy Komitetu Organizacyjnego MŚ FIFA Japonia – Korea 2000.

Fot. 1-43. …… **67**
Colonial Stadium w Melbourne.
Foto: reprodukcja – za Seating Revolution, Panstadia International, July 2000, s. 54-59.

Fot. 2-1. …… **104**
Stadion *Anfield Road*, Liverpool (1947).
Foto: kadr z reprodukcji – za A. Spampinato, Stades-Sport & Archtecture de Monde, Tectum, Antwerpen 2004, s. 17.

Fot. 2-2. …… **104**
Pracownicy Zarządu Miasta testują warunki widoczności na trybunach stadionu przy *Grünwalder Straße* w Monachium, (1958).
Foto: reprodukcja – Stadtarchiv München, 1958; za W. Skrentny, Das grosse Buch der deutschen Fussballstadien, Verlag DieWerkstatt, Götingen 2001, s. 271.

Fot. 2-3. …… **126**
Stadion *Commerzbank – Arena*, Frankfurt, (2005). Przykład widowni łukowej o profilu prostoliniowym.
Foto: autor.

Fot. 2-4. …… **126**
Stadion *LTU – Arena,* Düsseldorf, (2005). Przykład widowni prostokreślnej o profilu prostoliniowym.
Foto: M. Pelczarski.

Fot. 2-5. …… **127**
Gottlieb Daimler Stadion, Stuttgart, (2005). Widownia łukowa o profilu prostoliniowym łamanym.
Foto: M. Pelczarski.

Fot. 2-6. …… **128**
Stadion *Veltins – Arena,* dawniej *Arena AufSchalke,* Gelsenkirchen, (2001). Przykład widowni prostokreślnej wielokrotnie łamanej o profilu prostoliniowym wielokrotnie łamanym.
Foto: M. Pelczarski.

Fot. 2-7. …… **129**
RheinEnergie Stadion, Kolonia, (2004). Przykład widowni prostokreślnej o profilu prostoliniowym.
Foto: autor.

Fot. 2-8. …… **132**
New Wembley Stadium, Londyn, (2007). Trzypiętrowa widownia o profilu prostoliniowym i zróżnicowanym układzie rzędów w rzucie poziomym.
Foto: M. Pelczarski.

Fot. 2-9. …… **140**
Stadion *Allianz – Arena,* Monachium, (2005). Przykład trzypiętrowej widowni o profilu prostoliniowym.
Foto: M. Pelczarski.

Fot. 2-10. …… **144**
Stadion Śląski, Chorzów, (1997). Widownia zachodnia. Przykład widowni łukowej o profilu krzywoliniowym.
Foto: autor.

Fot. 2-11. …… **144**
Stadion Śląski, Chorzów, (1997). Widownia zachodnia. Przykład widowni łukowej o profilu krzywoliniowym. Widok z poziomu areny na sektor nr 33.
Foto: autor.

Fot. 2-12. …… **156**
Mecz Bundesligi na jednym z niemieckich stadionów (2006). Przykład zakłóceń widzenia linii fokusów (linia bramkowa).
Foto:autor.

Fot. 2-13. …… **156**
Obraz pola boiska widziany z najdalszego rzędu trybuny zabramkowej.
Foto: autor.

Fot. 3-1. …… **174**
Allianz Arena, Monachium (2006) – fragment widowni, widok czołowy. Przykład relacji geo-

metrycznych pomiędzy schodami południkowymi i stopniami trybun.
Foto: M. Pelczarski.

Fot. 3-2. …… **174**
Allianz Arena, Monachium (2006) – fragment widowni, widok z góry. Zależności przestrzenne pomiędzy stopniami trybun i schodami międzysektorowymi.
Foto: M. Pelczarski.

Fot. 3-3. …… **193**
Allianz Arena, Monachium (2006) – fragment drugiego piętra trybun zachodnich.
Foto: M. Pelczarski.

Fot. 3-4. …… **193**
Gottlieb-Daimler Stadion, Stuttgart – nowa trybuna zachodnia (2005). Przykład stromej widowni o profilu prostoliniowym wyposażonej w system balustrad w każdym rzędzie.
Foto: M. Pelczarski.

Fot. 3-5. …… **194**
Stadion Śląski – fragment widowni zachodniej. Przykład widowni o profilu krzywoliniowym. Każdemu rzędowi odpowiadają dwa stopnie schodów południkowych.
Foto: archiwum ZPiW-TB.

Fot. 4-1. …… **199**
Stadion *Wembley* (2008) – fragment widowni. Widoczny układ komunikacji i ewakuacji na poszczególnych piętrach trybun.
Foto: M. Pelczarski.

Fot. 4-2. …… **200**
Stadion *Wembley* (1923) – finał piłkarskiego pucharu Anglii.
Foto: reprodukcja – za M.B. Michalik, Kronika Sportu, Warszawa 1993, s. 308.

Fot. 4-3. …… **200**
Tragedia na Stadionie *Hillsborough*, Sheffield, 15 kwietnia 1989 r.
Foto: reprodukcja – za O. Luder, Sports Stadia after Hillsborough, s. 48.

Fot. 4-4. …… **201**
Stadion Śląski – widownia zachodnia. Moment opuszczania trybun po zakończonym koncercie.
Foto: autor.

Fot. 4-5. ……**201**
Stadion Śląski – fragment areny, tunel południowy. Końcowa faza opróżniania płyty areny po zakończonym koncercie.
Foto: autor.

Fot. 4-6. …… **209**
Stadion im. *Jose Alvalade*, Lisbona. Fragment widowni – przykład aranżacji z osiowym układem schodów południkowych, nad i poniżej womitorium.
Foto: archiwum Estadio Jose Alvalade, Lisbona.

Fot. 4-7. …… **209**
Stadion Śląski – fragment górnej widowni wschodniej. Aranżacja dróg ewakuacji zapewnia czas ewakuacji nieprzekraczający pięciu minut.
Foto: autor.

Fot. 4-8. …… **211**
Stadion Olimpijski w Berlinie w trakcie modernizacji *(2005).*
Foto: autor.

Fot. 4-9. …… **211**
Stadion *Toyota*, miasto Toyota. Przykład widowni o gęstym układzie schodów południkowych.
Foto: reprodukcja, materiały reklamowe 2002 FIFA Word Cup KOREA – JAPAN.

Fot. 5-1. …… **213**
Stadion Olimpijski w Monachium – stan w roku 2006.
Foto: M. Pelczarski.

Fot. 5-2. …… **224**
Stadion Śląski - budowa widowni wschodniej (2001). Widoczny fragment żelbetowej konstrukcji widowni górnej.
Foto: autor.

Fot. 5-3. …… **224**
Projekt koncepcyjny stadionu piłkarskiego *Hetman* w Białymstoku opracowany w ramach konkursu urbanistyczno-architektonicznego (Urząd Miejski w Białymstoku, 2007).
Wizualizacja: A. Babula, B. Dudziński.

Fot. 5-4. …… **232**
Zasady poruszania się po schodach. Anatomiczna liniowość śladu kroków umożliwia chodzenie po schodach ukośnych.
Foto: M. Pelczarski. Opracowanie: autor.

■

Autor serdecznie dziękuje wszystkim dysponentom praw autorskich, których materiały fotograficzne wykorzystane zostały w niniejszej pracy. Niestety odnalezienie niektórych z nich okazało się niemożliwe. Zainteresowane strony proszone są o kontakt.

INDEKS NAZW WYMIENIONYCH STADIONÓW I NAZWISK ICH PROJEKTANTÓW

Obok nazw stadionów podano w nawiasach daty ich powstania lub daty ich przebudowy; daty oznaczające zakończenie eksploatacji stadionu poprzedzono myślnikiem.

***Allianz Arena*, Monachium** (2005); architektura: Pierre de Meuron, Jacques Herzog – Herzog & Meuron Architects, Basel; konstrukcja: ArupSport; Fot. 1-19, 1-25, 2-9, 3-1, 3-2, 3-3; tekst: s. 40, 51 120, 121.

***Arena Pusan, (Pusan Asiad Main Stadium)*, Pusan**,Korea Południowa (2002); architektura: Space Group South Korea; konstrukcja: Schlaich, Bergermann und Partner, Stuttgart; Fot. 1-26.

***Azteca Stadium,* miasto Meksyk**, Meksyk (1968); architektura: Pedro Ramirez Vázquez, Rafael Mijares Alcérreca oraz Luis Alvarado Escalante (odpowiedzialny za profil widowni i parametry widoczności); Fot. 1-10, 1-28; tekst: s. 12, 39, 52.

***Big Eye Stadium,* Oita**, Japonia (2001); architektura: Kisho Kurokawa – KT Group Kisho Kurokawa Architect & Associates; konstrukcja: Takenaka Corporation, SATO BENEC, Takayama Sogo Kogyo Co., Ltd; Fot. 1-23.

***Bush Memorial Stadium,* St. Louis**, Missouri, USA (1966-2005); architektura: Sverdrup & Parcel and Associates, Edward Durell Stone, Schwarz & Van Hoefen; tekst: s. 36, 55.

Colonial Stadium, **Melbourne**, Australia (2000); poprzednie nazwy: *Victoria Stadium, Colonial Stadium, Telstra Dome*; architektura: Daryl Jackson Architects and Hok Sport Architecture; Fot. 1-43; tekst: s. 69.

Commerzbank Arena, **Frankfurt**, Niemcy (2005); architektura: Volkwin Marg, Hubert Nienhoff, Hajo Paap – GMP Architekten, Frankfurt; Fot. 0-2, 1-27, 2-3.

***Estadio Deportivo Cali,* Cali**, Kolumbia (2008); architektura: brak danych; Fot. 1-33; tekst: s. 57.

***Estadio Teodoro Fernandez* (*Monumental de la „U”*), Ate – Lima**, Peru (2000); architektura: Walter Lavalleja; Fot. 1-32; tekst: s. 57.

Gelredome Stadium, **Arnhem**, Holandia (1998); architektura: Alynia Architecten Harlingen BV; tekst: s. 45.

***Gottlieb Daimler Stadion*, Stuttgart**, Niemcy (1933, 1951, 1956, 1963, 1993, 2001, 2005); od roku 2008 *Mercedes – Benz Arena;* aktualnie w trakcie kolejnej przebudowy polegającej na likwidacji bieżni lekkoatletycznej (planowane zakończenie – 2011); architektura: Arat, Siegel und Partner Architekten, Stuttgart; konstrukcja (dachu): Schlaich, Bergermann und Partner, Stuttgart; Fot. 2-5, 3-4.

***King Fahd International Stadium,* Riyadh**, Arabia Saudyjska (1986); architektura: Ian Fraser, John Roberts and Partners; konstrukcja: Horst Berger; Fot. 1-20; tekst: s. 51.

***Los Angeles Memorial Coliseum,* Los Angeles**, USA (1923); architektura: John i Donald Parkinson; Fot. 1-8; tekst: s. 55.

***LTU Arena,* Düsseldorf**, Niemcy (2005); najnowsza nazwa: *Esprit Arena*; architektura: JSK Architekten; Fot. 2-4.

***Mile High Stadium,* Denver**, Colorado, USA (1948-2001, 1977); architektura: brak danych; tekst: s. 43, 55, 87.

***New Wembley Stadium,* Londyn,** (2007); architektura: Foster and Partners led by Norman Foster, Populous (HOK) led by Rod Sheard; Fot. 1-29, 2-8, 4-1; tekst: s. 12, 58, 120, 121.

***Parc de Prince,* Paryż**, Francja (1972); architektura: Roger Taillibert; tekst: s. 42.

Projekt *Stadionu Hetman,* Białystok (2007); Projekt koncepcyjny opracowany w ramach konkursu urbanistyczno-architektonicznego (Urząd Miejski w Białymstoku, 2007); architektura: Grażyna Dąbrowska--Milewska, Jan Kabac, Zdzisław Pelczarski, Jadwiga Żarnowiecka; konstrukcja. M. Pelczarski; Fot. 5-3; tekst: s. 238.

Projekt *Stadionu Narodowego Francji*, Saint Denis, Paryż, Francja(1994); II nagroda w konkursie architektonicznym; architektura: Jean Nouvel; Fot. 1-15; tekst: s. 43, 214.

***Saitama Super Arena,* Saitama**, Japonia (2000); architektura: Nikken Sekkei; Fot. 1-16; tekst: s. 45.

***San Nicola Stadium,* San Nicola Stadium**, Bari, Włychy (1990); architektura: Ottawio di Brasi, Shunji Ishida, **Renzo Piano,** Alain Vincent; konstrukcja: Ove Arup & Partners; Fot. 1-21.

***San Siro,* Mediolan,** Włochy (1926, 1939, 1955, 1989); architektura: projekt pierwotny – 1926: Ulisse Stacchini, Alberto Cugini; rozbudowa – 1989: Giancarlo Ragazzi, Enrico Hoffer; tekst: s. 55, 190, 192.

***Sapporo Dome*, Sapporo**, Japonia (2001); architektura: Hiroshi Hara; tekst: s. 46, 55.

***Shea Stadium*, New York**, USA (1964-2008); architektura: Praeger – Kavanaugh – Waterbury; Fot. 1-30; tekst: s. 55, 87.

Stadion *Anfield Road*, Liverpool, Wielka Brytania (1928); największa w Anglii zadaszona trybuna *Spion Kop*, 30 tys. m. stojących; architektura: brak danych; Fot. 2-1.

***Stade de France,* Paryż**, Francja (1998*)*; architektura: Michel Macary, Aymeric Zublena, Michel Regembal, Claude Constantini; konstrukcja: Bouygues, Dumez i SGE; Fot. 1-14; tekst: s. 22, 43, 120, 121.

Stadion *Hillsborough*, Sheffield, Wielka Brytania (1899, 1963-66); trybuny na których doszło w roku 1989 do katastrofy, której skutkiem było 96 ofiar śmiertelnych powstały w latach sześćdziesiątych XX wieku; architektura: brak danych; Fot. 4-3; tekst: s. 42.

Stadion im. *Jose Alvalade*, Lisbona (2003); architektura: Tomás Taveira; Fot. 4-6.

Stadion *Maracana (Estadio Jurnalista Mario Filho),* Rio de Janeiro, Brazylia (1950); architektura: Waldir Ramos, Raphael Galvão, Miguel Feldman, Oscar Valdetaro, Pedro Paulo B. Bastos, Orlando Azevedo, Antônio Dias Carneiro; Fot. 1-9; tekst: s. 36, 57.

***Stadion Olimpijski,* (*White City Stadium*), Londyn**, Wielka Brytania (1908-1985*)*; architektura: George Wimpey Limited; Fot. 1-6; tekst: s. 36.

***Stadion Olimpijski,* Amsterdam**, Holandia (1928); architektura: Jan Wils; renowacja 2000, od 2005 mieści Muzeum Sportu; Fot. 1-7.

***Stadion Olimpijski* (*Olimpiastadion*), Berlin,** Niemcy; architektura: Otto March (1916), Werner i Walter March (1936), Friedrich Wilhelm

Krahe (1974), Volkwin Marg i Hubert Nienhoff – GMP Architekten,Berlin (2005); Fot. 4-8; tekst: s. 36, 58.

***Stadion Olimpijski,* Monachium,** Niemcy (1972); architektura: Günther Behnisch, Herman Peltz, Carlo Weber; konstrukcja: Frei Otto; Fot. 1-11, 5-1; tekst: s. 40, 93, 133.

***Stadion Olimpijski*, Montreal,** Kanada (1976, 1986); architektura: Roger Taillibert; Fot. 1-12; tekst: s. 42.

***Stadion Olimpijski*, Moskwa,** Federacja Rosyjska (1956, 1980, 1997); najnowsza nazwa: *Stadion Łużniki,* wcześniej *Centralny Stadion im. Lenina*; projekt pierwotny (1956) – architektura: A. Wlasov, V. Polikarpov, N. Resnikov; projekt przebudowy (1980, 1997): brak danych; tekst: s. 59.

***Stadion Olimpijski*, Sydney,** Australia (1999, 2003); najnowsza nazwa: *ANZ Stadium,* wcześniej *Stadium Australia* oraz *Telstra Stadium*; architektura: Blight Loob Sports Architects, Populous; konstrukcja: Sinclair Knight Merz, Modus; tekst: s. 12, 69, 91.

***Stadion Panateński (Panathinaiko Stadium),* Ateny**, Grecja (II i IV w. p.n.e.,1870, 1895); zwany także Kallimarmaro; główny stadion pierwszych nowożytnych igrzysk olimpijskich; odkryty i zrekonstruowany w roku 1870 (Evangelis Zappas); druga rekonstrukcja – 1895; architektura: Anastasis Metaxas, Ernst Ziller; Fot. 1-4, 1-5; tekst: s. 16.

Stadion Śląski, Chorzów; projekt pierwotny (1956), architektura: Julian Brzuchowski, Danuta Bredy-Brzuchowaska; modernizacja (1994-2008); architektura: Zdzisław Pelczarski (generalny projektant), Wiesław Niewiadomski; konstrukcja: Teodor Badora, Janusz Mach; ZPiW-TB, Katowice; Fot.: 0-3, 0-4, 1-34, 1-35, 1-36, 1-37, 1-38, 1-39, 1-40, 1-41, 2-10, 2-11, 3-5, 4-4, 4-5, 4-7, 5-2; tekst: s. 7, 23, 40, 59, 62, 65, 66, 85, 93, 106, 120, 121, 133, 134, 138, 142, 146, 147, 193, 195, 197, 198, 210, 219, 226, 230, 238.

***Stadion X-lecia*, Warszawa** (1955-2008); architektura: projekt konkursowy: Jerzy Chryniewiecki, Zbigniew Ihnatowicz, Jerzy Sołtan; projekt ralizacyjny: Jerzy Chryniewiecki, Marek Leykam, Czesław Rajewski; tekst: s. 7, 133.

***RheinEnergie Stadion,* Kolonia**, Niemcy (2004); architektura: Volkwin Marg, Joachim Rind, Marek Nowak, Stefan Nixdorf – GMP Architekten, Auchen; Fot. 2-7; tekst: s. 13.

***Three Rivers Stadium*, Pittsburgh**, Pennsylvania, USA (1970-2001); architektura: Deeter Ritchy Sipple, Michael Baker, Jr. and Osborn Engineering; Fot. 1-31.

***Toyota Stadium,* miasto Toyota**, Japonia (2001); architektura: Kisho Kurokawa – Kisho Kurokawa Architect and Associates; konstrukcja: Ove Arup & Partners Japan Limited; Fot. 1-22, 4-6.

***University of Phoenix Stadium,* Glendale**, Arizona, USA (2006); architektura: Peter Eisenman + HOK Sports; tekst: s. 46.

Veltins – Arena, dawniej ***Arena AufSchalke,* Gelsenkirchen**, Niemcy (2002); architektura: HPP Architekten, Hentrich – Petschnigg und Partner; Fot. 1-17, 1-18, 1-24, 2-6.

***Wembley Stadium (Empire Stadium),* Londyn,** Wielka Brytania (1923); architektura: John Simpson, Maxwell Ayerton; Fot. 4-2; tekst: s. 58.