

Spis treści

Recenzenci 2011 – Podziękowanie Redakcji <i>Reviewers 2011 – Editorial Acknowledgment</i>	5
Mariusz ADAMSKI Przykład modelowania cieplnego budynków <i>Example of the thermal modelling of the buildings</i>	7
Andrzej AUGUSEWICZ, Tomasz BREŃKO, Agnieszka KOZŁOWSKA, Rafał MIŁASZEWSKI, Beata KAROLINCZAK, Anna WERNER-JUSZCZUK, Przemysław WINIAREK Ekonomiczne aspekty ochrony środowiska <i>Economic aspects of environmental protection</i>	17
Krzysztof FALKOWSKI Technologia ochrony materiałowo-strukturalnej betonów cementowych w środowisku agresywnym <i>Technology of material and structural protection of cement concrete in aggressive environment</i>	25
Katarzyna GŁADYSZEWSKA-FIEDORUK Jakość powietrza wewnętrznego w typowym przedszkolu w Białymstoku <i>Indoor air quality in a typical kindergarten in Białystok</i>	33
Michał GOLAŃSKI Wybór materiałów budowlanych w kontekście efektywności energetycznej i wpływu środowiskowego <i>Selection of building materials in the context of energy efficiency and environmental impact</i>	39
Jolanta HARASYMIUK, Zdzisław KOWALCZYK Wymagania ochrony środowiska w przygotowaniu inwestycji budowlanej <i>Environmental requirements in the preparation of construction works</i>	55
Jolanta Anna PRUSIEL, Andrzej ŁAPKO Metoda badania odkształcalności termicznej organicznych ośrodków sypkich składowanych w silosach <i>Method of thermal deformability evaluation of organic granular media stored in silos</i>	61
Mariola WASIL Wpływ wybranych czynników na przewodność hydrauliczną popiołu lotnego <i>Influence of selected factors on hydraulic conductivity of fly ash</i>	67

RECENZJE	
E. Broniewicz, R. Miłaszewski, J. Godlewska (red.): <i>Ekonomika i zarządzanie ochroną środowiska dla inżynierów</i> (rec. Agnieszka HŁOBIL)	75

Abstracts

Vol. 3 No. 1

Mariusz ADAMSKI

Example of the thermal modelling of the buildings

In this study selected results of modeling of the heat transfer phenomena from designed building to the environment are presented. Noncommercial software Heed was used.

Andrzej AUGUSEWICZ, Tomasz BREŃKO, Agnieszka KOZŁOWSKA, Rafał MIŁASZEWSKI, Beata KAROLINCZAK, Anna WERNER-JUSZCZUK, Przemysław WINIAREK

Economic aspects of environmental protection

Specialists employed in the environmental engineering sector need to have knowledge and skills in the area of environmental protection economics. The paper discusses fundamental issues of environmental protection economics which engineers need during cooperation with economists on development of economic analysis for environmental protection investment projects. These issues estimation of losses caused by environmental pollution, directions and objectives of the state environmental policy and economic instruments used in environmental protection, cost of environmental protection and sources of funding as well as methods for economic effectiveness of environmental protection investment projects. Special attention is focused on the costs of environmental protection and their funding from European Union funds.

Krzysztof FALKOWSKI

Technology of material and structural protection of cement concrete in aggressive environment

The sustainability of the construction made of high-strength cement concrete in specific operating conditions (display classes) mainly depends on concrete resistance on aggressive environmental effects. The research carried out by the author of the paper confirms that modification of concrete microstructure by applying admixture of asphalt pastes by means of special concrete concentration methods provides efficient protection. At the same time the content of asphalt paste in relation to the weight of cement decreases. The porosity structure system that was obtained in examined concrete allows receive lower impregnability and higher frost resistance and makes concrete virtually impervious to chloride ions.

Katarzyna GŁADYSZEWSKA-FIEDORUK

Indoor air quality in a typical kindergarten in Białystok

Formal education usually begins in kindergarten. Children spend five to ten hours a day there, so indoor air quality is of paramount importance. Natural ventilation (or to be more precise gravitational channel ventilation system) is by far the most common ventilation method in kindergartens; its efficiency is enhanced by airing the premises from time to time. In the kindergarten in question, carbon dioxide concentration in the morning does not exceed the permissible level. In the afternoon, however, this level is considerably exceeded (by as much as 97%). Temperature and humidity stay within the acceptable range of values. Thanks to unsealing or opening the windows, outdoor air penetrates into the rooms, which boosts the functioning of the gravitational ventilation system thus improving indoor air quality.

Michał GOLAŃSKI

Selection of building materials in the context of energy efficiency and environmental impact

Almost all the building materials are processed before application on construction site. This is inevitably connected with waste of energy and production wastes. The introduction of the estimation of building materials by means of 'eco-costs' can revolutionize our approach to construction products. The ecological cost of the building materials will become an important evaluation criteria, a tool making possible the optimization of solutions with the regard of the long-term analysis of the influence of the building on the environment. An architect can fundamentally decide about level of primitive energy of building across specification of building materials.

Jolanta HARASYMIUK, Zdzisław KOWALCZYK

Environmental requirements in the preparation of construction works

Paper presents an overview of the major environmental requirements in the preparation of construction works. Included in the paper the standard sequence of preparatory activities takes into consideration environmental documentation and could be for the investor a clue during preparation of his algorithm in a particular case.

Jolanta Anna PRUSIEL, Andrzej ŁAPKO

Method of thermal deformability evaluation of organic granular media stored in silos

The paper presents a conception of measuring stand and testing procedure for evaluation of thermal expansion coefficient of organic granular media stored in silos under real consolidation stress state in grain. This problem is particularly important in organics solids where the biological process of self heating could occur. Theoretical assumptions of proposed experimental method are given. The measurements should be conducted in model silo chamber equipped with surcharge rigid steel plate consolidating the grains and with centrally located core that enables heating the grains. The described method was registered as the Patent Claim.

Mariola WASIL

Influence of selected factors on hydraulic conductivity of fly ash

Hydraulic conductivity is one of the parameters which are used to determine usefulness of fly ash to earth structures. The paper presents the influence of some factors on value of permeability, such as: water-saturation, the addition of cement in the sample, hydraulic gradient and effective stress. The samples were compacted at optimum moisture content by means of Proctor's method. Research was carried out in Rowe's consolidation cell. It was found that the smaller water-saturation of fly ash sample, the lower the flow velocity. Higher percentage of cement in the sample affects the decrease of the flow velocity.

PRZYKŁAD MODELOWANIA CIEPLNEGO BUDYNKÓW

Mariusz ADAMSKI*

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45 A, 15-351 Białystok

Streszczenie: W niniejszej pracy przedstawiono wybrane wyniki modelowania zjawisk związanych z wymianą ciepła projektowanego budynku a otoczeniem, za pomocą niekomercyjnego programu HEED.

Słowa kluczowe: budynek, modelowanie, energia, ciepło.

1. Wprowadzenie

Ze względu na ciągły wzrost cen nośników energii, jak również postęp w technice komputerowej obserwuje się dynamiczny rozwój oprogramowania przeznaczonego do modelowania zjawisk cieplnych zachodzących w budynkach istniejących i projektowanych. Budynki zużywają znaczącą część energii (rzędu 40%) w bilansie energetycznym kraju. Celem tego artykułu jest prezentacja możliwości obliczeniowych niekomercyjnego programu HEED przeznaczonego do symulowania zjawisk związanych z przepływem energii w trakcie eksploatacji budynku. Program został opracowany i jest rozwijany przez Wydział Architektury i Urbanistyki na Uniwersytecie Kalifornijskim w Los Angeles. Strona programu www.energy-design-tools.aud.ucla.edu zawiera link umożliwiający jego pobranie. Aktualnie dostępna jest wersja 4.0 (build 15) z kwietnia 2011 roku. Za pomocą tego programu można uzyskać informacje o możliwościach zaoszczędzenia paliw oraz środków finansowych, analizując między innymi różne rozwiązania projektowe ochrony cieplnej budynku. Program ten jest prosty w obsłudze, ma przyjacielski graficzny interfejs użytkownika napisany w środowisku Java w programie C, umożliwiający w szybki sposób wprowadzenie danych do obliczeń. Aktualnie nie ma możliwości wykonania obliczeń i uzyskania wyników w systemie miar SI.

Uwzględniając typowe roczne warunki klimatyczne dla danej miejscowości, program umożliwia symulację stanów termicznych budynku lub wybranych pomieszczeń, oszacowanie kosztów zużywanej energii oraz określenie temperatur wewnętrznych przy założonej wydajności i harmonogramie pracy urządzeń grzewczych i wentylacyjnych. Uzyskane wyniki wskazują na możliwości zaoszczędzenia środków finansowych wskutek termorenowacji obiektu. Program ten można również zastosować do modelowania budynków nowo

projektowanych. W wynikach obliczeń zawarte są również informacje o emisji gazów szkodliwych oraz cieplarnianych (NO_x , CO, SO_x , CO_2), emisji pyłów oraz aktywnych substancji organicznych dla różnych wariantów danych. Z chwilą uruchomienia programu włącza się przewodnik demonstrujący możliwości programu i wskazujący sposób pracy z programem.

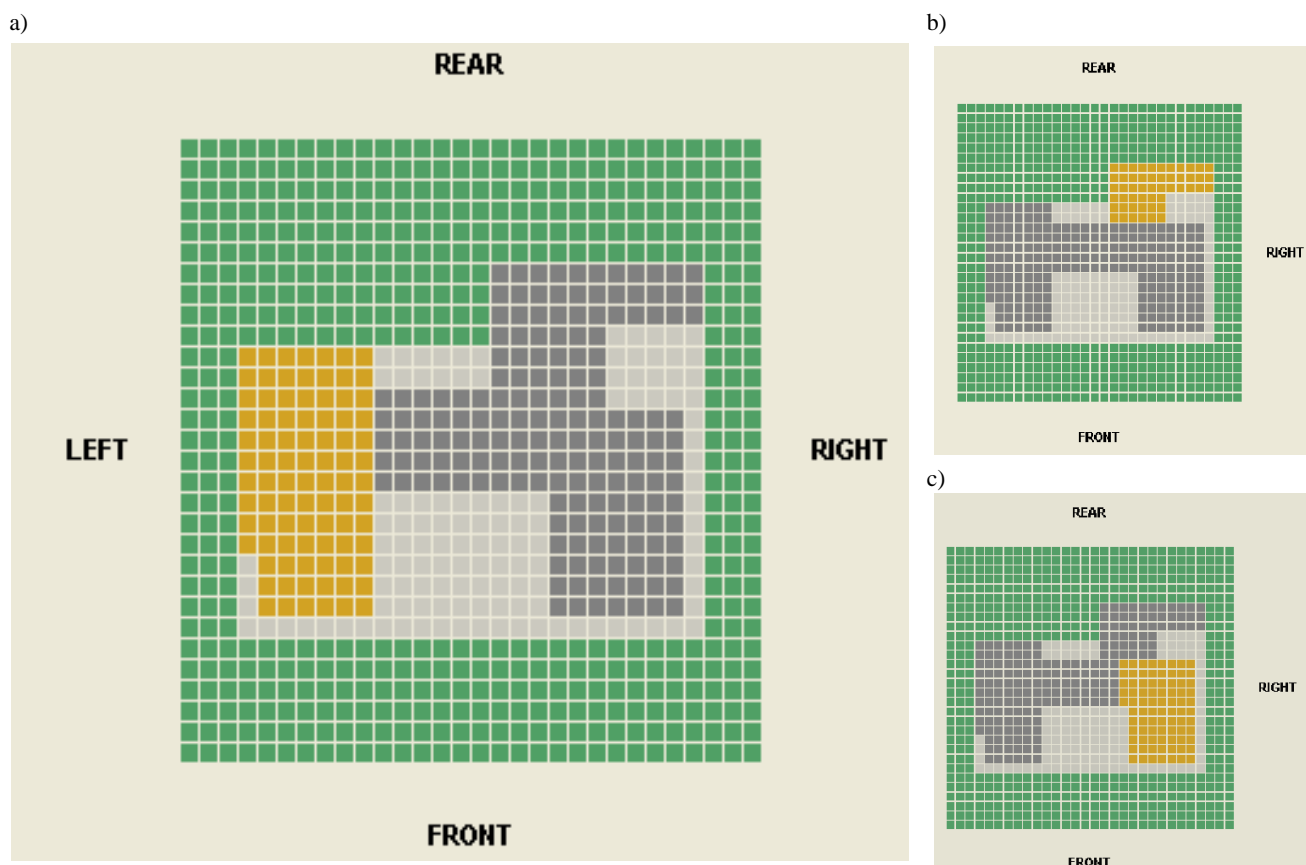
2. Przykład analizy cieplnej budynku za pomocą programu HEED

Program umożliwia wrysowanie rzutu budynku (rys. 1) za pomocą modułowych kwadratów o boku 4 ft (około 1,21 m). Następnie należy z dostępnego menu wybrać właściwy typ okien i umieścić poszczególne okna na elewacji. W tabelach należy podać wymiary okien i głąbów. W dalszych krokach deklaruje się standard izolacyjności budynku oraz wybiera się rodzaj ścian zewnętrznych. Z listy typowych ścian, konstrukcji dachu i podłóg wybiera się odpowiedni rodzaj przegrody.

Program ma wbudowane wskaźniki *California Energy Code*. Na podstawie dołączonego pliku z danymi klimatycznymi program znajduje klimat najbardziej zbliżony do wskazanej lokalizacji budynku zawarty w katalogu wewnętrznym o nazwie „tmy” i dobiera wymagany w danej strefie klimatycznej opór cieplny przegród.

Grubość warstw izolacyjnych może zostać zwiększona przez program w trakcie obliczeń. Dobrane przez program grubości warstw izolacyjnych wraz z przyjętymi stałymi czasowymi oraz współczynnikami tłumienia światła są na ekranie zatytułowanym „Surface Area”; tu możliwa jest korekta przyjętych lub obliczonych przez program wartości opisujących cieplne właściwości statyczne i dynamiczne przegród nieprzezroczystych. Podawane są również powierzchnie poszczególnych przegród,

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: mariusz.adamski@pb.edu.pl



Rys. 1. Rozwój wytrzymałości na ściskanie próbek formowanych i dojrzewających pod wodą

a w przypadku okien – współczynniki przeźroczystości.

Na kolejnych ekranach wprowadza się harmonogram korzystania z oświetlenia, wymiary i grubości przegród wewnętrznych, przewidywaną liczbę mieszkańców, dane związane z podgrzewaniem wody, systemem wentylacyjnym i wentylatorami, kotłem oraz rodzajem paliwa. Następną planszą ze wskaźnikami zanieczyszczeń: NO_x , SO_x , pyły (PM_{10} , $\leq 10\mu\text{m}$), gazy reaktywne (*Reactive Organic Gases* – *ROG*), CO , CO_2 umożliwia również wprowadzanie innych wielkości przyjętych z innych źródeł.

Wyniki obliczeń symulacyjnych budynku wielorodzinnego wykonane programem HEED przedstawiono na rysunkach w dalszej części pracy.

Obliczenia wykonano dla jednego z trzech niemal identycznych pięciokondygnacyjnych budynków mieszkalnych w Hanowerze. Kondygnacja budynku obejmuje mieszkania oraz klatkę schodową, zaś podziemia zajmują garaże. Budynek jest obiektem o dużym przeszkleeniu, niektóre okna zajmują całą wysokość kondygnacji. Ściany zewnętrzne są wielowarstwowe. Warstwy nośne ścian zewnętrznych zbudowano z pustaków ceramicznych Proton Block-T 24, zaś warstwy osłonowe izolacji cieplnej z pustaków ceramicznych Proton-T9 wypełnionych perlitem jako materiałem termoizolacyjnym. Warstwy nośne oraz osłonowe oddzielono warstwą wełny mineralnej o grubości 2 cm. Wartość współczynnika przenikania ciepła dla ścian zewnętrznych wynosi

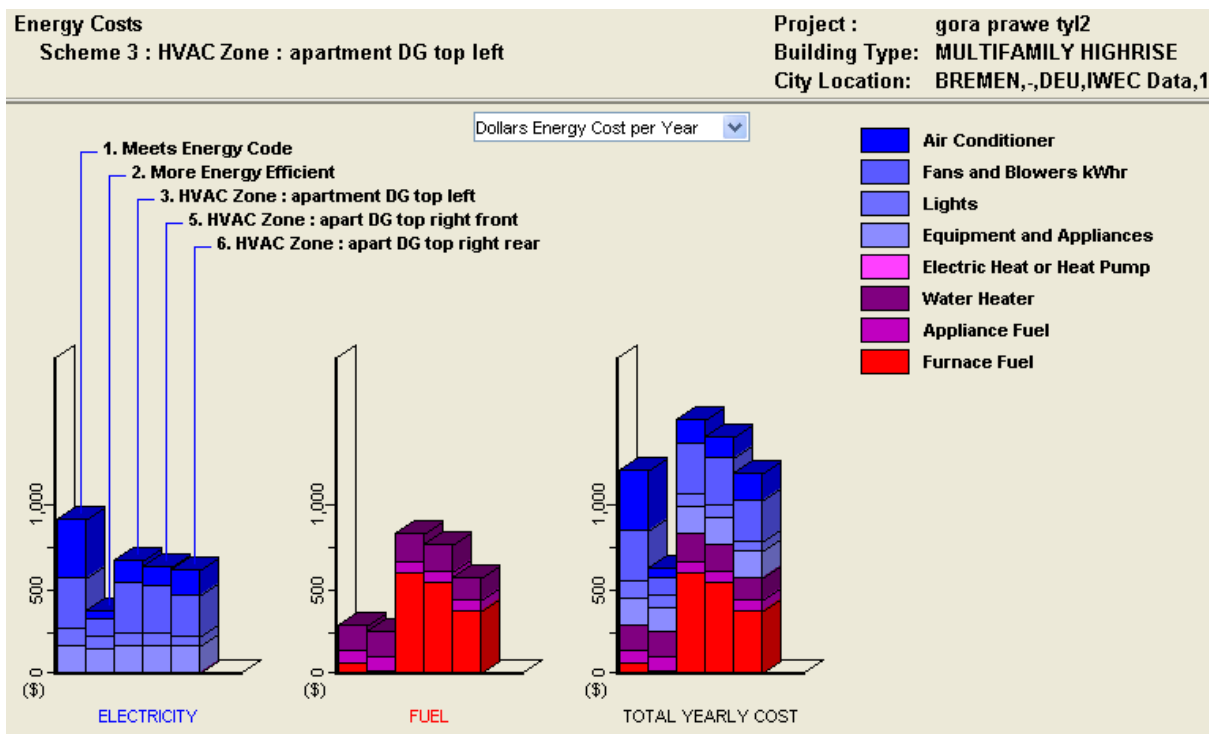
$U = 0,225 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, dachu $U = 0,09 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, stropu piwnic $U = 0,21 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ i okien $U = 1,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Budynek ten był obiektem obliczeń (Haese, 2010) z zastosowaniem programu EnergyPlus.

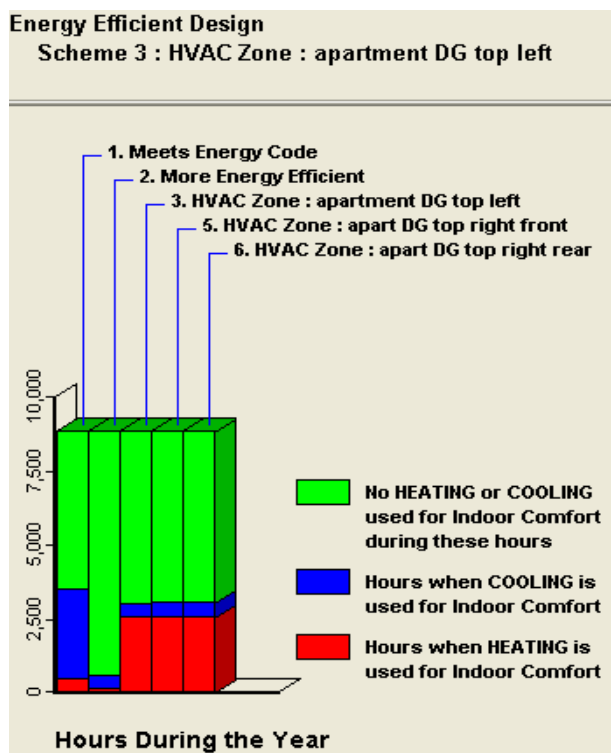
Obliczenia programem HEED rozpoczęto od wrysowania rzutu przyziemia. Na rysunku 1 przedstawiono rzut najwyższej położonej kondygnacji – oznaczonej w dalszej części graficznej jako „DG top” – zawierający trzy mieszkania, którym odpowiadają trzy strefy warunków termicznych. Obszar żółty – to obliczana strefa, obszar jasnoszary – balkony i tarasy, obszar szary – pozostałe pomieszczenia, obszar zielony – teren, otoczenie budynku¹. Na rysunku 1a zaznaczono jako obszar żółty mieszkanie w lewym skrzydle budynku, oznaczane na dalszych rysunkach jako „apartment left”, na rysunku 1b – mieszkanie frontowe w prawym skrzydle, 1c – mieszkanie w prawym skrzydle położone w głębi budynku. Na rysunku 2 i kolejnych mieszkania te opisane są odpowiednio numerami 3, 5, 6.

Jako podstawowe, modelowe mieszkanie przyjęto mieszkanie przedstawione na rysunku 1a. Odpowiadający temu mieszkaniu wariant wzorcowy spełniający normy ochrony cieplnej jest oznaczony na rysunku 2 i kolejnych rysunkach wskaźnikiem 1, zaś odpowiedni wariant mieszkania energooszczędnego, o wyższych wymaganiach ochrony cieplnej – jest oznaczany indeksem 2,

¹ Dane dostępne na stronie internetowej czasopisma www.wbiswbis.pb.edu.pl



Rys. 2. Zestawienie opłat rocznych za elektryczność (wentylacja, oświetlenie, wyposażenie) na cele ogrzewania oraz łączne



Rys. 3. Zestawienie godzin pracy systemu chłodzenia oraz grzewczego

zaś 3, 5 i 6 oznaczają mieszkania z rysunku 1, odpowiednio a, b i c.

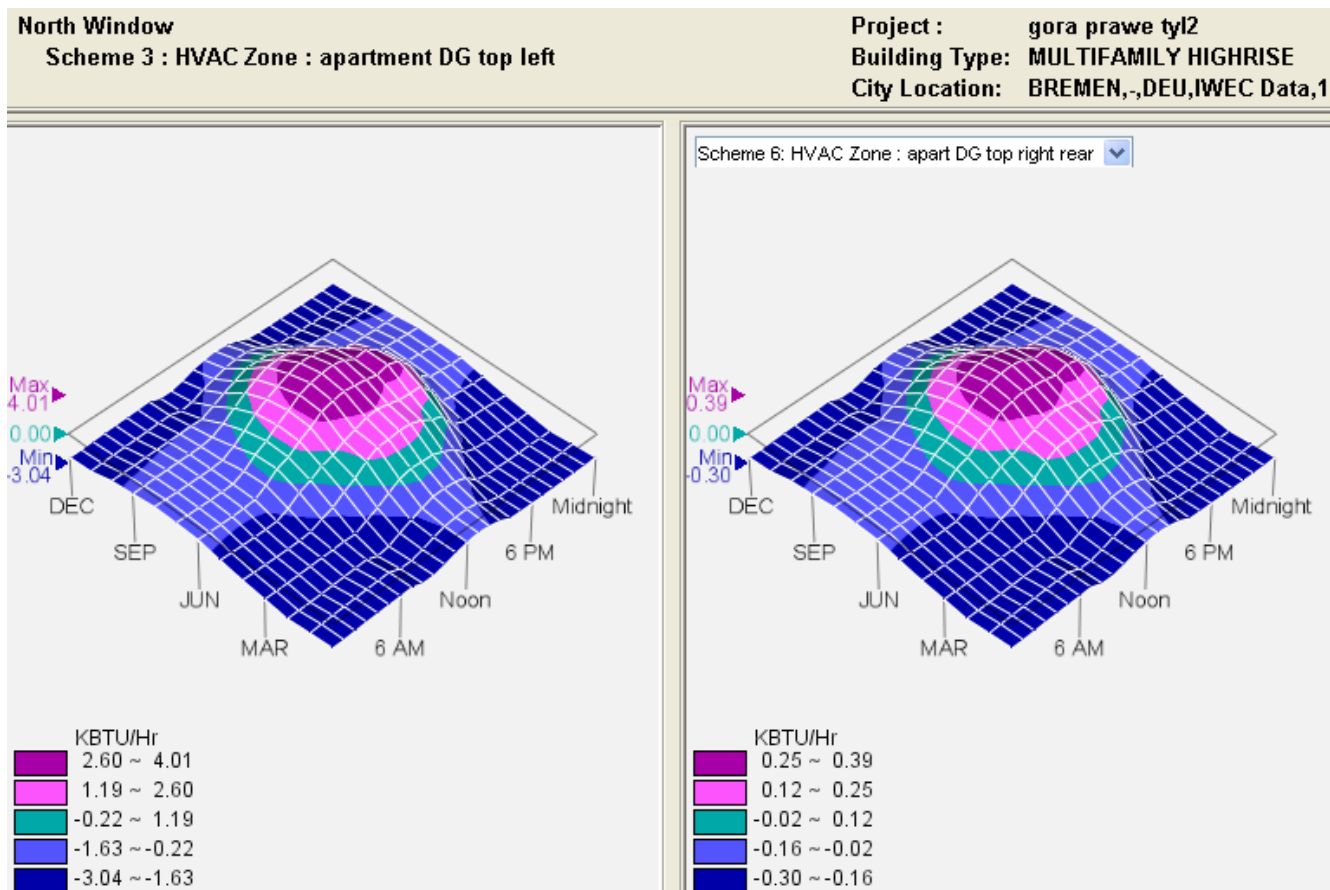
Baza przegród zewnętrznych dostępnych w wersji programu, której wykonano obliczenia obejmuje 14 możliwości i wymaga zadeklarowania grubości warstwy izolacyjnej oraz ściany nośnej. Do obliczeń wybrano wariant przegrody zewnętrznej z drażonych bloczków betonowych o grubości warstwy 20 cm,

z warstwą styropianu o grubości 5 cm oraz z wyprawą tynkarską. Współczynnik przenikania ciepła U takiej przegrody jest rzędu $0,9 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ i został skorygowany przez zwiększenie grubości izolacji do wartości $0,225 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ odpowiadającej rozpatrywanemu budynkowi w trakcie dalszych obliczeń. Wybrano warunki klimatyczne dla miasta Brema w Niemczech – dane te są dostępne i ze względu na niedużą odległość należy przyjąć, że dobrze oddają warunki klimatyczne Hanoweru.

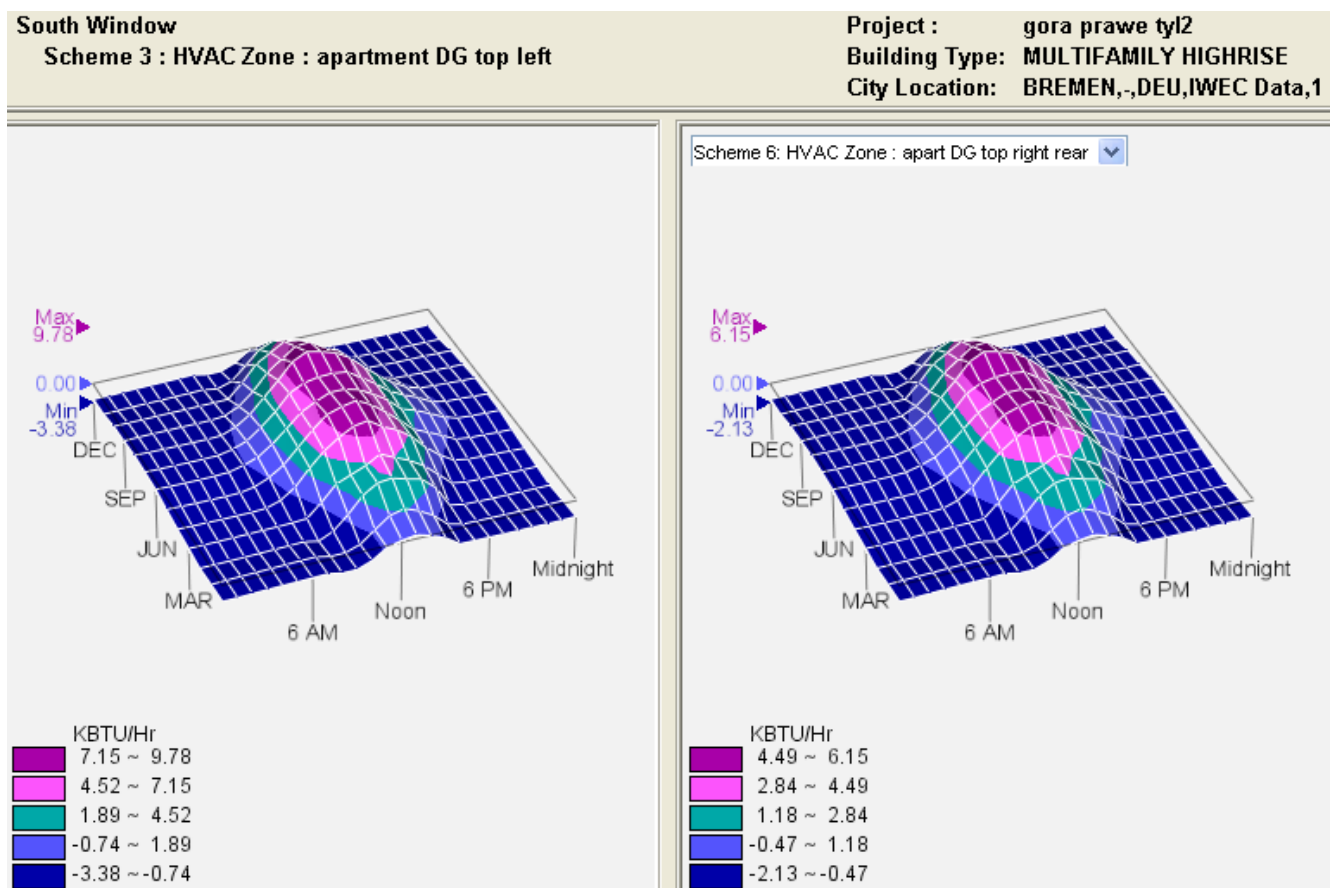
Na rysunku 2 zestawiono wartości opłat rocznych za elektryczność (wentylacja, oświetlenie, wyposażenie), na cele ogrzewania i uzyskania ciepłej wody oraz opłaty łączne dla poszczególnych wariantów mieszkań. Widoczne jest, że mieszkania oznaczone numerami 3, 5, 6 zużywają zbyt dużo energii cieplnej, więcej niż dla mieszkania spełniającego wymagania ochrony cieplnej według Rozporządzenia Ministra Infrastruktury (Dz. U. Nr 201 z 2008r., poz. 1238).

Z rysunku 3 można odczytać, że mieszkania 3, 5, 6 wymagają ogrzewania przez około 2500 godzin rocznie.

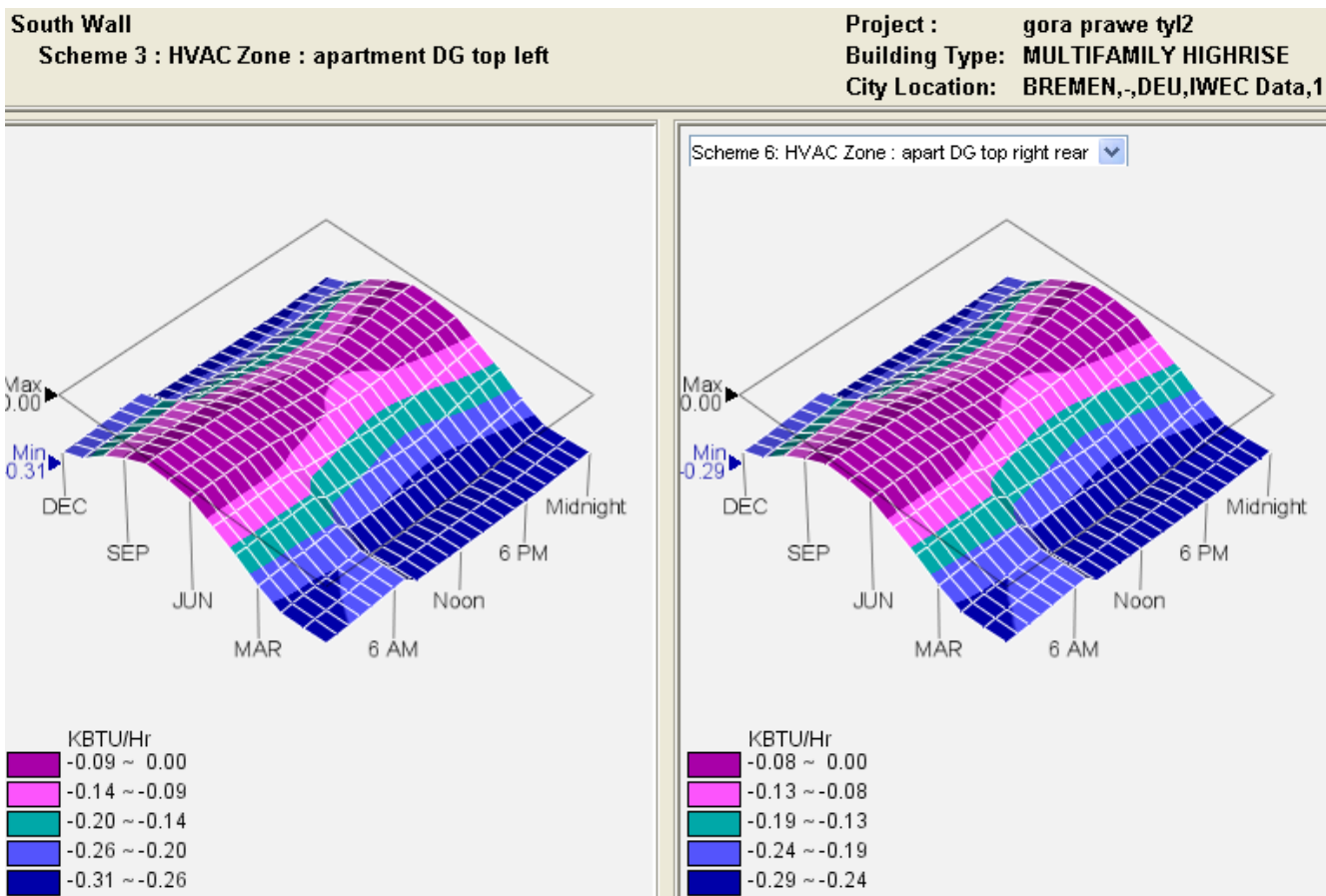
Na rysunkach 4-12 przedstawiono graficzne porównanie wybranych wielkości związanych z mieszkaniami z rysunku 1 oznaczonych jako 1a i 1c. Lewa część rysunku dotyczy ustalonego mieszkania z rysunku 1a, zaś prawa część – może być łatwo wariantowana – dotyczy wybranego mieszkania z rysunku 1c – indeks 6. Porównywane szczegółowe wielkości podano w opisach do tych rysunków. Wykresy te mają postać płatów powierzchni, w których oś w prawo w skos oznacza porę doby (od godziny 0 do 24), w lewo w skos miesiąc roku (od stycznia do grudnia), oś pionowa reprezentuje wyliczaną wielkość, przy której zaznaczono



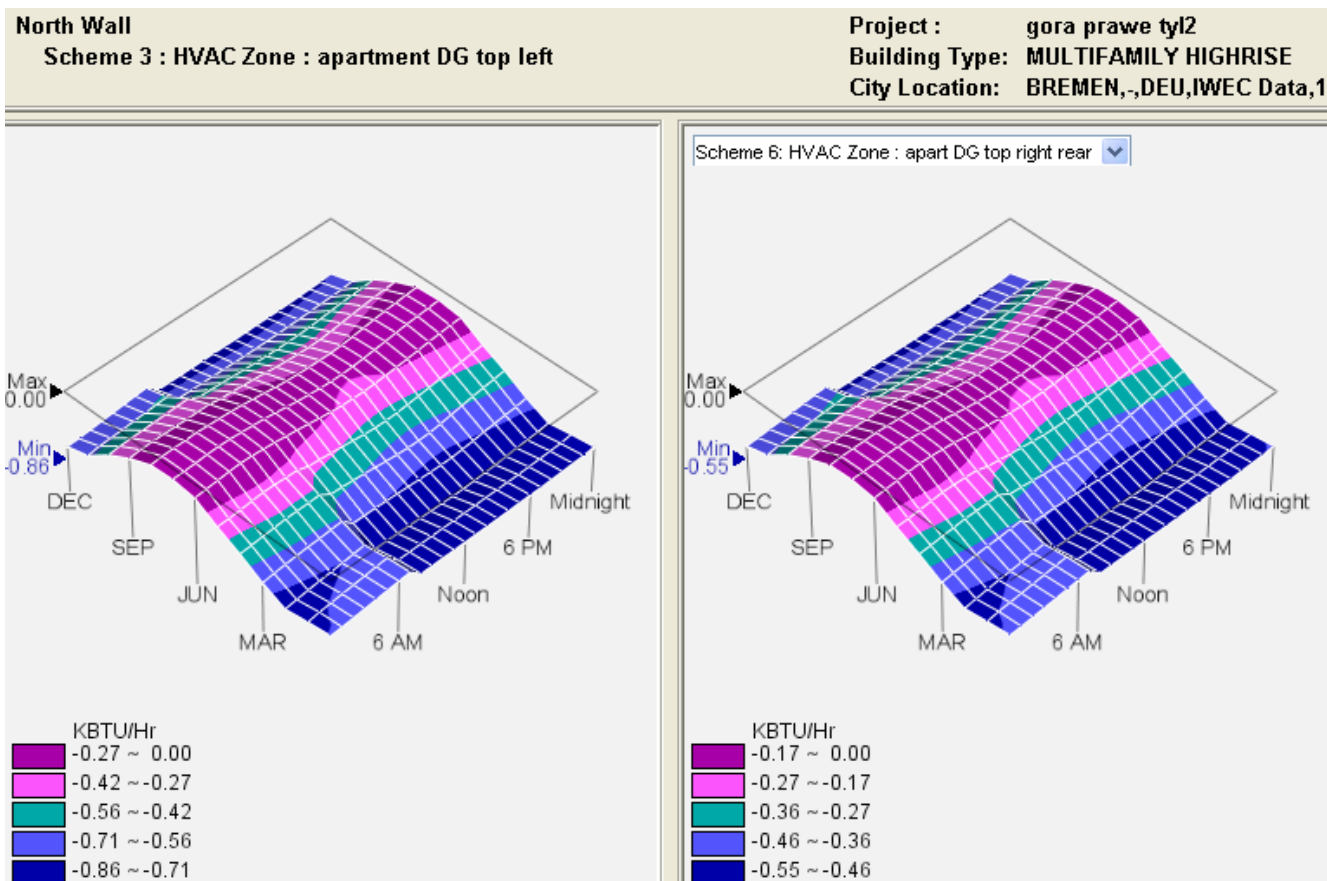
Rys. 4. Wykresy zysków energii słonecznej przez okno północne w mieszkaniu z rys. 1a i 1c



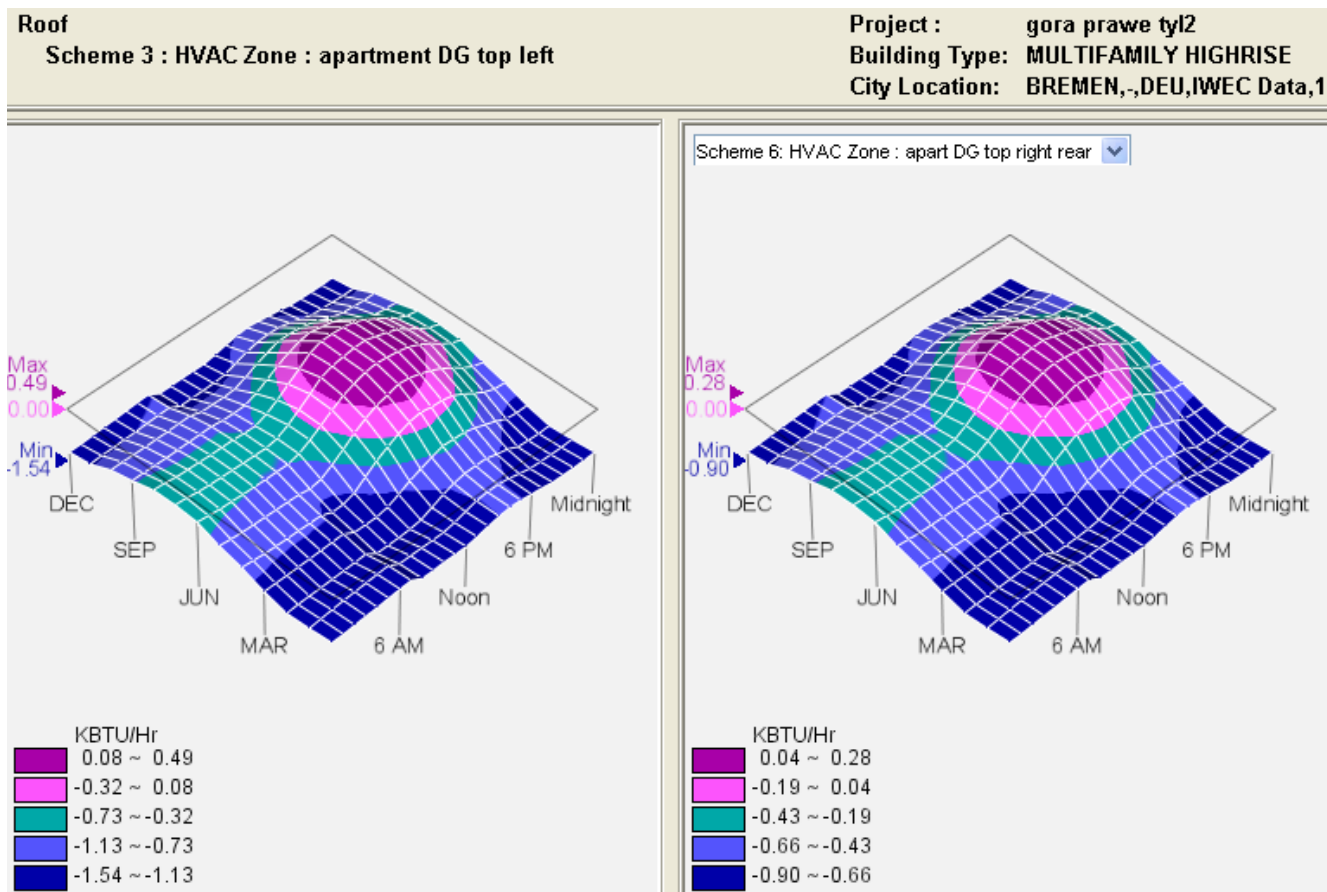
Rys. 5. Wykresy zysków energii słonecznej przez okno południowe w mieszkaniu z rys. 1a i 1c



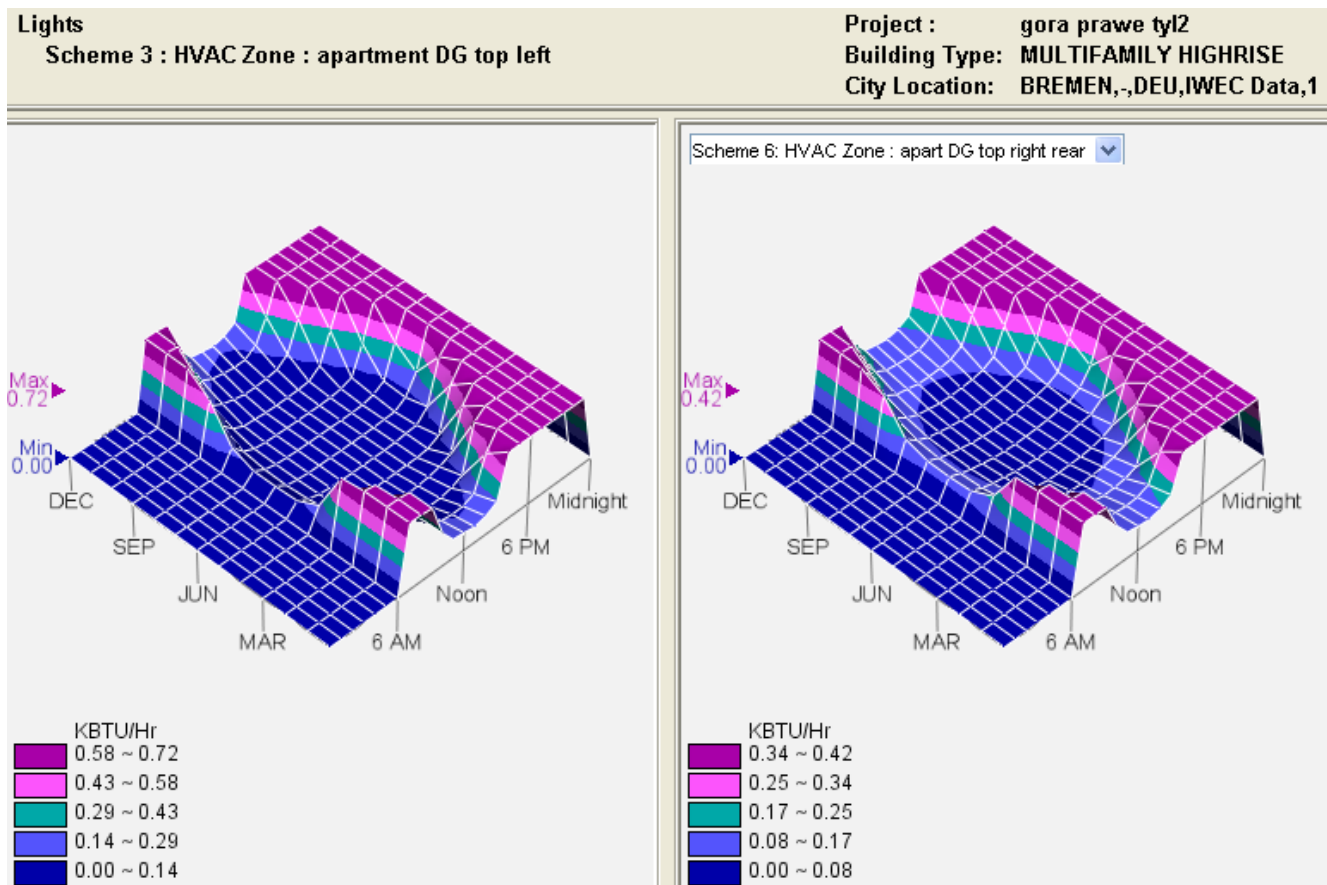
Rys. 6. Wykresy strat energii cieplnej przez ścianę południową w mieszkaniu z rys. 1a i 1c



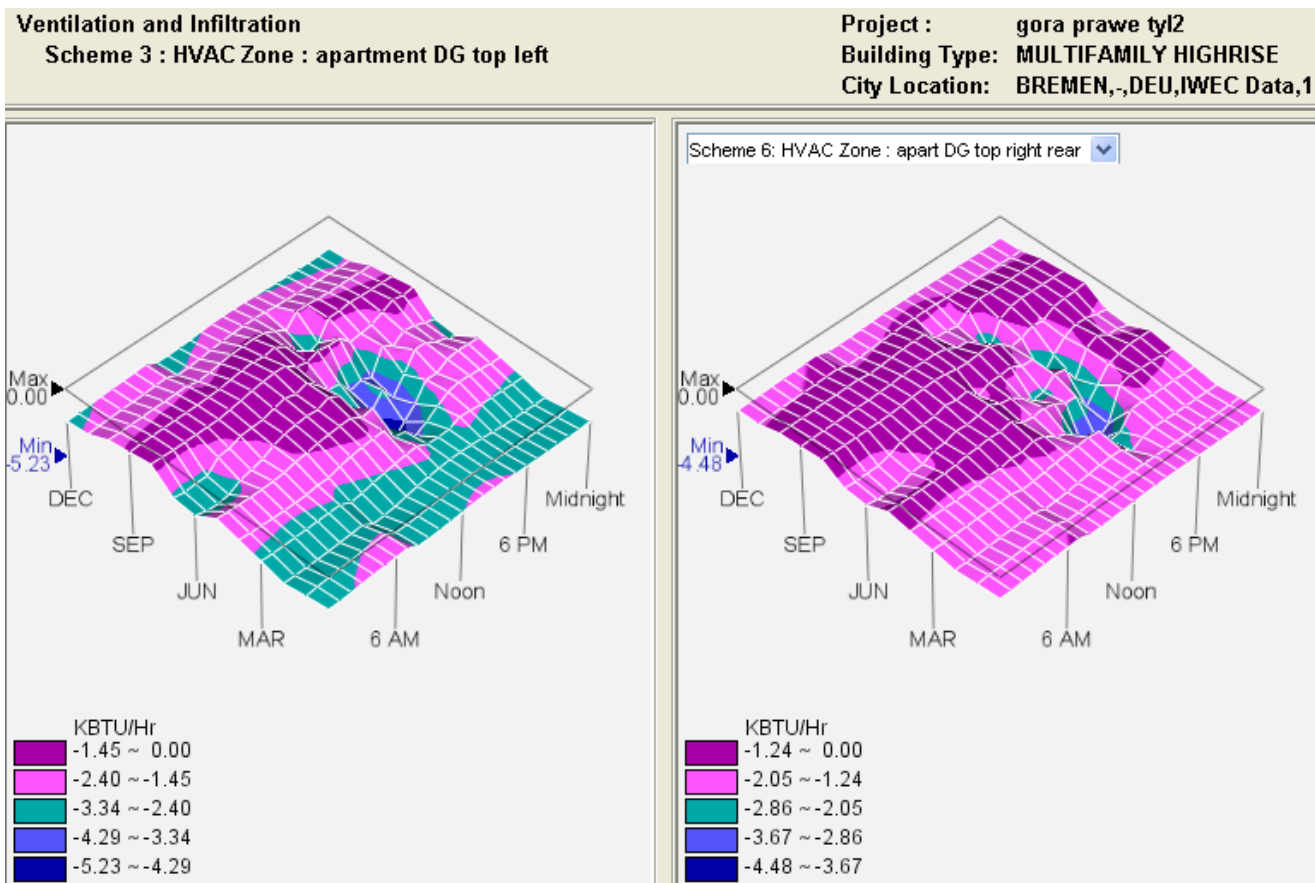
Rys. 7. Wykresy strat energii cieplnej przez ścianę północną w mieszkaniu z rys. 1a i 1c



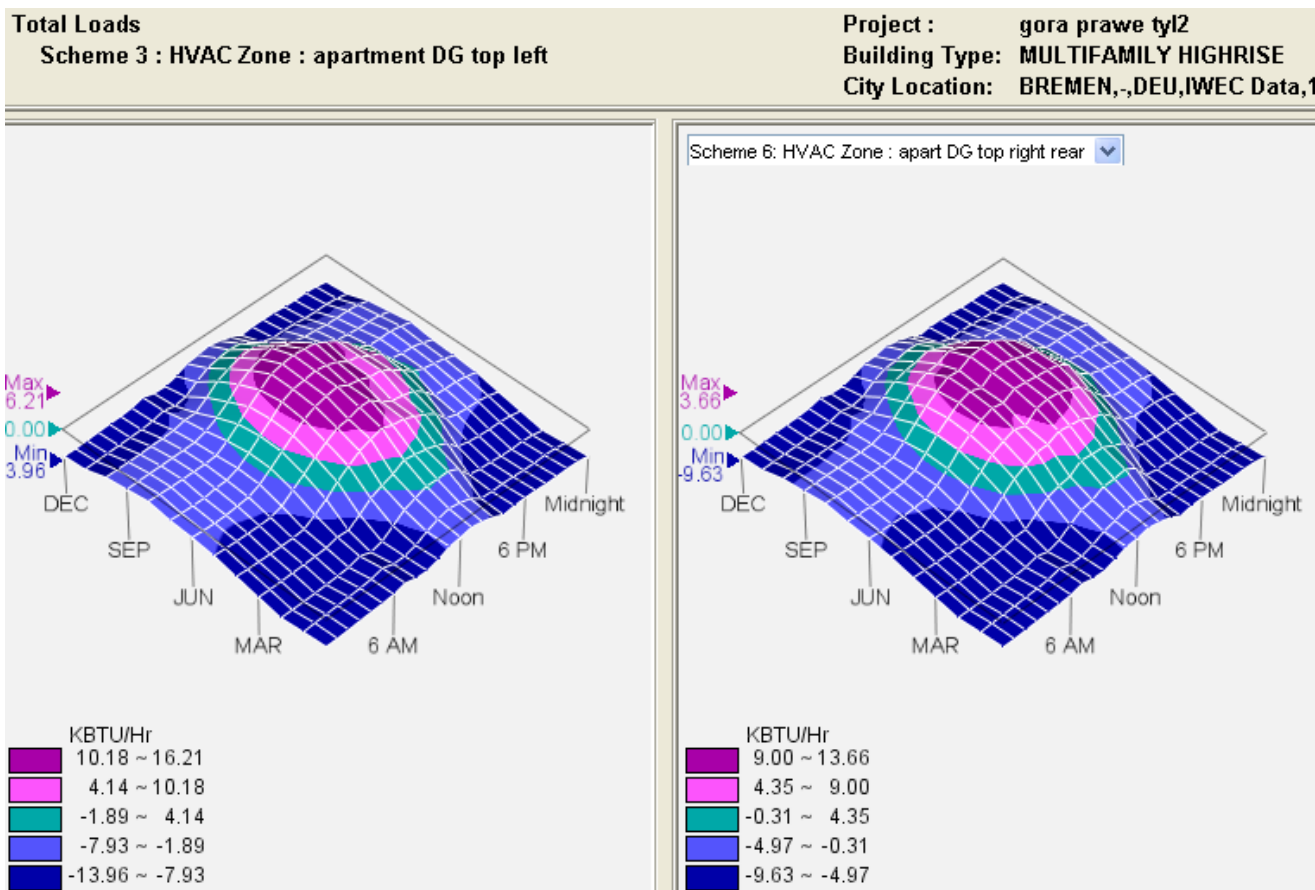
Rys. 8. Przepływy ciepła przez dach w mieszkaniu z rys. 1a i 1c



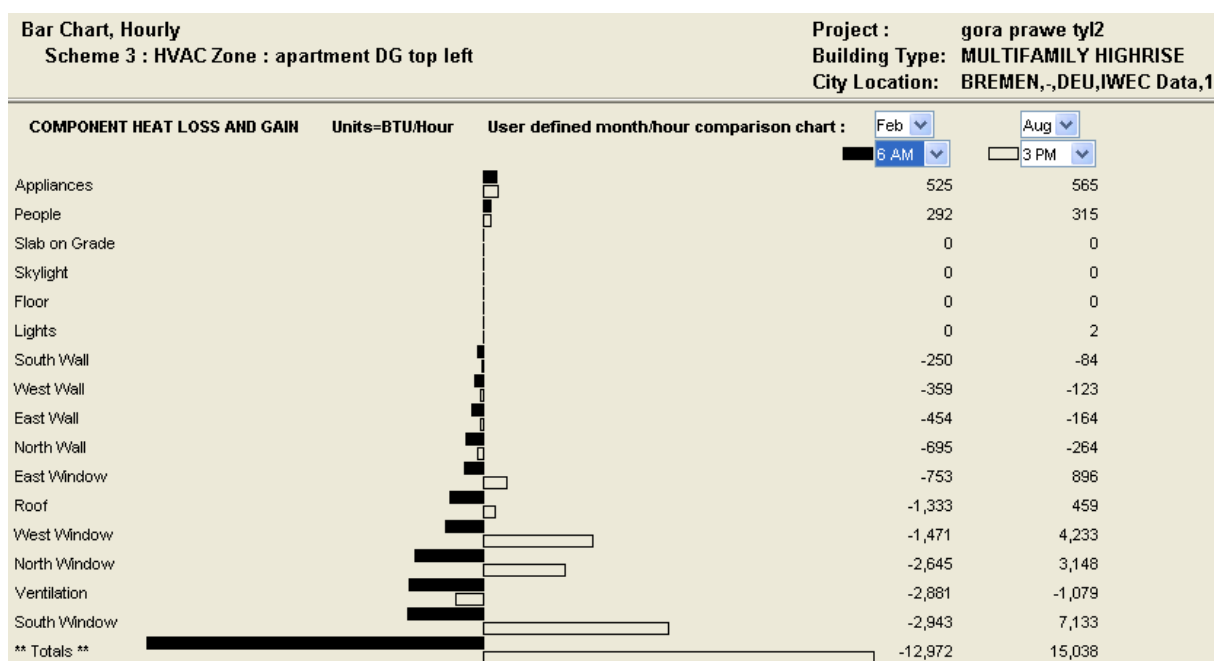
Rys. 9. Zyski ciepła od oświetlenia w mieszkaniu z rys. 1a i 1c



Rys. 10. Zapotrzebowanie ciepła na cele wentylacji i infiltracji w mieszkaniach z rys. 1a i 1c



Rys. 11. Sumaryczne zapotrzebowanie i zyski ciepła w mieszkaniach z rys. 1a i 1c



Rys. 12. Zestawienie komponentów zysków i strat ciepła w lutym (godz. 6:00) oraz w sierpniu (godz. 15:00) – mieszkanie z rys. 1a i 1c

również wielkości maksymalne i minimalne. By wykresy były bardziej plastyczne, wprowadzone pięciokolorową paletę barw. Najmniejszym wartościom odpowiada kolor niebieski, zaś największym – różowy. Należy zwrócić uwagę, że warstwy (granice między poszczególnymi barwami) dla każdego rysunku są dobierane indywidualnie przez program i nie zawsze mają równomierne wartości między poszczególnymi barwami. W szczególności widoczne jest to na rysunkach 6 i 10.

Na rysunkach 4 i 5 zestawiono zyski energii słonecznej przez okno północne i południowe, na rysunkach 6 i 7 – straty energii cieplnej przez ścianę, na rysunku 8 – przepływy ciepła przez dach. Na rysunku 9 zestawiono zyski ciepła od oświetlenia dla założonego harmonogramu dnia – przyjęto, że domownicy są aktywni od godziny 6 do 24 i korzystają w tym czasie z oświetlenia.

Na rysunku 10 porównano zapotrzebowanie ciepła na cele wentylacji i przenikania powietrza przez przegrody (infiltracji) w mieszkaniu z rysunku 1a i 1c, zaś na rysunku 11 sumaryczne zapotrzebowanie i zyski ciepła w tych mieszkaniach.

Na rysunku 12 zestawiono komponenty zysków i strat ciepła w lutym o godzinie 6:00 oraz w sierpniu o godzinie 15:00 dla tych mieszkań.

3. Analiza wyników

Program HEED umożliwia uzyskanie obszernego zbioru rezultatów obliczeń prezentowanych w bardzo przejrzystej formie graficznej. Wyniki można podzielić na dwie grupy:

- związane z syntetyczną oceną energetyczną i ekonomiczną budynku dostępne w zakładce Basic (rys. 2 i 3);

- plansze generowane z zakładki *Evaluate* prezentujące poszczególne składowe (rys. 4-12).

Budynki wskazane odnośnikami 1 i 2 na rysunku 2 są w planie kwadratowe, a powierzchnia rzutu jest średnią rozpatrywanych stref, które na tym rysunku wskazane są kolejno jako 3, 4, 5. Widać wyraźnie, że opłaty za energię elektryczną są dla wariantu 1 znacznie wyższe od pozostałych.

Wariant 2 obliczeń jest specyficzny, wiąże się z najmniejszym zużyciem energii elektrycznej. Wynika to głównie z oszczędności w nakładach eksploatacyjnych na system wentylacyjny z powodu stosowania bardziej energooszczędnych urządzeń.

Natomiast opłaty za opał dla wariantów 1 i 2 są znacznie mniejsze w porównaniu z wariantami 3-6. Rozpatrując ten zysk w łącznych rocznych kosztach eksploatacji należy stwierdzić, że różnice między wariantami 1, 3, 4, 5 są niewielkie i nie przekraczają 10%.

Widoczne jest tu, że budynki o rozbudowanej w planie formie architektonicznej wymagają większych ilości opału w okresie zimowym, jednak strata ta jest niwelowana przez łatwiejszą penetrację światła dziennego co wiąże się z mniejszymi opłatami za energię elektryczną, jak również przez lepsze warunki wentylowania pomieszczeń.

Rysunek 3 przedstawia liczbę godzin w ciągu roku chłodzenia, ogrzewania oraz spełnienia warunków komfortu cieplnego przy wyłączonych instalacjach grzewczych i klimatyzacyjnych. Budynek według schematu 2 wymaga najkrótszego okresu ogrzewania, jednak w wariantcie 1 przy gorszej izolacyjności przegród instalacja chłodnicza pracuje więcej godzin w ciągu roku.

Płaty powierzchniowe ilustrujące zyski energii słonecznej przez okna (rys. 4 i 5) w lewej i prawej części rysunku są niemal identyczne – inne są natomiast wartości liczbowe, co wynika z różnej wielkości okien w poszczególnych strefach budynku. Program uwzględnia zadeklarowane elementy zacierniające okna (drzewa,

sąsiednie budynki lub rozwinięte skrzydło tego samego budynku, płyty balkonowe lub elementy elewacji). Wyznamy ilorazy maksymalnych zysków ciepła do maksymalnych strat na poszczególnych elewacjach:

- elewacja północna:
 $4,01 / 3,04 = 1,319$ lub $0,39 / 0,30 = 1,3$,
- elewacja południowa:
 $9,78 / 3,38 = 2,893$ lub $6,15 / 2,13 = 2,887$,
- elewacja wschodnia:
 $1,73 / 0,86 = 2,011$ lub $3,53 / 1,78 = 1,983$,
- elewacja zachodnia:
 $4,60 / 1,69 = 2,722$ lub $7,47 / 2,53 = 2,952$.

Wynika stąd, że maksymalne zyski ciepła dla elewacji północnej są o około 30% większe niż straty ciepła, dla elewacji wschodniej blisko dwukrotnie większe, zaś dla elewacji południowej lub zachodniej trzykrotnie większe. Podane tu wskaźniki zależą w szczególności od temperatury wewnętrznej, rodzaju oszklwienia, a także wpływu elementów zacieniających.

Dla ścian zewnętrznych (rys. 6 i 7) o izolacyjności $U = 0,225 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ nie obserwujemy zysków ciepła w okresie letnim, zaś dla stropodachu (rys. 8) otrzymujemy

$$0,49 / 1,54 = 0,318 \text{ lub } 0,28 / 0,90 = 0,311.$$

Maksymalne zyski ciepła dla stropodachu latem wynoszą nieco powyżej 30% obliczeniowej wartości strat ciepła.

Powyżej podane wskaźniki mogą być użyteczne przy ocenie relacji zachodzącej między obliczeniowymi wartościami zapotrzebowania ciepła i chłodu. Wiąże się to również bezpośrednio z możliwością oszacowania obliczeniowego zapotrzebowania na chłód i doborem urządzeń klimatyzacyjnych, jeżeli są wykonane obliczenia strat ciepła dla poszczególnych pomieszczeń.

Dla wyznaczenia relacji między stratami ciepła a zyskami w okresie letnim przez przegrody zewnętrzne w danym pomieszczeniu należy uwzględnić łączny wpływ okien i stropodachu (jeżeli występuje w pomieszczeniu) wprowadzając współczynniki wagowe uwzględniające udział powierzchni rozpatrywanego elementu w ogólnej powierzchni przegród zewnętrznych danego pomieszczenia. Rysunek 11 przedstawia sumaryczne zapotrzebowanie i zyski ciepła w mieszkaniach z rysunku 1a i 1c. Ilorazy maksymalnych zysków ciepła do maksymalnych strat w tych mieszkaniach wynoszą odpowiednio

$$16,21 / 13,96 = 1,161 \text{ lub } 13,66 / 9,63 = 1,418.$$

Różnica między tymi ilorazami jest wyraźna i zdecydowanie wykracza poza zakres wynikający z błędów zaokrągleń. Również wyraźnie są widoczne różnice w barwnych obszarach płatów powierzchniowych. Wynika to nie tylko z innego położenia tych mieszkań w układzie budynku i różnych powierzchni przegród wewnętrznych graniczących z pozostałą bryłą budynku,

ale także z różnych zysków ciepła od oświetlenia w mieszkaniu (rys. 9), a przede wszystkim z zupełnie odmiennego w czasie zapotrzebowania ciepła na cele wentylacji i infiltracji (rys. 10).

4. Wnioski

Program ten nadaje się szczególnie do modelowania wpływu poszczególnych elementów ochrony cieplnej budynku (również przegród przezroczystych) lub sposobu użytkowania budynku (oświetlenie, wentylacja, harmonogram korzystania z ciepłej wody) na roczne koszty eksploatacji budynku, na zużycie paliw i emisję dwutlenku węgla.

Program wymaga podania danych odnośnie przegród budynku, instalacji wentylacyjnej, wyposażenia w urządzenia elektryczne oraz liczby użytkowników w poszczególnych godzinach. Od dokładności przyjętych danych do obliczeń zależy jakość uzyskanych wyników symulacji. Uwzględnienie wniosków z analizy wyników obliczeń zwiększy efektywność energetyczną domu.

Oszczędzanie energii oznacza, że można także zaoszczędzić na rachunku za media. Jest to korzystne również dla środowiska, gdyż powoduje zmniejszenie ilości gazów cieplarnianych.

Program umożliwia również uzyskanie szeregu wykresów w postaci płatów powierzchniowych ilustrujących wybrane wielkości w funkcji pory dnia i miesiąca roku.

Literatura

- Haese G. (2010). Analiza wpływu promieniowania słonecznego oraz wielkości powierzchni przeszklonej na charakterystykę energetyczną budynku wielorodzinnego. *Praca doktorska*, Politechnika Białostocka, Białystok, 2010.
<http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu/heed/>
Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008. *Dziennik Ustaw*, Nr 201 z 2008r., poz. 1238.

EXAMPLE OF THE THERMAL MODELLING OF THE BUILDINGS

Abstract: In this study selected results of modeling of the heat transfer phenomena from designed building to the environment are presented. Noncommercial software Heed was used.

Pracę wykonano w Politechnice Białostockiej w ramach realizacji projektu badawczego S/WBiŚ/5/2011 finansowanego ze środków MNiSW w latach 2011-2013.

EKONOMICZNE ASPEKTY OCHRONY ŚRODOWISKA

**Andrzej AUGUSEWICZ, Tomasz BREŃKO, Agnieszka KOZŁOWSKA,
Rafał MIŁASZEWSKI, Beata KAROLINCZAK*, Anna WERNER-JUSZCZUK,
Przemysław WINIAREK**

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45 A, 15-351 Białystok

Streszczenie: Specjalistom pracującym w dziedzinie inżynierii środowiska potrzebna jest wiedza i umiejętności w zakresie ekonomiki ochrony środowiska. W artykule przedstawiono podstawowe zagadnienia ekonomiki ochrony środowiska, których znajomość jest potrzebna inżynierom przy współpracy z ekonomistami w procesie opracowywania analiz ekonomicznych projektów inwestycyjnych w ochronie środowiska. Do tych zagadnień zaliczono szacowanie strat spowodowanych zanieczyszczeniem środowiska, kierunki i cele polityki ekologicznej państwa oraz instrumenty ekonomiczne stosowane w ochronie środowiska, koszty ochrony środowiska i źródła ich finansowania, jak również metody oceny ekonomicznej efektywności inwestycji realizowanych w ochronie środowiska. Szczególna uwaga została zwrócona na koszty ochrony środowiska oraz ich finansowanie z funduszy Unii Europejskiej.

Słowa kluczowe: zanieczyszczenie, środowisko, straty, koszty, efektywność, finansowanie.

1. Wprowadzenie

W artykule przedstawiono rezultaty prac prowadzonych w ramach seminarium na temat ekonomicznych aspektów ochrony środowiska, realizowanego na trzecim roku studiów doktoranckich na kierunku inżynieria środowiska w Politechnice Białostockiej. Prace te były prowadzone przez sześciu uczestników studium doktoranckiego pod kierunkiem Profesora Rafała Miłaszewskiego z Katedry Technologii w Inżynierii i Ochronie Środowiska w roku akademickim 2010/2011.

Świadome kształtowanie relacji pomiędzy wzrostem gospodarczym a dbałością o stan środowiska naturalnego wymaga uwzględnienia aspektów ekonomicznych. Troska o zachowanie walorów środowiska generuje koszty związane z jego ochroną. Dzięki temu unikane są straty gospodarcze i społeczne spowodowane zanieczyszczeniem środowiska. Choć nie wszystkie koszty można określić ilościowo, a otrzymane rezultaty mają często charakter szacunkowy, ich właściwa interpretacja pozwala na rozsądne prowadzenie polityki ekologicznej państwa. Tym samym służy wdrażaniu zasad zrównoważonego rozwoju.

Straty spowodowane zanieczyszczeniem środowiska, koszty jego ochrony oraz efekty inwestycji ochronnych stanowią trzy podstawowe elementy w ocenie ekonomicznej efektywności inwestycji. Metody stosowane w tej ocenie są oparte na analizie kosztów i efektów oraz na analizie efektywności kosztowej.

Aktualne zadania w zakresie ochrony środowiska, realizowane przez specjalistów w dziedzinie inżynierii środowiska wymagają od nich posiadania wiedzy i umiejętności niezbędnych do opracowania różnego rodzaju analiz finansowo-ekonomicznych. Zagadnienia przedstawione w niniejszym artykule stanowią przegląd najważniejszych zagadnień w tym zakresie. Omówiono również źródła finansowania projektów inwestycyjnych w ochronie środowiska, ze szczególnym uwzględnieniem funduszy pomocowych Unii Europejskiej.

2. Straty spowodowane zanieczyszczeniem środowiska

Źródła zanieczyszczeń środowiska dotyczące wszystkich jego elementów to jest powietrza, wody i gleby dzielą się na naturalne i antropogeniczne. Ze względu na charakter i pochodzenie wprowadza się również podział źródeł na punktowe, obszarowe i liniowe. Powstająca w wyniku zanieczyszczenia środowiska antropopresja powoduje szkody w tym środowisku. Wszystkie szkody, spowodowane zanieczyszczeniem, a także zmniejszone lub nieosiągnięte korzyści społeczne związane z eksploatacją walorów i zasobów środowiska są nazywane stratami ekologicznymi (Famielec, 1999).

Straty spowodowane zanieczyszczeniem środowiska dotyczą wszystkich segmentów gospodarki narodowej. Należą do nich przemysł, rolnictwo oraz leśnictwo, gospodarka wodna i stan zdrowia społeczeństwa. Zaliczyć

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: b.karolinczak@pb.edu.pl

tu można także straty w majątku trwałym spowodowane korozją, straty surowców odprowadzanych do powietrza i wód oraz straty wynikające ze złego rozporządzenia surowcami mineralnymi (Symonowicz, 1988). Straty zachodzące bezpośrednio w środowisku można podzielić na straty biologiczne (np. ubytek surowców mineralnych) oraz na straty gospodarcze (na przykład nieefektywne wykorzystanie zasobów naturalnych w działalności gospodarczej). Straty mogą również występować poza środowiskiem. Wówczas mają charakter finansowy lub rzeczowy i dotyczą procesów konsumpcji oraz produkcji (Miłaszewski, 2003).

Możliwe do oszacowania są straty finansowe, określane jako straty gospodarcze. Są to straty wymierne, mające odzwierciedlenie w braku wpływów do skarbu państwa czy uszczupleniu majątku narodowego na skutek dodatkowych wydatków. Należą tu szkody powstałe w wyniku powodzi, pożarów lasów, korozji budynków, a także finansowanie uzdatniania nadmiernie zanieczyszczonych wód czy rekultywacji gruntów. Uszczuplenie środków finansowych może również nastąpić w wyniku utraty możliwości wytwórczych spowodowanej zanieczyszczeniem lub przekształceniem zasobów środowiska. Problem ten dotyczy rolnictwa, w którym zanieczyszczenie środowiska powoduje zmniejszenie plonów, czy rybołówstwa (ograniczenie liczby połowów w zanieczyszczonych wodach) (Symonowicz, 1994).

Zanieczyszczenie elementów środowiska generuje jednocześnie straty społeczne, które ze względu na swój charakter są trudne do oszacowania i stąd klasyfikowane jako niewymierne. Objawiają się one między innymi wzrostem zachorowalności oraz obniżeniem jakości warunków życia. Wśród przyczyn ich występowania można wymienić zanieczyszczenie powietrza przez duże zakłady przemysłowe, ruch samochodowy, a także skażenie wody (Miłaszewski, 2003).

Z ekonomicznego punktu widzenia istotną sprawą jest określenie w kategoriach pieniężnych wielkości strat ponoszonych na skutek zanieczyszczenia. Do ich oszacowania wykorzystuje się metody bezpośredniego i pośredniego wartościowania oraz obliczenia z wykorzystaniem wskaźników jednostkowych (Piontek i in., 1997).

W metodach bezpośrednich straty ekologiczne są wyrażane w jednostkach naturalnych. Dane pozyskuje się na drodze empirycznych badań szkód oraz w oparciu o zdjęcia satelitarne i lotnicze. Pomimo ograniczeń tej metody, może być ona użyta do szacowania takich strat jak: szkody spowodowane powodzią, z tytułu korozji, czy straty w wielkości plonów w rolnictwie, będące rezultatem degradacji gleby.

Wśród metod pośrednich najczęściej wykorzystywane są metoda restytucyjna, substytucyjna i kompensacyjna.

Istotą metody restytucyjnej (odtworzeniowej) jest założenie równości pomiędzy wielkością strat spowodowanych zanieczyszczeniem środowiska a wielkością nakładów niezbędnych do odtworzenia zdegradowanego zasobu lub waloru środowiska przyrodniczego. Wykorzystanie tej metody jest

ograniczone, gdyż nie zawsze stopień degradacji środowiska pozwala na przywrócenie mu jego pierwotnego stanu (Miłaszewski, 2003).

Metoda substytucyjna uwzględnia ceny i koszty akceptowalnych substytutów dóbr oraz zasobów środowiska, które są zagrożone lub zostały utracone. Przykładowo, w środowisku wodnym wyliczane są koszty pozyskania w innym miejscu utraconego elementu środowiska lub koszty budowy i eksploatacji urządzeń, które spełniałyby taką samą funkcję, co element zdegradowany (Broniewicz i in., 2009).

W metodzie kompensacyjnej brane są pod uwagę rekompensaty pieniężne przyznane z tytułu degradacji środowiska. Ich wielkość jest określona przez instytucje prawne lub ubezpieczeniowe. Przykładem może być ograniczenie produkcji w zakładzie przemysłowym spowodowane niedostatecznym zaopatrzeniem w wodę, które jest kompensowane przez zwiększenie produkcji w innym zakładzie.

Połączeniem omawianych wcześniej metod jest metoda wskaźnikowa wykorzystująca empiryczne oszacowania strat ekologicznych uzyskane w warunkach porównywalnych lub uśrednionych. Istotą tej metody jest określenie wskaźników jednostkowych strat ekologicznych, informujących o wielkości przeciętnej straty przypadającej na jednostkę naturalną, na przykład m³ (Miłaszewski, 2009). Przykładowe wartości wskaźników jednostkowych strat ekologicznych, wyrażone w cenach z 2000 roku, zostały przedstawione w tabeli 1.

Tab. 1. Wybrane wskaźniki jednostkowych strat ekologicznych w cenach z 2000 roku (Broniewicz i in., 2009)

I. Straty spowodowane składowaniem odpadów na 1 mieszkańca	
Odpady ogółem	1,68 zł
Odpady komunalne	0,37 zł
II. Straty z tytułu niedostatku wody w rolnictwie	
	2% potencjalnej produkcji końcowej rolnictwa
III. Straty w lasach spowodowane zanieczyszczeniem powietrza	
Straty na 1 ha lasów państwowych	380 zł
Straty na 1 mieszkańca	36 zł
IV. Straty w majątku trwałym z tytułu przyspieszonej korozji	
Udział strat (zwiększonej amortyzacji) spowodowanej stycznością z wodą w wartości środków trwałych brutto	
- energetyka ciepła	2,5%
- gospodarka komunalna	1,0%
- zasoby mieszkaniowe	0,25%
V. Straty spowodowane przez emisję zanieczyszczeń przez samochody	
Straty z emisji gazów w relacji do PKB	0,19 do 0,7%
Straty spowodowane hałasem w relacji do PKB	0,2 do 0,7%

Pomimo różnorodności opisanych metod, wszystkie jedynie szacunkowo określają wielkość strat ekologicznych spowodowanych zanieczyszczeniem środowiska. Dodatkowo, oszacowania strat przy użyciu różnych metod, pomimo wykorzystania tych samych danych wejściowych, mogą znacząco odbiegać od siebie.

Straty roczne spowodowane zanieczyszczeniem środowiska w 1999 roku oszacowano na 45,8 mld zł, co stanowiło około 7% PKB. Zmniejszenie strat ekologicznych o określoną wielkość nie oznacza, że Produkt Krajowy Brutto automatycznie zwiększy się o tę wielkość. Uważa się, że z ekonomicznego punktu widzenia opłacalne jest eliminowanie 60-90% strat spowodowanych zanieczyszczeniem i degradacją środowiska. Koszty przeciwdziałania pozostałym 10-40% strat (w zależności od poziomu zanieczyszczenia) są jednak wyższe od ewentualnych efektów (Famielec, 2001).

3. Koszty przedsięwzięć w ochronie środowiska

Koszty przedsięwzięć służących ochronie środowiska ponoszone są w jej dziewięciu sklasyfikowanych dziedzinach: ochrona powietrza atmosferycznego, gospodarka ściekowa i ochrona wód, gospodarka odpadami, ochrona wód i gleb podziemnych, zmniejszenie hałasu i wibracji, ochrona różnorodności biologicznej i krajobrazu, ochrona przed promieniowaniem jonizującym, działalność badawczo-rozwojowa, pozostała działalność związana z ochroną środowiska (CEPA, 2000). Podejmowane przedsięwzięcia służą unieszkodliwianiu zanieczyszczeń lub zapobieganiu ich powstawania.

Całkowite nakłady na ochronę środowiska stanowią sumę nakładów inwestycyjnych i kosztów bieżących. Nakłady inwestycyjne są sumą nakładów na inwestycje służące unieszkodliwianiu zanieczyszczeń i zapobiegające ich powstawaniu. Koszty bieżące stanowią koszty utrzymania działalności i obsługi obiektów ochrony środowiska. Zalicza się do nich koszty działań własnych (koszty wynagrodzeń z narzutami, koszty zakupu materiałów i energii, opłaty za wynajem) oraz opłaty i zakupy usług środowiskowych (koszty zakupu usług i opłaty publiczne) (Broniewicz i in. 2009). W tabeli 2 przedstawiono wielkość nakładów na ochronę środowiska (nakłady na środki trwałe i koszty bieżące) netto w Polsce w latach 2000-2009.

Nakłady na ochronę środowiska w 2009 roku ponoszone były w większości przez gospodarstwa domowe (52%). Większość środków pochłaniała gospodarka ściekowa i ochrona wód, którą zajmują się głównie przedsiębiorstwa wodociągowo-kanalizacyjne.

Należą one do tzw. monopolu naturalnego. Istnienie na lokalnym rynku jednego usługodawcy jest najbardziej efektywne ekonomicznie, ponieważ znaczną część kosztów stanowią koszty stałe. Ograniczona możliwość regulacji cen oraz wzrostu popytu spowodowały konieczność opracowania układów kwalifikujących koszty własne przedsiębiorstw wodociągowo-kanalizacyjnych. Układy te znajdują zastosowanie w określaniu cen zaopatrzenia w wodę i odprowadzenia ścieków. Wyróżnia się następujące układy kosztów: rodzajowy, stanowiskowo-kalkulacyjny i ekonomiczny (Cygler i Miłaszewski, 2008).

Powszechnie stosowany jest układ rodzajowy, który stwarza podstawy do poznania struktury kosztów. Dzieli on koszty na materialne (zużycie materiałów i środków nietrwałych, energia, amortyzacja, usługi transportowe, remontowe i inne) i niematerialne (wynagrodzenia, narzuty na płace, odpisy na fundusze, podatki, usługi bankowe i inne usługi niematerialne). Niezależnie od form organizacyjnych i prawnych przedsiębiorstw wodociągowo-kanalizacyjnych największy udział w kosztach własnych mają wynagrodzenia z narzutami i amortyzacja (Kłoss-Trębaczewicz i in., 1999). Układ rodzajowy nie daje obrazu wysokości kosztów świadczonych usług dla poszczególnych grup odbiorców (Cygler i Miłaszewski, 2008).

Układ stanowiskowo-kalkulacyjny dzieli koszty w zależności od miejsca ich powstawania. Koszty generowane w ujęciu wody, w procesie jej uzdatniania i przesyłu, w sieci kanalizacyjnej, przepompowni i oczyszczalni ścieków w dalszej kolejności są dzielone na koszty bezpośrednie i pośrednie. Koszty bezpośrednie to koszty technologiczne. Koszty pośrednie stanowią koszty ogólne (kierowania i organizacji pracy, utrzymania budynków, ogrzewania, oświetlenia i czystości, bhp i inne). Zadaniem tego układu jest określenie jednostkowego kosztu poszczególnych rodzajów kosztów, a także jednostkowych kosztów składających się na koszt usług świadczonych przez przedsiębiorstwo wodociągowo-kanalizacyjne. Zalicza się do nich np. jednostkowy koszt: poboru wody z ujęcia [$\text{zł}/\text{m}^3$], eksploatacji stacji uzdatniania wody [$\text{zł}/\text{m}^3$], gospodarki wodomierzowej [$\text{zł}/\text{wodomierz}$], eksploatacji sieci wodociągowej [$\text{zł}/\text{m}$], eksploatacji sieci kanalizacyjnej [$\text{zł}/\text{m}$] i eksploatacji oczyszczalni ścieków [$\text{zł}/\text{m}^3$ lub $\text{zł}/\text{kg}$ ładunku usuniętych zanieczyszczeń].

Układ ekonomiczny dzieli koszty na stałe i zmienne. Koszty stałe to koszty, które są niezmiennie w pewnych granicach zmian ilości dostarczanej wody i przyjmowanych ścieków. Należą do nich: płace z narzutami, amortyzacja, koszty remontów, koszty ogólnozakładowe i wydziałowe. Koszty zmienne zależą od ilości świadczonych usług i należą do nich koszty:

Tab. 2. Nakłady na ochronę środowiska (nakłady na środki trwałe i koszty bieżące) netto ogółem (GUS, 2008, 2009 i 2010)

		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Wysokość nakładów	mld zł	39,9	36,7	30,8	31,4	31,8	32,7	38,6	41,4	41,4	45,4
Udział w PKB	%	4,5	4,4	3,6	3,5	3,4	3,1	3,4	3,4	3,4	3,4

energii elektrycznej i materiałów, opłaty ekologiczne i koszty wywozu i składowania osadów (Cygler i Miłaszewski, 2008).

Koszty całkowite oczyszczania ścieków stanowi suma kosztów eksploatacji i kosztów kapitałowych uzależnionych od sposobu finansowania inwestycji, do których należą koszty amortyzacji oraz koszty oprocentowania kapitału. Koszty eksploatacji stanowią od 52 do 76% kosztów całkowitych, a koszty kapitałowe od 24 do 48% i maleją wraz ze wzrostem wielkości oczyszczalni (Miłaszewski, 2003).

Narzędziami analizy kosztów przedsięwzięć w ochronie środowiska są tabele, wykresy i modele matematyczne. Do ich budowy powinien służyć szeroki zbiór zgromadzonych danych rzeczywistych. Na ich podstawie buduje się najczęściej zależności pomiędzy jednostkowymi nakładami inwestycyjnymi lub jednostkowymi kosztami eksploatacji urządzeń ochrony środowiska a ich wydajnością (wielkością) (Miłaszewski, 2003; Cygler i Miłaszewski, 2008). Przykładem może być wzór uzależniający jednostkowe koszty eksploatacji komunalnych oczyszczalni ścieków k_k [zł/m³/d] od przepustowości oczyszczalni ścieków Q [m³/d] w postaci:

$$k_k = \frac{7,412}{Q^{0,253659}} \quad [\text{zł}/\text{m}^3/\text{d}] \quad (1)$$

Z przedstawionej zależności wynika, że zarówno jednostkowe nakłady inwestycyjne jak i jednostkowe koszty eksploatacji wszystkich urządzeń wodociągowo-kanalizacyjnych maleją wraz ze wzrostem ich wydajności. Znajomość tej zależności powinna znaleźć zastosowanie w planach rozwoju systemów zbiorowego zaopatrzenia w wodę i odprowadzenia ścieków.

4. Ocena ekonomicznej efektywności przedsięwzięć w ochronie środowiska (analiza kosztów i korzyści)

Efektywność ekonomiczna inwestycji oceniana jest na podstawie analizy ekonomicznej uwzględniającej koszty inwestycyjne i osiągnięte korzyści (*Costs – Benefits Analysis – CBA*).

Na podstawie wyników analizy można wnioskować o opłacalności realizacji inwestycji. Analiza wykorzystywana jest głównie przez inwestorów. Badanie stosunku kosztów do korzyści realizowane jest w oparciu o podejście różnicowe, w którym inwestycja jest uznawana za ekonomicznie efektywną, gdy obliczony wskaźnik jest większy od zera lub podejście ilorazowe, przy którym wskaźnik powinien być większy bądź równy jeden. Analiza wykonywana jest w oparciu o metody proste, zwane również uproszczonymi lub statystycznymi lub w oparciu o metody rozwinięte, określane również mianem metod złożonych, dynamicznych lub dyskontowych (Cygler i Miłaszewski, 2008).

Metody proste nie uwzględniają czasu ani też rentowości przedsięwzięcia po upływie założonego w kalkulacjach okresu zwrotu inwestycji. Nie

uwzględniają również zmian wartości pieniądza w czasie. Dlatego też służą najczęściej do wstępnej oceny ekonomicznej efektywności inwestycji lub dotyczą inwestycji krótkookresowych. W ramach prostych metod oceny efektywności ekonomicznej stosowane są następujące wskaźniki: wartość rocznej nadwyżki (WN), stopa zwrotu nakładów inwestycyjnych (R), okres zwrotu nakładów inwestycyjnych (T). Wartość rocznej nadwyżki definiowana jest jako różnica pomiędzy roczną wartością efektu użytkowego a rocznymi kosztami eksploatacji, uwzględniającymi amortyzację. Stopa zwrotu nakładów inwestycyjnych określana jest jako stosunek sumy rocznego zysku netto i rocznych kosztów amortyzacji do całkowitych nakładów inwestycyjnych. Okres zwrotu nakładów inwestycyjnych określa czas, w którym przychody z inwestycji zrównoważą się z nakładami. Okres zwrotu jest odwrotnością stopy zwrotu. Inwestycja oceniana za pomocą wskaźników metod prostych uznawana jest za efektywną ekonomicznie jeżeli: wartość rocznej nadwyżki jest większa lub równa zeru lub stopa zwrotu nakładów inwestycyjnych jest wyższa od rynkowej stopy procentowej lub okres zwrotu nakładów inwestycyjnych nie jest dłuższy od dopuszczalnego dla danego rodzaju przedsięwzięcia (Cygler i Miłaszewski, 2008; Broniewicz i in., 2009).

Aby uprościć określenie efektywności ekonomicznej przedsięwzięć w ochronie środowiska opracowane zostały formuły, której przykładem jest wzór na wskaźnik bezwzględnej efektywności inwestycji E :

$$E = \frac{P + S_u}{I(r + s) + K_e} \quad [-] \quad (2)$$

gdzie: P określa efekty produkcyjne obiektów ochrony wód (suma odzyskanych surowców i wytworzonych produktów) [zł/rok], S_u są to roczne straty uniknięte w wyniku realizacji inwestycji [zł/rok], I to wartość nakładów inwestycyjnych [zł], r to stopa dyskontowa [rok⁻¹], s to średnia stopa amortyzacji [rok⁻¹], K_e oznacza przewidywany roczny koszt eksploatacji (bez amortyzacji) obiektów ochrony wód [zł/rok] (Miłaszewski, 2003).

Inwestycję uznaje się za efektywną, gdy określony wskaźnik jest większy bądź równy 1 (Miłaszewski, 2003).

Metody rozwinięte uwzględniają czynnik czasu. Nakłady i korzyści w poszczególnych latach sprowadza się do poziomu porównawczego wybranego roku przez zdyskontowanie. Dzięki temu analiza obejmuje całkowity okres funkcjonowania przedsięwzięcia. Sprzyja to kompleksowości oceny, ale wymaga zastosowania dokładnego, opartego na wnikliwych badaniach oszacowania wartości wszystkich nakładów i efektów. W ramach metod rozwiniętych stosowane są następujące wskaźniki oceny ekonomicznej efektywności przedsięwzięć: wartość zaktualizowania netto (*Net Present Value – NPV*), wewnętrzna stopa zwrotu (*Internal Rate of Return – IRR*), współczynnik efektów i nakładów (*Benefits – Costs Ratio – BCR*). Wartość zaktualizowana netto to suma zdyskontowanych oddzielnie dla każdego roku okresu obliczeniowego różnic pomiędzy wartościami efektów a nakładów.

Wewnętrzna stopa zwrotu jest to stopa dyskontowa przy której wartość zaktualizowana netto jest równa zeru. Współczynnik efektów i nakładów jest to stosunek wartości aktualnej efektów do wartości aktualnej nakładów (Cygler i Miłaszewski, 2008).

Inwestycja oceniana za pomocą wskaźników metod rozwiniętych uznawana jest za efektywną ekonomicznie jeżeli: wartość zaktualizowana netto jest większa bądź równa zeru lub wewnętrzna stopa zwrotu jest wyższa niż stopa graniczna równa aktualnemu oprocentowaniu kapitału z uwzględnieniem ryzyka lub współczynnik efektów i nakładów jest większy bądź równy zeru (Cygler i Miłaszewski, 2008).

W praktyce stosowana jest również analiza kosztowa, będąca modyfikacją analizy efektywności ekonomicznej. Analizę tę wykonuje się wtedy, gdy pieniężna wycena efektów inwestycji nie jest możliwa bądź niewskazana. Nie pozwala ona na zbadanie opłacalności inwestycji, ale umożliwia wybór optymalnego rozwiązania już na etapie projektowania. Za jej pomocą można wybrać wariant charakteryzujący się minimalnym wskaźnikiem jednostkowych nakładów inwestycyjnych i kosztów eksploatacji przy zachowaniu tego samego efektu użytkowego. Wśród efektów użytkowych rozróżnia się efekty rzeczowe (na przykład ilość oczyszczalnych ścieków, liczbę obsługiwanych mieszkańców, usuwany ładunek zanieczyszczeń), jakościowe (na przykład klasy jakości wód) i ekonomiczne (wyrażone w jednostkach pieniężnych, wyceny strat spowodowanych zanieczyszczeniem środowiska) (Miłaszewski, 2003). Przykładem wskaźnika stosowanego w ramach analizy kosztowej jest wskaźnik średniorocznego kosztu oczyszczania ścieków K_r :

$$K_r = I(r + s) + K_e \quad [\text{zł} / \text{rok}] \quad (3)$$

gdzie I to wielkość nakładów inwestycyjnych [zł], K_e są to roczne koszty eksploatacyjne (bez amortyzacji) [zł/rok], s jest stopą amortyzacji [rok⁻¹], r oznacza stopę dyskontową [rok⁻¹], a pośrednio także okres eksploatacji inwestycji (Miłaszewski, 2003).

5. Instrumenty ekonomiczne polityki ekologicznej państwa

Wśród środków pośredniego i bezpośredniego oddziaływania służących ochronie środowiska rozróżnia się instrumenty ekonomiczne, prawne, społeczne i administracyjne (Miłaszewski, 2003). Instrumenty ekonomiczne należą do elementów pośredniego oddziaływania na podmioty gospodarcze (Broniewicz i in., 2009). Wpływają one na konkurencyjność firm, ich dystrybucję oraz skutki alokacyjne. Mają one charakter obciążeń finansowych, dzięki którym podmioty gospodarcze, aby obniżyć koszty opłat środowiskowych inwestują w technologie ekologiczne zmniejszające obciążenie środowiska naturalnego. Opłaty za koncesje, pozwolenia i inne decyzje, a także kary generują zasoby finansowe gmin i fundacji ekologicznych, które mogą być

ponownie zainwestowane w ochronę środowiska. Instrumenty ekonomiczne są jednym z narzędzi troski o zachowanie równowagi ekologicznej i zabezpieczenie zasobów naturalnych środowiska (Poskrobko, 2007).

Najważniejszą pozycję wśród instrumentów ekonomicznych zajmują opłaty za korzystanie ze środowiska. Zalicza się do nich opłaty za: pobór wody, odprowadzanie ścieków do wód lub do ziemi, odprowadzanie do środowiska wód chłodniczych, wód opadowych i roztopowych, a także ścieków pochodzących z hodowli ryb innych niż łososiowate, emisję zanieczyszczeń do powietrza, składowanie odpadów, usuwanie zieleni, opłatę eksploatacyjną. Opłacie podlega także bezbiornikowe magazynowanie w górotworze substancji lub odpadów, wykorzystanie wód śródlądowych będących własnością Skarbu Państwa do celów żeglugi, użytkowanie gruntów pokrytych wodą stanowiących własność Skarbu Państwa, użytkowanie obwodów rybackich, opłaty za substancje kontrolowane oraz opłaty za pozwolenia zintegrowane (Broniewicz i in., 2009).

Oddzielną grupę instrumentów ekonomicznych stosowanych w ochronie środowiska stanowią opłaty z tytułu nieprzestrzegania wymogów prawa. Do tej grupy zaliczane są: opłaty podwyższone, opłatę za składowanie odpadów w miejscu do tego nieprzeznaczonym, opłatę za składowanie odpadów bez uzyskania decyzji zatwierdzającej instrukcję eksploatacji składowiska odpadów oraz opłatę podwyższoną (Broniewicz i in., 2009).

Administracyjne kary pieniężne są naliczane za przekroczenia lub naruszenia warunków określonych w pozwoleniu lub innej decyzji. Wymiar kary określa wojewódzki inspektor ochrony środowiska (Broniewicz i in., 2009).

Oddzielną grupę instrumentów ekonomicznych stanowią opłaty usługowe związane z zapewnieniem ludności oraz podmiotom gospodarczym usług w zakresie dostarczania wody, odprowadzania ścieków oraz odbioru i unieszkodliwiania odpadów stałych (Broniewicz i in., 2009).

Do instrumentów ekonomicznych, które mają stymulować odpowiednie zachowania wśród producentów i konsumentów należą: opłata produktowa, depozyt ekologiczny, opłata zastępcza.

Do pozostałej grupy instrumentów ekonomicznych stosowanych w ochronie środowiska można zaliczyć: „opłatę wrakową”, opłaty administracyjne, ubezpieczenie, zastaw ekologiczny, zbywalne prawa do emisji (Broniewicz i in., 2009).

Stosunkowo nowym instrumentem regulującym poziom emisji zanieczyszczeń są zbywalne prawa do emisji. Przepływ wyemitowanych uprawnień odbywa się na zasadach rynkowych. Pozyskane przez podmioty gospodarcze pozwolenia stają się papierami wartościowymi na okaziciela i podlegają jawnym i ewidencjonowanym aktom kupna i sprzedaży. Jeżeli przedsiębiorstwo, któremu przyznano limit emisji zanieczyszczeń nie wykorzysta swojego limitu, to firma może sprzedać różnicę między swoją rzeczywistą

a dozwoloną emisją innej firmie, która w ten sposób będzie mogła zwiększyć swoją emisję ponad początkowy limit. W krajowym systemie handlu uprawnieniami do emisji umowy sprzedaży uprawnień mogą być zawierane wyłącznie między podmiotami eksploatującymi instalacje, którym przyznano uprawnienia do emisji. Prawo do emisji na dany rok kalendarzowy może być wykorzystane, sprzedane bądź wykorzystane w następnych latach okresu rozliczeniowego lub w następnym okresie rozliczeniowym. Systemem handlu uprawnieniami w Polsce administruje Krajowy Administrator Systemu Handlu Uprawnieniami do Emisji (Broniewicz i in., 2009).

6. Źródła finansowania przedsięwzięć ochrony środowiska w Polsce

Finansowanie przedsięwzięć z zakresu ochrony środowiska opiera się na zasadach zrównoważonego rozwoju oraz dążeniu do osiągnięcia założonych efektów ekologicznych. Prowadzenie działalności uwzględniającej ochronę środowiska stało się obowiązkiem a także trendem również w Polsce, w szczególności od momentu wstąpienia w struktury Unii Europejskiej. Środki na działania inwestycyjne i nieinwestycyjne mogą być czerpane z różnego rodzaju kredytów, pożyczek, dotacji i dopłat pochodzących z zagranicznej pomocy finansowej udzielanej przez fundacje, programy pomocowe i strukturalne, a także z własnych funduszy inwestorów.

Nie można zapominać o krajowych źródłach finansowania, głównie funduszach ekologicznych, które w ramach swoich priorytetów czuwają na straży dobrego stanu środowiska. Filar polskiego systemu finansowania ochrony środowiska stanowi Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (NFOŚiGW) oraz 16 wojewódzkich funduszy (Broniewicz i in. 2000; Miłaszewski, 2003; Poskrobko, 2007). Cele i zadania tych instytucji reguluje ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 roku Prawo ochrony środowiska (Dz. U. 2001 nr 62 poz. 627).

Fundusze przekazywane na inwestycje z zakresie utrzymania i poprawy stanu środowiska mogą pochodzić ze źródeł publicznych, prywatnych i publiczno-prywatnych. Środki publiczne kierowane są najczęściej z budżetu państwa i budżetowych jednostek samorządowych. Fundusze prywatne to najczęściej środki własne inwestorów, środki pochodzące z banków, funduszy inwestycyjnych i strukturalnych (Cygler i Miłaszewski, 2008). W ostatnich latach coraz bardziej popularne staje się partnerstwo publiczno-prywatne, łączące zaangażowanie i środki finansowe pochodzące ze źródeł prywatnych i publicznych.

Subwencje, czyli różne formy pomocy finansowej kierowane do podmiotów gospodarczych powinny stać się dla nich bodźcem do zmiany postępowania i przystosowania do istniejących norm środowiskowych. Dużym zainteresowaniem organów odpowiedzialnych za ochronę środowiska, a także tych zobowiązanych do ochrony środowiska, cieszą się preferencyjne dotacje bezzwrotne, pożyczki preferencyjne z funduszy

ekologicznych, kredyty preferencyjne z Banku Ochrony Środowiska (BOŚ) oraz dopłaty do oprocentowania kredytów. Preferencyjny charakter tych instrumentów polega na: możliwości umorzenia części przekazanych inwestorowi środków, obniżonym w stosunku do rynkowego oprocentowania długim okresie kredytowania, możliwości wstrzymania spłaty środków do momentu zakończenia inwestycji lub uruchomienia urządzeń bądź instalacji. Instytucjami odpowiedzialnymi za realizację takich form obrotu środkami w dziedzinie ochrony środowiska są Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej oraz Bank Ochrony Środowiska. Instytucje te nie są nastawione na uzyskiwanie i maksymalizację zysku, lecz na wykonywanie zobowiązań polegających na minimalizowaniu wpływu działalności ludzkiej na środowisko i służeniu rozwojowi gospodarki w zakresie ochrony środowiska naturalnego. Podmioty te współpracują ze sobą i są w pewien sposób od siebie zależne. Jedną z form zależności może być przekazywanie środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej Bankowi Ochrony Środowiska (BOŚ) z przeznaczeniem na kredyty, dotacje, pożyczki na wybrane przedsięwzięcia proekologiczne. NFOŚiGW jest również właścicielem około 80% akcji BOŚ (Broniewicz i in., 2009; Miłaszewski, 2003; Poskrobko, 2007; www.bosbank.pl).

Ponadto bardzo ważną formą działalności Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w ostatnich latach jest skuteczne i sprawne wykorzystywanie funduszy pochodzących z Unii Europejskiej. Działa on jako instytucja wdrażająca główne priorytety środowiskowe Programu Operacyjnego Infrastruktura i Środowisko (POIiŚ) w latach 2007-2013. Spoczywa na nim odpowiedzialność za zawieranie umów o dofinansowanie, ogłaszanie wybranych konkursów i prowadzenie procesu naboru wniosków. W ramach POIiŚ 2007-2013 instytucja ta ma do rozdyponowania ponad 5 mld euro na projekty, co ustanawia ją dominującym źródłem finansowania przedsięwzięć ochrony środowiska. Główne jego zaangażowanie w ramach tych obowiązków kieruje się na realizację priorytetów związanych z: gospodarką wodno-ściekową, gospodarką odpadami i ochroną powierzchni ziemi, zarządzaniem zasobami i przeciwdziałaniem zagrożeniom środowiska, przedsięwzięciami dostosowującymi przedsiębiorstwa do wymogów ochrony środowiska, ochroną przyrody i kształtowaniem postaw ekologicznych oraz wspieraniem energetyki przyjaznej środowisku (www.nfosigw.gov.pl).

POIiŚ 2007-2013 jest jednym z największych źródeł wsparcia spoza granic Polski. Jego głównym celem jest rozwój regionów Unii Europejskiej, poprzez wsparcie infrastruktury technicznej z uwzględnieniem ochrony i poprawy środowiska. Łączna ilość środków z tego funduszu skierowana do naszego kraju wynosi ponad 37 mld euro, z czego 4,8 mld skierowane jest bezpośrednio na środowisko. Fundusze na środowisko są również zawarte pod różnymi postaciami w innych priorytetach POIiŚ, co powoduje zwiększenie wyżej

wymienionych alokacji środków na ochronę środowiska. Z funduszu tego dofinansowywane są duże inwestycje komunalne i ekologiczne (Cygler i Miłaszewski, 2008).

Łącząc w ostatniej dekadzie środki pochodzące z różnych źródeł, a w szczególności od momentu przystąpienia Polski do Unii Europejskiej, ochrona środowiska została bardzo mocno dofinansowana.

7. Wnioski

- Wielkość strat spowodowanych zanieczyszczeniem środowiska, wynosząca w relacji do PKB około 7%, stanowi główną przesłankę ekonomiczną do podejmowania działań w ochronie środowiska.
- Kierunki i cele działań w ochronie środowiska są określone w dokumencie Ministerstwa Środowiska „Polityka ekologiczna państwa” (2008). Realizacji celów polityki ekologicznej państwa służą, obok instrumentów prawno-administracyjnych, również instrumenty ekonomiczne.
- Do podstawowych instrumentów ekonomicznych, stosowanych w ochronie środowiska, zalicza się opłaty ekologiczne, kary pieniężne za naruszanie standardów ekologicznych, subwencje na projekty w zakresie ochrony środowiska oraz rynki uprawnień zbywalnych do emisji zanieczyszczeń.
- Całkowite nakłady na ochronę środowiska stanowią sumę nakładów inwestycyjnych i kosztów bieżących. Wysokość tych nakładów kształtuje się na poziomie około 3,4% PKB.
- Obecnie bardzo ważnym źródłem finansowania projektów w ochronie środowiska są fundusze pomocowe Unii Europejskiej. Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej działa jako główna instytucja finansowa w Polsce wdrażająca priorytety środowiskowe Programu Operacyjnego Infrastruktura i Środowisko, realizowanego w Polsce w latach 2007-2013.

Literatura

- Broniewicz E., Godlewska J., Miłaszewski R. (red.) (2009). *Ekonomika i zarządzanie ochroną środowiska dla inżynierów. Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej*, Białystok.
- Classification of Environmental Protection Activities and Expenditure (CEPA). (2000). *Europejski Urząd Statystyczny Eurostat*.
- Cygler M., Miłaszewski R., (red). (2008). *Materiały do studiowania ekonomiki zaopatrzenia w wodę i ochrony wód. Fundacja Ekonomistów Środowiska i Zasobów Naturalnych*, Białystok.
- Famielec J. (1999). *Straty i korzyści ekologiczne w gospodarce narodowej*. PWN, Warszawa-Kraków.

- Famielec J. (red.) (2001). *Straty gospodarcze spowodowane zanieczyszczeniem środowiska naturalnego w Polsce w warunkach transformacji gospodarczej, Cz. 2. Akademia Ekonomiczna*, Kraków, maszynopis.
- Kloss-Trebaczkiewicz H., Osuch-Pajdzińska E., Roman M. (1999). *Opłaty za usługi wodociągowe i kanalizacyjne. Wydawnictwo PZITS*, Warszawa.
- Koniecznyński J. (1993). *Oczyszczanie gazów odlotowych. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej*, Gliwice.
- Miłaszewski R. (2003). *Ekonomika ochrony wód powierzchniowych. Fundacja Ekonomistów Środowiska i Zasobów Naturalnych. Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko*, Białystok.
- Miłaszewski R. (2009). *Metody określania kosztów środowiskowych i zasobowych spowodowanych użytkowaniem wód. Tom 11. Środkowo-Pomorskie Towarzystwo Naukowe Ochrony Środowiska*.
- Ochrona środowiska. Informacje i opracowania statystyczne (2008, 2009, 2010). *Główny Urząd Statystyczny*, Warszawa.
- Polityka ekologiczna państwa na lata 2008-2012 z perspektywą do roku 2016 (2008). *Ministerstwo Środowiska*, Warszawa.
- Piontek B., Piontek F., Piontek W. (1997). *Ekorozwój i narzędzia jego realizacji. Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko*, Białystok.
- Poskrobko B. (red.) (2007). *Zarządzanie środowiskiem. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne*, Warszawa.
- Symonowicz A. (1988). *Straty z tytułu zanieczyszczenia zasobów wodnych – metodyka rachunku i oszacowanie strat bezpośrednich. CBPB – 04.10.13.02.12, Etap II IGS – Spis*, Warszawa, maszynopis powielony.
- Symonowicz A. (1994). *Straty spowodowane degradacją środowiska. Ekonomia i Środowisko*, Nr 2 (5), 99-112.
- Strona internetowa Banku Ochrony Środowiska: www.bosbank.pl (data wejścia: 06.06.2011).
- Strona internetowa Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej: www.nfosigw.gov.pl (data wejścia: 06.06.2011).

ECONOMIC ASPECTS OF ENVIRONMENTAL PROTECTION

Abstract: Specialists employed in the environmental engineering sector need to have knowledge and skills in the area of environmental protection economics. The paper discusses fundamental issues of environmental protection economics which engineers need during cooperation with economists on development of economic analysis for environmental protection investment projects. These issues estimation of losses caused by environmental pollution, directions and objectives of the state environmental policy and economic instruments used in environmental protection, cost of environmental protection and sources of funding as well as methods for economic effectiveness of environmental protection investment projects. Special attention is focused on the costs of environmental protection and their funding from European Union funds.

TECHNOLOGIA OCHRONY MATERIAŁOWO-STRUKTURALNEJ BETONÓW CEMENTOWYCH W ŚRODOWISKU AGRESYWNYM

Krzysztof FALKOWSKI*

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45 A, 15-351 Białystok

Streszczenie: O trwałości konstrukcji z betonów cementowych wysokich wytrzymałości w określonych warunkach użytkowania (klasach ekspozycji) decyduje przede wszystkim odporność betonu na agresywne oddziaływania środowiskowe. Przeprowadzone przez autora badania potwierdzają, iż modyfikacja mikrostruktury betonu przez zastosowanie domieszki pasty asfaltowej, z wykorzystaniem specjalnych metod zagęszczania mieszanki betonowej, stanowi skuteczną ochronę materiałowo-strukturalną betonów cementowych przy jednoczesnym zmniejszeniu zawartości pasty bitumicznej w stosunku do masy cementu. Uzyskany w badanych betonach układ struktury porowatości pozwala osiągnąć mniejszą nasiąkliwość i wyższą mrozoodporność oraz sprawia, że beton staje się praktycznie nieprzepuszczalny dla jonów chlorkowych.

Słowa kluczowe: beton, pasta bitumiczna, wibrowanie z wibroprasowaniem, odporność korozyjna betonu, porowatość, wytrzymałość na ściskanie.

1. Wprowadzenie

Wpływ oddziaływań środowiskowych na postępującą destrukcję betonu niewątpliwie wymaga ciągłych poszukiwań i udoskonalania zbadanych już metod ochrony konstrukcji betonowych. Zdaniem autora najbardziej pożądana jest ochrona materiałowo-strukturalna polegająca na zapewnieniu trwałości betonu, w określonych warunkach użytkowania, poprzez dokonanie właściwego doboru składników oraz ukształtowanie odpowiedniej mikrostruktury betonu w wyniku reakcji chemicznych i procesów fizyko-chemicznych zachodzących pomiędzy składnikami w procesie wytwarzania (Falkowski, 2011). W przedstawionym eksperymencie dokonano modyfikacji mikrostruktury betonu przez dodanie pasty bitumicznej, a strukturę betonu formowano z wykorzystaniem szczególnie skutecznych metod zagęszczania mieszanki betonowej, takich jak: wibroprasowanie i wibrowanie z wibroprasowaniem, nazwane również w literaturze wibro-wibroprasowaniem (Bołtryk i in., 2010).

2. Cel badań

Celem opisywanych badań stosowanych jest uzyskanie nowego materiału konstrukcyjnego o podwyższonej odporności w środowiskach silnie agresywnych chemicznie. Dotychczasowe wyniki badań przeprowa-

dzonych na betonach z dodatkiem pasty bitumicznej w stosunku do masy cementu 9,5-13% (Kosior-Kazberuk, 2002) oraz 5-7% (Wieczorek i in., 2004; Wieczorek 2006; Wiszniewski, 2007) wykazują, że przy zawartościach pasty bitumicznej powyżej 5% faktycznie następuje znacząca poprawa niektórych właściwości betonu, na przykład mrozoodporności betonu w połączeniu z odpornością na oddziaływanie soli odladzających, co ma pierwszorzędne znaczenie praktyczne przy produkcji krawężników drogowych, kostki brukowej, prefabrykatów do zabezpieczania skarp i innych wyrobów drobnowymiarowych. Jednakże zastosowanie takiej ilości pasty bitumicznej w stosunku do cementu prowadzi do znacznego obniżenia właściwości mechanicznych, a w szczególności wytrzymałości na ściskanie betonu. W realizowanej pracy postawiono za cel wykazanie, że dzięki zastosowaniu skutecznej metody wibroprasowania lub wibrowania z wibroprasowaniem można uzyskać betony o korzystnej strukturze porowatości i podwyższonej odporności na oddziaływanie różnych agresywnych środowisk korozyjnych, przy jednoczesnym zmniejszeniu ilości pasty bitumicznej poniżej 5% w stosunku do masy cementu. Takie podejście w rozwiązywaniu postawionego celu wymagało budowy stanowiska badawczego oraz zastosowania planowania doświadczeń eksperymentalnych, w wyniku których można było optymalizować, zarówno ilość pasty bitumicznej, jak i parametry oddziaływań zewnętrznych w procesie zagęszczania mieszanek betonowych.

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: krzysztoffalkowski1@wp.pl

3. Przebieg eksperymentu

Eksperyment podzielono na trzy etapy. W pierwszym etapie badań zaplanowano doświadczenie trójczynnikowe i dokonano statystycznej oceny istotności wpływu badanych czynników na właściwości fizyczno-mechaniczne betonu. Czynnikiem zmiennymi w badaniach były: czynnik A – zawartość pasty bitumicznej w stosunku do cementu na trzech poziomach $A_1 = 0\%$, $A_2 = 5\%$, $A_3 = 10\%$, czynnik B – naprężenia ściskające pod łokiem na trzech poziomach $B_1 = 0,00$ MPa, $B_2 = 0,05$ MPa, $B_3 = 0,10$ MPa oraz czynnik C – czas wibrowania (wibroprasowania) $C_1 = 60$ s, $C_2 = 90$ s, $C_3 = 120$ s. Optymalizowanymi cechami w eksperymencie były wytrzymałość na ściskanie, gęstość pozorna oraz nasiąkliwość betonu po 28 dniach twardnienia (dojrzwania) w warunkach laboratoryjnych. W badaniu wytrzymałości próbek betonowych dla każdej kombinacji na trzech poziomach czynników zaplanowano po $n = 5$ powtórzeń i uzyskano $q^2n = 3^2 \cdot 5 = 45$ jednostek doświadczalnych (próbek). Natomiast w badaniu nasiąkliwości i gęstości pozornej próbek betonowych dla wszystkich kombinacji doświadczalnych $A_i B_j C_k$ zaplanowano trzy powtórzenia i stąd liczba zbadanych próbek wynosiła $3 \cdot 3 = 27$. Przygotowanie i badanie wszystkich próbek betonowych wykonano w sposób całkowicie losowy, aby wykluczyć błąd systematyczny. Formowanie próbek o wymiarach $150 \times 150 \times 150$ mm odbywało się na stanowisku wibroprasowania z regulowaną siłą docisku wywołującą naprężenia ściskające w mieszance betonowej w zakresie od 0 do 0,2 MPa (0-450 kg).

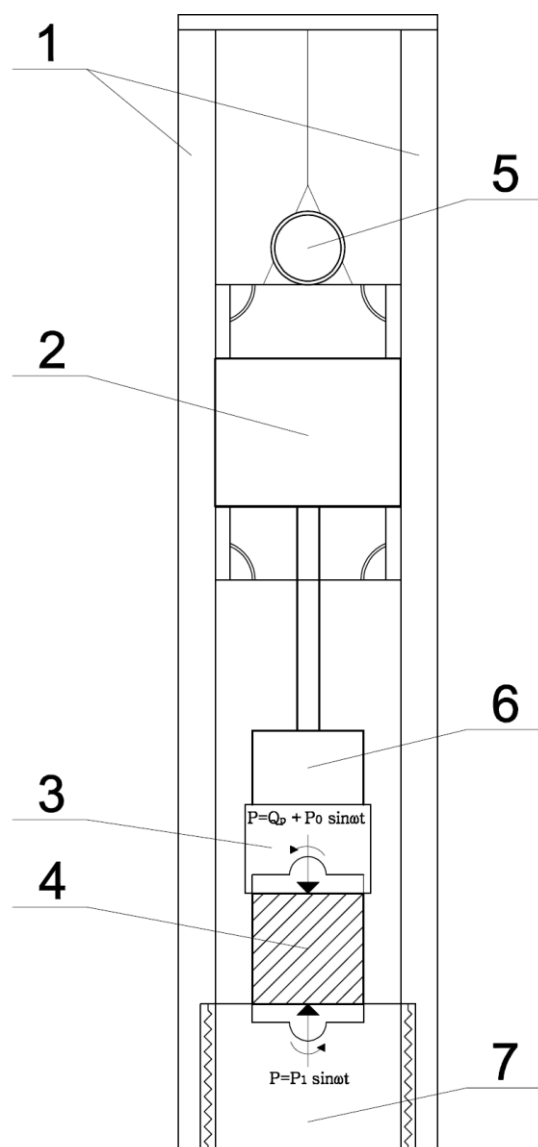
Drugi etap eksperymentu obejmował badania optymalizacyjne w zakresie technologii formowania betonu z uwzględnieniem siły wymuszającej wibrację jako dodatkowego czynnika. Na podstawie wyników badań przeprowadzonych w pierwszym etapie eksperymentu ustalono, że w przypadku zastosowania wibrowania z wibroprasowaniem z optymalną siłą wymuszającą (dodatkowy czynnik), istnieje możliwość zmniejszenia zawartości pasty bitumicznej do 2-4% w stosunku do masy cementu z równoczesnym zapewnieniem uzyskania szczelnej struktury betonu bez znacznego zmniejszenia jego mechanicznych właściwości. Dla sprawdzenia tego założenia zaplanowano i zrealizowano doświadczenie czteroczynnikowe z następującymi zmiennymi: X_1 – zawartość pasty bitumicznej w stosunku do masy cementu ($2 \leq X_1 \leq 4\%$), X_2 – siła wymuszająca ($0,8 \leq X_2 \leq 4,0$ kN), X_3 – naprężenie ściskające ($0,05 \leq X_3 \leq 0,1$ MPa), X_4 – czas wibrowania ($30 \leq X_4 \leq 60$ s) i zbadano ich wpływ na wytrzymałość oraz nasiąkliwość betonu. Mieszankę betonową zagęszczano w formach o wymiarach $150 \times 150 \times 150$ mm i po wibrowaniu z wibroprasowaniem próbki przechowywano przez 24 h w formach przykrytych folią a następnie przez kolejne 27 dni w komorze nad lustrem wody. Z każdej z 8 serii wykonano po 8 kostek, w sumie przygotowano 64 próbki betonowe. W celu optymalizacji technologii formowania po 28 dniach dojrzwania betonów w sposób losowy wybierano 5 próbek do badania

wytrzymałości na ściskanie i 3 próbki do badania nasiąkliwości wagowej.

W trzecim etapie przeprowadzono badania specjalistyczne odporności betonu modyfikowanego pastą bitumiczną na agresywne oddziaływania środowiskowe, a mianowicie: badanie mrozoodporności metodą zwykłą, badanie mrozoodporności metodą złuszczeń powierzchniowych, badania przenikalności chlorków, badanie odporności na oddziaływanie CO_2 , badania korozyjne w roztworach substancji agresywnych zmiennych cyklicznie (tak zwany „test przemienny”), badania strukturalne z wykorzystaniem porozymetrii rtęciowej, dyfraktometrii rentgenowskiej, termicznej analizy różnicowej oraz mikroskopii skaningowej z mikroanalizą rentgenowską. Badania prowadzono przyjmując zoptymalizowane parametry procesu wibrowania z wibroprasowaniem, to jest siłą wymuszającą równą 4 kN, naprężenia ściskające 0,1 MPa i czas wibrowania 30 s, na trzech składach betonów, które oznaczono: B0 – beton bez domieszki pasty bitumicznej, B2 – beton z 2% zawartością pasty bitumicznej w stosunku do cementu, B4 – beton z 4% zawartością pasty bitumicznej w stosunku do cementu. Mieszankę betonową zagęszczano w formach o wymiarach $150 \times 150 \times 150$ mm. Po wibrowaniu z wibroprasowaniem próbki przechowywano przez 24 h w formach przykrytych folią, a następnie przez kolejne 27 dni, w komorze nad lustrem wody. Z każdej receptury wykonano po kilkanaście próbek betonowych, które wykorzystano do dalszych badań. Wybrane właściwości badano na próbkach w kształcie prostopadłościanów o wymiarach $100 \times 100 \times 50$ mm, $75 \times 75 \times 150$ mm i $40 \times 40 \times 40$ mm oraz walców o średnicy 93 mm wyciętych z podstawowych próbek sześciennych $150 \times 150 \times 150$ mm.

4. Stanowisko badawcze

Na podstawie analizy wyników badań właściwości fizyczno-mechanicznych betonu na stanowisku wibroprasowania przeprowadzonych w pierwszym etapie eksperymentu stwierdzono, że dalsze badania optymalizacyjne w zakresie technologii formowania powinny być realizowane z wykorzystaniem techniki wibrowania z wibroprasowaniem, jako bardziej skutecznej metody zagęszczania mieszanek betonowych modyfikowanych pastą bitumiczną. W tym celu rozbudowano stanowisko laboratoryjne. Schemat ideowy stanowiska przedstawiono na rysunku 1. Do ruchomego tłoka zamocowano dodatkowo górny wibrator przyczepny z regulowaną siłą wymuszającą P_o w sześciu zakresach. Konstrukcja wibratora pozwala regulować siłę wymuszającą, odpowiednio: 0,8 kN; 2,50 kN; 3,15 kN; 4,00 kN i 6,30 kN. Ponadto można regulować siłę docisku tłoka Q_p praktycznie w dowolnym przedziale naprężeń.



Rys. 1. Schemat ideowy stanowiska do wibrowania z wibroprasowaniem: Q_p – siła docisku, P_o – siła wymuszająca drgania górnego wibratora, P_1 – siła wymuszająca drgania dolnego wibratora; 1 – prowadnice, 2 – obciążenie inercyjne, 3 – nadstawka, 4 – forma, 5 – wibrator górny z regulowaną siłą wymuszającą, 6 – tłok dociskowy, 7 – wibrator dolny

5. Zastosowane materiały i składy badanych betonów

Do wykonania próbek użyto cementu portlandzkiego o wysokiej odporności na siarczany i małej zawartości alkaliów CEM I 42,5 N-H-HSR/NA z Cementowni Rejowiec. Jako kruszywo zastosowano piasek normowy frakcji 0-2 mm oraz kruszywo łamane bazaltowe o uziarnieniu od 2 do 16 mm. Punkt piaskowy mieszanki kruszyw wynosił 41,95%. Receptury mieszanek zostały sporządzone przy stałej zawartości cementu równej 500 kg/m^3 , stałym współczynniku $w/c = 0,3$ oraz zmiennej ilości pasty bitumicznej w stosunku do masy cementu. Pasta bitumiczna jest upłynnionym roztworem asfaltu przemysłowego w wysokowrzącym rozpuszczalniku organicznym (naftie technicznej z dodatkami) według patentu RP nr 136449. Pastę bitumiczną wprowadzano do zarubu jako mieszaninę z cementem. Przy ustalaniu składu mieszanki betonowej założono konsystencję wilgotną jako optymalną przy zastosowaniu specjalnych technologii, do których zalicza się wibroprasowanie i wibrowanie z wibroprasowaniem. Składy betonów na 1 m^3 przedstawiono w tabelach 1 i 2.

6. Wyniki badań i ich analiza

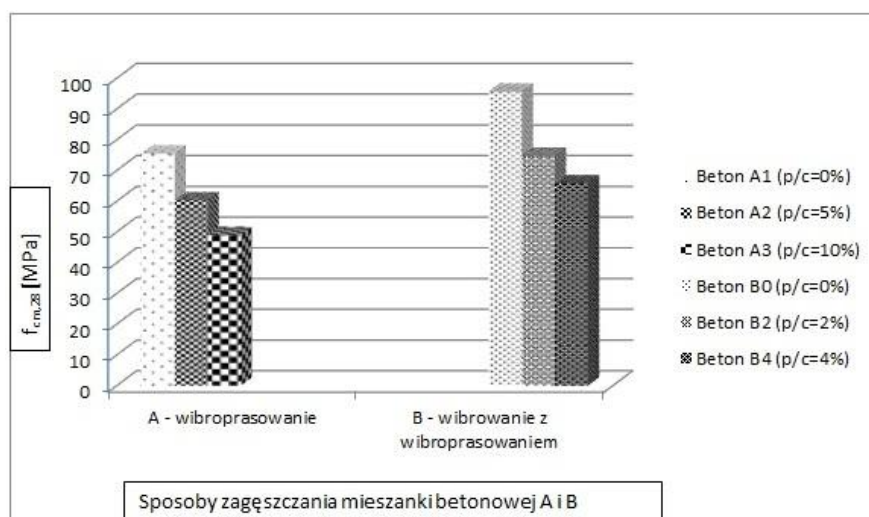
Wykorzystanie techniki wibrowania z wibroprasowaniem przy formowaniu próbek pozwoliło na uzyskanie betonów o wysokich wytrzymałościach na ściskanie (rys. 2). Zarówno betony bez pasty bitumicznej (B0), jak i modyfikowane pastą bitumiczną (B2 i B4), charakteryzowały się wyraźnym przyrostem wytrzymałości nawet o 20% w stosunku do wyników uzyskanych przy samym wibroprasowaniu (A1, A2, A3). Przy $p/c = 0,02$ betony (B2) osiągały wytrzymałość na ściskanie ponad 70 MPa, zaś przy $p/c = 0,04$ wytrzymałość na ściskanie (B4) przekraczała 60 MPa. Jeszcze wyższe wytrzymałości uzyskiwały betony bez pasty (B0-wibro-wibroprasowany) ponad 90 MPa i (A1 – wibroprasowany) średnia 74,6 MPa (rys. 3).

Tab. 1. Składy mieszanek betonowych zastosowanych w I etapie eksperymentu

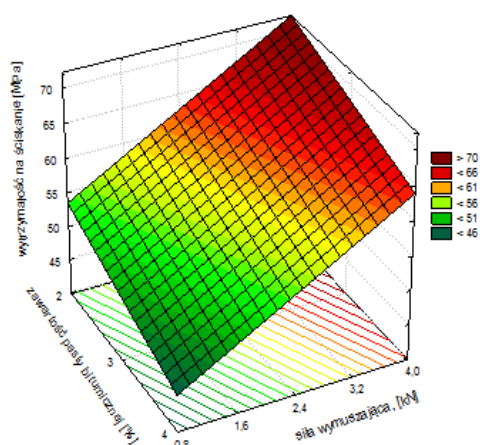
Skład	Ilość poszczególnych składników, w kg/m^3						
	Cement	Pasta bitumiczna	Piasek normowy	Grys			Woda
				2-4 mm	4-8 mm	8-16 mm	
A1	500	-	824,4	341,5	683,0	113,8	150
A2	500	25	807,3	334,4	668,9	111,5	150
A3	500	50	789,6	327,1	654,2	109,0	150

Tab. 2. Składy mieszanek betonowych zastosowanych w II i III etapie eksperymentu

Skład	Ilość składników, w kg/m ³						
	Cement	Pasta bitumiczna	Piasek normowy	Grys			Woda
				2-4 mm	4-8 mm	8-16 mm	
B0	500	-	824	341	683	114	150
B2	500	10	818	329	678	113	150
B4	500	20	811	336	672	112	150



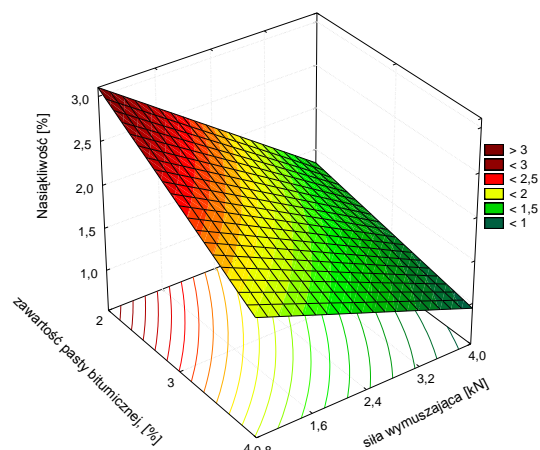
Rys. 2. Wytrzymałość na ściskanie betonu po 28 dniach dojrzewania $f_{cm,28}$ [MPa] w zależności od zawartości pasty bitumicznej p/c [%] w stosunku do masy cementu i sposobu zagęszczania: przez wibroprasowanie (A) i przez wibrowanie z wibroprasowaniem (B)



Rys. 3. Wytrzymałość na ściskanie próbek betonowych modyfikowanych pastą w zależności od zawartości pasty bitumicznej (X_1) i siły wymuszającej drgania górnego wibratora (X_2)

Wyniki badań nasiąkliwości potwierdzają istotny wpływ domieszki pasty bitumicznej i wykorzystanej techniki zagęszczania mieszanki betonowej. Przy optymalnych parametrach wibrowania z wibroprasowaniem uzyskano niską nasiąkliwość próbek betonowych, na przykład dla B2 ($p/c = 0,02$) średnia nasiąkliwość wynosiła 1,25% zaś dla B4 ($p/c = 0,04$)

tylko 0,94%. Natomiast przy formowaniu próbek poprzez samo wibroprasowanie odnotowano wyższe wartości, na przykład średnia nasiąkliwość A2 ($p/c = 0,05$) wyniosła 1,29%. Analiza wyników nasiąkliwości wskazuje na bardzo korzystny wpływ zarówno domieszki pasty bitumicznej jak i zoptymalizowanej metody formowania techniką wibrowania z wibroprasowaniem (rys. 4).

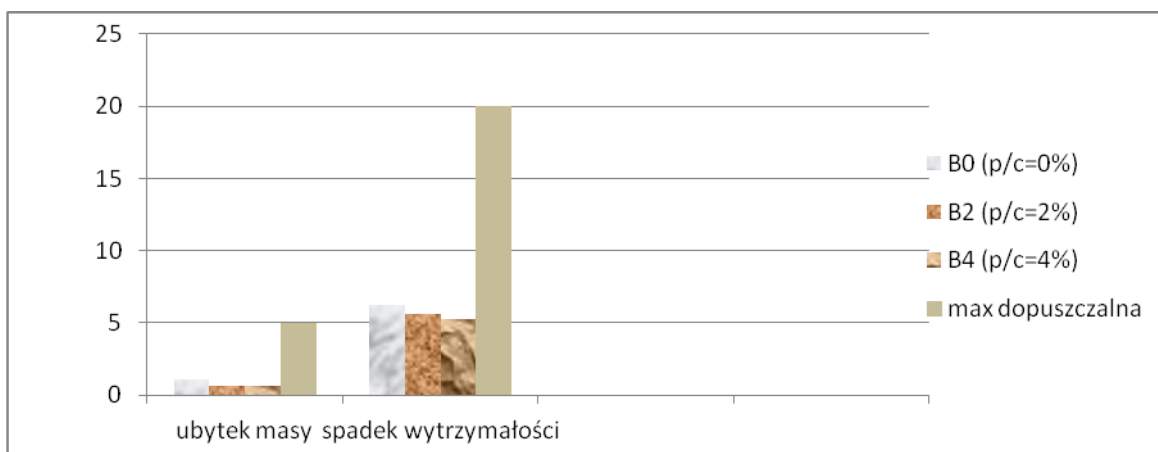


Rys. 5. Nasiąkliwość próbek betonowych modyfikowanych pastą w zależności od zawartości pasty bitumicznej (X_1) i siły wymuszającej drgania górnego wibratora (X_2)

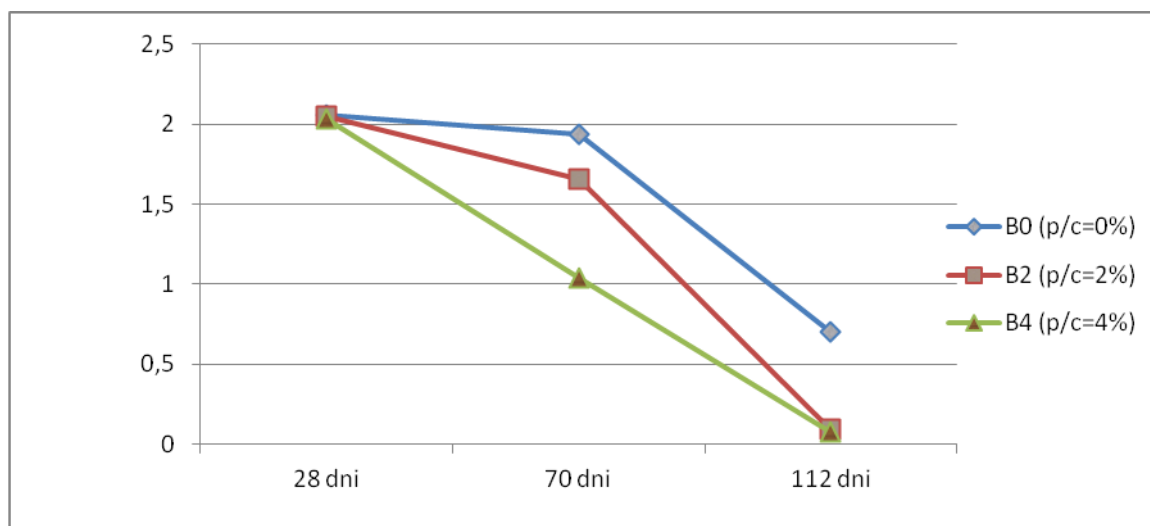
W badaniach mrozoodporności betonu metodą zwykłą po 150 cyklach zamrażania i rozmrażania nie stwierdzono znacznych ubytków masy, pęknięć ani złuszczeń. Beton bez pasty charakteryzował się 0,14% spadkiem masy i 6,2% spadkiem wytrzymałości na ściskanie, a betony z 2% i 4% zawartością pasty – 0,08% ubytkiem masy i odpowiednio 5,6% i 5,3% spadkiem wytrzymałości. Jak wynika z uzyskanych wartości wszystkie badane betony zagęszczane przez wibrowanie z wibroprasowaniem charakteryzuje odporność na 150 cykli zamrażania i rozmrażania w wodzie. Zarówno przy spadkach wytrzymałości, jak i ubytkach masy, lepsze rezultaty odporności mrozowej osiągnięto na betonach modyfikowanych pastą (rys. 5).

Wyniki badań mrozoodporności betonu z udziałem soli odladzających pozwalają na stwierdzenie, że wszystkie badane betony formowane w technice wibrowania z wibroprasowaniem (B0, B2, B4) charakteryzują się bardzo dobrą odpornością na zamrażanie i rozmrażanie z udziałem soli odladzających. Średnie masy złuszczeń po 28 cyklach w obecności 3% roztworu NaCl wynosiły odpowiednio:

0,33 kg/m², 0,92 kg/m², 0,34 kg/m² i nie przekroczyły dopuszczalnej wartości normowej wynoszącej 1,0 kg/m². W wyniku przeprowadzonych badań odporności betonu na wnikanie jonów chlorkowych stwierdzono, iż beton zagęszczany przez wibrowanie z wibroprasowaniem, prawidłowo zaprojektowany i po odpowiedniej pielęgnacji, jest bardzo mało przepuszczalny dla jonów chlorkowych. Natomiast wprowadzenie do mieszanki betonowej pasty asfaltowej pozwala uzyskać beton praktycznie nieprzepuszczalny dla jonów chlorkowych. Współczynnik przenikania chlorków przez badane betony D_{nssm} po 28 dniach dojrzewania jest nawet pięciokrotnie niższy niż betonów zagęszczanych przez wibrowanie. Oznacza to, że zastosowanie metody zagęszczania przez wibrowanie z wibroprasowaniem pozwala uzyskać betony o bardzo małej przepuszczalności jonów chlorkowych. W przypadku betonów, zawierających pastę asfaltową, pomiędzy 28 a 112 dniem dojrzewania wartość współczynnika obniżyła się nawet dwudziestokrotnie osiągając wartość $0,1 \times 10^{-12}$ m²/s, czyli uzyskano beton praktycznie nieprzepuszczalny dla jonów chlorkowych (rys. 6).



Rys. 5. Ubytek masy i spadek wytrzymałości betonów formowanych z wykorzystaniem techniki wibrowania z wibroprasowaniem po 150 cyklach zamrażania i rozmrażania w zależności od zawartości pasty asfaltowej



Rys. 6. Zmiany współczynnika przenikania jonów chlorkowych w zależności od zawartości pasty asfaltowej i wieku betonu

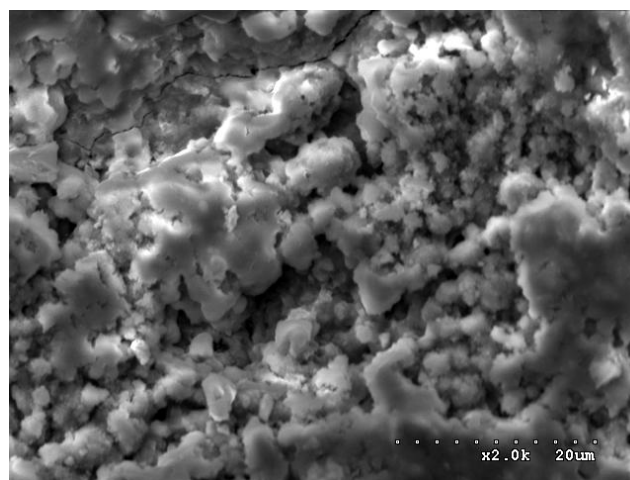
Wykonano także badania korozyjne w roztworach substancji agresywnych zmienianych cyklicznie (tak zwany „test przemienny”). Z obserwacji próbek betonu wibrowanego z wibroprasowaniem przechowywanych przez 3 miesiące w wodzie i środowiskach agresywnych wynika, że badane betony charakteryzują się zwiększoną odpornością na działanie silnie agresywnych środowisk. We wszystkich badanych przypadkach próbki zachowały swój kształt i wymiary niezależnie od roztworu korozyjnego, nie obserwowano destrukcji betonu, ani znacznego spadku wytrzymałości próbek betonu poddanych działaniu środowisk korozyjnych, w porównaniu do wytrzymałości próbek przechowywanych w wodzie. Próbki betonów z 2% zawartością pasty miały mniejszą wytrzymałość na ściskanie niż próbki przechowywane w środowisku porównawczym. Pomimo tego, wykazywały się stosunkowo dużym współczynnikiem odporności korozyjnej równym $OK = 0,93$. Natomiast próbki z 4% zawartością pasty charakteryzowały się większą wytrzymałością na ściskanie niż próbki przechowywane w środowisku wodnym ($OK = 1,20$), a próbki bez pasty bitumicznej wykazywały porównywalną wytrzymałość ($OK = 1,01$).

Na podstawie przeprowadzonych badań mikrostruktury przy zastosowaniu porozymetrii rtęciowej można stwierdzić, że modyfikacja pastą asfaltową wibrowanych z wibroprasowaniem betonów cementowych umożliwia otrzymanie tworzywa o zbliżonej strukturze porowatości w stosunku do betonów niemodyfikowanych z niewielkim przesunięciem porowatości w kierunku drobnych porów kapilarnych. Taki układ struktury porowatości pozwala osiągnąć mniejszą nasiąkliwość, kapilarność i wyższą mrozoodporność materiału, z jednoczesnym obniżeniem wytrzymałości na ściskanie. Betony modyfikowane pastą bitumiczną i wibrowane z wibroprasowaniem charakteryzują się: zbliżoną porowatością całkowitą w porównaniu z betonem niemodyfikowanym, najmniejszą zawartością porów żelowych oraz makroporów, największą zawartością drobnych porów kapilarnych. Właściwości te są korzystne ze względu na odporność korozyjną i trwałość w warunkach oddziaływań czynników atmosferycznych.

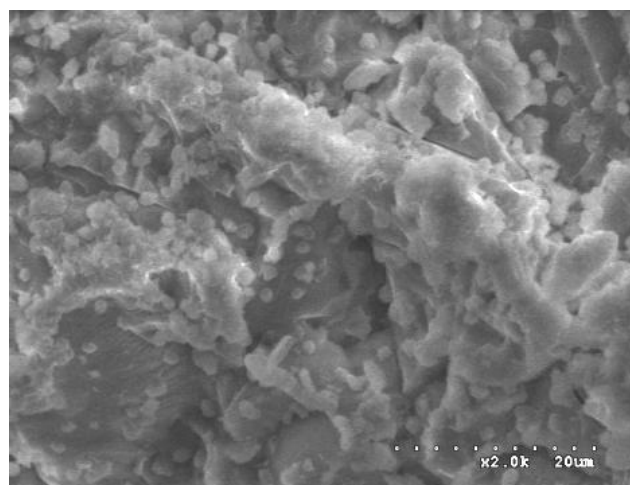
Wyniki dyfraktometrii rentgenowskiej wskazują, że ilość nieprzereagowanego alitu we wszystkich badanych seriach betonów jest podobna, z występującą nieznaczną tendencją wzrostową wraz ze wzrostem zawartości pasty asfaltowej. Można przypuszczać, że obecność modyfikatora nieznacznie spowolniła proces hydratacji cementu w ciągu 90 dni. Z kolei intensywność refleksów pozostałych składników klinkieru, takich jak belit i fazy glinianowe, zmniejszyła się nieznacznie w obecności pasty asfaltowej. Po 90 dniach hydratacji refleksy fazy CSH były intensywniejsze w przypadku betonów modyfikowanych pastą asfaltową. Dodatek pasty asfaltowej w ilości 4% w stosunku do masy cementu spowodował spadek zawartości $Ca(OH)_2$ w stosunku do betonu bez pasty o około 2% co potwierdza tylko nieznaczne spowolnienie procesu hydratacji cementu. Ubytek masy spowodowany rozkładem węgla wapnia

w zakresie temperatur 580-1000°C wzrastał wraz ze wzrostem ilości pasty asfaltowej, zarówno w przypadku badanych próbek cementów, jak i separatorów z betonów.

Obserwacje prowadzone na przełamach próbek za pomocą mikroskopu skaningowego pozwoliły stwierdzić, że obecność pasty w ilości 2% i 4% w stosunku do masy cementu wpływa na modyfikację morfologii powstającej fazy CSH, nadając jej formę włóknistą. Wpływ pasty asfaltowej na budowę mikrostruktury betonu uznano za korzystny z uwagi na jego właściwości użytkowe. Pasta asfaltowa działając jako środek hydrofobizujący, pokrywa ściany porów przez co utrudnia migrację wilgoci oraz przerywa ciągłość porów kapilarnych (rys. 7 i 8).



Rys. 7. Beton B0. Faza CSH. Powiększenie 2000x (fot. T. Koziolkiewicz)



Rys. 8. Beton B4. Alit częściowo pokryty fazą CSH. Powiększenie 2000x (fot. T. Koziolkiewicz)

7. Wnioski

W pracy wykazano, że dzięki zastosowaniu skutecznej metody wibrowania z wibroprasowaniem można uzyskać betony o korzystnej strukturze porowatości i podwyższonej odporności na oddziaływanie różnych

agresywnych środowisk korozyjnych przy jednoczesnym zmniejszeniu ilości pasty bitumicznej w stosunku do masy cementu.

Na podstawie badań kompleksowych zrealizowanych w ramach eksperymentu, ustalono optymalne receptury betonów i technologię ich wykonywania.

1. Uzyskano betony wysokich wytrzymałości o $f_{cm,28}$ w przedziale 60-70 MPa i bardzo jednorodnej strukturze, niskiej nasiąkliwości oraz odpornych na oddziaływanie środowiska agresywnego.
2. Opracowane i wykonane stanowisko laboratoryjne do wibrowania z wibroprasowaniem pozwala zagęszczać dowolne mieszanki betonowe bez domieszek upłynniających w czasie 30 sekund.
3. Dzięki specjalnej metodzie zagęszczania zmniejszono zużycie pasty asfaltowej z 10% do 2-4% w stosunku do masy cementu.
4. Ustalono optymalną recepturę betonu i technologię formowania wyrobów (krawężników mostowych) w warunkach półprzemysłowych: współczynnik woda-cement ($w/c = 0,3$), kruszywo frakcji 0-16 mm; zawartość pasty 2 i 4% w stosunku do masy cementu; stosunek dociążenia tłoka (Q_p) do siły wymuszającej górnego wibratora (P_o) powinien wynosić od 0,4 do 0,6; naprężenia prasujące 0,075-0,1 MPa.
5. Technologia wibrowania z wibroprasowaniem betonów modyfikowanych domieszką asfaltową w ilości 2-4% w stosunku do masy cementu może znaleźć zastosowanie w zakładach prefabrykacji wytwarzających prefabrykaty na potrzeby budownictwa drogowego, mostowego i hydrotechnicznego.

Literatura

Bołtryk M., Wieczorek G., Wiszniewski J., Rutkowska W. (2010). Kształtowanie właściwości betonu modyfikowanego asfaltem na agresję chemiczną. W: Materiały konferencji naukowo-technicznej KONTRA 2010, *Przegląd budowlany*, 6/2010, 29-32.

Falkowski K. (2011). Ochrona materiałowo-strukturalna betonów cementowych przed mrozem oraz agresją środków odladzających. *Inżynier budownictwa*, 2/2011, 51-54.

Kosior-Kazberuk M. (2002). Modyfikacja betonu przeznaczonego do konstrukcji mostowych roztworem asfaltu w wysokowrzącym rozpuszczalniku organicznym. Rozprawa doktorska, *Politechnika Białostocka*, Białystok, 2002.

Wieczorek G. (2006). Ochrona materiałowo-strukturalna betonu przez jego modyfikację asfaltem. W: Materiały konferencji naukowo-technicznej KONTRA 2006, *Ochrona przed korozją*, 5s/A/2006, 185-192.

Wieczorek G., Bołtryk M., Wiszniewski J. (2004). Beton modyfikowany asfaltem i szkłem wodnym. Perspektywy wdrożeniowe. W: Materiały konferencji naukowo-technicznej KONTRA 2004. *Ochrona przed korozją*, 5s/A/ 2004, 302-317.

Wiszniewski J. (2007). Ochrona materiałowo-strukturalna prasowanych elementów drobnowymiarowych realizowana poprzez modyfikację asfaltem betonu. Rozprawa doktorska, *Politechnika Białostocka*, Białystok, 2007.

TECHNOLOGY OF MATERIAL AND STRUCTURAL PROTECTION OF CEMENT CONCRETE IN AGGRESSIVE ENVIRONMENT

Abstract: The sustainability of the construction made of high-strength cement concrete in specific operating conditions (display classes) mainly depends on concrete resistance on aggressive environmental effects. The research carried out by the author of the paper confirms that modification of concrete microstructure by applying admixture of asphalt pastes by means of special concrete concentration methods provides efficient protection. At the same time the content of asphalt paste in relation to the weight of cement decreases. The porosity structure system that was obtained in examined concrete allows receive lower impregnability and higher frost resistance and makes concrete virtually impervious to chloride ions

JAKOŚĆ POWIETRZA WEWNĘTRZNEGO W TYPOWYM PRZEDSZKOLU W BIAŁYMSTOKU

Katarzyna GŁADYSZEWSKA-FIEDORUK*

Katedra Ciepłownictwa, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45E, 15-351 Białystok

Streszczenie: W przedszkolach dzieci spędzają od pięciu do dziesięciu godzin dziennie, dlatego ważna jest jakość powietrza w pomieszczeniach. Najczęściej stosowanym systemem wentylacji w przedszkolach jest wentylacja naturalna, a dokładniej wentylacja grawitacyjna kanałowa wspomagana okresowym wietrzeniem. W badanym przedszkolu stężenie dwutlenku węgla rano nie przekracza dopuszczalnych norm. Po południu stężenia dwutlenku węgla znacznie przekraczają normy – maksymalnie o 97%. Temperatura i wilgotność powietrza są w granicach normy. Rozszczelniając lub otwierając okna doprowadzamy do pomieszczeń powietrze zewnętrzne i poprawiamy w ten sposób działanie wentylacji grawitacyjnej, a przez to poprawiamy jakość powietrza wewnętrznego.

Słowa kluczowe: stężenie dwutlenku węgla, jakość powietrza wewnętrznego.

1. Wprowadzenie

Przedszkole jest pierwszym – zbiorowym stopniem edukacji człowieka. Pod względem jakości powietrza wewnętrznego jest bardzo zaniedbywane przez inwestorów – najczęściej władze miejskie, lub inwestorów indywidualnych, a najbardziej przez ustawodawstwo. Nie tylko w Polsce, ale też we wszystkich krajach Europy są przedszkola nie posiadające wentylacji mechanicznej, z różnie zorganizowaną wentylacją naturalną.

Generalnie podejście do wentylacji w przedszkolach jest takie: „Może zamiast wentylacji wystarczy w salce, gdzie jest pięcioro dzieci, otworzyć okno” – mówi Monika Ebert z Mazowieckich Małych Przedszkoli. Nie, nie wystarczy otworzyć okna, choć można w ten sposób wspomagać wentylację naturalną. Otwieranie okien w szczególności w sezonie grzewczym jest problematyczne, ponieważ jest zależne od indywidualnych odczuć osoby o tym decydującej.

Powietrze jest elementem środowiska wewnętrznego. Środowisko wewnętrzne stanowią również mikroorganizmy i skład chemiczny środowiska, pyły, oświetlenie, hałas i wiele innych czynników, które nie były tematem zainteresowań.

Jakość powietrza wewnętrznego każdy badacz pojmuje inaczej. W pomieszczeniach wewnętrznych badane są związki NO₂, SO₂, O₃ oraz pyły (Lee i Chang, 2000; Marr i in., 2007; Stranger i in., 2007, Stranger i in., 2009) czasem określane jest poziom CO (Stranger i in., 2007; Sung-Ok Baek i in., 1997). Badania dotyczące stężenia CO₂ znajdują się w wielu opracowaniach

(Gładyszewska-Fiedoruk, 2007 i 2010; Helmis i in., 2007, Nauk i Huang, 2004, Sung-Ok Baek i in., 1997). W budynkach dydaktycznych, najczęściej są to klasy szkolne, często mierzony jest poziom CO₂ jako wyznacznik jakości powietrza (Demianowicz, 2004; Lee i Chang, 2000; Wargocki, 2009).

1.1. Mikroklimat pomieszczeń

Oceniając jakość powietrza w pomieszczeniu, zauważamy tylko temperaturę i wilgotność powietrza, czasem jego prędkość. Gdy warunki są zadawalające mówimy o komforcie cieplnym pomieszczenia.

Zalecane wartości parametrów cieplno-wilgotnościowych w pomieszczeniach gwarantujące odczucie komfortu cieplnego przez ludzi (Recknagel i in., 1999; PN-85/N-08011 *Ergonomia. Środowiska gorące. Wyznaczanie obciążeń termicznych działających na człowieka w środowisku pracy, oparte na wskaźniku WBGT*) wynoszą:

- temperatura powietrza 20-26°C;
- prędkość powietrza w strefie przebywania ludzi 0,15-0,2 m/s, latem nawet do 0,6 m/s;
- wilgotność względna powietrza przy zalecanej temperaturze 40-60% maksymalnie do 80%;
- średnia temperatura promieniowania cieplnego pomieszczenia utożsamiana z temperaturą zewnętrznych przegród budowlanych powinna być o 2-3° mniejsza niż temperatura otoczenia.

Dane dotyczące optymalnych warunków w pomieszczeniach precyzuje tabela 1 w zależności

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: k.gladyszewska@pb.edu.pl

od aktywności fizycznej osób w danym pomieszczeniu (Recknagel i in., 1999; PN-83/B-03430 (wraz ze zmianą A3:2000) *Wentylacja w budynkach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej. Wymagania*; PN-85/N-08009 *Ergonomia. Środowiska zimne. Metoda oceny ujemnego obciążenia termicznego, oparta na wskaźnikach WCI iIRQ*; PN-85/N-08011).

W salach przedszkolnych aktywność dzieci jest różna w zależności od pory dnia i nie można na stałe określić parametrów powietrza wewnętrznego. We wszystkich przedszkolach zajęcia przebiegają w podobny sposób. Dzieci do śniadania zajmują się spokojną zabawą, po śniadaniu są intensywniejsze zabawy (większa aktywność) lub nauka (mała aktywność). Najmniejsze dzieci po obiedzie idą spać, a starsze dzieci idą na podwórko, uczą się, mają zorganizowane spokojne zabawy. W tym czasie we wszystkich grupach jest mała aktywność fizyczna dzieci. Po podwieczorku znów jest pełna różnorodność zajęć. Wprawdzie nie ma już nauki, ale są zabawy spokojne lub intensywne i nie ma tu żadnej reguły. Podsumowując: określona aktywność może być tylko przed śniadaniem i w porze drzemki najmniejszych dzieci. Aktywność dzieci nie zawsze pokrywa się z aktywnością opiekunów. Najczęściej jednak aktywność dzieci i opiekuna jest zbliżona.

Człowiek dorosły potrzebuje według różnych danych 20-25 m³/h powietrza do oddychania (PN-83/B-03430; PN-EN 13779: 2008 *Wentylacja budynków niemieszkalnych. Wymagania dotyczące właściwości instalacji wentylacji i klimatyzacji*). A dzieci są jedną wielką niewiadomą. Można powiedzieć, że dziecko potrzebuje średnio 10-20 m³/h powietrza do oddychania, ale jest bardzo duża rozbieżność w potrzebach dzieci (zależnie od aktywności, temperatury i wilgotności oraz wieku dziecka).

Człowiek ma zdolności adaptacyjne, które pozwalają mu dostosować się do warunków powietrza w pomieszczeniu. Zdolności te są ograniczone jednak przez zakres komfortu cieplnego, w obrębie którego czuje się najlepiej.

Przy mikroklimacie i komforcie cieplnym nie mówimy najczęściej o stężeniu dwutlenku węgla w pomieszczeniu. Można go wprawdzie zaliczyć do czynników czystości powietrza, niemniej człowiek nie wyposażony w aparaturę pomiarową nie odczuje tego zanieczyszczenia.

1.2. Dwutlenek węgla

Powietrze atmosferyczne, którym oddychamy jest mieszaniną azotu i tlenu. Azot stanowi 78%, a tlen 21% objętości powietrza. W pozostałym – 1% mieszczą się dwutlenek węgla, para wodna, argon i inne gazy takie jak hel, neon, krypton, ksenon, wodór. Najważniejszym składnikiem powietrza jest tlen. Jego ilość może spaść z 21% do 16% bez odczuwalnego pogorszenia samopoczucia ludzi. Azot w normalnych warunkach jest obojętny dla organizmu ludzkiego, gdyż nie bierze udziału w procesach biologicznych człowieka.

Dwutlenek węgla jest gazem bezbarwnym i bezwonym. Zawartość dwutlenku węgla w pomieszczeniach, w których przebywa człowiek jest większa niż w powietrzu atmosferycznym, ponieważ wydychane przez ludzi powietrze zawiera około 4% tego gazu (Demianowicz, 2004).

Niewielkie stężenie dwutlenku węgla w powietrzu jest naturalne. Zbyt duże jego stężenie w pomieszczeniu powoduje złe samopoczucie, którego objawami są: bóle i zawroty głowy, mdłości, podrażnienie oczu, przekrwienia spojówek i nadwrażliwość na światło, szum w uszach, zmęczenie, zaburzenia postrzegania i trudności z koncentracją, tachykardia, nadmierna potliwość.

Dopuszczalne stężenie dwutlenku węgla w pomieszczeniach zamkniętych wynosi 1000 ppm. Jest to wymóg minimum higienicznego zalecanego przez WHO (2000) oraz ASHRAE 62-1989 *Ventilation for acceptable Indoor Air Quality*. Niemiecka norma DIN 1946-2 (1994) *Ventilation and air conditioning; technical health requirements* jako wymóg minimum higienicznego podaje wartość 1500 ppm.

Obowiązującą obecnie, w Polsce i wielu innych krajach Unii Europejskiej, klasyfikację jakości powietrza wewnętrznego podaje PN-EN 13779:2008. Zostały wprowadzone cztery główne kategorie jakości powietrza wewnętrznego, którym odpowiada odpowiednie stężenie dwutlenku węgla. Norma ta podaje również minimalny strumień powietrza wentylacyjnego przypadający na jedną osobę. W tabeli 2 podano wartość strumienia powietrza przypadającą na jedną osobę w pomieszczeniach z zakazem palenia tytoniu w budynkach o niskiej emisyjności zanieczyszczeń, uwzględniające metabolizm ludzki, czyli takich jak przedszkola.

Tab. 1. Warunki komfortu cieplnego w pomieszczeniach (Recknagel i in., 1999; PN-83/B-03430; PN-85/N-08009; PN-85/N-08011)

Aktywność fizyczna	Zima			Lato		
	Temperatura	Optymalna wilgotność względna	Prędkość powietrza maks.	Temperatura	Optymalna wilgotność względna	Prędkość powietrza maks.
	°C	%	m/s	°C	%	m/s
Mała	20-22		0,2	23-26	40-55	0,3
Średnia	18-20	40-60	0,2	20-23	40-65	0,4
Duża	15-18		0,3	18-21	40-70	0,6

Tab. 2. Klasyfikacja jakości powietrza wewnętrznego (PN-EN 13779:2008)

Kategoria	Opis	Przyrost stężenia CO ₂ w stosunku do stężenia CO ₂ w powietrzu zewnętrznym	Strumień objętości powietrza zewnętrznego na jedną osobę
		ppm	m ³ /h
IDA 1	wysoka jakość powietrza wewnętrznego	poniżej 400	powyżej 54
IDA 2	średnia jakość powietrza wewnętrznego	400-600	36-54
IDA 3	umiarkowana jakość powietrza wewnętrznego	600-1000	22-36
IDA 4	niska jakość powietrza wewnętrznego	powyżej 1000	poniżej 22

2. Opis przedszkola

Najczęstszym problemem w utrzymaniu dobrej jakości powietrza wewnętrznego jest reakcja rodziców na otwarte okna. Najczęściej grupy przedszkolne wychodzą na spacer po przedszkolu i wtedy jest szybkie wietrzenie – otwarcie wszystkich okien w sali na 5-10 minut, zamknięcie i za 5 minut powrót dzieci. Inną praktyką stosowaną w przedszkolach są „odwiedziny” w innej grupie na czas wietrzenia. Z obserwacji Autorki wynika, że przedszkola są również wietrzone w czasie pobytu dzieci na podwórzu.

Badane przedszkole znajduje się w budynku wolno stojącym. Termomodernizacja wraz z modernizacją układu wentylacyjnego przeprowadzona została w 2008 roku. W każdym pomieszczeniu znajduje się wentylacja grawitacyjna kanałowa. Dodatkowo skuteczne wietrzenie odbywa się przez rozszczelnianie okien. Wraz z termomodernizacją został zmodernizowany układ wentylacji naturalnej – zainstalowano zawory nawiewne. Jest to przedszkole średniej wielkości (rys. 1).



Rys. 1. Badane przedszkole

Przebadano następujące pomieszczenia: korytarz parter (1), sala nr 1 – maluchy (2), sala nr 2 – maluchy (3), sala nr 3 – średniaki (4), sala nr 4 – starszaki (5), sala nr 5 – zerówka (6), korytarz góra (7).

3. Badania parametrów powietrza wewnętrznego

3.1. Opis badań

Badania stanu powietrza ze szczególnym uwzględnieniem dwutlenku węgla w salach szkolnych wykonywane były w Polsce (Sowa, 2002) i na świecie (Myhrvold i in., 1996; Wargocki, 2009).

Prezentowane poniżej pomiary jakości powietrza wykonano o tej samej porze, w podobnych warunkach. Wykonano pomiary zasadnicze parametrów powietrza wewnętrznego przed przyjściem dzieci i personelu do przedszkola (w godzinach 5.30-6.50) i w godzinie przewidywanego największego stężenia CO₂, po zakończeniu zajęć w przedszkolu (w godzinach 14.30-16.00).

Po wstępnej serii badań poinformowano personel przedszkola o wynikach pomiarów i zasugerowano doprowadzenie do pomieszczeń powietrza zewnętrznego przez rozszczelnienie okien.

Badania zasadnicze wykonano we wrześniu, przed włączeniem centralnego ogrzewania oraz w listopadzie, gdy ogrzewanie pracuje cały czas, okna są przez większą część dnia rozszczelnione i otwierane na około 15-20 minut dziennie. Badania wykonano również w lutym, gdy wietrzenie pomieszczeń było okazjonalne.

Wszystkie pomiary prowadzono miernikiem testo435-4 z dokładnością: temperatura w zakresie od 0 do +50°C ±0,3°C; wilgotność względna w zakresie od +2 do +98 %RH ±2 %RH; stężenie dwutlenku węgla w zakresie od +0 do +10000 ppm ±100 ppm; ciśnienie atmosferyczne w zakresie od +600 do +1150 hPa ±5 hPa.

3.2. Wyniki badań

Pomiary zostały wykonane we wszystkich salach na wysokości głowy dziecka (około 1,00-1,10 m od powierzchni podłogi). Pomiary wykonano przy następujących parametrach powietrza zewnętrznego według tabeli 3.

Graficznie przedstawiono wyniki badań temperatury (rys. 2 i 3), wilgotności względnej (rys. 4 i 5) i stężenia CO₂ (rys. 6 o 7) wykonane rano i po południu, podczas trzech serii pomiarowych we wszystkich pomieszczeniach przedszkola.

3.3. Omówienie wyników pomiarów

Analizując parametry powietrza zewnętrznego zamieszczone w tabeli 3, należy zauważyć, że ze spadkiem temperatury wzrasta stężenie dwutlenku węgla w powietrzu atmosferycznym. Przepuszczalnie na zaobserwowane zjawisko ma wpływ sezon grzewczy, a co za tym idzie emisja dwutlenku węgla do atmosfery. Nie ma znaczenia, czy ogrzewanie budynków jest indywidualne, czy pochodzi z elektrociepłowni.

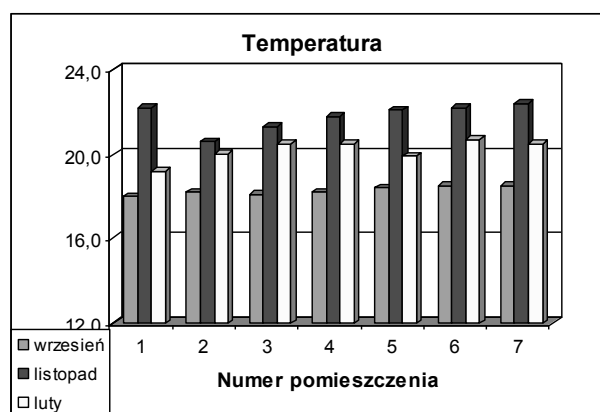
Parametrami określającymi stan powietrza w pomieszczeniu według pracy (Nyuk i Huang, 2004) są temperatura i wilgotność. W badanym przedszkolu temperatury powietrza w pomieszczeniach (z małymi wyjątkami) znajdują się w granicach normy. Również wartości wilgotności względnej są w granicach normy (PN-83/B-03430; PN-EN 13779: 2008).

W przedszkolu rano temperatura powietrza była niższa od zalecanej, lecz jest to związane z obniżeniem w nocy temperatur, do jakich powinny być grzane pomieszczenia. Wartości temperatur wahały się w zakresie 18,0-22,4°C (rys. 2). Wilgotność rano w listopadzie i lutym, była poniżej wartości zalecanych przez normy (PN-83/B-03430; PN-EN 13779: 2008), wahała się w granicach 34,7-43,2% (rys. 4). Po południu temperatura wynosiła 18,9-22,9°C (rys. 3), wilgotność 27,1-44,2% (rys. 5).

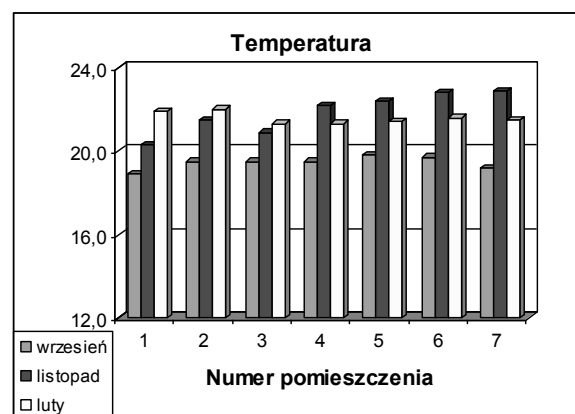
Rano stężenie dwutlenku węgla w przedszkolu nie przekraczało dopuszczalnych norm (PN-83/B-03430; PN-EN 13779: 2008) (rys. 5). Wartość stężenia dwutlenku węgla rano wahała się w granicach 400-710 ppm. Po południu stężenia dwutlenku węgla były znacznie przekroczone. Wartości te wynosiły 608-1970 ppm (rys. 7).

Mimo warunków zewnętrznych mało sprzyjających wentylacji naturalnej, przekonano kierownictwo i personel przedszkola do ciągłej wentylacji pomieszczeń poprzez rozszczelnianie okien. Po tym zabiegu pomiary wykazywały, że poprawiał się (lub nie ulegał pogorszeniu) stan powietrza w pomieszczeniach.

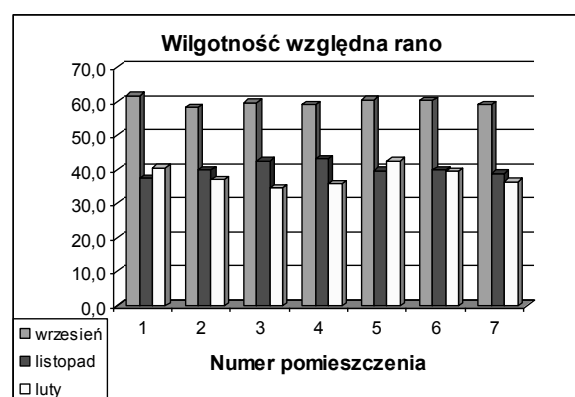
Po zakończonych badaniach stwierdzono, że nie uległy zwiększeniu w sposób zauważalny, rachunki za eksploatację obiektu związane z centralnym ogrzewaniem, zmniejszyła się natomiast o około 20% absencja chorobowa dzieci i personelu.



Rys. 2. Rozkład temperatury w pomieszczeniach, w różnych miesiącach – rano



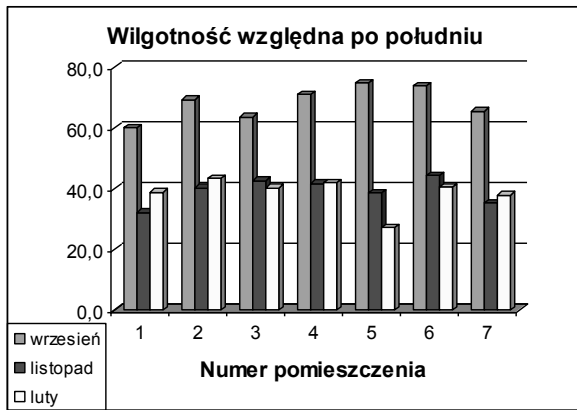
Rys. 3. Rozkład temperatury w pomieszczeniach, w różnych miesiącach – po południu



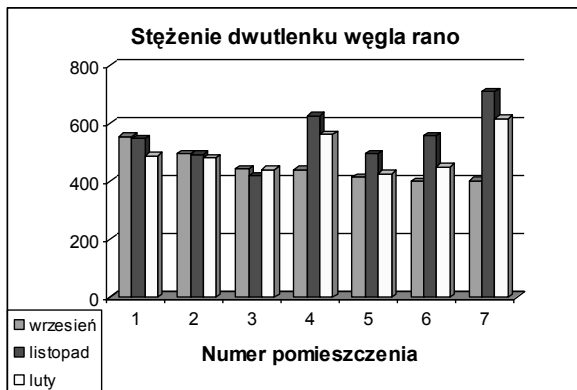
Rys. 4. Rozkład wilgotności względnej w pomieszczeniach, w różnych miesiącach – rano

Tab. 3. Parametry powietrza zewnętrznego

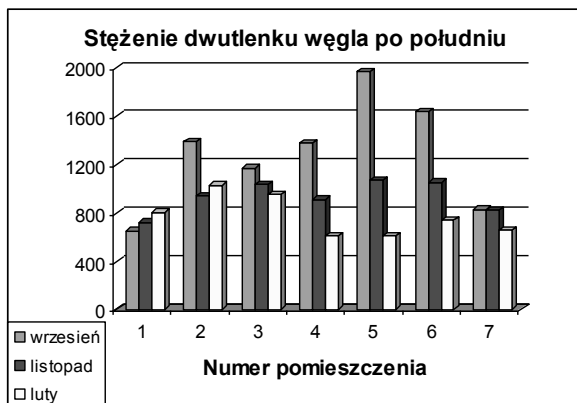
Parametr	Jednostka	wrzesień		listopad		luty	
		Rano	Po południu	Rano	Po południu	Rano	Po południu
temperatura	°C	8,4	13,6	3,1	2,6	-0,5	0,2
wilgotność	%	89,5	70,3	86,4	83,5	88,3	86,2
ciśnienie atmosferyczne	Pa	1006	1006	972,3	970,9	1006,4	1007,2
stężenie CO ₂	ppm	408	403	444	450	480	460



Rys. 5. Rozkład wilgotności względnej w pomieszczeniach, w różnych miesiącach – po południu



Rys. 6. Stężenie dwutlenku węgla w pomieszczeniach, w różnych miesiącach – rano



Rys. 7. Stężenie dwutlenku węgla w pomieszczeniach, w różnych miesiącach – po południu

4. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań można wnioskować, że jakość powietrza w polskich przedszkolach jest zła i niezgodna z wszelkimi wytycznymi (Recknagel i in., 1999; WHO, 2000; ASHRAE, 1989; PN-85/N-08011; PN-85/N-08013 *Ergonomia. Środowiska termicznie umiarkowane. Określanie wskaźników PMV, PPD i wymagań dotyczących komfortu technicznego*; DIN 1946-2, 1994). Analizując natomiast wyniki pomiarów przedstawione

w wystąpieniu Wargockiego (2009) oraz na podstawie badań własnych można stwierdzić, że przedszkola w Polsce mają jakość powietrza wewnętrznego podobną do jakości powietrza w szkołach w innych krajach UE i USA.

Stężenie CO₂ w szkołach w różnych krajach wynosi (Wargocki, 2009):

- Wielka Brytania: 2100-5000 ppm,
- Dania: 500-1500 ppm,
- Polska: 1000-4200 ppm – według badań innych naukowców (Sowa, 2002),
- Szwecja: 425-2800 ppm,
- Holandia: 900-2100 ppm,
- USA: 300-5000 ppm.

Według badań własnych Autorki (Gładyszewska-Fiedoruk, 2007) w szkołach wyższych stężenie CO₂ nie przekracza 1800 ppm. W przebadanym przedszkolu tylko raz stężenie dwutlenku węgla było wyższe niż 1500 ppm i wynosiło 1970 ppm, a zwykle wahało się w zakresie 400-1000 ppm. Wydaje się, że wartości podane w pracach Sowy (2002) i Wargockiego (2009) są znacznie zawyżone dla szkół w Polsce.

W badanym przedszkolu temperatury powietrza w pomieszczeniach wahały się w granicach norm (WHO, 2000; ASHRAE, 1989; PN-83/B-03430; PN-EN 13779: 2008). Natomiast wartości wilgotności względnej były zbyt niskie – powietrze było suche.

Literatura

- Demianowicz A. (2004). Jakość powietrza. 12.2004. http://www.e-instalacje.pl/70_364.htm.
- Gładyszewska-Fiedoruk K. (2007). Carbon dioxide concentration measurements in bedrooms of a detached house. *Polish Journal of Environmental Studies*, Vol. 16, No. 3B, 131-133.
- Gładyszewska-Fiedoruk K. (2010). Analiza stanu środowiska wewnętrznego w wybranych przedszkolach ze szczególnym uwzględnieniem dwutlenku węgla. *Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja*, 2/2010, 28-30.
- Helmis C. G., Flocas J., Tzoutzas H. A., Halios C. H., Stathopoulou O. I., Assimakopoulos V. D., Panis V., Apostolatos M., Sgouros G., Adam E. (2007). Indoor air quality in a dentistry clinic. *Science of The Total Environment*, Vol. 377, No. 2-3, 349-365.
- Lee S. C., Chang M. (2000). Indoor and outdoor air quality investigation at schools in Hong Kong. *Chemosphere*, Vol. 41, Issues 1-2, July 2000, 109-113.
- Marr I. L., Rosser D. P., Meneses C. A. (2007). An air quality survey and emissions inventory at Aberdeen Harbour. *Atmospheric Environment*, Vol. 41, No. 30, 6379-6395.
- Myhrvold A. N., Olsen E., Lauridsen O. (1996). Indoor Environment in Schools – Pupils health and performance in regard to CO₂ concentrations, *Proceedings of 6th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Indoor Air'96*, July 1996, Nagoya, Japan, Vol. 4, 369-374.
- Nyuk H. W., Huang B. (2004). Comparative study of the indoor air quality of naturally ventilated and airconditioned bedrooms of residential building in Singapore. *Building and Environment*, Vol. 39, No. 9, 1115-1123.

- Recknagel H., Sprenger E., Honmann W., Schramek E. R. (1999). *Poradnik Ogrzewnictwo + Klimatyzacja z uwzględnieniem chłodnictwa i zaopatrzenia w ciepłą wodę*. *EWFE*, wydanie 1, Gdańsk, 1999.
- Sowa J. (2002). Wentylacja klas szkolnych – efektywność stosowanych rozwiązań oraz możliwość poprawy skuteczności ich działania. *Problemy jakości powietrza wewnętrznego w Polsce 2001*, Warszawa, 2002, 279-302.
- Stranger M., Potgieter-Vermaak S. S., Van Grieken R. (2007). Comparative overview of indoor air quality in Antwerp, Belgium. *Environment International*, Vol. 33, No. 6, 789-797.
- Stranger M., Potgieter-Vermaak S. S., Van Grieken R. (2009). Particulate matter and gaseous pollutants in residences in Antwerp, Belgium. *Science of The Total Environment*, Vol. 407, No. 3, 1182-1192.
- Sung-Ok Baek, Yoon-Shin Kim, Roger Perry (1997). Indoor air quality in homes, offices and restaurants in Korean urban areas – indoor/outdoor relationships. *Atmospheric Environment*, Vol. 31, Issue 4, February 1997, 529-544.
- Wargocki P. (2009). Effect of indoor climate conditions in classrooms on the progress in science. *Conference on Indoor air quality problems in Poland 2009*, Warszawa.
- WHO Regional Office for Europe (2000). *Air Quality Guidelines for Europe, Second Edition 2000*, Copenhagen, European Series, No. 91.

INDOOR AIR QUALITY IN A TYPICAL KINDERGARTEN IN BIAŁYSTOK

Abstract: Formal education usually begins in kindergarten. Children spend five to ten hours a day there, so indoor air quality is of paramount importance. Natural ventilation (or to be more precise gravitational channel ventilation system) is by far the most common ventilation method in kindergartens; its efficiency is enhanced by airing the premises from time to time. In the kindergarten in question, carbon dioxide concentration in the morning does not exceed the permissible level. In the afternoon, however, this level is considerably exceeded (by as much as 97%). Temperature and humidity stay within the acceptable range of values. Thanks to unsealing or opening the windows, outdoor air penetrates into the rooms, which boosts the functioning of the gravitational ventilation system thus improving indoor air quality.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2009-2012 jako projekt badawczy nr N N523 425337.

WYBÓR MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH W KONTEKŚCIE EFEKTYWNOŚCI ENERGETYCZNEJ I WPLYWU ŚRODOWISKOWEGO

Michał GOLAŃSKI*

Instytut Zarządzania Rozwojem Lokalnym i Regionalnym, ul. Pilicka 17, 02-629 Warszawa

Streszczenie: Wybór materiałów budowlanych w olbrzymim stopniu kształtuje wpływ budynku na środowisko naturalne. Nieomal wszystkie materiały budowlane są przetwarzane przed zastosowaniem na budowie, każdy z nich musi być również transportowany. Przetwarzanie materiałów może być minimalne, jak w wypadku domu jednorodzinnego zbudowanego w technologii tradycyjnej z materiałów pozyskanych lokalnie, albo może być intensywne i obszerne, jak w wypadku budownictwa z prefabrykatów. Przetwarzanie materiałów wiąże się nieuchronnie z zużyciem energii i wytwarzaniem odpadów. Projektant może zasadniczo decydować o poziomie energii pierwotnej budynku poprzez specyfikację materiałów budowlanych.

Słowa kluczowe: materiały budowlane, efektywność energetyczna, proces budowlany, wpływ środowiskowy, zużycie energii.

1. Wprowadzenie

Produkcja i przetwarzanie materiału budowlanego obciąża środowisko naturalne poprzez: wydobywanie i zużycie surowców nieenergetycznych i energetycznych, zużycie wody, emisję zanieczyszczeń, powstawanie odpadów stałych i ciekłych.

Większość surowców wykorzystywana w tym procesie ma jednorazowe zastosowanie, bez możliwości recyklingu po rozbiórce, generując w ten sposób odpady. Wzniesienie obiektu, wiąże się również z zabudową powierzchni biologicznie czynnej. Obciążenie środowiska w pełnym cyklu życia obiektu można podzielić na kilka etapów, przy czym różne jest nasilenie tych oddziaływań w poszczególnych stadiach jego istnienia. Analiza relacji obiekt-środowisko naturalne pozwala wyróżnić cztery zasadnicze etapy wpływu związane z następującymi procesami: wydobywaniem surowców i produkcją materiałów, budową obiektu, eksploatacją obiektu, oraz jego rozbiórką.

Obiekty budowlane powinny zatem: wykazywać się odpowiednią trwałością, oddziaływać na środowisko w sposób nieszkodliwy, być ekonomiczne w zużyciu materiałów i energii, uwzględniać konsekwencje awarii z punktu widzenia życia i zdrowia ludzkiego (Runkiewicz, 2010). Obecnie produkowane materiały i opracowywane technologie budowlane oparte są na nowoczesnych osiągnięciach chemii i technologii. Często stanowią one zagrożenie dla zdrowia człowieka i równowagi środowiska.

2. Zużycie energii w procesie budowlanym

Wznoszenie obiektu budowlanego jest materiało- i energochłonne. Już początek cyklu istnienia obiektu wiąże się z zagrożeniem dla środowiska przez przemysł wydobywczy i przemysł materiałów budowlanych. Każdy z procesów składających się na produkcję materiałów budowlanych, od ekstrakcji surowców i przetworzenia, po przygotowanie i zastosowanie wymaga także energii przeznaczonej na transport i budowę. Realizacja procesów wydobywczych i produkcyjnych pochłania energię produkowaną w przeważającej ilości z surowców nieodnawialnych. Przy zastosowaniu dotychczasowych technologii budowlanych, w okresie eksploatacji obiektu, potrzebna jest przede wszystkim energia do ogrzewania obiektu przez 50-80 sezonów ogrzewczych. W wyniku eksploatacji obiektu powstają odpady stałe, ciekłe i gazowe. Cykl istnienia zamyka rozbiórka obiektu i gromadzenie lub utylizacja odpadów. Również w trakcie tego cyklu występuje zapotrzebowanie na energię i teren do składowania nieprzetworzonych pozostałości po obiekcie. Niektóre z materiałów budowlanych można ponownie zastosować lub przetworzyć.

Poszczególne etapy cyklu istnienia budynku charakteryzują się zróżnicowanym zapotrzebowaniem na energię, które zależy od wielu czynników, na przykład stosowanych rozwiązań materiałowych i konstrukcyjnych, rodzaju obiektu, systemu grzewczego i jego sprawności.

Szacuje się, że zużycie energii na etapie wznoszenia obiektu w Polsce wynosi około 10%, na etapie

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: go_lanski@o2.pl

użytkowania (przy realizacji według obecnie obowiązujących standardów) – około 72%, na potrzeby remontów – około 15% oraz do rozbiórki obiektu – od 1 do 3% ogólnego, skumulowanego zapotrzebowania na energię w odniesieniu do cyklu istnienia obiektu (Górzyński, 2004). W Wielkiej Brytanii szacuje się, że sama produkcja materiałów budowlanych jest odpowiedzialna za około jedną dziesiątą zużycia energii i emisji dwutlenku węgla (Anink i in., 1996). Środowiskowy wpływ budynku wyznaczany jest na podstawie wpływów, które wynikają z jego codziennego użytkowania, produkcji i transportu materiałów budowlanych i komponentów. Możemy ocenić wpływ konkretnych materiałów budowlanych i rozwiązań projektowych i realizacyjnych na środowisko naturalne.

3. Pomiar wpływu środowiskowego materiałów budowlanych

W trakcie wyboru materiałów budowlanych należy wziąć pod uwagę szereg czynników, jednak nie ma absolutnych reguł, które znajdują zastosowanie w każdym wypadku, z uwagi na fakt unikalności budynków i lokalnych czynników środowiskowych. Podejmując się zadania wyboru materiałów należy także podjąć decyzję w jaki sposób powinien być oszacowany wpływ środowiskowy. Można wziąć pod uwagę zarówno czynniki będące rezultatem właściwości materiału, jak i czynniki wynikające z procesów powstawania materiału budowlanego i jego zastosowania na budowie.

Czynniki określone przez właściwości materiału to na przykład: energia potrzebna do produkcji materiału, emisja CO₂ będąca wynikiem produkcji materiału, wpływ na środowisko będący wynikiem wydobycia surowców (na przykład odkrywki i hałdy kopalń, wycięta powierzchnia leśna, zanieczyszczenie środowiska przez przemysł wydobywczy surowców energetycznych), toksyczność materiału, transport materiału podczas jego produkcji i dostawy na budowę, stopień zanieczyszczenia będący wynikiem utylizacji materiału przy końcu jego okresu użytkowania.

Czynniki kształtowane przez wybór materiałów budowlanych i decyzje projektowe to:

- możliwość pozyskania materiału lokalnie,
- trwałość materiału,
- cechy materiału budowlanego, zmniejszające wpływ budynku na środowisko (na przykład: współczynnik przewodności cieplnej),
- sposób zastosowania materiału budowlanego najlepiej odpowiadający jego właściwościom,
- wielkość nakładów niezbędnych do konserwacji materiału budowlanego i surowce konieczne dla utrzymania jego trwałości,
- elastyczność projektu umożliwiającą zarządzanie sposobem użytkowania,
- cykl życia materiału i jego potencjał dla ponownego użycia po rozbiórce budynku.

Autorzy opracowania *Green Building Handbook* proponują następujące aspekty dla porównywania

środowiskowego wpływu materiałów, używanych w późniejszym zestawieniu kontrolnym (Woolley i in., 1997). Wśród środowiskowych wpływów wynikających z produkcji materiału znajdują się: zużycie energii, wyczerpanie surowca, efekt cieplarniany, opady kwaśnego deszczu oraz emisja toksycznych substancji. Środowiskowy wpływ w wyniku użytkowania obejmuje zagrożenie dla zdrowia oraz potencjał dla recyklingu.

Niezbędne jest zatem ustalenie standardów wpływów na środowisko naturalne w Polsce. Być może najważniejszą pojedynczą miarą środowiskowego wpływu wyrobu jest pojęcie „energii pierwotnej”, czyli ilości energii potrzebnej do produkcji wyrobu. Możemy odnieść się do energii pierwotnej cegły, okna albo całego domu. Energia pierwotna jest ważną miarą ponieważ ocenia zużycie energii produkowanej najczęściej z nieodnawialnych źródeł, a jest to jeden z głównych powodów degradacji środowiska. Degradacja jest zarówno wynikiem bezpośredniej emisji szkodliwych substancji do atmosfery (głównie CO₂), jak i skumulowanych emisji substancji do atmosfery, które wspólnie tworzą na przykład kwaśny deszcz. Możemy być również pewni, że mają miejsce inne efekty, które jak dotąd, pozostają nierozpoznane. Tabela 1 zawiera wartość emisji CO₂ dla popularnych materiałów budowlanych (Berge, 2001). Produkcja stali powszechnie używanej do zbrojenia fundamentów, wieńców oraz nadproży charakteryzuje się największą wartością emisji dwutlenku węgla. Produkcja betonu i wyrobów ceramicznych z powodu zaangażowanych w nią energochłonnych procesów prażenia i wypalania wiąże się z mniejszą, ale wciąż znaczącą emisją CO₂. Produkcja drewna budowlanego, jedyne surowca odnawialnego z grupy najpopularniejszych materiałów budowlanych związana jest z obniżaniem salda CO₂.

Tab. 1. Emisja CO₂ w produkcji materiałów budowlanych (Berge, 2001)

Stal	1220 kg CO ₂ /m ³
Beton	385 kg CO ₂ /m ³
Wyroby ceramiczne	375 kg CO ₂ /m ³
Drewno budowlane	- 900 kg CO ₂ /m ³

Pojęcie „pierwotnych emisji” jest podobne do energii pierwotnej i odnosi się do emisji skojarzonej z produkcją wyrobu budowlanego, na przykład elektryczność zużyta do produkcji okna zespolonego wiąże się z emisją CO₂ i jest bezpośrednio skojarzona z tym oknem. W dodatku, produkcja materiałów, szczególnie ta wymagająca przetwórstwa chemicznego, może zakończyć się emisją substancji toksycznych.

W celu dokładnego obliczenia wartości emisji pierwotnej, muszą być znane typy surowców energetycznych używanych w każdym procesie produkcyjnym, gdyż każde paliwo daje inną emisję szkodliwych substancji. Istnieje kilka różnych metod obliczenia energii pierwotnej, czego rezultatem jest zakres wartości opracowanych dla podobnych materiałów. Opublikowane dane powinny być potraktowane

z ostrożnością, jeżeli nie podano wyraźnie sposobu obliczeń poszczególnych wartości.

4. Pomiar energii pierwotnej

Energia może być wymierzona, jako energia końcowa lub energia pierwotna. Zanim przystąpimy do porównywania wartości energii poszczególnych materiałów budowlanych lub typoszeręgów budynków, pierwszym rozstrzygnięciem powinien być sposób pomiaru energii. Dostarczona energia odnosi się do faktycznej ilości energii dostarczonej dla użycia do poszczególnego miejsca wydobycia, produkcji i budowy w ilości wykazanej w rachunku za energię. Energia pierwotna odnosi się do ilości energii użytej do produkcji energii dostarczonej ilości, na przykład energia węgla kamiennego spalonego w elektrowni w celu wytworzenia elektryczności. Zawartość energii gazu spalonego będzie większa niż zawartość energii generowanej elektryczności, z uwagi na fakt, że sprawność generatora nigdy nie osiągnie 100%. Także proces dostarczenia elektryczności z elektrowni do konsumenta nie jest w pełni skuteczny. Wszystkie te nieefektywności oznaczają, że każdej jednostce elektryczności dostarczonej do konsumenta, odpowiada większa ilość energii pierwotnej zużytej do jej stworzenia.

W Wielkiej Brytanii stosunek między energią pierwotną i dostarczoną energią jest największy dla elektryczności: z grubsza trzy jednostki energii pierwotnej są używane by wyprodukować jedną jednostkę dostarczonej elektryczności. Dla ropy naftowej i gazu używanego w domu, stosunki są bliższe do jednego (Hammond i Johnes, 2011).

Wartości energii pierwotnej są często cytowane bez podawania sposobu jej obliczenia, na podstawie energii pierwotnej lub energii dostarczonej. W przypadku niepewności przy zacytowanych wartościach energii pierwotnej najlepiej porównać wartości emisji pierwotnych, jako, że należy wziąć pod uwagę zbiór podstawowych paliw używanych przy produkcji wyrobów. Zapotrzebowanie na energię elektryczną w Polsce wzrasta, a starzejące się bloki wytwórcze obniżają poziom bezpieczeństwa energetycznego. Trwające inwestycje nie gwarantują, że w niedalekiej przyszłości popyt na energię elektryczną zostanie zrównoważony jej podażą. Elektrownie muszą dostosować się do unijnych regulacji prawnych w zakresie ochrony środowiska. Konieczność wyłączenia starych, nieefektywnych i wysoce zanieczyszczających źródeł rodzi więc realne zagrożenia. Uzależnienie energetyczne od węgla oraz uzależnienie dostaw gazu i ropy naftowej z Rosji stwarza konieczność dywersyfikacji źródeł wytwarzania energii elektrycznej oraz zwiększenia bezpieczeństwa dostaw energii pierwotnej.

Musimy także wyznaczyć poziom, od jakiego śledzić będziemy wejścia strumienia energii. Na przykład, rozważając energię pierwotną stali w oprawie okiennej przy pomiarze tylko wejściowej energii użytej w fabryce okien, wartości będą różnić się od obliczeń, które

zawierać będą także wartość energii użytej w hucie oraz energii użytej w kopalni rudy żelaza. Należy prześledzić wszystkie stadia, przy których energia jest w jakiegokolwiek formie używana. Będziemy znać jej dokładną wartość, jeśli rozważymy energię użytą do wydobycia surowców, przewozu do zakładów przetwórczych, energię użytą w fabrykach, przewozie na budowę i energią użytą na miejscu zastosowania wyrobu budowlanego. Do obliczeń wprowadzić należy również wartości związane z recyklingiem po rozbiórce obiektu.

4.1. Recykling i energia pierwotna

Dla osiągnięcia celu jakim jest niska energochłonność budynku, w większości wypadków renowacja budynków bywa najbardziej preferowaną opcją, pod warunkiem, że stan techniczny konstrukcji budynku będzie pozwalać na jej zaadaptowanie bez modyfikacji i przebudowy. Renowacja jest zasadniczo recyklingiem budynku. Recykling musi charakteryzować uważne podejście do środowiskowych wpływów budynku. Adaptacja budynku ma swój środowiskowy sens, jeśli „zwrócenie do obiegu” budynku może być łatwo przeprowadzone oraz nie wymaga dużych wejść strumienia energii, a także wiązać się będzie z dodatkową izolacją termiczną budynku.

4.2. Przetwarzanie materiałów budowlanych i energia pierwotna

Im większa liczba procesów jakim poddawany jest wyrób budowlany, tym wyższa będzie zawartość energii pierwotnej i ilość odpadów. Niektóre materiały, takie jak stal lub szkło wymagają dostarczenia bardzo wielkiej ilości energii do ich produkcji. W granicach rozsądku, powinno się dążyć do wyboru materiałów i komponentów, które są jak najbliższe swojej naturalnej postaci. Energooszczędne okno z ramą z miękkich gatunków drewna będzie bardziej pożądane od podobnego okna z ramą aluminiową. Podobnie farby organiczne lub oparte na wodzie, szczególnie jeżeli zawierają dodatkowo naturalne pigmenty lub woski lepszym wyborem od syntetycznych farb, wymagających skomplikowanej produkcji.

4.3. Energia pierwotna w transporcie

Transport jest jednym z często pomijanych czynników kształtujących strumień energii pierwotnej. Im dłuższe będą odległości jakie materiał musi pokonać, tym większa będzie energia, przeznaczona na transport. Waga materiału ma także znaczenie. Powszechne są sytuacje kiedy materiał naturalny, na przykład granit, pokonuje olbrzymie odległości do miejsca gdzie podlega obróbce, po czym znowu jest transportowany, tym razem do kraju, gdzie podlega sprzedaży. Ten rodzaj informacji nie jest zawsze swobodnie dostępny.

Środowiskowy wpływ transport powinien być przeanalizowany w kontekście trwałości materiału

budowlanego. W wielu sytuacjach, importowany materiał budowlany może być trwalszy, przez co będzie bardziej pożądanym od miejscowego.

4.4. Czas i energia pierwotna

Studia prowadzone w Nowej Zelandii sugerują, że ilość energii użytkowej w typowym, nie-niskoenergetycznym budynku mieszkalnym, przewidzianym na użytkowanie przez 50 lat, równa się w przybliżeniu czterokrotności energii przeznaczonej na jego wzniesienie (Willianson, 1997). Taki rodzaj bezpośredniego porównania między energią użytkową i energią pierwotną nie jest do końca miarodajny, gdyż nie jesteśmy w stanie przewidzieć wszystkich czynników. Rozważając energię pierwotną budynku, potrzebujemy wziąć pod uwagę oczekiwany czas użytkowania, nakłady na konserwację różnych elementów budynku oraz jego stan pod koniec okresu użytkowania. Poprzez podejście na zasadach „*cradle to grave*” możemy przeprowadzić analizę cyklu życia budynku. Im dłuższy będzie „cykl życia budynku”, tym procentowo niższy będzie wpływ energii i zanieczyszczeń będący wynikiem produkcji materiałów.

4.5. Energia pierwotna i materiały najczęściej używane w budynkach

Obecnie nie jest łatwo dotrzeć do dokładnych, certyfikowanych wartości energii pierwotnej zawartej w materiałach budowlanych. Powszechnie nie zwraca się uwagi na problem energochłonności materiałów budowlanych, gdyż inwestorzy podejmują decyzje głównie w kontekście ograniczonych budżetów. W Polsce informacje na ten temat można znaleźć w wydawnictwach ITB (Górzyński, 2004). W Wielkiej Brytanii Building Research Establishment (BRE) na swojej witrynie WWW regularnie publikuje opracowania dotyczące analizy cyklu życia (LCA) i zestawienia energii pierwotnej.

Tab. 2. Zawartość energii pierwotnej w materiałach budowlanych (Hammond i Johnes, 2011)

MATERIAŁ	MJ/kg
Cement	5,2
Dachówka ceramiczna	10,1
Cegła ceramiczna	4,3
Beton	2,9
Miedź	69
Szkło	20
Żelazo	24,6
Wapno	4,6
Wetna mineralna	21,4
Wetna skalna	18,1
Farby	79,1
Tworzywa sztuczne	80,5
Stal	31,3
Drewno budowlane	9,4
PVC	53,7
Linoleum	30,5

Tabela 2 ilustruje zakres opublikowanych wartości, wskazujące duże rozbieżności w danych, w zależności, czy określają one energię pierwotną, czy energię końcową. Badania wykazały, że, dla większości typów zabudowy, materiały takie jak: stal, cement, drewno, materiały ceramiczne, kruszywa naturalne, szkło i gips generują w znaczącym stopniu energię pierwotną budynku. To właśnie, te materiały odpowiadają też w znacznej mierze za kubaturę i masę większości budynków. Projektant może zasadniczo decydować o poziomie energii pierwotnej budynku poprzez specyfikację materiałów budowlanych. Wybierając materiały miejscowe zmniejsza się energię pierwotną i emisję z powodu ograniczonego transportu. Wartości przedstawione w tabeli 2, pośród innych czynników, zawierają także wpływy transportu. W typowym domu ze ścianami zbudowanych z bloczków betonowych i cegły, z drewnianą więźbą i podłogami drewnianymi, te trzy materiały generują około 50% energii pierwotnej. Materiały wykończeniowe, suche tynki lub poszycie drewnianej konstrukcji szkieletowej mogą też mieć znaczący wpływ na ostateczny strumień energii pierwotnej.

Początkowe zużycie energii pierwotnej zależy od typu budynku, użytych materiałów i ich źródła (dane dotyczące konkretnego materiału budowlanego w jednym kraju mogą różnić się znacząco od tego samego materiału wyprodukowanego w innym kraju). Zużycie energii pierwotnej w pełnym cyklu życia budynku związane jest z trwałością materiałów budowlanych, komponentów i systemów zainstalowanych w budynku, sposobem utrzymania i użytkowania budynku. W przypadku budynków pasywnych lub zero-energetycznych możemy wyraźnie zauważyć wzrost zużycia energii pierwotnej przeznaczonej na budowę.

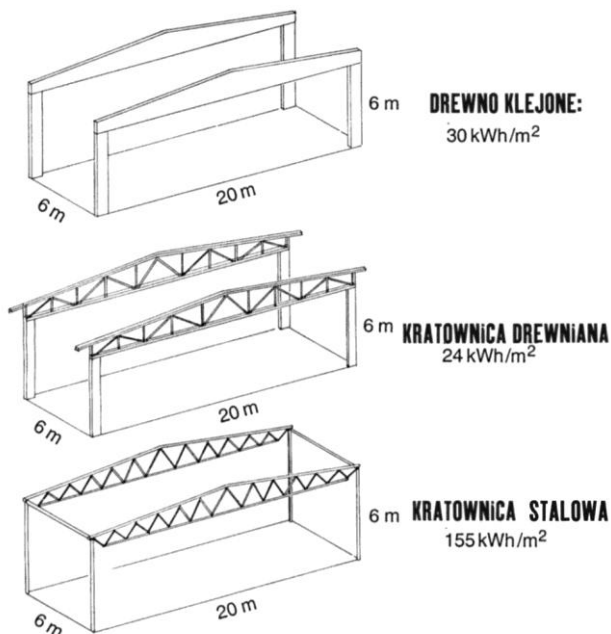
5. Materiały budowlane i energia zużywana przez różne systemy konstrukcyjne

Każdy system konstrukcyjny wiąże się z określonym zużyciem materiału, zależnym od jego parametrów wytrzymałościowych. Lite struktury z cegły i betonu charakteryzują się dużym zużyciem materiału, podczas gdy szkieletowe konstrukcje z drewna lub stali są zwykle bardziej ekonomiczne. Każdy wyrób budowlany, w zależności od sposobu zastosowania, może mieć rozmaite strukturalne rozwiązania wymagające różnych ilości materiału.

Ważnym aspektem konstrukcji charakteryzujących się ekonomicznym zużyciem materiału jest fakt, że ich wykonanie jest często bardziej pracochłonne od prostych struktur. Koszt produkcji drewnianego dźwigara kratowego z wieloma połączeniami jest dużo większy niż wyprodukowanie równoważnego dźwigara z klejonego warstwowo drewna, nawet jeżeli zużycie materiału jest dwadzieścia razy mniejsze. W trakcie rozważań ekonomicznych i ekologicznych należy wtedy oszacować koszt transportu w zestawieniu z dużym

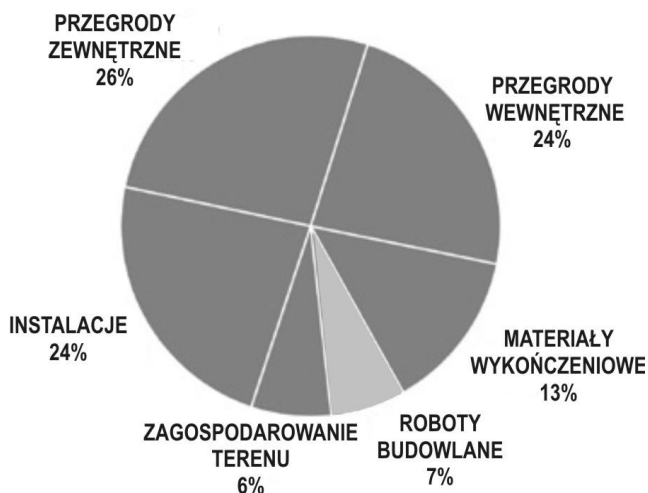
zużyciem surowców i ewentualną możliwością montażu na budowie.

Zużycie energii pierwotnej podczas produkcji materiałów strukturalnych jest zależne od ilości i cech materiału użytego w produkcji. Badania norweskiego *Norsk Treteknisk Institutt* pokazują, że pod względem nakładów energetycznych dźwigar kratowy z drewna wypada najlepiej w porównaniu z dźwigarem z drewna klejonego i kratownicą stalową (Berge, 2001), co pokazano na rysunku 1.



Rys. 1. Porównanie zużycia energii pierwotnej w różnych systemach konstrukcyjnych wykonanych z różnych materiałów (Berge, 2001)

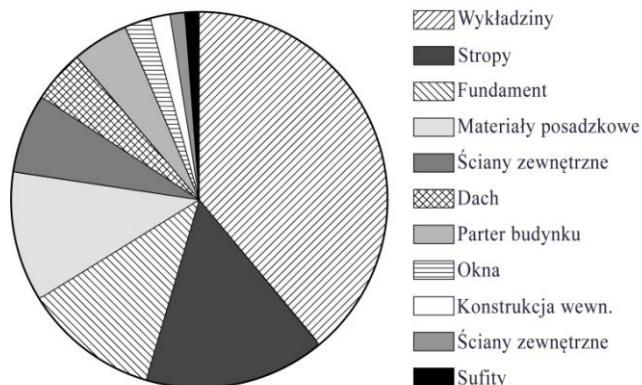
Badania Cole i Kernana (1996) wykonane na podstawie modelu typowego trzypiętrowego budynku biurowego z garażem podziemnym uwzględniały trzy różne systemy konstrukcyjne (drewno, stal i żelazobeton), przez co określono średnie wyniki dla przeciętnej całkowitej początkowej energii pierwotnej (rys. 2).



Rys. 2. Zużycie energii w trakcie budowy (Cole i Kernan, 1996)

Obudowa budynku, konstrukcja i instalacje odpowiadają za około trzy czwarte całkowitej energii pierwotnej. Wykończenie budynku reprezentuje tylko 13% energii początkowej, jednak w pełnym cyklu użytkowania budynku możemy spodziewać się dużego wzrostu zużycia nieodnawialnej energii przeznaczonej na utrzymanie, konserwację, naprawę lub zastąpienie materiałów, komponentów lub systemów budowlanych. Energia pierwotna nie musi być znacząco różna pomiędzy systemami budowlanymi (na przykład przy rozważaniu konstrukcji stalowej i betonowej), jednak środowiskowe wpływy skojarzone z poszczególnymi materiałami mogą być dramatycznie różne.

British Research Establishment (BRE) także podaje dane dotyczące obciążeń ekologicznych poszczególnych elementów budynku typowych obciążeń ekologicznych. Procentowy wkład każdego elementu budowlanego typowego biurowca w skumulowany strumień obciążeń ekologicznych pokazany jest na diagramie kołowym na rysunku 3. Ujęte są tam wszystkie elementy budowlane, włączając utrzymanie i konserwację elementów w czasie 60-letniego użytkowania.



Rys. 3. Ekologiczny wpływ elementów budynku (Anderson i Shiers, 2002)

Badania pokazują, że największy wpływ ekologiczny mają wykładziny podłogowe – negatywny wpływ środowiskowo skojarzony z tym elementem to około 40% całego strumienia. W budynkach biurowych najczęściej pojawiały się wykładziny z tworzyw sztucznych. Z uwagi na fakt używania się, wykładziny były często wymieniane – w niektórych przypadkach ponad 12 razy w trakcie 60-letniego użytkowania. Negatywny wpływ materiałów podłogowych można obniżyć nawet o dwie trzecie poprzez zmianę specyfikacji materiałów, na przykład poprzez zastosowanie wykładziny z recyklowanej gumy na podkładzie z włókien naturalnych.

Struktura stropów to kolejna pozycja, która odpowiada za około 15% całkowitych wpływów. Często stosowane w budynkach biurowych podłogi podniesione, to trzeci największy wpływ. Podniesione podłogi dostępu zapewniają nowoczesnym biurom i urządzeniom znaczną elastyczność, ale 12% sumy negatywnych wpływów środowiskowych, to liczba jest znacząca.

Fundamenty, z uwagi na konieczność stosowania stalowego zbrojenia ma podobny wpływ. Zsumowany wpływ ścian i okien wyjaśnia około 10% całkowitego wpływu typowego budynku biurowego.

Wpływy dachu i parteru budynku są podobnej wielkości, w obu przypadkach około 5% sumy. Wpływy obu elementów zależne są od wysokości budynku i będą największe dla budynków parterowych.

Z najważniejszych elementów powłoki budynku, to okna mają najniższy wpływ – tylko około 3% sumy. Naturalnie w przypadku budynków z większą ilością przeszkleń, negatywny wpływ okien wzrośnie, natomiast spadnie wpływ ścian zewnętrznych.

Wewnętrzna konstrukcja budynku ma zaskakująco mały wpływ w porównaniu z innymi elementami. Wynika to głównie z faktu, że badane budynki realizowane były w szkieletowej konstrukcji stalowej lub żelbetowej, gdzie zużycie materiałów nie było znaczące. Badania BRE pokazują, że wybór ustroju konstrukcyjnego budynku nie miał znaczącego wpływu na skumulowany strumień wpływów środowiskowych, ponieważ oba systemy wyjaśniały około 2% sumy.

Najmniejszy wpływ – około 1%, miały ściany wewnętrzne. Badane budynki funkcjonowały na zasadzie „open-space” i pozbawione były sztywnego podziału powierzchni. Rozwiązania sufitów oparte były na kombinacji sufitów podwieszanych i tynkowanych. Pomimo faktu, że sufity podwieszane ulegały szybkiemu zużyciu i częstej wymianie, ich niewielka waga ograniczała ich negatywny wpływ.

Budynek (rys. 4) składa się z kilku równoległych funkcjonujących systemów: wyposażenia wnętrza, podziału przestrzennego pomieszczeń, instalacji technicznych, konstrukcji (struktury), obudowy i zagospodarowania działki (Brand, 1994).



Rys. 4. Częstotliwość zmian warstw systemowych budynku

Struktura budynku, w zależności od przeznaczenia budynku ma z reguły trwałość 30-50 lat. Podział przestrzenny pomieszczeń, instalacje techniczne oraz obudowa mają dużo mniejszą trwałość i muszą być odnawiane w krótszych odstępach czasu. W nowoczesnych budynkach wspomniane wyżej „warstwy systemowe” projektowane są często jako pojedyncza struktura. Na pierwszy rzut oka, może się to wydawać efektywną strategią, jednak systemy długoterminowe mogą zablokować krótkoterminowe. W wyniku szybszej degradacji niektórych warstw systemowych wymagana jest wtedy ingerencja w systemy podlegające dłuższemu cyklowi. To tłumaczy, czemu

powszechną praktyką jest rozbiórka budynków, gdzie instalacje są trudne do utrzymania, gdyż są zintegrowane ze strukturą budynku.

Również podział przestrzenny pomieszczeń może być tak wyspecjalizowany i nieelastyczny, że skraca znacząco okres użytkowania budynku. Rozpiętość średniego czasu użytkowania nowoczesnych biurowców w centrum Tokio wynosi tylko 17 lat (Brand, 1994).

Poszczególne systemy techniczne budynku powinny być rozdzielone. Dlatego w projektowaniu należy szukać rozwiązań zapewniających łatwy dostęp do poszczególnych systemów. Powinny one być technicznie rozdzielone. To jest także podstawowy warunek dla skutecznego recyklingu zarówno dla całych budynków, jak i pojedynczych wyrobów oraz komponentów budowlanych.

6. Porównanie materiałów budowlanych

Opublikowane dane (West i in., 1994) dotyczące energii pierwotnej zwykle odnoszą się do indywidualnych materiałów, na przykład cegły, betonu, drewna albo szkła. To dane użyteczne podczas podejmowania strategicznych decyzji odnośnie projektu budynku na przykład wybór pomiędzy konstrukcją lekkiego szkieletu drewnianego lub murem z bloczków betonowych. Wartość energii pierwotnej zwykle jest podawana odnośnie jednostki ciężaru lub objętości materiału budowlanego użytego w projekcie budynku. Podejście na zasadach „cradle to grave” i analiza cyklu życia powinny stać się ważnym odniesieniem dla projektowania. Musimy mieć także świadomość, że wybór materiału należy skoordynować z innymi rozwiązaniami energooszczędnymi (na przykład zjawiska akumulacji ciepła, zastosowania wentylacji mechanicznej z rekuperatorem, ogrzewania solarne). Pewne materiały, takie jak tworzywa sztuczne albo metale, mają bardzo dużą zawartość energii pierwotnej, jednak używane w małych ilościach, mogą mieć korzystny wpływ na całość budynku pod postacią kompozytowego wyrobu budowlanego, na przykład dźwigara z drewna klejonego, gdzie zwiększenie rozpiętości materiału osiągnięte jest dzięki tworzywom sztucznym. Prawidłowo zaprojektowany detal architektoniczny, eleganckie połączenie różnych materiałów może przełożyć się zarówno na zwiększoną trwałość wyrobu, jak i ułatwić może recykling zastosowanych materiałów.

Materiały syntetyczne, drewno i metale to materiały, dookoła których toczy się najwięcej dyskusji na temat ich wpływu na środowisko naturalne.

Wzrastające zainteresowanie niskoenergetycznymi, wysokosprawnymi i ekologicznymi rozwiązaniami budowlanymi w dalszym ciągu stymulować będzie wzrost tego segmentu rynku.

Organiczne pochodzenie surowców w materiałach budowlanych wyróżnia je na tle innych produktów, których produkcja oparta jest o tradycyjną ekstrakcję surowców i energochłonne procesy. Nowoczesna technologia produkcji jest w stanie wydobyć z naturalnych

materiałów ich najlepsze cechy, zapewniając jednocześnie wytrzymałość, trwałość, odporność na czynniki atmosferyczne i korozję biologiczną oraz niskie nakłady związane z utrzymaniem.

6.1. Materiały budowlane z tworzyw sztucznych

Tworzywa sztuczne to materiały oparte na polimerach syntetycznych, ich energia pierwotna jest nadzwyczaj wysoka. Tworzywa syntetyczne oparte są najczęściej na związkach będących pochodnymi odpadów po rafinacji ropy naftowej. Możemy więc podkreślić fakt, że ich produkcja stanowi swego rodzaju recykling. Z drugiej strony przemysł chemiczny zaangażowany w produkcję materiałów syntetycznych odpowiedzialny jest za wielką skalę emisji do środowiska naturalnego CO₂ i ponad połowę emisji związków toksycznych. Eksploatacja i utylizacja tworzyw sztucznych wiąże się z emisją gazów do atmosfery. Związki te zwane są VOCs (*Volatile Organic Compounds*) i wdychane przez ludzi mogą być szkodliwe nawet w najmniejszych ilościach. Posadzki z tworzyw sztucznych, dywany i nowoczesne farby, oparte są na ropie naftowej. Farby, zawierają duże ilości potencjalnie toksycznych i kancerogennych substancji. Szkodliwy wpływ VOCs zaczyna się wkrótce po instalacji. Na temat dopuszczalności stosowania i celowości stosowania materiałów z tworzyw sztucznych wciąż toczy się debata. Zdaniem wielu ekspertów należy unikać stosowania materiałów z tej grupy (Hammond i Johnes, 2001). Najlepiej byłoby uniknąć stosowania polichloru winylu. Wyroby z PVC niezwykle trudno zutylizować i zwrócić do obiegu.

6.2. Metale w budownictwie

Metale to kolejna grupa materiałów o wysokiej zawartości energii pierwotnej. Energochłonny proces produkcyjny degraduje środowisko naturalne znaczną ilością odpadów. Spory procent metali poddawanych jest recyklingowi z powodu wysokiej ceny metali. Proces ten naturalnie nie odbywa się bez swojego własnego szkodliwego wpływu środowiskowego, wytopianie metali wymaga dostarczenia wielkiej ilości energii, ze związków chloru wykorzystywanych w obróbce metali, powstają wysoko toksyczne dioksyny. Aż do czasu kiedy produkcja metali zorganizowana zostanie sposób bardziej przyjazny środowisku, na przykład poprzez użycie na dużą skalę energii z odnawialnych źródeł, najlepszą strategią jest ograniczenie stosowania metali w budownictwie (Hammond i Johnes, 2001). Metale powinny być używane w małych ilościach albo dla szczególnych celów, na przykład dla łączenia i zamocowania innych materiałów. Stal nierdzewna i aluminium mają wysoki potencjał dla recyklingu, ale ich produkcja ma wysoce negatywny środowiskowy wpływ. Ekstensywne użycie materiałów opartych na metalach w budownictwie nie może być uważane za ekologiczne. Należy unikać szczególnie ołowiu, głównie z powodu jego toksycznej natury i skojarzonych zanieczyszczeń wynikających z procesu produkcyjnego. Z ołowiu były wykonywane

płyty odpływowe, rury kanalizacyjne, arkusze ołowiane umieszczone w konstrukcji dużych budynków chroniące przed wibracjami i hałasem. Materiały zawierające ołów, były używane głównie do krycia dachów i sprawdzały się, jako element izolacyjny pomiędzy ścianami, a pokryciem dachu albo przy połączeniach pomiędzy połaciami dachu. Jednak woda z ołowiem spływająca z dachów przenikała potem do gruntów a była używana do podlewania owoców albo warzyw, absorbujących ołów w trakcie wegetacji. Związki ołowiu służyły również do wyrobu farb antykorozyjnych i malarskich, pigmentów i zapraw. W trakcie utylizacji, po rozbiórce nie należy spalać odpadów pomalowanych farbami ołowioowymi. Ponadto należy bezwzględnie unikać wdychania jego oparów i gryzącego dymu.

6.3. Materiały budowlane pochodzenia organicznego

Architekci, projektanci, wykonawcy i inwestorzy wciąż odkrywają korzyści płynące z zastosowania produktów pochodzenia organicznego jako materiałów budowlanych. Choć w dalszym ciągu kojarzyć się mogą z popularną „strzechą”, produkty te nie występują już w surowej postaci. Nowa generacja materiałów budowlanych wykorzystuje zdobycze współczesnej technologii. Wśród zalet materiałów opartych na produktach organicznych wymienia się mały ciężar, trwałość, odporność na korozję, wysoką wytrzymałość i niskie nakłady na konserwację.

Podstawowym argumentem przemawiającym za stosowaniem tego rodzaju materiałów w budownictwie jest fakt, że są one surowcem odnawialnym. Surowce pozyskiwane na użytek przemysłu materiałów budowlanych pochodzą najczęściej z kopalni odkrywkowych odznaczających się dużym negatywnym wpływem na środowisko naturalne. Surowce pochodzenia organicznego dzięki zastosowaniu nowoczesnej technologii stanowią składnik wielu złożonych, kompozytowych materiałów budowlanych.

Surowce pochodzenia organicznego charakteryzują się również mniejszą zawartością energii pierwotnej i toksycznością. Z uwagi na fakt, że pozyskiwane są z upraw rolnych i leśnych, w trakcie wegetacji absorbują dwutlenek węgla. Także faza przetwarzania i produkcji, jako pełnowartościowych materiałów budowlanych wiąże się z mniejszym skomplikowaniem procesów i energochłonnością. Wśród innych pozytywnych aspektów środowiskowych stosowania materiałów pochodzenia organicznego wymienia się możliwość recyklingu. Niskie nakłady energetyczne związane z przetwarzaniem dają możliwość ponownego zastosowania lub przetworzenia materiału. Częstym sposobem utylizacji jest użycie jako surowca przy produkcji energii (*downcycling*). Materiały pochodzenia organicznego ulegają także szybkiej i naturalnej biodegradacji.

Wskazuje się też inne, bardziej pragmatyczne korzyści płynące ze stosowania materiałów pochodzenia organicznego. Ich produkcja, przetwarzanie, stosowanie i utylizacja wiąże się po prostu z niskim kosztem ekonomicznym. W dobie powszechnego uświadczenia

występowania problemów zdrowotnych wynikających z toksyczności otaczających nas substancji, zdrowe i bezpieczne materiały pochodzenia organicznego bardzo zyskują w oczach użytkowników.

Nowoczesne technologie pozwalają nam w pełni wykorzystać dobre właściwości fizyczne i mechaniczne tego rodzaju materiałów, czego efektem są często produkty nieustępujące parametrami innym, wiodącym materiałom budowlanym. Nie bez znaczenia jest także fakt, że stosowanie naturalnych surowców doskonale wpisuje się w aktualny globalny trend ekologicznego stylu życia oraz renesansu tradycyjnych materiałów podpartych nowoczesną techniką.

Główne kategorie produktów pochodzenia organicznego to:

- bio-paliwa pochodzące z upraw roślin energetycznych (oleje, bio-diesel, etanol);
- substancje chemiczne pochodzenia organicznego (farby, barwniki, polimery, lubrykanty, rozpuszczalniki, żywice);
- materiały pochodzenia roślinnego i zwierzęcego (produkty z włókien naturalnych, drewno, tarcica, skóra, laminaty, plastiki, izolacje).

6.4. Drewno w budownictwie

Drewno to materiał, który jest ogólnie uważany za materiał mający wysokie środowiskowe noty. Po pierwsze drewno jest zasobem odnawialnym, po drugie, jego produkcja, czyli wegetacja lasów zmniejsza ilość CO₂ w atmosferze. Drewno łatwo poddać recyklingowi albo użyć jako surowca energetycznego. Istnieją jednak, potencjalne wady drewna, wynikające z jego transportu, na przykład przy imporcie drewna i tarcicy gatunkowej z Rosji i Ukrainy. Inny problem to sposób uprawy i wegetacji drzew w lasach. Najpopularniejsze miękkie gatunki drewna pochodzą z lasów, obsadzanych tylko kilkoma gatunkami drzew, o małym potencjale bio-rozmaitości. W wypadku importowanego nieeuropejskiego twardego drewna istnieje wysokie prawdopodobieństwo, że pochodzi z tropikalnych lasów deszczowych. W procesie produkcji drewna budowlanego powinno być wykorzystywane wyłącznie drewno pochodzące z przecinki, wysokiej jakości drewno odpadowe z tartaków oraz odpowiednio recyklowane drewno. W Wielkiej Brytanii „*Forestry Stewardship Council*” wydaje odpowiednie zaświadczenia, że drewno produkowane jest i pozyskiwane z lasów sposób zgodny ze zrównoważonym rozwojem. Posiada je tylko kilka procent drewna dostępnego na rynku (Sarté, 2010).

Przy zamawianiu drewna na budowę rozważyć należy dostępność lokalnego drewna. Preferowane powinny być dostawy i wykorzystanie drewna z najbliższego sąsiedztwa, co pozwala uniknąć długotrwałych transportów.

Polskie lasy i tartaki mogą dostarczyć bardzo dobre jakościowo drewno, odpowiednie dla konstrukcji nośnej każdego budynku. Jeżeli konieczne jest zastosowanie importowanego drewna, należy rozważyć drewno

ze Skandynawii, z uwagi na małą odległość oraz dobrą renomę ekologiczną skandynawskich lasów.

Drewno, to właściwy wybór w aspekcie zasad zrównoważonego rozwoju, wymaga jednak impregnacji. Jeżeli ma być użyte zewnętrznie, odpowiednie detalowanie architektoniczne i prawidłowe wykonawstwo musi zapobiec jego gniciu. Należy dobrać najbardziej prawidłowy dla danej sytuacji „gatunek drewna”. Szczególnie miękkie gatunki drewna nie są odpowiednie do użytku zewnętrznego. Twarde drewno może być stosowane zewnętrznie przy prawidłowych rozwiązaniach projektowych. Należy szczególnie upewnić się, że w przypadku ryzyka kontaktu z wilgocią, woda szybko odcieknie i drewno jest dobrze przewietrzane. Należy sprawdzić trwałość jakiegokolwiek zewnętrznego drewna przed zastosowaniem. Dąb i modrzew, na przykład, to trwałe zewnętrzne gatunki drewna, podczas gdy dużo miękkich gatunków nie może być używanych zewnętrznie. Z reguły najwłaściwsze materiały są dostępne lokalnie i wymagają minimum przetworzenia.

Aktualnie, pozyskanie drewna dobrej jakości nie nastęrcza problemów, jednak powszechnie używane substancje zapobiegające szkodnikom, gniciu i ogniochronne są wysoko toksyczne i powinny być unikane jeśli mamy zamiar wybudować ekologiczny budynek.

Drewno znajduje około 30 tysięcy zastosowań. Postęp techniczny i rozwój technologii sprawiły, że choć jest to jeden z pierwszych surowców, który w rękach pierwotnego człowieka wyznaczał kierunek cywilizacji, wciąż pozostaje ono materiałem trudnym do zastąpienia, a przy tym odnawialnym.

Do najczęściej stosowanych produktów drewnianych zalicza się:

- drewno budowlane,
- drewno klejone,
- forniry,
- sklejki,
- płyty pilśniowe,
- płyty wiórowe,
- płyty LDF, MDF i HDF,
- płyty stolarskie,
- materiały podłogowe.

Gatunki iglaste, głównie sosna i świerk, są używane do wykonywania konstrukcji dachowych, stolarki budowlanej czy desek podłogowych. Gatunki liściaste sprawdzają się przy robotach stolarskich, wykonywaniu podłóg i posadzek. Budownictwo jednorodzinne nadal proponuje budowanie z drewna, szczególnie popularne są domy z bali i domy szkieletowe. Drewno, inaczej niż pozostałe materiały budowlane, jest najłatwiej dostępne i całkowicie odnawialne, co ma dodatkowe znaczenie dla ochrony środowiska naturalnego. Drewno charakteryzuje się niezwykłą lekkością, wytrzymałością i sztywnością. Struktura komórkowa drewna pozwalają na zatrzymywanie powietrza w ścianach komórkowych, pełniąc tym samym rolę naturalnego izolatora. W rezultacie budynki drewniane wymagają mniejszego zasilania w energię cieplną niż budynki stalowe lub

betonowe. Wilgotność w budynkach drewnianych jest regulowana także w sposób naturalny. Powietrze w budynkach drewnianych tworzy bardzo zdrowe i korzystne warunki dla życia człowieka.

Drewno zajęło poczesne miejsce w historii architektury. Jednak także w czasach współczesnych w wielu regionach świata wciąż zachowuje pozycję podstawowego materiału budowlanego. Szczególnie w krajach Ameryki Północnej i Skandynawii budownictwo indywidualne to w przytłaczającej większości domy drewniane. Budowa drewnianych ścian domku parterowego o wymiarach 10 × 10 m wymaga zużycia 3,5 razy mniej energii niż wzniesienie podobnych rozmiarów ścian o konstrukcji murowanej. Jednocześnie do atmosfery ulatnia się prawie trzy razy mniej CO₂, wielokrotnie niższe jest zużycie wody i nie ma uciążliwych ścieków w trakcie budowy. Pod względem izolacyjności cieplnej ściana domku z litego drewna ma zdecydowaną przewagę nad innymi materiałami budowlanymi – konstrukcja z litych belek drewnianych grubości 10 cm odpowiada tej samej izolacyjności cieplnej, co ściana z cegły pełnej grubości około 35 cm, a przy tym jest prawie trzy razy lepsza. Lżejsza ściana to mniejsze koszty budowy lżejszych fundamentów (Berge, 2001).

Dom z litego drewna lepiej akumuluje ciepło niż budynek z cegły pełnej czy z betonu. Dla mieszkańca domu oznacza to wyższy komfort latem (pomieszczenia w budynku mniej się nagrzewają) i mniejsze koszty ogrzewania zimą. Wszystko to można przeliczyć na emisję dwutlenku węgla do atmosfery.

Drewno jest trwałe i długo opiera się procesom starzenia, w sprzyjających warunkach potrafi przetrwać wieki. Łatwo poddaje się procesowi przystosowania do warunków wilgotnościowych otoczenia. Potraktowane współczesnymi preparatami, staje się niepalne. Jest lekkie (choć różne gatunki cechuje różny ciężar właściwy), elastyczne i wytrzymałe. Jego porowata struktura sprawia, że cechuje je niski współczynnik przewodzenia ciepła, jest więc znakomitą materiałem izolacyjnym.

Cechą, której nie ma żadne inne tworzywo konstrukcyjne poza drewnem, jest jego odnawialność – zasoby drewna dadzą się odbudować w relatywnie szybkim procesie, który praktycznie (w odniesieniu do przynajmniej niektórych gatunków) można mierzyć czasem życia człowieka. I jeszcze jedna szczególna cecha: surowiec ten powstaje w wyniku naturalnego procesu biologicznego – fotosyntezy i nie wymaga żadnych nakładów energii, obciążających środowisko.

Od zarania dziejów drewno w postaci naturalnej (pociętych pni, gałęzi) jest surowcem energetycznym; pozostaje nim również w obecnie. Współcześnie ważnym aspektem ekologicznym jest to, że spalanie drewna w nikłym stopniu narusza bilans dwutlenku węgla w naturalnym obiegu tego gazu – można przyjąć, że ilość CO₂ wydzielanego w czasie spalania drewna jest równa ilości gazu przyswojonego w procesie wzrostu rośliny.

Rozwój przemysłu przeróbki drewna przyczynia się do wzrostu masy powstających odpadów. W dzisiejszych czasach określenie „odpad” w odniesieniu do drewna

zupełnie nie odpowiada prawdzie – trociny, wióry i zrębki stały się pełnowartościowym surowcem energetycznym. Znajdują także zastosowanie przy produkcji kompozytowych materiałów budowlanych.

6.5. Kompozyty z drewna i tworzyw sztucznych

Kompozyty z drewna i tworzyw sztucznych wytwarza się z trocin drzew iglastych lub włókien naturalnych. Elementy budowlane powstałe na bazie żywicy fenolowych wzmocnione są włóknami celulozowymi, takimi jak bawełna, drewno, konopie, len, a także żywice fenolowe z włóknami drzewnymi stosowane przede wszystkim jako materiał konstrukcyjny i izolacyjny. Trociny pozbawiane są zanieczyszczeń, poddawane są procesowi mineralizacji przez użycie dobranej, odpowiedniego mineralizatora oraz zabezpiecza się je przed butwieniem. Do mieszanki dodaje się żywice, które pełnią rolę spoiwa. Żywice produkowane są z polimerów pochodzenia organicznego.

Kompozyty z drewna i tworzyw sztucznych charakteryzują się:

- małym ciężarem,
- możliwością szybkiego montażu,
- niskimi nakładami związanymi z utrzymaniem,
- trwałością,
- odpornością na korozję i czynniki pogodowe,
- możliwością różnorodnego kształtowania powierzchni.

Kompozyty z drewna i tworzyw sztucznych charakteryzują się wielką różnorodnością i wszechstronnością. Decyduje o tym fakt, że dzięki współczesnej technice można wyprodukować materiał o pożądanym parametrach.

Większość kompozytów z drewna i tworzyw sztucznych jest produkowanych przez osadzanie włókien naturalnych pochodzących z tyka lub z zewnętrznego pienia roślin (pszenica, len, juta, kenaf, sisal, konopie i orzech kokosowy) w poliestrze albo w matrycy polipropylenowej. Umiarkowane właściwości mechaniczne włókien naturalnych często uniemożliwiają zastosowanie tego rodzaju materiału, jednak ich stosunek wytrzymałości i sztywności do ciężaru jest ogólnie bardzo korzystny.

Inne włókno naturalne, jest używane głównie w złożonych wersjach budowania produktów takich jak sztukaterie, profile okienne i drzwiowe, listwy wykończeniowe, ogrodzenia i różnego rodzaju panele. Produkty te mogą zawierać od 30% do 70% drewna, w zależności od sposobu zastosowania. Najbardziej typowa zawartość drewna, to około 50%. Bez względu na proporcje, włókna drewna używane w kompozytach mają najczęściej postać raczej mączki, niż dłuższych, indywidualnych włókien. Do najpowszechniej używanych gatunków drewna zaliczają się sosna, klon i dąb.

Podobnie, jak ma to miejsce w przypadku materiałów kompozytowych z włóknami nieorganicznymi, stosuje się rozmaite dodatki w celu usprawnienia procesu produkcji oraz polepszenia parametrów wytrzymałościowych produktu. Jako dodatki stosuje się stabilizatory, pigmenty, smary, środki grzybobójcze i środki spieniające.

Drzewno-polimerowe produkty budowlane charakteryzują się przede wszystkim lekką wagą i odpornością na korozję. Materiały te współzawodniczą z tradycyjnymi materiałami w licznych mieszkaniowych, handlowych i budownictwa przemysłowego zastosowaniach, włączając rury kanalizacyjne i przewody wentylacyjne, okładziny ścian oraz gonty. Materiały polimerowe zbrojone włóknami pochodzenia organicznego mogą być stosowane przy wszelkich elementach strukturalnych wymagających wzmocnienia, takich jak ściany albo belki.

Najczęstsze zastosowania wykorzystujące walory tego materiału to wykończenie powierzchni tarasów, ścian oraz dachów. Kompozyty stosuje się również w budownictwie prefabrykowanym, przenośnym oraz modułowym, jak również jako zewnętrzną okładzinę. Drzewno-polimerowe produkty budowlane mogą z powodzeniem emulować wykończenie kamieniarskie. We wnętrzach kompozyty drzewno-polimerowe znajdują najczęściej zastosowanie jako obudowy kabin prysznicowych, wanien, basenów oraz kanałów. Oparte na poliuretanie spoiwa są używane do produkcji złożonych paneli w rozmaitej konfiguracji, włączając płyty OSB, twarde płyty pilśniowe HB, średniej gęstości płyty pilśniowe (MDF), płytę pilśniową (PB), laminaty oraz formiry.

Płyty OSB, często używane jako materiał strukturalny w budownictwie drewnianym, a także przy układaniu podłóg i pokryciu dachów, produkowane są jako płyty jedno- lub wielowarstwowe. Płyty jednowarstwowe znajdują zastosowanie jako warstwy środkowe sklejk. Płyty wielowarstwowe (najczęściej 3-warstwowe) zbudowane są w następujący sposób: wszystkie warstwy składają się z długich, wysmukłych wiórów (najczęściej sosnowych) pozyskanych poprzez skrawanie małowymiarowego drewna okrągłego (kłody o długości z reguły 2,2 m). Skrawanie odbywa się wzdłuż przebiegu włókien, w kierunku stycznym. Warstwy zewnętrzne składają się z orientowanych w kierunku tak zwanej większej osi płyty (równoległe do przebiegu linii produkcyjnej). Co najmniej 70% wiórów musi być zorientowanych w tym kierunku, inaczej płyty nie możemy nazwać orientowaną. Wióry warstwy wewnętrznej zorientowane są najczęściej w kierunku prostym w stosunku do wiórów warstwy zewnętrznej. Ze względu na pożądane właściwości płyt OSB do ich zaklejania używa się różnych żywic syntetycznych

Polichlorek winylu jako termoplastyczna matryca jest często używanym tworzywem sztucznym w produkcji okien i drzwi. Włókna używane w oknach i drzwiach to włókna drewna. Produkt ten zyskuje na popularności z uwagi na parametry izolacyjności cieplnej, odporność na wilgoć oraz sztywność.

W nowoczesnych produktach przeznaczonych na zewnątrz budynków, zarówno żywice winylowe, jak i polietylenowe oraz polipropylenowe połączone są z mączką drzewną, aby uniemożliwić gniciu i szkodliwe działanie warunków atmosferycznych. Efektem jest szeroka gama produktów, które typowo nie wymagają malowania oraz używania środków konserwujących.

Innym rodzajem materiału „sandwiczowego” znajdującym szerokie zastosowanie w architekturze mieszkaniowej i handlowej budowy są strukturalnie izolowane panele (SIP). Składają się one ze styropianowego rdzenia przekładanego dwoma cienkimi warstwami z płyty OSB. Te wytrzymałe i lekkie materiały kompozytowe, które mogą być zaprojektowane by mieć wyjątkowe własności izolacji. Uwagi na fakt prefabrykacji, panele mogą być dostarczone na budowę w zadanym rozmiarze. Elementy te mogą być uzbrojone są w przewody elektrotechniczne i wodno-kanalizacyjne.

Rośnie także użycie kompozytów drzewno-polimerowych w naprawie i konserwacji betonów, robót kamieniarskich oraz we wzmacnianiu drewnianych belek.

Producenci oferują także gonty wykonane recyklowanej gumy, tworzyw sztucznych oraz włókna celulozowego wiązanych ze spoiwami polimerowymi. Gont może być stylizowany na podobne elementy wykonane z drewna, standardowe dachówki, jak również gont bitumiczny. Użycie materiałów drzewno-polimerowych prowadzić może do obniżenia zużycia energii na produkcję i utrzymanie w trakcie użytkowania.

6.6. Trocinobeton

Trocinobeton wytwarza się z trocin drzew iglastych – pozbawionych zanieczyszczeń, zmineralizowanych przez użycie dobranego, odpowiedniego mineralizatora i zabezpieczającego przed butwieniem. Proces produkcji odbywa się ściśle według recept i zaprogramowanej technologii. Do mieszanki dodaje się cement, który jest głównym spoiwem. Są to lekkie termoizolacyjne betony, w składzie których spoiwem jest cement portlandzki, a wypełniaczami – trociny, wióry i zrąbki drzew iglastych (sosna, jodła lub świerk) o ściśle określonych wymiarach i właściwościach, bez zanieczyszczeń, zbutwień. Trociny mają długość do 10 mm, wióry – do 60 mm, a wymiary zrąbków 40 × 20 × 6 mm (długość, szerokość, grubość). Wypełniacze poddawane są mineralizacji, która zapobiega gniciu, zapewnia odpowiednią trwałość, zmniejsza skurcz własny, zwiększa przyczepność do zaczynu cementowego i umożliwia właściwe wiązanie oraz twardnienie betonu.

Ściany wznoszone z trocinobetonowych elementów charakteryzują się:

- znaczną odpornością cieplną;
- współczynnikiem $k = 0,25-0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$;
- „czystością” ekologiczną, gdyż są wznoszone ze „zdrowych” materiałów: trocin i cementu;
- są wytrzymałe, lekkie i trwałe (ciężar objętościowy trocinobetonu odmiany 600 wynosi 600-700 kg/m³ przy wytrzymałości na ściskanie minimum 1 MPa, a ciężar objętościowy trocinobetonu odmiany 1200 wynosi 1000-1300 kg/m³ przy wytrzymałości na ściskanie minimum 5 MPa);
- prostotą wykonawczą.

6.7. Materiały termoizolacyjne pochodzenia organicznego

Wykorzystanie izolacyjnych materiałów ropopochodnych, takich jak włókno szklane i piany, nie jest zgodne

z zasadą zrównoważonego rozwoju. Ponadto, wiele materiałów izolacyjnych zawiera chemiczne preparaty ogniochronne i kleje, a także charakteryzuje się wysoką wartością „szarej energii”. Na szczęście na rynku znaleźć można szereg innych, ekologicznych rozwiązań. Bloczki z konopi i wapna, włókno lniane oraz włókno drewniane to tylko niektóre z bardziej ekologicznych oferowanych materiałów. Wełna owcza oraz celuloza są energooszczędne i nie mają negatywnego wpływu na środowisko, jak dzieje się to w przypadku materiałów tradycyjnych. Izolacja wełną owczą, na przykład, wymaga poniżej 15% energii potrzebnej do wytworzenia izolacji z włókna szklanego, do tego może wchłaniać z powietrza wilgoć i uwalniać ją bez wpływu na sprawność cieplną. W okresie zimowym wełna uwalnia energię w postaci ciepła i pochłania wilgoć, w miesiącach letnich w naturalny sposób uwalnia wilgoć i ten sposób chłodzi budynek.

Porównanie energii pierwotnej materiałów (Hammond i Johnes, 2011):

– włókna ligno-celulozy	4-15 MJ/kg
– włókno szklane	14-55 MJ/kg
– styropian	50-82 MJ/Kg
– włókno węglowe	130 MJ/kg

6.8. Materiały izolacyjne z celulozy

W krajach zachodnich celuloza, będąca produktem przemysłu drzewnego, od dawna z powodzeniem pełni rolę materiału budowlanego, jako warstwa izolacyjna w ścianach. Uzyskana z przeróbki makulatury celuloza wymaga znacznie niższego nakładu energii niż produkcja włókna szklanego czy wyrobów piankowych. Ponadto celuloza charakteryzuje się znacznie niższą wartością „szarej energii”. Jest to materiał trudnopalny i nierozprzestrzeniający ognia. Dzięki zawartości związków boru nie tylko sam nie ulega biodegradacji, ale powstrzymuje rozpoczęty proces rozwoju pleśni i grzybów na konstrukcjach drewnianych. Pozwala to zaniechać stosowania folii paroizolacyjnej, ponieważ w przypadku zawilgocenia izolacji do chwili jej ponownego wyschnięcia nie rozwiną się szkodliwe mikroorganizmy. W kontakcie z ogniem nie płonie – tylko się zwęglą. Nie wydziela przy tym substancji trujących.

Materiały izolacyjne z celulozy nadają się do izolowania termicznego przestrzeni trudno dostępnych, w których nie da się poprawnie ułożyć tradycyjnych materiałów ociepleniowych, na przykład płyt wełnianych lub styropianowych. Celulozę produkuje się z makulatury papieru gazetowego zabezpieczonego retardantami i impregnatami. Celuloza to materiał o właściwościach izolacyjnych termicznych jak i akustycznych. Ocieplenie z celulozy posiada właściwości termiczne identyczne jak wełna mineralna czy styropian.

Włókna celulozowe sprzedawane są w kilkunastokilogramowych workach i zagęszczane są do około 150 kg/m^3 co daje duże oszczędności przy transporcie. Włókna celulozowe sprzedawane są również w formie elastycznych i łatwych w obróbcie płyt.

Izolacja tym materiałem posiada liczne zastosowania, lecz póki co nie cieszy się wielką popularnością w naszym kraju, w przeciwieństwie do USA czy Kanady. Obawy przed tą technologią i materiałem wiążą się z koniecznością zlecenia izolacji wyspecjalizowanej ekipie. Izolacji tej nie jesteśmy w stanie wykonać na własną rękę, dlatego też obawiamy się, że będzie ona droga i nie opłacalna, lecz tak naprawdę cena wykonania jej nie różni się wiele od stosowanych powszechnie systemów ociepleń.

Celuloza jako jeden z niewielu materiałów termoizolacyjnych jest paroprzepuszczalna, czego nie można powiedzieć o styropianie i wełnie mineralnej oraz nie wymaga stosowania paroizolacji w przegrodach gdzie została zastosowana. Celuloza jest także materiałem bezpiecznym dla zdrowia i niewywołującym alergii. Parametry izolacyjno-termiczne są identyczne jak dla wełny mineralnej i styropianu – współczynnik przewodzenia ciepła dla celulozy wynosi $0,037\text{-}0,042 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. Celuloza jest także dobrym izolatorem akustycznym.

Stosowanie celulozy powoduje ciągłość izolacji eliminując powstałe mostki termiczne przy użyciu innych materiałów izolacyjnych. Dzięki zastosowaniu soli boru do impregnacji celulozy, nie istnieje konieczność chemicznej ochrony drewna, zarówno przed owadami, jak i grzybami. Celuloza osusza zagrzybione podłoża i jednocześnie je konserwuje. Wszystkie te czynniki powodują, że jest materiałem niezwykle trwałym.

Celulozę stosujemy do ocieplenia i do izolowania akustycznego: ścian zewnętrznych i wewnętrznych, stropów, sufitów, poddaszy i dachów. Występują trzy metody wykonania takiej izolacji: metoda luźnego nadmuchu, metoda wdmuchiwanie pod ciśnieniem i metoda natrysku na mokro. Celulozę stosuje się głównie wypełniając wolne przestrzenie poprzez nadmuch, w ten sposób izolujemy stropodachy wentylowane, zamknięte ściany, stropy, sufity czy wolne przestrzenie poddaszy nie użytkowych. Metoda natrysku na mokro izolujemy sufity, ściany zewnętrzne jak i wewnętrzne. Wysoka zdolność zatrzymywania ciepła w czasie upałów, a także mrozów. Rzeczywisty opór cieplny jest wyższy o około 20% od mierzonego laboratoryjnie. Badania laboratoryjne nie uwzględniają gęstości i budowy włókien, w której w bardzo niewielkim stopniu dochodzi do konwekcyjnej wymiany ciepła (infiltracja powietrza w materiale izolacyjnym). Dzięki zastosowaniu urządzenia mechanicznego można wielokrotnie skrócić czas ocieplania obiektu

6.9. Słoma i wełna owcza jako materiał izolacyjny

Słoma, to chyba najbardziej tradycyjny materiał ociepleniowy. Ze słomy produkuje się elastyczne płyty grubości około 2 do 5 cm. Słoma jest powiązana sznurkami i nasączona impregnatem, który zmniejsza jej podatność na ogień. Płyty słomiane można stosować do ocieplania dachów, ścian szkieletowych, stropów oraz poddaszy. Mają gęstość około 190 kg/m^3 . Współczynnik

przewodzenia ciepła dla tego materiału wynosi od 0,042 do 0,056 W/(m·K).

Zwykła wełna owcza także może być materiałem ociepleniowym stosowanym w budownictwie. Produkowane są z niej maty laminowane jednostronnie włókniną lub folią aluminiową i strzępki wełniane do wykonywania izolacji wdmuchiwanych. Wełna charakteryzuje się dobrą izolacyjnością termiczną i akustyczną. Jest trwała i świetnie reguluje poziom wilgotności powietrza w pomieszczeniach. Pochłania nadmiar wilgoci i oddaje go, gdy robi się sucho. Nie pyli w trakcie cięcia i nie stanowi pokarmu dla gryzoni. Nie jest jednak odporna na trwałe zawilgocenie. Materiał taki polecany jest do ocieplania poddaszy użytkowych.

6.10. Materiały budowlane z włókien naturalnych

Materiały budowlane z włókien naturalnych w warunkach środkowoeuropejskich produkowane są z lnu włóknistego i konopi siewnej. Do najczęściej stosowanych materiałów z włókien naturalnych zalicza się:

- geowłókniny,
- trawniki,
- materiały filtracyjne,
- materiały izolacyjne.

Materiały termoizolacyjne z włókien naturalnych posiadają parametry nieustępujące obecnym na rynku materiałom termoizolacyjnym:

- $k = 0.040-0.045$ W/(m²·K),
- gęstość – 25-50 kg/m³,
- grubość – 20-300 mm.

Płyty ociepleniowe z włókna lnianego są materiałem stosunkowo tanim w pozyskiwaniu i w pełni ekologicznym. Włókna łączy się skrobią ziemniaczaną, służącą jako lepiszcze i sprasowuje. Tak powstałe płyty są dobrym izolatorem akustycznym i termicznym. Nie hamują przepływu pary wodnej gromadzącej się wewnątrz ogrzewanych pomieszczeń. Włókna lniane są jednak łatwopalne i by płyty takie zostały dopuszczone do stosowania w budownictwie muszą być zabezpieczone impregnatami ogniochronnymi. Materiał ten niestety nie jest odporny na działanie insektów i gryzoni.

Materiałem termoizolacyjnym są też płyty z konopi. Produkt ten jest szczególnie popularny w Stanach Zjednoczonych. W Polsce hodowla konopi jest utrudniona z powodu dużego podobieństwa konopi tradycyjnych do konopi indyjskich. Płyty konopne mają właściwości podobne do płyt z włókien lnianych. Odnaczają się jednak gorszą odpornością na zawilgocenie. Maty i płyty produkuje się także z włókien kokosowych. Są one wytrzymałe, sprężyste, odporne na działanie ognia i nie zawierają żadnych chemicznych domieszek. Mają grubość od 1 do 4 cm i gęstość 85-125 kg/m³. Ich współczynnik przewodności cieplnej wynosi około 0,043-0,045 W/(m·K). Mimo tak dobrych właściwości ciepłochronnych służą głównie do wykonywania izolacji akustycznej.

Wśród zalet konopi, jako rośliny przemysłowej wymienia się (Grabowska, 2009):

- dopasowanie do środkowoeuropejskich warunków klimatyczno-glebowych,
- szybki przyrost biomasy (w ciągu 100 dni osiągają wysokość około 4 m),
- wysoki plon biomasy (około 10 t/ha, nawet przy umiarkowanym nawożeniu),
- uprawa nie wymaga stosowania środków ochrony roślin oraz poprawia strukturę gleby,
- uprawa jest znakomitym przedplonem dla innych gatunków,
- odporność na okresowe braki wody,
- mogą być rośliną rekultywacyjną,
- uprawa konopi pozwala na zachowanie różnorodności biologicznej,
- konkurencyjność w stosunku do rosnących cen drewna.

6.11. Materiały wykończeniowe

Materiały wykończeniowe stanowią grupę, która generuje olbrzymie obciążenia ekologiczne. Grupa ta jest niezwykle szeroka i obejmuje produkty do wykańczania między innymi ścian, podłóg i sufitów. Materiały te bardzo często oparte są o związki chemiczne pochodzące z paliw kopalnych, natomiast w produkcję zaangażowane są energochłonne procesy. Alternatywą dla tworzyw sztucznych bardzo często stosowanych jako materiały posadzkowe oraz farb opartych na rozpuszczalnikach mogą być materiały oparte na surowcach odnawialnych.

Wykładziny naturalne powstają także w oparciu o surowce pochodzenia organicznego. Najbardziej rozpowszechnionym produktem o naturalnym pochodzeniu jest linoleum.

Linoleum – materiał składający się z warstwy barwionej w masie utwardzonej masy plastycznej (o podstawowym składzie: olej lniany, kalafonia i mączka drzewna lub korkowa) nałożonej na płótno jutowe (lub podobną tkaninę). Linoleum cechuje niespotykane bogata kolorystyka, duża wytrzymałość na użytkowanie i odporność na żar z papierosów, co czyni ten produkt niezwykle użytecznym w profesjonalnych zastosowaniach.

Nakładanie powłok malarskich jest jednym z podstawowych procesów wykańczania powierzchni wyrobów w celu zmniejszenia ich podatności na wpływy zewnętrzne, w szczególności na korozję, a także nadania im wyższych walorów użytkowych. Pierwotnie stosowano głównie farby zawierające znaczne ilości rozpuszczalników organicznych niosących duże zagrożenie dla środowiska. W skład takich klasycznych farb wchodziło średnio 60% rozpuszczalników, 30% spoiwa, 7-8% pigmentów i wypełniaczy oraz 2-3% dodatków.

Farby produkowane są z naturalnych materiałów (woda, oleje i pigmenty roślinne, minerały). Spoiwem farby są najczęściej: olej lniany, glina, wapno lub białko mleka (Kazimierczak i Gorzkowski, 2009). Farby nie zawierają niebezpiecznych dla zdrowia lotnych związków organicznych (VOCs).

Konieczność zmniejszenia emisji lotnych związków organicznych, przez które rozumie się każdą ciecz organiczną (lub substancję stałą), która sama odparowuje w warunkach otoczenia, doprowadziła do opracowania wielu farb o zmniejszonej zawartości tych substancji. Farby te można podzielić na trzy grupy.

„High-solids” – farby z tej grupy zawierają dużą ilość składników stałych, charakteryzują się niższą emisją rozpuszczalników (do 50% mniej w stosunku do farb tradycyjnych), dobrym kryciem, dają możliwości nakładania grubych powłok przy zmniejszonej liczbie nakładanych warstw oraz stwarzają mniejsze zagrożenie pożarowe i mogą być nakładane przy zastosowaniu typowego sprzętu.

Najpopularniejsze „ekologiczne” farby to farby wodorozcieńczalne. Ich głównym rozpuszczalnikiem jest woda stanowiąca około 80% farby. Korzyści wynikające ze stosowania takich farb, to znaczne zmniejszenie emisji rozpuszczalników organicznych (ich zawartość z reguły nie przekracza 35% ilości zawartej w nich wody), zmniejszenie zagrożenia pożarowego, długi okres przydatności do użytku, dobre właściwości powłoki i zmniejszenie narażenia użytkowników na substancje organiczne zawarte w powietrzu, gdyż powszechnie uznaje się farby wodorozcieńczalne za nieszkodliwe.

Farby proszkowe składają się w 100% ze sproszkowanej żywicy zawierającej stałe dodatki. Proszek nanoszony jest na malowaną powierzchnię metodą zanurzania w złożu fluidalnym, natryskiwania lub natryskiwania elektrostatycznego. Po naniesieniu powłoki proszku jest ona najczęściej stapiana, tworząc trwałą, odporną na korozję powłokę o wysokiej jakości.

7. Podsumowanie

Rynek materiałów budowlanych oferuje szeroką gamę produktów, gdzie zastosowanie znajdują produkty i odpady rolnictwa, leśnictwa oraz przemysłu drzewnego. Wykwalifikowani projektanci i wykonawcy rozumiejący unikalne własności i uwarunkowania tej grupy produktów mogą istotnie wpłynąć na obniżenie energochłonności w pierwszej fazie cyklu życia obiektu budowlanego.

Tak jak w przypadku każdego produktu organicznego, zastosowanie materiałów pochodzenia roślinnego wykorzystuje lokalny potencjał biologiczny. Szerokie pole potencjalnych zastosowań pozwala zagospodarować produkty wegetacyjne niezależnie od obszaru uprawy, klimatu i sezonowych zmian. Biotechnologia jest jednocześnie jedną z najprężniej rozwijających się dziedzin nauki, także już w najbliższej przyszłości spodziewać się można dalszego upowszechnienia „zielonych materiałów”.

Odnawialne surowce mają potencjał, by zachować bogactwa naturalne. Ich szczególnym atutem jest możliwość utrzymywania bilansu CO₂ oraz niska energochłonność produkcji. Użycie odnawialnych surowców w produkcji materiałów budowlanych doskonale wpisuje się w politykę zrównoważonego rozwoju, oczekiwać zatem można, wzorem krajów

zachodnich (LEED, BREEAM), wprowadzenia instrumentów polityki budowlanej związanej ze specyfikacją materiałów budowlanych.

Obecnie zasady zrównoważonego rozwoju wpisane zostały jako kluczowe wytyczne w polityce wielu krajów w Europie i na świecie. Walka z emisją gazów cieplarnianych i skojarzoną zmianą klimatu stała się jednym z głównych bodźców restrukturyzacji materiałowej i energochłonnych gospodarek. Rządy kilku krajów prowadzą politykę związaną z kontrolą i doskonaleniem przemysłu budowlanego. Ważne działania zawierają minimalizację zużycia energii w budynkach, rozumne użycie bogactw naturalnych i ściślejszą kontrolę emisji szkodliwych substancji. Wszystkie te wytyczne powinny mieć zastosowanie podczas wyboru materiałów.

Główne podejścia mogłyby być następujące:

- użycie odnawialnych zasobów energetycznych dla wydobycia surowców, dla wytwarzania, przetwarzania i przewozu materiałów budowlanych;
- użycie materiałów pochodzących z odnawialnych źródeł;
- zmniejszenie konsumpcji nieodnawialnych surowców;
- nacisk na materiały budowlane dostępne lokalnie;
- renesans tradycyjnych technologii budowlanych;
- eliminacja strat energii, wody i materiałów poprzez doskonalenie procesów produkcyjnych;
- zwiększenie użycie surowców pochodzących z recyklingu;
- zwiększenie potencjału dla recyklingu produkowanych materiałów budowlanych;
- zwiększenie jakości, wytrzymałości trwałości materiałów budowlanych;
- staranne projektowanie przekładające się w konsekwencji na niskie koszty utrzymania i konserwacji.

Jedną z głównych strategii na rzecz poprawy funkcjonalności i środowiskowych wyników tradycyjnych materiałów może być użycie nowoczesnych technologii z dziedziny biotechnologii. Produkcja materiałów budowlanych w duchu zrównoważonego rozwoju charakteryzować się powinna większą dostępnością dla inwestorów i procesami produkcji nie stanowiącymi zagrożenia dla ludzkiego zdrowia i środowiska naturalnego.

Celem długofalowym powinna być stopniowa ewolucja rynku materiałów budowlanych. Istotna jest popularyzacja problemów energo- i materiałochłonności procesów produkcji oraz użycie instrumentów polityki budowlanej do kształtowania preferencji nabywców. Najważniejszymi czynnikami wyboru materiałów podczas prac remontowo-budowlanych są niestety w dalszym ciągu, cena i trwałość, przy czym to cena jest oceniana jako czynnik ważniejszy. Najwyższa pora, aby równie ważnym kryterium decydującym o specyfikacji materiałów budowlanych była jakość zamieszkiwanego przez nas środowiska naturalnego.

Dotychczasowe podejście uczestników procesu budowlanego jest oparte na strategii zaspokajania doraźnych potrzeb. W większości przypadków głównym celem jest wzniesienie obiektu przy możliwie niskich

nakładach inwestycyjnych. Wpływ wybranych rozwiązań konstrukcyjnych i materiałowych na środowisko nie jest z reguły brany pod uwagę.

Ponadto realizacja obiektu bez oceny jego wpływu na środowisko naturalne w pełnym cyklu życia jest nadal dopuszczalna przepisami prawa. W najbliższym czasie również w Polsce konieczna będzie zmiana tego podejścia, gdyż jest ono sprzeczne z już wprowadzonymi w UE rozwiązaniami prawnymi opartymi na metodzie LCA. Oficjalnie wydawane wielu krajach specyfikacje zawierają wykaz preferowanych materiałów budowlanych przeznaczonych do wznoszenia budynków o różnych funkcjach. Rozwija się również system certyfikacji budynków, zarówno w kontekście energochłonności, jak i dobranych materiałów budowlanych.

Dom przyszłości to dom niskoenergetyczny w całym cyklu istnienia obiektu. W okresie jego istnienia zapotrzebowanie na surowce oraz inne oddziaływania na środowisko powinny być utrzymane na racjonalnie niskim poziomie. Taki dom powinien być w okresie użytkowania uniezależniony od nieodnawialnych naturalnych surowców energetycznych. Rezygnacja z paliw ze źródeł nieodnawialnych na rzecz energii z surowców ze źródeł odnawialnych, w tym ciągle jeszcze niedocenianej bezpłatnej energii słonecznej i wiatrowej, to istotny kierunek rozwoju budownictwa zharmonizowanego.

Dotychczas obowiązujące prawo budowlane wraz z przepisami wykonawczymi obligują do tego, aby zapotrzebowanie na energię w czasie użytkowania obiektu było utrzymane na racjonalnie niskim poziomie. Krokiem naprzód w naszym kraju jest wprowadzenie obowiązku oceny energetycznej budynku. Świadectwo jest dokumentem określającym wielkość energii, wyrażoną w kWh/m²/rok, niezbędnej do zaspokojenia różnych potrzeb związanych z użytkowaniem budynku. Wprowadzenie certyfikatów powinno pobudzić ekologiczne myślenie projektantów i inwestorów za pomocą instrumentu ekonomicznego. Osobną kwestią jest zwiększenie ekologicznej świadomości oraz kompetencji urzędników zatrudnionych w organach administracji architektoniczno-budowlanej.

Wprowadzenie oceny wyrobu budowlanego przy pomocy „ekokosztu” może w jeszcze większym stopniu zrewolucjonizować nasze podejście do wyrobów budowlanych. Koszt ekologiczny wyrobu budowlanego stanie się w niedalekiej przyszłości jednym z ważnych kryteriów oceny energetyczno-ekologicznej obiektu budowlanego, narzędziem umożliwiającym optymalizację rozwiązań projektowanych z uwzględnieniem analizy długofalowej wpływu budynku na środowisko naturalne. Znajomość wyników wielokierunkowej analizy wpływu obiektu na środowisko, przy jednoczesnym porównaniu skutków zastosowań różnych rozwiązań, pozwoli znaleźć odpowiedź na pytanie, który z wariantów realizacji obiektu, w tym doboru materiałów budowlanych, najmniej ingeruje w środowisko naturalne w czasie pełnego cyklu życia obiektu.

Całkowite skumulowane zużycie energii paliw w ciągu pełnego cyklu życia obiektu jest sumą skumulowanego

zużycia energii w fazie wznoszenia, skumulowanego zużycia nośników energii bezpośredniej podczas użytkowania (przez użytkowników i do wykonywania czynności związanych z obsługą obiektu), skumulowanego zużycia energii niezbędnej do wykonania zabiegów naprawczych (remontów bieżących lub kapitalnych) i skumulowanego zużycia energii niezbędnej do likwidacji obiektu (rozbiórki obiektu po zakończeniu okresu eksploatacji, transportu odpadów na wysypisko śmieci) oraz ewentualnego zagospodarowania odpadów pochodzących z rozbiórki na przykład przetworzenia do ponownego wykorzystania na drodze recyklingu.

Charakterystyka energetyczno-ekologiczna wyrobów budowlanych zawiera dane dotyczące oddziaływania na efekt cieplarniany, uszczuplenie warstwy ozonowej, efekt zakwaszenia, eutrofizację, ekotoksyczność, zużycie surowców mineralnych, zużycie energii pierwotnej, zużycie wody oraz smog fotochemiczny. Badaniu podlega także emisja niebezpiecznych dla człowieka substancji do wody i atmosfery oraz energia pierwotna przeznaczona na transport. Tego typu dane, w niedalekiej przyszłości, będą podstawą do powstania systemu deklaracji środowiskowych. Informacja o wpływie wyrobu na środowisko ma pobudzać producenta do podejmowania działań sprzyjających zmniejszeniu stopnia uciążliwości wyrobu lub jego wyeliminowania z obrotu. Deklaracja środowiskowa może również ułatwić wybór materiałów, technologii oraz stymulować producentów do działań w celu poprawy wskaźników z zakresu ekologii. Dyskusja związana z ekologią, energochłonnością produkcji energii oraz energooszczędnością budynków zyskuje coraz bardziej na aktualności, także deklaracja środowiskowa może zatem być jednocześnie kolejnym sposobem promocji wyrobu budowlanego.

Literatura

- Anderson J., Shiers D. (2002). The Green Guide to Specification. *Blackwell Science Ltd.*, Oxford.
- Anink D., Boonstra C., Mak J. (1996). Handbook of sustainable building, an environmental preference method for selection of materials for use in construction and refurbishment. *James & James*, London.
- Berge B. (2001). The Ecology of building materials. *Architectural Press*, Oxford.
- Brand S. (1994). How Buildings Learn. *Viking Penguin*, New York.
- Cole, R.J., Kernan, P.C. (1996). Life-cycle energy use in office buildings, building and environment. *Elsevier Science Ltd.*, Oxford.
- Grabowska L. (2009). Rynek konopny w EU i w Polsce. *Instytut Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich*, Poznań
- Górzyński J. (2004). Obciążenia środowiska w produkcji wyrobów budowlanych. *Prace naukowe Instytut Techniki Budowlanej*, Warszawa
- Hammond G., Jones C. (2011). Inventory of carbon & energy. *University of Bath*, Bath.
- Kazimierczak Z., Gorzkowski S. (1999). Ekologiczne technologie wytwarzania powłok organicznych. *Instytut Chemii Przemysłowej*, Warszawa.

- Runkiewicz L. (2010). Wykonywanie obiektów budowlanych zgodnie z zasadami rozwoju zrównoważonego. *Instytut Techniki Budowlanej*, Warszawa.
- Sarté B. (2010). Sustainable infrastructure the guide to green engineering and design. *J. Willey & Son, Inc.*, Oxford.
- West J., Atkinson C., Howard N. (1994). *Proceedings of the first international conference of buildings and environment, CIB*.
- Williamson A. G. (1997). Energy efficiency in domestic buildings, a literature review and commentary. *Ministry of Commerce*, New Zealand.
- Woolley T., Kimmins S., Harrison P., Harrison R. (1997). Green building handbook. *Spon Press*, London

SELECTION OF BUILDING MATERIALS IN THE CONTEXT OF ENERGY EFFICIENCY AND ENVIRONMENTAL IMPACT

Abstract: Almost all the building materials are processed before application on construction site. This is inevitably connected with waste of energy and production wastes. The introduction of

the estimation of building materials by means of 'eco-costs' can revolutionize our approach to construction products. The ecological cost of the building materials will become an important evaluation criteria, a tool making possible the optimization of solutions with the regard of the long-term analysis of the influence of the building on the environment. An architect can fundamentally decide about level of primitive energy of building across specification of building materials.

Pracę wykonano w ramach realizacji projektów strategicznych Narodowego Centrum Badań i Rozwoju: SP/B/1/91454/10 – Analiza możliwości i skutków socjoekonomicznych wzrostu efektywności energetycznej w budownictwie oraz SP/B/8/91015/10 – Warunki i możliwości oszczędzania energii za pomocą instrumentów polityki miejskiej.

WYMAGANIA OCHRONY ŚRODOWISKA W PRZYGOTOWANIU INWESTYCJI BUDOWLANEJ

Jolanta HARASYMIUK^{a*}, Zdzisław KOWALCZYK^b

^a Katedra Inżynierii Materiałów i Procesów Budowlanych, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie,
ul. Heweliusza 10, 10-724 Olsztyn

^b Olsztyńska Wyższa Szkoła Informatyki i Zarządzania im. Tadeusza Kotarbińskiego,
ul. Artyleryjska 3c, 10-165 Olsztyn

Streszczenie: W artykule przedstawiono przegląd najważniejszych wymagań ochrony środowiska w przygotowaniu inwestycji budowlanej do realizacji. Zawarta w artykule sekwencja standardowych działań i czynności przygotowawczych uwzględnia wymaganą dokumentację środowiskową oraz może stanowić dla inwestora wskazówkę przy opracowywaniu szczegółowego algorytmu postępowania w konkretnym przypadku.

Słowa kluczowe: inwestycja budowlana, wymagania ochrony środowiska, przygotowanie inwestycji budowlanej do realizacji.

1. Wprowadzenie

Potrzeba uwzględnienia wymagań ochrony środowiska w przygotowaniu inwestycji budowlanych nabrała w ostatnich latach szczególnego znaczenia. Po pierwsze, postępująca degradacja środowiska skutkuje wzrostem świadomości społecznej w kwestii konieczności ochrony zasobów naturalnych oraz sukcesywnym zwiększaniem wymagań dotyczących przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko. Dotyczy to szczególnie inwestycji realizowanych na obszarach specjalnych. Po drugie, prawidłowo przeprowadzona procedura oceny oddziaływania na środowisko inwestycji z sektora publicznego i prywatnego stanowi warunek dofinansowania z krajowego lub regionalnego programu operacyjnego (Wytyczne MRR, 2009). Po trzecie, etap poprzedzający właściwą realizację budowlaną jest najistotniejszy z punktu widzenia możliwości zminimalizowania uciążliwości inwestycji dla środowiska w całym cyklu użytkowania budowli.

W publikacjach z tej tematyki dominują opracowania odnoszące się do wybranych aspektów ochrony środowiska w procesie inwestycyjno-budowlanym: ocena oddziaływania na środowisko jako prewencyjny instrument ochrony środowiska (Korona, 2010), charakterystyka krajowych i unijnych uregulowań prawnych ochrony środowiska (Kulas i Zawadka, 2007).

W pracy podjęto próbę całościowego ujęcia problematyki ochrony środowiska w przygotowaniu inwestycji budowlanej z punktu widzenia inwestora.

2. Wymagania ochrony środowiska w fazie programowania i projektowania inwestycji budowlanej

Etap prac przygotowawczych do realizacji inwestycji obejmuje fazę programowania i projektowania. W każdej z tych faz występują wymagania ochrony środowiska, które inwestor musi spełnić nie chcąc narazić się na: zaskarżenie wydanych decyzji administracyjnych, odmowę wydania pozwolenia na budowę, sankcje prawne i finansowe za szkody w środowisku oraz koszty związane z odtworzeniem zniszczonych siedlisk przyrodniczych.

Programowanie uwzględnia działania związane z: analizą i oceną zasadności podjęcia inwestycji, opracowaniem indywidualnego programu przedsięwzięcia oraz zapewnieniem środków finansowych na jego realizację. Dokumentem fazy programowania wymaganym od inwestora przy ubieganiu się o dofinansowanie inwestycji z funduszy unijnych jest

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: jolanta.harasyimiuk@uwm.edu.pl

studium wykonalności¹. W studium analizuje się i ocenia wykonalność alternatywnych wariantów inwestycyjnych oraz rekomenduje wariant najkorzystniejszy z punktu widzenia założonych celów i rezultatów przedsięwzięcia. Istotną częścią opracowania są zazwyczaj studia lokalizacyjne, wykorzystujące ważne z punktu widzenia pomyślnego ukończenia inwestycji kryteria ekologiczne i społeczne. Przykładowe kryteria cząstkowe mogą dotyczyć: występowania na danym terenie obszarów ochrony przyrody, możliwości wystąpienia konfliktów z mieszkańcami lub obecnym użytkownikiem terenu. W studium, zależnie od potrzeb, dokonuje się również klasyfikacji planowanej inwestycji pod kątem wymogu przeprowadzenia oceny oddziaływania na środowisko oraz określa zakres planowanych działań ochronnych (monitoring środowiska, ewentualne działania naprawcze). Przy inwestycjach przygotowywanych z pominięciem formalnego badania wykonalności, inwestor powinien ocenić ekonomiczną efektywność wybranego wariantu inwestycyjnego oraz dokonać analizy istniejących uwarunkowań lokalizacyjnych.

W przypadku, gdy teren zamierzonego przedsięwzięcia jest objęty miejscowym planem zagospodarowania przestrzennego, inwestycja może być lokalizowana bezpośrednio na podstawie ustaleń planu. Plan miejscowy wskazuje w gminie tereny do inwestowania oraz określa ich przeznaczenie z zachowaniem zasad ochrony środowiska. Jeżeli część opisowa planu wyklucza realizację inwestycji mogącej znacząco lub potencjalnie znacząco oddziaływać na środowisko, zapis o przemysłowym zagospodarowaniu terenu z wyłączeniem planowanego rodzaju działalności jest dla inwestora informacją o braku możliwości zrealizowania przedsięwzięcia (Ochrona środowiska, 2009; Zakrzewska, 2010). Inwestor musi również respektować wszelkie nakazy, zakazy i ograniczenia w budowie, rozbudowie lub przebudowie obiektów budowlanych i urządzeń technicznych wynikające z przepisów szczególnych, w tym Ustaw: Prawo ochrony środowiska (Dz. U. Nr 92z 2004 r., poz. 880 z późniejszymi zmianami), Prawo wodne (Dz. U. Nr 239 z 2005 r., poz. 2019 z późniejszymi zmianami), Ustawa o ochronie przyrody (Dz. U. Nr 92 z 2004r., poz. 880) i rozporządzenia Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa (Dz. U. Nr 67 z 1992r., poz. 337) oraz inne. Przy braku planu miejscowego, inwestor musi wystąpić z wnioskiem o ustalenie warunków zabudowy w drodze indywidualnej decyzji administracyjnej. Wniosek inwestora o ustalenie lokalizacji inwestycji celu

publicznego lub wydanie warunków zabudowy dla pozostałych inwestycji budowlanych (wzizt) musi zawierać podstawowe dane charakteryzujące wpływ przedsięwzięcia na środowisko. Decyzja organu gminy musi natomiast określać warunki niezbędne do ochrony środowiska na danym terenie.

Aktualne przepisy prawne oraz ustalenia gminnych dokumentów planistycznych mogą zdecydować o braku możliwości realizacji inwestycji na gruncie rolnym i leśnym² lub zmusić inwestora do uwzględnienia znacznej rezerwy czasowej na dokonanie zmiany przeznaczenia takiego gruntu. Nie jest to warunkowa procedura fazy programowania inwestycji. Ma miejsce wtedy, gdy inwestor zamierza zrealizować obiekt budowlany na gruncie mającym rolnicze lub leśne przeznaczenie. W przypadku, gdy jest to uzasadnione polityką przestrzenną gminy, zmiana przeznaczenia gruntu rolnego i leśnego będzie przebiegać dwuetapowo. W pierwszym etapie zmiana przeznaczenia gruntu musi zostać dokonana w miejscowym planie zagospodarowania. Jak wynika z Informacji Najwyższej Izby Kontroli (2009) o wynikach kontroli ochrony gruntów rolnych i leśnych, etap ten może potrwać nawet kilka lat ponieważ inwestor nie dysponuje prawnymi możliwościami wymuszenia opracowania lub zmiany planu³. W drugim etapie, jeszcze przed uzyskaniem pozwolenia na budowę, inwestor powinien uzyskać decyzję zezwalającą na rozpoczęcie innego niż rolnicze lub leśne użytkowania gruntu.

Grunty rolne najsłabsze jakościowo może odróżnić gmina. Decyzję dotyczącą żyzniejszych gruntów i o większym areale musi podjąć właściwy organ: marszałek województwa – w przypadku użytków rolnych klas IV, V i VI – wytworzonych z gleb pochodzenia organicznego i torfowisk, których powierzchnia przekracza 1 ha oraz minister właściwy do spraw rozwoju wsi – w przypadku gruntów klasy od I do III, o zwartym obszarze ponad 0,5 ha. Zmiana przeznaczenia gruntu leśnego stanowiącego własność państwową wymaga zgody ministra właściwego do spraw środowiska i marszałka województwa – w odniesieniu do pozostałych gruntów leśnych. Według Ustawy o ochronie gruntów rolnych i leśnych (Dz. U. Nr 121 z 2004 r., poz. 1226 z późniejszymi zmianami) wniosek wójta, burmistrza lub prezydenta miasta powinien zawierać: wskazanie celowości zmiany przeznaczenia gruntów wraz z wykazem ich powierzchni oraz uwzględnieniem klas bonitacyjnych gruntów rolnych i typów siedliskowych gruntów leśnych, ekonomiczne uzasadnienie projektowanego przeznaczenia gruntów wraz z sumą należności i opłat rocznych oraz informacją

¹ Według metodologii UNIDO (Behrens i Hawranek, 1993), wpływ inwestycji przemysłowych na środowisko powinien być analizowany jeszcze wcześniej – już na etapie wstępnego studium wykonalności. Ocena wstępna, prowadzona z wykorzystaniem list kontrolnych lub standardowego zestawu kryteriów, powinna być ukierunkowana na określenie skutków środowiskowych kwalifikujących się do dalszej, szczegółowej analizy. W ramach właściwego studium wykonalności, powinny zostać oszacowane wszystkie skutki środowiskowe wynikające z realizacji planowanego przedsięwzięcia. W trzecim etapie, należy sporządzić raport oceniający, który zidentyfikuje środki łagodzące negatywne skutki oraz umożliwi zaakceptowanie rekomendowanego wariantu inwestycji z punktu widzenia ochrony środowiska.

² W studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gminy określa się m.in. obszary wymagające zmiany przeznaczenia gruntów rolnych i leśnych na cele nierolnicze i nieleśne oraz obszary, dla których gmina zamierza sporządzić plany zagospodarowania przestrzennego. Plan miejscowy, w wyniku którego następuje zmiana przeznaczenia gruntów rolnych i leśnych na cele nierolnicze i nieleśne, musi obejmować całość obszaru wyznaczonego w studium.

³ Odmowa wójta, burmistrza lub prezydenta miasta dotycząca opracowania lub zmiany planu miejscowego jest dla inwestora równoznaczna z odmową zmiany przeznaczenia gruntu.

o przewidywanym rozmiarze strat, które poniesie rolnictwo lub leśnictwo w związku z negatywnym oddziaływaniem inwestycji. Wydanie zgody na zmianę przeznaczenia gruntu rolnego lub leśnego na cel inwestycyjny może wymagać złożenia wniosku w kilku wariantach, przedstawiających różne kierunki projektowanego przestrzennego rozwoju zabudowy.

Ustawa o ochronie gruntów rolnych i leśnych (Dz. U. Nr 121 z 2004 r., poz. 1226 z późniejszymi zmianami) nie określa wykazu dokumentów, które powinien przygotować inwestor ubiegający się o wyłączenie użytku rolnego lub gruntu leśnego z produkcji rolnej lub leśnej. Obowiązujące są natomiast zasady dotyczące uiszczania opłat (należności, opłat rocznych, jednorazowego odszkodowania za przedwczesny wyrąb drzewostanu) oraz zwolnień od opłat, określonych w Ustawie o ochronie gruntów rolnych i leśnych (Dz. U. Nr 121 z 2004 r., poz. 1226 z późniejszymi zmianami) i Rozporządzeniu Ministra Środowiska (Dz. U. Nr 99 z 2002r., poz. 905).

Od 2009 roku rygorom Ustawy o ochronie gruntów rolnych i leśnych (Dz. U. Nr 121 z 2004 r., poz. 1226 z późniejszymi zmianami) nie podlegają użytki rolne położone w granicach administracyjnych miast oraz grunty rolne klas IV-V na obszarach wiejskich. Nowelizacja wspomnianej ustawy nie objęła gruntów leśnych w granicach administracyjnych miasta, w odniesieniu do których obowiązuje standardowa procedura.

Przy planowaniu inwestycji mogących zawsze lub potencjalnie oddziaływać na środowisko⁴, na inwestorze ciąży obowiązek uzyskania decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach. Powinien on zostać zrealizowany przed złożeniem wniosku o wydanie każdej decyzji budowlanej. Katalog takich decyzji określono między innymi w: Ustawie o udostępnianiu informacji o środowisku (Dz. U. Nr 199 z 2008r., poz. 1227) i pracy zbiorowej Prawo ochrony środowiska (2011). Jeżeli planowany obiekt budowlany wymaga uzyskania decyzji wzięt i pozwolenia na budowę, inwestor wnioskuje o jedną decyzję o środowiskowych uwarunkowaniach i dołącza ją do wniosku o wydanie kolejnej.

Wydanie decyzji środowiskowej (przez regionalnego dyrektora ochrony środowiska lub wójta, burmistrza, prezydenta miasta – zależnie od rodzaju przedsięwzięcia) musi być poprzedzone wnioskiem inwestora. Ustawa o udostępnianiu informacji o środowisku (Dz. U. Nr 199 z 2008r., poz. 1227) nie określa wyraźnie wymagań dotyczących jego zawartości, ale mają tu zastosowanie przepisy Kodeksu Postępowania Administracyjnego (Dz. U. Nr 98 z 2000r., poz. 1071 z późniejszymi zmianami). Proces kompletowania wniosku jest czasochłonny i trudny. Powodów takiego stanu rzeczy należy upatrywać w: konieczności uwzględnienia konkretnych rozwiązań dla różnych aspektów inwestycji, co do których inwestor może nie posiadać dostatecznej wiedzy (na przykład wymóg zebrania szczegółowych

informacji dotyczących zakupu konkretnej maszyny lub urządzenia, istotnych z punktu widzenia emisji hałasu, jeszcze przed uzyskaniem decyzji wzięt), obowiązku dołączenia specjalistycznych załączników⁵ oraz wynikającej z kpa możliwości wielokrotnego wzywania inwestora do uzupełnienia wniosku (z powodu jego niekompletności, niejasności zawartych w nim informacji, potrzeby złożenia dodatkowych wyjaśnień na okoliczność odstąpienia urzędników od decyzji o konieczności sporządzenia raportu o oddziaływaniu przedsięwzięcia na środowisko itp.), co przedstawiono w pracy Ochrona środowiska (2009). Nierzetelne lub nieumiejętne przygotowanie wniosku skutkuje wydłużeniem czasu przewidzianego na uzyskanie decyzji środowiskowej.

Przy planowaniu inwestycji budowlanych wymagających raportu⁶, inwestor może skorzystać z przysługującego mu uprawnienia i wystąpić z formalnym wnioskiem o ustalenie jego zakresu. Tego rodzaju inwestycje wymagają dodatkowo przeprowadzenia oceny oddziaływania na środowisko z udziałem społeczeństwa na każdym etapie postępowania⁷. Oznacza to, że każdemu zainteresowanemu realizacją przedsięwzięcia, sąsiadom i organizacjom ekologicznym – po zgłoszeniu chęci uczestnictwa i powołaniu się na cele statutowe – przysługuje możliwość wyrażenia swojego zdania o inwestycji (wniosek, opinia), a organizacjom ekologicznym – odwołanie do SKO lub skarga do sądu administracyjnego).

W praktyce może to skutecznie opóźnić, a niekiedy całkowicie zablokować realizację inwestycji budowlanej.

Ustawa o udostępnianiu informacji o środowisku (Dz. U. Nr 199 z 2008r., poz. 1227) przewiduje możliwość przeprowadzenia ponownej oceny oddziaływania przedsięwzięcia na środowisko. Zapis ten może być oceniany przez inwestora pozytywnie (wyjście naprzeciw potrzebom beneficjentów funduszy europejskich) lub negatywnie (biurokracja skutkująca kolejnym wydłużeniem prac przygotowawczych inwestycji). Ponowna ocena może być prowadzona w ramach decyzji o pozwoleniu na budowę lub zezwoleniu na realizację inwestycji drogowej, w sytuacji

⁵ Chodzi o: a) raport środowiskowy dla przedsięwzięć, dla których jest on obligatoryjny, b) kartę informacyjną przedsięwzięcia, wymagana w przypadku inwestycji mogących potencjalnie znacząco oddziaływać na środowisko lub w sytuacji, gdy inwestor wnioskuje o ustalenie zakresu raportu, c) kopię mapy ewidencyjnej i wypis z ewidencji gruntów, obejmujące teren budowy i obszar oddziaływania inwestycji, d) wypis i wyrys z miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego lub informację o jego braku – gdy organem prowadzącym postępowanie jest regionalny dyrektor ochrony środowiska (z pominięciem dróg publicznych).

⁶ Wyznacznikiem sporządzenia raportu jest przynależność inwestycji budowlanej do przedsięwzięć, dla których jego opracowanie jest zawsze wymagane lub do grupy, w której o jego wykonaniu decyduje właściwy organ. Raport powinien spełniać wymagania dla tego typu dokumentu przewidziane w Ustawie o udostępnianiu informacji o środowisku (Dz. U. Nr 199 z 2008r., poz. 1227). W celu uniknięcia nieprzewidzianych wymagań dotyczących zawartości tego dokumentu, w interesie inwestora jest wcześniejsze skonsultowanie zakresu raportu z Regionalną Dyrekcją Ochrony Środowiska i terenowym oddziałem Państwowej Inspekcji Sanitarnej.

⁷ Z obowiązku udziału społeczeństwa są wyłączone przedsięwzięcia realizowane na terenach zamkniętych.

⁴ Zgodnie z Rozporządzeniem Rady Ministrów (Dz. U. Nr 213 z 2010r., poz. 1997), do grupy I należy 51, a do grupy II – 107 typów przedsięwzięć.

gdy: taki obowiązek został nałożony przez właściwy organ w decyzji środowiskowej, istnieje przypuszczenie, że wcześniejsza ocena oddziaływania na środowisko została przeprowadzona niezgodnie z wymaganiami prawa krajowego lub unijnego lub projekt budowlany nie spełnia wymagań decyzji środowiskowej. Jeżeli o przeprowadzenie ponownej oceny wnioskuje inwestor, do wniosku powinien zostać dołączony raport środowiskowy. Jeżeli obowiązek przeprowadzenia ponownej oceny wynika z postanowienia organu budowlanego – inwestor jest informowany o obowiązku sporządzenia raportu i jego wymaganym zakresie. Całe postępowanie prowadzące do wydania pozwolenia na budowę lub zezwolenia na realizację inwestycji drogowej musi zostać zawieszony do czasu zakończenia ponownej oceny.

Specjalnej procedury postępowania (oceny habitatowej) wymagają nie wymienione w żadnym wykazie przedsięwzięcia mogące znacząco oddziaływać na gatunki, siedliska lub obszary Natura 2000. Kwestie oddziaływania inwestycji budowlanej na obszar Natura 2000 są rozstrzygane na etapie wydawania: decyzji środowiskowej (gdy budowa może potencjalnie lub znacząco oddziaływać na środowisko), decyzji o pozwoleniu na budowę, decyzji indywidualnej (pozwolenia wodnoprawnego, zezwolenia na usunięcie drzew lub krzewów i innych) oraz w ramach ponownej oceny. Jeżeli organ odpowiedzialny za wydanie którejkolwiek z wymienionych decyzji uzna, że przedsięwzięcie może potencjalnie znacząco oddziaływać na obszar Natura 2000, wydaje postanowienie zobowiązujące inwestora do przedłożenia regionalnemu dyrektorowi ochrony środowiska podstawowych informacji o przedsięwzięciu. Po stwierdzeniu znaczącego oddziaływania, regionalny dyrektor ochrony środowiska wydaje postanowienie o obowiązku przeprowadzenia oceny oddziaływania na środowisko i sporządzenia raportu⁸. W sytuacji przeciwnej, inwestorowi wydawane jest zaświadczenie o braku potrzeby przeprowadzenia oceny. O ile wynik oceny oddziaływania na środowisko ma doprowadzić do wyboru najlepszego wariantu inwestycyjnego z punktu widzenia wymogów środowiskowych, o tyle wynik oceny habitatowej może być dla inwestora wyrokiem przesądzającym o dopuszczalności realizacji inwestycji na danym terenie.

Ostatnia faza przygotowania inwestycji, zwana umownie fazą projektowania, służy opracowaniu dokumentacji projektowej inwestycji, w tym projektu budowlanego będącego podstawą uzyskania pozwolenia na budowę. Oprócz projektu zagospodarowania działki budowlanej lub terenu przedsięwzięcia, częścią składową projektu budowlanego jest projekt architektoniczno-budowlany. Zawarta w projekcie charakterystyka ekologiczna powinna wykazywać, że przyjęte rozwiązania przestrzenne, funkcjonalne i techniczne ograniczają lub eliminują wpływ obiektu na środowisko przyrodnicze, zdrowie ludzi i inne obiekty budowlane. Projekt

budowlany powinien zawierać wszystkie przewidziane prawem opinie, pozwolenia (na przykład wodnoprawne) i uzgodnienia oraz musi być opracowany w sposób zgodny z ustaleniami decyzji środowiskowej. Jeżeli jest to uzasadnione względami ochrony środowiska, organ budowlany może nałożyć na inwestora obowiązek ustanowienia inspektora nadzoru inwestorskiego, zapewnienia nadzoru autorskiego, uzyskania pozwolenia na użytkowanie obiektu oraz zawiadomienia właściwych organów administracji, co określa Ustawa Prawo budowlane (Dz. U. Nr 243 z 2010r., poz. 1623).

3. Podsumowanie

Różnorodność i niespójność przepisów prawnych ochrony środowiska stanowi dla potencjalnego inwestora realne utrudnienie w prawidłowym przygotowaniu inwestycji. Sytuację dodatkowo komplikuje zjawisko częstego krzyżowania się rozstrzygnięć administracyjnych fazy programowania. Indywidualność oddziaływania na środowisko przedsięwzięć budowlanych uniemożliwia opracowanie jednego wyczerpującego wzorca postępowania. Przedstawiony w artykule ogólny schemat postępowania może być jednak dla inwestora wskazówką podczas szeregowaniu działań przedrealizacyjnych, niezbędnych w konkretnym przypadku.

Literatura

- Behrens W., Hawranek P. M. (1993). *Poradnik Przygotowania Przemysłowych Studiów Feasibility*. Wydanie II rozszerzone i uzupełnione, UNIDO, Warszawa.
- Informacja Najwyższej Izby Kontroli (2009). O wynikach kontroli ochrony gruntów rolnych i leśnych w procesie zabudowy przemysłowej i innymi obiektami budowlanymi na terenie Dolnego Śląska w latach 2006-2009 (3 kwartały). LWR-410-36/2009, Nr ewid. 149/2010/P09188/LWR.
- Kodeks postępowania administracyjnego z 14 czerwca 1960 roku (1960). *Dziennik Ustaw* Nr 98 z 2000r, poz. 1071 z późniejszymi zmianami.
- Korona L. (2010). *Przygotowanie inwestycji budowlanej do realizacji w świetle wymagań ochrony środowiska. Czasopismo Techniczne Politechniki Krakowskiej*, Nr 1-B/2010, zeszyt 2 107, Kraków.
- Kulas T., Zawadka P. (2007). *Ochrona środowiska w procesie inwestycyjno-budowlanym – cz. II. Inżynier Budownictwa*, Warszawa.
- Prawo ochrony środowiska dla praktyków, tom 3. J. Jendroško, J. Jerzmański (red) (2011). *Wydawnictwo Verlag Dashofer*, Warszawa.
- Ochrona środowiska od A do Z. Praktyczne porady i interpretacje prawne. D. Rosłoń, J. Zandecki (red.) (2009). *Wydawnictwo Wiedza i Praktyka*, Warszawa.
- Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 25 sierpnia 1992 roku w sprawie szczegółowych zasad i trybu uznawania lasów za ochronne oraz szczegółowych zasad prowadzenia w nich gospodarki leśnej. *Dziennik Ustaw* Nr 67 z 1992r., poz. 337.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 czerwca 2002 roku w sprawie jednorazowego odszkodowania za przedwczesny wyrąb drzewostanu. *Dziennik Ustaw* Nr 99 z 2002r., poz. 905.

⁸ Zakres raportu powinien być ograniczony do określenia oddziaływania przedsięwzięcia na obszar Natura 2000.

- Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 9 listopada 2010 roku w sprawie przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko. *Dziennik Ustaw* Nr 213 z 2010r., poz. 1397.
- Ustawa z dnia 7 lipca 1994 roku – Prawo budowlane. *Dziennik Ustaw* Nr 243 z 2010 r., poz. 1623.
- Ustawa z dnia 3 lutego 1995 roku o ochronie gruntów rolnych i leśnych. *Dziennik Ustaw* Nr 121 z 2004 r., poz. 1226 z późniejszymi zmianami.
- Ustawa z dnia 21 kwietnia 2001 roku – Prawo ochrony środowiska. *Dziennik Ustaw* Nr 92 z 2004 r., poz. 880 z późniejszymi zmianami.
- Ustawa z dnia 18 lipca 2001 roku – Prawo wodne. *Dziennik Ustaw* Nr 239 z 2005 r., poz. 2019 z późniejszymi zmianami.
- Ustawa z dnia 16 kwietnia 2004 roku o ochronie przyrody. *Dziennik Ustaw* Nr 92 z 2004r., poz. 880.
- Ustawa z dnia 3 października 2008 roku o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz ocenach oddziaływania na środowisko. *Dziennik Ustaw*, Nr 199 z 2008r., poz. 1227.

Wytyczne Ministra Rozwoju Regionalnego w zakresie postępowania w sprawie oceny oddziaływania na środowisko dla przedsięwzięć współfinansowanych z krajowych lub regionalnych programów operacyjnych. (2009). MRR/H/16/3/05/09.

Zakrzewska M. (2010). Ochrona środowiska w procesie inwestycyjno-budowlanym. *Wydawnictwo LeksisNeksis*, Warszawa.

ENVIRONMENTAL REQUIREMENTS IN THE PREPARATION OF CONSTRUCTION WORKS

Abstract: Paper presents an overview of the major environmental requirements in the preparation of construction works. Included in the paper the standard sequence of preparatory activities takes into consideration environmental documentation and could be for the investor a clue during preparation of his algorithm in a particular case.

METODA BADANIA ODKSZTAŁCALNOŚCI TERMICZNEJ ORGANICZNYCH OŚRODKÓW SYPKICH SKŁADOWANYCH W SILOSACH

Jolanta Anna PRUSIEL*, Andrzej ŁAPKO

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45 A, 15-351 Białystok

Streszczenie: W artykule opisano koncepcję stanowiska do wyznaczania liniowego współczynnika rozszerzalności termicznej organicznych ośrodków sypkich oraz procedurę badawczą umożliwiającą określenie wyżej wymienionych właściwości ziarna składowanego w silosach, w warunkach rzeczywistego stanu naprężenia (konsolidacji ośrodka). Zagadnienie to ma duże znaczenie w silosach zbożowych z uwagi na możliwość wystąpienia zjawiska samonagrzewu ziarna. W artykule przedstawiono założenia teoretyczne zaproponowanej metody badawczej. Badanie należy przeprowadzić w modelowej komorze pomiarowej wyposażonej w płytę dociążającą próbkę ośrodka sypkiego oraz metalowy rdzeń umieszczony centrycznie w modelu umożliwiający nagrzewanie ośrodka sypkiego. Model stanowiska badawczego został zastrzeżony w Urzędzie Patentowym.

Słowa kluczowe: silos, ośrodek ziarnisty, odkształcalność termiczna ziarna.

1. Wprowadzenie

Rozszerzalność termiczna ośrodków rozdrobnionych jest wynikiem skomplikowanych efektów związanych z występowaniem w komorach silosowych pól termiczno-wilgotnościowych. Zjawisko rozszerzalności termicznej ośrodków ziarnistych może wpływać na wzrost sił wewnętrznych w ścianach komór silosowych przy założeniu, że współczynnik charakteryzujący tę rozszerzalność ośrodka sypkiego jest znacząco większy niż odpowiedni współczynnik materiału konstrukcyjnego ściany (stalowej lub żelbetowej). Ośrodek sypki, zwiększając poprzecznie swoją objętość, wywiera dodatkowe parcie na ścianę komory silosowej, której odkształcenia termiczne nie są w stanie zrekomensować przyrostu odkształceń rdzenia wypełniającego komorę. Literatura dotycząca analizowanego problemu jest bardzo skromna. W pracy Jakovleva i in. (1982), bez głębszego uzasadnienia podano, że współczynnik rozszerzalności termicznej ziarna zbóż jest 5-krotnie większy od odpowiedniego współczynnika dla ściany żelbetowej, co stwarza poważne zagrożenie awarią silosu w przypadku wystąpienia w masie ziarna procesu nazywanego „samonagrzewem”. W tym przypadku temperatura masy ziarna może wzrosnąć nawet do około 60°C. Natomiast w pracy Kazakova (Kazakov i Kretovič, 1989) poświęconej problematyce ośrodków ziarnistych wskazano, że zmiany wilgotności i temperatury ziarna mogą spowodować zmiany objętościowe masy sypkiej do 20% stanu wyjściowego. W pracach badawczych

z zakresu omawianego problemu można znaleźć propozycje procedury pomiaru współczynnika rozszerzalności materiałów w oparciu o metodę mikrokalorymetrii (Fortier i in., 1979), jednak sposób ten nie odpowiada warunkom, jakie występują przy składowaniu ośrodków ziarnistych w silosach. Normy projektowania konstrukcji silosowych: PN-EN 1991-4:2008 *Eurokod 1. Oddziaływania na konstrukcje. Część 4: Silosy i zbiorniki* oraz norma australijska AS 3774, 1996 *Loads on bulk solids container* również nie podają jakichkolwiek informacji dotyczących współczynnika rozszerzalności termicznej ośrodków sypkich.

W pracy przedstawiono własną koncepcję stanowiska badawczego i procedury pomiarowej do wyznaczania tego współczynnika w komorze modelowej cylindrycznego silosu. Koncepcja ta została zastrzeżona w Urzędzie Patentowym RP (Łapko i Prusiel, 2011).

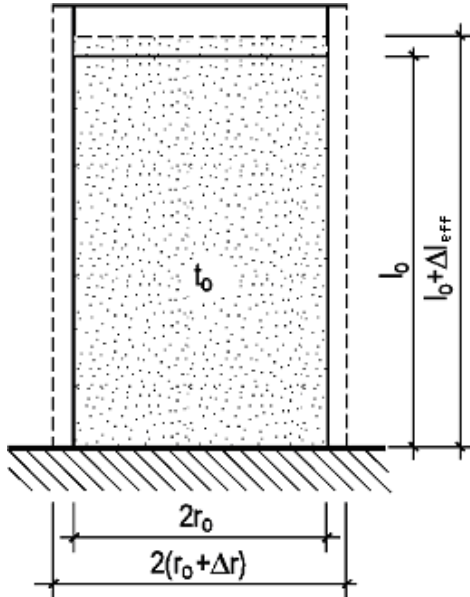
2. Założenia ogólne metody pomiarowej

Przy opracowaniu procedury badawczej przyjęto następujące założenia:

- pomiary zostaną wykonane na wybranych ośrodkach ziarnistych wysuszonych do stałej masy (o wilgotności rzędu 10%), a zatem pominięty będzie wpływ zmian wilgotności ośrodka na zmianę objętości;
- w celu pominięcia wpływu pełzania termicznego pomiary będą prowadzone na próbkach ziarna poddanych szybkim przyrostom pola temperatury;

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: j.prusiel@pb.edu.pl

- ze względów technicznych próbki ziarna będą znajdowały się w stanie ograniczonych odkształceń poprzecznych (zostaną umieszczone w cylindrze o sztywnej ściance);
 - pomiary będą wykonywane dla odpowiednio zagęszczonych próbek ośrodka sypkiego w warunkach odpowiadających składowaniu w silosach.
- Założono, że próbka ziarna zagęszczonego i wysuszonego do stałej masy umieszczona jest w cienkościennym naczyniu cylindrycznym (rys. 1).



Rys. 1. Model cylindrycznego silosu z próbką ziarna o temperaturze wyjściowej t_0

Zakładając, że temperatura ścianki cylindra i rdzenia ośrodka sypkiego (po jego uprzednim nagraniu) wzrośnie równomiernie o Δt , przy swobodnym odkształceniu płaszcza cylindra nastąpi przyrost jego promienia do wartości określonej równaniem:

$$r_o + \Delta r = r_o + \alpha_{tc} \Delta t r_o = r_o (1 + \alpha_{tc} \Delta t) \quad (1)$$

gdzie: α_{tc} jest współczynnikiem rozszerzalności cieplnej materiału ścianki cylindra, a r_o jest promieniem powierzchni środkowej płaszcza cylindra.

Wzór (1) zakłada, że przyrost promienia cylindra następuje wyłącznie z tytułu nagrzania się jego ścianki. Pomija się zatem ewentualny wzrost przemieszczenia radialnego ścianki z powodu przyrostu parcia ośrodka sypkiego w wyniku jego nagrzania.

Przyjęto, że w wyniku nagrzania próbki i naczynia nastąpi wzrost objętości próbki z objętości początkowej V_o do objętości końcowej $V_{\Delta t + \Delta r}$:

$$V_{\Delta t + \Delta r} = \pi (r_o + \Delta r)^2 (l_o + \alpha_{tm} \Delta t l_o) \quad (2)$$

gdzie: l_o jest początkową wysokością próbki ośrodka sypkiego, a α_{tm} liniowym współczynnikiem rozszerzalności cieplnej ośrodka sypkiego (wielkością poszukiwaną).

We wzorze (2) wyrażenie

$$l_o + \alpha_{tm} \Delta t l_o = l_o (1 + \alpha_{tm} \Delta t) \quad (3)$$

oznacza końcową wysokość rdzenia ośrodka sypkiego po jego rozgrzaniu (rys. 1).

Przyrost objętości cylindrycznego rdzenia ośrodka sypkiego (z uwzględnieniem przyrostu jego promienia i przyrostu wysokości) wynosi:

$$\begin{aligned} \Delta V &= V_{\Delta t + \Delta r} - V_o = \pi l_o (r_o + \Delta r)^2 [1 + \alpha_{tm} \Delta t] - \pi l_o r_o^2 = \\ &= \pi l_o [(r_o + \Delta r)^2 + \alpha_{tm} \Delta t (r_o + \Delta r)^2 - r_o^2] \end{aligned} \quad (4)$$

Przyrost objętości ΔV (4) przeliczono na zmianę długości efektywnej rdzenia Δl_{eff} , którą można pomierzyć doświadczalnie (rys. 1) na podstawie zmiany położenia (przemieszczenia) górnej powierzchni ośrodka. Po przekształceniach otrzymano:

$$\begin{aligned} \Delta l_{eff} &= \frac{\Delta V}{\Delta F} = \frac{\pi l_o [(r_o + \Delta r)^2 + \alpha_{tm} \Delta t (r_o + \Delta r)^2 - r_o^2]}{\pi (r_o + \Delta r)^2} = \\ &= l_o \left[1 + \alpha_{tm} \Delta t - \frac{r_o^2}{(r_o + \Delta r)^2} \right] \end{aligned} \quad (5)$$

Podstawiając wyrażenie (1) do wzoru (5) otrzymano zależność na liniowy współczynnik rozszerzalności termicznej ziarna α_{tm} :

$$\alpha_{tm} = \frac{\Delta l_{eff}}{l_o} \left[1 - \frac{1}{(1 + \alpha_{tc} \Delta t)^2} \right] \left[\frac{1}{K} \right] \quad (6)$$

Przyrost wysokości rdzenia materiału sypkiego Δl_{eff} jest wielkością mierzoną.

Wartość wyrażenia w liczniku wzoru (6) wymaga, aby dodatni mierzalny przyrost Δl_{eff} spełniał warunek:

$$\frac{\Delta l_{eff}}{l_o} > 1 - \frac{1}{(1 + \alpha_{tc} \Delta t)^2} \quad (7)$$

Dla założonego w badaniach przyrostu temperatury $\Delta t = 60$ [deg] i przy stałej ściance cylindra ($\alpha_{tc} = 0,000012$ [1/K]) otrzymano następujące zależności:

$$\frac{\Delta l_{eff}}{l_o} > 1 - \frac{1}{(1 + 0,000012 \cdot 60)^2} = 0,00144 \quad (8)$$

lub

$$\Delta l_{eff} > 0,00144 l_o \quad (9)$$

Proste symulacje obliczeniowe wskazują, że warunek (9) będzie spełniony tylko w przypadku, gdy współczynnik rozszerzalności termicznej ziarna okaże się znacznie większy od współczynnika rozszerzalności stałowej ścianki cylindra. Ponieważ brak jest uzasadnienia tego założenia „a priori” przyjęto, że w eksperymencie zostanie zapewniony stały promień cylindra. Można

to osiągnąć w przypadku, gdy w czasie pomiarów ścianka naczyńia nie ulegnie ogrzaniu. Wymaga to odpowiedniego chłodzenia ścianki w trakcie eksperymentu, aby utrzymywać ją w stałej temperaturze, równej wyjściowej temperaturze pomiaru. W takim przypadku obowiązywać będzie prosta zależność na wydłużenie rdzenia ośrodka sypkiego:

$$\Delta l_{eff} = l_o \alpha_{tm} \Delta t \quad (10)$$

skąd można wyznaczyć liniowy współczynnik rozszerzalności termicznej ziarna α_{tm}

$$\alpha_{tm} = \frac{\Delta l_{eff}}{l_o \Delta t} \left[\frac{1}{K} \right] \quad (11)$$

3. Stanowisko pomiarowe i procedura badawcza

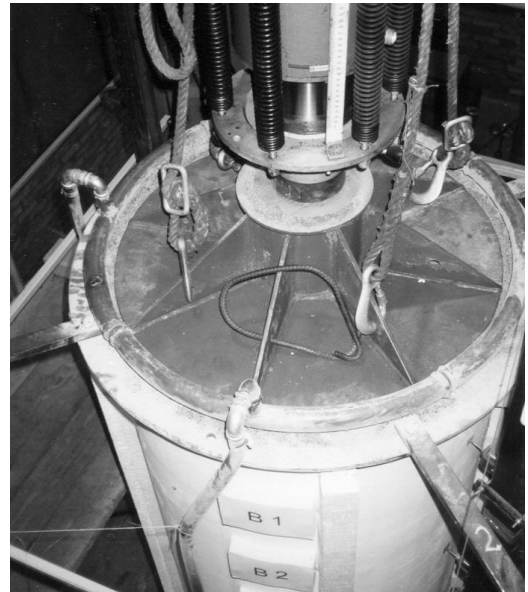
Do przeprowadzenia badań zgodnych z podanymi wyżej założeniami planuje się wykorzystanie dużego modelu cylindrycznej komory silosowej z siatkobetonu, znajdującego się w laboratorium badawczym Katedry Konstrukcji Budowlanych Politechniki Białostockiej. Konstrukcję modelu (rys. 2) opisano szerzej między innymi w pracach Prusiel i Łapko (2007) oraz Prusiel (2011). Wyposażenie komory modelowej spełnia założenie o konieczności utrzymania stałej temperatury ścianki modelu, z uwagi na wmontowany w ściankę modelu wewnętrzny system hydrauliczny złożony z układu rurek stalowych umożliwiających chłodzenie ścianki. Na rysunku 2 widoczny jest dolny fragment modelu z instalacją wodną złożoną z rurek stalowych i przewodów doprowadzających wodę do wnętrza ścianki.



Rys. 2. Widok modelu silosu z instalacją hydrauliczną umożliwiającą chłodzenie ścianki silosu

Konstrukcja modelu umożliwia ponadto zagęszczenie ośrodka sypkiego przy użyciu stalowej płyty dociskającej górną powierzchnię ośrodka za pomocą siłownika hydraulicznego. Na rysunku 3 pokazano widok

uźebrowanej płyty dociskowej po ułożeniu w modelu komory wraz z siłownikiem hydraulicznym.

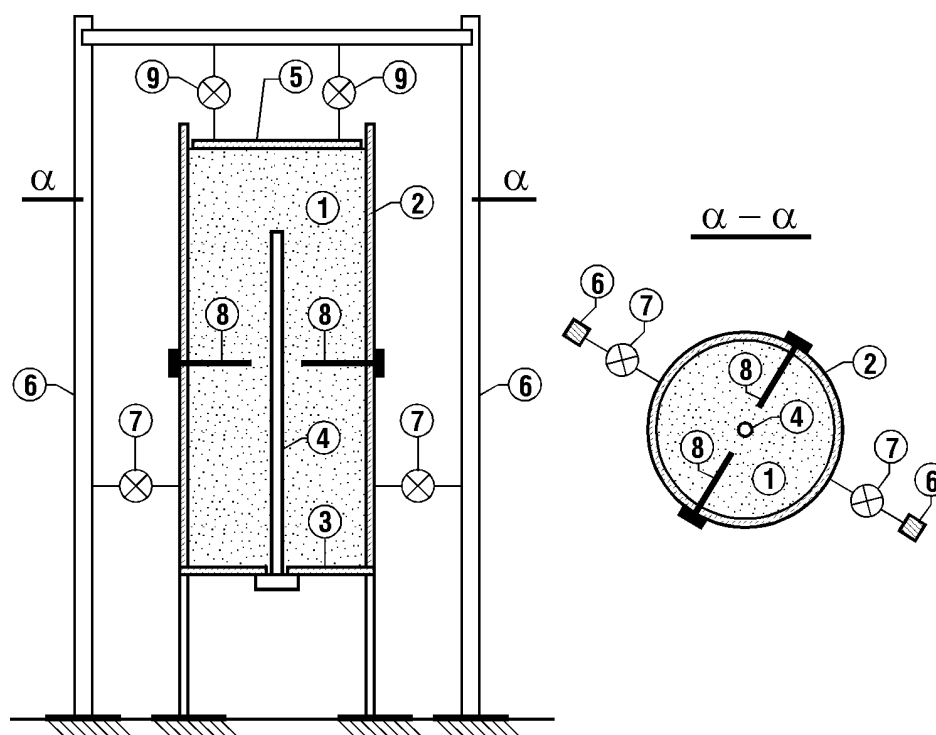


Rys. 3. Urządzenie dociskowe górnej powierzchni ziarna w modelu

Schemat modelu komory silosowej według zastrzeżenia patentowego w wariantcie niezbędnym do przeprowadzenia badań pokazano na rysunku 4. W dnie modelu zamocowany jest rdzeń nagrzewający ośrodek sypki, natomiast w ścianie modelu zamocowane są poziomo dwie sondy do pomiaru temperatury o długości 350 mm.

Procedura pomiarowa przy użyciu opisanego wyżej modelu komory silosowej przewiduje następujące etapy prowadzenia eksperymentu (rys. 4):

1. napełnienie komory silosowej ośrodkiem sypkim o temperaturze otoczenia i zamocowanie sond temperaturowych (8);
2. wypoziomowanie powierzchni górnej ośrodka, ułożenie kolistej płyty dociskowej (5) i trzykrotne dociążenie i odciążenie płyty siłownikiem hydraulicznym;
3. zwolnienie ostateczne docisku, zamocowanie czujników pomiaru przemieszczenia górnej powierzchni ośrodka (9) oraz czujników pomiaru przemieszczenia radialnego ścianki (7);
4. uruchomienie nagrzewania ośrodka z jednoczesnym utrzymywaniem stałej temperatury ścianki modelu;
5. skomputeryzowany, równoczesny i ciągły pomiar następujących wielkości fizycznych:
 - a) przemieszczenia radialnego ścianki,
 - b) przemieszczenia górnej powierzchni ośrodka sypkiego,
 - c) temperatury ośrodka sypkiego (w kilku punktach na średnicy modelu) i wewnętrznej powierzchni ścianki,
 - d) temperatury zewnętrznej powierzchni ścianki,
 - e) odkształcenia obwodowego ścianki modelu.



Rys. 4. Schemat konstrukcji stanowiska badawczego do pomiarów współczynnika rozszerzalności termicznej ośrodka sypkiego według Zastrzeżenia Patentowego (Łapko i Prusiel, 2011): 1 – ośrodek sypki, 2 – siatkobetonowa ściana komory, 3 – dno komory oparte na standzie, 4 – centralnie umieszczony nagrzewający rdzeń stalowy, 5 – płyta stalowa zagęszczająca górną powierzchnię ośrodka sypkiego, 6 – niezależny stand mocujący czujniki przemieszczeń, 7 – czujniki przemieszczeń radialnych ścianki, 8 – sondy temperaturowe w masie sypkiej, 9 – czujniki przemieszczenia górnej powierzchni ośrodka sypkiego

Nagrzewanie ośrodka sypkiego należy prowadzić tak długo, aż temperatura masy sypkiej ulegnie wyrównaniu na długości promienia komory modelowej a przyrost temperatury ośrodka ziarnistego w pobliżu centralnej osi komory osiągnie założoną wartość Δt .

Na podstawie analizy obliczeniowej podanej wyżej liniowy współczynnik odkształcalności termicznej ziarna obliczany będzie z przekształconego wyrażenia (5) na podstawie wzoru:

$$\alpha_{tm} = \frac{1}{\Delta t} \left\{ \frac{\Delta l_{eff}}{l_o} - \left[1 - \frac{r_o^2}{(r_o + \Delta r)^2} \right] \right\} \quad (12)$$

który po podstawieniu wymiarów opisanego modelu pomiarowego: $l_o = 2500$ mm i $r_o = 408$ mm, przybierze postać

$$\alpha_{tm} = \frac{1}{\Delta t} \left\{ \frac{\Delta l_{eff}}{2500} - \left[1 - \frac{408^2}{(408 + \Delta r)^2} \right] \right\} \quad (13)$$

gdzie Δr jest pomierzonym przemieszczeniem radialnym ścianki.

W przypadku, gdy pomierzone przemieszczenie radialne ścianki Δr (zgodnie z założeniem) okaże się zerowe, to wynik otrzymany ze wzoru (12) będzie tożsamościowo równy wynikowi uzyskanemu ze wzoru (11).

4. Podsumowanie

W literaturze przedmiotu brak jest szczegółowych informacji dotyczących wartości współczynnika rozszerzalności termicznej ośrodków ziarnistych składowanych w silosach. Ocenia się, że w przypadku ośrodków agrofizycznych współczynnik ten może osiągać wartość znacznie przekraczającą odpowiednie wartości współczynnika materiału ściany silosu. Parametr ten może mieć więc istotny wpływ na konstrukcję ściany silosu, w przypadku gdy w masie ziarna dojdzie do procesów biologicznych powodujących zjawisko samonagrzewu. Zaproponowana metoda oparta na pomiarach wielkości fizycznych w modelowej komorze wypełnionej ośrodkiem ziarnistym umożliwi wyznaczenie liniowego współczynnika rozszerzalności termicznej ziarna w warunkach zagęszczenia masy ośrodka sypkiego.

Literatura

- Fortier J. L., Simard M. A., Picker P., Jolicoeur C. (1979). Direct continuous measurements of thermal expansion coefficients of liquids and solids using flow microcalorimetry. *Review of Scientific Instruments*, Vol. 50, No. 11, 1474-1480.
- Jakovlev L. T., Karev W. I., Skorikov B. A. (1982). Issledowanija vozdejstvija temperatury na stienki zelezobetonnych zernovych silosov. W: *Issledowanija napriazonnogo sostojanija zelezobetonnych silosnych sooruzenij*, Saratov, 3-10.

- Kazakov E. D., Kretovič V. L. (1989). Biohimja zerna i produktov ego pererabotki. *Agropromizdat*.
- Łapko A., Prusiel J. A. (2011). Stanowisko do pomiaru współczynnika rozszerzalności termicznej ośrodków sypkich. Zgłoszenie nr P.393588 (2011), *Urząd Patentowy RP*.
- Prusiel J. A., Łapko A. (2007). Investigation of heat and moisture effects in silos containing agricultural bulk solids. *Particle and Particle Systems Characterization*, Vol. 24, No. 4/5, 284-290.
- Prusiel J. A. (2011). Doświadczalne wyznaczanie parametrów opisujących model interakcji ściany silosu i ośrodka sypkiego. *Inżynieria i Budownictwo*, 6/2011, 317-320.

**METHOD OF THERMAL DEFORMABILITY
EVALUATION OF ORGANIC GRANULAR MEDIA
STORED IN SILOS**

Abstract: The paper presents a conception of measuring stand and testing procedure for evaluation of thermal expansion coefficient of organic granular media stored in silos under real consolidation stress state in grain. This problem is particularly important in organics solids where the biological process of self heating could occur. Theoretical assumptions of proposed experimental method are given. The measurements should be conducted in model silo chamber equipped with surcharge rigid steel plate consolidating the grains and with centrally located core that enables heating the grains. The described method was registered as the Patent Claim.

Artykuł opracowano w Politechnice Białostockiej w ramach realizacji pracy statutowej S/WBiŚ/2/2012.

WPLYW WYBRANYCH CZYNNIKÓW NA PRZEWODNOŚĆ HYDRAULICZNĄ POPIOŁU LOTNEGO

Mariola WASIL*

Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45 A, 15-351 Białystok

Streszczenie: Przewodność hydrauliczna jest jednym z parametrów określających przydatność popiołów lotnych do budowy ziemnych. W pracy przedstawiono wpływ nasycenia wodą, zawartości procentowej cementu w próbce popiołowej oraz gradientu hydraulicznego na wartość przewodności hydraulicznej. Próbki zagęszczane były przy wilgotności optymalnej metodą standardową Proctora. Badania przeprowadzono w komorze konsolidacji hydraulicznej typu Rowe'a. Na podstawie wyników badań stwierdzono, że im mniejsze nasycenie próbki popiołowej wodą, tym mniejsze wartości prędkości przepływu. Zaobserwowano zmniejszenie wartości prędkości przepływu przy większej procentowej zawartości cementu w próbce.

Słowa kluczowe: popiół lotny, przewodność hydrauliczna, komora Rowe'a.

1. Wprowadzenie

Odpady energetyczne są cennym materiałem, mającym wiele możliwości wykorzystania. Stosowanie ubocznych produktów spalania powoduje zmniejszanie ilości składowisk, co wpływa na ochronę środowiska. Popioły lotne i mieszaniny popiołowo-żużłowe znajdują zastosowanie, między innymi, do: rekultywacji i makroniwelacji terenów, stabilizacji gruntów, budowy warstw uszczelniających, nasypów drogowych oraz wałów przeciwpowodziowych. O przydatności popiołów do budowy ziemnych decydują ich właściwości. Jedną z nich jest przewodność hydrauliczna.

Przepływ wody w gruncie charakteryzowany jest przez prawo Darcy'ego według wzoru (1):

$$Q = k \cdot i \cdot A \cdot t \quad (1)$$

gdzie: Q jest wydatkiem objętościowym cieczy, k stałą zwaną współczynnikiem filtracji Darcy'ego, i gradientem hydraulicznym, A polem przekroju poprzecznego, a t czasem przepływu.

Prędkość przepływu wody w całkowicie nasączonym gruncie opisuje równanie (Cartwright i Hensel, 1997):

$$v_s = \frac{v}{n} = v \cdot \frac{1+e}{e} \quad (2)$$

gdzie: v jest wydajnością przepływu określaną jako ilość wody przepływającej przez jednostkę przekroju całkowitego w jednostce czasu, n jest porowatością gruntu, a e wskaźnikiem porowatości.

Prędkość przepływu v może być opisana inną zależnością niż podana przez Darcy'ego – może być zastąpiona przez zależność nieliniową (Hansbo, 2001):

$$v = \kappa \cdot i^{(n)} \quad (3)$$

gdy $i \leq i_1$, natomiast gdy $i \geq i_1$ wzorem:

$$v = \kappa n i_1^{n-1} \cdot (i - i_0) \quad (4)$$

gdzie: κ jest współczynnikiem filtracji opisanym zależnością eksponencjalną, $i_1 = i_0 n / (n - 1)$ jest wartością gradientu wymaganą do całkowitego pokonania oporu lepkości wody przepływającej w gruncie, i_0 jest określonym, początkowym gradientem hydraulicznym, natomiast n jest parametrem obliczeniowym.

W publikacjach anglojęzycznych k jest określane jako przewodność hydrauliczna (*hydraulic conductivity*). Przewodność hydrauliczna zależna jest od parametrów ośrodka i cieczy, która przez ten ośrodek przepływa. Do parametrów tych należą: gęstość i lepkość przepływającej cieczy, a także uziarnienie i porowatość gruntu (Cartwright i Hensel, 1997).

Pojęcie filtracji jest związane z ruchem wody w gruncie, natomiast przewodność hydrauliczna ma szersze znaczenie – określa również przepływ substancji chemicznych przez ośrodki nie w pełni nasycone (Zabielska-Adamska, 2006). W publikacjach polskich k bywa nazywane przepuszczalnością hydrauliczną (Garbulewski, 2000).

W gruntach spoistych filtracja występuje dopiero po przekroczeniu początkowego gradientu hydraulicznego

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: m.wasil@doktoranci.pb.edu.pl

i_0 . W gruntach tych przepływ wody utrudniony jest przez wodę błonkową, która wypełnia pory. Filtracja może nastąpić, gdy naprężenie ścinające wywołane gradientem hydraulicznym w błonkach wody przekroczy opór na ścinanie, który zależy od lepkości wody błonkowej. Lepkość wody błonkowej jest tym większa, im błonki wody są cieńsze (Pisarczyk, 2001).

W nienasyconych gruntach spoisty objętość wody wypływającej z próbki jest inna niż objętość wody wprowadzonej do próbki. Grunty całkowicie nasycone mają wszystkie pory wypełnione wodą, w związku z czym ilości wody wprowadzanej do próbki i z niej wypływającej są sobie równe (Lipiński i Wdowska, 2005).

Mitchell i inni (1965) podali wzór (5), w którym wartość współczynnika filtracji gliny pylastej jest uzależniona od stopnia wilgotności S_r :

$$k = \frac{\gamma_w}{\mu} \frac{C_F V_S^2}{A_S^2} \frac{e^3}{(1+e)} S_r^3 \quad (5)$$

gdzie: C_F jest stałą określającą kształt ziaren, μ lepkością płynu, γ_w ciężarem właściwym cieczy, A_S zwilżonym przekrojem poprzecznym próbki, a V_S oznacza objętość szkieletu gruntowego.

Powyzsza zależność wskazuje na znaczny wpływ nasycenia porów gruntu wodą na przewodność hydrauliczną tego gruntu. Przewodność hydrauliczna maleje wraz ze zmniejszeniem stopnia wilgotności S_r .

Celem pracy jest przedstawienie wpływu wybranych czynników – nasycenia wodą, gradientu hydraulicznego, naprężenia efektywnego oraz dodatku cementu – na przewodność hydrauliczną popiołu lotnego oznaczaną w warunkach laboratoryjnych.

2. Przewodność hydrauliczna odpadów energetycznych

Gray i Lin (1972) badali próbki popiołu lotnego z węgla kamiennego częściowo i całkowicie nasyconego wodą. Przewodność hydrauliczna przy maksymalnej gęstości objętościowej określonej standardową metodą Proctora, wynosiła od $5 \cdot 10^{-5}$ m/s do $8 \cdot 10^{-7}$ m/s. Według klasyfikacji Pazdro i Kozerskiego (1990) odpowiada to charakterystyce filtracji gruntu od słabo przepuszczalnego do półprzepuszczalnego. Wartość przewodności jest stosunkowo niska, pomimo zawartości wolnych przestrzeni w popiele od 8 do 14%, co zmniejsza prawdopodobieństwo przesiąkania wody gruntowej i niebezpieczeństwo wymywania pierwiastków ciężkich z popiołu. Zastosowanie do popiołów dodatku wapna lub cementu jeszcze bardziej zmniejsza przewodność hydrauliczną zagęszczonego popiołu lotnego.

Zabielska-Adamska (2006) oznaczala przewodność hydrauliczną popiołu lotnego z węgla kamiennego, zagęszczonego metodą standardową i zmodyfikowaną Proctora w zakresie wilgotności $w_{opt} \pm 5\%$. Badania przeprowadzane były w komorze Rowe'a, w której bada się filtrację próbek nasączonych za pomocą ciśnienia

wyrównawczego. Próbki miały średnicę 15 cm i wysokość 5 cm. Po osiągnięciu parametru Skemptona $B = 0,8$ i po konsolidacji próbek popiołowych przeprowadzono badania filtracji przy przepływie pionowym – z dołu ku górze. Wyniki badań przewodności hydraulicznej nasączonych próbek popiołowych, zagęszczonych metodą standardową, zawierały się w zakresie wartości $1,4 \cdot 10^{-7}$ – $3,7 \cdot 10^{-10}$ m/s, natomiast wyniki badań próbek zagęszczonych metodą zmodyfikowaną – w zakresie $7,3 \cdot 10^{-8}$ – $1,3 \cdot 10^{-9}$ m/s. Na prędkość przepływu miała wpływ wilgotność popiołu przy jego zagęszczaniu. Wpływ ten był zredukowany przy wyższych naprężeniach efektywnych. Najmniejszą przewodność hydrauliczną uzyskano przy wilgotności $w_{opt} + 5\%$.

Kim i in. (2005) badali mieszaniny popiołowo-żużlowe o różnych zawartościach popiołu (50%, 75%, 100%) pochodzące z dwóch źródeł spalania. Mieszaniny zagęszczano do 95% maksymalnej gęstości objętościowej uzyskanej przy standardowym zagęszczaniu metodą Proctora, przy wilgotności optymalnej. Pomierzone wartości przewodności hydraulicznej zmieniały się od $1 \cdot 10^{-7}$ do $3 \cdot 10^{-8}$ m/s. Kiedy zawartość popiołu w mieszaninie wzrastała z 50 do 100%, wartości przewodności hydraulicznej zmniejszały się. Większa powierzchnia właściwa popiołów lotnych zwiększa opór przepływu przez przestrzenie międzyziarnowe żużla.

Zawisza i Pomietło (2011) przeprowadzili badania wpływu zagęszczenia na przewodność hydrauliczną żużli wielkopieczowych oraz mieszanek żużla z popiołem lotnym. Współczynnik filtracji zmniejszał się wraz ze wzrostem dodatku popiołu. Próbki zagęszczano do wartości wskaźnika zagęszczenia: $I_s = 0,90, 0,95$ i $1,00$. Żużel wielkopieczowy osiągnął współczynnik filtracji rzędu 10^{-2} m/s, natomiast mieszaniny żużla z popiołem lotnym w ilości 10%, 20% i 30% dodatku popiołu lotnego, uzyskały współczynnik filtracji odpowiednio: 10^{-3} m/s, 10^{-4} m/s i 10^{-8} m/s. Wskaźnik zagęszczenia również miał wpływ na przewodność hydrauliczną. Materiał o najniższej wartości $I_s = 0,90$ miał największą wartość współczynnika filtracji, zaś próbki o $I_s = 1,00$ – wartość najmniejszą. Wskaźnik zagęszczenia miał najmniejszy wpływ na współczynnik filtracji w przypadku próbek o najmniejszej zawartości procentowej popiołu.

Palmer i in. (2000) przeprowadzili badania przewodności hydraulicznej popiołu krzemianowego, w laboratorium i w terenie, w celu ustalenia czy mieszaniny popiołu krzemianowego z innymi materiałami – popiołem wapniowym, piaskiem i żużlem – mogą być zagęszczane do uzyskania przewodności hydraulicznych mniejszych niż 10^{-9} m/s – maksymalnych dopuszczalnych przepuszczalności hydraulicznych dla warstw izolujących składowiska odpadów. Zbadane w laboratorium mieszaniny z popiołem wapniowym i żużlem uzyskały wartości przewodności hydraulicznej niższe od 10^{-9} m/s. Mieszanki popiołu krzemianowego, żużla i dodatku 20-30% popiołu wapniowego, były zagęszczane metodą zmodyfikowaną przy wilgotności od 9 do 23% i pielęgnowane 7 dni w komorze o wilgotności 100%. Zaobserwowano spadek przewodności hydraulicznej wraz

ze wzrostem wilgotności przy zagęszczaniu – najniższe wartości przy $w = 18\%$. Znacznie wyższe wartości przewodności hydraulicznej uzyskano przy mniejszej wilgotności przy zagęszczaniu – $4,1 \cdot 10^{-8}$ m/s przy $w = 9,3\%$ (z dodatkiem 20% popiołu wapniowego). Przy wzroście wilgotności powyżej 18% przewodność hydrauliczna nieznacznie wzrastała i przyjmowała wartość $2,7 \cdot 10^{-9}$ m/s przy $w = 22,6\%$ (z dodatkiem 30% popiołu wapniowego). Dodatek 20-30% popiołu wapniowego redukuje przepuszczalność hydrauliczną.

Ghosh i Subbarao (1998) przeprowadzili badania na krzemianowym popiele lotnym w celu zbadania wpływu stabilizacji wapnem i gipsem na przewodność hydrauliczną. Dodatek wapna do popiołu lotnego redukuje przewodność hydrauliczną, a dodatek gipsu pozwala zredukować przewodność jeszcze bardziej. Wszystkie mieszanki popiołu lotnego z wapnem oraz popiołu lotnego z wapnem i gipsem wykazywały spadek przewodności hydraulicznej wraz ze wzrostem czasu twardnienia. Zagęszczony popiół lotny z dodatkiem 10% wapna i 1% gipsu po 28 dniach twardnienia miał przewodność hydrauliczną $8 \cdot 10^{-10}$ m/s, w porównaniu do naturalnego popiołu lotnego o przewodności hydraulicznej $4,5 \cdot 10^{-7}$ m/s.

Kalinski i Yerra (2005) badali próbki popiołowe z zawartością cementu 5, 10 i 15%. Przeprowadzono badania w celu oceny wpływu wilgotności, zawartości cementu, czasu twardnienia i sposobu zagęszczenia na przewodność hydrauliczną zagęszczonego popiołu lotnego stabilizowanego cementem. Przy zagęszczaniu stosunkowo suchych mieszanek popiołowo-cementowych ($w < 20\%$) k jest niezależne od energii zagęszczenia i przyjmuje wartość rzędu 10^{-7} m/s. Przy wilgotności 20% i wilgotności optymalnej, sposób zagęszczenia wpływa na k – jego wartość zmniejsza się, kiedy wzrasta energia zagęszczenia (ze standardowej do zmodyfikowanej energii w badaniu Proctora). Przy wilgotności większej od wilgotności optymalnej k przyjmuje wartości rzędu 10^{-8} m/s niezależnie od metody zagęszczenia.

Przywołane publikacje wskazują na wpływ wielu czynników na przepuszczalność odpadów energetycznych. Obserwuje się spadek przepuszczalności przy wzroście wilgotności przy zagęszczeniu, podobnie jak w gruntach spoistych. Wzrost wskaźnika zagęszczenia redukuje wartość współczynnika filtracji. Na zmniejszenie wartości przewodności hydraulicznej ma wpływ również dodatek wapna, gipsu lub cementu. W przypadku mieszanin popiołowo-żużlowych – im większa procentowa zawartość popiołu, tym uzyskuje się mniejsze wartości przepuszczalności.

3. Badania własne przewodności hydraulicznej popiołu lotnego w komorze Rowe'a

3.1. Metodyka badań

Komorze Rowe'a jest rodzajem konsolidometru zaprojektowanym w latach sześćdziesiątych XX wieku przez profesora P. W. Rowe'a (Rowe i Barden, 1966).

Aparat wyposażony jest w system hydraulicznego obciążania próbek, umożliwia pomiar ciśnienia wody w porach gruntu, przepływ cieczy w różnych kierunkach oraz badanie próbek o dużych średnicach. Hydrauliczny system obciążania próbek sprawia, że próbka nie jest narażona na efekt wibracji. Łatwo można zadać ciśnienie o wartości do 1000 kPa nawet dla próbek o dużych średnicach (Head, 1986). Widok ogólny komory Rowe'a przedstawia rysunek 1.

Badania przewodności hydraulicznej w komorze konsolidacyjnej Rowe'a można przeprowadzać przy określonym naprężeniu efektywnym, z przepływem wody pionowym lub poziomym (promieniowym). Przewodność hydrauliczna może być mierzona na założonym poziomie ciśnienia wyrównawczego podczas badania konsolidacji, przy obciążeniu równomiernym lub swobodnym, w zależności od zastosowanej płyty przekazującej obciążenie – sztywnej lub wiotkiej.

Schemat komory Rowe'a do badania przewodności hydraulicznej z przepływem pionowym przedstawiono na rysunku 2.

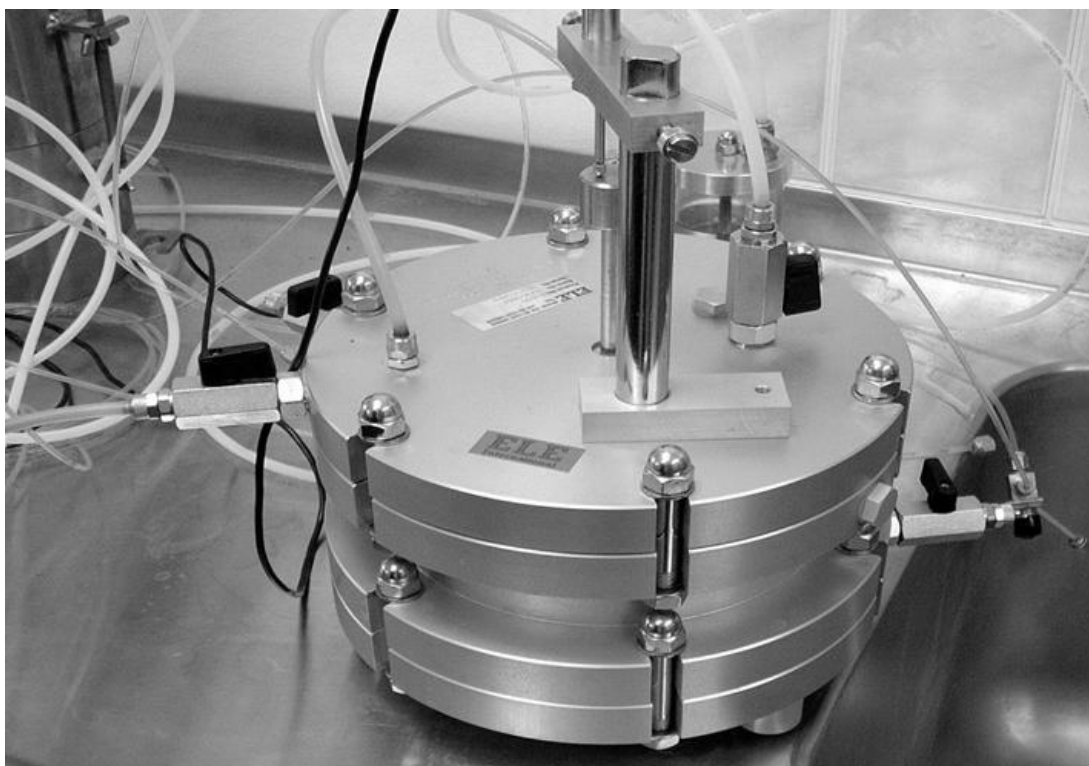
3.2. Wyniki badań

Badania przeprowadzono na popiele lotnym z Elektrociepłowni Białystok, składowanym na suchej hałdzie w Sowlanach. Popiół lotny odpowiada uziarnieniem pyłowi piaszczystemu. Wartości wybranych parametrów fizycznych przedstawiono w tabeli 1. Ścisłość badanego popiołu lotnego opisano we wcześniejszej publikacji (Wasil, 2011).

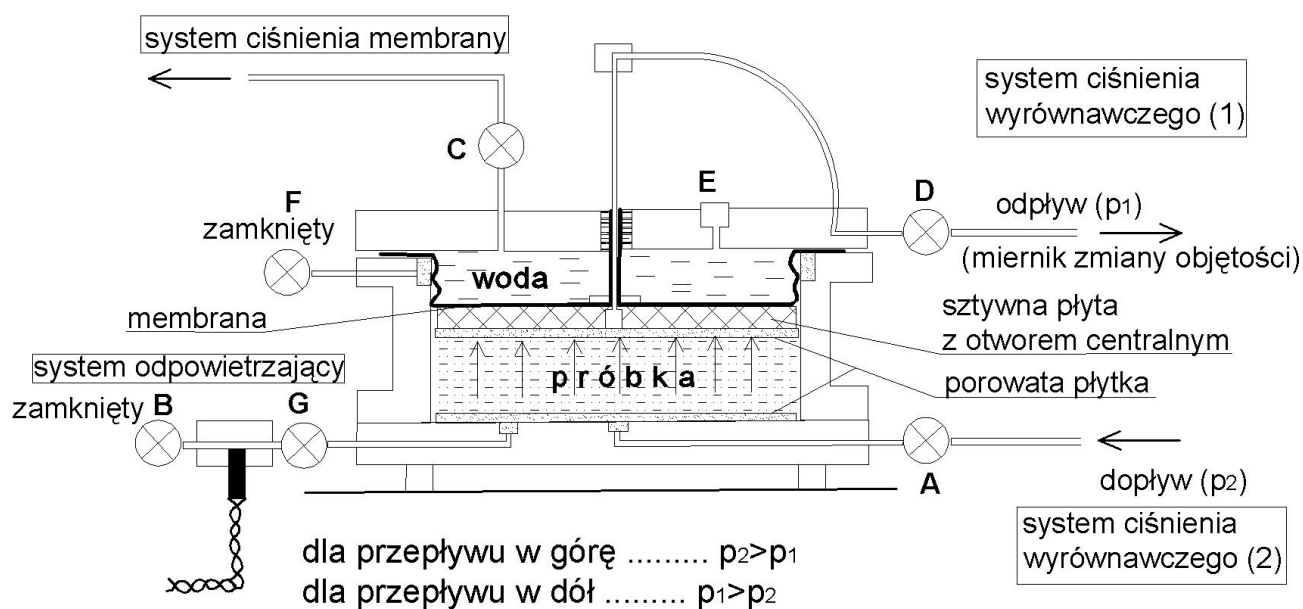
Badania właściwe przeprowadzono w komorze konsolidacji hydraulicznej typu Rowe'a na próbkach o średnicy 15 cm i wysokości 5 cm, nasycanych wodą za pomocą ciśnienia wyrównawczego (*back pressure*), do momentu uzyskania wymaganej wartości parametru Skemptona B . Próbkę nasycano do wartości parametru Skemptona B : 0,27; 0,57 oraz 0,82 – uważanego za stan quasi-nasycony (Zabielska-Adamska, 2006). Badane próbki zagęszczane były przy wilgotności optymalnej metodą standardową Proctor'a, uzyskując wartość S_r równą 0,83.

Po otrzymaniu założonego parametru B przystępowano do konsolidacji próbek przy obciążeniach: 25, 50, 100 i 200 kPa. Następnie przeprowadzono badanie przewodności hydraulicznej popiołu przy gradientach hydraulicznych: 3, 6, 9, 12. Wyniki pomiarów: ciśnienie komorowe, ciśnienie wody w porach, przemieszczenia i zmiany objętości – były rejestrowane przez system elektroniczny.

Przeprowadzono także badania mieszanin popiołu lotnego z 2 i 5% dodatkiem cementu, zagęszczanej przy wilgotności optymalnej metodą standardową Proctora. Próbkę poddawano siedmiodniowej pielęgnacji w komorze o stałej wilgotności 95% i temperaturze około 20°C. Tabela 2 przedstawia parametry fizyczne mieszaniny popiołu lotnego z cementem.



Rys. 1. Widok ogólny komory Rowe'a



Rys. 2. Schemat komory Rowe'a do badania przewodności hydraulicznej z przepływem pionowym na podstawie Heada (1986)

Tab. 1. Parametry geotechniczne popiołu lotnego (Wasil, 2011)

d_{50} [mm]	C_U [-]	C_C [-]	ρ_s [g/cm ³]	Zagęszczenie – metoda standardowa Proctora	
				w_{opt} [%]	ρ_{dmax} [g/cm ³]
0,045	3,2	1,3	2,12	44,00	0,996

Tab. 2. Parametry fizyczne mieszanki popiołu lotnego z cementem

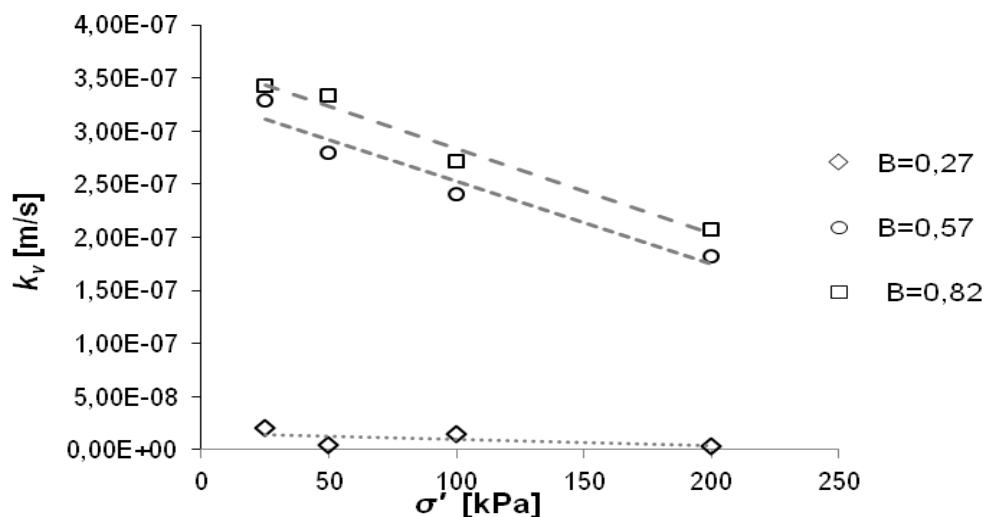
Dodatek cementu	ρ_s [g/cm ³]	Zagęszczenie metodą standardową Proctora	
		w_{opt} [%]	ρ_{dmax} [g/cm ³]
2%	2,13	42,50	1,018
5%	2,14	41,00	1,050

Na rysunku 3 zaprezentowano wyniki badań przewodności hydraulicznej sporządzone dla trzech

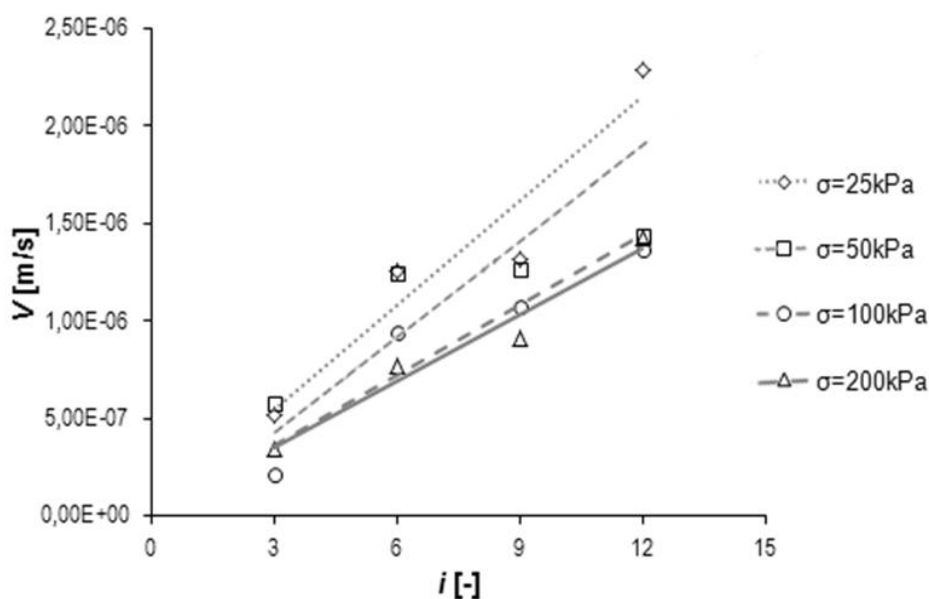
wybranych próbek, zagęszczanych przy wilgotności optymalnej o różnym stopniu nasycenia określanym współczynnikiem Skemptona B (0,82; 0,57 i 0,27).

Rysunki 4 i 5 przedstawiają wykresy zależności prędkości przepływu od gradientu hydraulicznego po uwzględnieniu poprawek, które zastosowano w celu wyeliminowania wpływu niekontrolowanego przepływu przy ścianie komory. Poprawki obliczono zakładając, że przy gradiencie hydraulicznym $i = 0$ prędkość przepływu jest równa zero (Zabielska-Adamska, 2006).

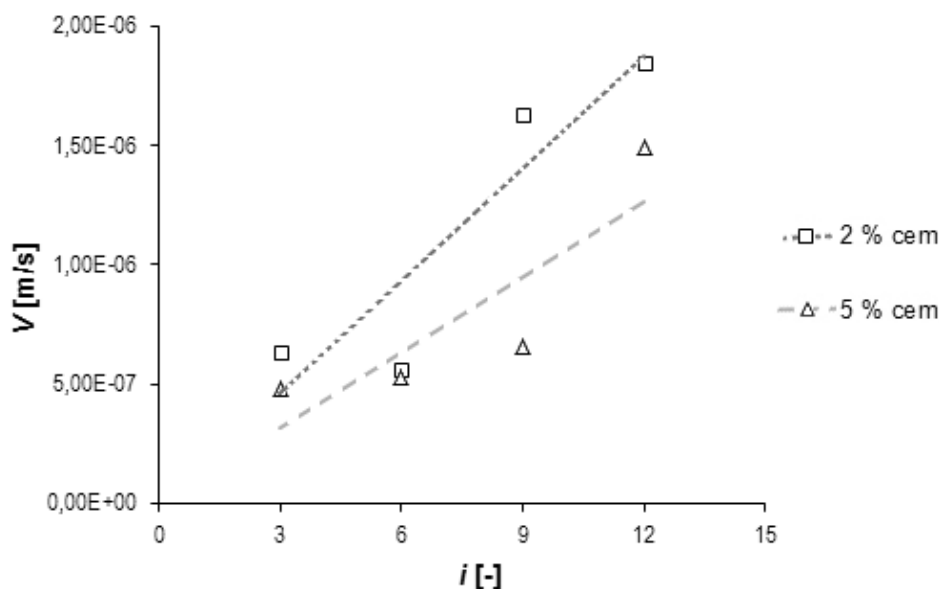
Na rysunku 5 pokazano zależność $v(i)$ dla próbek o różnej zawartości cementu w stanie quasi-nasyconym (dla próbki o zawartości cementu 2% $B = 0,80$, a dla 5% – 0,88).



Rys. 3. Przewodność hydrauliczna popiołu lotnego zagęszczonego przy w_{opt} metodą standardową Proctora, przy gradiencie hydraulicznym $i = 12$



Rys. 4. Przewodność hydrauliczna popiołu lotnego zagęszczonego przy w_{opt} metodą standardową Proctora w zależności od gradientu hydraulicznego, przy naprężeniu σ' równym: 25, 50, 100 i 200 kPa



Rys. 5. Przewodność hydrauliczna mieszanki popiołu lotnego z różną zawartością cementu, zagęszczonej przy w_{opt} metodą standardową Proctora w zależności od gradientu hydraulicznego, przy naprężeniu $\sigma' = 200$ kPa

5. Wnioski

Na podstawie wyników badań własnych można stwierdzić, że:

1. Nasycenie popiołu lotnego ma wpływ na uzyskane wartości przewodności hydraulicznej. Najmniejszą przewodność hydrauliczną miała próbka o $B = 0,27$. Próbkę popiołową nasyconą do wartości parametru Skemptonu $B = 0,57$ oraz $B = 0,82$ miały zbliżone wartości prędkości przepływu, z czego można wnioskować, że nasycenie tych próbek wodą jest wystarczające, aby przepływ wody był ustabilizowany.
2. Wraz ze wzrostem gradientu hydraulicznego, który wynosił 3, 6, 9 i 12, wzrasta prędkość przepływu wody przez próbkę. Ponadto na przewodność hydrauliczną ma wpływ naprężenie efektywne – zwiększanie naprężenia oddziaływującego na próbkę powoduje spadek wartości prędkości przepływu. Najmniejsze wartości prędkości przepływu uzyskano przy $i = 3$ i $\sigma' = 200$ kPa, zaś największe przy $i = 12$ i $\sigma' = 25$ kPa.
3. Zaobserwowano wpływ dodatku cementu na przewodność hydrauliczną popiołu – im większa procentowa zawartość cementu, tym mniejsza prędkość przepływu wody przez próbkę popiołową.

Literatura

Cartwright K., Hensel B. R. (1997). Hydrogeology. W: Geotechnical Practice for Waste Disposal. Daniel D. E. (Ed.). Chapman & Hall, London, England 1997.

Garbulewski K. (2000). Dobór i badania gruntowych uszczelnień składowisk odpadów komunalnych. SGGW, Rozprawy Naukowe i Monografie Nr 235, Warszawa, 2000.

Gray D. H., Lin Y. K. (1972). Engineering properties of compacted fly ash. *Journal of the Soil Mechanics & Foundations Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, Vol. 98, 361-380.

Ghosh A., Subbarao C. (1998). Hydraulic conductivity and leachate characteristics of stabilized fly ash. *Journal of Environmental Engineering*, Vol. 124, 812-820.

Hansbo S. (2001). Consolidation equation valid for both Darcian and non-Darcian flow. *Géotechnique*, Vol. 51, 51-54.

Head K. H. (1986). Manual of Soil Laboratory Testing. Vol. 3: Effective Stress Tests. Pentech Press Ltd, London, England 1986.

Kalinski M. E., Yerra P. K. (2006). Hydraulic conductivity of compacted cement-stabilized fly ash. *Fuel*, Vol. 85, 2330-2336.

Kim B., Perezzi M., Salado R. (2005). Geotechnical properties of fly and bottom ash mixtures for use in highway embankments. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 131, 914-924.

Lipiński M. J., Wdowska M. K. (2005). Wpływ niepełnego nasycenia na charakterystyki przepuszczalności gruntów spoistych. *Przegląd Naukowy WIKS SGGW, Rocznik XIV, Zeszyt 1 (31)*, 122-131.

Mitchell J. K., Hooper D. R., Campanella R. G. (1965). Permeability of compacted clay. *Journal of Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE*, Vol. 91, SM4/1965, 41-63.

Palmer B. G., Edil T. B., Benson C. H. (2000). Liners for waste containment constructed with class F and C fly ashes. *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 76, 193-216.

Pazdro Z., Kozerski B. (1990). Hydrogeologia Ogólna. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa 1990.

Pisarczyk S. (2001). Gruntoznawstwo Inżynierskie. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2001.

Rowe P. W., Barden L. (1966). A new consolidation cell. *Géotechnique*, Vol. 16, 2/1966, 162-170.

Wasił M. (2011). Ścisłość nasyconego popiołu lotnego. *Budownictwo i Inżynieria Środowiska*, Vol. 2, 91-96.

- Zabielska-Adamska K. (2006). Popiół lotny jako materiał do budowy warstw uszczelniających. *Politechnika Białostocka*, Białystok 2006.
- Zawisza E., Pomieńko M. (2011). Wodoprzepuszczalność mieszanek odpadów hutniczych i energetycznych. *Przeгляд Górnicy*, Tom 66, Nr 1-2, 68-71.

INFLUENCE OF SELECTED FACTORS ON HYDRAULIC CONDUCTIVITY OF FLY ASH

Abstract: Hydraulic conductivity is one of the parameters which are used to determine usefulness of fly ash to earth structures. The paper presents the influence of some factors on value of permeability, such as: water-saturation, the addition of cement in the sample, hydraulic gradient and effective stress. The samples were compacted at optimum moisture content by means of Proctor's method. Research was carried out in Rowe's consolidation cell. It was found that the smaller water-saturation of fly ash sample, the lower the flow velocity. Higher percentage of cement in the sample affects the decrease of the flow velocity.

Recenzje

**E. Broniewicz, R. Miłaszewski, J. Godlewska (red.):
Ekonomika i zarządzanie ochroną środowiska dla inżynierów.
Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej,
Białystok 2009, 258 s., ISBN: 978-83-60200-82-7**

Środowisko jako „naturalny rezerwuuar”, z którego człowiek czerpie w swej działalności gospodarczej ma ograniczoną zasobność i możliwości regeneracji. W osiągnięciu harmonii między produkcją i konsumpcją a środowiskiem naturalnym potrzebna jest znajomość instrumentów ekonomicznych i systemów zarządzania w ochronie środowiska. Wiedza z tego zakresu stanowi podstawę planowania działań, które mogą poprawić jakość środowiska naturalnego i zapobiec dalszej jego degradacji. Podręcznik pod tytułem „*Ekonomika i zarządzanie ochroną środowiska dla inżynierów*” stanowi kompendium wiedzy teoretyczno-praktycznej, uwzględniającej zastosowanie instrumentów ekonomicznych w ochronie środowiska oraz systemu zarządzania środowiskowego, niezbędnej w pracy zawodowej inżynierów zajmujących się ochroną środowiska. Biorąc pod uwagę nowe wyzwania stojące przed polską gospodarką, związane z proekologiczną restrukturyzacją przemysłu, wiedza z dziedziny ekonomicznych podstaw gospodarowania zasobami środowiska pozwoli inżynierom podejmować w praktyce zawodowej działania i decyzje umożliwiające wzrost efektywności procesu gospodarowania oraz stworzy możliwość współpracy z prawnikami i ekonomistami działającymi w dziedzinie ochrony środowiska.

Podręcznik słusznie przeznaczono głównie dla studentów kierunków inżynieria środowiska, ochrona środowiska, gospodarka przestrzenna oraz zarządzanie i inżynieria produkcji. Absolwenci tych kierunków nie posiadają wystarczającej wiedzy z zakresu ekonomiki i zarządzania środowiskowego, a przecież współcześnie rośnie jej znaczenie ze względu na proekologiczną restrukturyzację przemysłu oraz charakter prowadzonej ekopolityki.

Opracowanie składa się z czterech części głównych, którym podporządkowano jedenaście rozdziałów. W każdym z rozdziałów znajdują się pytania i zagadnienia, co niewątpliwie sprzyja usystematyzowaniu treści i ich utrwaleniu przez czytelnika. Na uwagę

zasługuje wysoki poziom edytorski oraz estetyka podręcznika.

W pierwszej części podręcznika pod tytułem „*Środowiskowe uwarunkowania procesów gospodarowania*” Grzegorz Dobrzański podkreślił głównie aspekt społeczny, gdzie rozwój społeczno-gospodarczy określony jest mianem transformacji relacji w systemie środowisko-ludzkość. Na uwagę zasługują klarownie opracowane treści dotyczące wpływu środowiska na jakość życia społeczeństwa oraz „uczestniczenie” środowiska w rozwoju gospodarczym, co jednocześnie stanowi fundament aktywności człowieka we wszystkich jej aspektach. Biorąc pod uwagę charakter treści zawartych w rozdziale pierwszym, Autor słusznie poruszył w kolejnym rozdziale kwestie dotyczące ekologicznych barier rozwoju społeczno-gospodarczego oraz zaprezentował ocenę zagrożeń środowiskowych i ich konsekwencje dla człowieka.

Drużga część podręcznika „*Ogólny model zarządzania ochroną środowiska*” napisana przez Henryka Sasinowskiego, Agnieszkę Baran i Ewę Raubę prezentuje założenia i zasady polityki ochrony środowiska oraz edukacji ekologicznej w kontekście zrównoważonego rozwoju. Zaakcentowano tu również rolę edukacji ekologicznej w procesie kształtowania modelu zrównoważonego rozwoju poprzez rozbudzanie świadomości i wrażliwości ekologicznej oraz kształtowaniu etyki zachowań wobec środowiska. Jednak na szczególne wyróżnienie zasługuje rozdział dotyczący instrumentów prawnych, ekonomicznych i społecznych, służących realizacji celów polityki ekologicznej państwa. Stanowi on kompendium wiedzy praktycznej, niezbędnej absolwentom studiów na kierunkach inżynieria środowiska i ochrona środowiska.

„*Efektywność przedsięwzięć w ochronie środowiska*” – to moim zdaniem najistotniejsza część podręcznika. Autorzy: Elżbieta Broniewicz i Rafał Miłaszewski w sposób usystematyzowany omówili zagadnienia dotyczące oceny ekonomicznej efektywności przedsięwzięć służących ochronie środowiska,

ze szczególnym uwzględnieniem metod wartościowania środowiska przyrodniczego. Spośród nich, najbardziej zostało rozwinięte określenie efektów przedsięwzięć w ochronie środowiska na podstawie wyceny strat ekologicznych spowodowanych zanieczyszczeniem środowiska. Wartość tej części opracowania podniosły zaprezentowane przez Autorów praktyczne przykłady oceny efektywności inwestycji. Niewątpliwie trzecia część podręcznika stanowi esencję wiedzy metodycznej i praktycznej, niezbędnej w pracy zawodowej inżynierów zajmujących się ochroną środowiska.

W ostatniej, czwartej części podręcznika „Zarządzanie środowiskowe w przedsiębiorstwie i gminie” Joanna Ejdys, Agata Lulewicz-Sas i Joanna Godlewska skupiły swoje rozważania wokół problematyki zarządzania środowiskowego oraz roli jaką społeczeństwo odgrywa w procesie realizacji zadań strategicznych gminy we wdrażaniu polityki zrównoważonego rozwoju. Na uwagę zasługują przytoczone wyniki badań empirycznych, dotyczące efektywności funkcjonowania systemów zarządzania. Dzięki nim, czytelnik poznaje różnorodność barier wynikających ze stosowania systemów w małych i średnich przedsiębiorstwach. Autorki jednocześnie podkreślają, że największe szanse na wdrożenie systemu EMAS mają te gminy i miasta, które wyróżnia wysoki poziom świadomości ekologicznej, zarówno wśród władz lokalnych, jak i samych mieszkańców, w zakresie gospodarowania zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju.

Podręcznik „*Ekonomika i zarządzanie ochroną środowiska dla inżynierów*” stwarza możliwość posługiwania się wiedzą z zakresu ekonomiki i zarządzania ochroną środowiska przez przyszłych absolwentów kierunku inżynieria środowiska, ochrona środowiska, gospodarka przestrzenna oraz zarządzanie i inżynieria produkcji. Autorzy w sposób logiczny i syntetyczny podporządkowali celom kształcenia z zakresu ekonomiki i zarządzania ochroną środowiska treści zawarte w podręczniku, łącząc jednocześnie perspektywę ekologiczną, ekonomiczną i społeczną w procesie ustanawiania nowego paradygmatu rozwoju zrównoważonego. Poprzez ujęcie teoretyczno-praktyczne treści zawartych w całości opracowania, wskazali na szereg możliwości wzrostu skuteczności w podejmowaniu decyzji i działań umożliwiających podniesienie efektywności procesu gospodarowania środowiskiem. Materiał zamieszczony w podręczniku opracowano w nowatorski i przemyślany sposób, co wskazuje na wysoki poziom znawstwa problematyki oraz wartość naukową. Ze względu na potrzebę kształcenia przyszłych inżynierów zajmujących się ochroną środowiska z zakresu ekonomiki i zarządzania środowiskowego, podręcznik powinien stanowić lekturę obowiązkową dla studentów kierunków inżynierskich politechnik.

dr Agnieszka HŁOBIŁ
Politechnika Koszalińska