

Spis treści

Paulina ANCHIM, Joanna PIOTROWSKA - WORONIAK

Ekogroszek – sposób na tańsze i ekologiczne ogrzewanie domu jednorodzinnego.

Cz. 2. Modernizacja kotłowni

The “Eco small coal” – a way to cheaper and more ecological single-family house heating.

Part 2 - Modernization of the boiler room 257

Michał BASZEŃ

Wpływ niejednorodności cech fizykomechanicznych drewna na stan naprężeń w elementach konstrukcyjnych

The influence of diversity of physical and mechanical properties of wood on the stress distribution

in structural elements 263

Katarzyna DOŁŻYK

Osiadania stóp fundamentowych na piaskach

Settlements of pad footings on sands 269

Dorota DWORZAŃCZYK

Zaprawy i betony na kruszywie recyklingowym stosowane w budynkach inwentarskich

Mortars and concrete used in livestock buildings 275

Katarzyna GŁADYSZEWSKA-FIEDORUK

Analiza stanu środowiska wewnętrznego w wybranych przedszkolach. Część 1: Temperatura

Analysis of indoor environment in a kindergarten building. Part 1: Temperature 281

Katarzyna GŁADYSZEWSKA-FIEDORUK

Analiza stanu środowiska wewnętrznego w wybranych przedszkolach. Część 2: Wilgotność względna

Analysis of indoor environment in a kindergarten building. Part 2: Relative humidity 287

Marta KALISTY, Dorota MAŁASZKIEWICZ

Metody badania mrozoodporności betonów. Ocena mrozoodporności betonu z cementem hutniczym

Methods of testing concrete freeze resistance. Evaluation of freeze-thaw resistance of concrete

with blast-furnace cement 293

Gennady KOCHETOV, Dmytro ZORYA, Julia GRINENKO

Integrated treatment of rinsing copper-containing wastewater 301

Jerzy LISOWSKI, Nina SZKLENNIK

Rola poszczególnych elementów struktury organizacyjnej przedsiębiorstwa budowlanego w filozofii

kompleksowego zarządzania jakością (TQM)

The role of the particular elements of the organizational structure of building company in the philosophy

of total quality management (TQM) 307

Marzena MATEJCZYK

Specific for DNA damages gfp microbial biosensor as a tool for genotoxic action assessment

of environmental pollution 319

Anna ŻAKOWICZ

Wariantowanie rozwiązań zbiorników podziemnych stosowanych w gospodarstwach rolno – hodowlanych

Variating solutions of underground tanks on farms 327

KOMINUKATY 335

EKOGROSZEK – SPOSÓB NA TAŃSZE I EKOLOGICZNE OGRZEWANIE DOMU JEDNORODZINNEGO. Cz.2. MODERNIZACJA KOTŁOWNI

Paulina ANCHIM^a, Joanna PIOTROWSKA-WORONIAK^{b*}

^astudent, Politechnika Białostocka, Inżynieria Środowiska V rok

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

Streszczenie: W artykule przedstawiono przykład zamiany istniejącej kotłowni olejowej na kotłownię na ekogroszek, celem obniżenia kosztów wytwarzania energii cieplnej w budynku jednorodzinny. Przedstawiono przyjęte rozwiązanie technologiczne kotłowni na ekogroszek wraz z kosztami wykonania przedsięwzięcia. Wyliczono koszt wykonania zaproponowanej modernizacji kotłowni w domku jednorodzinny wraz ze wykazaniem rocznych oszczędności, które można osiągnąć z tego tytułu, a także wskazano zamiennie inne paliwo (biorąc pod uwagę tylko paliwa konwencjonalne) umożliwiające w sposób ekologiczny, wygodny i tani dostarczać ciepło do domu jednorodzinny. Jak się okazuje ekologia, wygoda i oszczędzanie mają ze sobą wiele wspólnego.

Słowa kluczowe: technologia kotłowni, koszty, modernizacja kotłowni, roczne oszczędności.

1. Modernizacja kotłowni olejowej na kotłownię na ekogroszek

1.1. Obiekt modernizacji

Modernizacji poddano kotłownię olejową funkcjonującą 20 lat, przynoszącą ogromne koszty eksploatacyjne. Istniejącą kotłownię zastąpiono kotłownią na paliwo stałe – ekogroszek.

Budynek z modernizowaną kotłownią znajduje się w miejscowości Białowieża (w pobliżu Białowieskiego Parku Narodowego), dlatego właścicielowi zależy na ekologicznym rozwiązaniu za rozsądną cenę. Powierzchnia domu – 170 m², kubatura wynosi 442 m³, powierzchnia całkowita działki, na której stoi obiekt obejmuje 400 m², w tym pod zabudową jest 100 m². Dom jest dwukondygnacyjny, niepodpiwniczony zamieszkały przez 5 osób. Kotłownia umiejscowiona jest na parterze o powierzchni 12 m² i wysokości 2,6 m, kubaturze 31,2 m³. Zainstalowana moc grzewcza: 20 kW, w tym 9 kW zapotrzebowanie mocy na cele ciepłej wody użytkowej.

1.2. Konwersja kotłowni olejowej na kotłownię spalającą ekogroszek

W modernizowanej kotłowni wszystkie urządzenia współpracujące z kotłem olejowym zostały wymontowane ze względu na bardzo zły stan techniczny. Kocioł olejowy zastąpiono kotłem na ekogroszek typu DEFRO KOMFORT EKO 20 kW producent DEFRO. Kocioł przed wzrostem ciśnienia zabezpieczony będzie za pomocą zaworu bezpieczeństwa typu SYR 1915 według zaleceń producenta oraz za pomocą naczynia otwartego BASCO NW-15 o pojemności 15 litrów, zabezpieczającego również instalację grzewczą przed wzrostem objętości czynnika i wahaniami ciśnienia. W kotłowni zamontowano wymiennik ciepłej wody użytkowej o pojemności 120 litrów. Wstawiono dwie pompy 25POr-40C LFP firmy Leszno: jedną do wymuszenia obiegu centralnego ogrzewania, drugą do obiegu ciepłej wody użytkowej. Aby wydłużyć żywotność kotła oraz zaoszczędzić na spalaniu paliwa zastosowano zawór mieszający czterodrogowy z siłownikiem elektrycznym. Podniesienie temperatury wody powracającej do kotła ma przeciwdziałać zjawisku korozji niskotemperaturowej i powodować wydłużenie żywotności kotła. Tę samą ilość wody powracającej z grzejników zawór czterodrogowy kieruje z powrotem na zasilanie grzejników centralnego ogrzewania, co

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

umożliwia wiosną i jesienią pracę kotła z zalecaną temperaturą (co najmniej 60°C) przy jednoczesnym utrzymaniu w obiegu grzejnikowym niższej temperatury zgodnej ze zmniejszonym zapotrzebowaniem na energię. Do utrzymania odpowiedniego ciśnienia przed i za pompą zainstalowano zawór różnicowy. Instalację wyposażono również w zawory odcinające, zawory zwrotne, filtry siatkowe firmy Infracorr. Do sterowania pracą kotła zaprojektowano regulator kotłowy RK-2006L przeznaczony do regulacji temperatury kotła z podajnikiem opału. Wysokość temperatury kotła utrzymywana będzie na poziomie zadanym przez użytkownika poprzez sterowanie wentylatorem nadmuchu i odpowiednim podawaniem paliwa. Regulator umożliwi sterowanie pompą obiegu centralnego ogrzewania i pompą ciepłej wody użytkowej. Bogate możliwości programowania parametrów regulatora umożliwiają precyzyjne dopasowanie parametrów pracy kotła do systemu ogrzewania. Regulator posiada STB niezależne elektroniczne zabezpieczenie kotła przed przegrzaniem. W celu zapewnienia dokładniejszej regulacji temperatury ogrzewanych pomieszczeń regulator został podłączony do czujnika temperatury pokojowej i czujnika temperatury zewnętrznej. Dzięki automatyce właściciel nie będzie musiał martwić się o uzupełnianie paliwa w kotle, wystarczy, jeśli raz na jakiś czas (3-7 dni) uzupełni zasobnik znajdujący się przy kotle ekogroszkiem. Zaproponowany schemat technologiczny kotłowni na ekogroszek przedstawiono na rysunku 1.

2. Nakłady inwestycyjne kotłowni na ekogroszek

W tabeli 1 przedstawiono zestawienie nakładów inwestycyjnych kotłowni spalającą ekogroszek zgodną ze schematem technologicznym przedstawionym na rysunku 1 oraz ceny jednostkowe poszczególnych urządzeń w modernizowanej kotłowni oraz wyliczono koszt całkowity kotłowni. Kalkulację cenową sporządzono na podstawie cenników urządzeń i materiałów producentów i dystrybutorów urządzeń.

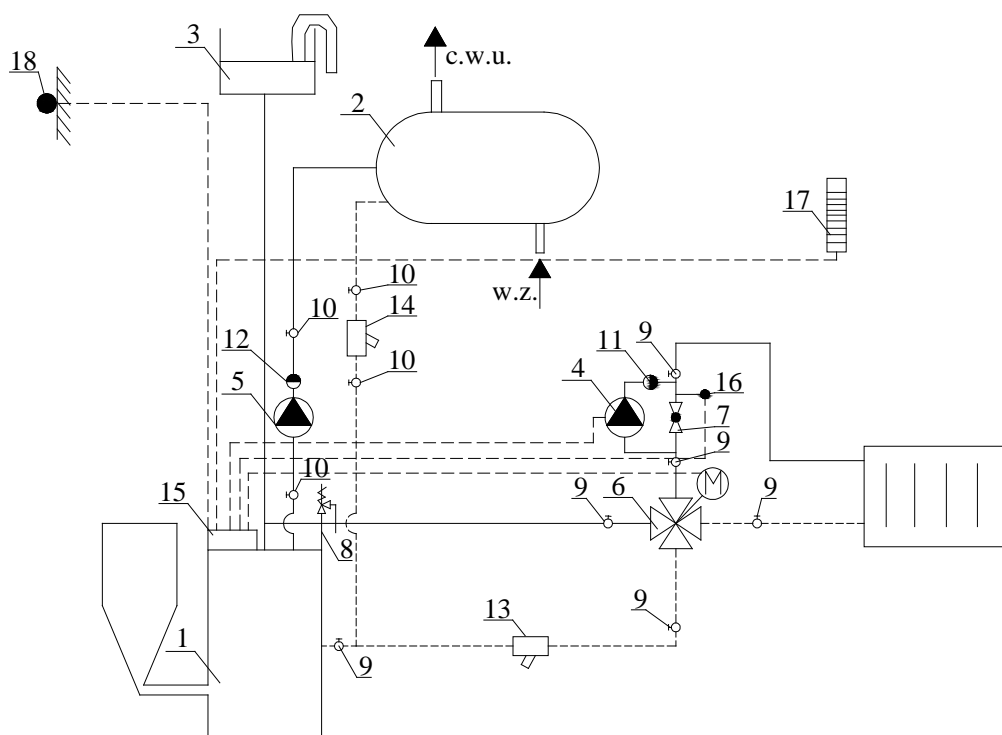
3. Obliczenie zużycia paliwa

3.1. Obliczenie ilości zużywanego paliwa

Zużycie paliwa w sezonie grzewczym obliczono ze wzoru:

$$B_{co} = \frac{y \cdot a \cdot 3,6 \cdot 24 \cdot S_d \cdot Q}{Q_i \cdot \eta_{sr} \cdot (t_w - t_z)} \quad [\text{dm}^3/\text{sezon}] \quad (1)$$

gdzie y jest współczynnikiem zmniejszającym równym 0,95 dla pracy kotła bez przerwy lub z osłabieniem nocnym, a jest współczynnikiem zwiększającym uwzględniającym zwiększenie zużycia paliwa w pierwszym sezonie grzewczym, Q projektowe obciążenie cieplne budynku w W, Q_i jest wartością opałową paliwa w kJ/kg, η_{sr} jest średnią eksploatacyjną sprawnością kotła, t_w jest średnią



Rys. 1. Schemat kotłowni opalanej ekogroszkiem: 1 - kocioł, 2 - podgrzewacz c.w.u., 3 - naczynie wyrównawcze otwarte, 4 - pompa obiegowa, 5 - pompa ładująca c.w.u., 6 - zawór czterodrogowy, 7 - zawór różnicowy, 8 - zawór bezpieczeństwa, 9 - zawór odcinający 1", 10 - zawór odcinający 1/2", 11 - zawór zwrotny 1", 12 - zawór zwrotny 1/2", 13 - filtr siatkowy 1", 14 - filtr siatkowy 1/2", 15 - regulator kotłowy, 16 - czujnik temperatury zasilającej, 17 - czujnik temperatury pokojowej, 18 - czujnik temperatury zewnętrznej

temperaturą w budynku, $t_w = 20$ °C, t_z jest temperaturą zewnętrzną dla danej strefy klimatycznej; modernizowany dom znajduje się w Białowieży, $t_z = -22$ °C, S_d jest liczbą stopniodni sezonu grzewczego wyliczoną z zależności (2):

$$S_d = \Sigma(t_w - T_{e(m)}) \cdot L_{d(m)} \quad (2)$$

gdzie t_w jest średnią temperaturą w budynku, $t_w = 20$ °C, $T_{e(m)}$ jest średnią temperaturą w danym miesiącu w °C, temperatury przyjęto według Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r., $L_{d(m)}$ jest ilością dni sezonu grzewczego. W tabeli 2 zamieszczono średnie temperatury w poszczególnych miesiącach wraz z liczbą

dni sezonu grzewczego. Obliczona dla Białowieży liczba S_d wynosi 3 885,7 dni/sezon×K.

Zużycie paliwa w sezonie letnim na cele ciepłej wody użytkowej obliczone zostało ze wzoru:

$$B_{c.w.u.} = \frac{Q_{c.w.u.} \cdot \tau \cdot 3600}{Q_i \cdot \eta_{sr}} \quad [\text{dm}^3/\text{sezon}] \quad (3)$$

gdzie $Q_{c.w.u.}$ jest zapotrzebowaniem na moc cieplną w sezonie letnim w kW, $Q = 9$ kW; τ jest liczbą godzin korzystania z ciepłej wody użytkowej w ciągu sezonu letniego, $\tau = 2 574$ h; Q_i jest wartością opałową paliwa wyrażoną w J/kg], η_{sr} jest średnią eksploatacyjną sprawnością kotła.

Tab. 1. Zestawienie nakładów inwestycyjnych na kotłownię spalającą ekogroszek o mocy 20 kW

L.p.	Wyszczególnienie	Ilość	Cena jednostkowa	Koszt całkowity
		szt.	zł/szt.	zł (z VAT)
1.	Kocioł typu DEFRO KOMFORT EKO 20 kW firmy DEFRO	1	7099,00	7099
2.	Podgrzewacz c.w.u. o poj. 120 l, z węzownicą "U", typu SGW(L) 120, Galmet	1	428,70	429
3.	Naczynie wzbiorcze otwarte typu BASCO NW-15, o poj. 15 dm ³	1	65,30	65
4.	Pompa obiegowa c.o.25POr-40C firmy LFP Leszno	1	315,00	315
5.	Pompa ładująca c.w.u.25POr-40C firmy LFP Leszno	1	315,00	315
6.	Zawór mieszający czterodrogowy, WOMIX 1" DN25 FV z siłownikiem typu WOMIX MP 06	1	419,00	419
7.	Zawór różnicowy ZRCO DN-25 (1125)	1	20,60	21
8.	Zawór bezpieczeństwa o średnicy 20 mm, SYR 1915 1,5 bar	1	76,50	77
9.	Zawór odcinający 1"	1	9,40	37
10.	Zawór odcinający 1/2"	3	4,20	13
11.	Zawór zwrotny 1"	1	8,30	8
12.	Zawór zwrotny 1/2"	1	5,30	5
13.	Filtr siatkowy MI-0, 1" , Infracorr	1	226,00	226
14.	Filtr siatkowy MI-mini, 1/2", Infracorr	1	110,00	110
15.	Regulator kotłowy RK-2006L	1	380,00	380
16.	Czujnik temperatury wody zasilającej, zanurzeniowy KTY 81-210	1	31,00	31
17.	Czujnik temperatury pokojowej CP-1	1	15,00	15
18.	Czujnik temperatury zewnętrznej CZ-1	1	25,00	25
19.	Przewody		735,90	736
			RAZEM [M]:	10 325

Całkowite koszty nakładów inwestycyjnych zostały policzone na podstawie „Zbioru jednostkowych wskaźników cenowych z zakresu budownictwa ogólnego, mieszkaniowego oraz przemysłowego” z zależności:

Materiały [M]	10 325 zł
Robocizna [R]= 20% [M]	2 065 zł
Koszty pośrednie [Kp]= 67%[R]	1 384 zł
Koszty zakupu [Kz]= 8% [M]	826 zł
Zysk [Z]= 12,6% [R i Kp]	435 zł
Prace demontażowe [Pd]= 25%[R]	516 zł
Wykonanie dokumentacji technicznej[Dt]	620 zł
Koszt całkowity wynosi:	16 171 zł brutto

Tab. 2. Zestawienie średnich temperatur i ilości dni sezonu grzewczego w danych miesiącach

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$T_{e(m)}$	-2,9	-3,1	3,3	9,8	13,7	16,8	18,1	16,3	12,1	8,0	2,3	-1,3
$L_{d(m)}$	31	28	31	30	10	0	0	0	10	31	30	31

3.2. Roczne zużycie oleju opałowego lekkiego w stanie istniejącym

W rozpatrywanym domku jednorodzinny roczne zużycie oleju w warunkach obliczeniowych kształtowało się na poziomie 4 305 dm³/sezon grzewczy i 236 dm³/sezon letni. Koszty paliwa ponoszone przez właściciela z tytułu ogrzewania i podgrzewu ciepłej wody użytkowej kotłowni olejowej wynosiły do tej pory 9 643 zł (w tym koszt zużycia paliwa w sezonie letnim tylko na cele c.w.u. wyniósł 530 zł), przy średniej sprawności eksploatacyjnej kotła 84% (kocioł jest bardzo wyeksploatowany) i wartości opałowej paliwa około 42 000 kJ/kg. Średni koszt zakupu paliwa przez właściciela budynku wyniósł 2,24 zł/dm³.

3.3. Prognozowe wyliczenie zużycia ekogroszku

Zużycie ekogroszku w warunkach obliczeniowych kształtuje się na poziomie 7 489 kg/sezon grzewczy i 411 kg/sezon letni. Po uwzględnieniu ceny jednostkowej, wynoszącej 0,60 zł/kg, koszt paliwa wyniesie 4 493 zł za sezon grzewczy i 247 zł za podgrzew ciepłej wody użytkowej w okresie poza sezonem grzewczym. Dzięki modernizacji kotłowni olejowej na kotłownię z kotłem opalany węglem asortymentu ekogroszek właściciel domu może zyskać rocznie około 5 432 zł. Zwrot inwestycji nastąpi po około trzech i pół roku.

3.4. Prognozowe wyliczenie zużycia pelletu (jako paliwa alternatywnego nadającego się do spalania w kotle retortowym)

Wyliczone zużycie pelletu w warunkach obliczeniowych kształtuje się na poziomie 9 985 kg/sezon grzewczy i 548 kg/sezon letni. Po uwzględnieniu ceny jednostkowej, wynoszącej 0,675 zł/kg, koszt paliwa wyniesie 6 740 zł na sezon grzewczy i 370 zł za podgrzew ciepłej wody użytkowej w okresie poza sezonem grzewczym. Na chwilę obecną, gdy ceny za paliwa kształtują się na przedstawionym wyżej poziomie bardziej opłaca się opalać dom ekogroszkiem, niż paliwem formowanym typu pellet.

3.5. Prognozowe wyliczenie zużycia zboża (jako paliwa alternatywnego nadającego się do spalania w kotle retortowym)

Zużycie zboża w warunkach obliczeniowych kształtuje się na poziomie 13 908 kg/sezon grzewczy i 764 kg/sezon letni. Po uwzględnieniu ceny jednostkowej, wynoszącej 0,28 zł/kg, koszt paliwa wyniesie 3 894 zł za sezon grzewczy i 214 zł za podgrzew ciepłej wody użytkowej w okresie poza sezonem grzewczym. Stosowanie zboża jako paliwo jest uzasadnione ekonomicznie, jednakże w praktyce zboże może być wykorzystywane tylko jako chwilowe zastępstwo (zalecenie producenta kotła), bądź jako domieszka do ekogroszku.

3.6. Prognozowe wyliczenie zużycia wierzby energetycznej (jako paliwa alternatywnego nadającego się do spalania w kotle retortowym po uprzedniej wymianie rusztu)

Zużycie wierzby energetycznej w warunkach obliczeniowych kształtuje się na poziomie 12 981 kg/sezon grzewczy i 713 kg/sezon letni. Po uwzględnieniu ceny jednostkowej, wynoszącej 0,30 zł/kg, koszt paliwa wyniesie 3 894 zł za sezon grzewczy i 214 zł za podgrzew ciepłej wody użytkowej w okresie poza sezonem grzewczym. Jak widać węgiel sortymentu groszek, w momencie jego wzrostu ceny może być zastąpiony z powodzeniem biopaliwem, które na dzień dzisiejszy jest tańsze.

3.7. Zestawienie otrzymanych wyników

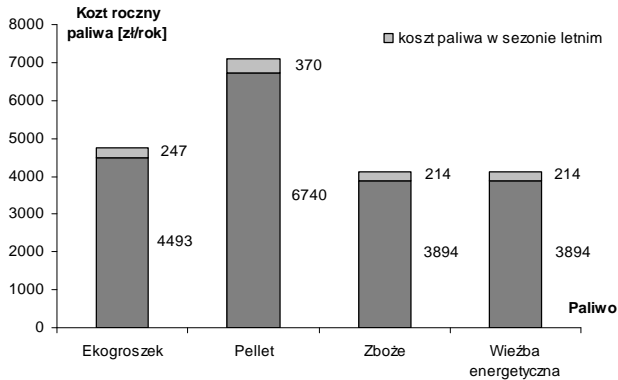
W tabeli 3 przedstawiono wyliczony koszt paliwa, jaki ponosiłby właściciel domku jednorodzinny w sezonie grzewczym na cele c.o. i c.w.u., koszt paliwa w okresie letnim na cele c.w.u., jeśli zdecydowałby się zmodernizować istniejącą, wyeksploatowaną i drogą kotłownię olejową na kotłownię spalającą ekogroszek, ewentualnie zamiennie stosując w tym samym kotle paliwo, jakim są pellety, zboże, czy wierzba energetyczna. W tabeli 3 zamieszczone zostały również roczne oszczędności z tego tytułu.

Tab. 3. Roczne oszczędności kosztów ogrzewania i ciepłej wody użytkowej z tytułu modernizacji kotłowni olejowej

Paliwo	Wartość opałowa	Cena	Średnia sprawność eksploatacyjna kotła	Zużycie paliwa w sezonie grzewczym	Zużycie paliwa w sezonie letnim na cele cwu	Koszt paliwa w sezonie grzewczym	Koszt paliwa w sezonie letnim	Całkowity koszt roczny	Roczne oszczędności
	kJ/kg	zł/kg	%	kg/sezon	kg/sezon	zł/sezon	zł/sezon	zł/rok	zł/rok
Ekogroszek	26 000	0,60	78	7 489	411	4 493	247	4 740	5 432
Pellet	19 500	0,675	78	9 985	548	6 740	370	7 110	3 062
Zboże	14 000	0,28	78	13 908	764	3 894	214	4 108	6 064
Wierzba energetyczna	15 000	0,30	78	12 981	713	3 894	214	4 108	6 064

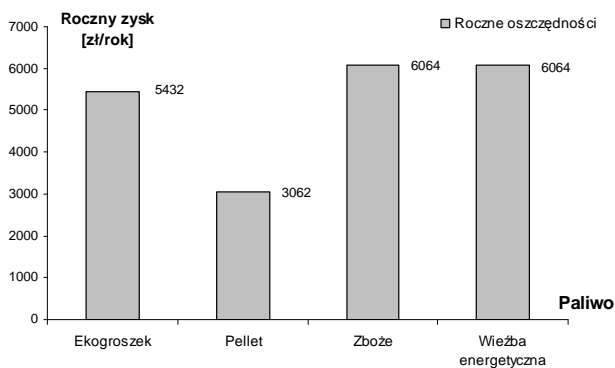
3.8. Zestawienie otrzymanych wyników

Na rysunku 2 przedstawiono porównanie prognozowanych rocznych kosztów w zależności od rodzaju paliwa, jakie należałoby ponieść w domku jednorodzinny na cele grzewcze i podgrzew ciepłej wody użytkowej w 5 osobowej rodzinie.



Rys. 2. Roczny koszt zużycia paliwa na cele c.o. i c.w.u. w zależności od rodzaju paliwa

Na rysunku 3 przedstawiono natomiast roczne oszczędności, jakie może osiągnąć właściciel domku jednorodzinny zastępując kotłownię olejową kotłownią spalającą ekogroszek, z możliwością czasowej zamiany spalane go paliwa na: zboże, wierzbę energetyczną, czy pellety.



Rys. 3. Roczna oszczędność kosztów z tytułu ogrzewania i podgrzewu c.w.u. po modernizacji kotłowni olejowej

4. Podsumowanie i wnioski

Kotłownia przed modernizacją była kotłownią bardzo drogą w eksploatacji, zarówno z racji niskiej sprawności wyeksploatowanego już kotła olejowego, jak również z powodu wysokiej i stale rosnącej ceny oleju opałowego.

Po modernizacji (zastąpieniu kotła olejowego na kocioł spalający ekogroszek) właściciel domu każdego roku powinien zaoszczędzić około 5 432 zł z racji opalania budynku ekogroszkiem. Dzięki temu całkowity nakład inwestycyjny nowej kotłowni zwróci się już po niecałych trzech latach.

Inwestor w celu maksymalizacji oszczędności może skorzystać z jeszcze tańszego opału, a mianowicie ze zboża, bądź wierzby energetycznej. Ich stosowanie jako paliwa jest uzasadnione ekonomicznie, zysk osiągnięty wyniesie 6 064 zł rocznie i inwestycja zarobi na siebie już po dwóch latach i siedmiu miesiącach. Zboże z powodzeniem nadaje się do spalania w kotle z paleniskiem retortowym. W momencie, gdy zacznie drożeć ekogroszek inwestor będzie mógł zastąpić to paliwo alternatywnie wierzwą energetyczną po uprzednim zainstalowaniu rusztu w kotle.

Literatura

- Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 roku w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw ich charakterystyki energetycznej.
- Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 roku w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie

THE "ECO SMALL COAL" – A WAY TO CHEAPER AND MORE ECOLOGICAL SINGLE-FAMILY HOUSE HEATING. Part 2- MODERNIZATION OF THE BOILER ROOM

Abstract: The paper aim is to present an example of the conversion of an existing oil boiler to the coal fired one, to reduce the cost of heat generation in the single family house.

The solution adopted coal boiler technology, including the costs of the project implementation. The cost of constructing the proposed boiler room modernization was calculated and the annual savings that can be achieved were shown. Alternative fuels, identified to allow for an environmentally sound manner, easy and inexpensive to provide heat for the single family house, was presented, too. As it turns out in the paper ecology, convenience and savings have much in common.

Pracę wykonano w ramach realizacji zadania statutowego S/WBIŚ/23/08 realizowanego w Politechnice Białostockiej

WPŁYW NIEJEDNORODNOŚCI CECH FIZYKOMECHANICZNYCH DREWNA NA STAN NAPRĘŻEŃ W ELEMENTACH KONSTRUKCYJNYCH

Michał BASZEŃ*

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

Streszczenie: W pracy przedstawione zostały analizy wpływu właściwości fizykomechanicznych drewna na rozkład naprężeń oraz przemieszczeń węzłów w elementach ściennych oraz stropowych w szkieletowych konstrukcjach drewnianych. Przedstawiono wartości naprężeń i przemieszczeń konstrukcji otrzymane podczas badań eksperymentalnych przeprowadzonych w Politechnice Białostockiej. Przedstawiono również wartości cech fizykomechanicznych drewna użytego w analizowanych konstrukcjach.

Słowa kluczowe: szkieletowe konstrukcje drewniane, właściwości fizykomechaniczne drewna, badania eksperymentalne.

1. Wstęp

Drewno było jednym z pierwszych materiałów, jakie człowiek na drodze ewolucji używał do tworzenia obiektów w jakich mógł zamieszkać i chronić się przed żywiołami. Drewno, którego było pod dostatkiem w większości ludzkich lokalizacji idealnie nadawało się do celów budowlanych. Jednakże już od początku zastosowań budowlanych, właściwości fizykomechaniczne drewna powodowały, że ten łatwo dostępny budulec nie zawsze spełniał oczekiwania budowniczych.

Drewno w odróżnieniu od izomorficznej stali czy też bardziej złożonego betonu, jednak pracującego prawie identycznie we wszystkich kierunkach, charakteryzuje się zmiennymi właściwościami wytrzymałościowymi w różnych kierunkach. Spowodowane jest to budową drzew i sposobem ich rozwoju (Wood Handbook, 2010).

Drzewa większości gatunków rosną szybciej wzdłużnie, aniżeli w poprzek pnia. To powoduje, że znaczne przyrosty długości wzdłuż włókien muszą być zrekompensowane zwiększoną sztywnością i wytrzymałością właśnie w tym kierunku. Kierunek w poprzek włókien, nie tak ważny jeżeli chodzi o przenoszenie chociażby ciężaru własnego rozwijającego się drzewa, wykazuje znacznie mniejsze wytrzymałości w stosunku do kierunku wzdłuż włókien.

Te właściwości doskonale znane współczesnym projektantom i budowniczym, przed wiekami zupełnie nieznanymi dawnym konstruktorom powodowały duże trudności w budowaniu. Dopiero upływ czasu, a co za tym idzie nabywana wiedza inżynierska przekazywana

z pokolenia na pokolenie pozwalała unikać błędów w konstruowaniu, a co za tym idzie nieuchronnych katastrof.

Rozwój nauk ścisłych, pojawienie się pojęć wytrzymałości i sztywności materiału, wreszcie badania doświadczalne ukazały złożoność pracy elementów z drewna. To co przekazywano z pokolenia na pokolenie jako pewne dogmaty w wyniku rozwoju nauki uzyskało wytłumaczenia z punktu widzenia fizyki i mechaniki. Nie zmienia to jednak faktu, że ortotropowy charakter pracy elementów drewnianych sprawia do dziś problemy projektantom, jak i wykonawcom.

W artykule zostaną przedstawione wyniki badań eksperymentalnych przeprowadzonych na elementach ściennych i stropowych, jak również wyniki badań materiałowych drewna użytego do skonstruowania elementów badawczych. Zostaną przeanalizowane wartości naprężeń w szkielecie drewnianym badanych ścian i stropów, celem oszacowania wpływu niejednorodności cech fizykomechanicznych drewna oraz ortotropii konstrukcji na wartości sił wewnętrznych.

2. Właściwości drewna

Jak wspomniano na wstępie drewno charakteryzuje się ortotropią, to jest wysoką wytrzymałością w kierunku równoległym do włókien, natomiast zdecydowanie niższą w kierunku prostopadłym. Polska norma PN-EN 338:2009 *Drewno konstrukcyjne. Klasy wytrzymałości* określa

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: m.baszen@kmb.pb.edu.pl

następujące właściwości sprężyste dla wybranych klas drewna w przypadku drzew iglastych (tab. 1).

Tabela 1. Wybrane właściwości fizykomechaniczne drewna według PN-EN 338:2009

Klasa drewna		C27	C30	C35	C40
Właściwości sprężyste [kN/mm ²]					
Średni moduł sprężystości wzdłuż włókien	$E_{0,mean}$	11,500	12,000	13,000	14,000
Średni moduł sprężystości w poprzek włókien	$E_{90,mean}$	0,380	0,400	0,430	0,470
Średni moduł odkształcenia postaciowego	G_{mean}	0,700	0,750	0,810	0,880

Każdy gatunek drzew charakteryzuje się pewnymi właściwościami wytrzymałościowymi jak i sprężystymi. Można określić średnią wartość wytrzymałości drewna czy też jego moduły sprężystości oraz odkształcalności postaciowej, będą to jednak wielkości przybliżone. Oczywiście jest, że drewno drzew tego samego gatunku, nawet z tej samej lokalizacji może różnić się w zakresie właściwości fizykomechanicznych i to czasami znacznie. Powoduje to, że zapewnienie bezpieczeństwa pracy statycznej konstrukcji oraz bezpieczne i ekonomiczne projektowanie jest możliwe po przeprowadzeniu wszechstronnych badań materiałowych, których celem będzie wyznaczenie właściwości fizykomechanicznych użytego drewna.

3. Badania charakterystyk materiałowych drewna

Badania materiałowe cech fizykomechanicznych drewna (Kokocinski, 2004) przeprowadza się według zaleceń Polskich Norm. Badania wytrzymałości na ściskanie wzdłuż włókien przeprowadza się zgodnie z normą PN-79/D-04102 *Drewno. Oznaczanie wytrzymałości na ściskanie wzdłuż włókien*, wytrzymałości na ściskanie w poprzek włókien według normy PN-77/D-04229 *Drewno. Oznaczanie wytrzymałości na ściskanie w poprzek włókien*, zaś oznaczanie współczynnika sprężystości przy ściskaniu wzdłuż włókien według PN-58/D-04115 *Fizyczne i mechaniczne własności drewna. Oznaczanie współczynnika sprężystości przy ściskaniu wzdłuż włókien*.

Badania materiałowe przed testami eksperymentalnymi (Baszeń, 2004) konstrukcji z drewna przeprowadzone zostały na normowych próbkach o wymiarach 20×20mm i wysokości 30mm. Próbkę zostały wycięte ze szkieletu drewnianego badanych elementów pod kątem 0° (równoległe do włókien), 90° (prostopadle do włókien) oraz pod kątem 45°, co pozwoliło określić właściwości dla obu kierunków głównych, jak również wyznaczenie modułu odkształcenia postaciowego.

Badania przeprowadzono na próbkach o średniej wilgotności 11%, w pomieszczeniu w którym temperatura

wahała się w zakresie 22-23°C, zaś średnia wilgotność względna powietrza wynosiła około 30%.

Wartości odkształceń postaciowych próbek odczytywano na poziomie 10% i 40% obciążenia niszczącego. Przeprowadzono cztery próby dla drewna z konstrukcji ścian oraz cztery próby dla drewna z elementów stropowych.

W tabeli 2 przedstawiono charakterystyki materiałowe drewna świerkowego, które zostało zastosowane w konstrukcji ścian trójpasmowych, zaś w tabeli 3 zaprezentowane zostały charakterystyki materiałowe drewna sosnowego z którego został wykonany szkielet drewniany konstrukcji stropów.

Tabela 2. Właściwości fizykomechaniczne drewna świerkowego

Nr próbki	$E_{0,mean}$	$E_{90,mean}$	G_{mean}	ν_0	ν_{90}
	[kN/mm ²]			[-]	
1	12,309	0,647	0,714	0,397	0,038
2	11,970	0,627	0,722	0,389	0,040
3	13,118	0,590	0,716	0,366	0,054
4	12,152	0,604	0,799	0,355	0,050
Średnia	12,387	0,617	0,738	0,376	0,046
Odchylenie standardowe	0,506	0,025	0,041	0,020	0,008

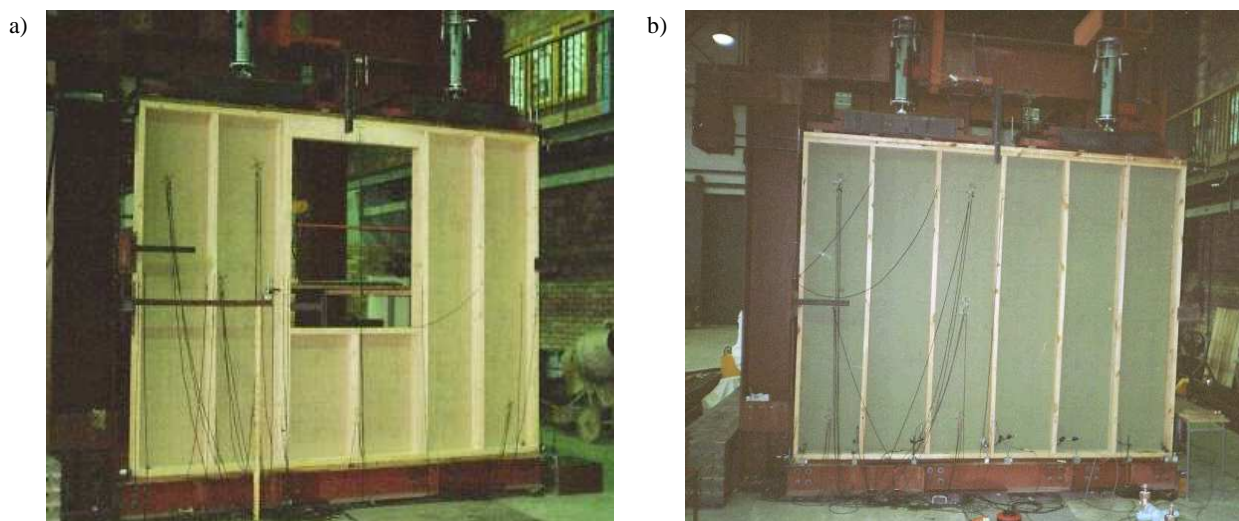
Tabela 3. Właściwości fizykomechaniczne drewna sosnowego

Nr próbki	$E_{0,mean}$	$E_{90,mean}$	G_{mean}	ν_0	ν_{90}
	[kN/mm ²]			[-]	
1	10,155	0,603	0,719	0,432	0,029
2	13,238	0,553	0,838	0,380	0,035
3	12,299	0,510	1,117	0,404	0,042
4	12,063	0,529	0,914	0,349	0,026
Średnia	11,939	0,549	0,897	0,391	0,033
Odchylenie standardowe	1,293	0,040	0,167	0,035	0,007

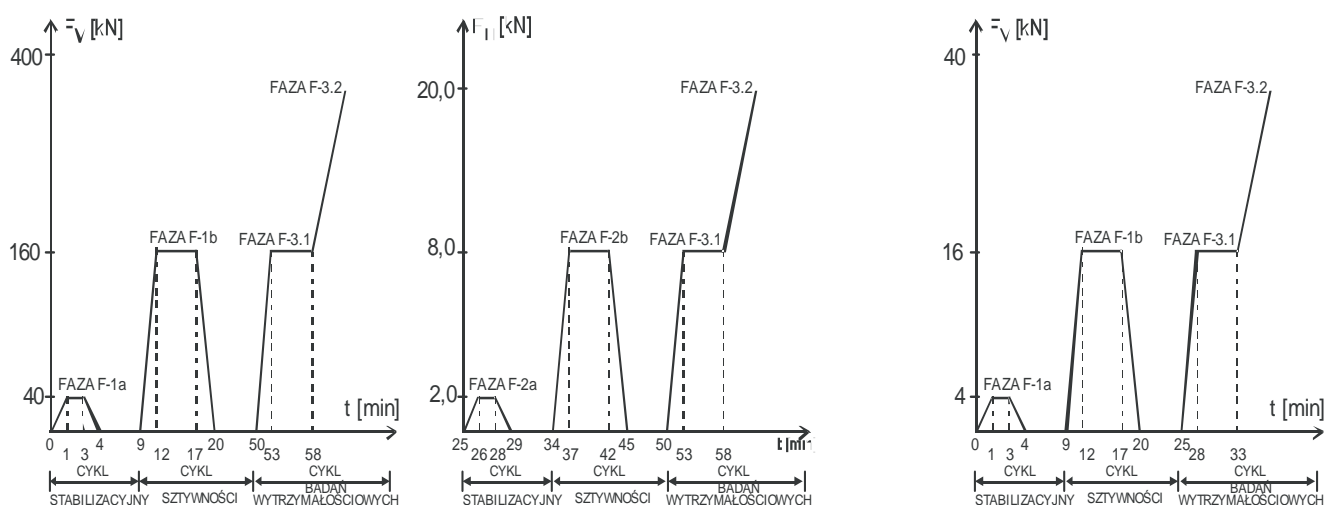
Powyższe dane wyraźnie pokazują, jak znaczne odchylenia wartości od średniej mogą wykazywać poszczególne próbki. Takie różnice mają duże znaczenie w określaniu wartości naprężeń w elementach podczas badań eksperymentalnych elementów w skali naturalnej, jak również podczas analiz numerycznych w których wprowadza się do programu obliczeniowego pewne uśrednione wartości, a nie przeprowadza się obliczenia dla każdego otrzymanego zestawu właściwości wytrzymałościowych czy sprężystych drewna.

4. Badania doświadczalne

Wspomniane wyżej badania doświadczalne były częścią pracy badawczo-analitycznej (Baszeń, 2004) przeprowadzonej na Politechnice Białostockiej. Celem badań było opracowanie modelu numerycznego opisującego elementy ścienne i stropowe szkieletowego budownictwa drewnianego (Baszeń i Miedziałowski, 2006; Miedziałowski i Baszeń, 2007). Celem weryfikacji zaproponowanego modelu przeprowadzono badania elementów ściennych i stropowych w skali naturalnej, elementy pokazano na rysunku 1. Analizowane było wyłączenie poszczególnych części składowych elementów badawczych oraz ich sztywność.



Rys. 1. Elementy testowe: a) element ścienny, b) element stropowy



Rys. 2. Fazy obciążeń elementu: a) ściennego, b) stropowego

Przeprowadzono badania na trzech elementach ściennych oraz czterech stropowych. Elementy stropowe testowane były w dwóch seriach, nieznacznie różniąc się wymiarami (Baszeń, 2004).

Elementy ścienne poddawano działaniu obciążeń zewnętrznych w płaszczyźnie testowanego elementu. W przypadku ścian przykładane były dwa obciążenia pionowe oraz poziome, natomiast w przypadku stropów tylko jedno.

Elementy stropowe, identyczne jak elementy ścienne, badano w pozycji pionowej. Taki rodzaj przeprowadzonych testów wynikał z konieczności użycia jednego stanowiska badawczego do eksperymentu. Przy takim sposobie pracy stropu pomijany był jego ciężar, a jedynym obciążeniem było obciążenie działające w płaszczyźnie, symulujące parcie wiatru.

Elementy ścienne obciążane były obciążeniem pionowym symulującym oddziaływanie ze stropu wyższej kondygnacji oraz obciążeniem poziomym symulującym parcie wiatru.

Obciążenia elementów ściennych zadawane były w trzech fazach, zaś elementów stropowych w dwóch fazach. Dwie pierwsze fazy w przypadku ścian i pierwsza faza w przypadku stropów podzielone były na dwa cykle

(stabilizacyjny i sztywności), zaś ostatnia faza obciążeń dla obu rodzajów konstrukcji, nazwana była cyklem badań wytrzymałościowych. Schemat faz obciążenia elementów ściennych prezentuje rysunek 2a, zaś obciążenia elementów stropowych rysunek 2b. Pominięcie fazy F-2 w przypadku stropów wynikało z chęci zachowania tej samej numeracji dla cyklu badań wytrzymałościowych w obu rodzajach konstrukcji.

W przypadku badań doświadczalnych elementów ściennych faza F-1 obejmowała cykle obciążeń pionowych, faza F-2 cykle obciążeń poziomych, natomiast faza F-3 równoczesne działanie obu rodzajów obciążeń. W przypadku badań eksperymentalnych elementów stropowych poddawane one były oddziaływaniu tylko jednego rodzaju obciążenia w trakcie wszystkich cykli obciążeniowych.

Obciążenie pionowe (ściany) lub obciążenie wzdłuż belek stropowych (stropy) realizowane było za pomocą dwóch siłowników skierowanych pionowo w dół.

W obu przypadkach obciążenie przekazywane było na drewniany szkielet elementu testowego za pomocą systemu stalowych przekładek, które przekazywały obciążenie z dwóch siłowników na element w postaci ośmiu sił skupionych. Rozstaw punktów przyłożenia tych

ośmiu sił skupionych był jednakowy po całej szerokości ściany i symetryczny względem pionowej osi środkowej elementu, co zapewniało symetryczność obciążenia.

5. Wyniki testów

Zgodnie z zasadami mechaniki konstrukcji, jeżeli konstrukcja jest układem symetrycznym poddanym działaniu symetrycznych obciążeń zewnętrznych, to układ sił wewnętrznych także musi spełniać warunki symetryczności lub asymetryczności (w zależności od rodzaju rozpatrywanych sił wewnętrznych). Podobna zależność pojawia się w przypadku wykresu przemieszczeń realizowanych równoległe do osi symetrii układu.

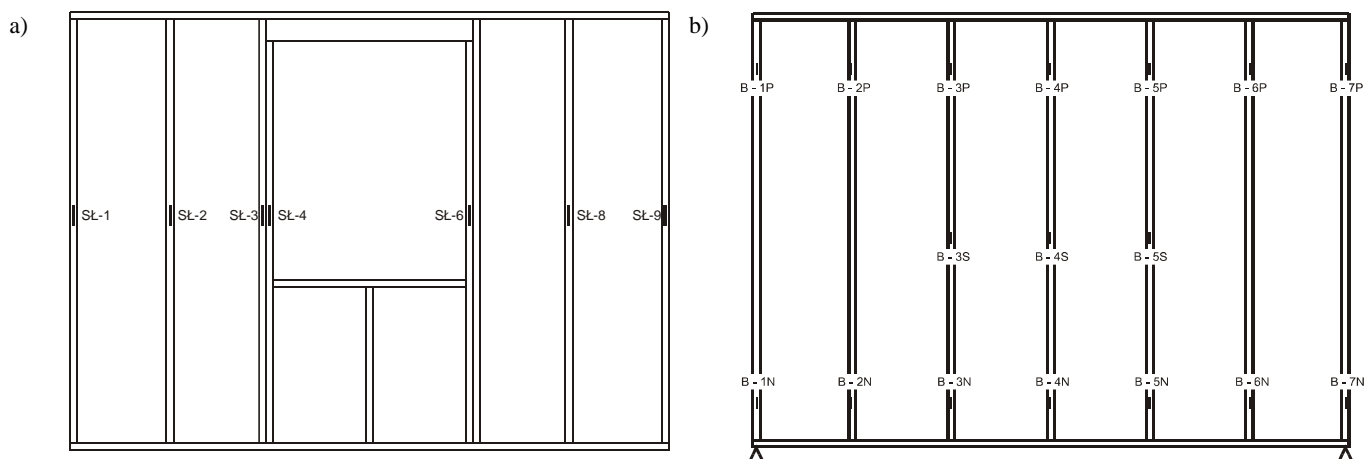
Analizowane w trakcie badań doświadczalnych (Baszeń, 204) elementy ścienne i stropowe były elementami symetrycznymi względem środkowej osi układu. Wszystkie obciążenie zadawane w przypadku elementów stropowych oraz obciążenia pionowe w przypadku ścian także były obciążeniami symetrycznymi.

Takie warunki wejściowe sugerowały, że rozkład sił wewnętrznych, w tym przypadku – naprężenia normalne, na kierunku działającego obciążenia, w słupach (ściany) lub belkach stropowych (stropy) powinien także spełniać zasadę symetrii.

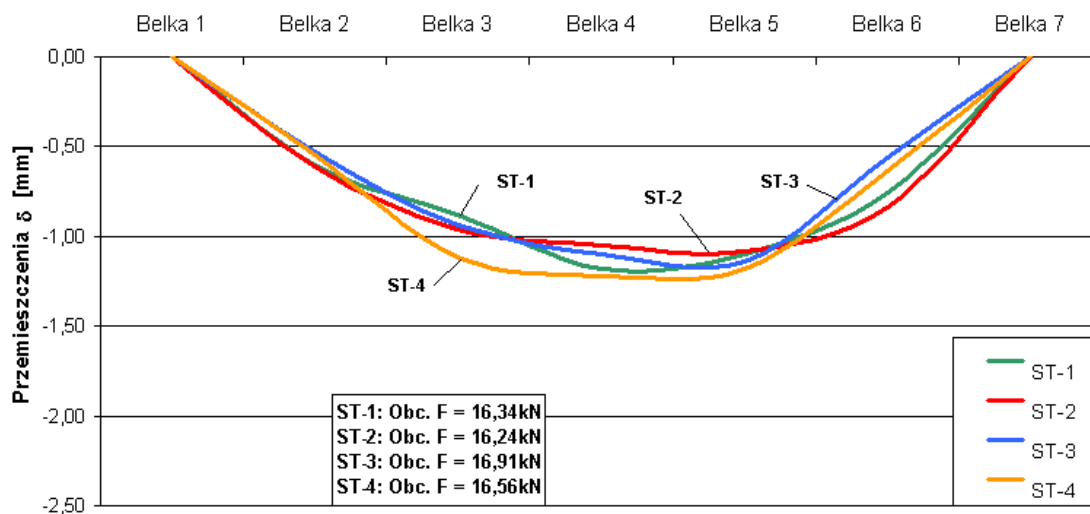
Przeanalizowane zostały wartości naprężeń normalnych w słupkach w połowie wysokości konstrukcji ściennej pod działaniem obciążenia pionowego, wartości naprężeń normalnych w belkach stropowych w $\frac{1}{4}$ ich długości patrząc od krawędzi. Dodatkowo określono wielkości przemieszczeń węzłów połączeń belek stropowych z nieobciążoną belką obwodową. Na rysunku 3a przedstawiono rozmieszczenie punktów pomiarowych na elemencie ściennym, zaś na rysunku 3b na elemencie stropowym.

Wielkości przemieszczeń krawędzi nieobciążonej stropów pokazano na rysunku 4.

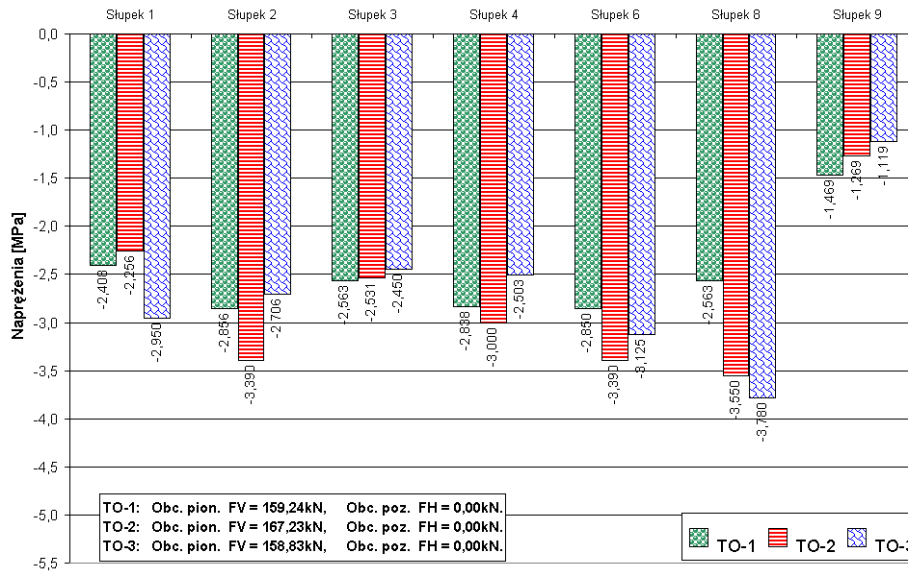
Naprężenia w słupkach elementów ściennym przedstawia rysunek 5, zaś rysunki 6 i 7 prezentują naprężenia w belkach stropowych w przekrojach przykrawędziowych.



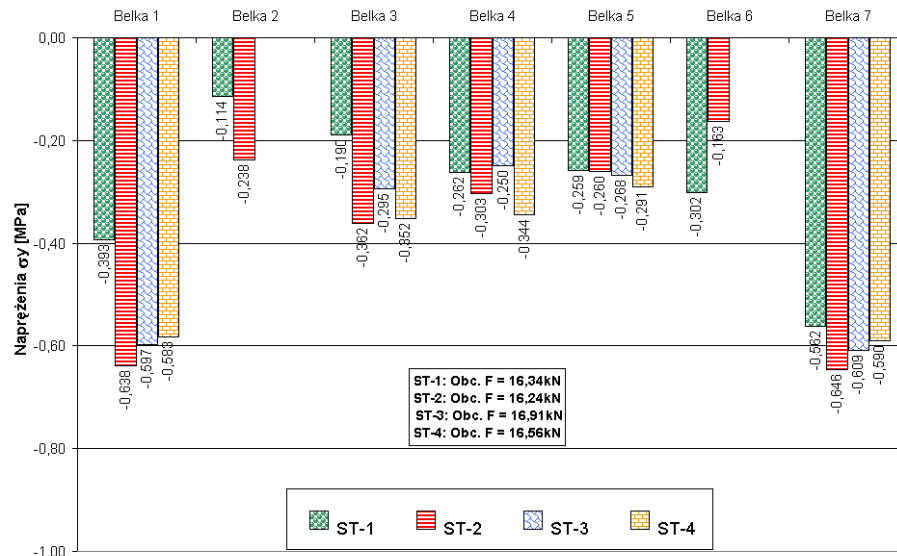
Rys. 3. Rozmieszczenie punktów pomiarowych na elemencie: a) ściennym, b) stropowym



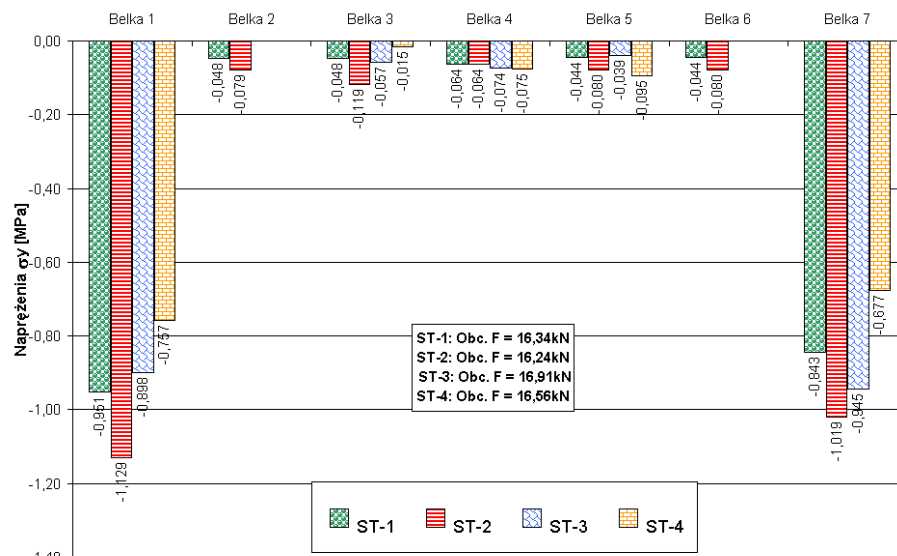
Rys. 4. Przemieszczenie węzłów belki nieobciążonej obwodowej elementów stropowych



Rys. 5. Rozkład naprężeń normalnych w poszczególnych słupkach elementów ściennych



Rys. 6. Rozkład naprężeń normalnych w belkach stropowych przy krawędzi obciążonej



Rys. 7. Rozkład naprężeń normalnych w belkach stropowych przy krawędzi nieobciążonej

6. Podsumowanie

Drewno będące bardzo popularnym budulcem jest materiałem, który charakteryzuje zmiennymi (w obszarze rozpatrywanego elementu) wartościami cech fizyko-mechanicznych. Nawet otrzymując z zakładu produkcyjnego wartości charakterystyk drewna otrzymuje się tylko wielkości średnie z danej partii, natomiast każdy element może charakteryzować się własnościami fizycznymi lub mechanicznymi dość znacznie odbiegającymi od wielkości uśrednionych.

Dobrym tego przykładem są wartości zestawione w tabelach 2 i 3 w rozdziale 3. Różnice dla poszczególnych próbek badawczych w wartościach modułów sprężystości oraz modułu odkształcalności poprzecznej w elementach ściennych sięgają 5%, zaś w przypadku elementów stropowych te różnice osiągają 10%, a w przypadku modułu G nawet przekraczają tę wartość.

Wyniki testów doświadczalnych zaprezentowane w rozdziale 5 pokazują, że ortotropia konstrukcji, która spowodowana jest zmiennością cech materiałowych i fizycznych w elemencie badawczym, powoduje że rozkład naprężeń oraz odkształceń nie jest symetryczny. Zaprezentowane wykresy wyraźnie pokazują brak symetrii mimo symetryczności zarówno konstrukcji i obciążenia, coś świadczy o zmiennych wartościach fizyko-mechanicznych elementów konstrukcji.

Można oczywiście dywagować, czy symetria obciążenia i konstrukcji nie została zaburzona w trakcie badań, jednak możliwe nieznaczące odchylenia zarówno umiejscowienia konstrukcji na stanowisku badawczym, jak również przyłożenia obciążenia zewnętrznego względem osi symetrii układu, nie mogły wpływać tak wyraźnie na dystrybucję sił wewnętrznych na poszczególne elementy składowe konstrukcji ściany lub stropu.

Wyraźne różnice w wartościach w elementach symetrycznych względem osi środkowej pokazują, że zmienne wartości własności fizykomechaniczne drewna w konstrukcji może być czynnikiem w znaczący sposób wpływającym na rozkład sił wewnętrznych. Dlatego też bardzo ważne jest pamiętanie w trakcie zarówno

projektowania, jak i montażu o tych cechach drewna, ażeby nie narazić się na niebezpieczeństwo utraty nośności przez konstrukcję w najmniej spodziewanym miejscu.

Literatura

- Baszeń M. (2004). Model obliczeniowy elementów z otworami konstrukcji szkieletowych budynków drewnianych z poszyciem wraz z weryfikacją doświadczalną. Praca doktorska, *Politechnika Białostocka* 2004.
- Baszeń M., Miedziałowski Cz. (2006). Badania elementów stropowych z otworami szkieletowych budynków drewnianych. W: *VII Konferencja Naukowa: Drewno i materiały drewnopochodne w konstrukcjach budowlanych*, Szczecin, 2006, 71-78.
- Kokociński W. (2004). Drewno. Pomiary właściwości fizycznych i mechanicznych. *Prodruck*, Poznań, 2004.
- Miedziałowski Cz., Baszeń M. (2007). Analiza numeryczna i badania drewnianych szkieletowych elementów ściennych z otworami. *Inżynieria i Budownictwo*, 1/2007, 47-49.
- Wood handbook - Wood as an engineering material. (2010). General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI: *U.S. Department of Agriculture*, Forest Service, Forest Products Laboratory. 2010, 508 p.

THE INFLUENCE OF DIVERSITY OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF WOOD ON THE STRESS DISTRIBUTION IN STRUCTURAL ELEMENTS

Abstract: The influence of physical and mechanical properties of wood on the stress distribution and joint displacements in the wall and floor elements in the light wood framed structures was presented in this paper. There were presented stress values and displacement of construction obtained during the experimental tests in Białystok Technical University, as well the values of physical and mechanical properties of wood used in the analyzed structures.

Pracę wykonano w ramach realizacji pracy własnej W/WBIS/9/09 realizowanej w Politechnice Białostockiej

OSIADANIA STÓP FUNDAMENTOWYCH NA PIASKACH

Katarzyna DOŁŻYK*

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

Streszczenie: W pracy przedstawiono zagadnienie osiadań stóp fundamentowych na piaskach. Wartości osiadań oszacowano stosując wzory otrzymane z teorii sprężystości, przyjmując wartości modułu sprężystości z normy PN-81/B-03020 i otrzymane teoretycznie. Dla piasków kwarcowych moduł sprężystości zależy od wskaźnika porowatości (stopnia zagęszczenia) i poziomu naprężeń. Norma PN-81/B-03020 nie uwzględnia zależności modułu sprężystości od poziomu naprężeń (wielkości stopy). Otrzymane osiadania stóp odpowiadające wartościom teoretycznym modułu sprężystości są znacząco niższe od wartości odpowiadających wartościom normowym modułów dla dużych stóp fundamentowych posadowionych na średnich i grubych piaskach w stanie luźnym oraz średnio zagęszczonym. Stosując inżynierskie sposoby obliczeń osiadań stóp bardziej realne wartości otrzymamy określając moduły sprężystości piasków teoretycznie niż stosując wartości normowe.

Słowa kluczowe: stopy fundamentowe, piaski, osiadania stóp.

1. Wprowadzenie

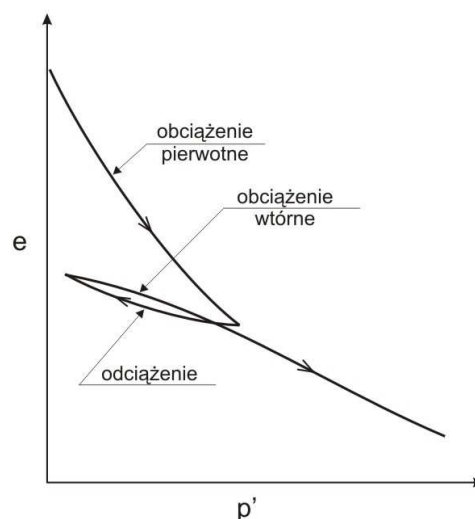
Rozwój budownictwa komunikacyjnego, w szczególności dróg szybkiego ruchu, powoduje znaczne zwiększenie ilości budowanych obiektów inżynierskich. Jednym z podstawowych typów obiektów są wiadukty drogowe. W większości przypadków wiadukty drogowe są ciągłymi belkami wieloprzęsłowymi zakrzywionymi w planie. Są to zatem konstrukcje statycznie niewyznaczalne, „czułe” na nierównomierne osiadania podpór. Projektanci, aby ograniczyć nierównomierność osiadania podpór stosują posadowienia głębokie (pale). Badania amerykańskie dowodzą, że w wielu przypadkach posadowienie głębokie może być zastąpione posadowieniem bezpośrednim, co z ekonomicznego punktu widzenia jest bardzo racjonalne.

W pracy przedstawiono prostą metodykę obliczeń osiadań stóp fundamentowych posadowionych na piaskach i pokazano, że osiadania są mniejsze od osiadań otrzymanych dla normowych parametrów odkształceniowych piasków.

2. Parametry odkształceniowe piasków

Typową zależność zmian wskaźnika porowatości (e), odkształceń objętościowych gruntu od zmian efektywnego ciśnienia hydrostatycznego (p') pokazano na rysunku 1. Można przyjąć, że grunt zachowuje się sprężysto przy odciążeniu i wtórnym obciążeniu. Przy obciążeniach

pierwotnych wzrost naprężeń wywołuje, oprócz wzrostu odkształceń sprężystych również odkształcenia nieodwracalne (plastyczne). W obliczeniach osiadań fundamentów bezpośrednich z reguły posługujemy się teorią sprężystości. W teorii sprężystości ośrodków izotropowych występują dwa parametry materiałowe: moduł sprężystości E i współczynnik Poissona ν . Dla gruntów mineralnych $0,2 > \nu > 0,4$ według PN-81/B-03020 *Posadowienie bezpośrednie budowli*.



Rys. 1. Typowa zależność $e - p'$ przy zmianach efektywnego ciśnienia hydrostatycznego

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

Moduł pierwotnego (ogólnego) odkształcenia gruntu oznacza się jako E_o , zaś moduł wtórnego (sprężystego) jako E (PN-81/B-03020). Zgodnie z teorią sprężystości można napisać

$$E = 2(1 + \nu)G \quad (1)$$

gdzie G jest modułem ścinania. Dla gruntów zmiany odkształceń objętościowych ($d\varepsilon_v$) są funkcją zmian wskaźnika porowatości (de) (Dołżyk i Szypcio, 2008).

$$d\varepsilon_v = -\frac{de}{1+e} \quad (2)$$

Badania prędkości rozchodzenia się fal w gruntach (Richart i in., 1970) wskazują, że moduł ścinania może być wyrażony równaniem

$$G = A p_a f(e) (p/p_a)^\alpha \quad (3)$$

gdzie A i α są parametrami materiałowymi gruntu, $f(e)$ jest funkcją wskaźnika porowatości, zaś p_a ciśnieniem atmosferycznym ($p_a = 1000$ kPa).

Dla piasków kwarcowych można przyjmować $\alpha = 0,05$ zaś

$$f(e) = \frac{(a-e)^2}{1+e} \quad (4)$$

gdzie $a = 2,17$ dla piasków o regularnych ziarnach i $a = 2,97$ dla piasków o nieregularnych kształtach ziaren (Richart i in., 1970).

Z analizy dostępnych w literaturze naukowej wyników badań laboratoryjnych piasków kwarcowych o nieregularnych kształtach ziaren (Toyoura, Karlsruhe, Ottawa, Sacramento River, Oxnard i innych) wynika, że dla obciążeń pierwotnych można przyjmować $A = 50$, zaś dla obciążeń wtórnych $A = 100 \div 110$. Zatem w przypadku obciążeń pierwotnych możemy zapisać moduł pierwotny (ogólny) piasków kwarcowych równaniem

$$E_o = 2(1 + \nu)50 p_a \frac{(2,97 - e)^2}{1+e} (p/p_a)^{0,5} \quad (5)$$

3. Osiedzenia stóp fundamentowych

W obliczeniach inżynierskich osiadań fundamentów bezpośrednich stosuje się z reguły teorię sprężystości (Mayne i Poulos, 1999; Bowles, 1996). Zgodnie z teorią sprężystości osiadanie (s) punktu centralnego wiotkiej stopy fundamentowej może być wyrażone równaniem

$$s = q B \frac{1-\nu^2}{E} \left(I_1 + \frac{1-2\nu}{1-\nu} I_2 \right) I_F \quad (6)$$

gdzie q jest średnim jednostkowym obciążeniem przekazywanym przez podstawę stopy na podłoże, B jest szerokością stopy, zaś I_1 , I_2 , I_F są współczynnikami zależnymi od kształtu stopy (L/B), grubości warstwy odkształcalnej, głębokości posadowienia D i wartości współczynnika Poissona ν (Bowles, 1996). W przypadku

wiotkiej stopy kwadratowej posadowionej na głębokości $D = 0,5B$ na półprzestrzeni sprężystej o współczynniku Poissona $\nu = 0,3$ do obliczeń osiadań środka stopy należy przyjmować: $I_1 = 0,560$, $I_2 = 0$, $I_F = 0,775$ (Bowles, 1996).

Zgodnie z normą PN-81/B-03020 do obliczeń osiadań przyjmujemy

$$q = q_u/1,2 \quad (7)$$

gdzie q_u jest granicznym naprężeniem.

W przypadku stopy kwadratowej obciążonej osiowo posadowionej na piaskach zgodnie z PN-81/B-03020 można napisać

$$q_u = \frac{Q_f}{L B} = 2,5 N_D \gamma_D^{(r)} D + 0,75 N_B \gamma_B^{(r)} B \quad (8)$$

gdzie $\gamma_D^{(r)}$ i $\gamma_B^{(r)}$ są wartościami obliczeniowymi odpowiednio ciężarów objętościowych zasypki i gruntu w podłożu.

$$N_D = e^{\pi t g \Phi^{(r)}} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\Phi^{(r)}}{2} \right) \quad (9a)$$

$$N_B = 0,75 (N_D - 1) t g \Phi^{(r)} \quad (9b)$$

gdzie $\Phi^{(r)}$ jest wartością obliczeniową kąta tarcia wewnętrznego.

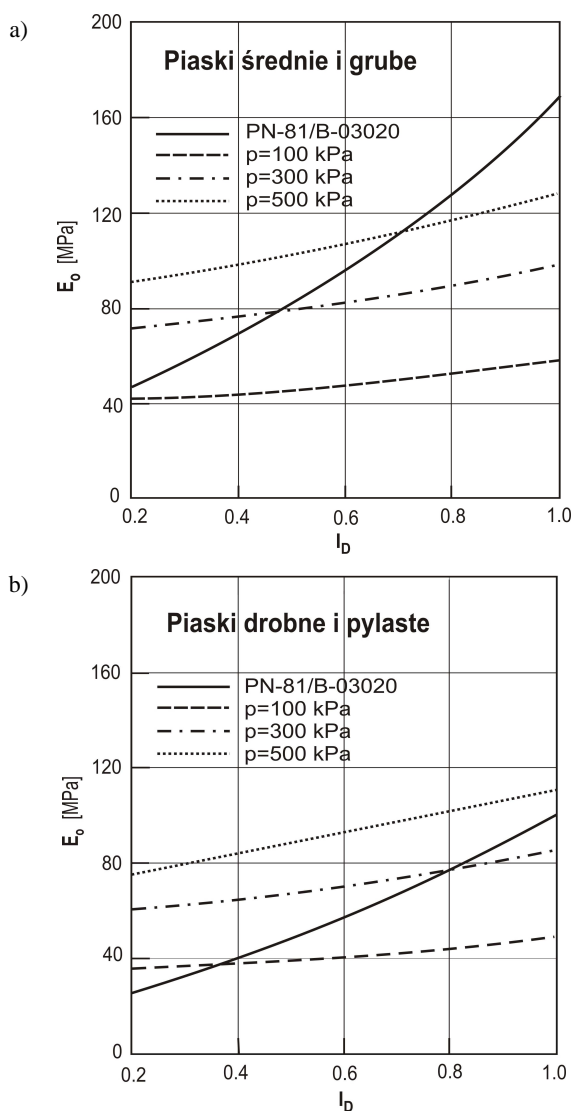
Moduł E jest funkcją wskaźnika porowatości (e) i efektywnego ciśnienia hydrostatycznego (p'). Zgodnie z definicją stopnia zagęszczenia (I_D), wskaźnik porowatości jest wyrażony wzorem:

$$e = e_{\max} - I_D (e_{\max} - e_{\min}) \quad (10)$$

gdzie e_{\max} , e_{\min} są odpowiednio maksymalnymi i minimalnymi wartościami wskaźnika porowatości gruntu niespoistego. Badane w pracy Szypcio (2004) piaski drobne i pyłaste miały średnią wartość $e_{\max} = 0,85$, $e_{\min} = 0,55$, zaś piaski średnie i grube odpowiednio: $e_{\max} = 0,75$, $e_{\min} = 0,45$.

Na rysunku 2 pokazano normowe wartości modułów E_o piasków oraz policzone wartości modułów z równania (5) dla $p = 100$; 300 i 500 kPa.

Dla piasków drobnych i pyłastych w większości przypadków wartości modułów otrzymane z równania (5) są większe od normowych, zaś dla piasków średnich i grubych wartości otrzymane z równania (5) są większe dla małych wartości I_D , a mniejsze dla dużych wartości I_D .



Rys. 2. Moduł sprężystości piasków: a) piaski średnie i grube, b) piaski drobne i pylaste

4. Przykład

Stopa kwadratowa o wymiarach $B = 1; 2$ i 3 m jest obciążona osiowo i posadowiona na głębokości $D = 0,5; 1,0; 1,5$ m (stosunek $D/B = 0,5$). Poziom wód gruntowych jest niski i nie wpływa na rozwiązanie. Do obliczeń obciążenia q korzystano z równania (7). Wartości średniego efektywnego ciśnienia określono z równania:

$$p = \frac{1}{3} (1 + 2 K_o) q \quad (11)$$

gdzie

$$K_o = 1 - \sin \Phi^{(n)} \quad (12)$$

jest współczynnikiem rozporu bocznego. Wartość ciśnienia hydrostatycznego (p) obliczona z równania (11) jest wartością ciśnienia w poziomie posadowienia przy założeniu osiowej symetrii. Takie założenie dla stopy kwadratowej obciążonej osiowo jest w pełni uzasadnione.

W miarę wzrostu głębokości, wartości naprężeń dodatkowych maleją, a wartości naprężeń pierwotnych rosną, zatem w obliczeniach osiadań moduł odkształcenia E_o policzony z równania (5) oznaczono jako E_o^* dla wartości (p) określonych z równania (11).

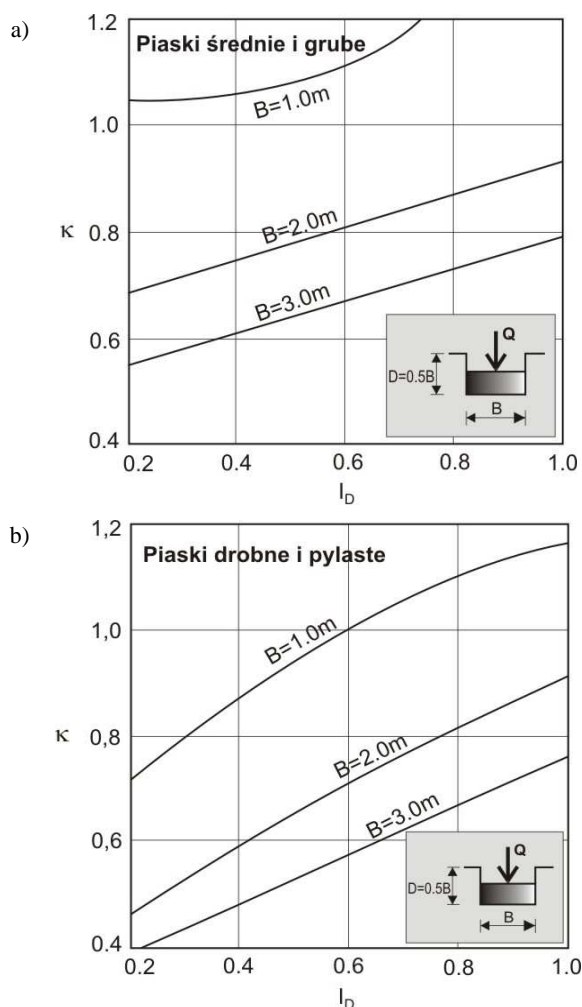
Wartości osiadań obliczone dla wartości modułów policzonych z równania (5) oznaczono jako s^* , a odpowiednie wartości osiadań policzone z równania (6) dla normowych wartości modułów E_o jako s .

Jako

$$\kappa = s^*/s \quad (13)$$

oznaczono iloraz s^*/s obrazujący różnicę osiadań otrzymane dla wartości modułów E_o policzonych z równania (5) i wartości normowych.

Przyjęte do obliczeń parametry piasku i policzone wartości: q , E_o , s , s^* i κ pokazano w tabeli 1. Zależność wartości κ od I_D dla piasków średnich i grubych przedstawiono na rysunku 3a, a dla piasków drobnych i pylastych na rysunku 3b.



Rys. 3. Wartości κ dla stóp kwadratowych: a) piaski średnie i grube, b) piaski drobne i pylaste

Tabela 1. Zestawienie wartości parametrów i osiadań piasków

Piaski średnie i grube									
Wielkość	$I_D = 0,3$			$I_D = 0,6$			$I_D = 0,8$		
	B [m]			B [m]			B [m]		
	1,0	2,0	3,0	1,0	2,0	3,0	1,0	2,0	3,0
$\gamma^{(n)}$ [kN/m ³]	16,5	16,5	16,5	17,0	17,0	17,0	18,0	18,0	18,0
$\Phi^{(n)}$ [°]	31,8	31,8	31,8	33,6	33,6	33,6	35,0	35,0	35,0
p [kPa]	193,1	386,3	579,3	284,3	568,6	854,0	347,3	783,2	1042,0
E_o [MPa]	58,0	58,0	58,0	96,0	96,0	96,0	127,0	127,0	127,0
E_o^* [MPa]	55,6	78,6	96,2	80,4	113,7	139,4	97,5	145,8	168,2
s [m]	0,26	1,04	2,30	0,19	0,78	1,70	0,17	0,66	1,49
s^* [m]	0,20	0,55	1,01	0,195	0,55	1,01	0,19	0,55	1,01
κ	0,80	0,53	0,44	1,03	0,71	0,59	1,12	0,83	0,68
Piaski drobne i pylaste									
Wielkość	$I_D = 0,3$			$I_D = 0,6$			$I_D = 0,8$		
	B [m]			B [m]			B [m]		
	1,0	2,0	3,0	1,0	2,0	3,0	1,0	2,0	3,0
$\gamma^{(n)}$ [kN/m ³]	16,0	16,0	16,0	16,5	16,5	16,5	17,0	17,0	17,0
$\Phi^{(n)}$ [°]	29,0	29,0	29,0	31,0	31,0	31,0	32,0	32,0	32,0
p [kPa]	146,8	294,0	441,0	176,0	352,0	528,0	204,0	408,0	612,0
E_o [MPa]	33,0	33,0	33,0	58,0	58,0	58,0	78,0	78,0	78,0
E_o^* [MPa]	43,7	61,9	75,8	54,7	77,3	94,7	64,3	90,9	111,3
s [m]	0,19	0,78	1,74	0,19	0,77	1,33	0,18	0,71	1,60
s^* [m]	0,20	0,56	1,03	0,20	0,62	1,14	0,23	0,61	1,18
κ	1,05	0,72	0,59	1,05	0,81	0,67	1,27	0,86	0,74

5. Podsumowanie

Wartości modułów ogólnych piasków podane w normie PN-81/B-03020 są niezależne od wartości naprężeń (wielkości fundamentu). Wartości modułów otrzymane z badań laboratoryjnych i polowych dobrze opisane równaniem (5) zależą od wskaźnika porowatości (stopnia zagęszczenia) piasku i wielkości naprężeń p .

W przypadku większości stóp fundamentowych, zaprojektowanych racjonalnie z warunków nośności, osiadania policzone dla wartości modułów normowych są znacząco większe od osiadań otrzymanych dla modułów policzonych z równania (5). Jedynie w przypadku piasków średnich i grubych dla małych stóp fundamentowych wartości osiadań są zbliżone. Korzystając z programów komputerowych do projektowania fundamentów bezpośrednich należy mieć na uwadze, że normowe wartości modułów odkształcenia gruntów mogą znacznie różnić się od wartości rzeczywistych.

Literatura

- Bowles J.F. (1996). Foundation analysis and design. *McGraw-Hill Publishing Company*, New York, 1996.
- Dołżyk K., Szypcio Z. (2008). Odkształcenia sprężyste ośrodków rozdrobnionych. W: Problemy naukowo-badawcze budownictwa. Tom: Badawczo-projektowe zagadnienia w budownictwie. (red. A. Łapko, M. Broniewicz, J.A. Prusiel), *Wyd. Politechniki Białostockiej*, Białystok, 2008, 395-402.
- Mayne P.W., Poulos H. G. (1999). Approximate displacement influence factors for elastic shallow foundations. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol.125, No. 6, 453-460.
- Richart F.E., Hall J.F., Woods R.D. (1970). Vibrations of soils and foundations. *Princeton-Hall Inc.*, Inglewood Cliffs, New Jersey, 1970.
- Szypcio Z. (2004). Wpływ zagęszczenia, wielkości i kształtu fundamentu na nośność graniczną piasków. Projekt badawczy KBN nr 8 T07E 01021, *Politechnika Białostocka*, 2004.

SETTLEMENTS OF PAD FOOTINGS ON SANDS

Abstract: This paper aim to present the problem of pad footing settlement on sands. Using the empirical procedure, the settlement of pad footing is a function of Young's modulus. In this paper two values of Young's modulus are used, one value is taken from PN-81/B-03020 and the other one is obtained from theoretical equation. The value of Young's modulus obtained from the theoretical equation is a function of void ratio (e) and the level of stress (size of foundation). The value of Young's modulus shown in PN-81/B-03020 is a function of density index (I_D), but is independent of stress

level. This paper shows that settlement of pad footing on sand is much less if theoretical value of Young's modulus is used in calculation, especially for a big pad footing on loose or medium compacted coarse and medium sands. So, if theoretical value of Young's modulus is used, the calculated value of pad footing settlement is more realistic.

Pracę wykonano w Politechnice Białostockiej w ramach Pracy Statutowej nr S/WBiŚ/5/10

ZAPRAWY I BETONY NA KRUSZYWIE RECYKLINGOWYM STOSOWANE W BUDYNKACH INWENTARSKICH

Dorota DWORZAŃCZYK*

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

Streszczenie: W pracy zamieszczono badania zapraw i betonów cementowych na kruszywie z recyklingu z możliwością zastosowania ich na posadzki w budynkach inwentarskich oraz opisano badania derywatograficzne tych zapraw i betonów. Omówiono korozję w budynkach inwentarskich oraz przedstawiono aparaturę badawczą i jej możliwości badawcze. Uzyskano betony na kruszywie z recyklingu betonowego, które pod względem wytrzymałości spełniają wymagania klas C 30/37 i C 35/45.

Słowa kluczowe: zaprawa cementowa, beton, kruszywo z recyklingu, badania derywatograficzne.

1. Obiekty inwentarskie

Powodem degradacji większości rolniczych obiektów budowlanych jest ich niska jakość, brak bieżącej konserwacji i napraw, złe odwodnienie oraz destrukcyjny wpływ warunków atmosferycznych i środowiska, w którym pracują. Rozwiązaniem powyższych problemów jest wykonanie obiektu budowlanego we właściwej jakości i technologii. Decyzja o inwestycji budowlanej w produkcji zwierzęcej należy do bardzo kosztownych. W interesie rolników jest, zatem wybór takiego projektu konstrukcyjnego, technicznego i technologicznego, który da możliwość uzyskania poprawnych warunków utrzymania zwierząt i jednocześnie uwzględni wszystkie wymogi formalno-prawne. Trafność decyzji jest jeszcze o tyle utrudniona, że nowy budynek inwentarski, adaptacja oraz modernizacja starych obiektów wykonuje się z perspektywą kilkudziesięcioletnią. Wymagania techniczne i technologiczne budynków inwentarskich obejmują: system utrzymania zwierząt, system żywienia, transportu i zadawania paszy oraz system usuwania odchodów.

W zależności od zastosowanej technologii produkcji trzody chlewnej dzielimy ją na dwa podstawowe rodzaje:

- ściółkową tj. o podłogach betonowych wyściełanych słomą, o posadzkach samooczyszczających się, o dużym, 8-10% kącie nachylenia,
- bez ściółkową tj. o podłogach szczelinowych lub częściowo szczelinowych. W przypadku utrzymania trzody bez ściółki wymagana jest odpowiednia szerokość otworów i beleczek w podłodze.

Utrzymanie prawidłowego mikroklimatu w budynkach inwentarskich jest jednym z podstawowych warunków właściwego chowu i hodowli bydła, na który składa się: temperatura, wilgotność względna powietrza, wentylacja i prędkość powietrza, koncentracja gazów, stopień zapylenia. Optymalna wilgotność względna powietrza w budynkach i pomieszczeniach inwentarskich powinna wynosić 60 - 80%.

Prawo budowlane zawiera ogólne wytyczne związane z usytuowaniem budowli rolniczych i projektu zagospodarowania działki lub terenu, które powinny być zgodne z decyzją o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu. Szerokość zorganizowanych ciągów dojazdowych do budowli rolniczych powinna wynosić, co najmniej 3 m. Budynki inwentarskie nie mogą (w myśl przepisów) bezpośrednio sąsiadować z budynkami mieszkalnymi, należy zachować odległość minimum 4 m od granicy działki, a w przypadku, gdy budynek jest wyposażony w dach mogący rozprzestrzeniać ogień odległość ta powinna wynieść minimum 12 m. Budynki inwentarskie powinny zapewniać zwierzętom odpowiednią ochronę przed niekorzystnymi warunkami atmosferycznymi, być łatwe w czyszczeniu i dezynfekcji. Jednym z najtrudniejszych problemów do rozwiązania przy produkcji zwierzęcej, jest usuwanie obornika (Rutczyński, 2007).

Do dziś znajdują zastosowania prymitywne składowiska (składowanie obornika bezpośrednio na gruncie), które według norm powinny spełniać określone wymagania i ulec modernizacji.

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: d.dworzanczyk@pb.edu.pl

2. Skład obornika

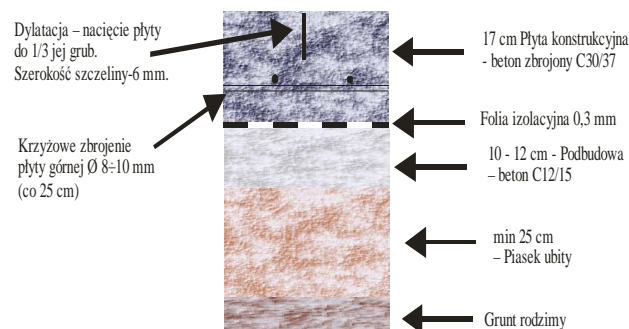
Niezwykle duże zagrożenie dla trwałości konstrukcji budowlanej stanowi skład chemiczny obornika. W skład gnojowicy wchodzi m.in.: amoniak (zawartość od 250 mg/dm³ do 4100 mg/dm³), siarczany (150-940 mg/dm³), chlorki (550-1030 mg/dm³) oraz agresywny dwutlenek węgla (2860-5000 mg/dm³), jej poziom pH waha się między 6,8 a 8,1. Proces korozji przyspiesza również temperatura towarzysząca zakwaszeniu, osiągająca wartość od 50°C do 70°C. Takie warunki są przede wszystkim niebezpieczne dla betonu cementowego, będąc przyczyną niszczenia jego struktury. Najbardziej wrażliwy na niszczenie jest zaczyn cementowy, z uwagi na swój skład mineralogiczny. Podczas przepływu przez beton cieczy agresywnych przemiany destrukcyjne zachodzą w wyniku reakcji składników zaczynu: wodorotlenku wapnia i glinianów wapniowych, a następnie krzemianów wapniowych. Powolne wymywanie z nich wapnia prowadzi do całkowitego zniszczenia struktury zaczynu. Wiele niebezpieczeństw grozi również powierzchniom betonowym i stalowym w magazynach nawozów mineralnych. Sól Candlotá, powoduje korozję rozsadzającą, elektrolity powstałe w roztworach wodnych, przyspieszają korozję elektrochemiczną metali. Części betonowe konstrukcji budynków inwentarskich oraz budowli im towarzyszących zagrożone są szybko postępującą korozją. Dla betonów w budownictwie rolniczym należy, zatem przyjmować klasę ekspozycji XA2 lub XA3 (agresja chemiczna) oraz XF3 (agresywne oddziaływanie zamarzania/odmarzania). Dla tak zdefiniowanego zagrożenia określone są skład oraz właściwości betonu. Minimalna klasa betonu, to dla ekspozycji XA2 i XF3 jest C30/37, a dla XA3 – C35/45. Ponadto dla zbiorników i płyt obornikowych wymaga się wysokiej wodoszczelności W6 lub W8. Na rysunku 1

przedstawiono przykładowy przekrój przez konstrukcję płyty obornikowej.

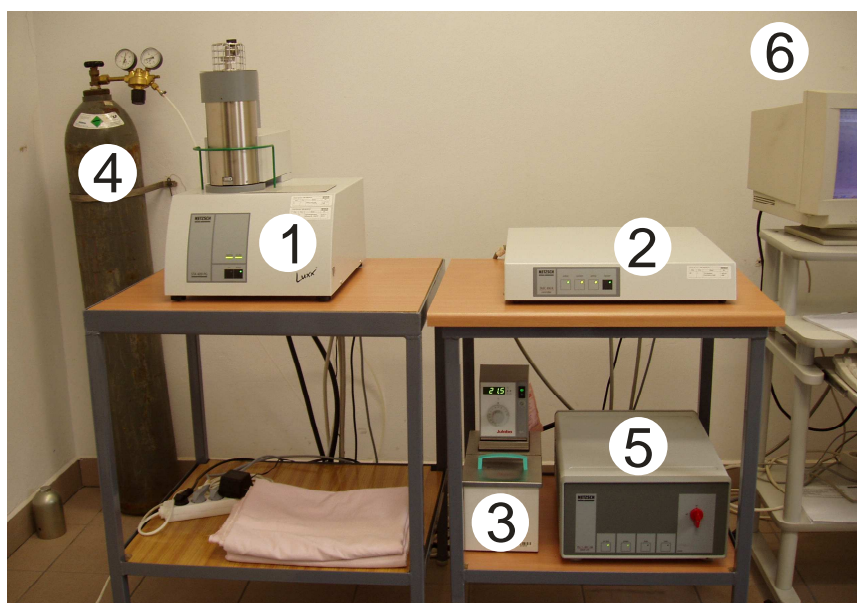
3. Badania strukturalne zapraw i betonów - analiza termiczna: DTG, DTA, TG

Badania strukturalne materiałów wykorzystywanych w budynkach inwentarskich mają duże znaczenie ze względu na to, że mogą dać wskazówki pozwalające określić stan pogorszenia jakości materiału i ewentualne zagrożenia konstrukcji np. w przypadku starzenia, czy pracy w agresywnym środowisku. Badania strukturalne, do których należą badania derywatograficzne (analiza termiczna) mogą dać wskazówki, co do „stanu zdrowia” betonu czy zapraw np. w przypadku destrukcji posadzek w budynkach inwentarskich. Instrukcja 363/99 Instytutu Techniki Budowlanej określa przykładowo oznaczenia struktury stwardniałych podkładów podłogowych na podstawie badań instrumentalnych (ITB, 1999).

Na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Białostockiej znajduje się pracownia badań strukturalnych wyposażona w stanowisko do badań derywatograficznych, które przedstawia rysunek 2.



Rys. 1. Konstrukcja płyty obornikowej



Rys. 2. Stanowisko do badań derywatograficznych: 1 – piec, 2 – jednostka sterująca, 3 – termostat, 4 – butla z N₂, 5 – układ zasilania, 6 – stanowisko z oprogramowaniem do zbierania danych

4. Przykładowe wyniki badań wybranych zapraw cementowych i zaczynów wyseparowanych z betonu na kruszywie z recyklingu

Badania wykonano z zastosowaniem cementu CEM II A-V 42,5N. Zakres obejmował badania normowe oraz badania własne. Próbki zapraw cementowych wykonano na bazie piasku zwykłego. Cementy pucolanowe dają wzrost wytrzymałości w dłuższym okresie dojrzewania. Badania przeprowadzone na zaprawach cementowych dotyczyły określenia wpływu domieszki upłynniającej na wybrane cechy fizyczne i mechaniczne. Zastosowano domieszkę, która jest roztworem kompozycji na bazie modyfikowanej siarczanowanej żywicy melaminowo-formaldehydowej. Stosuje się ją w ilościach od 0,5% do 3% w stosunku do masy cementu. Stosowanie tego typu domieszek upłynniających pozwala zmniejszyć zużycie cementu o 10÷20%, przy zachowaniu początkowej wytrzymałości betonu. W efekcie stosowania domieszki następuje zwiększenie szczelności tworzywa, zmniejszenie porowatości i w konsekwencji poprawienie odporności na działanie substancji agresywnych, lepsza

mrozoodporność i odporność na środki odladzające, poprawa odporności na ścieranie, lepsza przyczepność betonu nowego do starego. Dodatkowo badania wykonano na dwóch składach mieszanek betonowych o różnej zawartości kruszywa z recyklingu (0%, 50%). Skład zaprojektowano metodą znanego zaczynu przy zachowaniu stałej konsystencji i stałej ilości cementu (Bołtryk i in., 2007).

Procentowy udział wybranych składników cementów portlandzkich oraz zapraw cementowych przedstawiono w tabelach 1 i 2. Tabela 3 przedstawia zawartości wybranych składników w zaczynach cementowych wyseparowanych z kruszywa wtórnego oraz z betonu na kruszywie wtórnym (Jarmontowicz i in., 1983; Dworzańczyk, 2006).

Derywatogramy przykładowych badań zaprawy cementowej na cemencie CEM IIAV 42,5N oraz zaczynu cementowego w betonie na kruszywie z recyklingu przedstawiają rysunki 3 i 4 (Dworzańczyk, 2006; Bołtryk i in., 2007).

Tabela 1. Udział wybranych składników w badanych cementach

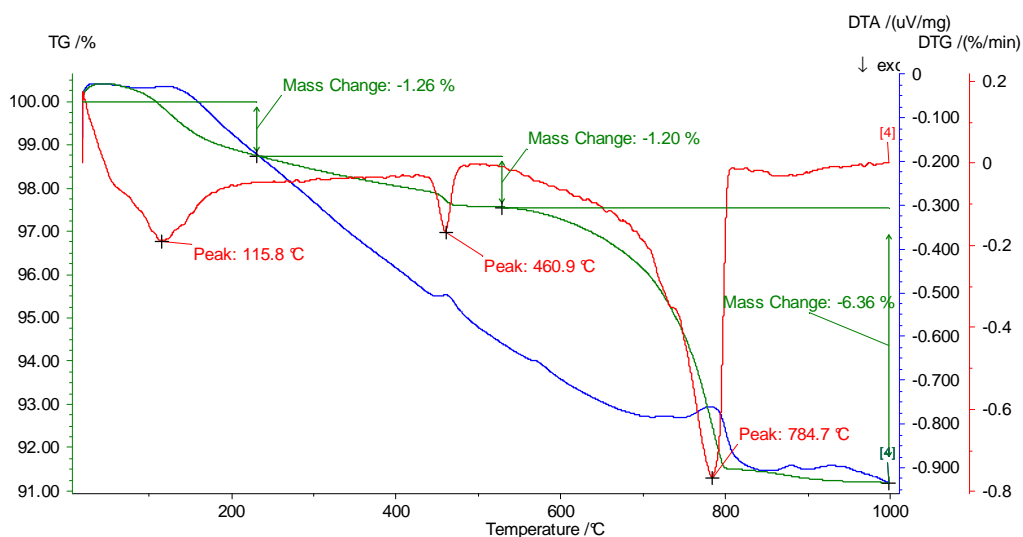
Rodzaj cementu	Składniki cementu [%]					
	woda związana			Ca(OH) ₂	CaCO ₃	straty prażenia
	H _I	H _{CH}	Σ			
CEM I 32,5R	0,39	0,28	0,67	1,15	2,18	1,16
CEM II A-V 42,5N	0,63	0,78	1,41	3,20	4,83	3,54

Tabela 2. Udział wybranych składników w badanych zaprawach cementowych

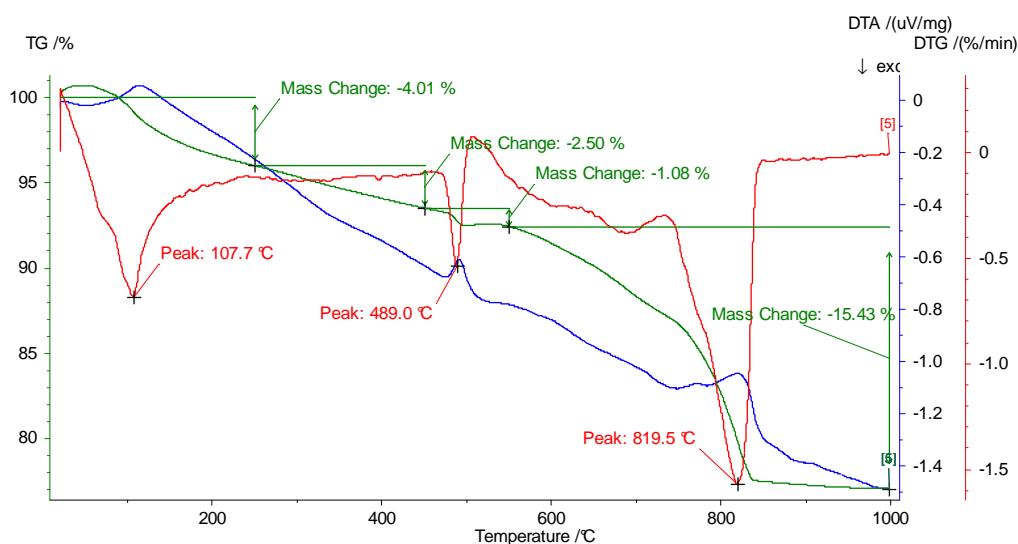
Rodzaj cementu	Składniki zaprawy [%]				
	woda związana			Ca(OH) ₂	straty prażenia
	H _I	H _{CH}	Σ		
CEM II A-V 42,5N bez domieszki	1,26	1,20	2,46	4,93	8,82
CEM II A-V 42,5N z domieszką	2,03	1,23	3,26	5,05	9,75

Tabela 3. Zawartość wybranych składników w zaczynach cementowych wyseparowanych z kruszywa wtórnego oraz z betonu na kruszywie wtórnym

Nazwa	w/c	Składniki zaczynu [%]				
		woda związana			Ca(OH) ₂	CaCO ₃
		H _I	H _{CH}	Σ		
Separat zaczynu cementowego	Nieznany	4,31	2,99	7,03	30	29,90
Separat zaczynu cementowego z betonu na kruszywie wtórnym	0,52	4,47	1,87	6,34	26,08	16,65



Rys. 3. Derywatogram zaprawy cementowej na cemencie CEM IIAV 42,5N



Rys. 4. Derywatogram zaczynu cementowego w betonie na kruszywie z recyklingu

5. Wnioski

Wybrane i zaprezentowane przykładowe wyniki badań derywatograficznych pozwalają wnioskować, że betony na kruszywie z recyklingu betonowego pod względem wytrzymałości spełniają wymagania klas C 30/37 i C 35/45, a zatem pod tym względem z powodzeniem mogą być zastosowane na posadzki w budynkach inwentarskich. Natomiast znaczna ilość wodorotlenku wapnia i węglanu wapnia, w badanych próbkach wskazuje na wysoką karbonatyzację betonu.

Ponadto badana nasiąkliwość betonów z kruszywem z recyklingu jest znacznie podwyższona w stosunku do betonów na kruszywie otoczkowym. Zastosowane do betonu kruszywo wtórne posiada o 20% niższą gęstość pozorną niż kruszywo naturalne. Jego porowatość jest 14-krotnie większa a nasiąkliwość 5-krotnie większa w stosunku do kruszywa naturalnego. Natomiast badane zaprawy cementowe uzyskały wyniki wytrzymałościowe odpowiadające marce M20, niska zawartość składników

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ i CaCO_3 daje możliwości uzyskania wysokiej szczelności posadzek, którą można dodatkowo podnieść stosując preparaty hydrofobizujące. Zastosowanie domieszki upłynniającej do betonu poprawia jego porowatość, uszczelnia mieszkankę a to pozwala na zastosowanie zapraw i betonów na posadzki w budynkach narażonych na działanie agresywnego środowiska.

Literatura

- Bołtryk M., Pawluczek E., Dworżańczyk D. (2007). *Kruszywo wtórne – właściwości i zastosowanie do betonów zwykłych. Problemy naukowo-badawcze budownictwa. Tom III. Materiały, technologie i organizacja w budownictwie. PAN. Białystok.*
- Dworżańczyk D. (2006). *Analiza wpływu domieszki upłynniającej na wybrane cechy zapraw cementowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej. Budownictwo Zeszyt 27. Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej Białystok.*

Instrukcja ITB 363/99 (1999). Oznaczanie składu i struktury stwardniałych podkładów podłogowych. *Institut Techniki Budowlanej*, Warszawa.

Jarmontowicz A. (red.) (1983). Metody kompleksowych badań laboratoryjnych betonów lekkich. *Institut Techniki Budowlanej*, Warszawa.

Rutczyński J. (2007). Poradnik. Jak poprawnie wykonać płytę obornikową? *Lafarge*.

MORTARS AND CONCRETE USED IN LIVESTOCK BUILDINGS

Abstract: The paper presents a stand for thermogravimetric examinations of cement mortars and concretes. Corrosion in livestock buildings is discussed. The paper presents testing equipment, its technical specification and possibilities of the research stand. Exemplary test results of cement mortars and concretes with recycled aggregate are presented with the possibility of applying them for floors in the livestock buildings.

Pracę wykonano w ramach realizacji zadania statutowego S/WBIŚ/1/10 realizowanego w Politechnice Białostockiej.

ANALIZA STANU ŚRODOWISKA WEWNĘTRZNEGO W WYBRANYCH PRZEDSZKOLACH. Część 1: TEMPERATURA

Katarzyna GŁADYSZEWSKA-FIEDORUK*

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

Streszczenie: Aby zapewnić dzieciom odpowiednie warunki sanitarno-higieniczne w pomieszczeniach przedszkolnych należy pamiętać o częstym wietrzeniu i nie przegrzewaniu pomieszczeń. Aby zapewnić dzieciom odpowiednie warunki sanitarno-higieniczne w pomieszczeniach należy więc zapewnić właściwą wentylację. Temperatura w pomieszczeniach jest parametrem stanu powietrza najbardziej odczuwalnym przez ludzi. Decyduje ona o samopoczuciu, wydajności w pracy, zapewnia tzw. komfort cieplny. Niewłaściwa temperatura, może doprowadzić do chorób.

Badania prowadzono w trzech przedszkolach o różnej wielkości i różnej termoizolacyjności ścian zewnętrznych. Termomodernizację w poszczególnych przedszkolach wykonano w różnym czasie. Prowadzono badania jakości powietrza wewnątrz w salach przedszkolnych. W artykule przedstawiono tylko wyniki dotyczące temperatury powietrza wewnętrznego badanych przedszkoli.

Słowa kluczowe: jakość powietrza wewnętrznego, wentylacja, mikroklimat, temperatura.

1. Wstęp

Aktualnie wychowaniem przedszkolnym objętych jest w Polsce około 36% dzieci, w tym 3-5 letnich w miastach jest 42%, a na wsi 16% (według danych z 2008 roku).

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z 26 września 1997 roku w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy (Dz. U. nr 169 poz. 1650, 2003) pomieszczenia pracy i ich wyposażenie powinny zapewniać pracownikom bezpieczne i higieniczne warunki pracy. Jednym z elementów zapewnienia bezpiecznych i higienicznych warunków pracy jest obowiązek utrzymywania w pomieszczeniach pracy odpowiedniej temperatury.

Przedszkole jest również placówką dydaktyczną, gdzie przebywają dzieci oraz obiektem, gdzie pracują osoby dorosłe. Warunki wewnętrzne w pomieszczeniach powinny więc odpowiadać przepisom zarówno dotyczących dzieci (Rozporządzenie Ministra Edukacji Narodowej w sprawie rodzajów innych form wychowania przedszkolnego, warunków tworzenia i organizowania tych form oraz sposobu ich działania) jak i dla dorosłych (Rozporządzenia Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z 26 września 1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy) oraz przepisom ogólnym (Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 w sprawie warunków technicznych,

jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie wraz z późniejszymi zmianami).

Temperatura jest jednym z podstawowych parametrów powietrza wewnętrznego, który decyduje o naszym samopoczuciu, naszej wydajności, zapewnia tzw. komfort cieplny (Bogdan, 2008). Zalecane ogólnie parametry cieplno-wilgotnościowe w pomieszczeniach gwarantujące odczucie komfortu cieplnego przez ludzi (PN-83/B-03430 (wraz ze zmianą A3:2000) Wentylacja w budynkach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej. Wymagania; Rozporządzenie Ministra Infrastruktury):

- temperatura powietrza w zakresie 20-26°C;
- prędkość ruch 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% do 80%;
- średnia temperatura promieniowania cieplnego pomieszczenia utożsamiona z temperaturą zewnętrznych przegród budowlanych powinna być o 2-3° mniejsza niż temperatura otoczenia.

Optymalne temperatury uzależnione są (oprócz indywidualnych wymagań) od pory roku i aktywności fizycznej. Temperatury powietrza wewnętrznego przy jakich najlepiej się czujemy zawierają się w przedziale 18-- 24°C (PN-83/B-03430).

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

Przeprowadzone w wielu krajach badania na temat rozwoju dzieci wykazały, że dzieci uczęszczające do przedszkoli, rozwijają się lepiej emocjonalnie, intelektualnie, społecznie i werbalnie.

Wytyczne do tworzenia właściwych warunków sanitarno-higienicznych zgodnie z nowelizacją Rozporządzenia MEN w sprawie rodzajów innych form wychowania przedszkolnego, warunków tworzenia i organizowania tych form oraz sposobu ich działania (Rozporządzenie Ministra Edukacji Narodowej), precyzują wymagania stawiane powietrzu wewnętrznemu. Dotyczą one głównie temperatury w pomieszczeniach. Rozporządzenie to podaje, że należy zapewnić odpowiednią kubaturę pomieszczeń przeznaczonych na pobyt dzieci, która ma zapewnić właściwy mikroklimat.

Dzieci przebywające w placówce dłużej niż 5 godzin muszą mieć zapewnioną możliwość wypoczynku w formie leżakowania. Podczas leżakowania należy zapewnić bezpieczeństwo sanitarno-higieniczne, czyli wywietrzyć salę w celu zmniejszenia zanieczyszczeń w powietrzu.

W obiektach przeznaczonych na pobyt dzieci należy zapewnić właściwą temperaturę, wilgotność i wentylację, aby nie dopuścić do gromadzenia się chorobotwórczych mikroorganizmów. W pomieszczeniach należy zapewnić odpowiednią temperaturę – co najmniej 20°C. Temperatura w pomieszczeniu, w którym przebywają dzieci powinna być adekwatna do realizowanych zajęć – podczas zajęć niewymagających aktywności fizycznej temperatura powinna być wyższa o 2-3°C natomiast w trakcie aktywności fizycznej należy zapewnić temperaturę niższą oraz dostęp świeżego powietrza. Należy pamiętać o częstym wietrzeniu i nie przegrzewaniu pomieszczeń – zbyt wysoka temperatura prowadzi do zmniejszenia wydolności i obniża odporność organizmów dziecięcych (Rozporządzenia Ministra Edukacji Narodowej). Utrzymanie optymalnego poziomu temperatury w pomieszczeniach pozwala zaoszczędzić energię cieplną, a tym samym koszty eksploatacji obiektu i zapewnić dobry stan zdrowia osób tam przebywających.

2. Opis badanych przedszkoli

Dwa z badanych przedszkoli zostały poddane termomodernizacji. Przy pełnej termomodernizacji należałoby również zmodernizować instalację, urządzenia i dostosować powierzchnię grzejników do aktualnych potrzeb. W obu przedszkolach skupiono się na izolacji ścian i wymianie stolarki na szczelniejszą. Regulacja dopływu ciepła do pomieszczeń odbywa się poprzez zainstalowane zawory termostatyczne.

Przedszkole nr 1 (rys. 1): budynek wolnostojący. Budowany w latach 50. Remont polegał na ponownym otynkowaniu. Okna dwuszybowe, stolarka nieszczelna. Wentylacja przez wietrzenie, w okresie jesień-wiosna najczęściej wietrzenie przez rozszczelnianie okien. Przedszkole bardzo małe (Gładyszewska-Fiedoruk, 2010 a i b).

Przebadano wszystkie pomieszczenia znajdujące się w przedszkolu: korytarz1 (1), WC starszaków (2), WC maluchów i średniaków (3), szatnia maluchów (4), kuchnia (5), zmywalnia (6), przejście (korytarzyk) (7), jadalnia starszaków i średniaków (8), pokój średniaków (9), pokój starszaków (10), korytarz nr 2 (11), jadalnia maluchów (12), pokój maluchów (13).



Rys. 1. Przedszkole nr 1 (małe)

Przedszkole nr 2 (rys. 2): budynek wolnostojący. Termomodernizacja była przeprowadzona w 2008 roku. W każdym pomieszczeniu znajduje się wentylacja grawitacyjna. Dodatkowo skuteczne wietrzenie przez rozszczelnianie okien. Przedszkole średniej wielkości – 100 dzieci (Gładyszewska-Fiedoruk, 2010 b).

Przebadano pomieszczenia gdzie przebywają dzieci: korytarz parter (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).



Rys. 2. Przedszkole nr 2 (średnie)

Przedszkole nr 3 (rys. 3): budynek wolnostojący. Termomodernizacja wykonana w 2007 roku. W każdej sali wentylacja grawitacyjna. Dodatkowo wietrzenie przez rozszczelnianie okien. Podczas rozmowy z dyrektorem ustalono, że codziennie dzieci opuszczają salę i pomieszczenia poddawane są intensywnemu wietrzeniu przez 10-15 minut, niezależnie od warunków atmosferycznych. Badania jakości stanu powietrza wewnętrznego nie potwierdzają tych praktyk. Przedszkole dość duże – 200 dzieci (Gładyszewska-Fiedoruk, 2010 b).

Przebadane pomieszczenia: korytarz dół (1), Grupa I – maluchy (2), Grupa II (3) i WC (4) – maluchy, Grupa III – średniaki nieśpiące (5), Grupa V (6) i WC (7) – średniaki śpiące, Grupa VI (8) i WC (9) – starszaki, Grupa VII – zerówka (10), korytarz góra (11). Przebadano pomieszczenia w których przebywają dzieci.



Rys. 3. Przedszkole nr 3 (duże)

3. Wyniki badań i omówienie wyników pomiarów

Pomiary zostały wykonane we wszystkich salach na wysokości głowy dziecka (około 1,00-1,10 m od powierzchni podłogi) ponieważ dziecko oddycha na tej właśnie wysokości. Wszystkie pomiary prowadzono miernikami: testo435-4 oraz miernikiem do pomiaru jakości powietrza: temperaturę w zakresie 0 do $+50^{\circ}\text{C} \pm 0.3^{\circ}\text{C}$; wilgotność względną w zakresie $+2$ do $+98\% \text{RH} \pm 2\% \text{RH}$; stężenie dwutlenku węgla w zakresie $+0$ do $+10000 \text{ ppm CO}_2 \pm 100 \text{ ppm CO}_2 \pm 3\%$; ciśnienie atmosferyczne w zakresie $+600$ do $+1150 \text{ hPa} \pm 5 \text{ hPa}$.

Pomiary temperatury powietrza wewnętrznego wykonano przy średniej wartości temperatury powietrza zewnętrznego (średnia wartość temperatury – mierzona w trakcie badań) zamieszczonej w tabeli 1. W pomieszczeniach które mają tylko naturalną wentylację, parametry powietrza wewnętrznego

są w dużym stopniu zależne od parametrów powietrza zewnętrznego. Wszystkie badania temperatury powietrza wewnętrznego i zewnętrznego prowadzono rano i po południu.

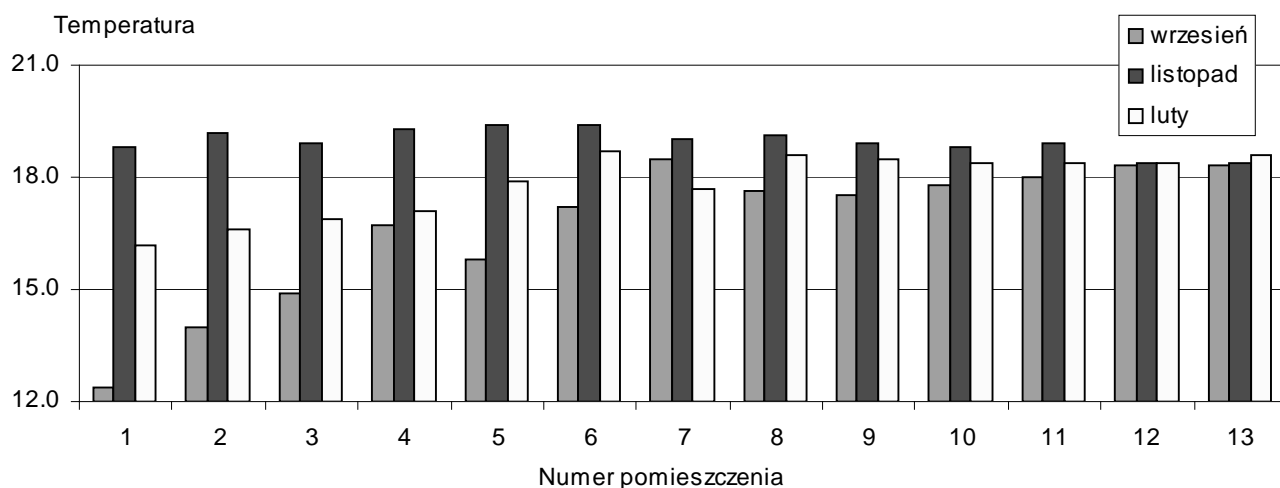
Tabela 1. Temperatura powietrza zewnętrznego

Wrzesień		Listopad		Luty	
Rano	Po południu	Rano	Po południu	Rano	Po południu
8,4 °C	13,6 °C	3,1 °C	2,6 °C	-0,5 °C	0,2 °C

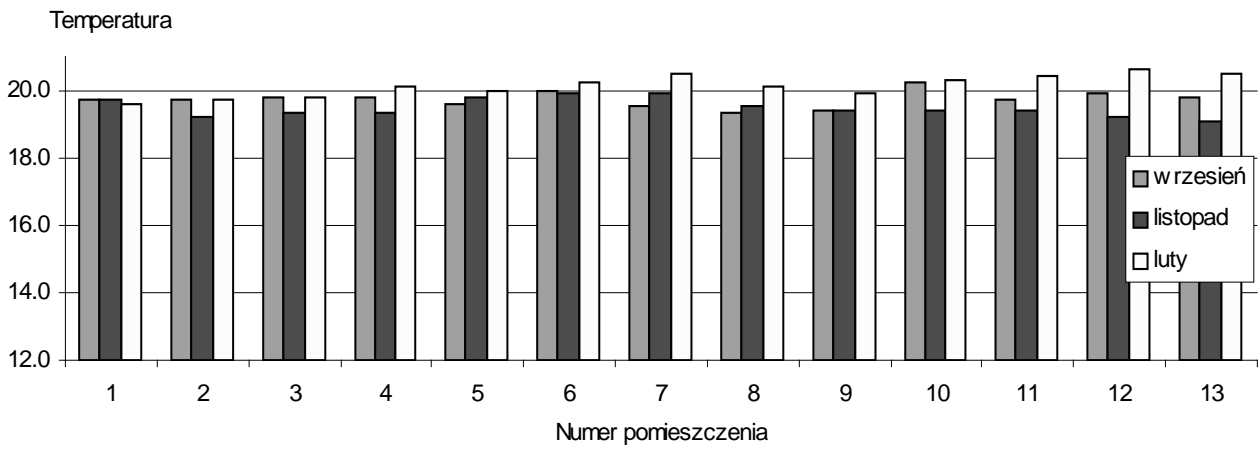
Temperatury rano – we wrześniu, we wszystkich badanych przedszkolach są na najniższym poziomie, ponieważ pomiary prowadzono przed rozpoczęciem sezonu grzewczego. Najniższe temperatury zanotowano w małym przedszkolu, rano w zakresie $12,4^{\circ}\text{C}$ - $18,4^{\circ}\text{C}$, co zostało przedstawione na rysunku 4. Powody takiego stanu są dwa. Przedszkole jest małe, więc mała liczba dzieci je ogrzewa. Po drugie jest najgorzej zaizolowane termicznie, więc najszybciej się wychładza, po południu temperatury wahały się w przedziale $19,9^{\circ}\text{C}$ - $20,6^{\circ}\text{C}$ (rys. 5).

Przedszkole średniej wielkości należałoby monitorować przez cały sezon grzewczy, ponieważ sezon w którym prowadzono badania był pierwszym sezonem po termomodernizacji i użytkownicy „uczyli się” eksploatacji obiektu na co wskazuje rysunek 6. W listopadzie nie było jeszcze włączone osłabienie nocne i temperatura rano w poszczególnych pomieszczeniach była w zakresie $20,6^{\circ}\text{C}$ - $22,4^{\circ}\text{C}$. Po ustawieniu osłabienia nocnego w lutym temperatury rano wahały się w zakresie $19,2^{\circ}\text{C}$ - $20,7^{\circ}\text{C}$ w różnych pomieszczeniach. Po południu (rys. 7) temperatura jak we wszystkich badanych przedszkolach uzależniona była od liczby dzieci i ich aktywności fizycznej i wahała się w zakresie $19,8^{\circ}\text{C}$ - $22,9^{\circ}\text{C}$.

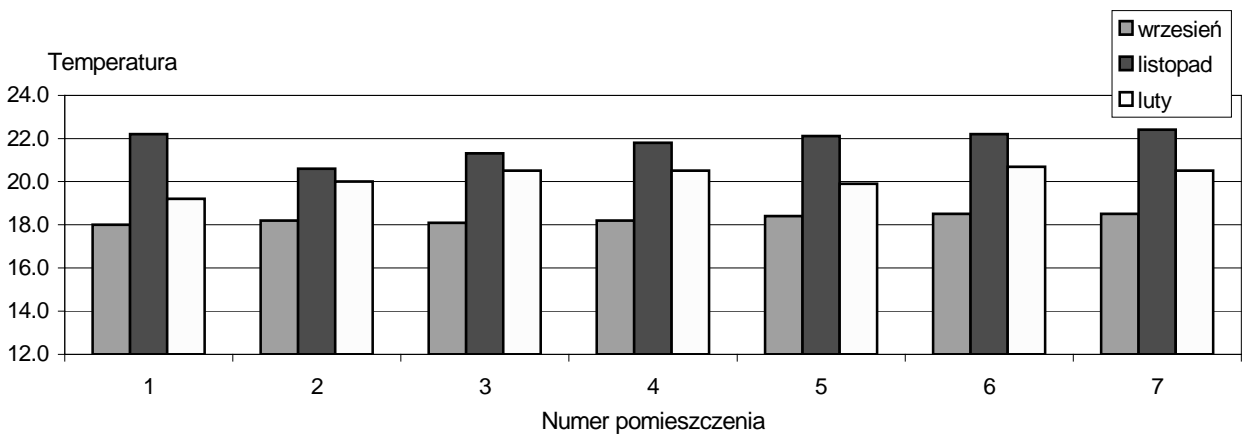
W dużym przedszkolu (drugi sezon grzewczy po termomodernizacji) temperatury rano w listopadzie i lutym są zbliżone do siebie i wynoszą $18,9^{\circ}\text{C}$ - $20,4^{\circ}\text{C}$ (rys. 8) natomiast po południu temperatury wahały się w zakresie $18,3^{\circ}\text{C}$ - $21,5^{\circ}\text{C}$ (rys. 9).



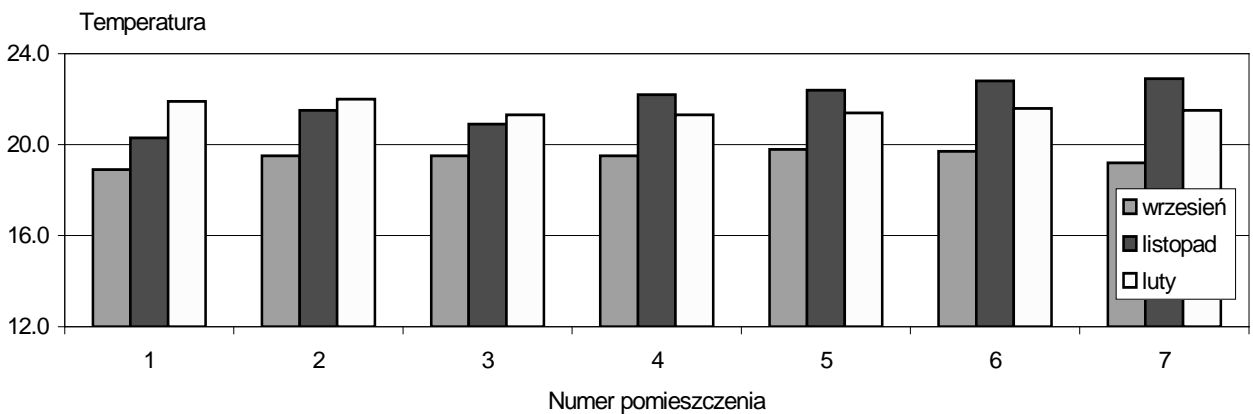
Rys. 4. Temperatura w małym przedszkolu – rano



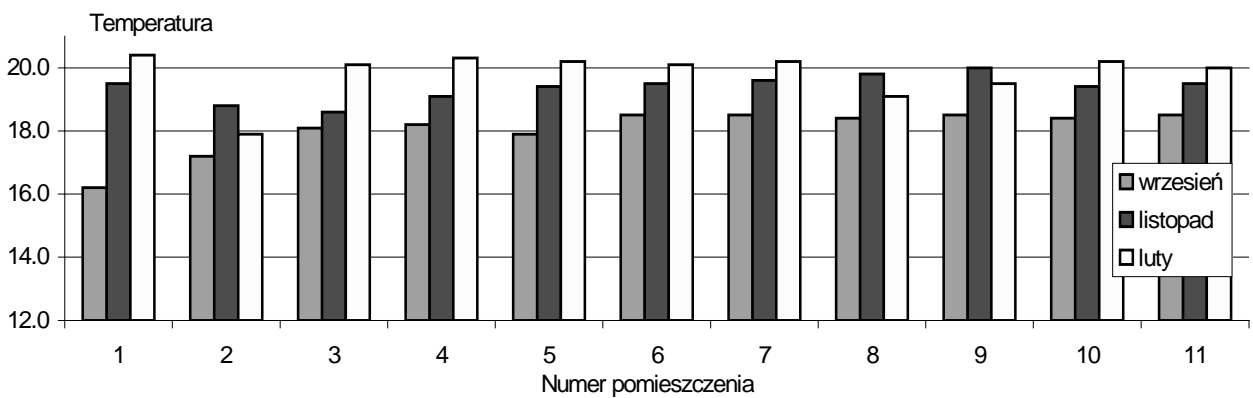
Rys. 5. Temperatura w małym przedszkolu – po południu



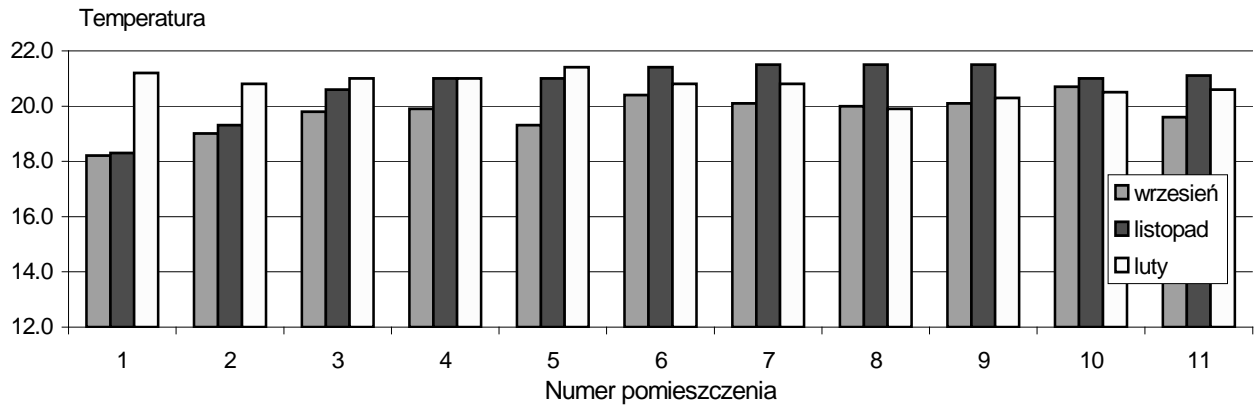
Rys. 6. Temperatura w średnim przedszkolu – rano



Rys. 7. Temperatura w średnim przedszkolu – po południu



Rys. 8. Temperatura w dużym przedszkolu – rano



Rys. 9. Temperatura w dużym przedszkolu – po południu

Temperatury poranne wykazują pewną prawidłowość – temperatury zawierają się w przedziale dolnych temperatur dopuszczalnych dla przedszkoli (z wyjątkiem pomieszczeń socjalnych od strony północno-wschodniej małego przedszkola przed włączeniem centralnego ogrzewania – w salach gdzie przebywają dzieci temperatura rano wahała się w granicach 18°C (rys. 4).

Po południu we wszystkich przedszkolach temperatury spełniały normatywne minimum 20°C (PN-83/B-03430), czyli wynosiły 18,3-22,9°C zgodnie z zaleceniami (Rozporządzenie Ministra Edukacji Narodowej): $20 \pm 3^\circ\text{C}$ w zależności od aktywności fizycznej dzieci. Temperatury podczas badań popołudniowych były zależne od liczby dzieci w pomieszczeniu, ich aktywności oraz warunków zewnętrznych sprzyjających lub nie intensywności wietrzenia sal.

4. Wnioski

W pierwszym sezonie po termomodernizacji może wystąpić przegrzewanie pomieszczeń (rys. 6 i 7). Użytkownicy potrzebują czasu na poznanie zasad eksploatacji „nowego” budynku. Przy odpowiedniej świadomości kierownictwa placówki można stworzyć dzieciom odpowiednie (normatywne) warunki termiczne w pomieszczeniach, zapewniające odpowiedni komfort cieplny.

W kolejnych latach konserwatorzy zapoznają się z pracą instalacji c.o., nauczą się ją regulować i wówczas zmieni się eksploatacja przedszkoli i będą widoczne efekty ekonomiczne.

Czytając artykuł można dojść do przekonania, że termomodernizacja jest niepotrzebna. Termomodernizacja jest potrzebna, lecz najlepsze efekty będą wtedy, gdy zostanie przeprowadzona kompleksowo:

- izolacja ścian,
- modernizacja stolarki,
- modernizacja instalacji i urządzeń c.o.,
- modernizacja układu wentylacyjnego,
- automatyka pogodowa w węźle cieplnym.

Literatura

- Bogdan A. (2008). Zagadnienie komfortu termicznego w ujęciu „dyrektywy energetycznej”. *Instal* 1/2008, 42-47.
- Gładyszewska-Fiedoruk K. (2010a). Analiza stanu środowiska wewnętrznego w małym przedszkolu. *COW* 2/2010.
- Gładyszewska-Fiedoruk K. (2010b). Analiza stanu środowiska wewnętrznego w wybranych przedszkolach. Część 2: Wilgotność względna. *Budownictwo i Inżynieria Środowiska / Civil and Environmental Engineering*, Vol.1, Nr 4, 287-291.
- Rozporządzenie Ministra Edukacji Narodowej w sprawie rodzajów innych form wychowania przedszkolnego, warunków tworzenia i organizowania tych form oraz sposobu ich działania. *Dz. U. Nr 104, poz. 667, 2008.*
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie wraz z późniejszymi zmianami. *Dz. U. nr 75 poz. 690, 2002.*
- Rozporządzenia Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z 26 września 1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy. *Dz.U. nr 169 poz. 1650, 2003.*

ANALYSIS OF INDOOR ENVIRONMENT IN A KINDERGARTEN BUILDING. Part 1: TEMPERATURE

Abstract: In order to ensure proper sanitary and hygienic conditions in a kindergarten building, one needs to remember about airing the rooms frequently and making sure that the temperature is not too high; this is why an efficient ventilation system is indispensable. Temperature is the parameter of indoor air whose influence people are most likely to feel. It is the decisive factor about their general physical and mental state and the efficiency of their work; temperature also ensures the so-called thermal comfort. A temperature that is either too high or too low may cause various diseases.

The research was conducted in three kindergartens which varied in terms of the space of the facilities and thermal insulation of exterior walls. Thermomodernization in each kindergarten was carried out at a different time. The research focused on the quality of indoor air in particular rooms. This article discusses the results only with regard to air temperature in the kindergartens in question.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2009 - 2012 jako projekt badawczy nr NN 523 425 337.

ANALIZA STANU ŚRODOWISKA WEWNĘTRZNEGO W WYBRANYCH PRZEDSZKOLACH. Cześć 2: WILGOTNOŚĆ WZGLĘDNA

Katarzyna GŁADYSZEWSKA-FIEDORUK*

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

Streszczenie: Najczęstszym objawem problemów z wymianą powietrza jest nadmierny wzrost wilgotności, który jest konsekwencją źle działającej wentylacji. Wilgotność względna powietrza w pomieszczeniu powinna się mieścić w granicach 30-65%, optymalna – 40-50%.

Przebadano trzy przedszkola o różnej izolacyjności ścian zewnętrznych, aby ocenić stan środowiska wewnętrznego z uwzględnieniem wilgotności względnej. Badania wszystkich przedszkoli prowadzono w trzech seriach pomiarowych.

Wilgotność powietrza w listopadzie i lutym, w budynkach po termomodernizacji, była poniżej zalecanych wartości. Powietrze było suche, mimo dużej wilgotności względnej powietrza zewnętrznego. W przedszkolu nie poddanym termomodernizacji, bez względu na porę roku, powietrze wewnętrzne było wilgotne.

Słowa kluczowe: jakość powietrza wewnętrznego, wentylacja, mikroklimat, wilgotność względna.

1. Wstęp

Parametry powietrza wewnętrznego w przedszkolach precyzują norma PN-EN 13779: 2008 *Wentylacja budynków niemieszkalnych. Wymagania dotyczące właściwości instalacji wentylacji i klimatyzacji* oraz Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie wraz z późniejszymi zmianami (Dz. U. nr 75 poz. 690, 2002). Wilgotność względna w pomieszczeniu powiązana jest zawsze z temperaturą powietrza wewnętrznego.

Zalecane ogólnie parametry ciepło-wilgotnościowe w pomieszczeniach gwarantujące odczucie komfortu cieplnego przez ludzi mające następujące wartości (PN-EN 13779:2008; Rozporządzenie Ministra Infrastruktury):

- temperatura powietrza w 20-26°C;
- prędkość ruchu 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% do 80%;
- średnia temperatura promieniowania cieplnego pomieszczenia utożsamiona z temperaturą zewnętrznych przegród budowlanych powinna być o 2-3° mniejsza niż temperatura otoczenia.

Wilgotność względna powietrza wewnętrznego zgodnie z normą PN-83/B-03430 (wraz ze zmianą A3:2000) *Wentylacja w budynkach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej. Wymagania* powinna być współzależna od temperatury i tak w lecie przy temperaturze w pomieszczeniu 23-25°C – wilgotność powinna zawierać się w zakresie 40-60% (preferowana 50%; w przedszkolach 55% według PN-EN ISO 6946), natomiast w zimie przy temperaturze w pomieszczeniu 21-22 °C – wilgotność względna powinna wahać się w przedziale 35-55% (preferowana 45%, w przedszkolach 50%).

Energooszczędność to hasło, które nabiera nowego znaczenia w dzisiejszych czasach. Oszczędzając, ciepło pamiętajmy jednak o zapewnieniu sobie odpowiedniego komfortu, wynikającego z właściwej temperatury i wilgotności powietrza w pomieszczeniu (Stolbud Włoszczowa, 2008).

Utrzymanie właściwej jakości powietrza wewnętrznego to zadanie wentylacji. Źle działająca wentylacja jest szkodliwa zarówno dla ludzi, jak i dla wyposażenia pomieszczeń i dla całych budynków. Na skutek źle działającej wentylacji, a co za tym idzie złej jakości powietrza wewnętrznego, wzrasta nadmiernie wilgotność względna powietrza w pomieszczeniu powodując różnego rodzaju dolegliwości. Natężenie tych dolegliwości jest uzależnione od czasu przebywania

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

w pomieszczeniu. Przyczyną powstania syndromu chorego budynku jest niewystarczający dopływ świeżego powietrza (Demianowicz, 2004).

2. Opis badanych przedszkoli

W badanych przedszkolach przeprowadzono termomodernizację w różnym stopniu. Przedszkole nr 1 nie było modernizowane. W przedszkolu nr 2 wraz z termomodernizacją zmodernizowano układ wentylacyjny, lecz instalacja c.o. pozostała stara. Modernizacja układu wentylacyjnego polegała na zainstalowaniu zaworów nawiewnych, którymi dodatkowo napływa powietrze do obiektu. W przedszkolu nr 3 przy wykonaniu termomodernizacji również nie przeprowadzono modernizacji instalacji c.o. i nie zmieniono układu wentylacyjnego obiektu.

Przedszkole nr 1 (rys. 1) jest to budynek wolnostojący, budowany w latach 50. Remont obiektu polegał na ponownym otynkowaniu. Okna są dwuszybowe, a stolarka okienna i drzwiowa nieszczelna. Wentylacja pomieszczeń odbywa się poprzez wietrzenie. W okresie zimowym wietrzenie najczęściej przez rozszczelnianie okien. Przedszkole bardzo małe.



Rys. 1. Przedszkole nr 1

Przebadano następujące pomieszczenia: korytarz nr 1 (1), WC starszaków (2), WC maluchów i średniaków (3), szatnia maluchów (4), kuchnia (5), zmywalnia (6), przejście (korytarzyk) (7), jadalnia starszaków i średniaków (8), pokój średniaków (9), pokój starszaków (10), korytarz nr 2 (11), jadalnia maluchów (12), pokój maluchów (13) (Gładyszewska-Fiedoruk, 2010 a i b).

Przedszkole nr 2 (rys. 2) mieści się w budynku wolnostojącym. Termomodernizacja została zakończona w 2008 roku. W każdym pomieszczeniu znajduje się wentylacja grawitacyjna. Dodatkowo, skuteczne wietrzenie odbywa się przez rozszczelnianie okien. Przedszkole średnie.

Przebadano tylko pomieszczenia, gdzie przebywają dzieci: 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) (Gładyszewska-Fiedoruk, 2010 b).



Rys. 2. Przedszkole nr 2

Przedszkole nr 3 (rys. 3) mieści się w obiekcie wolnostojącym. Termomodernizacja została zakończona w 2007 roku. W każdym z pomieszczeń znajduje się wentylacja grawitacyjna. Dodatkowo, wietrzenie odbywa się przez rozszczelnione okna. Podczas rozmowy z dyrektorem ustalono, że dzieci codziennie opuszczają salę i pomieszczenia poddawane są intensywnemu wietrzeniu przez 10-15 minut, niezależnie od warunków atmosferycznych. Badania jakości stanu powietrza wewnętrznego nie potwierdzają tych praktyk. Przedszkole duże.



Rys. 3. Przedszkole nr 3

Przebadano tylko pomieszczenia gdzie przebywają dzieci: korytarz dół (1), Grupa I – maluchy (2), Grupa II (3) i WC (4) – maluchy, Grupa III – średniaki nieśpiące (5), Grupa V (6) i WC (7) – średniaki śpiące, Grupa VI (8) i WC (9) – starszaki, Grupa VII – zerówka (10), korytarz góra (11) (Gładyszewska-Fiedoruk, 2010 b).

3. Wyniki badań i omówienie wyników pomiarów

Pomiary zostały wykonane we wszystkich salach na wysokości głowy dziecka (około 1,00-1,10 m od powierzchni podłogi), ponieważ dziecko oddycha na tej właśnie wysokości. Wszystkie pomiary prowadzono miernikiem testo435-4 oraz miernikiem do pomiaru

jakości powietrza: temperaturę w zakresie 0 do +50 °C $\pm 0,3$ °C; wilgotność względną w zakresie +2 do +98 %RH ± 2 %RH; stężenie dwutlenku węgla w zakresie +0 do +10000 ppm $\text{CO}_2 \pm 100$ ppm $\text{CO}_2 \pm 3\%$; ciśnienie atmosferyczne w zakresie +600 do +1150 hPa ± 5 hPa.

Pomiary wilgotności powietrza wewnętrznego wykonano przy średniej wartości wilgotności względnej powietrza zewnętrznego zamieszczonej w tabeli 1. Wzięto pod uwagę, że w pomieszczeniach, z tylko naturalną wentylacją, parametry powietrza wewnętrznego są w wysokim stopniu uzależnione od parametrów powietrza zewnętrznego.

Tabela 1. Wilgotność względna powietrza zewnętrznego

Wrzesień		Listopad		Luty	
Rano	Po południu	Rano	Po południu	Rano	Po południu
89,5%	70,3%	86,4%	83,5%	88,3%	86,2%

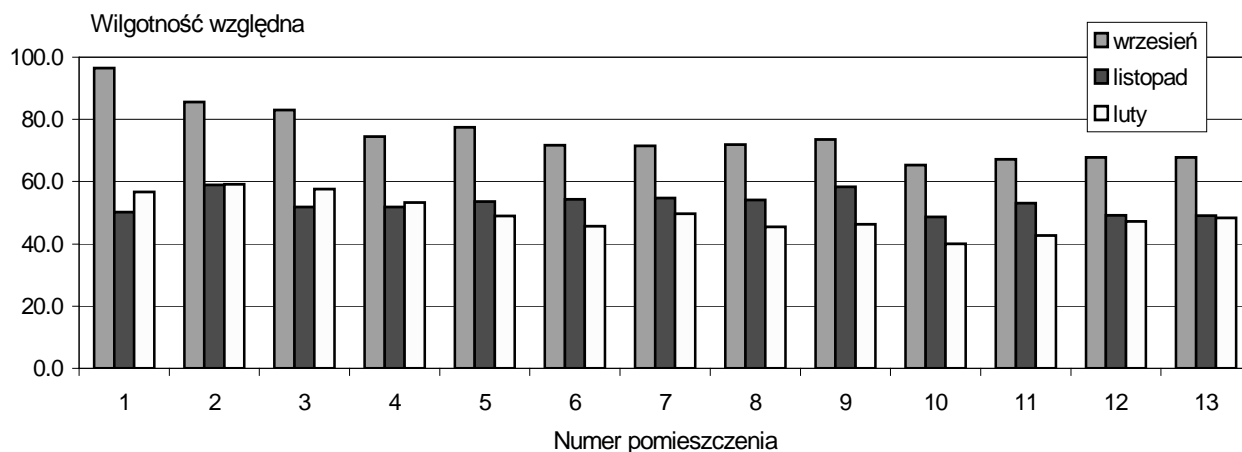
W badanych przedszkolach rano wilgotność względna w listopadzie i lutym była poniżej wartości zalecanych przez normy, wahała się w granicach 30,9%-59,2% (rys. 4 i 7). Powietrze było suche w przedszkolach po termomodernizacji zarówno rano (rys. 6 i 7) jak

i po południu (rys. 8 i 9). Po południu wilgotność względna wahała się w zakresie 27,1% – dolny zakres do 80,8% (PN-83/B-03430) (rys. 5).

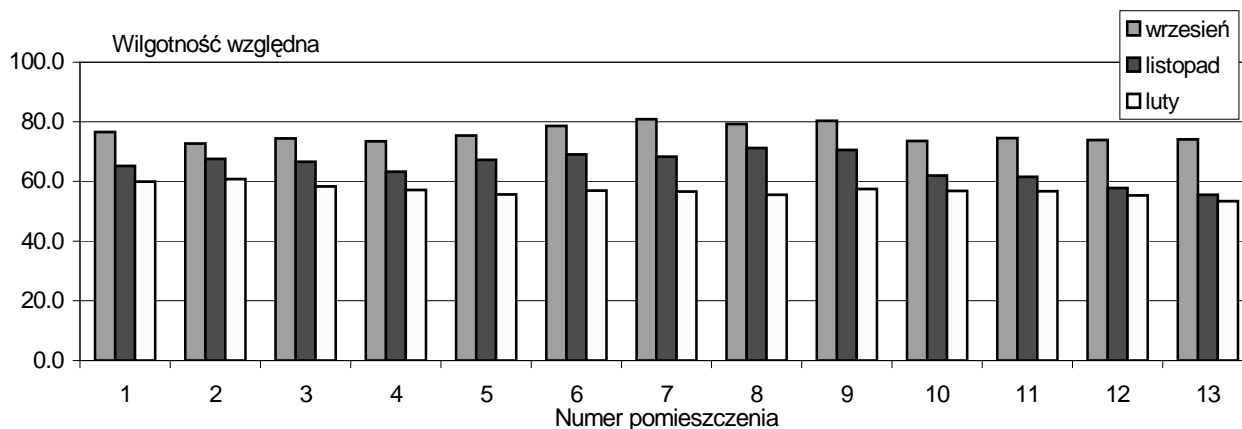
We wrześniu we wszystkich seriach pomiarowych, we wszystkich przedszkolach były przekroczone wartości wilgotności w powietrzu wewnętrznym. Za taki stan odpowiada brak wietrzenia pomieszczeń spowodowany tym, że nie było uruchomione centralne ogrzewanie. Chroniąc ludzi przed zmarznięciem zapomniano o innych parametrach powietrza wewnętrznego.

Mimo dużej wilgotności względnej powietrza zewnętrznego w listopadzie i lutym powietrze wewnętrzne w przedszkolach po termomodernizacji było suche. Przyczyną tego stanu jest centralne ogrzewanie bardzo wysuszające powietrze i brak przepływu powietrza przez zaizolowane ściany.

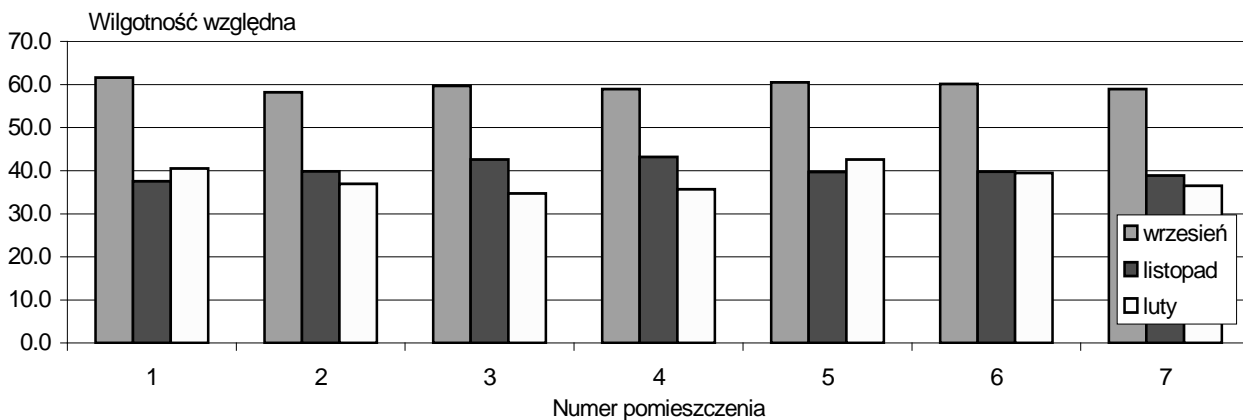
Przedszkole nie poddane termomodernizacji, bez względu na porę roku, ma wartości wilgotności względnej w granicach normy (PN-83/B-03430), a nawet należy stwierdzić, że przekroczone jest we wrześniu wartość normatywna, powietrze jest zbyt wilgotne (rys. 4 i 5).



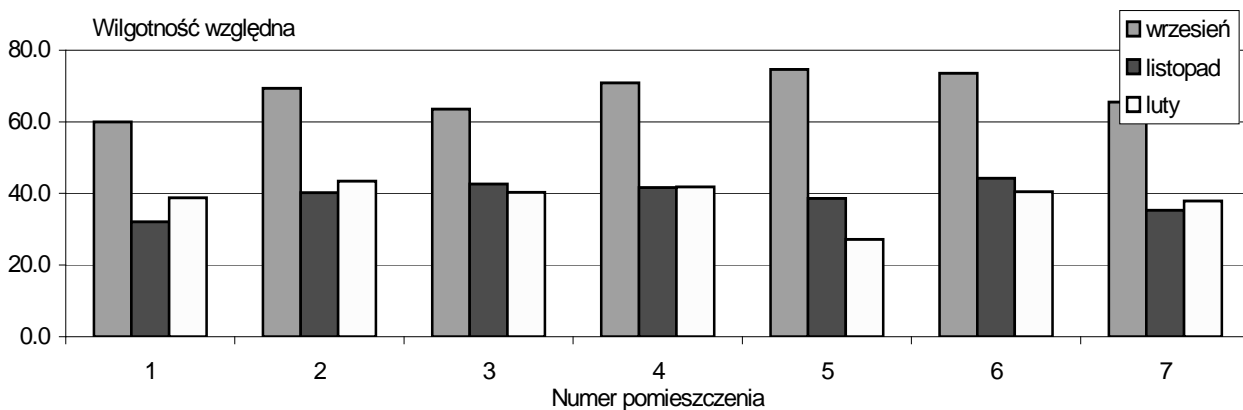
Rys. 4. Wilgotność względna w małym przedszkolu – rano



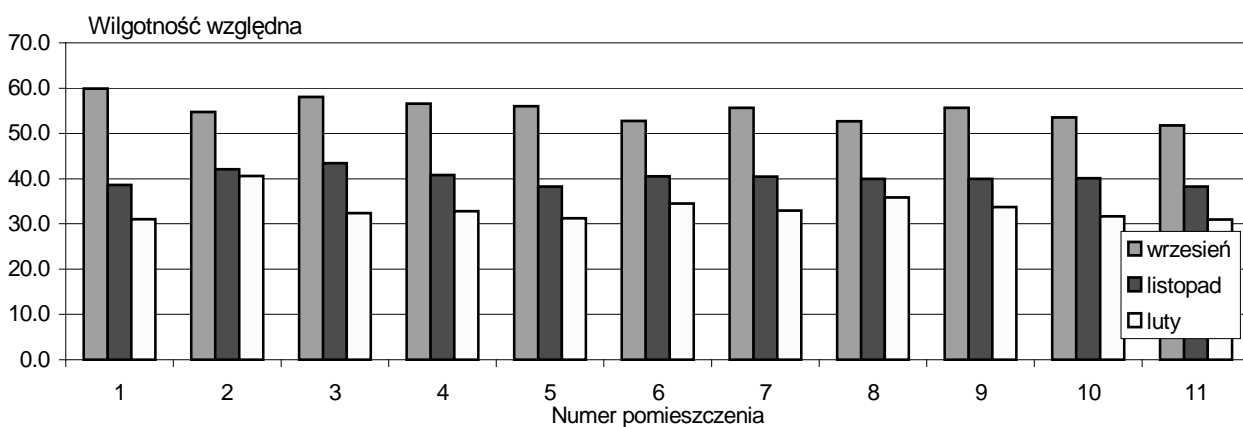
Rys. 5. Wilgotność względna w małym przedszkolu – po południu



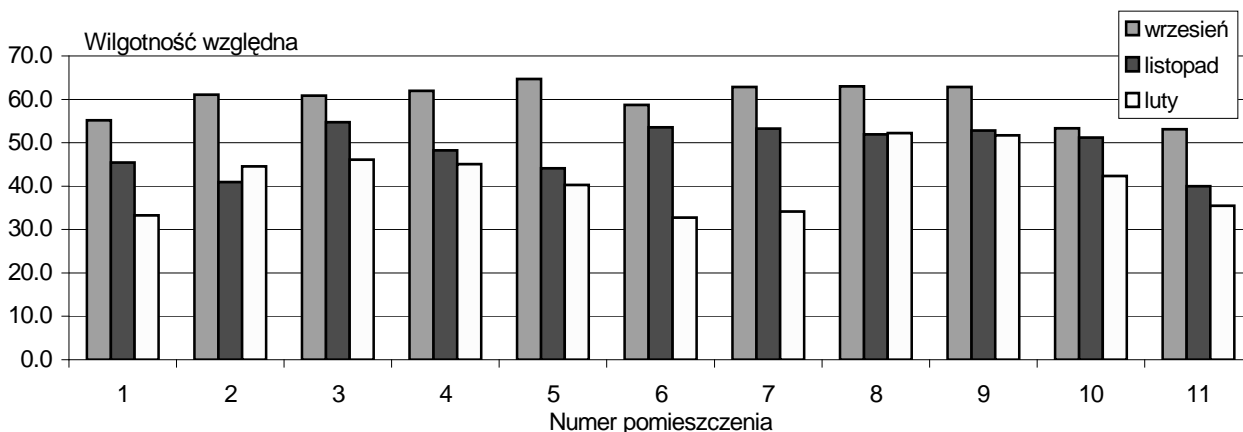
Rys. 6. Wilgotność względna w średnim przedszkolu – rano



Rys. 7. Wilgotność względna w średnim przedszkolu



Rys. 8. Wilgotność względna w dużym przedszkolu – rano



Rys. 9. Wilgotność względna w dużym przedszkolu – po południu

Człowiek ma zdolności aklimatyzacyjne i dobrze czuje się w szerokim zakresie wilgotności względnej, zakres ten jest na tyle szeroki, że nie należy go przekraczać. Zbyt suche powietrze nie jest zdrowe ze względów fizjologicznych, przede wszystkim u małych dzieci, u których powoduje wysuszenie śluzówek. Zbyt wilgotne powietrze, w szczególności ciepłe, powoduje wzmożony rozwój chorobotwórczej flory bakteryjnej.

4. Podsumowanie

Występują następujące zagrożenia spowodowane nieprawidłową wentylacją:

1. skroplona para wodna na chłodnych powierzchniach ścian i przedmiotów, szybach w oknach, czy na stolarce okiennej;
2. grzyb i pleśń na nadprożach, stolarce okiennej, pod parapetami, w narożach pokoi, jak i za meblami, będący efektem skroplonej pary wodnej na powierzchniach ścian i przedmiotach, szybach w oknach, czy na stolarce okiennej;
3. nawiew powietrza przez kratki wywiewne będący efektem braku nawiewu powietrza do pomieszczeń;
4. namakanie i pęcznienie drewnianych mebli, podłóg i elementów wykończeniowych, będący efektem skroplonej pary wodnej;
5. niszczenie konstrukcji budynku, będące efektem wnikania wilgoci w ściany;
6. złe samopoczucie osób przebywających w pomieszczeniach: bóle i zawroty głowy, mdłości, podrażnienie oczu, zmęczenie, trudności z koncentracją, podrażnienia błony śluzowej nosa, podrażnienia gardła, skóry, nadwrażliwość na światło i zapachy, uczulenia, alergie, będące efektem źle wentylowanych pomieszczeń i nagromadzeniem zanieczyszczeń powietrza w pomieszczeniu:
 - zapachy, dwutlenek węgla oraz para wodna wytwarzana przez użytkowników pomieszczeń;
 - szkodliwe oddziaływanie chemikaliów (środków czystości);
 - parowanie rozpuszczalników w klejach, farbach, lakierach, meblach, dywanach i tekstyliach, kurz z tekstyliów i wyposażenia domowego;
 - nadmierny wzrost roztoczy;
7. zatrucia tlenkiem węgla przy niesprawnej wentylacji pomieszczeń z urządzeniami gazowymi (Demianowicz, 2004).

5. Wnioski

Doprowadzenie zewnętrznego powietrza poprzez infiltrację przez niewielkie szczeliny w stolarce okiennej poprawia jakość powietrza wewnętrznego w pomieszczeniu.

W przedszkolu nr 2 po termomodernizacji wraz z modernizacją układu wentylacyjnego zaobserwowano lepszą jakość powietrza wewnętrznego niż w przedszkolu nr 3 gdzie nie był modernizowany układ wentylacyjny. Niemniej w obu przedszkolach powietrze zimą jest zbyt suche. Należy zatem wraz z termomodernizacją modernizować układ wentylacyjny.

Przedszkole nie poddane termomodernizacji, bez względu na porę roku, ma wartości wilgotności względnej w granicach normy PN-83/B-03430.

Literatura

- Demianowicz A. (2004). Jakość powietrza. 12.2004 http://www.e-instalacje.pl/70_364.htm.
- Gładyszewska-Fiedoruk K. (2010a). Analiza stanu środowiska wewnętrznego w małym przedszkolu. *COW 2/2010*.
- Gładyszewska-Fiedoruk K. (2010b). Analiza stanu środowiska wewnętrznego w wybranych przedszkolach. Część 2: Temperatura. *Budownictwo i Inżynieria Środowiska / Civil and Environmental Engineering*, Vol. 1, Nr 4, 281-285.
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie wraz z późniejszymi zmianami. *Dz. U. nr 75 poz. 690, 2002*.
- Stolbud Włoszczowa (2008). Jakość powietrza i energooszczędność. Materiały reklamowe *Stolbud Włoszczowa*, 2008.

ANALYSIS OF INDOOR ENVIRONMENT IN A KINDERGARTEN BUILDING. Part 2: RELATIVE HUMIDITY

Abstract: Excessive rise of humidity is the most frequently observed sign of problems with air circulation, which often result from a faulty ventilation system. Relative humidity value indoors should range from 30% to 65%, the ideal being between 40% and 50%.

The research was conducted in three kindergartens with different insulation of exterior walls; the objective was to assess the quality of indoor air with regard to relative humidity. Three series of measurements were taken in each of the kindergartens. In the building where thermomodernization was carried out, humidity values in February and November dropped below the recommended ones. Even though outdoor relative humidity was high, indoor air in this kindergarten was dry. In the kindergarten whose heating system has not been modernized, humidity values inside the building were appropriate regardless of the season.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2009 - 2012 jako projekt badawczy nr NN 523 425 337.

METODY BADANIA MROZODPORNOŚCI BETONÓW. OCENA MROZODPORNOŚCI BETONU Z CEMENTEM HUTNICZYM

Marta KALISTY^a, Dorota MAŁASZKIEWICZ^{b*}

^adoktorant, Politechnika Białostocka, kierunek Budownictwo

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

Streszczenie: W artykule przedstawiono przegląd metod badania mrozoodporności betonu. Opisano i scharakteryzowano następujące metody badawcze: CDF, niemiecką, szwedzką (Borås), ASTM C 672, 672 i 666, metodę bezpośrednią według PN-88/B-06250 i metodę według PN-EN 1338:2005. W badaniach własnych porównano nasiąkliwość i mrozoodporność laboratoryjnych próbek betonowych wykonanych z cementu portlandzkiego CEM I 32,5R oraz cementu hutniczego CEM III 32,5R bez napowietrzania. Badania mrozoodporności przeprowadzono dwiema metodami: metodą bezpośrednią wg procedury opisanej w normie PN-88/B-06250 oraz określono masę złuszczeń w obecności soli odladzającej według procedury z normy PN-EN 1338:2005. Próbkę wykonaną z cementu hutniczego wykazały niższą odporność na działanie mrozu niezależnie od zastosowanej metody.

Słowa kluczowe: mrozoodporność betonu, cement hutniczy, środki odladzające.

1. Wstęp

Mrozoodporność można kształtować za pomocą stosowania: napowietrzania zaczynu cementowego, redukcji porów kapilarnych poprzez obniżenie wskaźnika wodno-cementowego, odpowiednio dobranego kruszywa i cementu oraz dodatków mineralnych (Rusin, 2002). Beton stosowany w budownictwie drogowym oprócz odporności na cykle zamrażania i rozmrażania musi być również odporny na działanie środków odladzających. Odporność ta jest istotnie zależna od rodzaju zastosowanego cementu.

Cement, który zapewniłby dużą trwałość betonu powinien charakteryzować się:

- zwiększoną odpornością na działanie czynników agresywnych chemicznie;
- niskim lub umiarkowanym ciepłem hydratacji;
- stałością objętości;
- wydłużonym czasem wiązania.

Cementem, który spełnia te wymagania jest między innymi cement hutniczy CEM III. Cement hutniczy różni się od cementu portlandzkiego CEM I: ciepłem hydratacji, odpornością na działanie czynników korozyjnych, czasem wiązania, szybkością przyrostu wytrzymałości oraz wpływem na urabialność mieszanki. Te właściwości przyczyniły się do szerokiego zastosowania cementu hutniczego w budownictwie masowym, hydro-

technicznym, mostowym, drogowym, robotach fundamentowych, produkcji prefabrykatów oraz betonu samozagęszczalnego SCC i wysokiej wytrzymałości BWW (Giergiczny i Pużak, 2004).

Cement hutniczy może być produkowany przez wspólny przemiał klinkieru cementu portlandzkiego z suchym granulowanym żużlem wielkopiecowym lub przez mieszanie na sucho cementu portlandzkiego i żużla. Norma PN-EN 197-1:2002 wyróżnia trzy rodzaje cementów hutniczych w zależności od zawartości granulowanego żużla wielkopiecowego. CEM III/C jest czystym cementem żużlowym. Cement hutniczy siarczanoodporny HSR znalazł głównie zastosowanie w klasach ekspozycji środowiska XA2, XA3 i XA4. Nie znaleziono w literaturze jednoznacznych wyników dotyczących zachowania się betonu z cementem hutniczym w klasach ekspozycji XF1÷XF4, szczególnie w przypadku działania soli odladzających. Liczne badania świadczą o tym, że odporność na zamrażanie w obecności soli odladzających betonów z cementem hutniczym nawet przy niskim wskaźniku w/c ($\leq 0,45$) i przy znacznym napowietrzaniu jest niewystarczająca (Deja, 2003). Są jednak wyniki badań świadczące o tym, że po początkowym szybkim łuszczeniu się powierzchni betonu z cementem hutniczym, jest on bardziej odporny w porównaniu z betonem z cementu portlandzkiego (Wiebenga, 1985). Szybsze początkowe złuszczenie może

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: d.malasziewicz@pb.edu.pl

być spowodowane karbonatyzacją słabej porowatej powierzchni betonu bądź rekrystalizacją węgla wapnia (Deja, 2003). Na istotny wpływ karbonatyzacji na odporność na złuszczenie mrozowe w obecności soli zaczynów zawierających żużel wielkopieczowy wskazują wyniki badań i modelowania zaprezentowane przez Copuroglu i Schlangena (2008).

2. Przegląd metod badań mrozoodporności stwardniałego betonu

Sole są regularnie stosowane do odładzania nawierzchni betonowych bądź chodników. Prowadzi to do powierzchniowych złuszczeń materiałów betonowych. Złuszczenia solne są to powierzchniowe uszkodzenia spowodowane zamrażaniem roztworów solnych na powierzchni betonowego elementu. Zniszczenia tego typu nie mają takiego samego charakteru jak uszkodzenia spowodowane wewnętrzną krystalizacją lodu, co skutkuje spadkiem wytrzymałości materiału. Złuszczenia mają charakter powierzchniowy i nie narażają jednorodności całego elementu betonowego. Jednak powierzchniowe zniszczenia sprawiają, że wewnętrzne partie elementu stają się narażone na wnikanie wilgoci i agresywnych mediów, które mogą wpłynąć na całkowitą trwałość betonu.

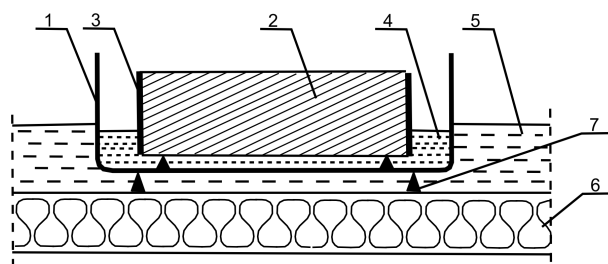
Największe masy złuszczeń uzyskuje się przy umiarkowanym stężeniu soli. Najniekorzystniejsze stężenie przyjmuje się na poziomie 3% wagowo (Valenza i Scherer, 2007).

Większość prezentowanych procedur badania mrozoodporności betonu jako czynnik oddziałujący na próbki wykorzystuje roztwór soli odładzającej w postaci NaCl. Różnice polegają na przygotowaniu próbki do badania, charakterystyce cykli zamrażania/roz-mrażania i ocenie destrukcji mrozowej.

2.1. Metoda CDF

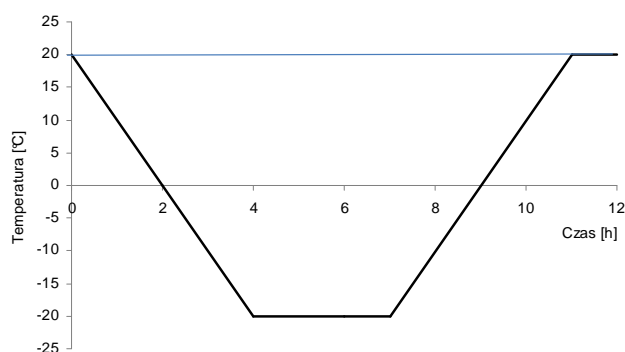
CDF (*Capillary Suction of De-icing Solution and Freeze-Thaw test*) w tłumaczeniu na język polski oznacza „podciąganie kapilarne roztworów soli i badanie zamrażania i rozmrażania”. Metoda CDF daje możliwość ilościowego pomiaru uszkodzonej powierzchni pod wpływem czynników atmosferycznych po 28 cyklach zamrażania i odmrażania w obecności soli odładzającej NaCl. Metoda ta może być wykorzystywana do badania powierzchni wyrobów i prefabrykatów, a także pobranych próbek z zarobów kontrolnych (Bebłacz i Kamiński, 2004; Kosior-Kazberuk, 2003).

Do badania wykorzystuje się próbki o wymiarach boku 15×15×15 cm., które po wykonaniu przez 7 dni dojrzewają w wodzie, a przez następne 21 dni przechowywane są w warunkach wilgotności względnej około 65%. Po upływie tego czasu próbki betonowe umieszcza się w pojemnikach na podkładkach (rys. 1) i przez 7 dni następuje kapilarne podciąganie 3% roztworu NaCl przez dolną powierzchnię. Powierzchnia ta będzie później poddawana cyklicznemu zamrażaniu i rozmrażaniu (Kosior-Kazberuk, 2003).



Rys. 1. Przekrój przez próbkę przeznaczoną do badania metodą CDF (Kosior-Kazberuk, 2003): 1 – pojemnik, 2 – próbka, 3 – izolacja z żywicy epoksydowej, 4 – roztwór NaCl, 5 – ciecz mrozująca, 6 – izolacja cieplna, 7 – podkładki dystansowe

Nasączone próbki umieszcza się w komorze zamrażarki. W czasie trwania 12 godzinowego cyklu zamrażania i rozmrażania temperatura zmienia się od +20°C do -20°C (rys. 2). Po 28 dniach zbiera się i suszy złuszczonego materiał. Określa się jego masę w przeliczeniu na 1 m² powierzchni betonu. Beton mrozoodporny wykazuje ubytek masy po 28 cyklach zamrażania i odmrażania mniejszy niż 1,5 kg/m². Proporcja ubytków masy po 28 cyklach do ubytków po 14 cyklach powinna być mniejsza niż 2 (Bebłacz i Kamiński, 2004; Kosior-Kazberuk, 2003).



Rys. 2. Zakres zmian temperatury próbek betonowych w czasie według CDF według Beblacz i Kamiński (2004)

Zalety metody CDF (Bebłacz i Kamiński, 2004):

- krótki czas badania;
- możliwość oceny odporności betonu na złuszczenie;
- możliwość badania betonów już eksploatowanych, prefabrykatów i betonów laboratoryjnych.

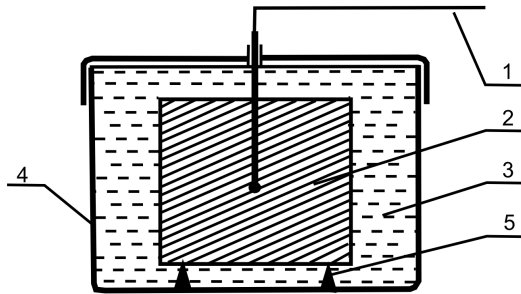
Wady metody CDF (Bebłacz i Kamiński, 2004):

- dość żmudny proces przygotowania próbek;
- narzucony czas dojrzewania próbek w wodzie (7 dni) – dla cementów hutniczych lub portlandzkich mieszanych czas dojrzewania próbek jest niewystarczający.

2.2. Metoda niemiecka (Rusin, 2002)

Według metody niemieckiej badanie przeprowadza się na próbkach sześciennych o wymiarach 10×10×10 cm. W czasie pierwszych 28 dni po ich wykonaniu próbki przechowywane są w warunkach analogicznych jak w metodzie CDF. Następnie zważone próbki umieszcza się w pojemnikach z 3% roztworem NaCl i nasycy się przez 24 godziny. Ponownie waży się próbki w celu

wyznaczenia absorpcji cieczy i umieszcza się w komorze zamrażarki. Próbkę przeznaczoną do badania przedstawia rysunku 3. W czasie 24 godzinnego cyklu temperatura zmienia się z $+20^{\circ}\text{C}$ do -15°C .



Rys. 3. Próbką przeznaczoną do badania mrozoodporności metodą niemiecką (Kosior-Kazberuk, 2003): 1 – sonda temperaturowa, 2 – próbka, 3 – ciecz mrozująca, 4 – pojemnik, 5 – podkładki dystansowe

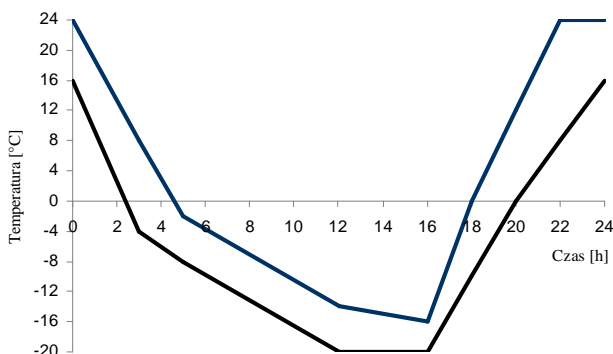
2.3. Metoda szwedzka (Borås)

Metoda szwedzka według normy SS 13 72 44 pozwala na badanie odporności na działanie środków odladzających powierzchni betonowej i betonu. Jest stosowana do oceny odporności na złuszczenie betonu głównie w konstrukcjach mostowych. Metodę Borås uważa się za najbardziej surową do określania mrozoodporności. Odzwierciedla warunki często występujące w rzeczywistości (Kosior-Kazberuk, 2003).

Do badania wykorzystuje się próbki betonowe o wymiarach $15 \times 15 \times 15$ cm, które po wykonaniu przechowuje się przez 7 dni w wodzie, a przez następne 14 dni w temperaturze $18^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ i wilgotności względnej 65%.

Badaniu poddaje się płytki grubości 5 cm wycięte z kostek, które okleja się miękką gumą, pozostawiając nieoklejoną powierzchnię cięcia. Brzeg gumy powinien wystawać 2 cm ponad krawędź próbki. Następnie wykonuje się izolację grubości 2,5 cm z pianki poliuretanowej. Powierzchnię badaną nasycza się wodą przez 72 godziny (Valenza i Scherer, 2007).

Na rysunku 4 przedstawiono przebieg górnej i dolnej krzywej temperatury podczas badania mrozoodporności metodą Borås.



Rys. 4. Zakres zmian temperatury próbek betonowych w czasie według Borås

W tabeli 1 przedstawiono kryteria oceny mrozoodporności omawianą metodą.

Tabela 1. Kryteria oceny mrozoodporności betonu według metody Borås (Kosior-Kazberuk, 2003)

Mrozoodporność	Wymagania
Bardzo dobra	Średnia złuszczeń po 56 cyklach (m_{56}) jest mniejsza niż $0,10 \text{ kg/m}^2$
Dobra	Średnia złuszczeń po 56 cyklach (m_{56}) jest mniejsza niż $0,20 \text{ kg/m}^2$ lub średnia złuszczeń m_{56} jest mniejsza niż $0,50 \text{ kg/m}^2$, przy czym m_{56}/m_{28} jest mniejsze niż 2 lub średnia po 112 cyklach (m_{112}) jest mniejsza niż $1,00 \text{ kg/m}^2$
Dostateczna	Średnia złuszczeń po 56 cyklach (m_{56}) jest mniejsza niż $1,00 \text{ kg/m}^2$, przy czym m_{56}/m_{28} jest mniejsze niż 2 lub średnia po 112 cyklach (m_{112}) jest mniejsza niż $1,00 \text{ kg/m}^2$
Niedostateczna	Jeżeli nie są spełnione wymagania mrozoodporności dostatecznej

Zalety metody Borås (Bebłacz i Kamiński, 2004):

- możliwość badania betonów już eksploatowanych, prefabrykatów i betonów laboratoryjnych;
- możliwość oceny odporności betonu na złuszczenie.

Wady metody Borås (Bebłacz i Kamiński, 2004):

- dość żmudny proces przygotowania próbek;
- długi okres badania;
- narzucony czas dojrzewania próbek w wodzie (7 dni) - dla cementów hutniczych lub portlandzkich mieszanych czas dojrzewania próbek jest niewystarczający;
- stwierdzona zgodność badań jedynie dla betonów z cementu portlandzkiego o stosunku $w/c = 0,40-0,50$ i zawartości powietrza do 7%.

2.4. Metoda ASTM C 672

W tej metodzie próbka pokryta jest 6 mm warstwą 3% roztworu NaCl. Grubość próbki wynosi minimum 75 mm. Cykl obejmuje ochładzanie próbki do temperatury $-17,8 \pm 2,8^{\circ}\text{C}$ w czasie 16-18 h, rozmrażanie w temperaturze $23 \pm 3^{\circ}\text{C}$ trwa 6-8 h (Valenza i Scherer, 2007). Metoda ta przypomina metodę Borås. Różnica polega na tym, że boki i spód próbki nie są zaizolowane i roztwór soli nie jest przykryty folią w celu zapobieżenia odparowywaniu.

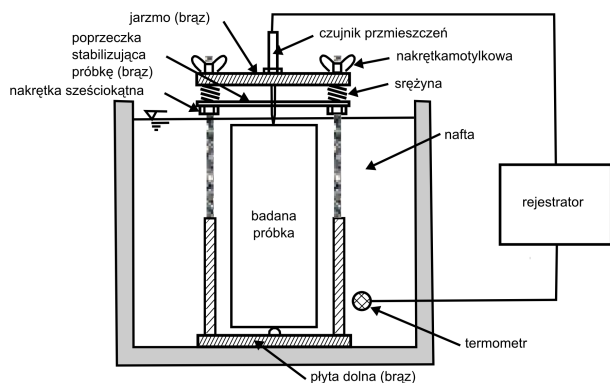
W metodzie ASTM C672 stosuje się subiektywną ocenę punktową pomiędzy 0 (brak złuszczeń) i 5 (poważne złuszczenia) po każdym 5 cyklach zamrażania/rozmrażania. Dokonuje się również pomiaru masy próbki i oblicza się ubytek masy w stosunku do masy wyjściowej. Te pomiary nie opisują jednak stopnia złuszczenia w sposób dokładny, ponieważ zmiana masy spowodowana jest również absorpcją wody (Valenza i Scherer, 2007).

Wyniki badań laboratoryjnych metodą ASTM C 672 wykazują znaczne różnice w odniesieniu do warunków rzeczywistych w konstrukcji, gdyż w metodzie tej nie

określono jednoznacznie warunków przeprowadzenia badania.

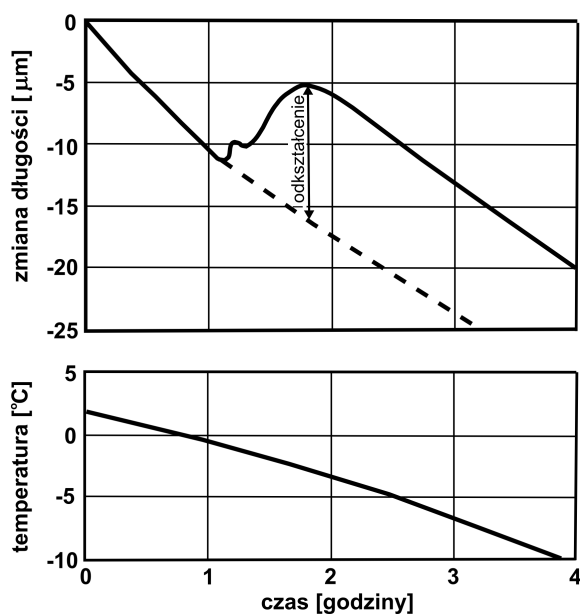
2.5. Metoda ASTM C 671

Metoda ASTM C 671 w odróżnieniu do metody ASTM C 672 bardziej przybliża warunki laboratoryjne do rzeczywistych. Próbki betonowe po wykonaniu dojrzewają w warunkach bardzo zbliżonych do rzeczywistych. Następnie zanurza się je w nafcie (rys. 5) i chłodzi od temperatury $+2^{\circ}\text{C}$ do -10°C z szybkością $2,8\pm 0,5^{\circ}\text{C/h}$ (Bebłacz i Kamiński, 2004).



Rys. 5. Przykład zestawu pomiarowego ASTM C 671 (Bebłacz i Kamiński, 2004)

W czasie chłodzenia próbek mierzy się zmiany temperatury i opowiadające im zmiany długości próbek. Na rysunku 6 przedstawiono typowe zmiany długości próbki i temperatury w czasie ochładzania. Po ukończeniu schładzania próbki umieszcza się w wodzie o temperaturze $+2^{\circ}\text{C}$ na okres 14 dni do kolejnego cyklu zamrażania.



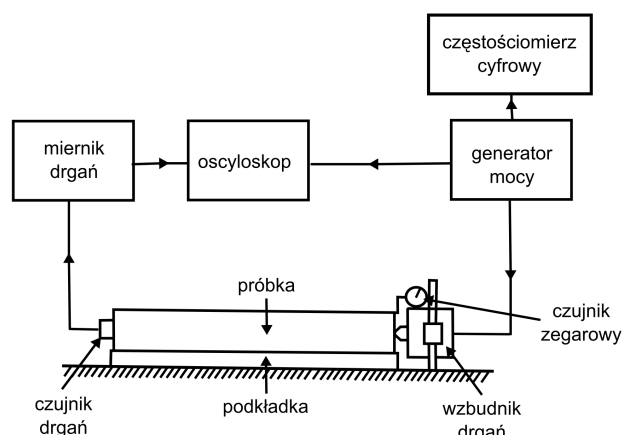
Rys. 6. Typowy zapis zmian długości próbki i temperatury w czasie ochładzania (Bebłacz i Kamiński, 2004)

Gdy przyrosty długości próbek w dwóch kolejnych cyklach zwiększą się co najmniej dwukrotnie, to beton

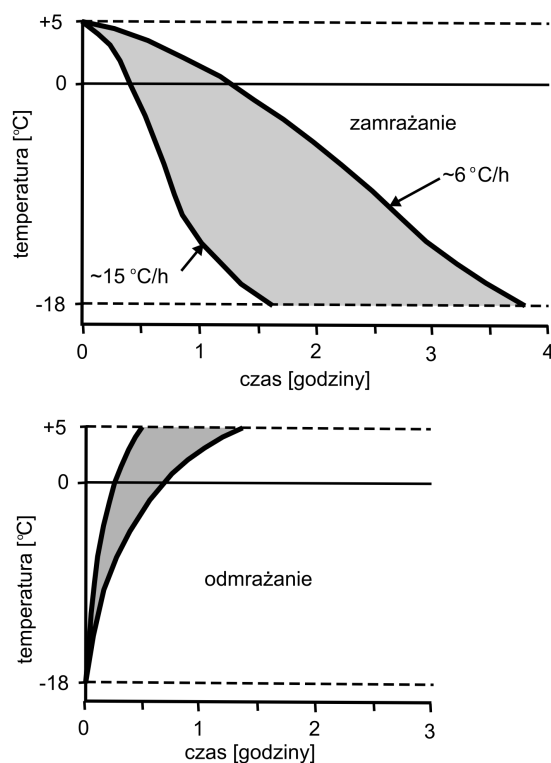
uważa się za nie mrozoodporny. Beton mrozoodporny nie wykazuje istotnych różnic w zakresie odkształceń w kolejnych cyklach zamrażania.

2.6. Metoda ASTM C 666

Do badania wykorzystuje się próbki betonowe o wymiarach $75\times 100\times 400$ mm. Po wykonaniu próbki przechowywane są przez 14 dni w wodzie. Przed umieszczeniem w komorze zamrażarki dokonuje się pomiaru wymiarów próbek i częstotliwości rezonansowej. Zestaw do pomiaru częstotliwości rezonansowej próbek przedstawiono na rysunku 7. Czas jednego pełnego cyklu zamrażania i odmrażania powinien trwać od 2 do 5 godzin. Na rysunku 8 przedstawiono graniczne zakresy zmian temperatury próbek betonowych.



Rys. 7. Zestaw do pomiaru częstotliwości rezonansowych próbek (Bebłacz i Kamiński, 2004)



Rys. 8. Zakres dopuszczalnych zmian temperatury próbek betonowych w czasie według metody ASTM C 666 (Bebłacz i Kamiński, 2004)

Po 300 cyklach zamrażania i odmrażania próbek betonowych w 3 % roztworze NaCl dokonuje się oceny makroskopowej oraz pomiarów zmian długości próbki lub pomiaru rezonansowej częstości drgań. Oblicza się współczynnik trwałości DF korzystając ze wzoru:

$$DF = \frac{N}{M} \cdot \left(\frac{n_n}{n_0} \right)^2 \cdot 100, [\%] \quad (1)$$

gdzie M jest to ilość cykli, $N = 300$ lub mniej jeśli wartość $(n_n/n_0)^2$ spadnie poniżej 0,6, n_n jest to częstotliwość rezonansowa po n cyklach, n_0 jest to częstotliwość rezonansowa przed rozpoczęciem pierwszego zamrażania.

Za beton mrozoodporny uważa się taki, który wykazuje wartość współczynnika DF większą niż 80%. Jeśli współczynnik DF wykazuje wartość mniejszą niż 60% lub próbka wykazuje zmianę długości powyżej 200 $\mu\text{m}/\text{m}$, to beton można traktować jako nietrwały.

Zalety metody ASTM C 666:

- możliwość dostosowania metody do warunków eksploatacji obiektu;
- stwierdzona zgodność wyników laboratoryjnych z zachowaniem betonu w konstrukcji.

Wady metody ASTM C 666:

- długi czas badania;
- narzucony czas dojrzewania próbek w wodzie (2 tygodnie) - dla cementów hutniczych lub portlandzkich wieloskładnikowych czas dojrzewania próbek jest niewystarczający;
- brak możliwości oceny odporności betonu na złuszczenie, co jest wskazane przy stosowaniu środków odladzających.

2.7. Metoda zwykła według PN-88/B-06250

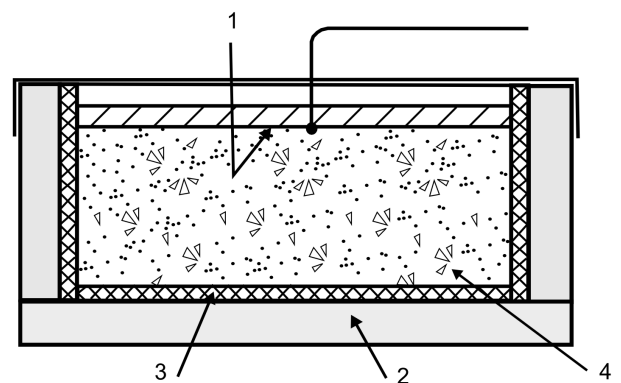
Do badania mrozoodporności betonu metodą zwykłą stosuje się próbki o kształcie sześciangu po upływie 28 dni dojrzewania. Badanie rozpoczyna się od nasycenia próbek betonowych wodą. Próbki porównawcze przeznaczone do badania wytrzymałości na ściskanie pozostawia się w wodzie w temperaturze $+18 \pm 2^\circ\text{C}$ przez cały czas oznaczania odporności na działanie mrozu. Próbki do zamrażania układa się w komorze zamrażarki zachowując odstęp 20 mm. Zamrażarka poddaje je cyklicznemu zamrażaniu w temperaturze $-18 \pm 2^\circ\text{C}$ przez okres 4 godzin i odmrażaniu przez całkowite zanurzenie w wodzie w temperaturze $+18 \pm 2^\circ\text{C}$ w ciągu 4 godzin. Po ostatnim odmrażaniu przeprowadza się badanie wytrzymałości na próbkach porównawczych i poddawanych działaniu mrozu. Średni spadek wytrzymałości próbek po badaniu oblicza się za wzoru:

$$\Delta R = \frac{R_1 - R_2}{R_1} \cdot 100, [\%] \quad (2)$$

gdzie R_1 jest to średnia wytrzymałość na ściskanie próbek porównawczych – niezamrażanych, nasyconych wodą w MPa, R_2 jest to średnia wytrzymałość na ściskanie próbek badanych, po ich ostatnim odmrażaniu, nasyconych wodą w MPa.

2.8. Badanie odporności na działanie mrozu w obecności soli odladzającej według PN-EN 1338:2005

Do badania mrozoodporności betonu z udziałem soli odladzającej stosuje się próbki po upływie 28 dni dojrzewania, które wcześniej klimatyzowano w temperaturze $20 \pm 2^\circ\text{C}$ i wilgotności względnej $65 \pm 10\%$. Powierzchnie boczne próbki okleja się elastycznym arkuszem gumowym, którego brzeg wystaje 2 cm ponad powierzchnię badaną. Silikonem wypełnia się szfowania na obwodzie próbki w celu zapewnienia szczelności wokół powierzchni badanej między betonem a arkuszem gumowym. Następnie wykonuje się ze styropianu izolację cieplną grubości 2,5 cm dolnych i bocznych powierzchni. Próbkę do badania odporności na zamrażanie/rozmarzanie z udziałem soli odladzającej przedstawia rysunek 9.



Rys. 9. Przekrój przez próbkę stosowaną do badania mrozoodporności betonu metodą zluszczeniową według PN-EN 1338: 1 – badana powierzchnia, 2 – folia z polietylenu, 3 – mieszanina zamrażająca, 4 – próbka do badania, 5 – arkusz gumowy, 6 – izolacja termiczna (styropian), 7 – urządzenie do pomiaru temperatury, 8 – uszczelnienie

Po ukończeniu klimatyzacji próbek, na badaną powierzchnię nalewa się wodę pitną o temperaturze $20 \pm 2^\circ\text{C}$ na wysokość 5 mm i utrzymuje się takie warunki przez 72 godziny w celu oceny skuteczności uszczelnienia. 15 minut przed umieszczeniem próbek w zamrażarce wodę na badanej powierzchni próbek zastępuje się 3% roztworem NaCl. Wysokość warstwy roztworu powinna wynosić 5 mm. W celu zapobiegnięcia jej odparowaniu, próbki przykrywa się szkłem. Próbki betonowe umieszcza się w komorze zamrażarki i poddaje przemiennym cyklom zamrażania i rozmrażania. W mieszaninie zamrażanej na środku powierzchni wszystkich próbek zależność zmian temperatury w czasie powinna mieścić się między krzywymi granicznymi (tab. 2). Po 7 i 14 cyklach należy w razie konieczności uzupełnić roztwór NaCl.

Tabela. 2. Współrzędne punktów załamania według PN-EN 1338

granica górna		granica dolna	
Czas [h]	Temperatura [°C]	Czas [h]	Temperatura [°C]
0	24	0	16
5	-2	3	-4
12	-14	12	-20
16	-16	16	-20
18	0	20	0
22	24	24	16

Po 28 cyklach zbiera się z powierzchni badanej próbki złuszczonego materiał przez wyflukanie go do naczynia z pomocą butelki ze spryskiwaczem i zgarnianie pędzlem. Złuszczonego materiał przemywa się wodą pitną i suszy przez 24 godziny w temperaturze 105°C, a następnie waży. Ubytek masy oblicza się ze wzoru:

$$L = \frac{M}{A}, [\text{kg/m}^2] \quad (3)$$

gdzie M jest to masa całkowitej ilości złuszczonego materiału po 28 cyklach w kg, A jest to pole badanej powierzchni w m^2 .

Zalety metody (Bebłacz i Kamiński, 2004):

- możliwość oceny odporności betonu na złuszczenie;
- możliwość badania betonów już eksploatowanych, prefabrykatów jak i betonów laboratoryjnych;
- krótki okres badania.

Wady metody (Bebłacz i Kamiński, 2004):

- dość żmudny proces przygotowania próbek,
- brak badań weryfikujących skuteczność metody.

3. Badania własne

W celu porównania mrozoodporności betonu z cementem hutniczym wykonano również próbki porównawcze z cementem portlandzkim.

3.1. Charakterystyka materiałów użytych do badań

Do wykonania mieszanek betonowych wykorzystano:

- cement: portlandzki CEM I 32,5R oraz cement hutniczy CEM III/A 32,5R;
- wodę wodociągową spełniającą wymagania normy PN-EN 1008;
- kruszywo naturalne o uziarnieniu 0/16 mm;
- superplastyfikator w ilości 1% masy cementu.

Z powodu umiarkowanej ilości zaczynu w mieszance betonowej, bez domieszki uzyskano konsystencję mieszanek betonowej klasy S1. Dlatego w celu poprawy urabialności zastosowano superplastyfikator – uzyskana klasa konsystencji to S3.

W tabeli 3 przedstawiono skład chemiczny wykorzystanych w badaniach cementów, a w tabeli 4 skład mieszanek betonowych

Tabela 3. Skład chemiczny cementów

Składnik	Zawartość, %	
	CEM I 32,5 R	CEM III/A 32,5 R
CaO	64,1	52,1
SiO ₂	20,8	30,7
Al ₂ O ₃	7,4	6,0
Fe ₂ O ₃	2,1	1,9
SO ₃	2,6	2,4

Tabela 4. Skład mieszanki betonowej wykonanej

Składnik	Ilość składnika
Kruszywo naturalne 0/16 mm	1906 kg/m^3
Woda	168 dm^3/m^3
Cement	350 kg/m^3
w/c	0,48

3.2. Metodyka badań

Badanie nasiąkliwości próbek betonowych wykonanych z cementu CEM I 32,5R i CEM III/A 32,5R przeprowadzono zgodnie z normą PN-88/B-06250. Badanie wykonano na 12 próbkach w każdej serii.

W celu oceny zachowania się próbek betonowych w warunkach mrozowych zarówno bez soli odladzających jak i z solami, zastosowano dwie metody badawcze.

Badanie mrozoodporności metodą zwykłą betonu wykonanego z cementu CEM I 32,5R i CEM III/A 32,5R przeprowadzono zgodnie z normą PN-88/B-06250 (pkt 2.7). Ta procedura symuluje warunki pracy betonu narażonego na działanie wody przed zamrażaniem. W każdej serii badawczej 6 próbek poddawano cykлом zamrażania/rozmarzania i 6 próbek przechowywano w wodzie jako próbki referencyjne.

Badanie mrozoodporności metodą złuszczeniową betonu wykonanego z cementu CEM I 32,5R i CEM III/A 32,5R przeprowadzono zgodnie z normą PN-EN 1338:2005 (pkt 2.8). Jest to metoda normowa stosowana do oceny betonowej kostki brukowej i pozwala w krótkim czasie ocenić odporność na złuszczenia w obecności soli odladzających. Badanie przeprowadzono na 6 próbkach w każdej serii badawczej.

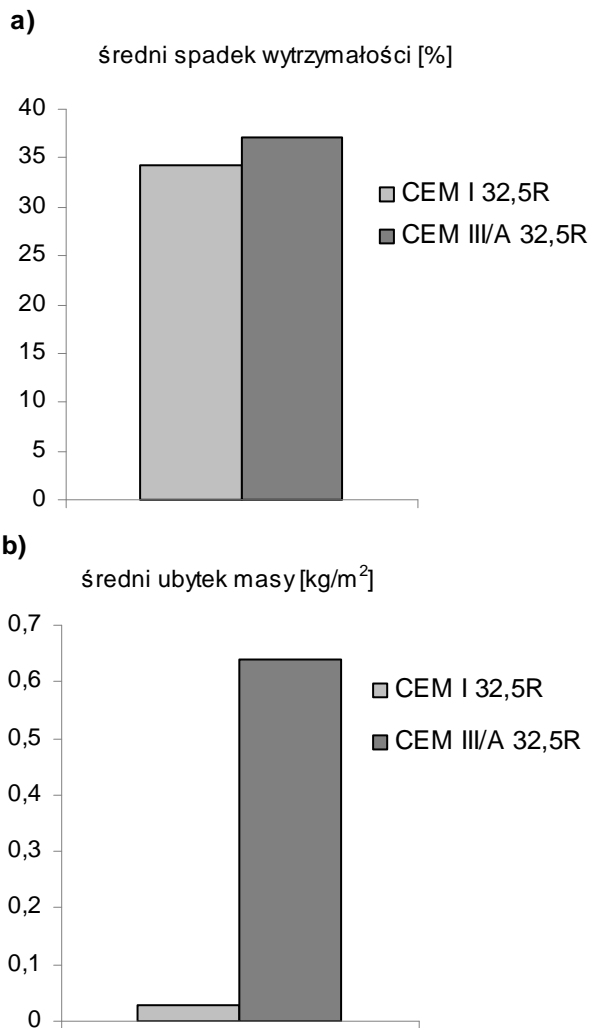
3.3. Wyniki i dyskusja

Oba betony wykonane z cementu CEM I 32,5R i CEM III/A 32,5R spełniły wymagania normy PN-88/B-06250 (nasiąkliwość nie większa niż 5%). Nasiąkliwość betonu wykonanego z czystego cementu portlandzkiego wyniosła 4,39%, a z cementu hutniczego 4,78%. Mimo, że beton z cementem hutniczym CEM III/A 32,5R spełnił wymagania normy to jednak nasiąkliwości betonu wzrosła o około 9%.

W wyniku przeprowadzonej analizy wariancji otrzymano wartość statystyki $F = 15,08$. Dla poziomu istotności $\alpha = 0,05$ wartość krytyczna rozkładu F -Snedecora wynosi $F_{\text{kryt};0,05} = 4,30$. Jak widać wartość statystyki F przekracza wartość krytyczną $F_{\text{kryt};0,05}$ co oznacza, że z prawdopodobieństwem popełnienia błędu równym 0,05 odrzucamy hipotezę zerową

na korzyść hipotezy alternatywnej, a więc rodzaj cementu ma wpływ na nasiąkliwość betonu.

Próbki betonowe wykonane zarówno z cementu CEM I 32,5R jak i CEM III 32,5R po 66 cyklach zamrażania/rozmarzania przy oględzinach makroskopowych wykazały jedynie nieznaczne zarysowania powierzchni i nieliczne spękania, natomiast spadek wytrzymałości na ściskanie w stosunku do wytrzymałości próbek niezamrażanych wyniósł ponad 20%. Bardziej odporny na działanie mrozu po 66 cyklach zamrażania/rozmarzania okazał się beton wykonany z czystego cementu portlandzkiego. Większy spadek wytrzymałości na ściskanie o 8,2% wykazał beton wykonany z cementu hutniczego CEM III/A 32,5R (rys. 10).



Rys. 10. Wyniki badania mrozoodporności betonu: a) metoda zwykła, b) w obecności soli odladzającej NaCl

W wyniku przeprowadzonej analizy wariancji otrzymano wartość statystyki $F = 0,15$. Dla poziomu istotności $\alpha = 0,05$ wartość krytyczna rozkładu F-Snedecora wynosi $F_{kryt;0,05} = 4,96$. Jak widać wartość statystyki F jest mniejsza od wartości krytycznej $F_{kryt;0,05}$ co oznacza, że z prawdopodobieństwem popełnienia błędu równym 0,05 odrzucamy hipotezę alternatywną na korzyść hipotezy zerowej, a więc rodzaj cementu nie ma

wpływu na spadek wytrzymałości betonu na ściskanie spowodowany agresją mrozową.

Większą odpornością na działanie mrozu w obecności soli odladzającej NaCl odznacza się beton wykonany z cementu portlandzkiego CEM I 32,5R (rys. 10). Beton wykonany z cementu hutniczego CEM III/A 32,5R wykazał 21 razy większy ubytek masy niż beton wykonany z cementu CEM I 32,5R. Mimo to, beton ten można uznać za mrozoodporny, gdyż spełnia wymagania normy PN-EN 1338:2005 dotyczącej ilości złuszczonego materiału. Masa badanego materiału z pojedynczej próbki betonowej w każdym przypadku jest $\leq 1,5 \text{ kg/m}^2$ oraz średnia masa złuszczonego materiału dla obu betonów jest mniejsza niż $1,0 \text{ kg/m}^2$.

W wyniku przeprowadzonej analizy wariancji otrzymano wartość statystyki $F = 6,77$. Dla poziomu istotności $\alpha = 0,05$ wartość krytyczna rozkładu F-Snedecora wynosi $F_{kryt;0,05} = 4,96$. Jak widać wartość statystyki F jest większa od wartości krytycznej $F_{kryt;0,05}$ co oznacza, że z prawdopodobieństwem popełnienia błędu równym 0,05 odrzucamy hipotezę zerową na korzyść hipotezy alternatywnej, a więc rodzaj cementu ma wpływ na ubytek masy betonu powstały w wyniku działania mrozu w obecności soli odladzającej NaCl.

4. Wnioski

W oparciu o przeprowadzone własne badania i analizę wyników badań sformułowano następujące wnioski:

1. Oba betony wykonane z cementu CEM I 32,5R i CEM III/A 32,5R spełniły wymagania normy PN-88/B-06250 pod względem nasiąkliwości betonu; w wyniku przeprowadzonej analizy wariancji stwierdzono, że rodzaj zastosowanego cementu ma wpływ na nasiąkliwość betonu – próbki betonowe z cementem hutniczym wykazały wyższą o około 9% nasiąkliwość.
2. Żaden z betonów nie spełnił wymagań normy PN-88/B-06250 dotyczącej mrozoodporności betonu badanej metodą zwykłą po 66 cyklach zamrażania i odmrażania. Spadek wytrzymałości na ściskanie w stosunku do wytrzymałości próbek niezamrażanych był większy niż 20%; w wyniku przeprowadzonej analizy wariancji stwierdzono, że rodzaj zastosowanego cementu nie ma wpływu na spadek wytrzymałości betonu na ściskanie spowodowany agresją mrozową.
3. Możliwą przyczyną niezadowalającej mrozoodporności badanej metodą bezpośrednią, betonu wykonanego z cementu CEM III/A 32,5R jest brak napowietrzenia i użycie do wykonania mieszanki betonowej kruszywa naturalnego.
4. Beton wykonany z cementu CEM III/A 32,5R wykazał mniejszą odporność na działanie mrozu w obecności soli odladzającej NaCl, gdyż ubytek masy jest 21 razy większy niż w przypadku betonu wykonanego z cementu portlandzkiego CEM I 32,5R. Mimo to, beton ten, jak i beton wykonany z cementu CEM I 32,5R można ocenić jako mrozoodporny, gdyż

w obu przypadkach średnia masa złuszczonego materiału jest znacznie niższa niż $1,0 \text{ kg/m}^2$.

5. W wyniku przeprowadzonej analizy wariancji stwierdzone, że rodzaj cementu ma wpływ na ubytek masy spowodowany cyklicznym zamrażaniem i rozmrażaniem betonu w obecności soli odladzającej NaCl.

Literatura

- Bebłacz D., Kamiński P. (2004). Metodyka badania oraz kryteria oceny odporności betonów nawierzchniowych na działanie soli odladzających. W: *Dni Betonu*, 2004.
- Copuroglu O., Schlangen E. (2008). Modeling of frost salt scaling. *Cement and Concrete Research*, 38 (2008), 27-39.
- Deja J. (2003). Freezing and de-icing salt resistance of blast furnace slag concretes, *Cement and Concrete Composites*, 25 (2003), 357–361.
- Giergiczny Z., Pużak T. (2004). Cement hutniczy CEM III składnikiem betonu o wysokiej jakości. *Materiały Budowlane*, 2/2004, 33-36.
- Kosior-Kazberuk M. (2003). Ocena mrozoodporności betonu zgodnie z wymogami nowej normy europejskiej. *Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej*, Z. 23, Białystok, 103-118.

Rusin Z. (2002). Technologia betonów mrozoodpornych. *Polski Cement*, Kraków.

Wiebenga J. (1985). Frost and Frost-de-icing salt resistance of fly ash cement concrete. *TNO-IBBC*, report B-84-507/60.6.0190.

Valenza II J.J., Scherer G.W. (2007). A review of salt scaling: I. Phenomenology. *Cement and Concrete Research*, 37 (2007), 1007–1021.

METHODS OF TESTING CONCRETE FREEZE RESISTANCE. EVALUATION OF FREEZE-THAW RESISTANCE OF CONCRETE WITH BLAST-FURNACE CEMENT

Abstract: Different methods of testing concrete freeze resistance are described in this paper. Water absorption and freeze resistance of concrete laboratory specimens with two types of cements ordinary Portland cement CEM I 32,5R and blast-furnace cement CEM III/A 32,5R without air-entering admixture was tested. Two testing procedures were applied: direct test according to Polish standard PN-88/B-06250 and scaling measurements in the presence of de-icing salt according to Polish standard PN-EN 1338:2005. Specimens containing blast-furnace cement had lower freeze resistance regardless the applied method.

Pracę wykonano w ramach realizacji zadania statutowego S/WBIŚ/1/10 realizowanego w Politechnice Białostockiej.

INTEGRATED TREATMENT OF RINSING COPPER-CONTAINING WASTEWATER

Gennady KOCHETOV*, Dmytro ZORYA, Julia GRINENKO

National University of Construction and Architecture, 31 Povitroflotsky Pr., 03680, Kiev, Ukraine

Abstracts: A comprehensive ion-exchange based technology is proposed for treatment of copper-containing rinsing water with closed-circuit water supply and utilisation of the valuable metal. We applied the principle of ferritisation for wastewater treatment. The research results were used for development of the new environmentally sound method for utilisation of eluates of ion-exchange filters with production of a marketable product - copper ferrit and other ferromagnetic substances.

Key words: wastewater treatment, copper, utilization, ferritization.

1. Introduction

Modern development is accompanied by massive growth of releases of toxic waste that exceed the natural neutralisation capacity of ecosystems. Industrial wastewater discharges contain a substantial amount of pollutants, including the most hazardous ones – ions of heavy metals. Industrial facilities commonly apply reagent-based methods for treatment of wastewater and concentrated technologic solutions - i.e. neutralisation and precipitation of ions of heavy metals by alkaline reagents. As a result, industrial facilities accumulate stockpiles of poorly soluble sludges, which contain compounds of heavy metals and copper particularly.

Copper is an important element for the industry, but its natural resources are getting limited. Various sections of the industry, in particular, electronic, chemical and engineering facilities generate copper-containing wastewater and sludge. The actual performed wastewater treatment allows to use efficiently only 25% of primary copper. Environmental compliance demands the development of new technologies with on-site recycle reuse of both treated water and heavy metals extracted.

Depending on levels of heavy metals in copper-containing wastewater flows of industrial facilities, there are two types of wastewater: diluted (rinsing) and concentrated ones (exhausted electrolyte, pickling solutions, eluates of ion-exchange filters). The current research study is dedicated to development of the new resource-efficient technology for treatment of rinsing wastewater flows of copper electroplating facilities with

re-use of purified water and valuable compounds of heavy metals.

2. Fundamentals of copper-containing wastewater processing

Detailed studies of published sources, as well as many years of our expedience of addressing the problem of efficient treatment of polluted wastewater, including inter alia copper pollution, suggest that now it is rather important to modernise reagent-based technologies of industrial wastewater treatment in order to ensure a reliable utilisation of toxic copper-containing sludges. Generally, sludges do not undergo any further processing and are disposed to landfills. However, these sludges are not stable and heavy metals may be leached from them by water. Besides that, the reagent-based treatment allows to reduce heavy metals contents in wastewater only to 0.1–0.2 mg/dm³, or one order of magnitude higher than established by the Standard requirements (Hammer, 2006).

Notwithstanding numerous research studies, existing sludge utilisation technologies (e.g. their use in metallurgy) have not been applied yet, due to cost considerations. Utilisation of these sludges as components of construction materials is not acceptable due to environmental and health problems, as heavy metals compounds may be gradually leached by water from these construction items. Copper-containing wastewater may be also treated electrochemically, but electrochemical

* E-mail of correspondence author. E-mail: gkochetov@gmail.com

technologies are energy-intensive. Thus development of a rational technology for wastewater treatment with reliable utilisation of toxic waste is rather relevant.

Analysis of the contemporary situation in the sphere of treatment of wastewater contaminated by heavy metals in general and by copper in particular, suggests appropriateness of development of a comprehensive wastewater treatment technology with further waste recuperation. If the waste cannot be utilised in an economically viable manner, we believe that it is important to obtain leaching-resistant compounds of heavy metals allowing their environmentally safe landfilling. As our previous research works suggest (Kochetov et al., 1998), the most prospective option for introduction of low-waste processes is associated with application of local wastewater treatment installations for individual electroplating operations, including copper electroplating. That ensures purposeful extraction of valuable metals and design of closed circuit water supply systems.

Rinsing wastewater of copper electroplating facilities contain the following pollutants: suspended solids - up to 50 g/m^3 , heavy metals (Fe^{2+} and Cu^{2+}) - up to 4 g-eq/m^3 , COD - up to 50 g/m^3 at pH of 3 to 4. Due to the fact that wastewater flows of industrial facilities tend to contain relatively low concentration of heavy metals ions, it is appropriate to apply ion-exchange technologies instead of traditional reagent-based ones, as ion-exchange methods allow to concentrate pollutants and to process the water jointly with technological solutions.

3. Development of new Integrated Technology for copper-containing Wastewater Treatment

3.1 Wastewater purification

Practical experience of operating ion-exchange installations and numerous published data suggest that application of ion exchange technologies is appropriate when levels of organic substances and suspended solids do not exceed 6 and 3 g/m^3 , respectively. Accounting for these considerations, we propose to use a two-section installation for treatment of wastewater flows of copper electroplating operations - after pre-treatment in the first section, water comes to the second section for ion exchange treatment (Fig. 1). The first section of installation includes two consecutive filters. The upper filter - filled with foamed polystyrene - allows to separate suspended solids, while in the lower filter organic substances are separated by sorption on activated charcoal. At the base of analysis of our research data we proposed the operating parameters for these filters, that ensure the necessary reduction of levels for suspended solids and organic substances in the purified water (Kochetov et al., 2003).

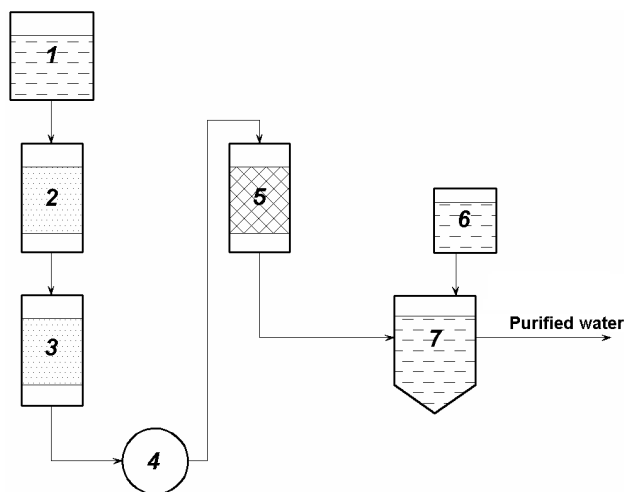


Fig. 1. Model technological scheme of rinsing wastewater treatment: 1 – rinsing water collector, 2 – filter with foamed polystyrene filler, 3 – adsorber with activated charcoal, 4 – pump, 5 – H-cationite filter, 6 – alkaline solution metering pump, 7 – mixer-neutralizer.

After the adsorption treatment, water is pumped to the ion-exchange filter for removal of heavy metals' ions. We propose to use an ion-exchange filter loaded with strongly acidic H-cationite and developed key operating parameters of the filter (Kochetov et al., 2003). When concentrations of sorbed ions in the discharge water of the ion-exchange filter reach 0.02 g-eq/m^3 , the cationite is exhausted and should be regenerated by sulphuric acid solution (1 mol/dm^3). In terms of quality, the treated water of the proposed technological process meets all requirements to its secondary industrial use: suspended solids - up to 3 g/m^3 , concentration of heavy metals (Cu^{2+} and Fe^{2+}) $\sim 0.02 \text{ g-eq/m}^3$, COD up to 3 g/m^3 and pH ~ 7 .

3.2 Eluate processing

Acidic eluate after the regeneration of H-cationite filter by a sulphuric acid solution is actually the only waste product of the technology proposed. The eluate contains Cu^{2+} and Fe^{2+} ions in almost equal concentrations and their overall level reaches up to 20 g/l . The ion-exchange method could be scarcely efficient in both economic and environmental terms unless a solution would be found for rational utilization of the eluate (Hammer, 2006). Therefore, utilization of eluates is an important final stage of the comprehensive wastewater treatment.

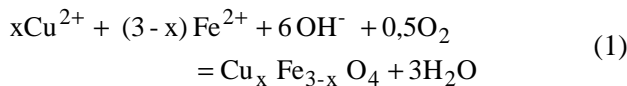
Industrial facilities generally apply the traditional method of neutralization by alkaline reagents for treatment of acidic eluates. The method generates another wastewater flow with pH values over 9.5 that cannot be discharged to municipal sewers. The unstable sediment obtained is generally landfilled and pollutes the environment. Summing up - this method of eluate treatment is not environmentally acceptable and results in loss of valuable components.

So, identification and development of efficient and economically viable methods for utilization of concentrated copper-containing wastewater are rather important. In particular, the ferritization method

(Zapolsky, 2000) is quite promising in the case of treatment of liquid industrial waste, including eluates. In essence, the ferritization method is associated with formation of dispersed particles with magnetic properties in water contaminated by ions of heavy metals. The method allows easy separation of chemically inert sediments with ferrite structure and ensures a high degree of water purification, allowing to re-use secondary water for on-site industrial purposes.

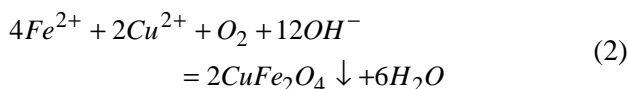
4. Experimental study

Ferritization method allows to achieve co-sedimentation of Cu^{2+} and Fe^{2+} ions by alkaline reagents. Initially formed highly dispersed particles are in close contact, substantially accelerating formation of the crystalline structure of copper ferrite in the course of further oxidation of Fe (II) into Fe (III). The most environmentally acceptable option is associated with oxidation of bivalent iron by oxygen in the air. Application of chlorine or other oxidizing reagents is undesirable. The reaction results in formation of substances with ferrite structure according to the following scheme:



Cu^{2+} ions are known (Zapolsky, 2000) to catalyze oxidation/reduction processes, including oxidation of Fe (II) into Fe (III).

So, at the final stage of the wastewater treatment process, the eluate from the ion-exchange filter comes to the reactor for ferritization treatment. We seek to develop conditions for obtaining of copper ferrite CuFe_2O_4 . This compound is used in radio-engineering, electronic and automatic devices as a magnetostriction material. As the industrial production of copper ferrite is rather energy-intensive - it is synthesized by high-temperature sintering at about 1000°C (Carter & Norton, 2007) studies of low-temperature synthesis may be of particular importance. At molar ratio Fe to Cu of 2:1 in the reaction mixture it is possible to obtain copper ferrite according to phase diagram of the system Fe-Cu-O, (Yund & Kullerd, 1964):



It is worth to note, that ions of copper and iron (II) are present in the eluate in almost equal molar concentrations, in order to produce copper ferrite, it is necessary to add excessive amounts of iron (II) ions to ensure Fe to Cu molar ratio of 2:1.

4.1 Experimental procedure

The experimental setup for research of ferritization process is shown in Fig. 2. In order to ensure

the necessary stoichiometric ratio of iron to copper in the reaction mixture, the necessary volume of iron (II) sulphate solution is added to the reactor and then - at intensive stirring - 20% solution of sodium hydroxide is added to reach the required pH value. The resulting suspension of copper and iron (II) hydroxides after the alkaline treatment is then treated by air bubbling at rate of about $1 \text{ cm}^3/\text{s}$.

We studied the following factors of the ferritization process:

- temperature of the reaction mixture - from 25 to 80°C ;
- pH from 6 to 12;

The quantitative analyses were done by using photometric and potentiometric methods. (Lurye, 1984). Structure of the sediment was studied by X-ray diffractometry with application of DRON-3 diffractometer, using filtered Cu radiation.

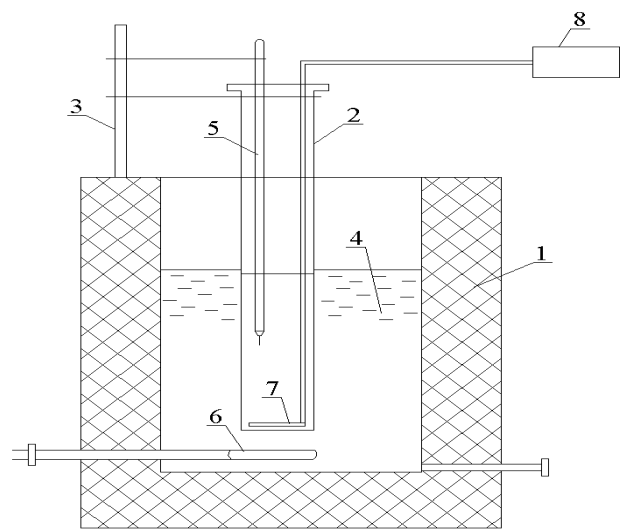


Fig. 2. The laboratory setup for ferritization process: 1 – thermostat case, 2 – cylinder with the treatment solution, 3 – stand, 4 – water, 5 – thermometer, 6 – tubular electric heater, 7 – air distribution system, 8 – compressor.

5. Results and discussions

Diffractograms of all the samples studied show only peaks that are included into Table 1. Analysis of X-ray diffraction data suggests that structure of the obtained substances corresponds to spatial group F d3m (a cubic crystal lattice of spinel type) - i.e. the one of copper ferrite. The above assumption is supported by interfacial distances that meet relevant parameters of the standard sample of copper ferrite. In addition, the obtained crystalline substance displays ferromagnetic properties.

Lattice constant a of copper ferrite was estimated by equation:

$$a = d\sqrt{H^2 + K^2 + L^2} \quad (3)$$

where d is the interfacial distance measured in the precision area at the gravity centre of the diffraction peak with crystallographic indices 311.

Lattice constant of our samples, as estimated by equation (3), reaches 0.8534 nm or somehow higher than in the case of standard 0.8462 nm for copper ferrite obtained by the traditional methods (Clegg, 1998). Higher lattice constants of our samples in comparison to standard ones are most probably associated with inclusion of water molecules into crystalline ferrite lattice.

Table 1. Structural parameters of the compounds obtained.

Crystallographic indices, HKL	Interfacial distances d, nm	Relevant intensity of peaks I*, %
311	0,257	100
331	0,167	65
400	0,145	71
533	0,130	59
444	0,123	21

* the value of 100% corresponds to intensity of the highest peak

The latter assumption is confirmed by the fact that after high temperature thermal treatment of our samples (5 hours at 800°C), lattice constants of the samples became almost equal to the standard parameter. Besides that, X-ray diffractometry suggests that at higher temperatures contents of amorphous phase decrease with relevant increase of contents of crystalline copper ferrite.

Results of study of magnetic properties of sediments depending on reaction conditions are shown in Fig. 3. The results suggest that heating of the reaction mixture from 25 to 80°C results in more than 3-fold increase of magnetic susceptibility. As for pH value, maximal magnetic properties were observed at the level of 9.0–10.0. At lower pH values, the rate of iron oxidation decreases. At pH values over 10.0 magnetic properties of sediments somehow decrease as diamagnetic copper substances are formed, such as copper oxide. Therefore, maximal yields of crystalline copper ferrite are observed at 80°C and pH of 9.0–10.0 (as confirmed by X-ray phase analysis).

Duration of the ferritization process depends on temperature and may reach 20–30 min at temperatures over 60°C and approximately 5 hours at temperature of 20°C. The formation process of crystalline ferrite structure may be accelerated by addition of CuFe_2O_4 crystals, that serve as centers of crystallization of the new solid phase of copper ferrite. The necessary amount of the crystallization initiator reaches about 0.05 g/dm³.

After cooling of the reaction mixture, the ferromagnetic sediment is separated by filtering at magnetic filter. The ferrite sediment from magnetic filters is dried and removed for utilization.

Depending on amounts and quality of the product, we may assess economic factors and select the most appropriate utilization option:

- direct industrial application of the ferromagnetic substance;
- production of glazing enamels for ceramic tile;
- landfilling.

But even in the case of landfilling, the ferrite compounds are thermodynamically stable. This means a substantially enhancement of environmental safety of the precipitated products in terms of compliance with MACs for migration of heavy metals to environmental media. Besides that, after the ferritization treatment, the water meets all requirements for its re-use for industrial purposes.

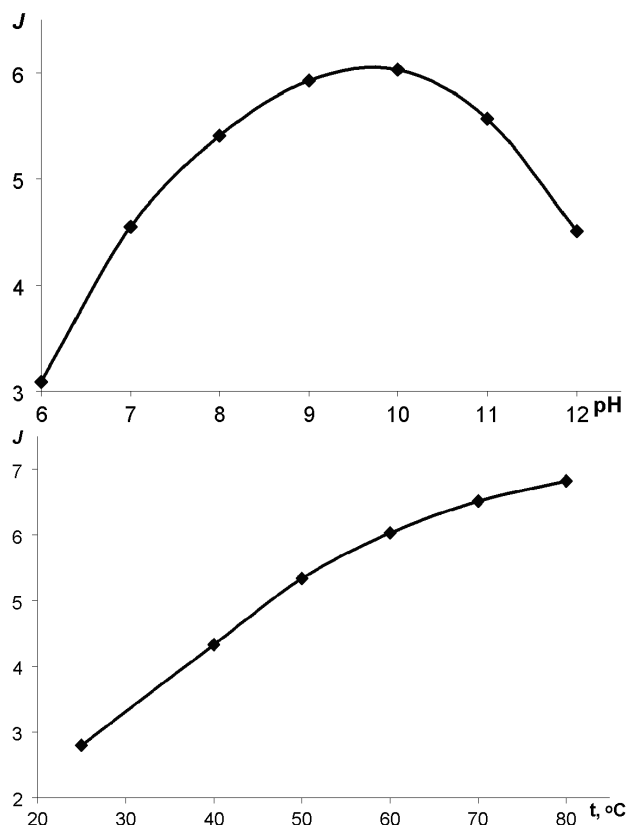


Fig. 3. Magnetic susceptibility of sediments depending on temperature (a) at pH = 10 and depending on pH (b) at temperature of 60°C.

6. Conclusions

Current lack of recycling technologies results in irreversible loss of the valuable components after industrial wastewater treatment. As result of our studies, we propose the comprehensive technology for treatment of wastewater contaminated by copper ions and other heavy metals. We have applied the principle of ferritization in order to produce dispersed particles with magnetic properties in wastewater. These insoluble and chemically inert particles can be easily concentrated and separated from wastewater and thus recycled effectively. Moreover, due to application of ferritization method quality of the treated wastewater meets all requirements needed to reuse it as process water on site.

Introduction of the technology at industrial facilities would allow to avoid discharge of toxic wastewater to surface water bodies and reduce water treatment costs due to re-use of treated water in closed-circuit water supply systems. In addition, the method allows to select optimal options for environmentally sound utilization

of waste of the wastewater treatment process, accounting for particular needs of a specific facility. The benefit of our new processing technology is the by-product copper ferrite, which can be used as a marketable substance.

References

- Carter C., Norton M. (2007) Ceramic materials: science and engineering. *Springer*, New York, 478 p.
- Clegg W. (1998). Crystal Structure Determination. *Oxford University Press*, Oxford, 512 p.
- Hammer M. J. (2006) Water and wastewater technology. *Prentice Hall publisher*, New Jersey, 519 p.
- Kochetov G.M., Emelianov B.M., Ternovtsev V.E. (1998). Improvement of Water Treatment: Heavy Metals. W: *Proceedings Warsaw 98, Fourth International Symposium on Environmental Contamination in Central and Eastern Europe*, Warsaw (Poland), pp. 138 - 143.
- Kochetov G., Ternovtsev V., Dzurik A., Leszczinska D., Zaitsev V. (2003). Development of Integrated Technologies for Nickel-containing Wastewater Treatment. W: *Proceedings of VI International Symp. on Environmental Contamination in Central and Eastern Europe and the Commonwealth of Independent States*, Prague (Czech Republic), pp. 226- 229.
- Lurye Yu.Yu. (1984). Analytical chemistry of industrial wastewater. *Chemistry publisher*, Moscow, 447 p.
- Zapolsky A.K. (2000). Physico-Chemical Basics of Wastewater Treatment Technologies. *Libra*, Kiev, Ukraine, 552 p.
- Yund R., Kullerd G. (1964). Stable mineral assemblages of anhydrous copper and iron oxides. *The American mineralogist*, vol. 49, pp. 689 – 696.

ROLA POSZCZEGÓLNYCH ELEMENTÓW STRUKTURY ORGANIZACYJNEJ PRZEDSIĘBIORSTWA BUDOWLANEGO W FILOZOFII KOMPLEKSOWEGO ZARZĄDZANIA JAKOŚCIĄ (TQM)

Jerzy LISOWSKI^{a*}, Nina SZKLENNIK^b

^aWyższa Szkoła Finansów i Zarządzania, ul. Ciepła 40, 15-472 Białystok

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

Streszczenie: W artykule zaprezentowane zostały częściowe wyniki badań dotyczących wpływu systemów zapewnienia jakości na funkcjonowanie wielu sfer organizacyjnych przedsiębiorstw budowlanych. Analiza tych wyników wykazała, że kompleksowe zarządzanie jakością może być bardzo użytecznym rozszerzeniem funkcjonujących w tych firmach systemów jakości zgodnych z normami ISO, jeżeli zostanie prawidłowo umiejscowione w ich strukturach organizacyjnych.

Słowa kluczowe: przedsiębiorstwo budowlane, normy ISO, kompleksowe zarządzanie jakością (TQM), struktura organizacyjna.

1. Przedsiębiorstwo przyszłości XXI wieku

Treść niniejszego opracowania oparta jest na wynikach zrealizowanego przez autorów (w latach 2003–2006) programu badawczego pod tytułem „Badania nad metodami zarządzania jakością, stosowanymi w praktyce krajowych przedsiębiorstw budownictwa” oraz niektóre doświadczenia przodujących budowlanych firm amerykańskich i koreańskich. Programem badawczym objęto niemalże czwartą część wszystkich przedsiębiorstw w Polsce stosujących w tym czasie normy ISO 9000 jako wzorce swoich systemów zarządzania jakością, a w części z nich przeprowadzono wywiad bezpośredni, aby bliżej poznać rolę, jaką pełnią w nich poszczególne elementy i poziomy struktury organizacyjnej.

Autorzy mają nadzieję, iż pomimo tego, że badania objęły tylko przedsiębiorstwa budowlane, to jednak zagadnienia, jakie ich dotyczą mają w kontekście wdrażania filozofii kompleksowego zarządzania jakością (TQM) znaczenie uniwersalne i z łatwością mogą być odniesione do ogółu przedsiębiorstw produkcyjnych (Steinbeck, 1998; Szczepańska, 1998).

Zupełnie nietypowo autorzy postanowili rozpocząć niniejsze opracowanie niejako „od końca” proponując Czytelnikowi wizytę w przyszłościowym przedsiębiorstwie, które już działa według filozofii kompleksowego zarządzania jakością. Pierwszą sprawą, którą w nim zauważamy jest fakt, że w tym

przedsiębiorstwie każdy je odwiedzający, jest traktowany jako klient. Załoga stara się dobrze poznać jego, jak również jego potrzeby i stara się z całym zaangażowaniem spełnić oczekiwania. Pomiary aktualnego stanu satysfakcji klientów są często prowadzone i ich rezultaty ujawniane załodze. Dodatkowo, każdy zatrudniony w firmie traktuje innych zatrudnionych również jako swoich klientów. Nawet podwykonawcy i dostawcy też są traktowani podobnie.

Dyrektor tego przedsiębiorstwa otwarcie okazuje swoje zaangażowanie w nowy styl zarządzania firmą. Podlegli mu członkowie najwyższego kierownictwa rozumieją w pełni zasady zarządzania jakością (lub raczej - zarządzania firmą przez jakość), ponieważ uczestniczą w wielu seminariach na ten temat, mają dostęp (i z niego korzystają!) do najnowszej literatury i prawdopodobnie odwiedzili już nieraz firmy podobnie zarządzane. Podjęli oni kilka miesięcy temu wspólnie decyzję o wprowadzeniu tej metody również w ich przedsiębiorstwie. Decyzję tę wsparli odpowiednią alokacją zasobów i rozpoczęciem finansowania niezbędnych szkoleń, opierając się zarzutom o braku natychmiastowych rezultatów. Ale kiedy pierwsze rezultaty się pojawiły, naczelne kierownictwo pogratulowało załodze osiągniętej poprawy poziomu organizacyjnego firmy i poziomu satysfakcji jej klientów.

Funkcje jakościowe zostały umiejętnie „wbudowane” w istniejące struktury organizacyjne. Odpowiedzialny

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

wicedyrektor i kierownicy działów spotykają się regularnie, aby zweryfikować osiągnięty postęp jakościowy przedsiębiorstwa. Na tych spotkaniach doskonalenie jest jedynym celem. Uczestnicy dokonują rewizji polityki i celów jakościowych firmy, krytycznie oceniają osiągnięty postęp w zakresie poszczególnych dziedzin, wybierają te, które wymagają ulepszeń oraz powołują zespoły tematyczne do ich wyczerpującego zbadania i przedstawienia propozycji akcji korekcyjnych. Praca tych zespołów początkowo zwiększała trudności w bieżącym wypełnianiu obowiązków przez poszczególne działy firmy, lecz szybko wprowadzane udoskonalenia systemowe zaczęły przynosić odczuwalne rezultaty.

Zarówno pracownicy „liniowi” przedsiębiorstwa, jak również personel zarządzający są zadowoleni z warunków pracy, stosowanych metod zarządzania i swojej pracy. Badania poziomu ich satysfakcji też są w firmie regularnie prowadzone, a wypracowane na ich podstawie zalecenia naprawy - sukcesywnie wdrażane do codziennej praktyki.

Cała załoga jest przeszkolona w problematyce zarządzania jakością. A co więcej, jej członkowie mają zapewniony trening i szkolenie również w kwestiach technicznych, po to, aby podwyższyć swoje kwalifikacje i osiągnąć dodatkowe. Wszyscy oni rozumieją bardzo dobrze związek, jaki zachodzi pomiędzy satysfakcją klientów a ich własnym bezpieczeństwem socjalnym (pewność zatrudnienia). Dlatego wszyscy starają się tak wykonywać swoje obowiązki, aby ową satysfakcję podtrzymać a nawet zwiększyć. Ponadto ludzie mają też pogłębioną znajomość potrzeb ich kolegów w pracy i traktują ich też jako klientów - odbiorców ich produktów lub usług.

Załoga ma też dużo więcej niż przedtem do powiedzenia w zakresie wykonawstwa swoich zadań, gdyż aktywnie uczestniczy w procesach decyzyjnych, które jej dotyczą. Fachowcy spotykają się w zespołach przed rozpoczęciem głównych partii prac i w trakcie ich trwania, aby planować na bieżąco roboty i poszukiwać dróg usprawniania ich przebiegu. Oni wiedzą, że ich twórcze pomysły będą zawsze z uwagą wysłuchane. Dlatego nie boją się otwarcie wypowiadać we wszystkich zagadnieniach w obecności swoich przełożonych i nadzoru. Często krytykują oni procedury i wytyczne, które przeszkadzają im dobrze wykonywać zдания produkcyjne. Załoga jest zapraszana do uczestniczenia w zespołach usprawniających procesy. Czasami są to normalne brygady, a w innych przypadkach powoływane są specjalne zespoły, w których ludzie pochodzący z różnych obszarów firmy studiuja jakiś złożony proces, w którym wszyscy biorą udział.

Z czasem okazało się, że majstrowie, brygadziści, kierownicy działów w zarządzie firmy oraz zastępcy dyrektora naczelnego mają inne niż poprzednio podejście do zarządzania. Nieomal niepostrzeżenie dla nich stali się instruktorami, mistrzami i doradcami. Rozumieją bowiem znaczenie dobrze poinformowanej, kompetentnej i wyszkolonej załogi. Oni sami też są przeszkoleni po to, aby lepiej funkcjonować w ramach tych nowych zasad zarządzania, które od tej pory powinny raczej nosić nazwę - przewodzenia. Spędzają teraz więcej czasu słuchając

innych, niż wydając im dyspozycje, gdyż wiedzą, że ich pozycja w hierarchii firmy nie daje im automatycznie prawa do posiadania odpowiedzi na każdy pojawiający się problem, a ludzie nie zawsze tego od nich oczekują. Natomiast, gdy podejmują decyzje, to zawsze są one oparte na faktach a nie na emocjach lub domysłach. Znają zatem wartość prawdziwych parametrów procesu i podejmują na ich podstawie możliwie najlepsze decyzje. Ten typ podejmowania decyzji zarządczych prowadzi do uproszczenia struktur i ich „odchudzenia”, gdyż zmniejszają się potrzeby w zakresie nadzoru.

Podwykonawcy i dostawcy są teraz postrzegani inaczej - bardziej jako partnerzy w dziele dobrej roboty, niż kontrahenci. Firma jak najczęściej uczestniczy we wspólnych naradach koordynacyjnych i usprawnia kanały informacyjne, aby uniknąć jakichkolwiek nieporozumień. Może to w końcu prowadzić do zawiązania względnie trwałych porozumień partnerskich pomiędzy nimi. Miejsca pracy są wzorowo zorganizowane i utrzymywane w czystości, przy czym bezpieczeństwo i higiena pracy jest stawiane na pierwszym miejscu. Skutkuje to w utrzymywaniu odpowiednich, czystych pomieszczeń sanitarnych i pokoi do spożywania posiłków. Pracownicy znają potrzeby odbiorców, wiedzą, co i komu dostarczają, a więc starają się tego „kogoś” usatysfakcjonować. Oni również komunikują się poprawnie między sobą i z przedstawicielami zarządu przedsiębiorstwa wizytującymi wydziały produkcyjne. Odbywają regularne zebrania organizacyjne, aby zapobiegać problemom zanim się pojawią i planować następne czynności. Ten duch współpracy oraz duma z dobrze wykonywanej zespołowej roboty prowadzi w końcu do bardzo dobrej jakości dostarczanych terminowo produktów.

Podwykonawcy i dostawcy są świadomi tego, iż oczekuje się od nich bardzo dobrej jakości obok konkurencyjnych cen. Zresztą firma daje im wyraźnie odczuć, że oczekuje od nich wdrożenia ich własnych systemów zarządzania jakością i prezentowania jednoznacznych dowodów ich efektywności. Selekcja podwykonawców i dostawców jest dokonywana na zasadach wzajemnego zaufania, lecz z zachowaniem zasad konkurencji.

Wszystko to jest niekiedy sprzeczne z obecnie funkcjonującymi zasadami i praktykami w naszym przemyśle, dlatego właśnie wymagają one głębokiej przebudowy. Każdy podjęty wysiłek odpłaci się zwiększoną satysfakcją klientów i pracowników, lepszymi relacjami międzyludzkimi w firmie, obniżeniem kosztów własnych działalności, wyeliminowaniem sporów prawnych i polepszeniem perspektyw utrzymania się na rynku.

Utopia? Ależ nie! Przedsiębiorstwa tak zarządzane już istnieją na świecie. Dr inż. Jerzy Lisowski miał to szczęście pracować na terenie jednego z nich jako audytor wewnętrzny systemu jakości. Był to południowo-koreański koncern budowlany realizujący kontrakt o wartości siedemnastu miliardów dolarów na terenie Afryki Północnej i zatrudniający tam czternaście tysięcy pracowników. Pomijając egzotyczne nieco, azjatyckie naleciałości kulturowe, wdrożono tam większość

europijskich zasad zarządzania jakością z dobrym skutkiem. To samo może być dokonane także w polskim przemyśle w drodze odpowiednie adaptacji jego struktur organizacyjnych oraz wdrożenia w ich poszczególnych segmentach i poziomach organizacyjnych zadań pro-jakościowych

2. Rola kierownictwa przedsiębiorstwa

Zaangażowanie kierownictwa w proces wdrażania w przedsiębiorstwie zasad kompleksowego zarządzania jakością ma kluczowe, wprost decydujące znaczenie w jego powodzeniu. Praktyka wskazuje, iż pod pojęciem „kierownictwo” należy rozumieć najwyższe kierownictwo przedsiębiorstwa, obejmujące zwykle pierwszą osobę decydującą w firmie i pierwszy poziom menedżerów w strukturze organizacyjnej. W przedsiębiorstwie produkcyjnym, mógłby to być prezes zarządu, vice-prezesi i ewentualnie – dyrektorzy pionów organizacyjnych (Feigenbaum, 1983).

Osoby te, a szczególnie prezes, mają do odegrania wiele ról w procesie wdrażania kompleksowego zarządzania jakością, z których pierwszą jest zrozumienie zasad TQM (Ładyński, 2001). Kiedy zasady te zostaną zrozumiane, a następnie w pełni zaakceptowane, najwyższe kierownictwo musi zapewnić przywództwo i poparcie całego procesu. Niektóre przedsiębiorstwa (jak to wykazały badania autora) stosują w praktyce niektóre elementy TQM. Jednakże wydaje się, że wszystkie lub prawie wszystkie elementy systemu powinny zaistnieć w firmie, aby zmaksymalizować efekty wdrożenia programu kompleksowego zarządzania jakością.

Studiowanie problematyki jakości przez najwyższe kierownictwo, nie musi rzecz jasna odbywać się w ławce szkolnej. Może na przykład mieć formę uczestnictwa w seminariach, wizytach w innych przedsiębiorstwach, konsultowania się w tej tematyce z przedstawicielami wyższych uczelni oraz studiowania podstawowej literatury przedmiotu (Zaciszewski, 2001; Taormina, 2002). Trzeba tu zastrzec, iż podobnie jak TQM jest procesem niekończących się usprawnień organizacyjnych, to samo można też powiedzieć o studiowaniu tej tematyki przez najwyższe kierownictwo firmy. Waga studiowania tematyki jakościowej przez te osoby wynika z tego, że TQM może wymagać wprowadzenia niekiedy zasadniczych zmian w sposobie realizowania przez organizację jej zadań. Tego rodzaju zmiany kultury organizacyjnej nie są łatwe do wprowadzenia.

Po pewnym czasie, naczelne kierownictwo zadecyduje być może, że TQM powinno być zastosowane w przedsiębiorstwie, ponieważ poznało ono potencjalne zalety tej filozofii i orientuje się co i kiedy w związku z tym, powinno być zrobione. Jeżeli tak będzie, to powinny być również podjęte decyzje o zainwestowaniu czasu i środków w niezbędne działania. Prawdopodobnie najwcześniej wystąpi potrzeba organizacji szkoleń, następnie udostępnienie możliwości pracownikom uczestniczenia w zespołach doskonalących jakość, być może - druku formularzy składania sugestii akcji

doskonalących, itp. Nakłady te jednak nie powinny być znaczne, gdyż większość działań może być wykonanych siłami własnymi przedsiębiorstwa, bez angażowania konsultantów zewnętrznych, jak to miało miejsce wtedy, gdy firma wdrażała system zarządzania jakością (Karaszewski, 1999).

To, czego najwyższe kierownictwo nie może zlecić do wykonania, to z pewnością jest jego rola przywódcza. Rola ta wymaga, aby członkowie kierownictwa aktywnie uczestniczyli w posiedzeniach komitetu wdrożenia TQM, byli widoczni na szkoleniach, propagowali idee TQM wewnątrz i na zewnątrz organizacji oraz śledzili odzew ze strony klientów firmy i jej pracowników. Niekiedy członkowie kierownictwa mogą i powinni inicjować jak najbardziej szczerze sesje dyskusyjne z pracownikami (zarówno w biurze zarządu, jak i w poszczególnych wydziałach produkcyjnych), aby wysłuchać ich zdania na temat możliwych i niezbędnych usprawnień. Najwyższe kierownictwo powinno ponadto uczynić z jakości jeden z głównych tematów omawianych na wszystkich zebraniach. Te i ewentualnie inne, działania powinny jasno wskazać, iż kierownictwo jest autentycznie zaangażowane w omawiany tu proces.

Pracownicy przedsiębiorstwa powinni mieć swobodę w ujawnianiu swoich pomysłów. To jednak nigdy nie nastąpi, jeżeli będą się oni obawiali konsekwencji. Strach może powstrzymać robotników przed zgłaszaniem propozycji usprawnień do majstrów, majstrów przed tego typu propozycjami kierowanymi do kierowników działów, kierowników działów przed otwartym komunikowaniem pomysłów dyrektorom, itd. Strach ten może mieć wiele postaci:

- respekt podwładnego wobec kierownika,
- strach przed zakłopotaniem, jakie można wywołać,
- strach przed odmową akceptacji,
- strach przed konsekwencjami, itp.

Tego rodzaju strach istniejący w organizacji jest podobny do częściowego paraliżu. Zatem jednym z najważniejszych zadań kierownictwa jest usunąć go radykalnie i raz na zawsze z przedsiębiorstwa. A może to być osiągnięte w drodze odpowiedniego szkolenia wszystkich, usprawnionej komunikacji wewnątrz organizacji oraz okazywania zawsze zainteresowania tym, co ludzie proponują, a nie okazywanie nigdy niczego, co mogłoby urazić ich dumę. To podejście najwyższe kierownictwo musi rozpropagować wśród kierowników niższego szczebla poprzez:

- wymaganie ich udziału w szkoleniach przywódczych,
- napominanie tych kierowników, którzy mają braki na tym polu,
- praktykowanie polityki „otwartych drzwi”,
- udział w spotkaniach z pracownikami, aby wysłuchiwać ich wniosków w otwartej, nieformalnej atmosferze,
- wizytowanie pracowników w ich miejscach pracy, wysłuchiwanie ich uwag i informowanie ich o tym, jak zostają przyjęte.

Jeżeli chodzi o delegowanie uprawnień, to jest to zwykle w przedsiębiorstwie temat dość trudny. Wynika to z tego, iż najczęściej kierownicy działów, dyrektorzy

przedsięwzięć, kierownicy działów i majstrowie mają skłonność do przekonania, że ich doświadczenie i pozycja dają im podstawę do samodzielnego proponowania rozwiązań istniejących problemów. Jest prawdą, że menedżerowie mają często większe doświadczenie, niż podlegli im pracownicy. Ale to nie oznacza, że mogą w pojedynkę zaproponować najlepsze rozwiązanie problemu lub ulepszenie procesu. Przeciwnie, doświadczenie wskazuje, że zespołowe poszukiwanie rozwiązania, częściej prowadzi do lepszych propozycji. Jednakże, menedżerowie mogą wierzyć, iż z uwagi na ich pozycję inni spodziewają się, że oni muszą posiadać sposoby rozwiązywania problemów w obszarach im podległych. Dotychczas tak przecież najczęściej było. Filozofia TQM w przeciwieństwie do tego, zachęca kierowników do wciągania pracowników do poszukiwania rozwiązań problemów, które oni napotykają. Dzieje się to w ramach procesu zespołowego rozwiązywania problemów, zachodzącego w przedsiębiorstwie wdrażającym kompleksowe zarządzanie jakością (Szczepańska, 1999).

Jeżeli wdrażane jest ono w firmie posiadającej dobrze funkcjonujący system zarządzania jakością według odpowiedniej normy ISO, to kierownictwo jej powinno już być przyzwyczajone do znacznej odpowiedzialności za sprawę jakości.

W szczególności norma PN-EN ISO 9001:2009 odpowiedzialność kierownictwa ustanawia jako jeden z czterech podstawowych elementów systemu zarządzania jakością. W takim przypadku, rozszerzenie owej odpowiedzialności o omawiane tu zadania, nie powinno już budzić specjalnych zastrzeżeń. Podobnie jak sformułowanie wizji, misji, celów i zasad, jakie będą obowiązywać w przedsiębiorstwie (Pivka i Ursic, 2000; Żybertowicz, 1997; Wojciechowski, 2000).

Te opracowania należą również do zakresu zadań naczelnego kierownictwa przedsiębiorstwa. Najczęściej bierze ono udział z głosem decydującym w posiedzeniach komitetu wdrożeniowego TQM, na których dokumenty te są opracowywane. Pomagają one sformalizować podejście przedsiębiorstwa budowlanego do zagadnień jakości i zarządzania firmą. Wydaje się, że właściwie niemożliwe jest rozpatrywanie jakości w oderwaniu od zagadnień takich jak: bezpieczeństwo i wydajność, wszystkie trzy są bowiem wzajemnie powiązane. Jednakże z uwagi na podstawowe znaczenie bezpieczeństwa, zwykle jest ono wymieniane zarówno w sformułowaniach misji jak i celach oraz zasadach.

W wizji najczęściej przedsiębiorstwo deklaruje, jakie chce być za pięć do dziesięć lat, w zakresie tego, co chciałoby robić i jak to robić. Oświadczenie misji, to określenie roli przedsiębiorstwa w biznesie, która jest wypełniana poprzez realizację specyficznych celów. Zasady natomiast, określają w sposób ogólny, system wartości obowiązujący w przedsiębiorstwie oraz jego podejście do zagadnień jakości (Lisowski, 2003; Mc'Cormack, 2001).

Najprawdopodobniej, większość przedsiębiorstw, chciałaby przetrwać na rynku, osiągać przyzwoite dochody, ciągle się doskonalić, aby w końcu dojść do

produkcji w 100% bezwypadkowej, bezbłędnej i bez żadnych strat. Z pewnością jest to pociągające i dlatego powinno być uwidocznione w omawianych tu generalnych dokumentach. Dokumenty te, po opublikowaniu, mogą ulegać i najczęściej - ulegają zmianom odpowiadającym zmianom wewnątrz i na zewnątrz przedsiębiorstwa.

3. Strefa komunikacji

Kiedy wizja, misja, cele i zasady zostaną sformułowane, to powinny być one zakomunikowane wszystkim pracownikom. To właśnie pracownicy mają najważniejsze zadania do wypełnienia we wdrażaniu TQM, dlatego powinni mieć swój udział w formułowaniu tych dokumentów, a po ich zatwierdzeniu - być poinformowani. Może to być dokonane na szereg sposobów - np. list otwarty podpisany przez prezesa zarządu, seria prezentacji dla poszczególnych grup pracowniczych itp.

Dodatkowo zagadnienia te powinny być też zakomunikowane klientom, architektom i inżynierom, z którymi firma współpracuje oraz podwykonawcom i dostawcom. Tego rodzaju komunikowanie oczekiwania przedsiębiorstwa i jego determinacji w doskonaleniu, może spowodować wzrost zaufania i wzajemnego porozumienia oraz wsparcia.

Najgorsze, co mogłoby się zdarzyć, to opracowanie tego wszystkiego i odłożenie na półkę. Dokumenty te powinny stać się ogólną polityką w zakresie wszystkiego, co firma wykonuje, gdyż powinna ona ewoluować w miarę upływu i zmieniających się warunków otoczenia jej działania.

Komunikowanie się wewnątrz i na zewnątrz przedsiębiorstwa w momencie wdrażania programu kompleksowego zarządzania jakością, zawsze okazuje się niewystarczająco dobre. Dlatego poprawa komunikacji zajmuje tak ważną pozycję w modelu TQM (Taguchi i Wu, 1979).

Za każdym razem, gdy na schemacie tradycyjnej struktury organizacyjnej nazwa wydziału lub oddziału zostanie obwiedziona linią w kształcie prostokąta, oznacza to powstanie nowej „wyspy”. Im więcej takich „wysp” znajduje się w owej strukturze i im więcej będzie poziomów, na których będą one rozmieszczone, tym większe powstają trudności w komunikowaniu się np. wydziału ofertowania i konstruowania, osłabiają pracę zespołową i komunikację pomiędzy nimi. Taka sytuacja jest niestety w przeważającej liczbie przedsiębiorstw. Te granice muszą być osłabione na tyle, że kierownictwo, załoga w terenie i wspierające ją wydziały (zaopatrzenia, personalny, ofertowania, projektowania, marketingu, magazynowe, itp.) będą postrzegały się jako członkowie jednego zespołu, a nie oddzielne „wyspy unoszące się na oceanie” struktury organizacyjnej firmy.

Omawiając uprzednio rolę kierownictwa, wymieniona została kwestia strachu, który paraliżuje pracowników przed wszelkimi inicjatywami i ujawnianiem swoich poglądów. „Przy okazji” utrudnia on tym samym, dobre komunikowanie się. Zgodnie z jedną z zasad Deminga

(Drummond, 1998), strach powinien być całkowicie usunięty z przedsiębiorstwa wdrażającego zasady kompleksowego zarządzania jakością. To często wymaga dość istotnych zmian w stylu zarządzania i dotychczasowych metodach oraz tematyce szkoleń (na wszystkich poziomach zarządzania).

Każde przedsiębiorstwo komunikuje się z otoczeniem. Otoczenie w tym przypadku najczęściej obejmuje: klientów, projektantów, podwykonawców, dostawców i organy nadzoru, a linie łączące te jednostki reprezentują wymianę produktów, usług i informacji. Zgodnie z zasadami TQM, te linie łączące powinny ulec wzmocnieniu w drodze odpowiedniej kombinacji szkoleń, nacisku na to ze strony kierownictwa oraz poprzez wdrożenie w praktyce zasad współpracy partnerskiej.

4. Sfera pracy w zespołach

TQM uznaje, że ludzie pracujący razem w odpowiednio dobranych zespołach, realizujący wspólne cele, są zwykle bardziej wydajni, niż pracujący indywidualnie. Dobra praca w takich warunkach wymaga zdefiniowania ról i obowiązków członków zespołu, a następnie stworzenia klimatu społecznego, który sprzyja wypełnianiu tych ról i obowiązków.

Praca zespołowa jak jakość, macierzyństwo i szarlotka, jest zwykle postrzegana jako rzecz „dobra”. W wielu zresztą przedsięwzięciach, takich jak: gry zespołowe, w wojsku, podczas operacji szpitalnych, itp. jest ona słusznie uważana za krytyczną do ich powodzenia. A jednak w praktyce obserwuje się obecnie pewną erozję tego pojęcia. W przeszłości, wartości chrześcijańskie wspierały zasadę podporządkowania się i przywództwa, istniało generalnie większe przywiązanie do dyscypliny i zasad prawnych. To wszystko ulega w naszym kraju (i innych) stopniowemu zanikowi. Olbrzymi nacisk w mediach jest kładziony na prawa człowieka, a niewielki - na jego odpowiedzialność za siebie i innych. W ten sposób tworzy się stopniowo klimat lekceważenia dyscypliny, niechęci do podporządkowania się jakiegokolwiek władzy i brak respektu dla tradycyjnych liderów w społeczeństwie - rodziców, nauczycieli, policjantów, kierowników w miejscu pracy i polityków. Gdy to połączymy z tradycyjnym indywidualizmem naszego narodu, to powstaje wielka siła odśrodkowa, niszcząca zwartość społeczeństwa i będąca zazwyczaj w opozycji do pracy w zespole.

Trzeba sobie zdawać sprawę z tych trudności, jeżeli chcemy stworzyć dobre zespoły ludzkie pracujące zgodnie i wydajnie. Aby jednak tego dokonać, muszą zaistnieć trzy podstawowe składniki pracy zespołowej: - powinien być wyłoniony lider zespołu, - zespół powinien się zgodzić, by mu podlegać, - w zespole musi być dyscyplina. Wszystkie trzy są trudne do osiągnięcia w dzisiejszym społeczeństwie. W tej sytuacji, bardziej niż w przeszłości, powinno się dążyć do konsensusu wewnątrz zespołu. Jednakże i z tym są szczególne kłopoty w praktyce. Aby im zaradzić, przeanalizowane zostaną po

kolei trzy podstawowe składniki pracy zespołowej (Sobocińska, 1996).

4.1. Lider zespołu

Bardzo, bardzo trudno o właściwego kandydata. Musi on móc wzbudzić respekt i powodować, że ludzie będą uznawać jego przywództwo. Nie uda się tego narzucić; w obecnych czasach musi się na to zgodzić przynajmniej większość zespołu. Aby być prawdziwym liderem, osoba ta musi mieć wizję tego, co chce osiągnąć oraz to coś, co wyróżnia ją spośród „zwykłych” ludzi. Musi w tym przypadku być przekonanie co do celu, chęci osiągnięcia go i odwagi podjęcia ryzyka działania. Ta wizja to coś więcej, niż stos rysunków na biurku i chęć zrealizowania obiektu przedstawionego na nich. Powinna ona objąć również ludzi w to zaangażowanych i być oparta na zasadach, a nie tylko celach. Te zasady to: przyzwoitość, uczciwość i prawość.

Prawdziwy lider musi mieć wewnętrzny system wartości i coś, w co wierzy tak mocno, że może się temu poświęcić. Musi też mieć odwagę w działaniu, ale również odwagę przekazania swojego przywództwa komuś innemu, jeżeli to będzie lepsze do wykonania zadania. Lider oczywiście musi umieć przedstawić cele, rozpałić entuzjazm, koordynować wysiłki i wzbudzać zaufanie. Musi być ponadto absolutnie uczciwy w stosunku do wszystkich i unikający faworyzowania kogokolwiek. Musi pracować tak ciężko, jak spodziewa się, że inni będą i nie powinien obawiać się „ubrudzić rąk”. Ludzie w jego zespole będą różni - lepsi i gorsi, weseli i smutni, a dobry lider musi im wszystkim wbić do głów, że są tak samo dla niego ważni (co jest zresztą prawdą) i zachęcić do rozwoju ich talentów.

Jak widać z tego niepełnego zresztą wyliczenia, wiele wymaga się od przywódcy zespołu. Te przedsiębiorstwa, które potrzebują dobrych liderów powinny im stwarzać dobry klimat uczciwości, wyzwania, szkolenia, opieki i wynagradzania, aby zdobyć i utrzymać najlepszych. To też jest jeden z kierunków ciągłego doskonalenia w ramach TQM.

4.2. Zespół

Członkowie zespołu muszą być przekonani (przez lidera), że ich indywidualna satysfakcja, reputacja i sukces zależą wprost od sukcesu zespołu. Każdy jego członek powinien dostrzegać cel ogólny i wiedzieć, co może zrealizować w ramach zespołu dla jego osiągnięcia. Każdy powinien sam ocenić realistycznie swoje umiejętności i talenty oraz starać się je doskonalić. Każdy też powinien być uczciwy wobec innych członków zespołu, przyznawać się do ewentualnych błędów i pracując razem z zespołem, usuwać ich konsekwencje.

W wielu przypadkach, członkowie załogi, są równocześnie liderami w swoich, mniejszych zespołach. W ten sposób dobry przykład promieniuje na całą załogę, ale on musi być na prawdę dobry.

4.3. Dyscyplina

Dyscyplina to jest słowo niezbyt popularne obecnie, gdyż bywa kojarzone z sankcjami, karami i ograniczeniem wolności. Żyjemy w społeczeństwie, w którym tradycyjnie pojmowana dyscyplina właśnie zanika. Dzieci nie są jej poddawane. Dryl wojskowy nie jest praktykowany w domu, a jest nielegalny w szkole.

Ale w przypadku zespołu, aby działać z jakimś widokiem na sukces, musi być stosowana dyscyplina. Tylko jak ją w takich warunkach, wprowadzić? Do funkcjonowania dyscypliny, muszą być bardzo jasno określone nagrody za jej przestrzeganie i sankcje za jej nie przestrzeganie. Aby to było efektywne, muszą być określone wyraźnie zasady funkcjonowania w zespole. Naturalnie w wolnym społeczeństwie, a już szczególnie w grupie uformowanej dobrowolnie, dla realizacji jakiegoś zadania, musi być uzgodniony podział ról i zasady ich realizacji. W obecnych czasach dyscyplina zespołu jest budowana na zasadzie samodyscypliny i zgody na utratę pewnej autonomii jednostki dla dobra wszystkich. Lecz lider zespołu zawsze powinien wiedzieć jakimi sankcjami dysponuje i nie zawahać się na ich zastosowanie w krańcowym przypadku złamania dyscypliny. Ale przed zastosowaniem sankcji, trzeba wyczerpać wszystkie inne możliwości wyperswadowania członkowi zespołu postępowania, które godzi w powodzenie wszystkich jego członków.

5. Sfera polityki personalnej

Autorzy są przekonani, że aby usatysfakcjonować swoich klientów zewnętrznych, przedsiębiorstwo powinno najpierw zacząć traktować swoich pracowników jak klientów. W zaangażowaniu pracownika odbija się jak w lustrze sposób, w jaki jest on traktowany wewnątrz firmy. Kiedy ludzie wiedzą czego się od nich oczekuje, obserwują że świetna praca jest nagradzana i wierzą, że mogą coś zmienić, bo będą wysłuchani oraz że pozwoli im się wcielić w życie ich pomysły, to wtedy istotnie coś zmienią. Przekroczą po prostu oczekiwania kierownictwa.

Dlatego jednym z podstawowych przykazań TQM jest rozwój i spożytkowanie możliwości każdego pracownika. Przedsiębiorstwa słusznie oczekują, że ich pracownicy osiągną wysoką jakość. Ale czy stwarza się im najlepszy z możliwych, klimat do działania, zaopatruje w prawidłowe instrukcje, narzędzia i technologie, aby każdorazowo umożliwić im bezpieczne wykonywanie dobrej jakości produktu? Gdyby przedsiębiorstwa dokładnie przeanalizowały swoje wszystkie procesy, to w większości przypadków musiałyby odpowiedzieć: nie (lub: częściowo, czasami, itp.).

Pracownicy winni rozumieć misję firmy, zasady obowiązujące w niej oraz własną rolę w przedsiębiorstwie. W trakcie wstępnych szkoleń powinni zatem poznać te dokumenty, powinni być także poinformowani o dążeniu przedsiębiorstwa wdrażającego program TQM do doskonałości i pełnej satysfakcji jego klientów. Należy im także przedstawić możliwości

dalszego szkolenia w poszczególnych obszarach umiejętności i wiedzy. Oczywiście personel kierowniczy powinien uzyskać dodatkowe informacje np. na temat pracy w zespołach, roli liderów itp. Wsparcie naczelnego kierownictwa w trakcie tego typu spotkań (szkoleń) jest bardzo istotne - powinno ono być na nich czynnie reprezentowane, aby zaakcentować swoje personalne poparcie tych zagadnień (Łańcucki, 2001; Szczepańska, 1998).

W przedsiębiorstwie zarządzanym według zasad TQM powinny być prowadzone badania satysfakcji zatrudnionych pracowników oraz tych pracowników, którzy opuszczają organizację. Te ostatnie źródło informacji jest najczęściej zaniebdywane, a jest bardzo wartościowe. Z tych badań powinien na bieżąco wyłaniać się obraz zastrzeżeń, wskazanych obszarów powstawania problemów oraz rekomendowanych akcji doskonalących. Zatem musi być uruchomiony mechanizm bieżącego reagowania i mechanizm taki powinien opracować komitet wdrażający TQM w firmie. Wiele zastrzeżeń może być usuniętych przez bardzo proste działania menedżerskie, ale z pewnością będą i takie, które wymagać będą dokładnego zbadania i przemyślanego reagowania (Ross, 1995; Zaciszewski, 2001).

Niektóre firmy formułują na piśmie swoje podejście warunkujące aktywność pracowników. Podaje się poniżej przykład jednej z firm amerykańskich (Eliason & Knuth Companies, Inc.):

- a) kierownictwo nie na wszystko ma odpowiedź,
- b) wszyscy ludzie mają pomysły, jak ich praca mogłaby być wykonana bardziej efektywnie,
- c) ludzie najbliżsi problemowi często znają najlepsze rozwiązanie,
- d) to prawie niewyczerpane źródło wiedzy i kreatywności może być zużytkowane przez partycypację pracownika,
- e) ludzie chcą i wyczekują możliwości dzielenia się swoimi przemyśleniami oraz partycypacji w opracowywaniu rozwiązań problemów organizacyjnych, jeżeli odpowiedni po temu klimat zostanie stworzony i zostaną o to poproszeni.

W firmie tej funkcjonuje specjalny system zgłaszania przez pracowników spostrzeżeń dotyczących możliwości usprawniania procesów, który stanowi część programu ciągłego doskonalenia.

5.1. Badania satysfakcji pracowników

Tego typu badania często noszą nazwę pomiaru satysfakcji klienta wewnętrznego. Korzyści z ich prowadzenia są dwojakiego rodzaju:

- w załodze wzbudzają odczucie, że kierownictwo w istocie interesuje się nią,
- pozwalają zidentyfikować te obszary, w których występują zagrożenia i w związku z tym umożliwiają uruchomienie odpowiednich działań korygujących i zapobiegawczych.

Oczywiście, badania tego typu mogą być prowadzone różnymi sposobami. Mogą być np. zastosowane wywiady indywidualne, dyskusje grupowe lub wywiad ankietowy.

Niezależnie jednak od zastosowanych narzędzi, cele pozostają niezmienione. Chodzi o ustalenie nastawienia pracowników w stosunku do: jakości, bezpieczeństwa, przedsiębiorstwa, kierownictwa, warunków pracy oraz o stwierdzenie, jakie mają obawy lub zalecenia doskonalenia w tych właśnie obszarach.

Wywiady ankietowe są zwykle przeprowadzane raz do roku w formie wypowiedzi anonimowych, niekodowanych i pozbawionych innych możliwości identyfikacji ankietowanego (Vilson, 2001). Akcją najczęściej zarządza przedstawiciel zarządu ds. jakości, a z rezultatami zapoznawane jest zarówno kierownictwo, jak i pracownicy. To pozwala wzmocnić szczerłość kierownictwa oraz wspomaga zwartość kolektywu. Wyniki wyrażone w formie wskaźnika satysfakcji mogą być porównane z danymi z przeszłości, aby wykazać postęp (lub jego brak). Bardziej śmiało kierownictwa przedsiębiorstw mogą poddać się także ocenie pracowniczej w odrębnym badaniu ankietowym, aby zdobyć dane obrazujące ocenę ich stylu pracy.

Poniżej podaje się przykład badania satysfakcji pracowników w innym przedsiębiorstwie amerykańskim (McDevitt Street Bovis, Inc.). Skala ocen pracowniczych obejmuje tam pięć stopni, jak niżej:

- 1 - wybitnie się zgadzam,
- 2 - zgadzam się,
- 3 - ani się nie zgadzam, ani zgadzam,
- 4 - nie zgadzam się,
- 5 - wybitnie się nie zgadzam,
- N/A - nie ma zastosowania w moim przypadku.

W ankiecie, pracownicy są proszeni o oznaczenie w powyższej skali swoich poglądów w stosunku do następujących stwierdzeń:

1. W tym przedsiębiorstwie panuje mocny klimat współpracy,
2. Wiem, czego ode mnie oczekują,
3. Jestem traktowany z respektem przez przełożonych,
4. Zawsze jestem proszony o opinię,
5. Zawsze mam, co mi potrzeba do wykonania zadania,
6. Pracownicy w tym przedsiębiorstwie odnoszą się do siebie z respektem,
7. W pełni rozumiem cele, wytyczne polityki i zasady przedsiębiorstwa,
8. Działania kierownictwa są zawsze zgodne z celami, wytycznymi polityki i zasadami przedsiębiorstwa,
9. Jestem dobrze poinformowany,
10. Mój wkład spotyka się z adekwatnym uznaniem,
11. Mój przełożony informuje mnie o rezultatach mojej pracy,
12. Przeszedłem wszystkie szkolenia (treningi), których potrzebuję,
13. Sugestie i rekomendacje pracowników są traktowane przychylnie przez kierownictwo,
14. Kierownictwo tego przedsiębiorstwa dba uczciwie o pracowników,
15. Chciałbym mieć możliwość większego udziału w planowaniu i realizacji zadań,
16. Jakość wykonanych prac w tym przedsiębiorstwie jest doskonała,

17. To przedsiębiorstwo ma doskonały program w zakresie bezpieczeństwa pracy,
18. Warunki pracy w tym przedsiębiorstwie są doskonałe,
19. To przedsiębiorstwo posiada najwyższą reputację jako pracodawca, spośród wszystkich tego typu firm w otoczeniu,
20. Ja naprawdę cieszę się z mojej pracy.

Dodatkowo pracownicy są proszeni o wpisanie swoich komentarzy w stosunku do ocenianych obszarów przedsiębiorstwa oraz sformułowanie innych pytań, które ich zdaniem powinny być im zadane. Średnie oceny we wszystkich kategoriach po zsumowaniu tworzą w tym przedsiębiorstwie wskaźnik satysfakcji pracowników.

5.2. Koncepcja klienta wewnętrznego

Pojęcie „klient” do czasu pojawienia się TQM oznaczało osobę zewnętrzną w stosunku do przedsiębiorstwa, która otrzymywała produkt końcowy lub usługę. Otóż w przypadku adaptowania filozofii kompleksowego zarządzania jakością, pojęcie to rozszerza się i obejmuje każdego, kto otrzymuje produkt lub usługę od kogoś innego.

Zgodnie z tym, każda osoba w przedsiębiorstwie ma trzy role do spełnienia: jest klientem (wewnętrznym), realizatorem (procesów) i dostawcą (wewnętrznym). Klienci wewnętrzni powinni zatem zdefiniować swoje potrzeby i dostarczać zasilanie informacyjne, każdy każdemu tak, aby w końcu zaspokoić potrzeby ich wspólnego klienta zewnętrznego. W stanie idealnym, granice pomiędzy wydziałami i gałęziami, powinny zaniknąć na rzecz płynnej wymiany informacji, produktów i usług pomiędzy poszczególnymi pracownikami. Rzeczą cała może być zrealizowana poprzez odpowiednie szkolenie, trening pracowników, nacisk kierownictwa i uruchomienie systemu nagród specjalnych (niekoniecznie - finansowych).

5.3. Jakość środowiska pracy

Koncepcję jakości środowiska pracy określają takie elementy polityki personalnej, jak: warunki pracy, partycypacja pracowników, uznanie, brak strachu, przywództwo, bezpieczeństwo, itp. Oczywiście, każde przedsiębiorstwo musi zdefiniować we własnym zakresie, co one oznaczają w jego przypadku. I tak na przykład w przypadku:

- a) warunków pracy - najlepiej o to zapytać zatrudnionych i podwykonawców,
- b) partycypacji pracowników - może tu chodzić o aktywność w zgłaszaniu wniosków usprawnień,
- c) uznania - powinno tu być rozważane zagadnienie szeroko rozumianego motywowania zespołów ludzkich i pojedynczych pracowników (wyróżnienie w tygodniku zakładowym, podziękowanie w czasie krótkiego spotkania wydziałowego, wspólne przyjęcia, plakietki, certyfikaty „jakości pracownika”, listy pochwalne, premie i nagrody, doraźne celebry wyników całej firmy, czy też uroczyste „zamknięcie” realizacji konkretnego przedsięwzięcia.

6. Sfera dostaw i podwykonawstwa

Pod pojęciem „dostawcy” należy rozumieć podwykonawców wykonujących zlecone im części przedsięwzięcia lub świadczących usługi oraz dostawców materiałów, urządzeń, oprogramowania itp. Ich funkcjonowanie jest bardzo istotne w realizacji zadań przedsiębiorstwa. Jednak tradycyjne podejście do poprawy ich usług, poprzez bardziej szczegółowe specyfikacje, więcej inspekcji, więcej biurokracji i wymuszoną większą uległość, w większości przypadków okazywało się nieefektywne. Tego rodzaju negatywne narzędzia nie brały pod uwagę potrzeby budowania pozytywnej współpracy pomiędzy dostawcą i odbiorcą.

Wydaje się, że więcej może być dokonane poprzez zachęcanie ich do wprowadzania filozofii TQM w ich własnych przedsiębiorstwach, kreowanie klimatu współpracy w każdym przedsięwzięciu, traktowanie podwykonawców i dostawców jako partnerów w wysiłkach na rzecz jakości, usprawnianie otwartego komunikowania się, upewniania się, że oni są świadomi naszych oczekiwań, wysłuchiwanie ich i działania w odniesieniu do ich uzasadnionych zastrzeżeń i uprawnionych uwag, włączanie ich w procesy planowania i dostarczanie im informacji zwrotnej na temat ich wyników. Także i w tym przypadku (podobnie jak w polityce personalnej wewnątrz przedsiębiorstwa) niezwykle ważne jest usunięcie wszelkich obaw we współpracy. Idealem jest taki typ współpracy, w którym przedsiębiorstwo, jego podwykonawcy i dostawcy operują w klimacie współpracy i są połączeni razem przez całą serię interpersonalnych więzi (Wuagneux, 2002; Mc'Cormack, 2001; Skrzypek, 2000).

Oczekiwania firm w stosunku do ich podwykonawców i dostawców są właściwie takie same, jakie mają wobec nich ich klienci. Firmy chcą bowiem 100% satysfakcji jako klienci, w 100% bezpiecznej i 100% wolnej od błędów pracy ze strony ich podwykonawców i dostawców. To brzmi nieźle, lecz wymaga dyskusji obopólnej, która doprowadzi do pełnego zrozumienia oczekiwań. Niektóre z tych oczekiwań, to:

- zważanie na bezpieczeństwo,
- terminowość działań,
- kooperacja z innymi zawodami,
- partycypacja w procesie planowania,
- praca bez poprawek,
- produkcja bez usterek,
- niezwłoczne powiadamianie o problemach,
- współpraca,
- branie pod uwagę tych, którzy przejmują robotę do kontynuacji procesu,
- rozwiązywanie problemów na możliwie najniższym poziomie,
- porządek,
- właściwe komunikowanie się,
- pomoc w stworzeniu i utrzymaniu pozytywnego klimatu współpracy,
- udział w pracach zespołów doskonalenia procesów.

Pożyteczne jest przedyskutowanie na spotkaniu z podwykonawcą (dostawcą) problemów, jakie oni mieli

w poprzednich realizacjach i wypracowanie metod unikania ich na bieżącej. Ocena podwykonawców i dostawców powinna być systematyczna i oparta o jasne dla wszystkich kryteria, przy czym kryterium kosztowe nie powinno być decydującym, a przynajmniej - nie jedynym (Miller i Morris, 2000).

Za świetną pracę trzeba nagradzać. Mogą być stosowane statuetki, dyplomy, tytuły „najlepszego dostawcy”, „super - podwykonawcy”, itp. Uroczystości ich wręczenia powinny być nagłaśniane w mediach.

7. Przykłady struktur organizacyjnych przedsiębiorstw

W tej części opracowania przedstawione zostaną struktury organizacyjne przedsiębiorstw budowlanych różnej wielkości i o różnym stopniu zaawansowania w dziedzinie sterowania jakością i kompleksowego zarządzania jakością. Zaprezentowane zostaną w kolejności wymienione poniżej firmy.

7.1. Przedsiębiorstwo podlaskie

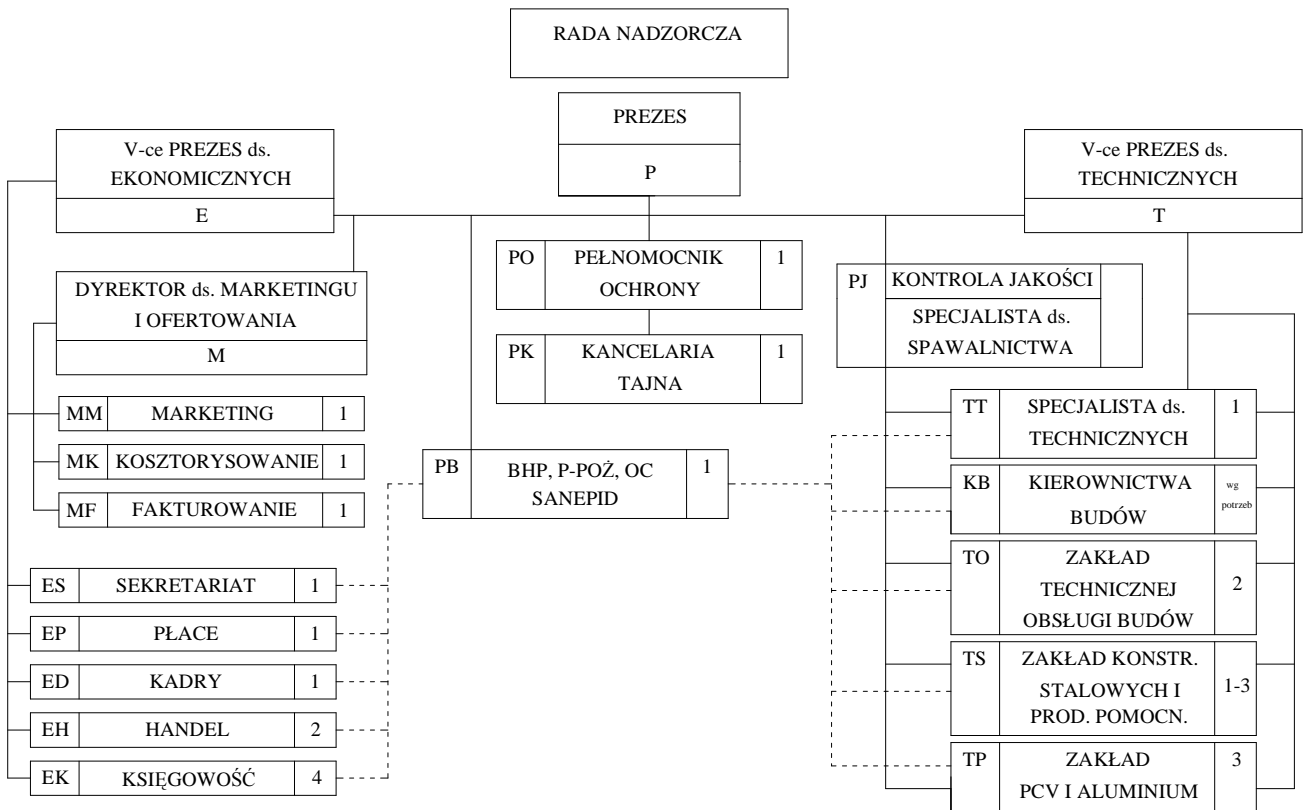
Omawiane przedsiębiorstwo budowlane powstało w 1980 roku w wyniku prywatyzacji, po przejęciu komunalnego przedsiębiorstwa remontowo – budowlanego. W przedsiębiorstwie, w momencie przeprowadzanych badań zatrudnionych było 126 osób, w tym 30 osób kadry kierowniczej. Przedstawiona na rysunku 1. struktura organizacyjna obrazuje zatem niewielkie przedsiębiorstwo, które dopiero wdraża system zarządzania jakością zgodny z normą ISO 9001:2000. Całość funkcji „jakościowych” skupiona jest na tym etapie w dziale nazwanym „Kontrola jakości” i oznaczonym na schemacie organizacyjnym jako PJ.

7.2. Przedsiębiorstwo dolnośląskie

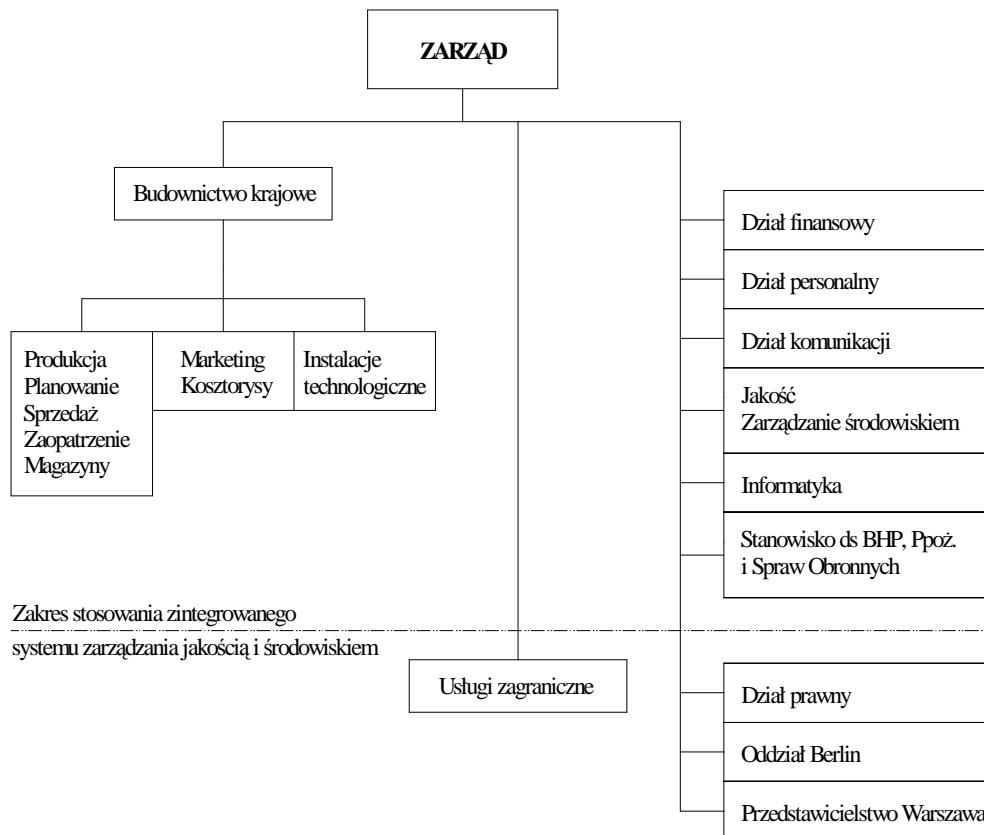
Przedsiębiorstwo to zatrudnia 344 osoby i posiada status spółki z ograniczoną odpowiedzialnością. Funkcjonuje ono od roku 1982, początkowo jako przedsiębiorstwo polskie, a od niedawna jest częścią zagranicznego koncernu budowlanego. Działalność przedsiębiorstwa obejmuje zakres budownictwa ogólnego i instalacji technologicznych.

W pierwszej grupie realizowane są:

- obiekty przemysłowe: fabryki, zakłady produkcyjne itp.,
- obiekty inżynierskie: oczyszczalnie ścieków, zbiorniki na wodę itp.,
- obiekty użyteczności publicznej i handlu,
- budynki mieszkalne,
- modernizacje i remonty obiektów istniejących, w tym także – zabytkowych.



Rys. 1. Struktura organizacyjna przedsiębiorstwa wdrażającego SZJ



Rys. 2. Struktura organizacyjna przedsiębiorstwa posiadającego funkcjonujący system zarządzania jakością i środowiskiem (źródło: Księga jakości firmy)

Instalacje technologiczne stanowią będące specjalnością tego przedsiębiorstwa realizacje instalacji biogazu, obejmujące:

- konstrukcje i montaż urządzeń,
- wykonawstwo instalacji,
- dostawę i montaż powłokowych zbiorników biogazu,
- instalacje odsiarczania biogazu,
- rozruch, szkolenia i serwis.

W przedsiębiorstwie już funkcjonuje zintegrowany system zarządzania jakością i środowiskiem oparty na wymaganiach następujących norm:

- a) PN ISO 9002:1996 Systemy Jakości. Model zapewnienia jakości w produkcji instalowaniu i serwisie.
- b) PN ISO 1400:1998 Systemy zarządzania środowiskowego - specyfikacja i wytyczne stosowania.

System ten obejmuje wszystkie elementy ujęte w normach, począwszy od polityk jakości i środowiskowej, poprzez przegląd zapytań ofertowych i umów, wykonywanie procesu produkcyjnego, kontrolę i badania, a na przekazywaniu obiektu lub instalacji klientowi kończąc. Skuteczność systemu jest sprawdzana poprzez przeprowadzane systematycznie audyty wewnętrzne. Ponadto funkcjonowanie systemu poddawane jest weryfikacji poprzez przeglądy dokonywane przez

kierownictwo przedsiębiorstwa.

W strukturze organizacyjnej przedsiębiorstwa (rys. 2) wyodrębniona jest specjalna komórka zajmująca się jakością i zarządzaniem środowiskiem oraz powołany został Pełnomocnik ds. Jakości i Środowiska, którego odpowiedzialność i uprawnienia przedstawiono w tabeli 1.

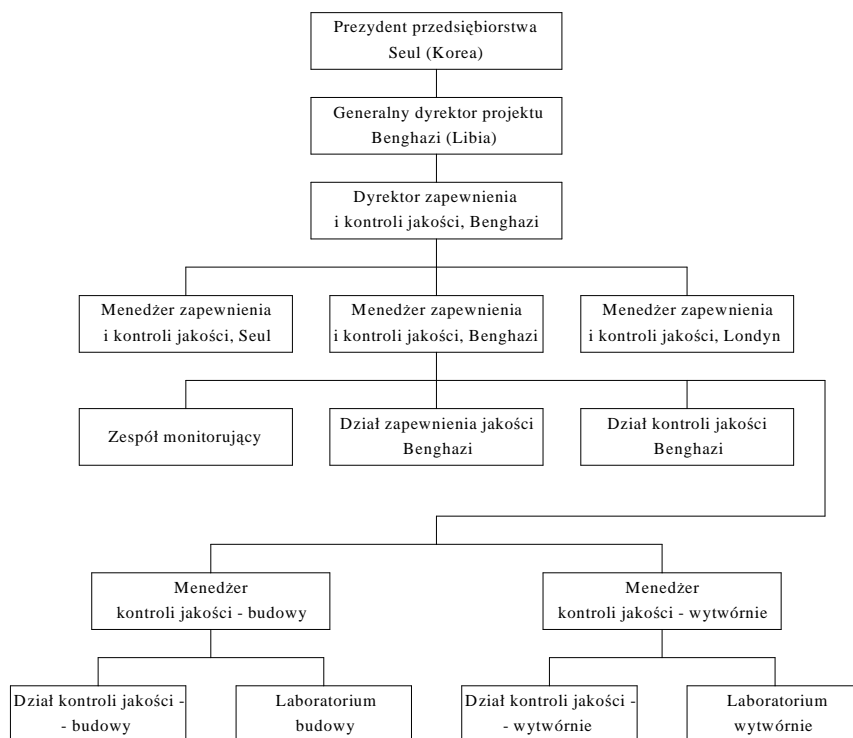
7.3. Przedsiębiorstwo zagraniczne

Omawiane przedsiębiorstwo – to konsorcjum powstałe z dwóch firm południowo-koreańskich, które jest generalnym wykonawcą projektu pod nazwą „Wielka sztuczna rzeka zbudowana przez człowieka”, realizowanego na zamówienie rządu Libii w środkowej i północnej części tego kraju.

Struktura organizacyjna przedsiębiorstwa była bardzo rozbudowana, gdyż oprócz Generalnego Dyrektora Projektu i podległych mu innych dyrektorów i menedżerów w głównym biurze kontraktu w Benghazi, zawierała też jednostki w Seulu, Londynie, dwie wytwórnie sprężonych rur żelbetowych oraz kierownictwa budów w terenie. W związku z tym zrezygnowano z jej prezentacji w tym opracowaniu. Natomiast na rysunku 3 przedstawiono znacznie prostszą strukturę służb zapewnienia i kontroli jakości całego przedsięwzięcia.

Tab. 1. Obowiązki Pełnomocnika ds. Jakości i Środowiska

Odpowiedzialność	Uprawnienia
- Nadzór i monitoring Systemu Zarządzania Jakością i Środowiskiem, - Opracowywanie Projektu Zarządzania Jakością i Środowiskiem dla przedsięwzięcia	- Reprezentacja firmy w sprawach jakości i środowiska, - Z upoważnienia Prezesa Zarządu lub Wiceprezesa prawo wstrzymania wskazanych robót lub działań, - Uprawnienia do przeprowadzania ćwiczeń symulujących awarie



Rys. 3. Struktura organizacyjna służb zapewnienia i kontroli jakości w koncernie międzynarodowym stosującym filozofię TQM (Źródło: Konsorcjum, Benghazi, Libia)

Realizowane przez firmę przedsięwzięcie inwestycyjne zostało podzielone na dwie fazy:

- a) Faza I: zrealizowana w latach 1983 - 1994 o wartości 3,6 miliarda dolarów polegała na budowie dwóch fabryk wytwarzających sprężone rury betonowe o średnicy 4000 mm, zbudowanie z nich 1872 kilometrów magistrali wodnej oraz wykonaniu robót i konstrukcji towarzyszących;
- b) Faza II: realizowana w latach 1990 – 1998 o wartości 4 632 390 615 USD, polegała na zbudowaniu lub przebudowie 1813 km dróg do transportu rur, wytworzeniu 165 tys. segmentów rur, zbudowaniu magistrali wodnej o długości 1523 km (w tym: 283 km z rur żeliwnych) oraz na wykonaniu robót i konstrukcji towarzyszących (stacje pomp, zbiorniki, studnie, urządzenia regulacyjne, kwatery, obsługi, itp.).

Przedsiębiorstwo zatrudniając na terenie Libii około 14 tys. osób realizowało podczas trwania drugiej fazy kontraktu średnio - roczną produkcję w wysokości około 579 mln. USD, czyli większą niż trzy największe polskie firmy budowlane w roku 2000.

W tym czasie w przedsiębiorstwie funkcjonował system jakości oparty na wymaganiach normy ISO 9001:1987 i rozbudowany o szereg dodatkowych elementów (zgodnie z wymaganiami klienta), w sumie prowadzących do kompleksowego zarządzania jakością TQM.

Uwidoczniony na rysunku 3 zespół monitorujący, w skład którego wchodził dr inż. Jerzy Lisowski do czasu zakończenia swojej pracy w omawianym przedsiębiorstwie, jest podległy menedżerowi zapewnienia i kontroli jakości w Benghazi.

Cały system zapewnienia jakości był w omawianym przedsiębiorstwie poddawany regularnym kwartalnym przeglądom przez kierownictwo, audytowany wewnętrznie i monitorowany. Podlegał on także ocenie zewnętrznej przez personel klienta.

8. Podsumowanie

Analiza przeprowadzonych częściowych wyników badań dotyczących wpływu systemów zapewnienia jakości na funkcjonowanie wielu sfer organizacyjnych przedsiębiorstw budowlanych wykazała, że kompleksowe zarządzanie jakością może być bardzo użytecznym rozszerzeniem funkcjonujących w tych firmach systemów jakości zgodnych z normami ISO, jeżeli zostanie prawidłowo umiejscowione w ich strukturach organizacyjnych.

Literatura

- Drummond H. (1998). W pogoni za jakością - Total Quality Management. *Dom Wydawniczy ABC*, Warszawa.
- Feigenbaum A.V. (1983). Total quality control. *McGraw Hill Book Co.*, New York.
- Karaszewski R. (1999). Total quality management. Zarządzanie przez jakość – wybrane zagadnienia. *TNOiK*, Toruń.
- Lisowski J. L. (2003). Jakość i kompleksowe zarządzanie jakością w przedsiębiorstwach wykonawstwa budowlanego w warunkach gospodarki wolnorynkowej, *Wydawnictwo Politechniki Białostockiej*, Białystok.
- Ładyński W. (2001). TQM - moda czy konieczność? *Budowlany Informator Techniczny* nr 7/8.
- Łańcucki J. (2001). Podstawy kompleksowego zarządzania jakością. *Akademia Ekonomiczna w Poznaniu*, Poznań.
- Mc'Cormack K. (2001). Business process orientation: do you have it?. *Quality Progress* nr 1.
- Miller J.R. i Morris J.S. (2000). Is quality free or profitable? *Quality Progress* nr 1.
- Pivka M. i Ursic D. (2000). Can ISO 9001 improve industrial productivity in 21st century? Materiały Konferencyjne nt. „Strategia rozwoju przemysłu w Polsce na przełomie wieków”. *WSFiZ w Białymstoku*, Białystok.
- Ross J.E. (1995). Total quality management: text, cases and readings. *St. Lucie Press*, Delray Beach FL.
- Skrzypek E. (2000). Jakość i efektywność. *Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej*, Lublin.
- Sobocińska A. (1996). Uwarunkowania i perspektywy wprowadzania systemów zapewnienia jakości i TQM w przedsiębiorstwach budowlanych. *Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej*. Maszyny Robocze i Pojazdy nr 45.
- Steinbeck H. (1998). Total quality management - doświadczenia praktyczne z IBM Niemcy. *Placet*, Warszawa.
- Szczepańska K. (1998). Kompleksowe zarządzanie jakością - TQM. *Wydawnictwa Normalizacyjne ALFA-WERO*, Warszawa.
- Szczepańska K. (1999). Techniki menedżerskie w TQM. *Wydawnictwa Normalizacyjne ALFA-WERO*. Warszawa.
- Taguchi G. i Wu Y. (1979). Introduction to quality control. *Central Japan Quality Control Association*, Nagaya.
- Taormina T. (2002). From quality to business success. *Quality Progress* nr 4.
- Wojciechowski H. (2000). ISO 9000 w praktyce - dokumentowanie - wdrażanie - przykłady. *ODDK*, Gdańsk.
- Wuagneux D. (2002). Quality from inside out. *Quality Progress* nr 4.
- Wilson L.R. (2001). How to make surveys simpler and more focused. *Quality Progress* nr 5.
- Zaciszewski R.D. (2001). Measuring training's effectiveness. *Quality Progress* nr 6.
- Żybertowicz M. (1997). System zapewnienia jakości według ISO 9000 - moda czy konieczność? *Inżynieria i Budownictwo* nr 2.

THE ROLE OF THE PARTICULAR ELEMENTS OF THE ORGANIZATIONAL STRUCTURE OF BUILDING COMPANY IN THE PHILOSOPHY OF TOTAL QUALITY MANAGEMENT (TQM)

Abstract: The article presents partial results of research carried out on the influence of quality systems on functioning of several organizational areas of construction companies. The analysis indicates that total quality management may be a very useful amendment to the already implemented by construction enterprises quality systems according to the ISO norms if properly placed in their organizational structures.

SPECIFIC FOR DNA DAMAGES *GFP* MICROBIAL BIOSENSOR AS A TOOL FOR GENOTOXIC ACTION ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL POLLUTION

Marzena MATEJCZYK*

Białystok Technical University, Faculty of Civil Engineering and Environmental Engineering, Wiejska 45E, 15-351 Białystok, Poland

Abstract: In the presented paper, autofluorescent reporter of *Escherichia coli* K-12 *recA::gfpmut2* strain, which contained a plasmid-borne transcriptional fusion between DNA-damage inducible *recA* promoter involved in the SOS regulon response and fast folding GFP variant reporter gene-*gfpmut2*, have been used. GFP-based bacterial biosensors allowed the detection of bacterial cells response to selected tested genotoxic compounds such as mitomycin C (MMC), actinomycin D, *N*-methyl-*N'*-nitro-*N*-nitrosoguanidine (MNNG) and formaldehyde (CH₂O). Experiment indicated that *E. coli* K-12 *recA::gfpmut2* biosensor strain is more specific and sensitive for especially two genotoxins: actinomycin D and MNNG and with very low response to other agents. So it was concluded that for formaldehyde and MMC *E. coli* K-12 *recA::gfpmut2* genetic system is disqualified for genotoxicity screening.

Key words: DNA damage, genotoxicity, *recA* promoter, SOS response.

1. Introduction

Contamination of environment with chemical compounds, originating from the industrialisation and technological development, connected with widespread use of petroleum product and hazardous substances, mainly toxic compounds is highly toxic for natural ecosystems, in particular for public health. The hazards of mutagenic and carcinogenic effects connected with increasing levels of environmental pollution on living organisms, including human health requires specific, sensitive, rapid and effective tests for monitoring the presence of genotoxic agents in surface, subsurface water, soil, sediments, sewage, air and food products (Hansen and Sorensen, 2001; Stiner and Halverson, 2002; Belkin, 2003; Gu et al., 2004).

There are some conventional methods for toxicity assessment of environmental pollutants which rely mainly on extraction and chromatography, but these analytical techniques, although highly precise, suffer from the disadvantages of high cost, time-consuming or the need for trained personnel and all these methods are mostly laboratory bound. The assessment of mutagenic and carcinogenic ability of chemicals mainly are based on biological tests with using of living microorganisms and higher organisms (Bongaerts et. al., 2002; Casavant et al., 2003).

In addition to the classic Ames tests for measurement of mutagenicity and genotoxicity of chemicals a variety of tests have been developed with application of different promoters-reporter genes fusions which are mainly hosted by either *E. coli* (SOS chromotest) or *Salmonella* species (SOS *umu* test). Such promoters in fusion with a reporter gene-*lacZ* (β -galactosidase) for genotox biosensor construct, including promoters of the SOS response genes: *recA*, *umuC*, *sulA* from SOS regulon. There are some advantages in application of biosensors in comparison to the classical reverse mutation Ames tests. Firstly, the carcinogenic nature of a compound earlier was relied on the Ames test. Nowadays as a consequence of molecular genetics development it is possible to obtain biosensing cells which are more sensitive, faster and capable of classifying a compound on the basis of the manner in which DNA is damaged and there are not limited in the chemical make-up of the sample, as was the Ames test. Additionally, with the use of reporter genes it is possible to apply biosensors *in-situ*, that was impossible for the Ames test (Gu et al., 2004).

A microbial biosensors is an analytical device that couples microorganisms with a transducer to enable rapid, accurate and sensitive detection of target analytes in fields as diverse as medicine, environmental monitoring, defense, food processing and safety. Recently, genetically engineered microorganisms based on fusing of the *gfp*, *lux* or *lacZ* gene reporters to an inducible gene promoter have

* E-mail of correspondence author: m.matejczyk@pb.edu.pl

been used to develop biosensors for various environmental applications, genotoxicity and bioavailability assessment of different compounds, for example: detecting toluene and related chemicals, SOS-inducing activity of genotoxic compounds, *N*-acyl homoserine lactones in soil, measuring water availability in microbial habitat, monitoring cell populations, (Kostrzyńska et al., 2002; Lee et al., 2005; Lei et al., 2006; Rogers, 2006). Expression of reporter genes such as variants of *gfp* in transformed cells, can effectively be used to reveal cellular and molecular changes associated with cancer, for example neoplasia in vivo (Contag, 2000). Recently, bioluminescent biosensors use *lux*, *luc* or *gfp* genes have been developed to detect a variety of chemicals, genotoxic agents and factors, which are responsible for DNA damage, oxidative damage or cell growth inhibition (Errampalli et al., 1999; Kim and Gu, 2003; Vollmer and Van Dyk, 2004).

These bacterial biosensors are based on analysis of the intensity of reporter gene expression, typically by creating transcriptional fusion between SOS promoter region and reporter gene in genetically engineered microorganisms (GEMs). The assessment of potential of genotoxicity relies on the response to DNA damage induced by genotoxins in bacteria cells.

In the presented experiment *E. coli* K-12 *recA::gfpmut2* microbial biosensor as reporters for detecting of activation of SOS promoter under genotoxic conditions has been used. The SOS regulon is one of the most thoroughly studied stress regulons for bacteria (Gu et al., 2004). The *recA* promoter transcription is induced upon DNA damage and induction of the SOS response is initiated by RecA protein activation to mediate the LexA repressor protein cleavage. With the cleavage of LexA, the promoters that it was bound to and repressing are then expressed that results in the induction of the SOS regulon, so each downstream gene product participates in the repair of the damaged DNA (Kostrzyńska et al., 2002; Gu et al., 2004). The popularity of application of *recA* promoter for creation of effective genotoxicity bacteria biosensors is connected with broad involvement of RecA protein in several DNA repair pathways, including the repair of daughter-strand gaps and double-strand breaks, as well as in an error prone damage tolerance mechanisms called SOS mutagenesis (Kostrzyńska et al., 2002). The mechanism of the induction of the SOS response regulon genes and its application in microbial biosensors was widely described by Gu et al., 2004. The examples of biosensors, limits of detection of analysed factors and environmental application of these devices are broadly reviewed in works Lei et al., 2006; Ron, 2007 and in earlier own papers (Rosochacki and Matejczyk 2002; Matejczyk, 2004; Matejczyk and Rosochacki, 2006 and 2007).

Living organisms-based biosensors, as like bacterial biosensors can perform functional sensing and provide measurement, such as bioavailability, genotoxicity or general toxicity. Above, due to their specificity, fast response time, low cost, portability, ease of use and giving a continuous real time signal they are famous for dynamic

development and represent of the advantages compared with traditional methods (D'Souza, 2001; Stiner and Halverson 2002; Belkin 2003; Gu et al. 2004; Hazen and Stahl, 2006). In such living cell systems, bacteria are especially attractive due to their rapid growth rate, low cost, and easy handling (Kuang et al. 2004; Girotti et al., 2008).

The most popular reporter genes used in biosensors construction include *lacZ* gene from *Escherichia coli*, the *lux* genes from *Vibrio fischeri* or *gfp* from *Aequorea victoria*. These devices are being designed for the detection of chemical, physical or biological signals via the production of a suitable reporter protein, for example-GFP-green fluorescent protein. Generally, biosensors could be defined as a any system that detects the presence of a substrate by use of biological component which then provides a signal that can be quantified (Gu et al., 2004). Biosensors has been created to provide even cheaper, faster and potentially more cost effective alternatives and to accommodate high-throughput screening (Norman et al., 2006; Sørensen et al., 2006; Yagi, 2007).

Within bio-application the most popular and well-known fluorescent protein is green fluorescent protein (GFP). This protein has been isolated from coelenterates, for example the Pacific jellyfish *Aequorea victoria* (Gu et al., 2004). GFP is being used increasingly to construct whole-cell biosensors, because of its useful properties such as: high stability, minimal toxicity for life cells and the ability to generate the green fluorescence without addition of external cofactors. Additionally it is possible non-invasive detection of *gfp* expression with application of simple in use equipment, for instance UV lamp, fluorescence microscope or spectrofluorometer. The chromophore is responsible for GFP light and is produced posttranslationally in the presence of oxygen from serine-tyrosine and glycine. Wild type GFP absorbs blue light at 395 nm and emits green light at 509 nm. To increase a rate of chromophore maturation, stability and to obtain the emission of stronger light signal several mutants of GFP were developed. The most popular is GFP mut1 which has 35-fold-increased fluorescence intensity per unit protein excited at 488 nm when compared with the wild-type of GFP. Some variants with short live-time were created and they are very useful in measuring of activity and strength of promoters *in situ* and in real time monitoring (Willardson et al., 1998; Chirico et al., 2002; Kostrzyńska et al., 2002; Mitchell and Gu, 2003). The description of *gfp* and other reporter genes are broadly given elsewhere (Errampalli et al., 1999; Kain, 1999; Bae et al., 2003; Jansson, 2003).

So in this work, the aim of research was the assessment of usefulness of GFP-protein based *Escherichia coli* K-12 MG1655 strain with plasmid-borne transcriptional fusion of SOS regulon-*recA* promoter and *gfp* mutated gene – *gfpmut2* variant (Fig. 1), as a biosensor for genotoxic activity monitoring of tested chemicals.

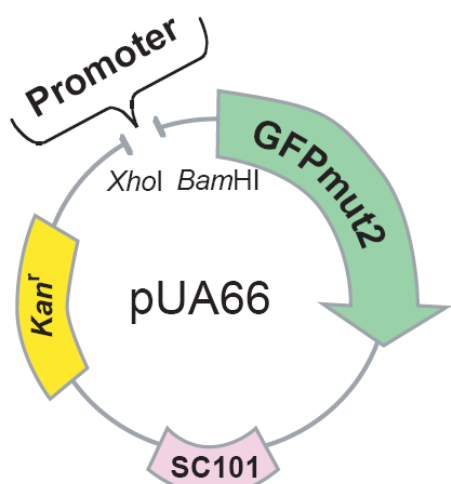


Fig. 1. Reporter plasmid pUA66 contains the gene *GFPmut2*. Vector include a *Bam*HI and *Xho*I cloning site for the promoter region, a low copy origin (SC101 origin) and a kanamycin resistance gene (Zaslaver, 2004).

The genetically modified strains of *E. coli* K-12 with *gfp* gene used in this work are the gift from Prof. Uri Alon, Department of Molecular Cell Biology & Department of Physics of Complex Systems, Weizmann Institute of Science, Rehovot, Israel.

2. Experimental

The experiment was developed according to the method described by Cha et al., 1998 and Kostrzyńska et al., 2002 with some modifications.

Escherichia coli K-12 MG1655 strain containing pUA66 plasmid with transcriptional fusion of *recA* promoter and *gfp* mutated gene – *GFPmut2* variant (Zaslaver et al., 2004) (Fig. 1) were cultured overnight in LB agar medium (Merck, Germany) at 30°C supplemented with 100 µg/ml of kanamycin (Sigma-Aldrich, Germany) in concentration of 100 µg/ml. During the whole experiment the 30°C as a temperature for strains incubation and room temperature for genotoxins treatment were selected to prevent overgrowth and reduce background fluorescence. Additionally, it is known that lower temperatures are optimal for correct GFP folding (Errampalli et al., 1999; Kostrzyńska et al., 2002). Colonies were carried to LB broth medium (10 g NaCl, 10 g tryptone and 5 g yeast extract per 1000 ml of distilled water) with 100 µg/ml of kanamycin and incubated 20 hours at 30°C. After that, cells were washed with PBS buffer (1.44 g Na₂HPO₄, 0.24 g KH₂PO₄, 0.2 g KCl, 8 g NaCl per 1000 ml of distilled water) and the Optical Density (OD) of bacterial cultures was standardized with spectrophotometer to 0.2 at wavelength of 600 nm. Cells were resuspended in 10 ml of PBS buffer and were tested for their ability to detect sublethal levels of known genotoxins: mitomycin C (Sigma-Aldrich, USA), actinomycin D (Sigma-Aldrich, USA), *N*-methyl-*N'*-nitro-*N*-nitrosoguanidine (Sigma-Aldrich, USA) at concentration of 1 ng/ml, 10 ng/ml, 100 ng/ml, 1 mg/ml and 10 mg/ml for each chemicals and formaldehyde

(Sigma-Aldrich, Germany) at concentration of 50, 100, 300, 500, 700, 900, 1100, 1300 and 1800 mg/ml. The chemical structures of genotoxins used in experiment are presented in Fig. 2. As a negative control 4% ethanol and 4% acetone were used. Samples were incubated with chemicals for 90 minutes at room temperature with vortexing. The control samples of *Escherichia coli* K-12 *recA::gfpmut2* strain, not treated with chemical compounds were conducted in the same condition. Additionally, *Escherichia coli* K-12 strain containing pUA66 plasmid without the *recA* promoter was used as a negative control of fluorescence reactivity. After exposition of bacterial cultures to chemical pollutants, they were washed with PBS buffer. The intensity of fluorescence (IF) was measured with spectrofluorometer (Hitachi Japan, F-2500). The measurements were done at excitation and emission wavelengths of 485 and 507 nm. The growth of bacteria strains was monitored with spectrophotometer at wavelength of 600 nm. Data showed below include the specific fluorescence intensity (SFI) which is defined as the raw fluorescence intensity (IF) divided by the optical density (OD) measured at each time point. SFI values are averages of three independent experiments for the each tested chemicals.

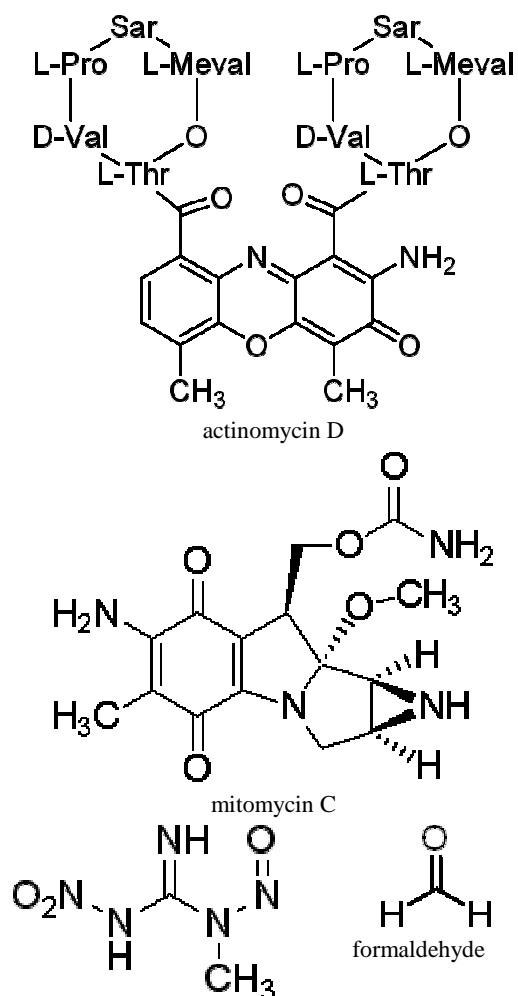


Fig. 2. The structure of compounds used in the experiment.

Specific fluorescence intensity was calculated according to the formula:

$$SFI = \frac{IF}{OD} \quad (1)$$

where:

SFI – Specific Fluorescence Intensity.

IF – The raw fluorescence of the culture treated with chemicals.

OD – Optical Density at 600 nm of treated with chemicals culture.

The percent of stimulation of *gfp* expression in comparison to the control was calculated according to the formula:

$$X\% = \frac{SFI_I \times 100\%}{SFI_0} \quad (2)$$

where:

X% – the percent of stimulation of *gfp* expression in comparison to the control.

SFI₀ – the specific fluorescence intensity of control sample.

SFI_I – the specific fluorescence intensity of the culture treated with chemicals.

3. Results

In experiment the positive fluorescence reactivity of *Escherichia coli* K-12 *recA::gfpmut2* was obtained for each tested chemicals. The highest stimulation of *gfp* expression, above 136%, 100% and 50% in comparison to the control was noticed with application of actinomycine D at concentration of 10 mg/ml, 1 mg/ml and 100 ng/ml, respectively. In the case of 10 ng/ml and 1 ng/ml concentration the higher about 14% and 17.47% levels of *gfp* expression in comparison to the control were detected. The increase of concentration of actinomycide D at 1 ng/ml to 10 mg/ml lifted the efficiency of *gfp* expression above 780%. Between the concentration of 1 mg/ml and 100 ng/ml in comparison to the 1 ng/ml we obtained above 575 and 280% of stimulation of *gfp* expression were obtained. At the concentration of 10 ng/ml the smallest stimulation of *gfp* expression, about 20% in comparison to the concentration of 1 ng/ml was noticed.

Different fluorescence reaction of *Escherichia coli* K-12 *recA::gfpmut2* was observed for N-metyl-N^o-nitro-N-nitrosoguanidine (MNNG). With using of this analyte the highest stimulation of *gfp* gene expression, 45.15% and 29.81% was noticed at concentration of 1 mg/ml and 10 ng/ml, respectively in comparison to the control. The changes in the fluorescence intensity of *gfp* in comparison to the control for 10 mg/ml, 100 ng/ml and 1 ng/ml were obtained, too. For 10 mg/ml it was 26.42% of stimulation, for 100 ng/ml 20.49% and for 1 ng/ml it was 5.33% of *gfp* gene expression activation in comparison to the control. Use of five different concentration of MNNG had developed stranger reaction

of *recA-gfpmut2* genetic system. In concentration of 1 mg/ml, 10 ng/ml, 10 mg/ml and 100 ng/ml the 847%; 559.28%; 495.68% and 384.43% of *gfp* expression stimulation were registered in comparison to the concentration of 1 ng/ml.

The treatment of *Escherichia coli* K-12 *recA::gfpmut2* with mitomycin C differentiated *gfp* fluorescence response in comparison to the control. The highest stimulation of *gfp*: 16.08%, 10.36% and 8.36% were registered at concentration of 10 mg/ml, 100 ng/ml and 1 ng/ml, respectively. Less efficient flexibility in *gfp* expression system was observed after bacteria incubation with 1 mg/ml and 10 ng/ml of mitomycin C. It was 6.19% of *gfp* expression stimulation for 1 mg/ml and 1.89% for 10 ng/ml in comparison to the control. The application of mitomycin C from concentration of 1 ng/ml to 10 mg/ml had expanded fluorescence activity of *gfp* construct with *recA* promoter. The highest stimulation of *gfp* expression was noticed for concentration of 10 mg/ml and 100 ng/ml and it was 192.34% and 123.92% in comparison to the 1 ng/ml. At concentration of 1 mg/ml and 10 ng/ml the smallest stimulation of *gfp* expression, about 26% and 77.4% in comparison to the concentration of 1 ng/ml was noticed.

The incubation of *Escherichia coli* K-12 *recA::gfpmut2* with formaldehyde created highest *gfp* fluorescence response, about 17.43% in concentration of 900 mg/ml in comparison to the control. In the case of the different used concentration of formaldehyde the *gfp* expression were stimulated on a low levels. It was: 1.40% of stimulation at concentration of 50 mg/ml; 2.88% at 100 mg/ml; 0.95% at 300 mg/ml; 0.97% at 500 mg/ml; 5.97% at 700 mg/ml; 2.68% at 1100 mg/ml; 2.47% at 1300 mg/ml and 9.05% at 1800 mg/ml. The differentiation of *gfp* response with application of nine concentration of formaldehyde have made strange fluorescence activity in *E.coli* K-12 *recA::gfpmut2*. At concentration of 900 mg/ml and 1800 mg/ml the 1245% and 646.43% of *gfp* stimulation was obtained in comparison to the smaller concentration 50 mg/ml of formaldehyde. The efficiency of *gfp* expression was stimulated at the concentration of 100 mg/ml, 700 mg/ml, 1100 mg/ml and 1300 mg/ml in comparison to the 50 mg/ml of formaldehyde. The levels of stimulation were 205.71%; 426.43%; 191.43% and 176.43% , respectively for early pointed concentration. At the concentration of 300 mg/ml and 500 mg/ml the smallest stimulation of *gfp* expression, about 32.86% and 30.70% in comparison to the concentration of 50 mg/ml formaldehyde were assessed.

With application of 4% ethanol and 4% acetone the both chemicals have acted for *recA* promoter induction (data not shown), but no more than 6.43% for 4% ethanol and 5.22% for 4% acetone in comparison to the control. Our data indicated that *E. coli* K-12 *recA::gfpmut2* biosensor strain is more specific and sensitive for actinomycin D and MNNG and with very low response to other stressors.

In this work the fluorescence responses of *E. coli* K-12::*gfp* promoterless strain exposed to MMC,

actinomycin D, MNNG, CH₂O, ethanol and acetone were tested. None of these treatments increased fluorescence response (data not shown) more than 3.37% in comparison to the control. So, it was concluded that this strain is not sensitive enough for genotoxicity

screening. As presented in Figs. 3-6, with use of *recA-gfpmut2* genetic fusion a more dramatic and sensitive fluorescence responses were obtained than with *gfpmut2 promoterless*.

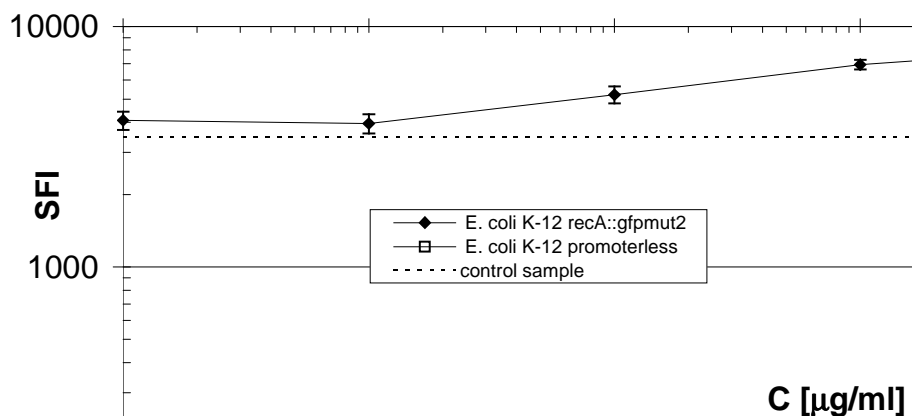


Fig. 3. Induction of *E. coli* K-12 *recA::gfpmut2* and *E. coli* K-12 *promoterless* by actinomycin D. Values are means \pm u (x) (measurement uncertainty) for $n=3$. SFI – Specific Fluorescence Intensity; C – concentration.

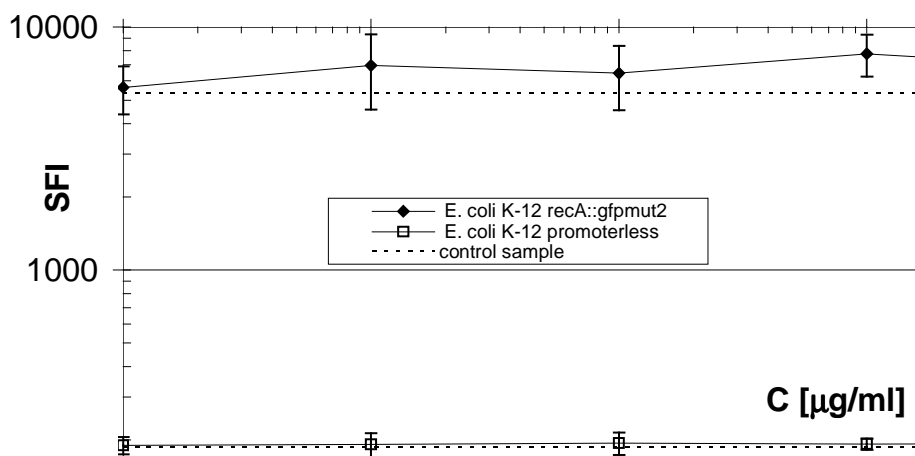


Fig. 4. Induction of *E. coli* K-12 *recA::gfpmut2* and *E. coli* K-12 *promoterless* by *N*-methyl-*N'*-nitro-*N*-nitrosoguanidine (MNNG). Values are means \pm u (x) (measurement uncertainty) for $n=3$. SFI – Specific Fluorescence Intensity; C – concentration.

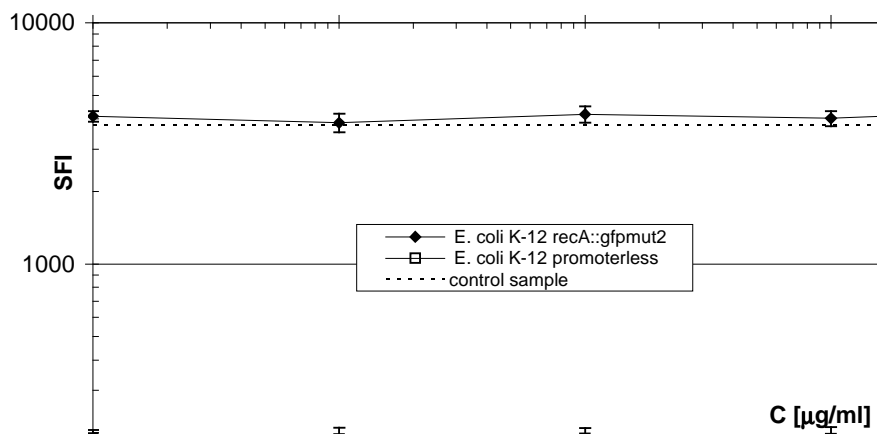


Fig. 5. Induction of *E. coli* K-12 *recA::gfpmut2* and *E. coli* K-12 *promoterless* by mitomycin C. Values are means \pm u (x) (measurement uncertainty) for $n=3$. SFI – Specific Fluorescence Intensity; C – concentration.

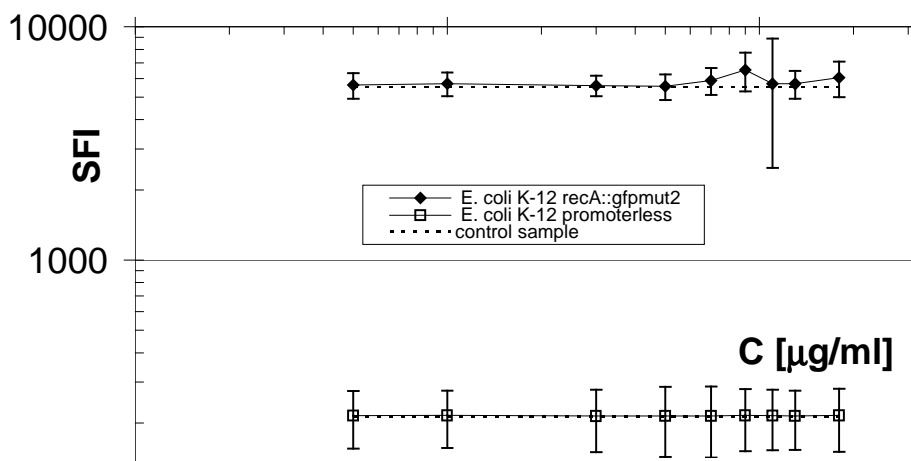


Fig. 6. Induction of *E. coli* K-12 *recA::gfpmut2* and *E. coli* K-12 *promoterless* by formaldehyde. Values are means \pm u (x) (measurement uncertainty) for $n=3$. SFI – Specific Fluorescence Intensity; C – concentration.

4. Discussion

Results indicated that the chemical structure of tested genotoxins: mitomycin C (MMC), actinomycin D, *N*-methyl-*N'*-nitro-*N*-nitrosoguanidine (MNNG) and formaldehyde (CH_2O) differentiated the strength of *recA* promoter induction in *E. coli* K-12 *recA::gfpmut2* in comparison to *E. coli* K-12 carrying pUA66 – *gfpmut2* without *recA* promoter. The highest induction level of *gfp* expression was obtained after exposure of *Escherichia coli* K-12 *recA::gfpmut2* to actinomycin D (Fig. 3). For MNNG the fluorescence response of *recA-gfpmut2* fusion was smaller (Fig. 4). The fluorescence reactions to formaldehyde and MMC were included into the error of the measured broads (Figs. 5 and 6). So it was concluded that for formaldehyde and MMC *E. coli* K-12 *recA::gfpmut2* genetic system is disqualified for practice application.

Results obtained in experiment are in agreement with studies of Kostrzyńska et al., 2002; Ahn et al., 2009; Ptitsyn et al., 1997 and the others who presented that reporter genes systems (with *gfp* and *lux* reporters) are sensitive and useful for measurement of genotoxic effect of the same compounds and various chemicals (Cha et al., 1999; Casavanth et al., 2003; Stiner and Halverson, 2002; Willardson et al., 1998; Baumstark-Khan et al., 2007).

In literature there are some discrepancies for results of sensitivity of *gfp* and *lux* genetic systems with specific for DNA damage promoters for the same tested compounds. Quite clear explanation we could find in the work of Ahn et al., 2009, where authors developed a novel approach to predict the mode of genotoxic action of chemicals using a group of seven different DNA damage sensing recombinant bioluminescent strains with genetic fusion of promoters involved in the SOS response (*nrdA*-, *dinI*-, *sbmC*-, *recA*-, *recN*-, *sulA*-, *alkA*-) and *lux* as a reporter in *E. coli*. Strains were tested against genotoxins such as: mitomycin C, *N*-methyl-*N'*-nitro-*N*-nitrosoguanidine (MNNG), nalidixic acid (Nal) and 4-nitroquinoline *N*-oxide (4-NQO). Each of these

genotoxic compounds caused DNA damage by a different means. As a consequence of different responses these biosensors were grouped to a specific mode of action. It could be explanation for our results and other researchers. In the light of Ahn et al., 2009, experiment the basic mechanisms of genotoxins activity to DNA and efficiency of SOS promoters induction are strictly connected with chemical structure of tested genotoxins and scheme of their action to DNA. For example, the chemical mechanism of mitomycin C action include: oxygen radicals generation, DNA alkylation, and produces interstrand DNA cross-links, thereby inhibiting DNA synthesis. Mitomycin C also inhibits RNA and protein synthesis at high concentrations (Mao, 1999; Brander, 2001). The main mechanisms of action of actinomycin D rely on transcription inhibition. Also, Actinomycin D can bind DNA duplexes and interfere with DNA replication to inhibit DNA synthesis (Turan et al., 2006). *N*-methyl-*N'*-nitro-*N*-nitrosoguanidine (MNNG) is a DNA damage alkylating agent known to covalently link alkyl groups at the position 6 of guanines in DNA (Ahn et al., 2009). The most relevant type of formaldehyde-induced DNA-damage are DNA-protein cross links (DPX) (Neuss and Speit, 2008). In own work each of tested genotoxins have had different chemical structure and mechanism of DNA damage. So, it was considered that it could be the main cause of differentiation of kinetic of *recA* promoter induction, after treatment of bacteria cells with the same concentration of MMC, MNNG, actinomycin D and used concentration of formaldehyde.

5. Conclusions

Current research indicated positive reaction of *E. coli* K-12 *recA::gfpmut2* genetic system for actinomycin D and MNNG.

The fluorescence reaction to formaldehyde and MMC were included into the error of the measured broads. So it was concluded that for formaldehyde and MMC

E. coli K-12 *recA*:: *gfpmut2* genetic system is disqualified for practice application.

Literature

- Ahn J-M., E. T. Hwang, CH-H Youn, D. L. Banu, B. CH. Kim, J. H. Niazi and M. B. Gu. (2009). Prediction and classification of the modes of genotoxic action using bacterial biosensors specific for DNA damages. *Biosens. Bioelectron.* 25: 767-772.
- Bae J.H., M. Rubini, G. Jung, G. Wiegand, M. H. J. Seifert, M. K. Azim, J.-S. Kim, A. Zumbusch, T. A. Holak, L. Moroder, R. Huber and N. Budisa. (2003). Expansion of the genetic code enables design of a novel "gold" class of green fluorescent proteins. *J. Mol. Biol.* 328: 1071-1081.
- Baumstark-Khan Ch., E. Rabbow, P. Rettberg and G. Horneck. (2007). The combined bacterial Lux-Fluoro test for the detection and quantification of genotoxic and cytotoxic agents in surface water: Results from the "Technical Workshop on Genotoxicity Biosensing". *Aqua. Toxicol.* 85: 209-218.
- Belkin S. (2003). Microbial whole-cell sensing systems of environmental pollutants. *Cur. Opin. Microbiol.* 6: 206-212.
- Bongaerts R. J. M., I. Hautefort, J. M. Sidebotham and J. C. D. Hinton. (2002). Green fluorescent protein as a marker for conditional gene expression in bacterial cells. *Meth. Enzymol.* 358: 43-47.
- Brander W.T. (2001). Mitomycin C: a clinical update. *Canc. Treat. Rev.* 27: 35-50.
- Casavanth C., D. Thompson, G. A. Beatie, G. J. Philips and L. J. Halverson. (2003). Use of site-specific recombination-based biosensor for detecting toluene and related compounds on roots. *Environm. Microbiol.* 4: 238-249.
- Cha H. J., R. Srivastava, V. Vakharia, G. Rao and W. Bentley. (1998). Green fluorescent protein as a noninvasive stress probe in resting *Escherichia coli* cells. *Appl. Environm. Microbiol.* 65: 409-414.
- Chirico G., F. Cannone, S. Beretta, A. Diaspro, B. Campanini, S. Bettati, R. Ruotolo and A. Mozzareli. (2002). Dynamics of green fluorescent protein mutant2 in solution, on spin-coated glasses, and encapsulated in wet silica gels. *Protein Scien.* 11: 1152-1161.
- Contag CH. H., D. Jenkins, P. R. Contag and R. S. Negrin. (2000). Use of reporter genes for optical measurements of neoplastic disease in vivo. *Neoplasia.* 2, 1-2: 41-52.
- D'Souza S. F. (2001). Microbial biosensors. *Biosens. Bioelectron.* 16: 337-353.
- Errampalli D., K. Leung, M. B. Cassidy, M. Kostrzyńska, M. Blears, H. Lee and J. T. Trevors. (1999). Applications of green fluorescent protein as a molecular marker in environmental microorganism. *J. Microbiol. Meth.* 35:187-199.
- Girotti S., E. N. Feeri, M. G. Fumo and E. Maiolini. (2008). Monitoring of environmental pollutants by bioluminescent bacteria. *Anal. Chim. Act.* 608: 2-29.
- Gu M. B., R. J. Mitchell and B. C. Kim. (2004). Whole-cell-based biosensors for environmental biomonitoring and application. *Adv. Biochem. Engin. Biotechnol.* 87: 269-305.
- Hansen L.H. and S. J. Sørensen. (2001). The use of whole-cell biosensors to detect and quantify compounds or conditions affecting biological systems. *Microb. Ecol.* 42: 483-494.
- Hazen T.C. and D. A. Stahl. (2006). Using the stress response to monitor process control: pathways to more effective bioremediation. *Cur. Opin. Biotechnol.* 17: 285-290.
- Jansson J. K. (2003). Marker and reporter genes: illuminating tools for environmental microbiologists. *Cur. Opin. Microbiol.* 6: 310-316.
- Kain S.R. (1999). Green fluorescent protein (GFP): applications in cell-based assays for drug discovery. *Drug Discov. Tod.* 4(7): 304-312.
- Kim B. C. and M. B. Gu. (2003). A bioluminescent sensor for high throughput toxicity classification. *Biosens. Bioelectron.* 160: 445-457.
- Kostrzyńska M., K. T. Leung, H. Lee and J. T. Trevors. (2002). Green fluorescence protein based biosensor for detecting SOS-inducing activity of genotoxic compounds. *J. Microbiol. Meth.* 48: 43-51.
- Kuang Y., I. Biran and D. R. Walt. (2004). Living bacterial cell array for genotoxins monitoring. *Anal. Chem.* 76: 2902-2909.
- Lee J. H., R. J. Mitchell, B. CH. Kim, D. C. Cullen and M. B. Gu. (2005). A cell array biosensor for environmental toxicity analysis. *Biosens. Bioelectron.* 21: 500-507.
- Lei Y., W. Chen, A. Mulchandani. (2006). Microbial biosensors. *Anal. Chim. Act.* 568: 200-210.
- Mao Y. M., D. H. Varoglu and D. H. Sherman. (1999). Molecular characterization and analysis of the biosynthetic cluster for the antitumor antibiotic mitomycin C from *Streptomyces lavendulae* NRRL2564. *Chem. Biol.* 6: 251-263.
- Matejczyk M. (2004). Bakteryjne biosensory. *Post. Mikrobiol.* 2(43):155-165.
- Matejczyk M. and Rosochacki S. J. (2006). Application of plasmid-borne green fluorescent protein-based bacterial biosensors for benzene and its selected derivatives detection in water ecosystems. *Pol. J. Environ. Stud.* 15(5D), 703-707.
- Matejczyk M. and S. J. Rosochacki. (2007). Gen *gfp* jako fluorescencyjne narzędzie w analizie ekspresji genów i konstrukcji biosensorów. *Biotechnol.* 1(76): 53-62.
- Mitchell R. J. and M. B. Gu. (2003). Construction and characterisation of novel dual stress-responsive bacterial biosensors. *Biosens. Bioelectron.* 19: 977-985.
- Neuss S. and G. Speit. (2008). Further characterization of the genotoxicity of formaldehyde in vitro by the sister chromatid exchange test and co-cultivation experiments. *Mutagen.* 23(5): 355-357.
- Norman A., L. H. Hansen and S. J. Sørensen. (2006). A flow cytometry-optimized assay using an SOS-green fluorescent protein (SOS-GFP) whole-cell biosensor for the detection of genotoxins in complex environments. *Mutat. Res.* 603: 164-172.
- Ptitsyn L.R., G. Horneck, O. Komova, S. Kozubek, E. A. Krasavin, M. Bonev and P. Rettberg. (1997). A biosensor for environmental genotoxin screening based on an SOS lux assay in recombinant *Escherichia coli* cells. *Appl. Environ. Microbiol.* 63(11): 4377-4384.
- Rogers K.R. (2006). Recent advances in biosensor techniques for environmental monitoring. *Anal. Chim. Act.* 568: 222-231.
- Ron E. Z. (2007). Biosensing environmental pollution. *Cur. Opin. Biotechnol.* 18: 252-256.
- Rosochacki S.J. and M. Matejczyk. (2002). Green fluorescent protein as a molecular marker in microbiology. *Acta Microbiol. Pol.* 51(3): 205-216.
- Sørensen S.J., M. Burmølle and L. H. Hansen. (2006). Making bio-sense of toxicity: new developments in whole-cell biosensors. *Cur. Opin. Biotechnol.* 17: 11-16.

- Stiner L. and L. J. Halverson. (2002). Development and characterisation of a green fluorescent protein-based bacterial biosensor for bioavailable toluene and related compounds. *Appl. Environ. Microbiol.* 68: 1962-1971.
- Turan T., O. Karacay, G. Tulunay, N. Boran, S. Koc, S. Bozok and M. Kose. (2006). Results with EMA/CO (etoposide, methotrexate, actinomycin D, cyclophosphamide, vincristine) chemotherapy in gestational trophoblastic neoplasia. *Int. J. Gynecol. Cancer.* 16(3): 1432-1438.
- Vollmer A. C. and T. Van Dyk. (2004). Stress responsive bacteria: biosensors as environmental monitors. *Adv. Microbiol. Physiol.* 49: 131-174.
- Willardson B. M., J. F. Wilkins, T. A. Rand, J. M. Schupp, K. K. Hill, P. Keim and P. J. Jackson. (1998). Development and testing of a bacterial biosensor for toluene-based environmental contaminants. *Appl. Environ. Microbiol.* 64: 1006-1012.
- Yagi K. (2007). Applications of whole-cell bacterial sensors in biotechnology and environmental science. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 73: 1251-1258.
- Zaslaver A., A. E. Mayo, R. Rosemberg, P. Bashkin, H. Sberro, M. Tsalyuk, M. G. Surette and U. Alon. (2004). Just-in-time transcription program in metabolic pathways. *Nat. Genet.* 36(5): 486 – 491..

Acknowledgement

I am thankful to Prof. Uri Alon, Department of Molecular Cell Biology & Department of Physics of Complex Systems, Weizmann Institute of Science Rehovot, Israel for providing bacteria strains.

The work was supported by research project number S/WBiŚ/22/2006

WARIANTOWANIE ROZWIĄZAŃ ZBIORNIKÓW PODZIEMNYCH STOSOWANYCH W GOSPODARSTWACH ROLNO – HODOWLANYCH

Anna ŻAKOWICZ*

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

Streszczenie: W artykule opisano rodzaje zbiorników podziemnych stosowane w gospodarstwach rolno-hodowlanych, podstawowe ich schematy statyczne oraz rodzaje obciążeń działających na zbiorniki. W przykładzie obliczeniowym porównano wyniki uzyskane dwiema metodami obliczeniowymi: metodą płyt wydzielonych i metodą elementów skończonych. Obliczenia MES wykonano dla dwóch przypadków: z uwzględnieniem sprężystości podłoża i bez jego uwzględnienia.

Słowa kluczowe: podziemny zbiornik prostopadłościenny, schemat przestrzenny, metoda elementów skończonych.

1. Wstęp

Jednym z podstawowych wymogów Unii Europejskiej dotyczących gospodarstw rolno-hodowlanych jest redukcja zanieczyszczenia gleby i wody gruntowej spowodowanego azotanami pochodzenia rolniczego oraz zapobieganie dalszym tego typu zanieczyszczeniom. Wśród wielu zagrożeń dla środowiska, powstających na terenie gospodarstwa, szczególną uwagę należy zwrócić na odchody zwierzęce w postaci stałej i ciekłej. Zgodnie z art. 18 Ustawy z dnia 26 lipca 2000 r. o Nawozach i Nawożeniu (Dz. U. Nr 89 poz. 991) nawozy naturalne w postaci stałej powinny być przechowywane w pomieszczeniach inwentarskich lub na nieprzepuszczalnych płytach, zabezpieczonych przed przenikaniem wycieku do gruntu oraz wyposażonych w instalację odprowadzającą wycieki do szczelnych zbiorników. Nawozy naturalne w postaci płynnej (gnojówka, gnojowica) należy przechowywać wyłącznie w szczelnych zbiornikach o pojemności umożliwiającej gromadzenie co najmniej 6-miesięcznej produkcji tego nawozu (Rozporządzenie Ministra Środowiska, 2002). Po wejściu Polski do Unii Europejskiej rolnicy rozpoczęli proces dostosowywania gospodarstw do standardów Unii. Jednym z efektów tego działania jest budowa zbiorników na odchody zwierzęce. Każdy wykonany zbiornik potrzebuje dokumentu potwierdzającego jakość jego wykonania, przede wszystkim potwierdzającym jego szczelność.

Główne wymagania dotyczące konstrukcji zbiornika są następujące (PN-EN 1992-1-1:2008 *Eurokod 2*

Projektowanie konstrukcji z betonu Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków, BN-84/8814-07 *Zbiorniki żelbetowe na gnojowicę. Projektowanie, warunki wykonania i badania techniczne przy odbiorze*, PN-B-03264: 2002 *Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie*):

- zbiornik powinien być zaprojektowany w sposób zapewniający jego szczelność i trwałość;
- gnojówka stanowi środowisko słabo lub średnio agresywne w stosunku do betonu, co odpowiada klasie ekspozycji XA1 lub XA2;
- materiały zastosowane do budowy zbiornika powinny spełniać wymagania odpowiednich norm przedmiotowych lub aprobat technicznych;
- minimalna klasa betonu dla środowiska XA1 oraz XA2 wg (PN-EN 206-1:2003 *Beton-Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność*) to C30/37, (PN-B-03264:2002) dla XA1 to C25/30, XA2 to C35/45 natomiast (BN-84/8814-07) wynosi C16/20 (zalecane C20/25);
- minimalny wymagany stopień wodoszczelności wynosi W6;
- styki pomiędzy elementami składowymi zbiorników prefabrykowanych powinny być odpowiednio zabezpieczone i uszczelnione;
- stosuje się zbrojenie konstrukcyjne w postaci prętów ze stali klasy AI, AII, AIII o minimalnej średnicy pręta 8 mm;
- otulina zbrojenia dla klasy ekspozycji XA1 i XA2 z uwagi na ochronę przed korozją powinna wynosić:

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: a.zakowicz@kmb.pb.edu.pl

$c_{nom} = c_{min} + \Delta c = 3cm + 1cm = 4cm$, a dla płyty wykonanej na chudym betonie:
 $c_{nom} = c_{min} + \Delta c = 4cm + 1cm = 5cm$.

- dopuszczalna szerokość rozwarcia rys (PN-B-03264:2002) w elementach pracujących w środowisku XA1, XA2 w celu ochrony przed korozją wynosi 0,2 mm, a dla zbiorników od których wymaga się szczelności wynosi 0,1 mm;
- w przypadku zbiorników na ciecz, a w szczególności na gnojówkę lub gnojownicę konieczne jest dokonywanie próby szczelności według procedury opisanej w (PN-B-10702:1999 *Wodociągi i kanalizacje. Wymagania i badania przy odbiorze*).

W pracy przedstawione zostały aktualnie stosowane rodzaje zbiorników na gnojownicę, podstawowe schematy statyczne, rodzaje obciążeń działających na zbiornik, rozwiązania izolacji zbiornika oraz przykład obliczeniowy zbiornika w wersji monolitycznej z wariantowym uwzględnieniem sprężystości otaczającego gruntu.

2. Stosowane aktualnie rozwiązania zbiorników

Do przechowywania odchodów zwierzęcych w postaci płynnej w gospodarstwach rolnych stosuje się najczęściej zbiorniki podziemne. Zaletą tych zbiorników jest możliwość grawitacyjnego odprowadzania odchodów z budynków i płyt obornikowych do zbiornika. Strop nad zbiornikiem można wykorzystać na powierzchnię przeznaczoną do składowania obornika. Należy wówczas przewidzieć włazy wentylacyjne i rewizyjne w płycie górnej oraz zastosować spadki min. 1%, w celu umożliwienia odprowadzenia płynnych odchodów. Trudnością przy budowie tych zbiorników jest to, że w przypadku wysokiego poziomu wód gruntowych konieczne jest obniżenie poziomu tych wód na czas realizacji budowy, a także wykonanie stosownych uszczelnień, co związane jest z dodatkowymi kosztami. Zbiorniki do przechowywania nawozów naturalnych mogą mieć kształt bryły obrotowej – walec o pionowej osi obrotu - zbiorniki walcowe, lub mogą to być zbiorniki prostopadłościenne. Płyta przekrywająca zbiornik może być zarazem przeznaczona do składowania obornika. W związku z powyższym płyty te mogą być zaopatrzone w murki oporowe usytuowane na krawędzi płyt. Opisywane zbiorniki są wykonywane z różnych materiałów i można je podzielić na: betonowe monolityczne, żelbetowe monolityczne, żelbetowe prefabrykowane, stalowe, z tworzyw sztucznych na bazie PCV lub włókna szklanego zbrojonego. Najbardziej rozpowszechnione są zbiorniki żelbetowe monolityczne i prefabrykowane.

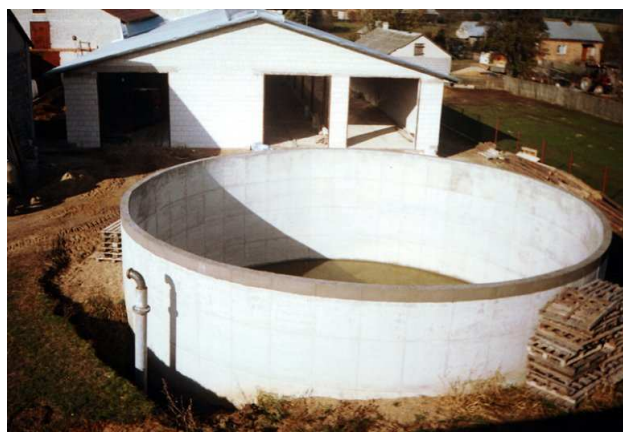
Poniżej przedstawiono przykłady zbiorników prefabrykowanych obecnie stosowanych w gospodarstwach rolnych do przechowywania odchodów zwierzęcych oraz przykład zbiornika monolitycznego (rys. 1-3).



Rys. 1. Zbiornik żelbetowy prefabrykowany o przekroju kołowym (www.ogloszenia-24h.pl)



Rys. 2. Zbiornik żelbetowy, prostopadłościenny, górą zamknięty. Na płycie przekrywającej widoczne jest zbrojenie przeznaczone do wykonania muru oporowego (www.pepebe.pl)

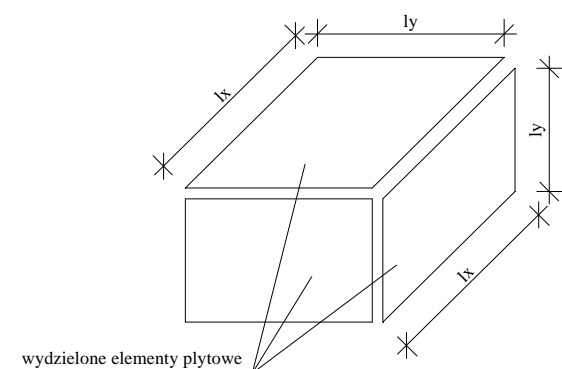


Rys. 3. Zbiornik żelbetowy monolityczny o przekroju kołowym (www.fambud.eu)

3. Obliczeniowe schematy statyczne i obciążenia żelbetowych prostopadłościennych zbiorników monolitycznych

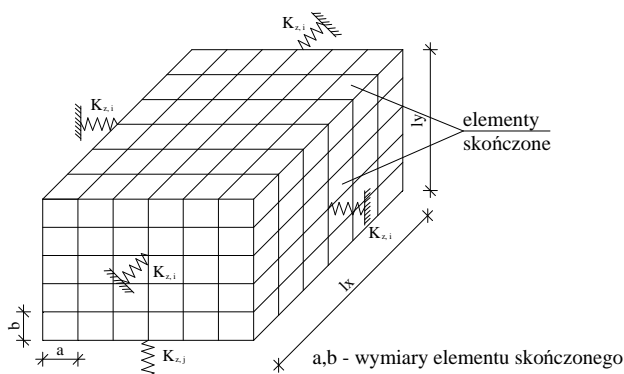
Można wyróżnić następujące obliczeniowe schematy statyczne zbiorników podziemnych na odchody zwierzęce:

- schemat rozdzielczy (rys. 4),



Rys. 4. Schemat rozdzielczy

– schemat przestrzenny (rys. 5),

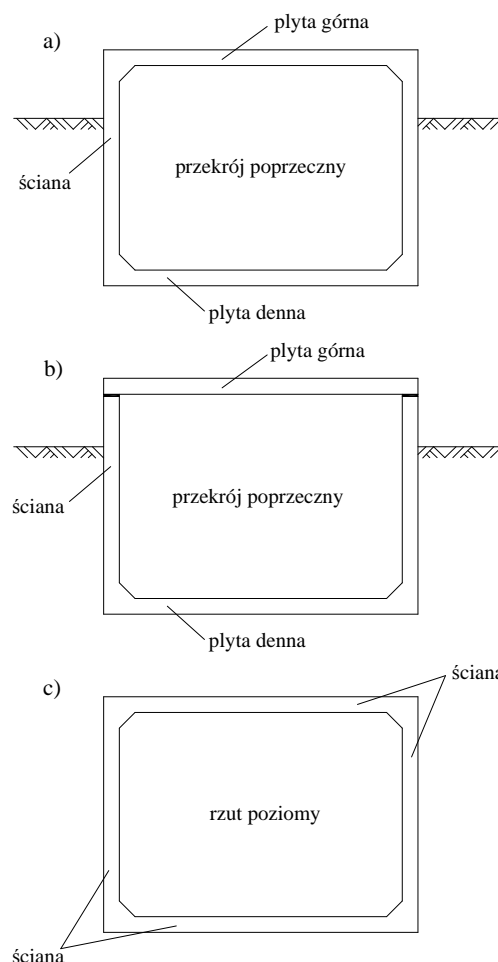


Rys. 5. Schemat przestrzenny z siatką elementów skończonych

W schemacie rozdzielczym obliczenia przeprowadza się metodą płyt wydzielonych. Analiza polega na rozpatrywaniu elementów konstrukcyjnych zbiornika (ściany, płyta denna, płyta górna) jako płyt dwukierunkowo zginanych, przyjmując w zależności od przewidywanej technologii wykonania swobodne podparcie lub całkowite zamocowanie odpowiednich krawędzi. Dzięki tej metodzie można wyznaczyć potrzebne do wymiarowania momenty zginające i ugięcia płyt prostokątnych o różnych warunkach podparcia wynikających z przyjętego rozwiązania konstrukcyjnego. Należy również pamiętać o konieczności wyrównania momentów krawędziowych, w przypadku zbiorników prostopadłościennych o różnych wymiarach stykających się ścian.

Monolityczne zbiorniki prostopadłościenne powinno się obliczać metodami, które umożliwią uwzględnienie ich przestrzennej pracy statycznej (Buczowski, 1998) oraz rzeczywistych wymiarów i danych materiałowych. Można tu stosować metodę różnic skończonych (MRS) lub metodę elementów skończonych (MES). Wykorzystując metodę elementów skończonych (MES) tworzy się siatkę elementów skończonych i przeprowadzając analizę obliczeniową wyznacza się w dowolnym punkcie konstrukcji wartości sił, momentów zginających oraz ugięć.

W przypadku obu schematów statycznych można wyróżnić następujące rodzaje połączeń pomiędzy elementami konstrukcyjnymi zbiornika (rys. 6).



Rys. 6. Rodzaje połączeń pomiędzy elementami konstrukcyjnymi zbiornika monolitycznego: a) sztywne połączenie ścian zbiornika z płytą denną i płytą górną, b) sztywne połączenie ścian zbiornika z płytą denną i przegubowe połączenie ścian zbiornika z płytą górną, c) sztywne połączenie pomiędzy ścianami zbiornika

Przy projektowaniu zbiorników podziemnych na ciecz mamy do czynienia z dwoma głównymi schematami obciążenia. Pierwszy schemat dotyczy zbiornika nie obsypanego wypełnionego cieczą, natomiast drugi dotyczy zbiornika pustego obsypanego gruntem. W przypadku pierwszego schematu należy uwzględnić następujące obciążenia działające na zbiornik:

- obciążenie płyty przekrywającej ciężarem własnym;
- obciążenie cieczą (gnojowicą) ścian zbiornika i płyty dennej;
- obciążenie płyty dennej odporem gruntu wywołanym ciężarem własnym zbiornika.

W przypadku drugiego schematu należy uwzględnić następujące obciążenia:

- obciążenie płyty górnej ciężarem własnym;
- obciążenie płyty górnej zbiornika gruntem (w przypadku gdy płyta górna zbiornika jest zagłębiona w ziemi);
- obciążenie płyty górnej śniegiem lub obciążeniem użytkowym (obornikiem albo samochodem ciężarowym);
- obciążenie ścian zbiornika gruntem zasypowym;
- obciążenie płyty dennej odporem gruntu.

Istotnym obciążeniem może być również skurcz betonu i wpływ zmian temperatury otoczenia (Buczowski, 1992, 1993).

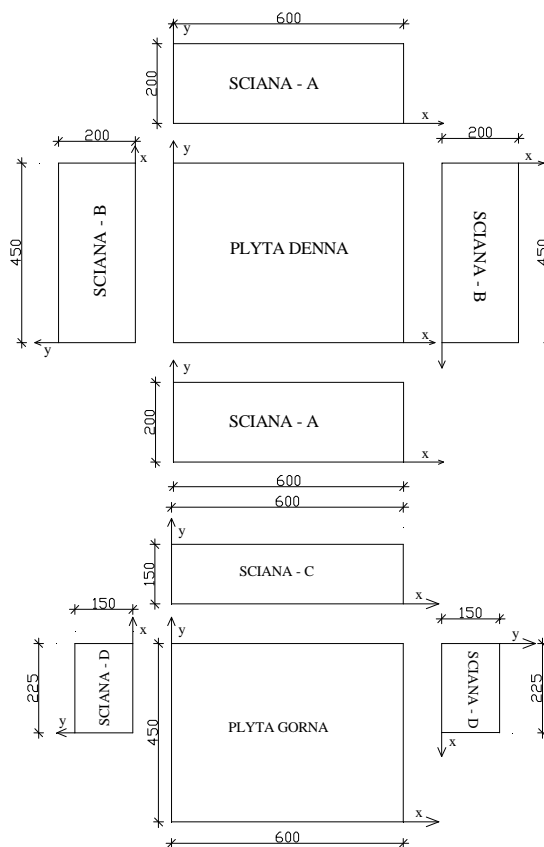
4. Rozwiązania izolacji

Zabezpieczenie zewnętrzne i wewnętrzne elementów konstrukcyjnych zbiornika zależy przede wszystkim od warunków gruntowych i wodnych oraz od rodzaju przechowywanej cieczy. W zbiornikach zagłębionych w gruncie można stosować powłoki nałożone na elementy konstrukcyjne, które mogą stanowić dodatkowe zabezpieczenie lub ochronę konstrukcji przed agresywnym oddziaływaniem środowiska. Zabezpieczenie wewnętrzne powierzchni zbiornika stanowią różnego rodzaju żywice reaktywne, które tworzą po wewnętrznej stronie zbiornika szczelną powłokę. Utwardzona powłoka jest elastyczna odporna na ścieranie i działanie czynników atmosferycznych i chemikaliów, a w szczególności na działanie gnojowicy. Na zewnątrz na ogół wystarcza dwukrotne posmarowanie bitumem. Przy wysokim zwierciadle wody gruntowej stosuje się izolację typu ciężkiego, osłoniętą ścianką żelbetową lub murowaną. Izolację dna wykonuje się z 2 warstw papy bitumicznej ułożonej na warstwie chudego betonu.

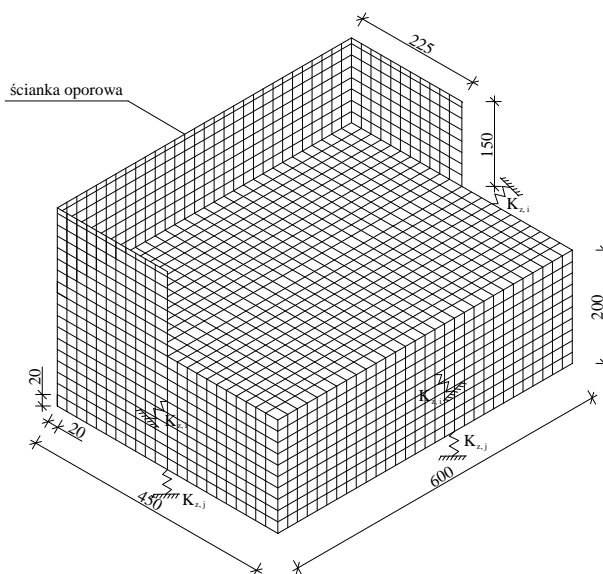
Jeżeli istnieje możliwość grawitacyjnego odprowadzenia wody, to z zasady stosuje się drenaż wokół zbiornika oraz całego dna. Drenaż służy do odprowadzenia wód gruntowych przesiąkających z poziomu terenu oraz wód opadowych. Drenaż jest konieczny, gdy chcemy trwale obniżyć poziom wody gruntowej lub zabezpieczyć przed okresowym jego podnoszeniem się ponad poziom dna zbiornika (Ciesielski i in., 1966).

5. Przykład obliczeń zbiornika w wersji monolitycznej

Przeprowadzono obliczenia zbiornika na gnojowicę całkowicie zagłębionego w gruncie o konstrukcji monolitycznej o następujących wymiarach osiowych: szerokość 4,5 m, długość 6,0 m, wysokość 2,0 m. Przewidziano także ściankę oporową o wysokości 1,5 m wykonaną na płycie górnej zbiornika. Elementy konstrukcyjne zbiornika: płyta górna, ściany oraz ścianka oporowa mają grubość 20 cm, a płyta denna ma grubość 30 cm. Poziom posadowienia zbiornika ustalono na rzędnej -2,00 m p.p.t. Zbiornik posadowiony jest na glinie pylastej w stanie plastycznym o stopniu plastyczności $I_L = 0,43$. Po wykonaniu zbiornika ściany zostaną obsypane piaskiem średnim o $I_D = 0,43$. Zbiornik obliczono dwiema metodami. Przy obliczeniach zbiornika metodą płyt wydzielonych (rys. 7) przyjęto dwa schematy obciążenia. W metodzie elementów skończonych (MES) dodatkowo uwzględniono sprężystą pracę podłoża gruntowego dla ścian zbiornika oraz płyty dennej (rys. 8). Do obliczeń zastosowano program Robot Millennium.



Rys. 7. Oznaczenie poszczególnych elementów konstrukcyjnych zbiornika w metodzie płyt wydzielonych



Rys. 8. Dyskretyzacja metody elementów skończonych

Przy obliczeniach dla I schematu uwzględniono następujące wartości obciążeń:

- płyta górna
- a) obciążenie śniegiem (PN-80/B-02010) ($\gamma = 1,5$):

$$S = 1,54 \cdot 1,5 = 2,31 \text{ kN/m}^2$$
- b) ciężar własny płyty górnej (PN-82/B-02001) ($\gamma = 1,1$):

$$g_d = 0,2 \cdot 25 \cdot 1,1 = 5,50 \text{ kN/m}^2$$
- ściany
- c) parcie cieczy (gnojowicy) (PN-82/B-02000) ($\gamma = 1,1$):

$$p_{cd} = 11 \cdot 2,0 \cdot 1,1 = 24,20 \text{ kN/m}^2$$

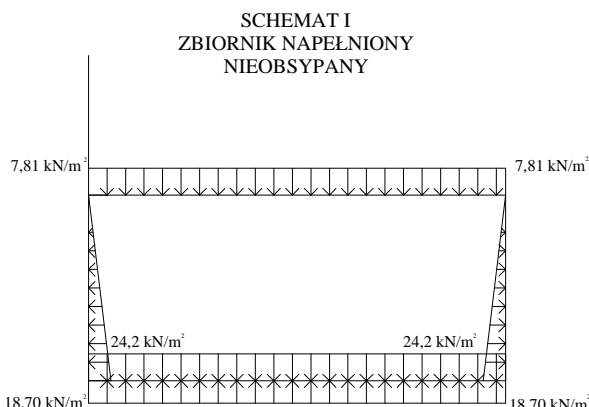
- płyta denna
- d) obciążenia a, b, c jak wyżej
- e) obciążenie od ciężaru własnego ścianki oporowej (PN-82/B-02001) ($\gamma = 1,1$):

$$g_{d1} = \frac{0,2 \cdot 1,5 \cdot 10,5 \cdot 25}{4,7 \cdot 6,2} \cdot 1,1 = 2,97 \text{ kN/m}^2$$

- f) obciążenie od ciężaru własnego ścian zbiornika (PN-82/B-02001) ($\gamma = 1,1$):

$$g_{d2} = \frac{0,2 \cdot 4,5 \cdot 2,0 \cdot 25 \cdot 2 + 0,2 \cdot 6,0 \cdot 2,0 \cdot 25 \cdot 2}{4,7 \cdot 6,2} \cdot 1,1 = 7,92 \text{ kN/m}^2$$

Sposób przyłożenia obciążeń przedstawiono na rysunku 9.



Rys. 9. Obciążenia działające na zbiornik w I schemacie obciążenia

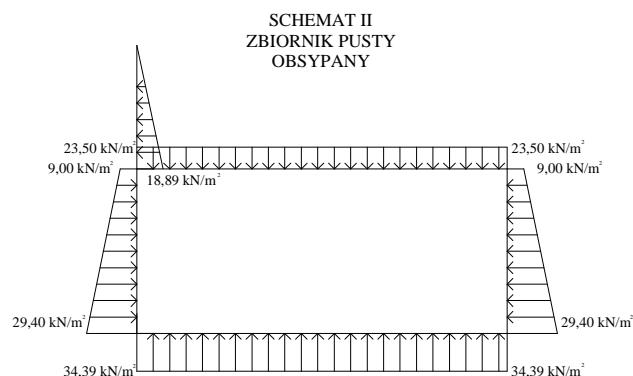
Przy obliczeniach dla II schematu uwzględniono następujące wartości obciążeń:

- płyta górna
- g) obciążenie b jak wyżej
- h) obciążenie obornikiem (PN-82/B-02000) ($\gamma = 1,2$):
 $p_d = 10 \cdot 1,5 \cdot 1,2 = 18,00 \text{ kN/m}^2$
- ściany
- i) obciążenie naziomu pojazdem samochodowym ($\gamma = 1,2$) przyjęto jako obciążenie zastępcze równomiernie rozłożone na podstawie normy (PN-82/B-02004):
 $p_{d1} = p_d \cdot K_o = 18 \cdot 0,5 = 9,00 \text{ kN/m}^2$

- j) obciążenie parciem gruntu (PN-88/B-02014) ($\gamma = 1,2$):
 $G_{d2} = (p_d + \gamma \cdot h) \cdot K_o = (18 + 17 \cdot 2,0 \cdot 1,2) \cdot 0,5 = 29,4 \text{ kN/m}^2$

- płyta denna
- k) obciążenia b, e, f, h jak wyżej
- ścianka oporowa
- l) obciążenie obornikiem (PN-83/B-03010):
 $e_{ar2} = 13,74 \cdot 1,25 \cdot 1,1 = 18,89 \text{ kN/m}^2$

Sposób przyłożenia obciążeń przedstawiono na rysunku 10.



Rys. 10. Obciążenia działające na zbiornik w II schemacie obciążenia

Do obliczeń przyjęto wysokość składowania obornika 1,5 m oraz jego ciężar objętościowy $\rho = 10 \text{ kN/m}^3$. Gęstość objętościowa gruntu zasypowego wynosi $\rho = 17 \text{ kN/m}^3$.

W przypadku drugiego schematu obciążenia przyjęto obciążenie równomiernie rozłożone o stałej wartości na całej powierzchni płyty górnej.

Po przeprowadzeniu obliczeń metodą płyt wydzielonych oraz po wyrównaniu momentów krawędziowych (stosując odpowiednie współczynniki rozdziału (Kobiak i Stachurski, 1991)) otrzymano wartości momentów zginających pokazane w tabelach 1 i 2.

Tab. 1. Zestawienie wartości momentów w I schemacie obciążenia w metodzie płyt wydzielonych

Element	M_x [kNm]		M_y [kNm]	
	podporowy	prześlowy	podporowy	prześlowy
ŚCIANA – A	-2,88	+0,50	-10,74	-5,58
ŚCIANA – B	-2,88	+0,50	-6,81	-1,59
ŚCIANA – C	-0,09	+0,07	-0,06	+0,04
ŚCIANA – D	-0,09	-0,04	-0,05	+0,03
PŁYTA GÓRNA	-6,81	+4,72	-10,74	+9,59
PŁYTA DENNA	-3,20	+0,60	-4,70	+1,99

Tab. 2. Zestawienie wartości momentów w II schemacie obciążenia w metodzie płyt wydzielonych

Element	M_x [kNm]		M_y [kNm]	
	podporowy	prześlowy	podporowy	prześlowy
ŚCIANA – A	-7,72	+3,17	-29,27	-11,39
ŚCIANA – B	-7,72	+0,87	-18,71	-0,83
ŚCIANA – C	-1,75	+0,36	-2,91	+1,20
ŚCIANA – D	-1,75	+0,32	-2,39	+0,86
PŁYTA GÓRNA	-18,71	+11,66	-29,27	+24,25
PŁYTA DENNA	-28,56	+19,39	-45,01	+39,50

Przy obliczaniu ścian A, B, płyty górnej i dolnej przyjęto schemat statyczny w postaci płyty zamocowanej na obwodzie. Płytę C obliczano jako płytę zamocowaną na trzech krawędziach z czwartą swobodną, natomiast płyty D obliczano jako zamocowane na dwóch krawędziach z dwiema pozostałymi krawędziami swobodnymi.

Wyniki obliczeń uzyskane metodą elementów skończonych (MES) dla schematu statycznego, w którym nie uwzględniono sprężystej pracy podłoża gruntowego zestawiono w tabelach 3 i 4.

Tab. 3. Zestawienie wartości momentów w I schemacie obciążenia uzyskane MES bez uwzględnienia sprężystej pracy podłoża gruntowego

Element	M_x [kNm]		M_y [kNm]	
	podporowy	prześłowy	podporowy	prześłowy
ŚCIANA - A	-3,24	+1,22	-8,25	-
ŚCIANA - B	-3,36	+1,34	-6,51	-
PŁYTA GÓRNA	-6,67	+5,26	-7,23	+6,25
PŁYTA DENNA	-4,72	+1,62	-5,22	+2,63
ŚCIANA - C	-2,08	+0,65	-2,06	-
ŚCIANA - D	-2,03	+0,32	-2,42	-

Tab. 4. Zestawienie wartości momentów w II schemacie obciążenia uzyskane MES bez uwzględnienia sprężystej pracy podłoża gruntowego

Element	M_x [kNm]		M_y [kNm]	
	podporowy	prześłowy	podporowy	prześłowy
ŚCIANA - A	+5,23	+2,64	-46,48	-
ŚCIANA - B	+5,16	+1,42	-33,29	-
PŁYTA GÓRNA	-20,12	+12,87	-24,08	+18,38
PŁYTA DENNA	-32,97	+20,80	-45,54	+42,65
ŚCIANA - C	-2,25	+1,16	-3,17	-
ŚCIANA - D	-2,20	+0,61	-4,60	-

Tab. 7. Zestawienie wartości momentów obliczonych metodą płyt wydzielonych oraz za pomocą metody elementów skończonych bez uwzględnienia sprężystej pracy podłoża gruntowego – dla I schematu obciążenia

Element	M_x [kNm]				M_y [kNm]			
	podporowy		prześłowy		podporowy		prześłowy	
	met. płyt wydz.	MES	met. płyt wydz.	MES	met. płyt wydz.	MES	met. płyt wydz.	MES
ŚCIANA - A	-2,88	-3,24	+0,50	+1,22	-10,74 -4,70	-8,25	-5,58 +2,11	-
ŚCIANA - B	-2,88	-3,36	+0,50	+1,34	-6,81 -3,20	-6,51	-1,59 +3,67	-
PŁYTA GÓRNA	-6,81	-6,67	+4,72	+5,26	-10,74	-7,23	+9,59	+6,25
PŁYTA DENNA	-3,20	-4,72	+0,60	+1,62	-4,70	-5,22	+1,99	+2,63
ŚCIANA - C	-0,09	-2,08	+0,07	+0,65	-0,06	-2,06	+0,04	-
ŚCIANA - D	-0,09	-2,03	-0,04	+0,32	-0,05	-2,42	+0,03	-

Przy obliczeniach metodą elementów skończonych (MES) uwzględniono również sprężystą pracę podłoża gruntowego. W II schemacie obciążenia uwzględniono sprężystość gruntu zasypowego dla ścian zbiornika (tab. 5 i 6).

Tab. 5. Zestawienie wartości momentów w I schemacie obciążenia uzyskane MES z uwzględnieniem sprężystej pracy podłoża gruntowego

Element	M_x [kNm]		M_y [kNm]	
	podporowy	prześłowy	podporowy	prześłowy
ŚCIANA - A	-4,63	+1,30	-9,12	-
ŚCIANA - B	-4,61	+1,31	-7,64	-
PŁYTA GÓRNA	-8,26	+6,73	-6,21	+4,22
PŁYTA DENNA	-2,48	+0,13	-1,93	+0,09
ŚCIANA - C	-2,62	+1,00	-2,92	-
ŚCIANA - D	-2,63	+0,42	-3,32	-

Tab. 6. Zestawienie wartości momentów w II schemacie obciążenia uzyskane MES z uwzględnieniem sprężystej pracy podłoża gruntowego

Element	M_x [kNm]		M_y [kNm]	
	podporowy	prześłowy	podporowy	prześłowy
ŚCIANA - A	-1,85	+0,07	-2,60	-
ŚCIANA - B	-1,73	+0,05	-2,31	-
PŁYTA GÓRNA	-36,32	+16,94	-29,07	+10,04
PŁYTA DENNA	-0,06	-0,02	+0,41	-0,08
ŚCIANA - C	-1,97	+0,13	-5,81	-
ŚCIANA - D	-1,97	+0,22	-3,77	-

W celu porównania otrzymanych rezultatów dokonano zestawień pokazanych w tabelach 7, 8, 9 i 10.

Otrzymane wyniki uzyskane różnymi metodami dla płyty górnej i płyty dennej pokazano na rysunku 11.

Tab. 8. Zestawienie wartości momentów obliczonych metodą płyt wydzielonych oraz za pomocą metody elementów skończonych bez uwzględnienia sprężystej pracy podłoża gruntowego – dla II schematu obciążenia

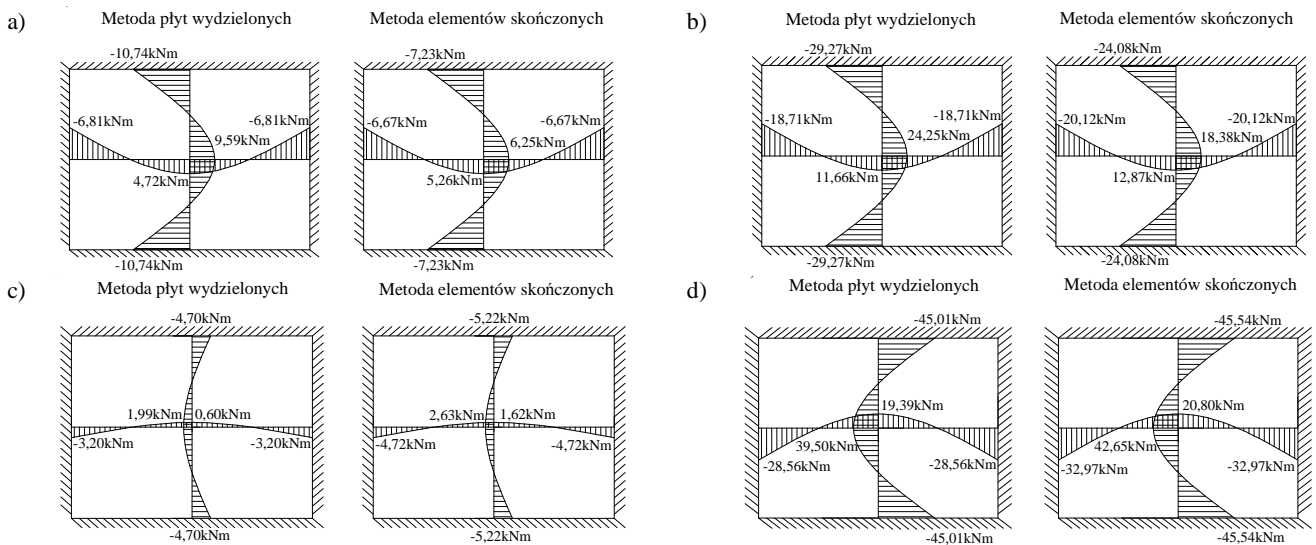
Element	M_x [kNm]				M_y [kNm]			
	podporowy		prześłowy		podporowy		prześłowy	
	met. płyt wydz.	MES	met. płyt wydz.	MES	met. płyt wydz.	MES	met. płyt wydz.	MES
ŚCIANA – A	-7,72	+5,23	+3,17	+2,64	-29,27 -45,01	-46,48	-11,39 -24,24	-
ŚCIANA – B	-7,72	+5,16	+0,87	+1,42	-18,71 -28,56	-33,29	-0,83 -7,89	-
PŁYTA GÓRNA	-18,71	-20,12	+11,66	+12,87	-29,27	-24,08	+24,25	+18,38
PŁYTA DENNA	-28,56	-32,97	+19,39	+20,80	-45,01	-45,54	+39,50	+42,65
ŚCIANA – C	-1,75	-2,25	+0,36	+1,16	-2,91	-3,17	+1,20	-
ŚCIANA – D	-1,75	-2,20	+0,32	+0,61	-2,39	-4,60	+0,86	-

Tab. 9. Zestawienie wartości momentów obliczonych metodą elementów skończonych z uwzględnieniem oraz bez uwzględnienia sprężystej pracy podłoża gruntowego – dla I schematu obciążenia

Element	M_x [kNm]				M_y [kNm]			
	podporowy		prześłowy		podporowy		prześłowy	
	MES.	MES podł. spręż.	MES	MES podł. spręż.	MES	MES podł. spręż.	MES	MES podł. spręż.
ŚCIANA – A	-3,24	-4,63	+1,22	+1,30	-8,25	-9,12	-	+4,59
ŚCIANA – B	-3,36	-4,61	+1,34	+1,31	-6,51	-7,64	-	+3,63
PŁYTA GÓRNA	-6,67	-8,26	+5,26	+6,73	-7,23	-6,21	+6,25	+4,22
PŁYTA DENNA	-4,72	-2,48	+1,62	+0,13	-5,22	-1,93	+2,63	+0,09
ŚCIANA – C	-2,08	-2,62	+0,65	+1,00	-2,06	-2,92	-	-1,23
ŚCIANA – D	-2,03	-2,63	+0,32	+0,42	-2,42	-3,32	-	-1,13

Tab. 10. Zestawienie wartości momentów obliczonych metodą elementów skończonych z uwzględnieniem oraz bez uwzględnienia sprężystej pracy podłoża gruntowego – dla II schematu obciążenia

Element	M_x [kNm]				M_y [kNm]			
	podporowy		prześłowy		podporowy		prześłowy	
	MES.	MES podł. spręż.	MES	MES podł. spręż.	MES	MES podł. spręż.	MES	MES podł. spręż.
ŚCIANA – A	+5,23	-1,85	+2,64	+0,07	-46,48	-2,60	-	-0,20
ŚCIANA – B	+5,16	-1,73	+1,42	+0,05	-33,29	-2,31	-	-0,24
PŁYTA GÓRNA	-20,12	-36,32	+12,87	+16,94	-24,08	-29,07	+18,38	+10,04
PŁYTA DENNA	-32,97	-0,06	+20,80	-0,02	-45,54	+0,41	+42,65	-0,08
ŚCIANA – C	-2,25	-1,97	+1,16	+0,13	-3,17	-5,81	-	+0,15
ŚCIANA – D	-2,20	-1,97	+0,61	+0,22	-4,60	-3,77	-	+0,32



Rys. 11. Porównanie wykresów momentów obliczonych metodą płyt wydzielonych oraz metodą elementów skończonych (MES) bez uwzględnienia sprężystej pracy podłoża gruntowego. a) płyta górna I schemat (założono, że murki oporowe są nieobciążone), b) płyta górna II schemat (założono, że murki oporowe są nieobciążone), c) płyta dolna I schemat, d) płyta dolna II schemat.

6. Podsumowanie

Dokonując porównania wartości momentów obliczonych metodą płyt wydzielonych oraz metodą elementów skończonych bez uwzględnienia sprężystej pracy podłoża gruntowego uzyskano wyniki różniące się od siebie o około 10-15 %. Różnica ta wynika z zastosowania różnych metod obliczeniowych. Ponadto w programie obliczeniowym oraz w tablicach (Kobiak i Stachurski, 1991) uwzględnione są różne wartości współczynnika Poissona: $\nu = 0,0$ (Kobiak i Stachurski, 1991) oraz $\nu = 0,20$ wartość przyjęta w programie komputerowym Robot. Natomiast w drugim przypadku obliczeń metodą elementów skończonych bez uwzględnienia oraz z uwzględnieniem sprężystej pracy podłoża gruntowego zauważa się, że w elementach podpartych sprężystości momenty zmieniły znacznie swoje wartości o około 30-35 %. Można wywnioskować zatem, że uwzględnienie sprężystości podłoża gruntowego znacznie wpływa na zmianę wyteżenia tych elementów i przegrupowanie sił wewnętrznych. Podobne spostrzeżenia można znaleźć w pracy Buczkowskiego (1998).

Literatura

Buczkowski W. (1998). Obliczenia statyczne w zbiorniku prostopadłościennym przy uwzględnieniu przestrzennej pracy statycznej ustroju oraz współpracy konstrukcji

z podłożem winklerowskim. *Gospodarka Wodna* 4, 143-137.

Buczkowski W. (1993). Obciążenie temperaturą zbiorników prostopadłościennych zagłębionych w gruncie. *Inżynieria i Budownictwo*, 12.

Buczkowski W. (1992). Momenty zginające w monolitycznych zbiornikach prostopadłościennych obciążonych temperaturą. *Inżynieria i Budownictwo*, 5.

Ciesielski R., Mitzel A., Stachurski W., Suwalski J., Żmudziński Z. (1966). Zbiorniki, zasobniki, silosy, kominy i maszty. Budownictwo Betonowe t.XIII. *Arkady*, Warszawa.

Kobiak J., Stachurski W. (1991). Konstrukcje żelbetowe. Tom 4. *Arkady*, Warszawa.

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dn. 23 grudnia 2002r. w sprawie szczegółowych wymagań, jakim powinny odpowiadać programy działań mających na celu ograniczenie odpływu azotu ze źródeł rolniczych.

VARIANTING SOLUTIONS OF UNDERGROUND TANKS ON FARMS

Abstract: The paper presents types of underground tanks used on farms, their basic static schemes and types of loads acting on tanks. In the calculation example results for two calculation methods, plate method and finite element method, were compared. The calculations were done for variants with and without included springy work of subsoil.

Pracę wykonano w Politechnice Białostockiej w ramach Pracy Statutowej nr S/WBiIS/3/08