

Spis treści

Recenzenci 2013 – Podziękowania Recenzentom Reviewers 2013 – Editorial Acknowledgment	5
Katarzyna GŁADYSZEWSKA-FIEDORUK, Tomasz MANOWSKI Charakterystyka wybranych systemów chłodniczych w pomieszczeniach hotelowych <i>Characteristics of chosen air-conditioning systems in the hotel space</i>	7
Marzena MATEJCZYK <i>Environmental and recombinant microorganisms for biopharmaceuticals production.....</i>	15
Joanna PIOTROWSKA-WORONIAK, Grzegorz WORONIAK Termomodernizacja zabytkowych kościołów <i>Thermomodernisation of the historic churches</i>	23
Mikołaj SYCZEWSKI, Genadij SHIROKIY, Pavel JUCHNEVSKIJ Efektywność domieszek uplastyczniających do betonu w funkcji ich momentów dipolowych <i>Effectiveness of plasticizing admixtures for concrete as a function of their dipole moments.....</i>	31
Monika SZCZOTKOWSKA, Piotr BRZOZOWSKI Wpływ nanokryształów CSH na wytrzymałość betonów cementowych stosowanych w budownictwie komunikacyjnym <i>Influence of CSH nanocrystals on strength of the concrete used in precast elements in road and bridge construction.....</i>	35

DYSKUSJE	
Edward LUDERA <i>S-19 ekspresowa „Ściany Wschodniej”, czy...?.....</i>	41
Andrzej JAROMINIAK <i>Refleksje Profesora Andrzeja Jarominiaka nt. S-19, czyli PS do artykułu Prezesa Edwarda Ludery.....</i>	43

CHARAKTERYSTYKA WYBRANYCH SYSTEMÓW CHŁODNICZYCH W POMIESZCZENIACH HOTELOWYCH

Katarzyna GŁADYSZEWSKA-FIEDORUK*, Tomasz MANOWSKI

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

Streszczenie: W artykule porównano dwa układy klimatyzacji, różniące się między sobą zasadą działania, ale przede wszystkim oparte o dwa różne czynniki robocze: freon i wodę lodową. Obydwa rozwiązania przeszły długą drogę rozwoju i prezentują w chwili obecnej wysoki poziom technologiczny. Rodzi się więc pytanie – który z nich jest lepszy? Tradycja, czy nowoczesność? Czy systemy oparte na dwóch różnych czynnikach mogą istnieć obok siebie, czy – zgodnie z zasadą: „lepsze jest wrogiem dobrego” – będziemy mieli do czynienia z stopniowym wypieraniem jednego z nich z rynku. Analiza porównawcza parametrów eksploatacyjnych obu układów będzie próbą odpowiedzi na to pytanie. W artykule zebrano informacje dotyczące układów z bezpośrednim i pośrednim odparowaniem czynnika chłodniczego. Przedstawiono dane projektowe: koncepcje, dobór urządzeń i ich szczegółowe porównanie.

Słowa kluczowe: klimatyzacja, freon, woda lodowa.

1. Wprowadzenie

Wpływ warunków pogodowych na samopoczucie człowieka zauważono już w dalekiej przeszłości. Do regulacji mikroklimatu w pomieszczeniach stosowano różne metody, zależne od stopnia rozwoju ludzkości i wiedzy technicznej (Czyż, 2007; Porowski i Szczechowiak, 2006).

Adamski (2008a i b) w swoich publikacjach podjął problematykę związaną z doбором źródła chłodu w systemach klimatyzacyjnych pracujących ze zmiennym udziałem powietrza nawiewanego VAV. Zwraca on uwagę na problemy pomijane przez innych autorów. Autor przedstawia konkretne wnioski, które mogą być pomocne przy opracowaniu koncepcji związanych ze źródłami chłodu dla systemów klimatyzacyjnych (Adamski, 2008a).

W kolejnej pracy (Adamski, 2008b) zaprezentowano między innymi rozwiązania systemów ze zmiennym przepływem czynnika chłodniczego oraz zestawiono cechy charakterystyczne dla tego typu rozwiązań. Systemy te są alternatywą do tradycyjnych i popularnych instalacji z medium pośredniczącym – wodą lodową. Wiele rozwiązań wykorzystywanych w systemach VRF powoduje, że systemy te są konkurencyjne dla systemów opartych na wodzie lodowej szczególnie dla małych i średnich obiektów, takich jak zostaną scharakteryzowane w dalszej części niniejszej pracy.

Informacje pozwalające na ogólne zapoznanie się z rozwiązaniami *free coolingu* stosowanymi obecnie w systemach klimatyzacji komfortu oraz chłodnictwa

przemysłowego podali autorzy: Adamski (2009a i b), Müller i Skrzyniowska (2006a). Przytoczyli oni analizę symulacyjną oszczędności kosztów z tytułu zastosowania *free coolingu* w popularnych rozwiązaniach *free coolingu* w sprężarkowych agregatach chłodniczych. Wskazano, że są to systemy praktycznie nie do pominięcia w wymaganych procesach schładzania powietrza przez cały sezon.

Zasadne jest zastosowanie dodatkowego wymiennika *free coolingu* w systemach chłodzenia wody technologicznej dla procesów przemysłowych, na przykład: chłodzenia wtryskarek, wytłaczarek i innych urządzeń przetwarzających tworzywa sztuczne (Müller, 2008). Rozwiązanie to powinno być stosowane w systemach klimatyzacji obiektów wymagających chłodzenia w okresie przejściowym i zimowym oraz w systemach klimatyzacji komfortu obiektów wymagających zasilania wodą lodową.

Dysponując danymi meteorologicznymi oraz charakterystyką obiektu, można w szybki sposób dokonać symulacji zwrotów nakładów inwestycyjnych poniesionych na instalację klimatyzacyjną (Müller i Skrzyniowska, 2006b).

W opracowaniu (Pandelidis, 2014) przedstawiono natomiast autorskie modele matematyczne dla wymienników ciepła do pośredniego ochładzania powietrza za pomocą odparowania cieczy. Modele opracowano dla czterech schematów przepływu powietrza przez wymiennik – współprądowym, przeciuprądowym, regeneracyjnym i krzyżowym. Na ich podstawie można

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

przeanalizować pracę pośrednich wymienników w różnych warunkach klimatycznych.

Celem artykułu jest porównanie dwóch układów klimatyzacji, różniących się zasadą działania, a przede wszystkim medium chłodniczym. Układy klimatyzacji porównano dla jednego obiektu. Do analizy przyjęto obiekt hotelowo-usługowy znajdujący się w Warszawie. W budynku zaprojektowano i porównano dwa układy klimatyzacyjne wykorzystujące dwa różne czynniki robocze: freon i wodę lodową.

1.1. Czynniki chłodnicze

W pracy skupiono się na układach opartych na dwóch rodzajach czynników roboczych:

1. Woda lodowa – może być to czysta woda (dzisiaj prawie nie stosowana w naszej strefie klimatycznej) lub z dodatkami przeciwko zamarzaniu, na przykład 30% roztworu glikolu etylenowego ("Split-system AC Units": Chilled-water and Cooling-tower AC Units). Temperatura wody lodowej wynosi około 6°C.
2. R410A – należy do grupy syntetycznych czynników HFC, uznanych za tak zwane gazy fluorowane, w skrócie "F-gazy". Skład to: difluorometan (R32) CHF₂-CF₃ i pentafluoroetan (R125) CH₂F₂, występujące w mieszaninie w równych proporcjach (katalog Air Product 2013). Podstawową zaletą R410A jest „zerowy” potencjał niszczenia ozonu. Innymi słowy, przypadkowa emisja tego czynnika do atmosfery jest nieszkodliwa dla warstwy ozonowej.

Warto zauważyć, że R410A występuje również w agregatach wody lodowej, w których następuje wymiana ciepła z wodą, która jest pompowana do instalacji w pomieszczeniach.

1.2. Różnice pomiędzy analizowanymi układami

Wstępne porównanie obu systemów zwraca uwagę przede wszystkim na budowę, możliwości oraz wady i zalety obu systemów (Porowski i Szczechowiak, 2006).

Różnice pomiędzy układem wody lodowej i układami freonowymi:

- agregat:
 - woda lodowa – monoblok z układem hydraulicznym, modułem pompowym zamieszczonym na wspólnej ramie,
 - freon – kilka agregatów (w zależności od możliwości do uzyskania mocy); agregaty połączone między sobą siecią chłodniczą, a także jako pojedyncze moduły obsługujące wydzielone części budynku;
- urządzenia wewnętrzne – poza innym czynnikiem krążącym w obiegu brak poważniejszych różnic;
- instalacja:
 - woda lodowa – instalacja chłodnicza, to jest rury stalowe w otulinie, dodatkowa armatura hydrauliczna: zbiornik buforowy, pompy, zawory sterujące, odcinające itp.,
 - freon – instalacja chłodnicza, to jest rury miedziane w otulinie;
- tryb pracy:

- woda lodowa – tylko chłodzenie (instalacja dwururowa),
- freon „pompa ciepła” – tylko chłodzenie lub grzanie całym systemem (instalacja dwururowa),
- freon: odzysk ciepła – chłodzenie i grzanie jednocześnie całym systemem (instalacja dwururowa, dodatkowy moduł do każdego agregatu).

W celu wykonania wiarygodnego porównania kosztów obydwu systemów należy również rozpatrywać globalnie koszt całego systemu (koszt instalacji, koszt rozruchu i montażu systemu, armatury wraz z elementami równoważącymi). Do tego należy uwzględnić koszty eksploatacji systemu, które w przyszłej eksploatacji, mogą zrównoważyć ewentualne, wyższe koszty inwestycyjne.

1.3. Opis obiektu i rozwiązań technicznych instalacji wentylacyjnych

Do analizy przyjęto obiekt hotelowo-usługowy znajdujący się w Warszawie. Na całość składa się:

- część usługowa, czyli lokale handlowe o powierzchni od 35 m² do 90 m², zajmująca parter i pierwsze piętro budynku,
- część hotelowa, czyli kolejno siedem pięter z 20-25 pokojami na każdej kondygnacji – w zależności od piętra,
- parking podziemny z klimatyzowaną częścią biurową dla administracji budynku.

Zakładano opcje:

- I – woda lodowa: chłodzenie, SPEC Warszawa: grzanie,
- II – freon: chłodzenie i grzanie, dodatkowo – odzysk ciepła,
- III – freon: chłodzenie i grzanie.

W przypadku systemów freonowych zakłada się, że jest to jedyny system grzewczy w budynku.

Przygotowana koncepcja projektowa miała dać pogląd na najkorzystniejsze pod względem ekonomicznym rozwiązanie problemu klimatyzacji pomieszczeń budynku z uwzględnieniem różnej ich specyfiki:

- lokale usługowe:
 - duże obciążenie cieplne,
 - praca generalnie do godziny 15:00-17:00 w dni robocze,
 - zastosowane urządzenia wewnętrzne powinny być wydajne, z szerokim pokryciem strumieniem powietrza (na przykład jednostki kasetonowe),
 - urządzenia powinny szybko osiągać założone parametry,
 - wartości powyższe można uzyskać kosztem innych parametrów (na przykład głośności urządzeń);
- pokoje hotelowe:
 - mniejsze obciążenia cieplne,
 - obciążenia w miarę stabilne w momencie pojawienia się, uruchomienia i pracy jednostki,
 - praca generalnie kilka dni w tygodniu, natomiast możliwa przez większą część doby,

- zastosowane urządzenia powinny być przede wszystkim ciche i mieścić się w koncepcji wystroju wnętrza danego miejsca,
- urządzenia – automatyka, powinny być przystosowane do pracy z kontaktronami okiennymi, systemami włączania/wyłączania prądu w pokojach;
- biura administracji:
 - najmniejsze obciążenia cieplne,
 - dodatkowe doprowadzenie świeżego powietrza do jednostek – co przełożyło się na zwiększenie ich mocy,
 - praca generalnie do godziny 15:00-17:00 w dni robocze,
 - praca ciągła – charakter zbliżony do pokoju hotelowego,
 - urządzenia powinny być ciche,
 - automatyka – najprostsza – ograniczająca się do podstawowego pilota sterującego.

Na potrzeby analizy policzono zyski ciepła w każdym, planowanym do klimatyzowania pomieszczeniu (Jones, 2001; Malicki, 1980). Zaprojektowano odrębnie i porównano wymienione wcześniej trzy systemy klimatyzacyjne – celem było wskazanie oszczędności jakie można uzyskać przy zastosowaniu układów freonowych: ekonomiczniejsze chłodzenie, rezygnacja z ciepła sieciowego, przy zastosowaniu układu nowocześniejszego i z możliwością zastosowania różnego rodzaju automatyki.

System wody lodowej:

- agregat: wytwornica wody lodowej nowej generacji, podstawowe zalety: ekologiczny czynnik chłodniczy R410A, wydajne sprężarki scroll, wentylatory o niskim poziomie hałasu zbudowane z kompozytów, mikroprocesorowe sterowanie. Może być on wyposażony w wewnętrzny moduł hydrauliczny pozwalający ograniczyć instalację całości do prostych czynności takich jak podłączenie zasilania elektrycznego i podłączenia wody;
- urządzenia wewnętrzne: klimakonwektory kasetonowe, ściennie; w zakresie mocy 2,2-7,1 kW w liczbie 247 sztuk.

Zostały zaproponowane dwa rodzaje systemów:

- system freonowy z odzyskiem ciepła:
 - agregaty: 11 sztuk agregatów do układów z zaprojektowanym odzyskiem ciepła usuwanego z pomieszczeń, wspomagającego tryb grzania agregatu, wymagają dodatkowego kontrolera montowanego za agregatem, za to instalacja jest dwururowa (jak w przypadku standardowych agregatów – „pomp ciepła”) oraz pomieszczenia mogą być chłodzone i grzane jednocześnie; praca w trybie grzania: do -25°C z gwarancją 100% wydajności do -15°C;
 - urządzenia wewnętrzne: klimatyzatory kasetonowe, ściennie; w zakresie mocy 2,2 – 7,1 kW w liczbie 247 sztuk;

- system freonowy klasyczny, tak zwana „pompa ciepła”:
 - agregaty: 6 sztuk standardowych agregatów chłodniczych z opcją pracy w trybie grzania – z zastrzeżeniem, że w odróżnieniu od poprzedniego systemu tu tryb grzania i chłodzenia odbywa się naprzemiennie; nie ma możliwości jednoczesnego chłodzenia i grzania pomieszczeń; praca w trybie grzania do -20°C, od -7°C liniowy spadek wydajności (przy -20°C pozostaje około 70%);
 - urządzenia wewnętrzne: klimatyzatory kasetonowe, ściennie; w zakresie mocy 2,2-7,1 kW w liczbie 247 sztuk.

2. Podstawowe parametry pracy układów chłodniczych

2.1. Współczynnik EER, współczynnik COP

Wskaźnik efektywności energetycznej chłodniczej EER (*Energy Efficiency Ratio*) odnosi się do urządzeń klimatyzacyjnych pracujących tylko w trybie chłodzenia, w warunkach znamionowych przy pełnym obciążeniu. Jest to stosunek mocy chłodniczej urządzenia do ilości energii elektrycznej niezbędnej do jej osiągnięcia.

Wskaźnik efektywności energetycznej cieplnej COP (*Coefficient Of Performance*) odnosi się do urządzeń klimatyzacyjnych pracujących w trybie grzania (pomp ciepła), w warunkach znamionowych przy pełnym obciążeniu. Jest to stosunek uzyskanej mocy grzewczej do mocy (energii elektrycznej) dostarczonej do urządzenia (Porowski i Szczechowiak, 2006).

EER i COP są wartościami zmiennymi i zależą od temperatury otoczenia.

Tabela 1 przedstawia wartości skorygowane, to jest otrzymane z analizy rzeczywistego układu i obliczonych systemów VRF i wody lodowej. Można zaobserwować różnice pomiędzy wartościami deklarowanymi przez producentów a wartościami wynikowymi. Wartości (tab. 1) pokazane są dla całego systemu, dla jednostek wewnętrznych i zewnętrznych razem. Dla systemu wody lodowej uwzględniono pobór energii elektrycznej przez wszystkie elementy systemu, to jest: pompy, zawory. Dla układu freonowego różnica poboru energii elektrycznej pomiędzy układami wynika z konieczności uwzględnienia w układzie z odzyskiem ciepła dodatkowych modułów – rozdzielaczy. Należy też zauważyć, że około 90% energii elektrycznej jest potrzebne do zasilania agregatów.

Na podstawie pokazanych danych można zauważyć, że układy freonowe są efektywniejsze energetycznie. Dla uzyskania zbliżonej wydajności chłodniczej zużywają mniejsze ilości energii elektrycznej. Dla wydajności grzewczej wskazano wartość COP, natomiast nie można go porównać, ponieważ system wody lodowej jest tylko systemem chłodzącym.

Tab. 1. Wartości skorygowane systemów VRF i wody lodowej

Opis	jednostka	Woda lodowa	Układ freonowy I	Układ freonowy II
Uwagi		chłodzenie	odzysk ciepła	pompa ciepła
Wydajność chłodnicza	kW	753,0	759,0	744,0
pobór mocy	kW	288,0	216,0	215,0
EER		2,61	3,51	3,46
Wydajność grzewcza	kW	-	841,5	840,0
pobór mocy	kW	-	229,1	221,6
COP			3,67	3,79

2.2. Hałas urządzeń – dB

W celu dokonania wiarygodnego porównania obu urządzeń należy opierać się na wartościach poziomu mocy akustycznej. Wartość poziomu mocy akustycznej wiodących producentów urządzeń chłodniczych i klimatyzacyjnych jest podawana jako jeden z podstawowych parametrów technicznych urządzeń w programie certyfikacji EUROVENT (jednostki niezależnej potwierdzającej wiarygodność podawanych przez producentów parametrów technicznych urządzeń).

Dane pokazane w tabeli 2 są danymi opracowanymi na podstawie krzywych dźwięku z dokumentacji techniczno-ruchowych producentów urządzeń. Celowo

pominięto w tym przypadku dane katalogowe, uznając je za przygotowane na potrzeby marketingowe producentów. Dane przygotowano dla pojedynczych urządzeń oraz – w przypadku pomieszczeń z dwoma lub trzema jednostkami – dla kompletów urządzeń w pomieszczeniu.

Przygotowano również dane, na podstawie których porównano jednostki w warunkach przybliżonych do rzeczywistości – zmierzono wartość dB w odległości w jakiej powinien znajdować się potencjalny klient obiektu, dla urządzeń wewnętrznych około 3 m, dla agregatów około 10 m (znajdują się na dachu w specjalnie przygotowanym, chronionym siatką boksie, w odległości około 10 m od tarasów widokowych).

Tab. 2. Poziom ciśnienia akustycznego urządzeń

Opis	Jednostka	Woda lodowa	Układ freonowy I	Układ freonowy II
Poziom ciśnienia akustycznego:				
– moc 1 urządzenia w odległości 10m	dB	64	41	45
– moc 1 urządzenia w odległości 1m	dB	84	62	65
Model urządzenia wewnętrznego – ścienne	kW	2,2	2,2	2,2
Poziom ciśnienia akustycznego:				
– moc 1 urządzenia w odległości 3m	dB	36	26	26
– moc 1 urządzenia w odległości 1m	dB	34	29	29
Model urządzenia wewnętrznego – ścienne	kW	2,6	2,8	2,8
Poziom ciśnienia akustycznego:				
– moc 1 urządzenia w odległości 3m	dB	33	29	29
– moc 1 urządzenia w odległości 1m	dB	35	31	31
Model urządzenia wewnętrznego – ścienne	kW	3,6	3,6	3,6
Poziom ciśnienia akustycznego:				
– moc 1 urządzenia w odległości 3m	dB	36	31	31
– moc 1 urządzenia w odległości 1m	dB	38	34	34
Model urządzenia wewnętrznego – kasetonowe	kW	3,6	3,6	3,6
Poziom ciśnienia akustycznego:				
– moc 1 urządzenia w odległości 3m	dB	38	31	31
– moc 1 urządzenia w odległości 1m	dB	39	33	33

Analizując tabelę 2, należy pamiętać o tym, że skala dB jest skalą logarytmiczną. Oznacza to, że urządzenie głośniejsze według pomiaru o 3 dB jest urządzeniem głośniejszym – nie tylko o kolejne 3 dB na skali. Można więc stwierdzić, że urządzenia freonowe są od dwóch do trzech razy cichsze niż urządzenia wody lodowej.

2.3. Zużycie energii elektrycznej

W tabeli 3 pokazano wartości katalogowe – nominalne. Posługiwano się dokumentacją techniczno-ruchową producentów urządzeń. Na jej podstawie można oszacować zużycie prądu dla całego systemu, następnie – po przeliczeniu całej instalacji, można otrzymać wartości skorygowane i na tej podstawie otrzymać rzeczywiste wartości zużycia prądu. Może to stanowić podstawę do oszacowania przyszłych kosztów użytkowania systemu.

Tabele 4-6 przedstawiają wartości otrzymane z analizy

rzeczywistego układu dla wszystkich trybów pracy. Założono, że:

- układy (woda lodowa, freon) pracują w trybie chłodzenia w czerwcu, lipcu, sierpniu i wrześniu;
- układy (freon) pracują w trybie grzania w listopadzie, grudniu, styczniu i lutym; dla układów wody lodowej ciepło w miesiącach listopad-luty zapewnia SPEC Warszawa, sporadycznie pracuje woda lodowa w przypadku dni cieplejszych – około 7°C;
- układy (woda lodowa, freon) pracują w trybie chłodzenia dla miesięcy przejściowych, to jest: marzec, kwiecień, wrzesień, październik; dla układów wody lodowej ciepło w miesiącach marzec-maj i w październiku zapewnia SPEC Warszawa; układy freonowe pracują w trybie grzania.

Przeliczono otrzymane wartości zużycia prądu dla układów dla czasookresów pracy systemu. Otrzymano szacunkowy koszt użytkowania systemów.

Tab. 3. Zapotrzebowanie na energię elektryczną poszczególnych urządzeń

Opis	Jednostka	Woda lodowa	Układ freonowy I	Układ freonowy II
Agregat podstawowy				
zużycie nominalne energii elektrycznej	kW	84	62	65
Model urządzenia wewnętrznego – ściennie	kW	2,2	2,2	2,2
zużycie nominalne energii elektrycznej	kW	3,4	0,04	0,04
Model urządzenia wewnętrznego – ściennie	kW	2,6	2,8	2,8
zużycie nominalne energii elektrycznej	kW	3,5	0,04	0,04
Model urządzenia wewnętrznego – ściennie	kW	3,6	3,6	3,6
zużycie nominalne energii elektrycznej	kW	3,8	0,04	0,04
Model urządzenia wewnętrznego – kasetonowe	kW	3,6	3,6	3,6
zużycie nominalne energii elektrycznej	kW	3,8	0,06	0,06

Tab. 4. Wartości skorygowane dla cyklu chłodzenia

Opis	jednostka	Woda lodowa	Układ freonowy I	Układ freonowy II
Agregat podstawowy				
Ilość godzin pracy w cyklu chłodzenia z pełnym obciążeniem (w roku)		750	750	750
zużycie energii – chiller	kWh	216 000	-	-
zużycie energii – pompy obiegowe	kWh	13 500	-	-
zużycie energii (w roku)	kWh	229 500	162 030	161 240
	kWh		67 470	68 260
koszt kWh	PLN	0,45	0,45	0,45
koszt rocznej eksploatacji	PLN	103 280	72 910	72 560
różnica na korzyść układów freonowych	PLN		30 370	30 720

Tab. 5. Wartości skorygowane dla cyklu grzania

Opis	jednostka	Woda lodowa	Układ freonowy I	Układ freonowy II
Agregat podstawowy				
ilość miesięcy cyklu grzania		4	4	4
Ilość godzin pracy w cyklu grzania		890	890	890
przelicznik wydajności	%	60%	60%	60%
ilość energii cieplnej dostarczonej na potrzeby grzania	kWh	402 100	405 310	397 300
zużycie energii elektrycznej dla urządzeń grzejących	kWh	0	110 360	104 800
zużycie energii elektrycznej - pompy obiegowe	kWh	16 020	0	0
łącznie zużycie energii elektrycznej	kWh	16 020	110 360	104 800
ilość energii cieplnej dostarczonej na potrzeby grzania	GJ	1 450	1 460	1 430
koszt kWh energii elektrycznej	PLN	0,45	0,45	0,45
koszt eksploatacji (energia elektryczna)	PLN	7 210	49 660	47 160
koszty stałe dostawy energii cieplnej (SPEC)	PLN/m-c	4 236	4 236	4 236
koszty zmienne dostawy energii cieplnej (SPEC)	PLN/GJ	24,2	24,2	24,2
koszty dostawy energii cieplnej (SPEC)	PLN	52 034	0	0
łącznie koszt eksploatacji	PLN	59 240	49 660	47 160
różnica na korzyść układów freonowych	PLN		9 580	12 080

Tab. 6. Wartości skorygowane dla cyklu mieszanego

Opis	jednostka	Woda lodowa	Układ freonowy I	Układ freonowy II
Agregat podstawowy				
ilość miesięcy cyklu mieszanym		4	4	4
Ilość godzin pracy w cyklu mieszanym (w roku)		720	720	720
zużycie energii elektrycznej dla urządzeń chłodzących	kWh	20 740	15 550	15 480
ilość energii cieplnej dostarczonej na potrzeby grzania	kWh	41 470	31 110	30 960
zużycie energii elektrycznej dla urządzeń grzejących	kWh	0	0	0
zużycie energii - pompy obiegowe	kWh	12 960	0	0
łącznie zużycie energii elektrycznej	kWh	33 700	15 550	15 480
ilość energii cieplnej dostarczonej na potrzeby grzania	GJ	150	110	110
koszt kWh energii elektrycznej	PLN	0,45	0,45	0,45
koszt eksploatacji (energia elektryczna)	PLN	15 170	7 000	6 970
koszty stałe dostawy energii cieplnej (SPEC)	PLN/m-c	4 236	4 236	4 236
koszty zmienne dostawy energii cieplnej (SPEC)	PLN/GJ	24,2	24,2	24,2
koszty dostawy energii cieplnej (SPEC)	PLN	20 574	0	0
łącznie koszt eksploatacji	PLN	35 740	7 000	6 970
różnica na korzyść układów freonowych	PLN		28 740	28 770

3. Podsumowanie

Porównano dla konkretnego obiektu hotelowo-usługowego mieszczącego się w Warszawie układy klimatyzacyjne. Dla układu freonowego oraz układu z wodą lodową zestawiono wartości zużycia energii dla cyklu chłodzenia, grzania oraz dla cyklu mieszanego.

Na podstawie analiz można stwierdzić, że układy freonowe są efektywniejsze energetycznie. Dla uzyskania zbliżonej wydajności chłodniczej zużywają mniejsze ilości energii elektrycznej.

Można również stwierdzić, że urządzenia freonowe są od dwóch do trzech razy cichsze niż urządzenia wody lodowej.

Literatura

- Adamski B. (2008a). Dobór i cechy charakterystyczne systemów ze zmiennym przepływem czynnika chłodniczego. *Chłodnictwo & Klimatyzacja*, 1-2/2008.
- Adamski B. (2008b). Systemy schładzania powietrza ze zmiennym przepływem czynnika chłodniczego. *Rynek Instalacyjny*, 5/2008.
- Adamski B. (2009a). Nowoczesne źródła chłodu w systemach VAV. *Rynek Instalacyjny* 10/2009, s. 75, *Rynek Instalacyjny*, 11/2009 s. 78
- Adamski B. (2009b). Systemy free coolingu pośredniego. Analiza i symulacja oszczędności pod kątem nakładów eksploatacyjnych. *Rynek Instalacyjny*, 5/2009 s. 92; *Rynek Instalacyjny*, 6/2009 s.84
- Czyż R. (2007). Układy klimatyzacji z bezpośrednim odparowaniem, jako całoroczne systemy przeznaczone do schładzania oraz ogrzewania budynków. *Technika Chłodnicza i Klimatyzacyjna*, 2/2007.
- Jones W. P. (2001). Klimatyzacja. *Arkady*, Warszawa.
- Malicki M. (1980). Wentylacja i klimatyzacja. *PWN*, Warszawa.

- Müller J., Skrzyniowska D. (2006a). Wady i zalety stosowania klimatyzacji komfortu – cz. I – urządzenia klimatyzacyjne. *Chłodnictwo & Klimatyzacja*, 5/2006.
- Müller J., Skrzyniowska D. (2006b). Wady i zalety stosowania klimatyzacji komfortu – cz. II – systemy klimatyzacji. *Chłodnictwo & Klimatyzacja*, 6/2006.
- Müller J. (2008). Kierunki rozwoju VRV, *Chłodnictwo & Klimatyzacja*, 1-2/2008.
- Pandelidis D. (2014). Analiza wybranych schematów przepływu powietrza w pośrednich wymiennikach wyparnych. *Przemysł Spożywczy i Gastronomia, Chłodnictwo* 9-10/2014
- Porowski M., Szczechowiak E. (2006). Klimatyzacja z chłodnictwem. *Inżynieria Środowiska*, 7/2006.
- Air Product Sp. z o.o. (2013). Katalog czynników chłodniczych. *Air Product Sp. z o.o.*

CHARACTERISTICS OF CHOSEN AIR-CONDITIONING SYSTEMS IN THE HOTEL SPACE

Abstract: The paper compares two types of air conditioning systems with differing principle of action-i.e. and using various factors: working freon and water ice. Both solutions have passed a long way of development and represent the currently high level of technology. So the question becomes – which one is better? Tradition or modernity? The systems can exist next to each other, or can be seen a gradual supersession one of them from the market. Comparative analysis of performance parameters of both circuits will attempt to answer this question. The paper includes information about systems with direct and indirect desiccation of the refrigerant. Design data: concepts, selection of equipment and their detailed comparison, were presented.

Praca naukowa realizowana w ramach prac finansowanych przez Politechnikę Białostocką – S/WBiŚ/4/2014.

ENVIRONMENTAL AND RECOMBINANT MICROORGANISMS FOR BIOPHARMACEUTICALS PRODUCTION

Marzena MATEJCZYK*

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

Abstract: Current, very fast development of genetic engineering and protein engineering (main segments of modern biotechnology) is a good way for commercial production of proteins, which benefit biopharmaceutical, the enzyme and agricultural industries. These products augment the fields of medicine, diagnostics, food, nutrition, detergents, textiles, leather, paper, pulp, polymers and plastics. Proteins with biopharmaceutical application are mainly clinical reagents, vaccines and drugs. During the last decade, the pharmaceutical biotechnology represents the fastest growing segment in the biotechnology sector. Production of recombinant proteins for use as pharmaceuticals, is a multi-billion dollar industry. One third of the biopharmaceuticals has come from microorganisms, such as *Escherichia coli* and yeast. The selection of expression systems depends on the size and biochemical status of proteins. Large proteins and proteins that require glycosylation are usually expressed in a mammalian cells, fungi or the baculovirus system. Smaller proteins are produced by prokaryotic cells. There are some very useful advantages for prokaryotic recombinant expression systems: it is easy of culture, very rapid cell growth with possibility of IPTG expression induction and quite simple product purification. On the other hand, for very large proteins, for S-S rich proteins and proteins which require post-translational modifications, bacteria, usually *E. coli* strains are not robust system. Better are yeasts with very popular species *Saccharomyces cerevisiae* and *Pichia pastoris*. This article presents the current application of microbes as production platforms for recombinant proteins and its genetic engineering for the use as biopharmaceuticals..

key words: bacteria, yeast, recombinant protein production (RPP), biopharmaceuticals.

1. Introduction

During the last decade, the pharmaceutical biotechnology represents the fastest growing segment in the biotechnology sector. The first drug available from this area in 1982 was insulin. In a near future, due a huge development in recombinant DNA technology, the number of drugs originating from biotechnology is expected to reach 50% of new chemicals (Staub et al., 2011). Today there are more than 300 biopharmaceutical proteins and antibodies on the market (Nielsen, 2013).

Recombinant DNA and hybridoma technologies are used to engineer biological systems to produce 1) recombinant forms of natural proteins (including human growth hormones, cytokines, and insulin), 2) derivatives of natural proteins and living systems (including protein muteins, viral-like-particle vaccines, cancer cell vaccines, immunotoxins, and IgG fusion proteins), 3) viral vectors, plasmid vectors, and small interfering RNAs that carry genes or genetic information for vaccination or gene-therapy, and 4) *in vivo* diagnostic and therapeutic monoclonal antibodies (Zhu, 2012).

Leader et al. (2008) presented a complete classification of all current use therapeutic proteins, based on pharmacological action: 1. Therapeutic proteins with

enzymatic or regulatory activity (e. g., insulin, growth hormone and erythropoietin); 2. Those with special targeting activity (e. g., etanercept and abciximab); 3. Protein vaccines (e. g., hepatitis B surface antigen); 4. Protein diagnostics (e. g., glucagon and growth hormone releasing hormone).

Biopharmaceuticals account for approximately 10% of the pharmaceutical market in 2007, 20% of newly approved drugs in recent years, and 40% of new entities in the pipeline. In 2006, it was estimated that approximately 2500 biotech drugs were in the discovery phase, 900 in preclinical and over 1600 in clinical trials (Walsh and Jefferis, 2006; Lowe and Jones, 2007; Karg and Kallio, 2009). Sales of many top-selling biopharmaceuticals are increasing, with US sales of the monoclonal antibody Herceptin used for the treatment of breast cancer growing by 82% from 2005 to 2006 alone (Lawrence, 2007). In 2007, the three top-selling pharmaceutical products sold by the Swiss drug-maker Roche were therapeutic monoclonal antibodies (Rituxan/Mabthera, Herceptin, and Avastin), contributing to sales of 9311 million € (Roche, Annual Finance Report for 2007). The total sales with monoclonal antibodies reached approximately 20 million € (2007) and the market

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

volume is estimated to grow to about 38 million € annually by 2013 (Karg and Kallio, 2009).

This article presents the current application of microorganisms as production platforms for recombinant proteins and its genetic engineering for use as biopharmaceuticals.

2. Microbial systems for recombinant proteins production (RPP)

Low cost and simplicity of cultivating bacteria make the *Escherichia coli* expression system a preferable choice for production of therapeutic proteins both on a lab scale and in industry (Kamionka, 2011). One of the key advantages of *E. coli* is that the microorganism can be grown to high cell densities in appropriate bioreactors by high cell density cultivation (HCDC) techniques, which allow the production of high amounts of heterologous protein (Ni and Chen, 2009; Yoon et al., 2010; Waegeman and Soetaert, 2011).

To date, yeast strains have been extensively applied as hosts both for the production of biopharmaceuticals and industrial enzymes, too. As non-pathogenic organisms with a long history in agriculture and the food industry, yeasts have been the first choice hosts in many commercial applications (Gellissen et al., 1992).

Currently, most biopharmaceuticals produced are recombinant. The first step is a selection of expressions systems for protein amplification. There are some important factors for consideration during the choosing the right expression systems: protein quality, functionality, production speed and yield. *E. coli* strains or yeast

constitute 40% of the therapeutic protein market and are usually choose for non-glycosylated proteins, because they are generally unable to provide mammalian glycosylation. Table 1 presented selected biopharmaceuticals which were produced with using of bacteria and yeast.

E. coli was the earliest platform to be exploited, and is still nowadays the most used production platform for recombinant proteins (Choi and Lee., 2004; Choi et al., 2006; Terpe 2006). Bacteria have been considered to be the most efficient producers of heterologous proteins due to several reasons: firstly, well developed molecular tools for genetic manipulation, secondly, annotated genomes and metabolic pathways, thirdly, high cell density cultivation capacity and growth rate and fourthly, high yield of recombinant proteins, up to 80% of its dry weight (Panda, 2003; Shumann and Ferreira, 2004; Tripathi et al., 2009; Porro et al., 2011). There are some limitations for production of human proteins with application of prokaryotic systems: bacteria are unable to perform some of the complex post-translational modifications – many proteins require further processing to become fully active (Ferrer-Miralles et al., 2009). However, the popular methylotrophic yeast – *Pichia pastoris*, on the way of genetic engineering are able to produce a human type of glycosylation. Proteins which demand N-glycosylation are usually made in mammalian cells which mimic human glycosylation (Demain and Vaishnav, 2009; Karg and Kallio, 2009; Swiech et al., 2012). In particular glycosylations that are needed to ensure proper function and activity, by influencing proper charge, solubility, folding, serum half live of the protein, *in vivo* activity, correct cellular targeting and immunogenicity, among others, cannot be often be fully accomplished in bacterial systems (Walsh and Jefferis 2006; De Pourcq et al., 2010; Martinez et al., 2012). The N-glycosylation pathway has been engineered in *E. coli*, and the progress towards the first

Table 1. Selected biopharmaceuticals which were produced with using of bacteria and yeast (adapted from Zhu, 2011; Huang et al., 2012; Swiech et al., 2012).

Product	Indication	Expression system	Year approved	Manufacturer
Pegloticase (Krytexxa)	Chronic refractory gout	Bacteria	2010	Savient
Victoza (Liraglutide)	Diabetes	Yeast	2010	Novo Nordisk
Xeomin (Incobotulinumtoxin A)				
Menveo (Meningitis vaccine)	Prevention of invasive meningococcal disease	Bacteria	2010	Novartis
Xiaflex (Collagenase)	Dupuytren's disease	Bacteria	2010	Auxilium
Prevnar 13	Pneumoniae	Bacteria	2010	Wyeth
Cimzia (Certolizumab Pegol)	Crohn's disease	Bacteria	2008	UCB
Nplate (Romiplostim)	Chronic immune thrombocytopenia purpura	Bacteria	2008	Amgen
PEG interferon alfa-2b (PegIntron)	Chronic hepatitis C infection	<i>E. coli</i>	2008	Schering-Plough
Interferon beta 1b (Extavia)	Multiple sclerosis	<i>E. coli</i>	2009	Novartis

humanized glycoprotein produced from *E. coli* looks promising (Pandhal et al., 2010; Huang et al., 2012).

In addition straightforward recombinant DNA technology offers engineering tools to produce protein molecules with modified features. The lack of post-translational modification mechanisms in bacterial cells such as glycosylation, proteolytic protein maturation or limited capacity for formation of disulfide bridges may, to a certain extent, be overcome with protein engineering. Protein engineering is also often employed to improve protein stability or to modulate its biological action. More sophisticated modifications may be achieved by genetic fusions of two proteins (Kamionka, 2011).

3. Vector design and cytoplasmic expression of recombinant therapeutics

3.1. *E. coli*

E. coli K12 and its derivatives are the main strains used in recombinant therapeutic production in the biotech industry. A big advantage using *E. coli* K12 was given by the National Institutes of Health when it made this strain the standard and provided guidelines for safety. In addition, large-scale industrial production with *E. coli* requires approval by the local Biosafety Authority, which may be reluctant to approve other *E. coli* strains without the same safety level as *E. coli* K12. Common K12 derivatives used in the biotech industry include *E. coli* RV308 and W3110 (Furman et al., 1987; Chen et al., 2004; Huang et al., 2012).

Optimal gene transcription is normally a function of both gene dosage (plasmid) and promoter functionality. The productivity of recombinant protein is known to be affected by plasmid copy number and its structural and segregational stability. Choosing the optimal plasmid copy number is critical. Too low of a copy number will result in a low mRNA pool, as well as low protein productivity. A high copy number generally leads to high productivity; however, it also tends to impose metabolic burdens on cells. The plasmid copy number depends largely on the replication of origin, which dictates either flexible or rigid control over a plasmid. Both high copy number plasmids (e.g., pUC, 500–700 copies) and medium copy number plasmids (e.g., pBR322, 15–20 copies) have been used for therapeutic production in *E. coli* (Chen et al., 2004; Jana and Deb, 2005; Huang et al., 2012).

An ideal expression system is critical for high-level therapeutic production in *E. coli* to allow tightly regulated and efficient transcription. Choosing an appropriate vector system is largely dictated by the strength and the control of its promoter. To ensure high-level expression, a promoter with certain characteristics must be incorporated into the plasmid (Jana and Deb, 2005). For example, the promoter has to be strong to allow the recombinant protein production to account for 10–30% or more of total cellular protein. It should also be tightly regulated with limited basal expression in the non-induced state. Leaky expression can cause metabolic

burdens on the cells during the growth period by diverting the carbon and energy source to premature protein formation. This situation can be detrimental when the expressed protein is highly toxic. In addition, some promoters must be used within specific *E. coli* strains to achieve optimal protein expression. Other important considerations are that the induction method should be simple and cost-effective, and, in most cases, the induction must be independent of the media components (Anné et al., 2012; Huang et al., 2012).

Successfully used promoters for different recombinant proteins production are *lac* and its synthetic derivatives, *tac* and *trc*, both in basic research and industry. *Tac* and *trc* promoters are stronger than *lac*, and all of them are induced by isopropyl- β -D-thiogalactopyranoside (IPTG). IPTG is used to derepress the *lac* repressor, but is expensive and toxic to some *E. coli* strains. To deal with a thermosensitive *lac* repressor mutant is available to induce protein expression by shifting temperature instead of using IPTG (Andrews et al., 1996; Jana and Deb, 2005; Graumann and Premstaller, 2006; Huang et al., 2012).

Recombinant DNA technology allows the expression of valuable heterologous proteins at high expression rates. Particularly in *E. coli* overexpression of proteins often leads to aggregation and deposition in dense, insoluble particles within the host cell, so-called inclusion bodies (IBs). They are easily distinguishable from other cell components due to their refractile character (Jungbauer et al., 2004; Jungbauer and Kaar, 2007; Jungbauer, 2012).

Many commercial and developmental therapeutics, such as interferons, interleukins and Fc-fusion proteins, are produced as IBs because of the multiple advantages of these protein aggregates (Graumann and Premstaller, 2006). High-yield production and versatility to express different proteins are two advantages associated with IBs formation (Luo et al., 2005). IBs are also stable protein aggregates and are resistant to protease activities *in vivo*. In addition, proteomic analysis showed that IBs are relatively homogeneous in composition, and, in some cases, the recombinant protein can account for more than 90% of the total imbedded polypeptides (Ventura and Villaverde, 2006). During the downstream processing, IBs can be easily isolated after cell disruption, and the resultant IB paste can be stored frozen for several months, providing manufacturing flexibility. Together, these characteristics allow IBs to be produced at high yield, as well as isolated and purified with simple and minimal efforts. However, this method also has its downside. Especially, the refolding of IBs to active protein represents a challenge, because efficient and high-yield refolding requires considerable optimization for each target protein. Resolubilization of IBs using chaotropic agents may also affect the integrity of the refolded proteins (Sahdev et al., 2008). Even so, acceptable recovery usually can be achieved at large industrial scale by using established strategies (Lilie et al., 1998; Eiberle and Jungbauer, 2010).

3.2. *Bacillus* strains

Recently, in academia and industry, more attention has been devoted to the use of Gram-positive *Bacillus* spp. strains for the production of recombinant proteins. *Bacillus* spp. strains share a number of advantages with *E. coli*, but become more and more attractive because of their ability to secrete the recombinant protein into the culture medium in high amounts. Furthermore, *Bacillus* strains are Gram-positive bacteria and hence do not contain an outer membrane which consists of lipopolysaccharides (LPS). These structures often contain endotoxins which are pyrogenic to humans. Disadvantages and points of particular interest are plasmid instability, the availability of expression vectors, protease activity, and the difficulty of high cell density cultivation (Porro et al., 2011; Waegeman and Soetaert, 2011). The most often used strains include *Bacillus megaterium*, *Bacillus subtilis*, and *Bacillus brevis* (Terpe, 2006).

Bacillus subtilis is a rod-shaped, soil bacterium that secretes numerous enzymes to degrade a variety of substrates, enabling the bacterium to survive in a continuously changing environment. These enzymes are produced commercially and this production represents about 60% of the industrial-enzyme market. Unfortunately, the secretion of heterologous proteins, originating from Gram-negative bacteria or from eukaryotes, is often severely hampered. Several bottlenecks in the *B. subtilis* secretion pathway, such as poor targeting to the translocase, degradation of the secretory protein, and incorrect folding, have been revealed. Nevertheless, research into the mechanisms and control of the secretion pathways will lead to improved *Bacillus* protein secretion systems and broaden the applications as industrial production host (Westers et al., 2004).

3.3. Other bacteria

An improved Gram-negative host for recombinant protein production has been developed using *Ralstonia eutropha* (Barnard et al., 2004.). The system appears superior to *E. coli* with respect to inclusion body formation. Organophosphohydrolase, a protein prone to inclusion body formation with a production of less than 100 mg/L in *E. coli*, was produced at 10 g/L in *R. eutropha*. The Pfenex system using *Pseudomonas fluorescens* has yielded 4 g/L of trimeric TNF-alpha (Squires and Lucy, 2008). *Staphylococcus carnosus* can produce 2 g/L of secreted mammalian protein whereas the level made by *Streptomyces lividans* is 0.2 g/L (Hansson et al., 2002).

Other hosts that have been exploited for RPP include *Pseudomonas putida* for antibody fragments (Dammeyer et al., 2011). Many more bacterial systems are described, but more than often the limited information about their genetics or metabolism or the unavailability of expression vectors or promoter systems hinders the expansion of their application (Waegeman and Soetaert, 2011).

3.4. Yeast expression systems

Yeast expression systems are an attractive choice, also provide higher protein titers (>1 g/L) in only few days fermentation processes. Additionally, recent advances in genetic and metabolic engineering, and tools in genomics and systems biology could make *Saccharomyces cerevisiae* a preferred production platform for a range of pharmaceutical proteins (Gerngross, 2004; Hou et al., 2012). Very promising attempts have been recently achieved to introduce human glycosylation patterns in yeast (humanized yeast platforms). The main biopharmaceuticals produced by *S. cerevisiae* are insulin (and insulin analogs), human serum albumin, hepatitis vaccines and virus like particles, e. g., for vaccination against human papillomavirus (Nielsen, 2013). The state-of-the-art methodologies and approaches show that *S. cerevisiae* can be engineered to become an even better producer for a wider range of pharmaceutical and blood proteins. Compared to *E. coli*, heterologous proteins produced in *S. cerevisiae* do not have methionine modification which affects the biological function of the rHb. Compared to plant and animal expression systems, the yeast system is cheaper and faster to manipulate. In the work of Martinez et al., 2012 several potential strategies for increasing human hemoglobin production in *S. cerevisiae*, for example, globin folding, heme uptake, and subunit assembling were proposed. The recent advances in the field of metabolic engineering allow *S. cerevisiae* to become an efficient cell factory for the production of heterologous proteins (Martinez et al., 2012).

Pichia species have been successfully engineered to produce specific human-like glycoforms of proteins; however, recent advances reported in this field in *S. cerevisiae* seem to indicate that, with further development, it may increase the array of strains available that are able to produce human-type glycosylated proteins, and these strains will become a valuable platform for the production of glycoproteins for therapeutic use (De Pourcq et al., 2010; Amano et al., 2008; Chigira et al., 2008; Martinez et al., 2012).

The major advantages of *E. coli* and yeast expression systems are presented in Table 2.

Examples of bacterial and yeast expression systems are presented in Fig. 1 and Fig. 2.

4. Conclusion

After 30 years after the first recombinant insulin was approved by the FDA, *E. coli* and yeast are still widely used by the biotech industry for biopharmaceuticals production. Today there are more than 300 biopharmaceutical proteins and antibodies on the market and *E. coli* strains or yeast constitute 40% of the therapeutic protein market. These microorganisms are usually choose for non-glycosylated proteins, because they are generally unable to provide mammalian glycosylation. Recent advances in genetic and metabolic

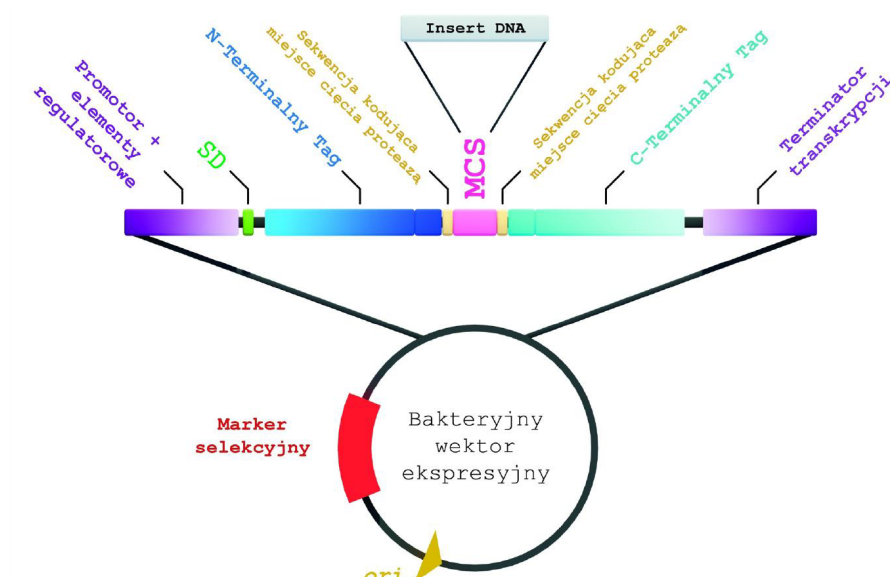


Fig. 1. Bacterial expression systems.

Drożdżowe systemy ekspresyjne

➤ Szczepy gospodarzy ekspresyjnych

➤ Wektory ekspresyjne

- bakteryjne *ori* replikacji
- bakteryjny marker selekcyjny
- sekwencja umożliwiaująca utrzymanie się wektora w komórce drożdży
- drożdżowy marker selekcyjny
- drożdżowy promotor i terminator transkrypcji

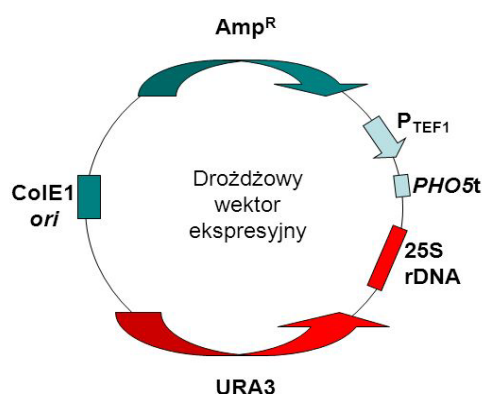


Fig. 2. Yeast expression systems.

Table 2. The major advantages of *E. coli* and yeast expression systems (according to Demain and Vaishnav, 2009).

<i>E. coli</i> expression systems	Yeast expression systems
Rapid growth	Rapid growth and high yield
Rapid expression	Stable production strains
Promoter control is not difficult	Durability
High product yields	Cost effective
Good understood genetics	High density growth
Ease of culture and genome modification	High productivity
Inexpensive	Suitability for production of isotopically-labeled protein
Mass production fast and cost effective	Product processing similar to mammalian cells
	Can handle S-S rich proteins
	Can assist protein folding
	Can glycosylate proteins

engineering, and tools in genomics and systems biology could introduce human glycosylation patterns in yeast (humanized yeast platforms) and create preferred production platform for a range of pharmaceutical proteins. The N-glycosylation pathway has been engineered in *E. coli*, and the progress towards the first humanized glycoprotein produced from *E. coli* looks promising.

Biotechnological progress in the field of metabolic engineering allows bacteria and yeast to become an efficient cell factory for the production of heterologous proteins, which are very important and often are the only way for life saving medical human therapy.

Literatura

- Amano K., Chiba Y., Kasahara Y., Kato Y., Kaneko M. K., Kuno A., Ito H., Kobayashi K., Hirabayashi J., and Jigami Y. *et al.* (2008). Engineering of mucin-type human glycoproteins in yeast cells. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, 105: 3232-3237.
- Andrews B., Adari H., Hannig G., Lahue E., Gosselin M., Martin S., Ahmed A., Ford P. J., Hayman E. G., Makrides S. C. (1996). A tightly regulated high level expression vector that utilizes a thermosensitive lac repressor: production of the human T cell receptor V beta 5.3 in *Escherichia coli*. *Gene* 182(1-2):101-109.
- Anné J., Maldonado B., Impe J. V., Mellaert L. V., Bernaerts K. (2012). Recombinant protein production and *streptomyces*. *J Biotechnol.* 158: 159-167.
- Barnard G. C., Henderson G. E., Srinivasan S., Gerngross T.U. (2004). High level recombinant protein expression in *Ralstonia eutropha* using T7 RNA polymerase based amplification. *Protein Expr. Purif.*, 38: 264-271.
- Chen C., Snedecor B., Nishihara J. C., Joly J. C., McFarland N., Andersen D. C., Battersby J. E., Champion K. M. (2004). High-level accumulation of a recombinant antibody fragment in the periplasm of *Escherichia coli* requires a triple-mutant (degP prc spr) host strain. *Biotechnol. Bioeng.* 85(5):463-474.
- Chigira Y., Oka T., Okajima T., Jigami Y. (2008). Engineering of a mammalian O-glycosylation pathway in the yeast *Saccharomyces cerevisiae*: production of O-fucosylated epidermal growth factor domains. *Glycobiology*, 18: 303-314.
- Choi J. H., Lee S. Y. (2004). Secretory and extracellular production of recombinant proteins using *Escherichia coli*. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 64(5):625-635.
- Choi J. H., Keum K. C., Lee S. Y. (2006). Production of recombinant proteins by high cell density culture of *Escherichia coli*. *Chem. Eng. Sci.* 61(3):876-885.
- Dammeyer T., Steinwand M., Krüger S. C., Dübel S., Hust M., Timmis K. N. (2011). Efficient production of soluble recombinant single chain Fv fragments by a *Pseudomonas putida* strain KT2440 cell factory. *Microb. Cell Fact.* 10:11.
- De Pourcq K., De Schutter K., Callewaert N. (2010). Engineering of glycosylation in yeast and other fungi: current state and perspectives. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 87: 1617-1631.
- Demain A. L., Vaishnav P. (2009). Production of recombinant proteins by microbes and higher organisms. *Biotechnol. Advances* 27: 297-306.
- Eiberle M. K., Jungbauer A. (2010). Technical refolding of proteins: do we have freedom to operate? *Biotechnol. J* 5(6): 547-559.
- Ferrer-Miralles N., Domingo-Espín J., Corchero J., Vázquez E., Villaverde A. (2009). Microbial factories for recombinant pharmaceuticals. *Microb. Cell Fact.* 8(1):17.
- Furman T. C., Epp J., Hsiung H. M., Hoskins J., Long G. L., Mendelsohn L. G., Schoner B., Smith D. P., Smith M. C. (1987). Recombinant human insulin-like growth factor-I expressed in *Escherichia coli*. *Bio-Technology* 5(10):1047-1051.
- Gellissen G., Melber K., Janowicz Z. A., Dahlems U. M., Weydemann U., Piontek M., Strasser A. W., Hollenberg C. P. (1992). Heterologous protein production in yeast. *Antonie Van Leeuwenhoek* 62:79-93.
- Gerngross T. U. (2004). Advances in the production of human therapeutic proteins in yeasts and filamentous fungi. *Nat. Biotechnol.*, 22: 1409-1414.
- Graumann K., Premstaller A. (2006). Manufacturing of recombinant therapeutic proteins in microbial systems. *Biotechnol. J* 1(2):164-186.
- Hansson M., Samuelson P., Nguyen T. N., Stahl S. (2002). General expression vectors for *Staphylococcus carnosus* enabled efficient production of the outer membrane protein A of *Klebsiella pneumoniae*. *FEMS Microbiol. Lett.*, 210: 263-270.
- Hou J., Tyo K., Liu Z., Petranovic D., Nielsen J. (2012). Engineering of vesicle trafficking improves heterologous protein secretion in *Saccharomyces cerevisiae*. *Metab. Eng.* 2012.
- Huang J. C., Lin H., Yang X. (2012). Industrial production of recombinant therapeutics in *Escherichia coli* and its recent advancements. *J Ind. Microbiol. Biotechnol.* 39: 383-399.
- Huang Y. S., Chen Z., Chen Y. Q., Ma G. C., Shan J. F., Liu W., Zhou L. F. (2008). Preparation and characterization of a novel exendin-4 human serum albumin fusion protein expressed in *Pichia pastoris*. *J Pept. Sci.* 14(5):588-595.
- Jana S., Deb J. K. (2005). Strategies for efficient production of heterologous proteins in *Escherichia coli*. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 67(3):289-298.
- Jungbauer A. (2012). Bioprocess engineering of recombinant proteins: From µl to ml scale and from batch to continuous. *New Biotechnol.* 29: S240-S241.
- Jungbauer A., Kaar W. (2007). Current status of technical protein refolding. *J Biotechnol.* 128(3): 587-596.
- Jungbauer A., Kaar W., Schelgl R. (2004). Folding and refolding of proteins in chromatographic beds. *Curr. Opin. Biotechnol.* 15(5): 487-494.
- Kamionka M. (2011). Engineering of therapeutic proteins production in *Escherichia coli*. *Curr. Pharm. Biotechnol.* 12(2):268-274.
- Karg S. R., Kallio P. T. (2009). The production of biopharmaceuticals in plant systems. *Biotechnol. Advances* 27: 879-894.
- Lawrence S. (2007). Billion dollar babies – biotech drugs as blockbusters. *Nat. Biotechnol.* 25: 380-382.
- Leader B., Baca Q. J., Golan D. E. (2008). Protein therapeutics: a summary and pharmacological classification. *Nat. Rev. Drug Discov.* 7(1):21-39.
- Lilie H., Schwarz E. and R. Rudolph. 1998. Advances in refolding of proteins produced in *E. coli*. *Curr. Opin. Biotechnol.* 5:497-501.
- Lowe J. A., Jones P. (2007). Biopharmaceuticals and the future of the pharmaceutical industry. *Curr. Opin. Drug Discov. Devel.* 10:513-514.

- Luo Y., Fan D. D., Ma X. X., Wang D. W., Mi Y., Hua X. F., Li W. H. (2005). Process control for production of human-like collagen in fed-batch culture of *Escherichia coli* BL 21. *Chin. J Chem. Eng.* 13(2):276-279.
- Martinez J. L., Liu L., Petranovic D., Nielsen J. (2012). Pharmaceutical protein production by yeast: towards production of human blood proteins by microbial fermentation. *Curr. Opin. Biotechnol.* 21: 1-7.
- Ni Y., Chen R. (2009). Extracellular recombinant protein production from *Escherichia coli*. *Biotechnol. Lett.* 31(11):1661-1670.
- Nielsen J. (2013). Production of biopharmaceutical proteins by yeast. *Bioengineered* 4(4): 1-5.
- Panda A. K. (2003). Bioprocessing of therapeutic proteins from the inclusion bodies of *Escherichia coli*. *Adv. Biochem. Eng. Biotechnol.*, 85: 43-93.
- Pandhal J., Ow S. Y., Noirel J., Wright P. C. (2010). Improving N-glycosylation efficiency in *Escherichia coli* using shotgun proteomics, metabolic network analysis, and selective reaction monitoring. *Biotechnol. Bioeng.* 108:902-912.
- Porro D., Gasser B., Fossati T., Maurer M., Branduardi P., Sauer M., Mattanovich D. (2011). Production of recombinant proteins and metabolites in yeasts: when are these systems better than bacterial production systems? *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 89: 939-948.
- Sahdev S., Khattar S. K., Saini K. S. (2008). Production of active eukaryotic proteins through bacterial expression systems: a review of the existing biotechnology strategies. *Mol. Cell Biochem.* 307(1-2):249-264.
- Schumann W., Ferreira L. C. S. (2004). Production of recombinant proteins in *Escherichia coli*. *Genet. Mol. Biol.* 27:442-453.
- Squires C. H., Lucy P. (2008). Vendor voice: a new paradigm for bacterial strain engineering. *BioProcess. Int.*, 6(4): 22-27.
- Staub A., Guillaume D., Schappler J., Veuthey J. L., Rudaz S. (2011). Intact protein analysis in the biopharmaceutical field. *J Pharmaceut. Biomed. Analysis* 55: 810-822.
- Swiech K., Picanco-Castro V., Covas D. T. (2012). Human cells: New platform for recombinant therapeutic protein production. *Protein Express. Purificat.* 84: 147-153.
- Terpe K. (2006). Overview of bacterial expression systems for heterologous protein production: from molecular and biochemical fundamentals to commercial systems. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 72: 211-222.
- Tripathi N. K., Jana S. K., Rao A.M. (2009). PVL: high yield production of heterologous proteins with *Escherichia coli*. *Defence Sci. J.* 59: 137-146.
- Ventura S., Villaverde A. (2006). Protein quality in bacterial inclusion bodies. *Trends Biotechnol.* 24(4):179-185.
- Waegeman H., Soetaert W. (2011). Increasing recombinant protein production in *Escherichia coli* through metabolic and genetic engineering. *J Indust. Microbiol. Biotechnol.* 38(12): 1891-1910.
- Walsh G., Jefferis R. (2006). Post-translational modifications in the context of therapeutic proteins. *Nat. Biotechnol.*, 24:1241-1252.
- Westers L., Westers H., Quax W. J. (2004). *Bacillus subtilis* as cell factory for pharmaceutical proteins: a biotechnological approach to optimize the host organism. *Biochim. Biophys. Acta* 1694: 299-310.
- Yoon S. H., Kim S. K., Kim J. F. (2010). Secretory production of recombinant proteins in *Escherichia coli*. *Recent Pat. Biotechnol.* 4(1):23-29.
- Zhu J. (2012). Mammalian cell protein expression for biopharmaceutical production. *Biotechnol. Advances* 30: 1158-1170.

This work was financially supported by research project number S/WBiIŚ/3/2011.

TERMOMODERNIZACJA ZABYTKOWYCH KOŚCIOŁÓW

Joanna PIOTROWSKA-WORONIAK, Grzegorz WORONIAK*

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

Streszczenie: W czterech zabytkowych kościołach zlokalizowanych na terenie diecezji Drohiczyńskiej przeprowadzono termomodernizację. Przedstawiono roczne efekty energetyczne, jakie można uzyskać w wyniku zaproponowanych usprawnień oraz zaproponowany optymalny zakres przeprowadzenia prac termomodernizacyjnych w tych obiektach.

Słowa kluczowe: kościoły, termomodernizacja, energia cieplna, tynk renowacyjny.

1. Wprowadzenie

Termomodernizacja zabytkowych obiektów kultu religijnego, to przedsięwzięcie wymagające nie tylko zapoznania się ze stanem technicznym budynku, ale także szerokiej wiedzy architektonicznej, a przede wszystkim uwzględnienia wymagań konserwatorskich. Obiekty tego typu wymagają odpowiednich dokumentów potwierdzających, iż konserwator zabytków dopuścił planowany zakres prac modernizacyjnych dotyczących obiektu. W tego typu budowlach konieczne jest również zastosowanie odpowiednich materiałów budowlanych umożliwiających najwierniejsze odtworzenie detali architektonicznych oraz nie dopuszczenie do pogorszenia mikroklimatu wewnątrz świątyni, a przede wszystkim warunków wilgotnościowych.

Do roku 2013 gospodarze obiektów sakralnych mają możliwość wykonać termomodernizację obiektów zabytkowych wraz z wymianą dotychczasowego źródła ciepła, korzystając z unijnego wsparcia. Samodzielna realizacja, tak dużych inwestycji jest w większości przypadków bardzo trudna lub niemożliwa do zrealizowania. Maksymalny udział środków UE w wydatkach kwalifikowalnych na poziomie projektu dotyczącego termomodernizacji wynosi 85% kosztów kwalifikowanych (województwo podlaskie i mazowieckie). Ubiegając się o środki z funduszu unijnego termomodernizacja musi być potwierdzona bilansem cieplnym, a to skutkuje koniecznością wykonania audytu energetycznego (www.sacroportal.pl).

Obiekty sakralne należą do budowli bardzo energochłonnych, a przez to drogie w utrzymaniu. Przyczyn wysokiego zapotrzebowania na energię jest wiele – wiek i często zabytkowy charakter obiektów, ograniczający w zasadniczy sposób możliwości docieplenia budowli standardowymi metodami, zły stan techniczny budynków spowodowany brakiem środków

finansowych na ich remont czy masywna struktura charakteryzująca się małą pasywnością energetyczną, a tym samym dużymi stratami cieplnymi.

Opłaty za energię cieplną stanowią znaczny procent całkowitych kosztów utrzymania i eksploatacji budynków sakralnych. Receptą na obniżenie kosztów energii jest podjęcie zdecydowanych działań termomodernizacyjnych. Większość obiektów sakralnych ogrzewanych jest w sposób nieprawidłowy, przez co występują wahania temperatury i wilgotności powietrza, co przekłada się w aspekcie kulturowym – głównie na niszczenie elementów wystroju wnętrza, a ekonomicznym – na niską efektywność grzewczą stosowanych systemów (www.sacroportal.pl).

Proponując rodzaj ogrzewania budynku uwzględnić należy problemy techniczne, wkomponować odpowiednio elementy grzewcze tak, żeby nie zakłócały wystroju ani charakteru świątyni.

W artykule przedstawiono sposób przeprowadzenia termomodernizacji kościołów celem poprawy efektywności energetycznej budynków. Zaproponowano zmiany w systemie ogrzewania i źródła ciepła. W dwóch kościołach zaproponowano zamianę dotychczasowego źródła ciepła na kocioł opalany biomasa. Biomasa uważana jest za paliwo, które może zastąpić klasyczne paliwa, zwłaszcza węgiel. Jest paliwem odnawialnym, a w rozliczeniach emisji CO₂ traktowana jest jako paliwo nie wnoszące emisji gazów cieplarnianych (Wielgosiński, 2009).

W artykule przedstawiono efekty energetyczne, jakie można uzyskać przeprowadzając termomodernizację obiektów sakralnych i modernizując instalację grzewczą oraz źródło ciepła, pokazując w ten sposób zasadność przeprowadzania tych czynności.

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

2. Charakterystyka obiektów sakralnych

Rozpatrywane obiekty zlokalizowane są na terenie Diecezji Drohiczyńskiej, w dekanacie sarnackim – kościół numer 1 i 2, w dekanacie sokołowskim – kościół numer 3 i w dekanacie bielskim – kościół numer 4.

2.1. Ocena stanu technicznego kościołów

Kościół numer 1 – jest to budowla, która została wzniesiona w 1890 roku, jako cerkiew prawosławna w stylu bizantyńsko-rosyjskim. Autorem jej projektu był Wiktor Syczugow członek cesarskiej akademii Sztuk Pięknych w Petersburgu. Od 1920 roku jest parafią rzymsko-katolicką.

Kościół został wykonany w technologii tradycyjnej, murowanej. Ściany zewnętrzne z cegły ceramicznej pełnej o grubości 74 cm, są obustronnie otynkowane. Podłoga na gruncie wykonana jest z płyt marmurowych, podkładu betonowego i warstwy piasku. Strop pod strychem nieużytkowym wykonano jako stalowo-ceramiczny typu Kleina z płytą z cegły pełnej o grubości 13 cm. Dach drewniany został pokryty blachą ocynkowaną. Stolarka okienna w kościele drewniana, oszklona pojedynczą szybą. Drzwi wejściowe stare, drewniane (Zwolski, 2011a). Na rysunku 1 przedstawiono widok frontu omawianego kościoła.



Rys. 1. Kościół numer 1

Kościół numer 2 – drewniany został wybudowany w 1900 roku. Ściany zewnętrzne są z bali dębowych o grubości 14 cm, ocieplone matami trzcinowymi o grubości 1 cm. Ściany od wewnątrz oblicowane są boazerią, a od zewnątrz deskami barwionymi. Podłoga na gruncie wykonana jest z desek sosnowych na belkach

z warstwą powietrzną. Strop pod strychem nieużytkowym wykonany jest z belek drewnianych, z wykonaną podsufitką z deszczótek. Ocieplony został płytami trzcinowymi grubości 2 cm. Dach drewniany pokryty jest dachówką ceramiczną. Stolarka okienna w kościele jest drewniana, oszklona pojedynczą szybą. Drzwi wejściowe stare, drewniane. Na rysunku 2 przedstawiono widok omawianego kościoła (Zwolski, 2011b).



Rys. 2. Kościół numer 2

Kościół numer 3 – murowany został zbudowany w latach 1953 – 1960 pod kierunkiem ks. Wacława Gajownicza. Ściany fundamentowe są z cegły ceramicznej pełnej, a ściany zewnętrzne z cegły ceramicznej pełnej o grubości 63 cm, obustronnie otynkowane. Podłoga na gruncie wykonana jest z płyt marmurowych, podkładu betonowego i warstwy piasku. Strop pod strychem nieużytkowym wykonano typu Kleina stalowo-ceramiczny z płytą z cegły pełnej o grubości 13 cm. Dach drewniany jest pokryty blachą ocynkowaną. Stolarka okienna w kościele jest drewniana, oszklona pojedynczą szybą, a drzwi wejściowe stare, drewniane. Na rysunku 3 przedstawiono widok omawianego kościoła (Zwolski, 2011c).



Rys. 3. Kościół numer 3

Kościół numer 4 – wybudowany został w stylu neogotyckim, trójnawowy z dwiema strzelistymi wieżami. Na rysunku 4 przedstawiono widok omawianego kościoła. Nawa główna przykryta jest dachem dwuspadowym, zaś dwie nawy boczne – jednospadowym. Świątynia ma transept – nawę poprzeczną, krzyżową, prostopadłą do osi kościoła. Całość jest jednokondygnacyjna. Ściany zewnętrzne wykonane są z cegły pełnej grubości 75 cm. Ławy i ściany fundamentowe są kamienne. Nad kościołem wykonano sklepienie neogotyckie krzyżowo-żebrowe z cegły pełnej. Pokrycie dachu stanowi blacha stalowa ocynkowana. Posadzki wykonane są z płytek kamionkowych. Okna, typowe dla budownictwa sakralnego, w ramach metalowych, mają wykonane witraże. Drzwi zewnętrzne są drewniane (Zwolski, 2011d).

Dane techniczne opisanych czterech budynków kościołów parafialnych zestawiono w tabeli 1.



Rys. 4. Kościół numer 4 (www.drohiczyn.opoka.org.pl)

2.2. Ocena izolacyjności cieplnej przegród zewnętrznych w budynkach

Wyliczone wartości współczynników przenikania ciepła U_0 przegród zewnętrznych w budynkach kościołów 1 – 4, zgodnie z normą PN-EN ISO 6946:1999 *Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczeń* zestawione zostały w tabeli 2.

Wyniki wskazują, że współczynniki przenikania ciepła przegród w znacznym stopniu przekraczają obecnie wymagane wartości. W celu zmniejszenia energochłonności budynku na cele grzewcze i wentylacyjne, należy zdecydowanie poprawić stan izolacyjności termicznej poszczególnych przegród budowlanych.

2.3. Charakterystyka energetyczna budynków

W tabeli 3 przedstawiono ogólną charakterystykę energetyczną budynków kościołów przed termomodernizacją, wykonaną zgodnie z Rozporządzeniami Ministra Infrastruktury w sprawie metodologii obliczenia charakterystyki energetycznej (Dz. U. z 2008 Nr 201, poz. 1240) oraz w sprawie szczegółowego zakresu i formy audytu energetycznego (Dz. U. z 2009 Nr 43, poz. 346).

Tab.1. Dane techniczne analizowanych kościołów w diecezji drohiczyńskiej (Zwolski, 2011a, b, c; NAPE, 2011)

Budynek	Rok budowy	Kubatura [m ³]	Powierzchnia użytkowa [m ²]	Technologia	Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na ciepło (energię końcową) E_{KH} [kWh/m ² a]
Kościół numer 1	1890	1 804	191	tradycyjna sakralna	402,08
Kościół numer 2	1900	270	50	drewniana sakralna	548,13
Kościół numer 3	1960	6294	710	tradycyjna sakralna	281,26
Kościół numer 4	XVIII / XIX w.	2 846	357	tradycyjna sakralna	246,71

Tab.2. Dane techniczne analizowanych kościołów w diecezji drohiczyńskiej (Zwolski, 2011a, b, c; NAPE, 2011)

Budynek	Rodzaj przegrody zewnętrznej				
	ściany zewnętrzne	stropodach/dach	podłoga na gruncie	okna	drzwi
U_0 [W/m ² K]					
Kościół numer 1	0,85	1,56	0,54	5,10	4,00
Kościół numer 2	0,93	1,82	0,45	5,10	4,00
Kościół numer 3	0,96	1,56	0,47	3,00	4,00
Kościół numer 4	0,90	1,83	0,50	3,50	3,50

Tab. 3. Charakterystyka energetyczna kościołów parafialnych przed termomodernizacją

Budynek	Zużycie ciepła Q_0 [GJ/rok]	Zapotrzebowanie na moc cieplną q_0 [kW] na cele grzewcze	Rodzaj źródła ciepła
Kościół numer 1	275,75	68,46	olej
Kościół numer 2	98,66	12,40	węgiel
Kościół numer 3	637,88	177,51	ogrzewanie elektryczne i na gaz płynny propan-butan
Kościół numer 4	308,26	97,90	ogrzewanie elektryczne

3. Stan techniczny instalacji grzewczej i źródła ciepła w budynkach kościołów – ocena

Kościół parafialny numer 1 – wyposażony jest w instalację ogrzewania powietrznego, zasilanego z olejowego pieca nadmuchowego zasilanego ciężkim olejem opałowym. Piec nie ma zamontowanej żadnej automatycznej regulacji czasu pracy, ma jedynie możliwość jednostopniowego zwiększenia temperatury wywiewanego powietrza. Pracuje w systemie „włącz/wyłącz”. Nawiew ciepłego powietrza realizowany jest za pomocą kanału nadmuchowego miejscowego, bezpośrednio z pieca. W kościele nie ma kanałów rozprowadzających ogrzane powietrze po całym budynku.

Zastosowane w budynku źródło ciepła budzi zastrzeżenia pod względem stanu technicznego i jego sprawności wytwarzania. Brak technicznych możliwości zamontowania przy piecu instalacji automatyki pogodowej nie pozwala na automatyczną regulację ilości wytwarzanej energii w zależności od temperatury zewnętrznej i zastosowanie czasowego zmniejszenia temperatury wewnętrznej w ciągu doby. Możliwa jest tylko praca w systemie ciągłym i stosowanie przerw w ogrzewaniu pomiędzy nabożeństwami.

Instalacja grzewcza powietrzna jest w złym stanie technicznym. Brak jest możliwości uzyskania optymalnej temperatury w całym budynku kościoła pomimo działającego źródła ciepła.

Instalacja ogrzewania powietrznego kwalifikuje się do natychmiastowej wymiany wraz ze zmianą źródła ciepła. Sprawność całkowita istniejącej instalacji grzewczej ze źródłem ciepła wynosi 71,4% (Zwolski, 2011a; Dz. U. z 2009, nr 43, poz. 346).

Kościół parafialny numer 2 – wyposażony jest w instalację centralnego ogrzewania wykonaną w systemie wodnym, dwururowym, z rozdziałem dolnym

z grzejnikami członowymi bez zaworów termostatycznych. Rolę elementów regulacyjnych pełnią kryzy zamontowane na gałązkach przygrzejnikowych oraz kryzy zamontowane na podejściach do pionów centralnego ogrzewania w kanałach podpodłogowych. Ciepło do kościoła dostarczane jest z kotłowni węglowej zlokalizowanej w sąsiednim budynku poprzez sieć zasilającą. Kotłownia nie ma zamontowanej automatyki pogodowej, posiada ręczne sterowanie temperaturą wody zasilającej.

Zastosowane w kotłowni kotły nie budzą większych zastrzeżeń pod względem stanu technicznego. Brak technicznych możliwości zamontowania w kotłowni instalacji automatyki pogodowej nie pozwala na automatyczną regulację ilości wytwarzanej energii w zależności od temperatury zewnętrznej i zastosowanie czasowego zmniejszenia temperatury wewnętrznej w ciągu doby. Stan izolacji i rurociągów jest dobry, nie kwalifikujący ich do natychmiastowej wymiany. Sprawność całkowita istniejącej instalacji grzewczej ze źródłem ciepła wynosi 59,0% (Zwolski, 2011b; Dz. U. z 2009, nr 43, poz. 346).

Kościół parafialny numer 3 – wyposażony jest w instalację grzewczą w układzie mieszanym opartym na grzejnikach elektrycznych konwektorowych i podgrzewaczach na gaz płynny propan-butan. Źródła ciepła nie mają zamontowanej żadnej automatycznej regulacji czasu pracy, a grzejniki elektryczne mają jedynie możliwość nastawy temperatury pracy.

Zastosowane w budynku źródła ciepła budzą zastrzeżenia pod względem stanu technicznego i jego sprawności wytwarzania dla ogrzewania gazowego. Brak technicznych możliwości zamontowania instalacji automatyki pogodowej nie pozwala na automatyczną regulację ilości wytwarzanej energii w zależności od temperatury zewnętrznej i zastosowanie czasowego

zmniejszenia temperatury wewnętrznej w ciągu doby. Możliwa jest tylko praca w systemie ciągłym i stosowanie przerw w ogrzewaniu pomiędzy mszami.

System grzewczy oparty na miejscowych źródłach ciepła uniemożliwia utrzymanie odpowiedniej i równomiernej temperatury w całym budynku. System grzewczy kwalifikuje się do natychmiastowej zmiany wraz ze źródłami ciepła. Sprawność całkowita istniejącej instalacji grzewczej ze źródłem ciepła wynosi 79,6% (Zwolski, 2011c; Dz. U. z 2009, nr 43, poz. 346).

Kościół parafialny numer 4 – źródłem ciepła na cele centralnego ogrzewania są miejscowo ustawione elektryczne grzejniki, włączane na czas odprawiania nabożeństw i spotkań w kościele.

Zmiana systemu grzewczego, ma zapewnić optymalną temperaturę w całym kościele, a nie tylko w wybranych miejscach. Sprawność całkowita istniejącej instalacji grzewczej ze źródłem ciepła wynosi 85,5% (NAPE, 2011; Dz. U. z 2009, nr 43, poz. 346).

4. Zaproponowany zakres modernizacji bryły budynku i systemu grzewczego

Analizując stan techniczny kościołów parafialnych i stan techniczny systemu grzewczego zaproponowano usprawnienia termomodernizacyjne dotyczące zmniejszenia zapotrzebowania na ciepło i moc cieplną, które docelowo mają spowodować zmniejszenie opłat za dostawę ciepła.

Niestety, nie we wszystkich kościołach z uwagi na zabytkowy charakter obiektu była możliwa poprawa izolacyjności przegród zewnętrznych metodami tradycyjnymi. W trzech kościołach zastosowane zostały tynki renowacyjne, oprócz drewnianego kościoła numer 2.

4.1. Zakres termomodernizacji w kościele parafialnym numer 1

Zaproponowano:

- docieplenie stropu pod strychem płytami z wełny mineralnej o współczynniku przewodzenia ciepła $\lambda = 0,038 \text{ W/(m}\times\text{K)}$ i grubości 16,0 cm;
- docieplenie podłogi na gruncie płytami styropianu o współczynniku przewodzenia ciepła $\lambda = 0,040 \text{ W/(m}\times\text{K)}$ i grubości 12,0 cm;
- wymianę stolarki na okna o współczynniku $U = 1,30 \text{ W/(m}\times\text{K)}$ z opcją rozszczelniania;
- wymianę drzwi wejściowych na drzwi o współczynniku $U = 2,60 \text{ W/(m}\times\text{K)}$;
- wykonanie modernizacji instalacji grzewczej obejmującej opracowanie dokumentacji, podłączenie do nowego źródła ciepła – kotła opalanego biomasą, wykonanie instalacji grzewczej podłogowej wodnej z regulatorem temperatury, zaworami mieszającymi i sterownikami.

Łączny koszt realizacji wyżej wymienionego wariantu termomodernizacyjnego z wykonaniem niezbędnej dokumentacji technicznej wyniesie około 315 000 zł brutto.

Całkowita sprawność systemu grzewczego zmieni się z $\eta_0 = 71,4\%$ na $\eta_1 = 88,2\%$.

4.2. Zakres termomodernizacji w kościele parafialnym numer 2

Zaproponowano:

- docieplenie stropu pod strychem płytami z wełny mineralnej o współczynniku przewodzenia ciepła $\lambda = 0,038 \text{ W/(m}\times\text{K)}$ i grubości 16,0 cm;
- wymianę stolarki na okna o współczynniku $U = 1,30 \text{ W/(m}\times\text{K)}$ z opcją rozszczelniania;
- wymianę drzwi wejściowych na drzwi o współczynniku $U = 2,60 \text{ W/(m}\times\text{K)}$;
- docieplenie ścian zewnętrznych metodą lekką – suchą wełną mineralną o współczynniku przewodzenia ciepła $\lambda = 0,038 \text{ W/(m}\times\text{K)}$ o grubości 12,0 cm – pod elewacją z desek;
- wykonanie modernizacji instalacji c.o. obejmującej opracowanie dokumentacji, montaż grzejników kanałowych z podestem z zaworami termostatycznymi i regulację hydrauliczną instalacji.

Łączny koszt realizacji wyżej wymienionego wariantu termomodernizacyjnego z wykonaniem niezbędnej dokumentacji technicznej wyniesie około 62 000 zł brutto.

Całkowita sprawność systemu grzewczego zmieni się z $\eta_0 = 59,0\%$ na $\eta_1 = 68,6\%$.

4.3. Zakres termomodernizacji w kościele parafialnym numer 3

Zaproponowano:

- docieplenie stropu pod strychem płytami wełny mineralnej o współczynniku przewodzenia ciepła $\lambda = 0,038 \text{ W/(m}\times\text{K)}$ i grubości 16,0 cm;
- docieplenie podłogi na gruncie płytami z polistyrenu ekstrudowanego o współczynniku przewodzenia ciepła $\lambda = 0,040 \text{ W/(m}\times\text{K)}$ i grubości 12,0 cm;
- wymianę stolarki na okna o współczynniku $U = 1,30 \text{ W/(m}\times\text{K)}$ z opcją rozszczelniania;
- wymianę drzwi wejściowych na drzwi o współczynniku $U = 2,60 \text{ W/(m}\times\text{K)}$;
- docieplenie ścian zewnętrznych metodą lekką – mokrą styropianem/wełną mineralną o współczynniku przewodzenia ciepła $\lambda = 0,040 \text{ W/(m}\times\text{K)}$ i grubości 13,0 cm;
- wykonanie modernizacji instalacji c.o. obejmującej opracowanie dokumentacji, zmianę źródła ciepła na kocioł olejowy kondensacyjny, podłączenie rozdzielacza, wykonanie instalacji grzewczej podłogowej wodnej z regulatorem temperatury, zaworami mieszającymi i sterownikami.

Łączny koszt realizacji wyżej wymienionego wariantu termomodernizacyjnego z wykonaniem niezbędnej dokumentacji technicznej wyniesie około 930 000 zł brutto.

Całkowita sprawność systemu grzewczego zmieni się z $\eta_0 = 79,6\%$ na $\eta_1 = 96,0\%$.

4.4. Zakres termomodernizacji w kościele parafialnym numer 4

Zaproponowano:

- docieplenie stropu nad kościołem płytami z wełny mineralnej o grubości 16 cm przy współczynniku przewodzenia ciepła $\lambda = 0,040 \text{ W/(m}\times\text{K)}$;
- docieplenie podłogi na gruncie w kościele płytami polistyrenu ekstrudowanego o grubości 8 cm przy $\lambda = 0,040 \text{ W/(m}\times\text{K)}$;
- wymianę stolarki okiennej na nowe szczelne okna, o współczynniku przenikania ciepła $U = 1,30 \text{ W/(m}\times\text{K)}$, z napływem powietrza zewnętrznego w ilości niezbędnej dla potrzeb wentylacyjnych przez urządzenia nawiewne umieszczane w oknach lub innych częściach przegród zewnętrznych;
- wymianę drzwi na nowe, szczelne o współczynniku przenikania ciepła $U = 2,00 \text{ W/(m}\times\text{K)}$;
- wykonanie modernizacji instalacji c.o. obejmującej usunięcie starych grzejników elektrycznych i zastąpienie ich nową instalacją centralnego ogrzewania w układzie – ogrzewanie podłogowe i ogrzewanie podłogowe z grzejnikami kanałowymi wraz podestem, zlokalizowanymi wzdłuż bocznych ścian kościoła. W nakładach na ogrzewanie podłogowe uwzględniono cały koszt elementów systemu: rury PEX-X-AL, roljet (styropian), klipsy, złączki do rur, rury peszel, rozdzielacze, szafki rozdzielaczowe; automatykę: zawory termostatyczne z głowicą termostatyczną; akcesoria: taśmy brzegowe, plastyfikatory, profile dylatacyjne, taśmy klejące, taśmy izolacyjne do profilu.

Zaleca się także wykonanie nowej kotłowni na biomasę z kotłem zgazowującym drewno z wentylatorem nadmuchowym, dostosowaną do nowego projektowego obciążenia cieplnego kościoła po przeprowadzonej termomodernizacji.

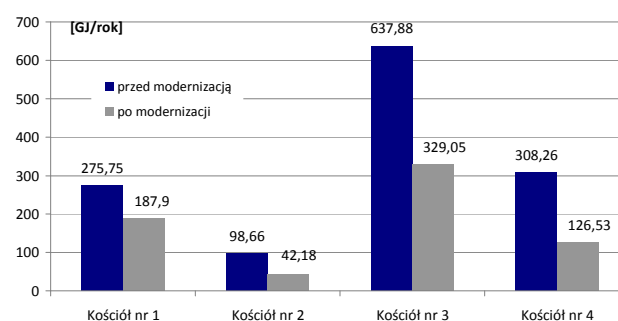
Łączny koszt realizacji wyżej wymienionego wariantu termomodernizacyjnego z wykonaniem niezbędnej dokumentacji technicznej wyniesie około 695 000 zł brutto.

Całkowita sprawność systemu grzewczego zmieni się z $\eta_0 = 85,5\%$ na $\eta_1 = 70,03\%$.

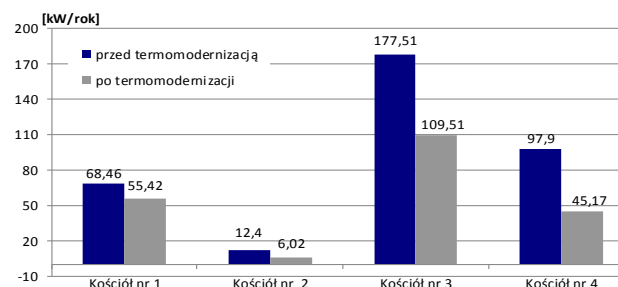
5. Wyniki uzyskanych efektów energetycznych po przeprowadzeniu termomodernizacji budynków kościołów i modernizacji źródeł ciepła

Po wykonaniu przedsięwzięć termomodernizacyjnych zaleconych w poszczególnych kościołach opisanych w punkcie 4 uzyskuje się zmniejszenie rocznego zapotrzebowania na energię cieplną (energię końcową EKH) w kościele: numer 1 o 31,86%; numer 2 o 57,25%; numer 3 o 48,42% i numer 4 o 49,90%. W tabeli 4 przedstawiono uzyskane efekty energetyczne po termomodernizacji kościołów.

Na rysunku 5 przedstawiono sezonowe zapotrzebowanie na ciepło na cele grzewcze z uwzględnieniem sprawności przed i po termomodernizacji w poszczególnych kościołach, a na rysunku 6 projektowe obciążenie cieplne przed i po termomodernizacji.



Rys. 5. Porównanie sezonowego zapotrzebowania na ciepło na cele grzewcze przed i po modernizacji w poszczególnych kościołach



Rys. 6. Obciążenie cieplne przed i po modernizacji w poszczególnych kościołach parafialnych

Tab. 4. Uzyskane efekty energetyczne po termomodernizacji kościołów parafialnych (Zwolski, 2011a, b, c; NAPE, 2011)

Kościół	Zużycie ciepła Q_1 [GJ/rok]	Zapotrzebowanie na moc cieplną q_1 [kW] na cele grzewcze	Rodzaj źródła ciepła	
			przed	po
1	187,90	55,42	olej	biomasa
2	42,18	6,02	węgiel	węgiel
3	329,05	109,51	ogrzewanie elektryczne i na gaz płynny propan-butan	olej opałowy lekki
4	126,53	45,17	ogrzewanie elektryczne	biomasa

Tab. 5. Efekty ekonomiczne w budynkach kościołów wynikające z termomodernizacji

Budynek	Koszty eksploatacyjne [zł/rok]		Docelowe oszczędności finansowe [zł/rok]	Koszt 1 GJ	
	przed	po		przed	po
Kościół nr 1	20 858	4 015	16 843	75,64	21,37
Kościół nr 2	3 724	1 592	2 132	37,74	37,74
Kościół nr 3	75 268	30 457	44 811	117,66	92,56
Kościół nr 4	62 944	5 398	57 546	182,79	21,37

6. Podsumowanie

W artykule przedstawiono wyniki analizy energetycznej czterech wybranych kościołów zlokalizowanych na terenie diecezji Drohiczyńskiej.

Po uwzględnieniu wymagań konserwatorskich, w kościołach zaproponowano termomodernizację bryły budynku, polegającą w większości kościołów na dociepleniu stropu pod strychem, dociepleniu podłogi na gruncie, wymianę okien i drzwi oraz położenie tynków ciepłochronnych, z wyjątkiem kościoła numer 2. W kościele numer 2 możliwe było docieplenie ścian zewnętrznych płytami z wełny mineralnej pod elewacją z desek. Prace termomodernizacyjne obejmowały także wymianę instalacji c.o. i źródła ciepła, oprócz kościoła numer 2, gdzie pozostawiony został kocioł węglowy, ze względu na dobry stan techniczny. W trzech modernizowanych obiektach zaproponowane zostało ogrzewanie podłogowe (kościół numer 1, 3 i 4) razem z wymianą posadzek kamiennych, w kościele numer 2 ogrzewanie z grzejnikami kanałowymi. Wybór ogrzewania podłogowego związany był z planowanym remontem posadzek oraz tym, że w tych kościołach panowała duża niestabilność temperatury i wilgotności. Zaś ogrzewanie podłogowe pozwala w obiektach tej wielkości (małe i średnie kościoły) utrzymać parametry temperatury i wilgotności na stabilnym poziomie, co jest ważne ze względu na zabytkowe budowle, obrazy, czy ścienne freski.

Zamiana starych źródeł ciepła na źródła ciepła spalające biomasę (kościół numer 1 i 4) była spowodowana zastosowaniem przede wszystkim ekonomicznego, taniego, odnawialnego, efektywnie energetycznego i w miarę możliwości ekologicznego paliwa. Biomasa uważana jest za paliwo odnawialne, gdyż w rozliczeniach emisji CO₂ traktowana jest, jako paliwo o zanieczyszczeniu zerowym. W kościele numer 3, gdzie ogrzewanie obiektu odbywało się w systemie mieszanym: energia elektryczna i gaz propan butan, na życzenie gospodarza obiektu zostało zamienione na kotłownię bezobsługową, na olej opałowy lekki.

Wykonując termomodernizację kościołów można liczyć na zmniejszenie projektowego obciążenia cieplnego na cele grzewcze oraz zmniejszenie sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynków od 31% do 57%. Można uznać, że planowane efekty energetyczne zostały osiągnięte.

Efekty energetyczne łączą się nieodrodnie z efektami ekonomicznymi. W związku z termomodernizacją

kościół uzyskano oszczędności w opłatach za ogrzewanie w granicach od 2000zł rocznie w kościele numer 2 do około 57 000 zł rocznie w kościele numer 4.

Uzyskane efekty energetyczne i ekonomiczne w pełni pozwalają sądzić, że termomodernizacja kościołów, jak również modernizacja źródła ciepła, instalacji centralnego ogrzewania są w pełni uzasadnione

Literatura

- NAPE (2011). Audyt energetyczny budynku kościoła parafii rzymsko-katolickiej w Wyszakach. NAPE, Białystok.
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. 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. (Dz. U. z 2008 Nr 201, poz. 1240).
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 17 marca 2009 r. w sprawie szczegółowego zakresu i formy audytu energetycznego oraz części audytu remontowego, wzorów kart audytów, a także algorytmów oceny opłacalności przedsięwzięcia termomodernizacyjnego. (Dz. U. z 2009 Nr 43, poz. 346).
- Wielgoński G. (2009). Czy Biomasa jest paliwem ekologicznym? W: Monografia "Polska Inżynieria Środowiska pięć lat po wstąpieniu do Unii Europejskiej". Tom. I. (red. J. Ozonik i M. Pawłowska), Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, Lublin, vol. 58, 347-356
- Zwolski W. (2011a). Audyt energetyczny budynku kościoła parafii rzymsko-katolickiej w Chłopkowie. *Pracownia Obsługi i Inwestycji Waldemar Zwolski*, Warszawa.
- Zwolski W. (2011b). Audyt energetyczny budynku kościoła parafii rzymsko-katolickiej w Serpelicach. *Pracownia Obsługi i Inwestycji Waldemar Zwolski*, Warszawa.
- Zwolski W. (2011c). Audyt energetyczny budynku kościoła parafii rzymsko-katolickiej w Kozuchówku. *Pracownia Obsługi i Inwestycji Waldemar Zwolski*, Warszawa.

THERMOMODERNISATION OF THE HISTORIC CHURCHES

Abstract: The thermomodernisation was carried out in four historic churches located in the area of the Drohiczyn Diocese. The annual energy effects that could be archived as a result of the proposed improvements were shown. Optimal range of thermomodernisation in these facilities was proposed.

EFEKTYWNOŚĆ DOMIESZEK UPLASTYCZNIAJĄCYCH DO BETONU W FUNKCJI ICH MOMENTÓW DIPOLOWYCH

Mikołaj Syczewski^{a*}, Genadij Shirokiy^b, Pavel Juchnevskij^b

^a Wydział Techniczny, Wyższa Szkoła Agrobiznesu w Łomży, ul. Studencka 19, 18-402 Łomża

^b Faculty of Civil Engineering, Belarusian National Technical University, Niezavisimosti 150/15, Mińsk, Białoruś 220013

Streszczenie: W artykule przedstawiono ocenę metody momentów dipolowych cząsteczek domieszek chemicznych uplastyczniających beton cementowy. W oparciu o przenikalność dielektryczną substancji i wyliczenia momentów dipolowych cząsteczek domieszek, oceniono spadek wilgotności mieszanki betonowej.

Słowa kluczowe: domieszki uplastyczniające, beton, momenty dipolowe.

1. Wstęp

Chemiczne domieszki uplastyczniające wpływają na właściwości betonów cementowych przez zawarte w nich różne grupy funkcyjne, a mechanizm ich działania ma charakter adsorpcyjny, jonowoelektrostatyczny (Batrakov, 1990; Minkhin i in., 1968). Z uprzednich publikacji autorów (Juchnevskij i in., 2008; Juchnevskij, 2010) wynika, że do ustalenia elektronowej struktury związków i charakterystyki głównego efektu działania domieszki plastyfikatora można wykorzystać momenty dipolowe cząsteczek. Na podstawie wartości momentów dipolowych cząsteczek można określić rozkład gęstości elektronowej w cząsteczkach i zależność tego rozkładu od rodzaju podstawnika. Dane o momentach dipolowych cząsteczek wykorzystuje się do określenia konformacji cząsteczek, konformacyjnego i izomerycznego składu materiału oraz w analizie korelacyjnej. W dostępnej literaturze brak jest danych o wartościach momentów dipolowych cząsteczek chemicznych stosowanych jako domieszki uplastyczniające do betonu i metodach ich oznaczania. Cząsteczki domieszek chemicznych są substancjami polarnymi. W przypadku dodania domieszek do mieszanki betonowej będą one rozmieszczone w polarnym rozpuszczalniku, którym jest woda. Stwarza to szczególne możliwości do opracowania metodyki wyznaczania momentów dipolowych cząsteczek.

Celem pracy jest określenie momentów dipolowych cząsteczek domieszek uplastyczniających do betonów cementowych i ich zależności korelacyjnych od zawartości wody w mieszance betonowej. Momenty dipolowe cząsteczek mogą być obliczone metodami kwanto-mechanicznymi lub określone eksperymentalnie.

Najszerze zastosowanie mają metody oparte na pomiarze przenikalności dielektrycznej ε materiału. Przejście od zmierzonych wartości ε gazu, cieczy lub rozcieńzonego roztworu, to jest makroskopowej charakterystyki dielektryka do wartości momentu dipolowego, oparte jest na teorii polaryzacji dielektryków. Przyjmuje się, że w obecności zewnętrznego pola elektrycznego całkowita polaryzacja P dielektryka składa się z polarności indukcyjnej P_{np} i polaryzacji orientacyjnej P_{op} . Zależność obu typów polaryzacji od momentu dipolowego μ jest określona równaniem Langevena-Debala (Osipov i in., 1971; Eme, 1967):

$$P = P_{np} + P_{op} = \frac{(\varepsilon - 1)M}{(\varepsilon + 2)d} = \frac{4}{3} \pi N_A \left(\alpha + \frac{\mu^2}{3kT} \right) \quad (1)$$

gdzie: M jest masą cząsteczkową, d jest gęstością, α jest to polarność molekuli, N_A jest liczbą Avogadra, która ma wartość $N_A = 6,022045 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$, k jest stałą Boltzmanna o wartości $k = 1,380662 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$, zaś T temperaturą w skali bezwzględnej.

W układzie SI równanie (1) można wyrazić w postaci:

$$\frac{(\varepsilon - 1)M}{(\varepsilon + 2)d} = \frac{N_A}{3\varepsilon_0} \left(\alpha + \frac{\mu^2}{3kT} \right) \quad (2)$$

gdzie ε_0 jest stałą dielektryczną dla próżni o wartości $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$.

Wyrażenie (1) można także przedstawić w postaci:

$$P = a + \frac{b}{T} \quad (3)$$

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: mikolaj.syczewski@interia.pl

gdzie $a = \frac{4}{3} \pi N_A \alpha$, $b = \frac{4}{9} \pi N_A \frac{\mu^2}{k}$.

Stąd wynika, że orientacyjna polaryzacja zależy od temperatury i jest funkcją liniową wartości $1/T$.

2. Metodyka eksperymentu

W celu wyznaczenia stałej wartości momentu dipolowego substancji w mieszaninie proszku-powietrznej mierzono dielektryczną przenikalność badanej substancji w różnych temperaturach. Według wzoru (1) określano wartości polaryzacji molekularnej P i przedstawiano w postaci graficznej jako funkcję zależną od $1/T$. Tangens kąta nachylenia uzyskanej prostej jest wartością b (Eme, 1967).

Dla wodnych roztworów domieszek uplastyczniających do obliczenia momentu dipolowego substancji polarnej w polarnym rozpuszczalniku wykorzystano zależność:

$$\frac{4}{3} \pi N_A \frac{\mu_1^2 x_1 + \mu_2^2 x_2}{3kT} = P_{op}^p = \left(\frac{M_1 x_1 + M_2 x_2}{d_{1,2}} \right) \left[\frac{(\epsilon_{1,2} - 1)(\epsilon_{1,2} + 2)}{8\epsilon_{1,2}} - \frac{(n_{1,2}^2 - 1)(n_{1,2}^2 + 2)}{8n_{1,2}} \right] \quad (4)$$

gdzie: $\epsilon_{1,2}$, $n_{1,2}$, $d_{1,2}$ są to odpowiednio przenikalność dielektryczna, współczynnik załamania, gęstość roztworu domieszki, M_1 , M_2 są to odpowiednio masy cząsteczkowe rozpuszczalnika (wody) i substancji rozpuszczonej, x_1 , x_2 są to ułamki molowe, P_{op}^p jest orientacyjną polaryzacją roztworu.

Po obliczeniu P_{op}^p i przepisawszy lewą stronę równania (4) w układzie SI otrzymano:

$$\frac{N_A}{3\epsilon_0} \cdot \frac{\mu_1^2 x_1 + \mu_2^2 x_2}{3kT} = P_{op}^p \quad (5)$$

gdzie: μ_1 , x_1 oraz μ_2 , x_2 są to odpowiednio momenty dipolowe i ułamki molowe rozpuszczonej domieszki i rozpuszczalnika (wody).

Po przemnożeniu masy cząsteczkowej substancji wyrażonej w jednostkach masy atomowej przez $1,66057 \cdot 10^{-27}$, otrzymuje się bezwzględną masę cząsteczki w kg. Przyjęto, że moment dipolowy wody jest równy $\mu_2 = 1,84D = 1,84 \cdot 3,33564 \cdot 10^{-30} \text{ C} \cdot \text{m}$.

Do pomiaru przenikalności dielektrycznej domieszek chemicznych wykorzystano komórkę elementarną w postaci płaskiego kondensatora zanurzonego w próbce domieszki. Wykorzystano metodę krzywej wzorcowej we współrzędnych: przenikalność dielektryczna i objętość komórki elementarnej. Pomiarów gęstości wodnego roztworu chemicznych domieszek dokonywano określając masy roztworu o znanej objętości. Gęstość roztworów mierzono w temperaturze 20°C . Wskaźnik załamania

n mierzono za pomocą refraktometru URL o dokładności pomiaru $\pm 0,0001$.

3. Wyniki badań

W tabeli 1 zamieszczono wyniki pomiarów i obliczeń dielektrycznej przenikalności próbek domieszek chemicznych w rozcieńczonych roztworach w różnych temperaturach, natomiast w tabeli 2 sproszkowanych domieszek metodą bezpośredniego pomiaru.

Tab. 1. Zależność dielektrycznej przenikalności domieszek plastifikatorów od temperatury roztworu

Temperatura °C	Pojemność elektryczna komórki µF	Stała dielektryczna ε
Stachment F		
5	11,80	139,83
10	11,40	138,29
15	10,54	134,85
20	8,22	124,51
Stachment 2000 hiperplastifikator		
6	9,72	131,39
12	10,79	135,87
15	11,42	138,37
21	12,67	143,06
Hiperplastifikator HP-03		
7	15,43	152,41
10	16,25	154,96
16	17,80	159,56
20	18,96	162,82

Tab. 2. Dielektryczna przenikalność mieszaniny proszek-powietrze i moment dipolowy domieszki

Temperatura °C	Pojemność elektryczna komórki µF	Przenikalność dielektryczna ε _{1,2}	Moment dipolowy D
Melment L 10 (suchy)			
5	0,046	2,566	10,33
20	0,147	2,584	10,33
Superplastifikator L 10 (suchy)			
5	0,047	2,584	9,74
20	0,050	2,636	9,74

Metoda bezpośredniego pomiaru oparta jest na obliczeniu dielektrycznej przenikalności proszku na podstawie zmierzonych wartości dielektrycznej przenikalności heterogennej mieszaniny proszku z powietrzem. Obliczenia dielektrycznej przenikalności proszku wykonano według wzoru Winera (Krijga, 1980):

$$2\nu_1 x^3 + (1 - \varepsilon_{1,2} + \nu_1 \varepsilon_{1,2}) x^2 + (2 - 2\nu_1 - 2\varepsilon_{1,2}) x - \nu_1 \varepsilon_{1,2} = 0 \quad (6)$$

gdzie: $\varepsilon_{1,2}$ jest dielektryczną przenikalnością mieszaniny proszku z powietrzem, natomiast ν_1 jest objętościową częścią proszku w stosunku do całkowitej objętości próbki (może być określona za pomocą ważenia, gdy znana jest gęstość proszku lub inną metodą),

W wyniku rozwiązania równania trzeciego stopnia i wyznaczenia wartości x , poszukiwaną dielektryczną przenikalność proszku wyznacza się z zależności $\varepsilon_1 = x^2$.

Przenikalność dielektryczna mieszanin ma charakter addytywny i można ją przedstawić w postaci:

$$f(\varepsilon_{1,2}) = \nu_1 f(\varepsilon_1) + (1 - \nu_1) f(\varepsilon_2) \quad (7)$$

Do obliczenia momentu dipolowego można wykorzystać wartości $\varepsilon_{1,2}$. Wartości gęstości roztworu domieszki, wskaźnik załamania i moment dipolowy podano w tabeli 3.

Tab. 3. Fizykochemiczne wartości właściwości domieszek wyznaczone na podstawie badań

Nazwa domieszki	Gęstość g/cm ³	Wskaźnik załamania w temperaturze 20°C $n_{1,2}$	Moment dipolowy molekuly $D^*)$
Hiperplastyfikator GP-03	1,051	1,3827	14,1 8,8
Hiperplastyfikator Stachment F	1,060	1,3822	7,4 10,6
Plastyfikator Stachment 2000	1,146	1,4044	5,9 73

*) Objasnienia: obliczone wartości momentów dipolowych cząsteczek przedstawione w postaci ułamka – wartości nad kreską dotyczą następujących domieszek i ich masy cząsteczkowej: GP-03 5000 g/mol, Stachment 2000-15000 g/mol, Stachment F-10000 g/mol; a pod kreską odpowiednio GP-03 20000 g/mol, Stachment 2000-30000 g/mol, Stachment F 15000 g/mol.

Domieszka C-3, według danych (Batrakov, 1990) zawiera do 10% soli sodowej β -kwasu naftalenosulfonowego, a zawartość aktywnej substancji powinna być nie mniejsza niż 69% (w tym zawartość różnych lekkich i ciężkich frakcji o różnym stopniu polikondensacji). Wyznaczone sposobem eksperymentalnym wartości momentów dipolowych są zgodne z obliczonymi przez autorów metodą kwanto-mechaniczną dla modelowej molekuly C-3 (dipolowy moment molekuly domieszki C-3 wynosi od $\mu = 6,50D$ przy $n = 1$ do $\mu = 20,92D$ przy $n = 7$, gdzie n jest stopniem polikondensacji). Dla szeregu oligomerów na bazie nitrowiązków obliczono momenty dipolowe cząsteczek metodą kwanto-mechaniczną (Juchnevskij, 2010). Uzyskano zależności do obliczenia redukcji wody zarobowej w mieszance betonowej z domieszkami oligomerów (na podstawie nitrowiązków) przy różnym dozowaniu cementów glinowych:

$$\Delta W = (0,0028\mu^{0,9057} + 0,0341C_d) C^{0,3088} \quad (8)$$

gdzie: μ jest momentem dipolowym cząsteczki D , C_d jest ilością domieszki mierzoną w procentach w stosunku do masy cementu, natomiast C jest ilością cementu w kg/m³.

Dla superplastyfikatora naftalenoformaldehydowego C-3, zależność zmniejszenia ilości wody w stosunku do zużycia cementu C (kg/m³), ilości domieszki C_d (%) i momentu dipolowego cząsteczki μ ma postać:

$$\Delta W = (0,0028\mu^{0,9057} + 0,029C_d) C^{0,28} \quad (8)$$

4. Podsumowanie

W pracy potwierdzono tezę, że wielkość elektrostatycznej składowej plastyfikującego efektu domieszki można określić poprzez wielkość momentu dipolowego cząsteczki. Ustalono korelację między elektronową strukturą domieszki chemicznej plastyfikatora i jej zdolnością do redukcji zawartości wody w mieszance betonowej. Znając moment dipolowy cząsteczki można określić zmniejszenie zawartości wody i uwzględnić tę wielkość przy ustalaniu składu mieszanki betonowej. W perspektywie, w wyniku zgromadzenia eksperymentalnych danych, momenty dipolowe cząsteczek mogą być także wykorzystane przez producentów domieszek jako jeden z parametrów do identyfikacji domieszek chemicznych.

Literatura

- Batrakov W.G. (1990). Modificyrowannye betony. *Strojizdat*. Moskva.
- Eme F. (1967). Dielektricheskie izmerenia dla kolichestvennogo analiza i dla opredelenia chimicheskoi struktury. *Chimia* (pod. red. I.I. Zaslavskogo), Moskva.
- Juchnevskij P.I., Shirokiy G.T., Bortnickaya M.G. (2008). O korelacionnoi sviazi deskriptorov molekularnoi struktury chimicheskikh dobavok so svojstvami modificyrovannogo betona. *Stroitel'naya nauka i tekhnika*, 3/2008.
- Juchnevskij P.I. (2010). O korelacionnoi sviazi vodoreducusnchei effektivnosti s velichinoi dipolnogo momenta chimicheskoi dobavki plastyfikatora. *Technologia betonov*, 9-10/2010.
- Krijga P.C. (1980). Plasticizers and dispersing admixtures. *Process of the International Congress on admixtures. Constructions Press*, New York.
- Minkhin W.I., Osipov O.A., Zhdanov J.A. (1968). *Chimia*. Leningrad.
- Osipov O.A., Minkin W.I., Granovskij A.D. (1971). *Spravchnik po dipolnym momentam. Wshaya Shkola*, Moskva.

**EFFECTIVENESS OF PLASTICIZING
ADMIXTURES FOR CONCRETE AS A FUNCTION
OF THEIR DIPOLE MOMENTS**

Abstract: Paper presents the evaluation method of dipole molecule moment of plasticizing chemical admixtures for cement concrete. Based on the dielectric permittivity of substance and computation of dipole molecule moments of admixture, decrease of water content in concrete mix was evaluated.

WPLYW NANOKRYSZTAŁÓW CSH NA WYTRZYMAŁOŚĆ BETONÓW CEMENTOWYCH STOSOWANYCH W BUDOWNICTWIE KOMUNIKACYJNYM

Monika SZCZOTKOWSKA, Piotr BRZOZOWSKI*

Wydział Budownictwa i Architektury, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, al. Piastów 50, 70-311 Szczecin

Streszczenie: W pracy zaprezentowano wyniki badań laboratoryjnych wpływu domieszki chemicznej, zawierającej w składzie nanokryształy CSH, na rozwój wczesnej wytrzymałości betonu. Osiągnięcie wysokich wczesnych wytrzymałości betonu jest niezbędne do szybkiego rozszalowania elementów prefabrykowanych wykorzystywanych w budownictwie drogowym i mostowym. Przyspieszenie procesu wiązania pozwala na skrócenie procesu produkcyjnego oraz zwiększenie wydajności zakładu. Do badań użyto trzech mieszanek betonowych: wzorcowej, z domieszką chemiczną zawierającą nanokryształy CSH oraz z dodatkiem mikrokrzemionki. Określono wytrzymałości na ściskanie oraz rozciąganie przy rozłupywaniu badanych betonów co 2 godziny od czasu zaformowania próbek przez okres 12 godzin oraz po 1, 3, 7 i 28 dniach. Potwierdzono pozytywny wpływ zastosowanej nanodomieszki na wczesne wytrzymałości betonu.

Słowa kluczowe: elementy prefabrykowane, nanokryształy CSH, wczesna wytrzymałości betonu.

1. Wprowadzenie

We współczesnym świecie beton jest jednym z najczęściej stosowanych materiałów budowlanych i znajduje zastosowanie we wszystkich dziedzinach budownictwa. Duże zapotrzebowanie na ten materiał oraz szybki rozwój technologii, który dokonał się w ciągu ostatnich lat sprawia, że stawiane są coraz wyższe wymagania dotyczące jakości i trwałości oraz technologii betonowania elementów i konstrukcji. W celu skrócenia procesów budowlanych częściej stosuje się technikę prefabrykacji pozwalającą na złożenie konstrukcji z wcześniej wykonanych elementów oraz masową produkcję elementów małogabarytowych. Jako przykłady powszechnie stosowanych wielkogabarytowych prefabrykowanych elementów infrastruktury drogowej można wymienić belki mostowe, elementy przepustów, panele, ekrany akustyczne oraz pale żelbetowe (Chęcińska, 2012).

Osiągnięcie wysokich wczesnych wytrzymałości betonu jest niezbędne do szybkiego rozszalowania elementów prefabrykowanych, co pozwala na skrócenie procesu produkcyjnego oraz zwiększenie produktywności zakładu. Najwyższe wymagania stawiane są betonom używanym do produkcji prefabrykowanych belek sprężonych. Standardowe klasy wytrzymałości takich betonów to C40/50, a nawet C50/60. Dodatkowo, aby móc wprowadzić do elementu siłę sprężającą a następnie zabudować go w konstrukcji, wymagane jest osiągnięcie wytrzymałości betonu na poziomie 70-80% jego

wytrzymałości 28-dniowej (Chęcińska, 2012; Klosa i Pauch, 2005).

Według Paprockiego i Szewczyka (1976), skrócenie czasu twardnienia betonu możliwe jest w wyniku:

- zastosowania cementów szybko twardniejących,
- stosowania dodatków lub domieszek chemicznych przyspieszających dojrzewanie betonu,
- termicznej obróbki elementów,
- mechanicznego przyspieszenia dojrzewania.

Jako spoiwo najczęściej używane są cementy portlandzkie klasy 42,5 i 52,5 o wysokiej wartości wytrzymałości wczesnej. Jeżeli chodzi o obróbkę termiczną, w zakładach prefabrykacji stosowane są obecnie głównie dwie metody (Golda i Kaszuba, 2008): autoklawizacja oraz niskoprężne naparzenie. Obie metody wymagają zazwyczaj komór bądź tuneli dostosowanych do linii produkcyjnej zakładu. Konieczne jest także dostarczenie energii potrzebnej do osiągnięcia i utrzymywania zakładanej temperatury obróbki.

Alternatywą do obróbki termicznej jest zastosowanie domieszek przyspieszających dojrzewanie betonu, pozwalających na jej ograniczenie lub nawet całkowite wyeliminowanie. W większości przypadków, samo zastosowanie odpowiednio dobranych plastyfikatorów lub superplastyfikatorów, poprzez obniżenie ilości wody zarobowej, prowadzi do przyspieszenia procesu twardnienia. Wraz z rozwojem technologii betonu opracowano szereg nowoczesnych domieszek

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: piotr.brzozowski@zut.edu.pl

chemicznych zwiększających wczesne wytrzymałości betonu, na przykład badane przez Goldę i Kaszubę (2008) domieszki na bazie eterów polikarboksylowych lub zawierające azotan wapnia.

Nowe możliwości otwiera także nanotechnologia, czyli kształtowanie struktury stwardniałego betonu na poziomie pojedynczych atomów i cząstek. Możliwe jest wprowadzenie do mieszanki betonowej zarodników, którymi mogą być uwodnione i zmielone cząsteczki cementu bądź wapna hydratyzowanego (Bołtryk i Lelusz, 2004). Od niedawna produkowane są także cementy specjalne – zawiesiny zawierające sztuczne zarodki kryształów fazy CSH, przyspieszające proces hydratacji cementu w jego początkowym okresie (Pużak i in., 2010).

Istotnym zagadnieniem jest także konsystencja oraz urabialność betonów używanych do wytwarzania elementów prefabrykowanych. Ze względu na gęsto rozmieszczone zbrojenie pojawiają się problemy z zagęszczeniem mieszanki, wymagana jest także duża jej płynność. Odpowiednie właściwości mają betony samozagęszczalne – SCC (*Self Compacting Concrete*) oraz prawie samozagęszczalne – ASCC (*Almost Self Compacting Concrete*), które w przeciwieństwie do betonu SCC, do odpowietrzenia i zagęszczenia wymagają wzbudzenia i wibracji tradycyjnymi technikami (wibrator wgłębny, przyczepny czy wibracja całym stołem formierskim). Jednakże czas wibracji jest zdecydowanie krótszy niż w przypadku betonów tradycyjnych, często na poziomie 5-7 sekund (Świerczyński, 2002). Betony te uzyskują zakładane parametry wytrzymałościowe, a także wykazują odpowiednią trwałość i odporność na działanie środowiska.

Celem badań przedstawionych w artykule było określenie wpływu dodatku domieszki chemicznej zawierającej nanokryształy CSH na kształtowanie się wczesnych wytrzymałości betonów na ściskanie i rozciąganie oraz ich rozwój w czasie. Określono również wpływ domieszki na gęstość i nasiąkliwość badanych betonów oraz wartości modułów sprężystości.

2. Program i zakres badań

W celu określenia wpływu domieszki chemicznej zawierającej nanokryształy CSH na właściwości reologiczne mieszanki betonowej oraz właściwości stwardniałego betonu przeprowadzono badania porównawcze z użyciem trzech mieszanek, których składy podano w tabeli 1. Symbolem M2 oznaczono mieszankę zawierającą domieszkę przyspieszającą proces hydratacji, natomiast jako M1 oznaczono mieszankę referencyjną, nie zawierającą domieszki. Dodatkowo, wykonano badania mieszanki betonowej z 5% zawartością mikrokrzemionki – M3.

Tab. 1. Składy mieszanek betonowych

Składnik [kg/m ³]	Mieszanka		
	M1	M2	M3
CEM I 42,5R	360	360	327
Woda	162	162	162
Piasek 0/2 mm	595	595	595
Żwir 2/16 mm	1264	1264	1264
Superplastyfikator	8,1	8,1	8,1
Nanodomieszka	0	8,2	0
Mikrokrzemionka	0	0	16,35

Do wykonania mieszanek zastosowano cement portlandzki CEM I 42,5R, powszechnie stosowany w przypadku produkcji elementów prefabrykowanych. Zastosowano kruszywo naturalne o uziarnieniu do 16 mm. We wszystkich mieszankach zachowano stałą wartość wskaźnika $w/c = 0,45$. Założono docelową klasę wytrzymałości betonu C40/50 oraz nasiąkliwość wagową poniżej 5%. Zastosowano superplastyfikator na bazie sulfonianów naftalenowych w ilości 2% masy cementu.

W mieszance M2 jako domieszkę przyspieszającą proces hydratacji cementu zastosowano nanodomieszkę będącą zawiesiną zawierającą zarodniki krystalizacji – fazę CSH w postaci nanocząstek. Dozowano ją w ilości 2% masy cementu.

Zhydratyzowane krzemiany wapnia, nazywane w skrócie CSH, mają budowę bezpostaciową. Jest to żel, zbudowany z silnie przyciągających się nanocząstek, którego zadaniem jest wypełnienie wszystkich miejsc między ziarnami cementu. Jest on najważniejszym składnikiem końcowego produktu, czyli kamienia cementowego i w silny sposób decyduje o właściwościach zaczynu i dojrzałego betonu. W normalnym przypadku powstawanie fazy CSH zachodzi w pobliżu ziaren cementu lub na ich powierzchni tworząc warstwę, która spowalnia późniejsze przemieszczanie się reagentów i produktów reakcji, przez co cały proces hydratacji jest utrudniony i zachodzi w znacznie dłuższym czasie. Wprowadzenie do mieszanki betonowej domieszki zawierającej nanokryształy powoduje, że wytwarzanie się żelu CSH następuje w pewnej odległości od powierzchni ziaren cementu. Dzięki temu w mniejszych ilościach wydziela się wodorotlenek wapnia, a co za tym idzie dalsza hydratacja nie jest utrudniona i może przebiegać w sprzyjających warunkach. Powoduje to powstawianie zwiększonych ilości żelu CSH, który znacząco wpływa na wytrzymałości betonu.

Badania mieszanek obejmowały określenie konsystencji metodą rozplywu stożka, zgodnie z PN-EN 12350-8, bez zagęszczania mieszanki, tak jak ma to miejsce w przypadku betonów SCC. Badania wytrzymałościowe oraz oznaczenie innych cech fizycznych badanych betonów wykonano na próbkach sześciennych o boku 150 mm.

Program badań obejmował:

- rozwój wytrzymałości na ściskanie po: 4, 6, 8, 10, 12 i 24 godzinach oraz 3, 7 i 28 dniach dojrzewania;
- rozwój wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu po: 6, 8, 10, 12 i 24 godzinach oraz 3, 7 i 28 dniach dojrzewania;
- gęstość w stanie suchym po 28 dniach dojrzewania;
- nasiąkliwość wagowa po 28 dniach dojrzewania.

Dodatkowo, wykonano próbki walcowe o średnicy 150 mm i wysokości 300 mm w celu oznaczenia 28 dniowego modułu sprężystości betonu. Próbki sześciennie formowano w dwóch warstwach, zagęszczając każdą z nich na stole wibracyjnym przez 2 sekundy. Zagęszczanie przez tak krótki czas pozwoliło na odpowietrzenie mieszanek oraz nie spowodowało segregacji ich składników. Po zaformowaniu, próbki przechowywane były w komorze, w temperaturze 20°C i wilgotności względnej 95%. Rozformowywanie następowało tuż przed badaniem, odpowiednio po 4, 6, 8, 10, 12 i 24 godzinach. Pozostałe próbki rozformowano po 24 godzinach i przechowywano do czasu badania w komorze w stałych warunkach termiczno-wilgotnościowych.

3. Wyniki badań i ich analiza

Wyniki badań konsystencji mieszanek przedstawiono w tabeli 2. Wszystkie mieszanki można zakwalifikować jako prawie samozagęszczalne – ASCC. Zaobserwowano wyraźny spadek konsystencji w przypadku mieszanki z dodatkiem nanodomieszki. W przypadku dodania mikrokrzemionki spadek konsystencji w stosunku do mieszanki referencyjnej był nieznaczny.

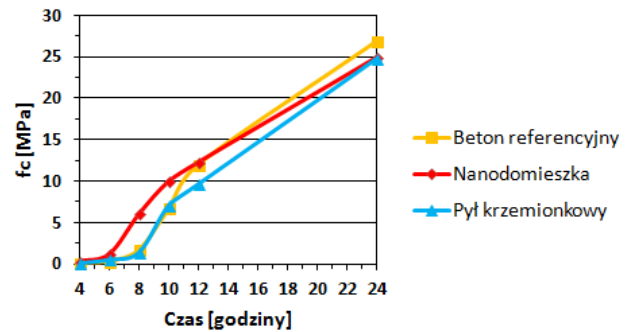
Tab. 2. Właściwości reologiczne mieszanek betonowych

Mieszanka	M1	M2	M3
Średnica rozplywu [cm]	51	36	50
Opad stożka [cm]	26	21	25

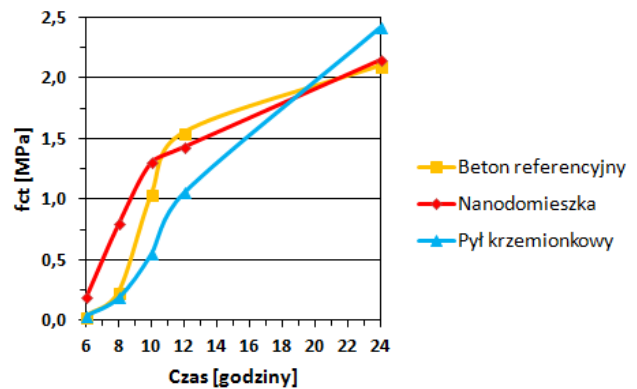
Tab. 3. Wyniki badań wytrzymałościowych

Wiek betonu	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]			Wytrzymałość na rozciąganie [MPa]		
	M1	M2	M3	M1	M2	M3
4 godziny	0,13	0,35	0,09	-	-	-
6 godzin	0,33	1,22	0,50	0,04	0,19	0,04
8 godzin	1,71	6,06	1,38	0,24	0,80	0,19
10 godzin	6,69	10,02	7,07	1,04	1,30	0,55
12 godzin	12,03	12,33	9,63	1,55	1,43	1,05
24 godziny	26,91	24,99	24,75	2,10	2,15	2,42
3 dni	36,96	37,56	36,75	2,82	2,88	3,20
7 dni	49,62	45,54	46,23	3,45	3,36	3,55
28 dni	55,14	50,64	61,11	4,49	4,18	4,37

Wartości wytrzymałości na ściskanie oraz rozciąganie przy rozłupywaniu zestawiono w tabeli 3. Analizując rozwój wytrzymałości na ściskanie (rys. 1) oraz rozciąganie przy rozłupywaniu (rys. 2) we wczesnym okresie dojrzewania betonów stwierdzono wyraźny wzrost obu wytrzymałości w przypadku dodania do betonu nanodomieszki. Różnice zanikają po około 12 godzinach, kiedy wartości wytrzymałości dla betonu referencyjnego oraz betonu z domieszką są do siebie zbliżone.



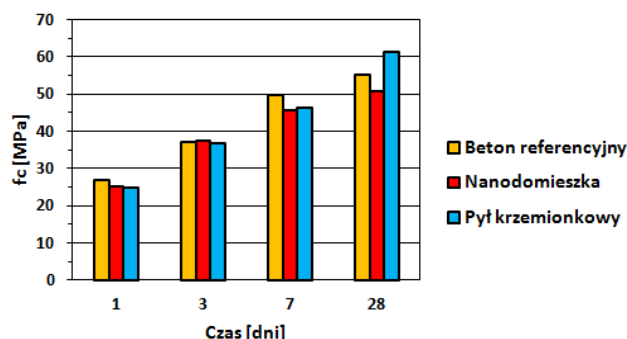
Rys. 1. Rozwój wytrzymałości na ściskanie we wczesnym okresie dojrzewania



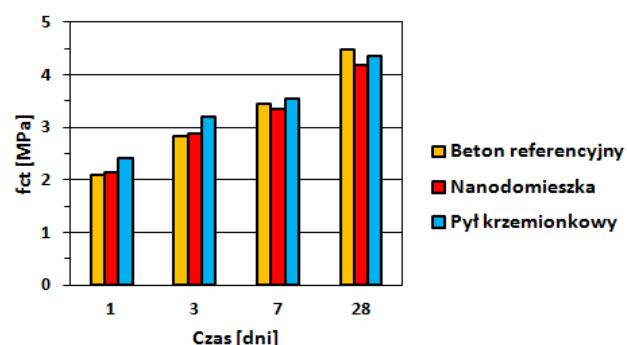
Rys. 2. Rozwój wytrzymałości na rozciąganie we wczesnym okresie dojrzewania

W przypadku betonu z mikrokrzemionką, w ciągu pierwszego dnia dojrzewania zaobserwowano najniższe wartości wytrzymałości zarówno na ściskanie, jak i rozciąganie. Wyjątkiem była tu 24-godzinna wytrzymałość na rozciąganie, która była najwyższa spośród wszystkich trzech betonów.

W późniejszym etapie dojrzewania, po 3, 7 i 28 dniach od zaformowania, nie stwierdzono pozytywnego wpływu nanodomieszki na wytrzymałości badanych betonów (rys. 3 i 4). Dla zawierającego ją betonu uzyskano najniższe wartości, zarówno jeżeli chodzi o ściskanie, jak i rozciąganie. Uzyskane wyniki pozwoliły na przypisanie go do klasy C35/45 co oznacza niespełnienie pierwotnych założeń uzyskania klasy wytrzymałości C40/50, którą uzyskano dla betonu referencyjnego. Największe wytrzymałości po 28 dniach dojrzewania uzyskano dla betonu z dodatkiem mikrokrzemionki, co pozwoliło zaklasyfikować go do klasy C45/55, wyższej niż pierwotnie zakładana.

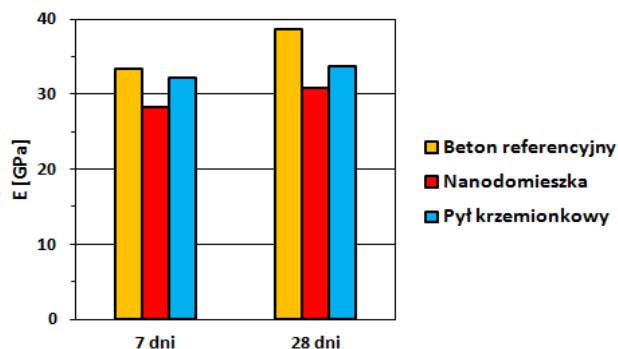


Rys. 3. Wytrzymałości na ściskanie w późniejszym okresie dojrzewania



Rys. 4. Wytrzymałości na rozciąganie w późniejszym okresie dojrzewania

Również w przypadku oznaczenia modułu sprężystości betonu po 7 i 28 dniach najniższe wartości uzyskano dla betonu z dodatkiem nanocząstek (rys. 5). Także dodanie do mieszanki mikrokrzemionki wpłynęło negatywnie na moduł sprężystości betonu.



Rys. 5. Moduły sprężystości betonów po 7 i 28 dniach dojrzewania

Wyniki pomiarów nasiąkliwości wagowej oraz gęstości betonów po 28 dniach dojrzewania zestawiono w tabeli 4. W przypadku wszystkich trzech badanych betonów udało się spełnić założenie dotyczące ich maksymalnej nasiąkliwości, uzyskane wartości nie przekroczyły 5%. Zaobserwowano wzrost nasiąkliwości w przypadku dodania do betonu nanodomieszki oraz jej zmniejszenie dla betonu z mikrokrzemionką. Odnotowano również różnicę w gęstości pomiędzy betonami M1 i M3, dla których kształtowała się ona na poziomie 2350 kg/m³, a betonem z nanodomieszką – M2, którego gęstość osiągnęła wartość około 2300 kg/m³ pomimo tego, że do sporządzenia tej mieszanki użyto największej ilości materiałów (tab. 1).

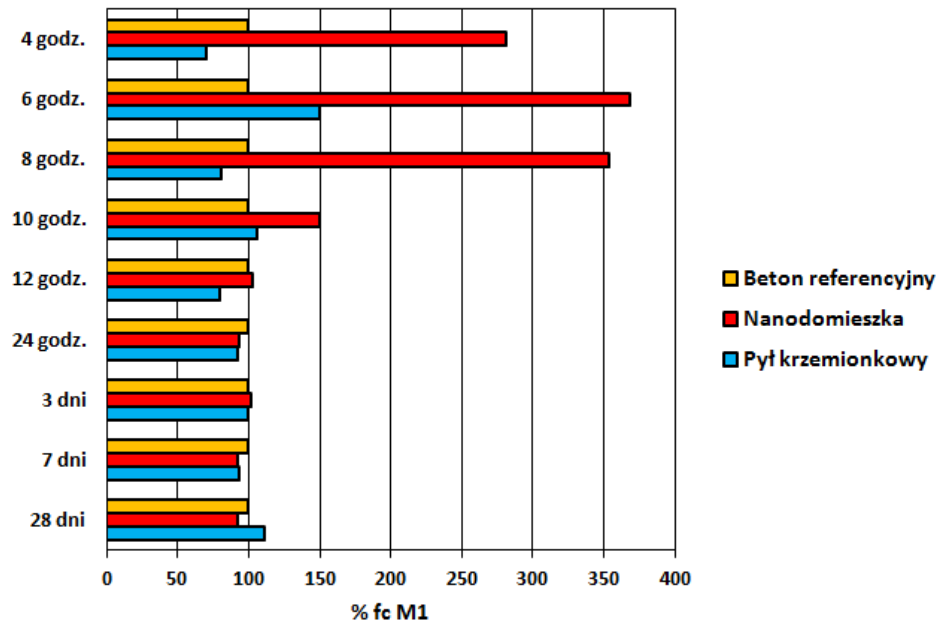
Tab. 4. Nasiąkliwość oraz gęstość badanych betonów

Mieszanka	M1	M2	M3
Nasiąkliwość [%]	3,3	3,6	3,1
Gęstość w stanie suchym [kg/m ³]	2352	2301	2356

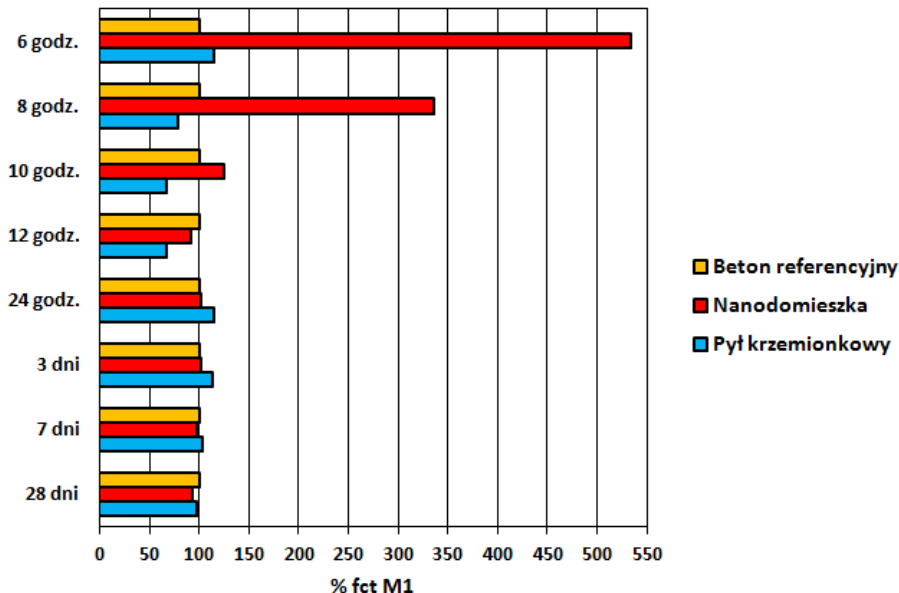
4. Podsumowanie

Wszystkie wykonane mieszanki charakteryzowały się konsystencją pozwalającą na zaklasyfikowanie ich jako betony prawie samozagęszczalne – ASCC, więc mogły być ułożone z ograniczonym do minimum zagęszczaniem.

Zastosowanie nanotechnologii w produkcji betonu w zakładach prefabrykacji może stanowić alternatywę dla typowych domieszek przyspieszających twardnienie betonu lub obróbki cieplnej elementów prefabrykowanych. Zaobserwowano pozytywny wpływ domieszki zawierającej nanocząsteczki fazy CSH na wczesne wytrzymałości betonu zarówno na ściskanie, jak i rozciąganie. Wpływ ten najwyraźniej widać w trakcie pierwszych 10 godzin dojrzewania betonu (rys. 6 i 7). W późniejszym okresie nastąpił jednak spadek wytrzymałości oraz modułu sprężystości w stosunku do betonu referencyjnego, przez co nie udało się uzyskać betonu o zakładanej klasie wytrzymałości. Zwiększeniu uległa także nasiąkliwość betonu, jednak w tym przypadku nie przekroczono wartości dopuszczalnej. Analizując właściwości reologiczne zaobserwowano wyraźny spadek konsystencji mieszanki M2



Rys. 6. Procentowy udział wytrzymałości na ściskanie betonów M2 oraz M3 w porównaniu do betonu referencyjnego M1



Rys. 7. Procentowy udział wytrzymałości na rozciąganie betonów M2 oraz M3 w porównaniu do betonu referencyjnego M1

w porównaniu do dwóch pozostałych, co należy mieć na uwadze przy projektowaniu składu mieszanki.

Dodatek mikrokrzemionki spowodował nieznaczne zmniejszenie tempa narastania wytrzymałości, pozwolił jednak na osiągnięcie wyższych wytrzymałości po 28 dniach dojrzewania oraz spowodował obniżenie nasiąkliwości betonu. Nie zauważono także dużego spadku konsystencji w porównaniu do mieszanki referencyjnej.

Literatura

- Bołtryk M., Lelusz M. (2004). Technologia konstrukcji prefabrykowanych. *Politechnika Białostocka*, Białystok 2004.
- Chęcińska K. (2012). Prefabrykaty żelbetowe w budownictwie drogowo-mostowym 2010-2012 – przykłady i zastosowanie. W: Materiały „Dni betonu 2012”, Wisła, 695-704.
- Golda A., Kaszuba S. (2008). Wpływ zabiegów technologicznych na tempo narastania wytrzymałości na ściskanie betonu. *Reologia w technologii betonu*, Gliwice, 25-32.
- Kłosa M., Pauch C. (2005). Stosowanie betonu samozagęszczalnego w produkcji elementów prefabrykowanych. *Reologia w technologii betonu*, Gliwice, 113-120.

- Paprocki A., Szewczyk S. (1976). Prefabrykacja budowlana cz. I. WSiP, Warszawa.
- Pużak T., Skalec H., Grzesiak K. (2010). Nanotechnologia w prefabrykacji betonowej. *Reologia w technologii betonu*, Gliwice, 45-56.
- Świerczyński W. (2002). Produkcja prefabrykatów betonowych w technologii ASCC i SCC. *Reologia w technologii betonu*, Gliwice, 31-42.

INFLUENCE OF CSH NANOCRYSTALS ON STRENGTH OF THE CONCRETE USED IN PRECAST ELEMENTS IN ROAD AND BRIDGE CONSTRUCTION

Abstract: The paper presents the results of laboratory tests of the influence of the chemical admixture containing the CSH nanocrystals on the early strength of concrete. Achieving high

early strength of the concrete is necessary for the fast formwork removal from prefabricated elements used in road and bridge construction. Faster binding allows to shorten the manufacturing process and is increasing the productivity of the plant. For the tests three mixtures were used: reference one, mixture with the chemical admixture and mixture with the addition of silica fume. The compressive and the tensile splitting strength of the concrete were determined for the time of 12 hours from the time of preparation of the samples and after 1, 3, 7 and 28 days. The results allowed to confirm the positive effect of the chemical admixture containing the CSH nanocrystals on the early strength of the concrete.

Dyskusje

S-19 ekspresowa „Ściany Wschodniej”, czy...?



Proces przygotowania takiej drogi ekspresowej zaczął się na poważnie w momencie podjęcia inicjatywy budowy tej drogi przez Ministerstwo Transportu 27.10.2006 roku. Ministrowie Transportu czterech krajów: Litwy, Słowacji, Węgier i Polski podpisali w Łańcucie deklarację, w której zobowiązali się do wspólnych działań w ramach Unii Europejskiej na rzecz utworzenia sprawnego, najkrótszego szlaku drogowego łączącego Europę północną i południową. Szlak ten ma przebiegać od Kowna, przez Białystok, Lublin, Rzeszów, Preszów, Koszyce, Miskolc do Debreczyna. Długość całego szlaku wyniesie ponad 1 000 km, z czego na terenie Polski ma to być droga ekspresowa długości około 650 km.

Ministrowie Transportu ww. krajów w obecności Prezydenta RP Lecha Kaczyńskiego podpisali Deklarację Łańcucką w sprawie Rozszerzenia Transeuropejskiej Sieci Transportowej, w której uzasadnili konieczność budowy takiej drogi, między innymi deklarując że: „*podejmą wszelkie możliwe działania w celu utworzenia szlaku drogowego Kowno – Białystok – Lublin – Rzeszów – Preszów – Koszyce – Miskolc – Debreczyn, będą uwzględniać wymieniony szlak drogowy jako jeden z priorytetowych w krajowych politykach transportowych, podejmą wszelkie możliwe działania w celu włączenia wymienionego szlaku drogowego na całej długości do Transeuropejskiej Sieci Transportowej w ramach rewizji wytycznych Wspólnoty planowanej na 2010r.*”

Podpisanie Deklaracji nastąpiło w czasie międzynarodowej konferencji pod hasłem: „Jedna droga – cztery kraje” zorganizowanej pod egidą Ministra Transportu RP Jerzego Polaczka i Wojewody Podkarpackiego Ewy Draus. Merytoryczną część konferencji obejmowała dyskusję panelową z udziałem władz rządowo – samorządowych oraz przedstawiciela DG TREN Komisji Europejskiej, który przedstawił: „Ostatnie wydarzenia i obecny status sieci TENT–T Unii Europejskiej w tym informację dotyczącą planowanej, kolejnej rewizji Wytycznych Wspólnoty”. Przedstawicielem Politechniki Rzeszowskiej ale i SITK był prof. Andrzej Jarominiak, który przygotował wystąpienie „Wyjątkowe znaczenie dla Polski i UE sprawnej trasy samochodowej w korytarzu drogi S-19”.

Z późniejszych informacji wynikało, że tą drogą zainteresowani są również inni członkowie UE jak Łotwa, Estonia a nawet Finlandia.

W międzyczasie droga S-19 weszła do Strategii Rozwoju Transportu przyjętej przez Radę Ministrów. Należało zatem przypuszczać, że działania resortu transportu mają ciągłość w zakresie podejmowania inicjatywy faktycznego włączenia drogi S-19 do sieci TENT–T. Niestety okazało się, że te działania są mało istotne w działaniach obecnego resortu i rządu w zakresie zaangażowania w zmiany sieci TENT–T. Dowiedzieliśmy się o tym w roku 2012 w wyniku inicjatywy euro posła Tomasza Poręby /PiS/, który na szczepku Euro parlamentu działał w zakresie wprowadzenia drogi S-19 do sieci TENT–T. Inicjatywy te bowiem dawały szanse przyznania odpowiednich środków UE na ten szlak drogowy. Takie postępowanie spowodowało również odpowiednie nagłośnienie drogi S-19 w kraju, w wyniku czego Konwent Marszałków zorganizowany również w Łańcucie w 2012 roku przypomniał o tej sprawie, zobowiązując rząd do podjęcia działań w tej sprawie.

Należy tu dodać, że temat drogi S-19 był cały czas obecny w programach działania Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad oraz Marszałków województw, w szczególności GDDKiA Oddział w Rzeszowie i Marszałka Województwa Podkarpackiego.

W wyniku tych działań na dzień dzisiejszy przedstawia się on następująco:

- Budowa drogi ekspresowej S-19 Łązek Ordynacki /granica województw/ – węzeł Rzeszów południe /Kielanówka/:
- odcinek Łązek Ordynacki – węzeł Sokołów Młp. Północ – etap złożenia wniosku o Decyzję Środowiskową /realizacja projektu – buduj/
- odcinek węzeł Sokołów Młp. Północ – węzeł Rzeszów południe /Kielanówka/ – etap gotowej dokumentacji /realizacja projektu – buduj/ – czeka na zapewnienie finansowania i ogłoszenie przetargu, w tym odcinek Stobierna – węzeł wschodni A4 Rzeszów, z łącznikiem do Rzeszowa, włączony do ruchu 30.04.2013 roku.

- Budowa drogi ekspresowej S-19 węzeł Rzeszów południe /Kielanówka/ - Barwinek – złożony wniosek o wydanie Decyzji Środowiskowej.

Analizując Strategię Rozwoju Transportu do 2020 roku /z perspektywą do 2030 roku/ przyjętą przez Radę Ministrów w dniu 22.01.2013 czytamy, że „Wyzwaniem dla Polski jest w pierwszej kolejności usunięcie zaległości w rozbudowie, modernizacji i rewitalizacji infrastruktury transportowej oraz połączenie infrastrukturalne najważniejszych ośrodków wzrostu z obszarami o niższej dynamice rozwoju i włączenie ich w sieć transportu europejskiego TEN-T”. Wynika stąd jedno, że zaczynamy „całą zabawę” z siecią dróg krajowych na tak zwanej ścianie wschodniej od nowa, a ewentualne włączenie S-19 do tej sieci odkładamy do następnej planowanej za parę lat zmian TEN-T.

Trzeba na końcu dodać, że kiedy GDDKiA oddział Rzeszów opracowuje plany budowy S-19 od granicy z woj. Lubelskim do Barwinka, z informacji od innych Kolegów z woj. Lubelskiego i Białostockiego wiemy, że traktują oni tę drogę jako mało istotną dla planów ministerialnych i nie zabiegają o jej realizację, co wynika również z wypowiedzi Premiera w Rzeszowie, że będzie budował na razie odcinek od Lublina do Rzeszowa.

Odpowiedzmy sobie zatem na pytania:

- Czy S-19 jest to istotny element sieci dróg na tak zwanej ścianie wschodniej?
- Czy plany rozwoju województw wschodnich to tylko interes tych województw?
- Czy istnieje w kraju jakiś interes narodowy uwzględniający tereny Polski wschodniej?
- Czy O/SITK nie mają prawa brać udziału w takiej dyskusji, w której wyklucza się ważną sieć drogową z międzynarodowej sieci dróg w Polsce, a jednocześnie łączącą stolice trzech województw w tak zwanej ścianie wschodniej?

Czas by Stowarzyszenie zaczęło mówić własnym głosem o sprawach najważniejszych dla kraju czy swoich regionów. Przyszedł czas do rozmowy o sprawach obywatelskich skoro partia z takim hasłem w nazwie zupełnie się od tych spraw odwraca plecami.

Oczekujemy na dyskusję w tym zakresie z kolegami z Oddziałów Lublin i Białystok, a także z Rzeszowa.

mgr inż. Edward LUDERA
Członek Honorowy SITK RP
Prezes Honorowy Oddziału SITK RP w Rzeszowie
Członek Zarządu Krajowego SITK RP

Dyskusje

Refleksje Profesora Andrzeja Jarominiaka nt. S-19, czyli PS do artykułu Prezesa Edwarda Ludery



Artykuł Kol. Prezesa inż. Edwarda Ludery na temat drogi ekspresowej S19 wywołuje szereg refleksji. Uwidacznia charakterystyczne cechy naszej współczesności: zarządzanie z użyciem błędnych instrumentów ekonomicznych oraz brak wyobraźni u decydentów.

Bezdiskusyjną zasadą wyboru przedsięwzięcia inwestycyjnego powinien być wynik rachunku ekonomicznego – należy wybierać rozwiązania, które umożliwiają osiągnięcie celów merytorycznych przy najniższych kosztach. Jednak rachunek ekonomiczny musi być poprawnie wykonany, tzn. musi uwzględniać wszystkie koszty i wszystkie zyski. Znana firma brytyjska Maunsell, specjalizująca się w przedsięwzięciach innowacyjnych, opublikowała w latach 1980-tych wyniki studiów nad opłacalnością stosowania rozwiązań wynalazczych. Z tych studiów jednoznacznie wynika, że zwyczajowa ocena rachunkiem ekonomicznym celowości inwestowania w rozwiązanie innowacyjne w zasadzie zawsze wykazuje, że jest to nieopłacalne. Dopiero uwzględnienie wszystkich następstw rozwiązania innowacyjnego, w tym materialnych i społecznych, kosztów użytkowania i utrzymania w perspektywie wieloletniej daje rzetelne podstawy oceny opłacalności innowacji, w stosunku do rozwiązań konwencjonalnych. Dlatego kierowanie się wynikiem de facto prymitywnego rachunku ekonomicznego, porównującego tylko bezpośrednie koszty jest po prostu zawodne. Od dawna wiadomo, że z gruntu błędny jest obowiązek wyboru oferty, która podaje najniższy koszt. W Polsce przed II Wojną Światową w przetargach na roboty z zakresu infrastruktury transportu 'z urzędu' odrzucano oferty najwyższą i najniższą. Zasada odrzucania najniższej eliminowała nieuczciwych oferentów i zapobiegała ryzykownej tendencji obniżania oferowanych kosztów realizacji przedsięwzięcia poniżej granicy, której przekroczenia prowadzi do złej jakości robót. Cóż z tego, że ponosi się mniejsze koszty inwestycji, gdy po upływie niewielu lat są potrzebne duże nakłady na utrzymanie jej w stanie wymaganym. Doświadczenia z przeszłości są współcześnie ignorowane.

Uznanie budowy drogi S19 za zadanie drugorzędne jest przykładem konsekwencji ewidentnie błędnego

rachunku ekonomicznego. Twierdzi się, że mała wartość prognozowanego dla tej drogi ruchu samochodowego nie kwalifikuje jej do priorytetowego inwestowania. Pomija się korzyści gospodarcze i społeczne, jakie przyniesie zbudowanie całej S19 oraz prawidłowość, że zbudowanie drogi o wyższych parametrach ruchu niż drogi sąsiednie zawsze „przyciąga” z nich część ruchu. Swoistym przykładem górowania „formy nad treścią” jest problem lokalizacji trasy S19. Mimo ewidentnie międzynarodowego znaczenia tej drogi, jej trasę w rejonie Lublina i Białegostoku poprowadzono zbyt blisko tych aglomeracji, gdyż umożliwiło to uzasadnienie budowy S19 poziomem związanego z tymi aglomeracjami ruchu samochodowego.

Decydenci dbają o stworzenie dobrych warunków transportu samochodowego w kierunku równoleżnikowym, którym są zainteresowane państwa Europy zachodniej. Natomiast niedoceniają korzyści, jakie da Polsce budowa międzynarodowej szybkiej trasy drogowej północ – południe, którą będzie S19. Jest to duży błąd i gospodarczy i polityczny. Ta droga ma fundamentalne znaczenie dla rozwoju ekonomicznego i społecznego „ściany wschodniej”. Będzie bowiem połączeniem przez wschodnie tereny Polski krajów skandynawskich, Finlandii, Łotwy, Estonii i Litwy z Europą środkową, krajami Bałkanów oraz Bliskim Wschodem. Będzie trasą rokadową wzdłuż wschodniej granicy Unii Europejskiej. Trasa ta powinna być możliwie szybko zbudowana jako ekspresowa, ale tak aby w przyszłości można było ją przebudować na autostradę. Zbudowanie S19 będzie miało korzystne następstwa nie tylko we wschodniej części Polski, ale można oczekiwać, że także w innych rejonów Kraju. Zmieni układ optymalnych tras transportu samochodowego łączących wschód i centrum Kraju. Zrealizowanie S19 spowoduje rozwój gospodarczy i kulturowy sąsiednich terenów oraz otworzy dla nich okno na świat. Będzie to jedyne całkowicie lądowe, najkrótsze połączenie Europy północnej ze środkową oraz z Bałkanami i Bliskim Wschodem. Drugie połączenie, ale dłuższe i z przeprawą morską, to duńska trasa przez Bałtyk mostami i tunelem.

Już raz, w latach 1970-tych, zmarnowaliśmy historyczną okazję uzyskania korzyści z połączenia północy Europy z południem śródlądową drogą wodną, przez Szczecin, Odrę, kanał Gliwicki i dalej przez rzeki Czechosłowacji, do Dunaju - zrobili to Niemcy przez Ren. Uczestniczyłem wtedy, jako członek prezydium Rady Techniczno-Ekonomicznej Ministra Komunikacji (kierowanej przez inż. Mariana Olewińskiego), w staraniach o zaangażowanie się Polski w to przedsięwzięcie. Teraz zanosi się powtórka z historii, zwłaszcza że – jak wieść niesie – zbudowaniem u siebie trasy konkurencyjnej z S19 jest zainteresowana Ukraina i już podjęła w tym kierunku realne działania.

Obecnie jest wyraźnie widoczna tendencja obozu rządzącego eliminacji ze stanowisk decydenckich ludzi z wykształceniem technicznym. Widać to wyraźnie w resorcie infrastruktury transportu. Można wnioskować, że rządzącym przeszkadza mentalność inżynierów, których cechuje logika i racjonalność działania, konsekwencja w osiąganiu celów oraz wyróżnia poczucie odpowiedzialności. Największy rozwój gospodarczy Polski przedwrześniowej był w okresie, gdy o jej gospodarce decydował inżynier chemik Eugeniusz Kwiatkowski: w latach 1927-1930 i 1935-1939, a stagnacja wystąpiła w latach 1930-1935 (Wielkiego Kryzysu), po zdymisjonowaniu przez J. Piłsudskiego inż. Kwiatkowskiego ze stanowiska Ministra Przemysłu i Handlu oraz ustąpieniu ze stanowiska premiera – matematyka prof. Kazimierza Bartla. Powrót do władzy inż. E. Kwiatkowskiego (powołanie na stanowisko wicepremiera) po śmierci J. Piłsudskiego zaowocował, między innymi, zbudowaniem Centralnego Okręgu

Przemysłowego i rozbudową Gdyni, której budowę zapoczątkował inż. E. Kwiatkowski będąc szefem resortu przemysłu i handlu. Uważa się, że podstawowe znaczenie dla bezprecedensowego rozwoju Polski przedwrześniowej miało wprowadzenie z inicjatywy inż. E. Kwiatkowskiego w 1927 roku systemu zarządzania przedsiębiorstwami państwowymi takiego, jaki stosowały przedsiębiorstwa prywatne.

Kol. Prezes E. Ludera poruszył fundamentalny temat roli i zachowania się SITK w sprawach dotyczących infrastruktury transportu. Niestety trzeba z przykrością stwierdzić, że mimo oficjalnej swobody poglądów, czego symbolem ma być likwidacja urzędu cenzorskiego na ul. Mysiej w Warszawie, w organizacjach reprezentujących środowiska profesjonalne generalnie panuje zasada nie narażania się władzy. Doprowadziło to do nie liczenia się decydentów z opiniami kompetentnych środowisk. Dlatego właśnie dziś wielu młodych inżynierów i techników nie widzi sensu angażowania się w działalność stowarzyszeniową ponieważ uważa, że stowarzyszenia profesjonalne nie mają merytorycznego wpływu na to, co dzieje się w Kraju i że nie działają w interesie swoich szeregowych członków. Konieczna jest radykalna zmiana postępowania stowarzyszeń, w tym SITK, w kierunku który z resztą wynika ze statutów tych organizacji. Ale jest to temat wymagający odrębnej dyskusji.

Prof. inż. Andrzej JAROMINIAK
Członek Honorowy SITK RP

Abstracts

Vol. 5 No. 1

Katarzyna GŁADYSZEWSKA-FIEDORUK, Tomasz MANOWSKI

Characteristics of chosen air-conditioning systems in the hotel space

The paper compares two types of air conditioning systems with differing principle of action-i.e. and using various factors: working freon and water ice. Both solutions have passed a long way of development and represent the currently high level of technology. So the question becomes – which one is better? Tradition or modernity? The systems can exist next to each other, or can be seen a gradual supersession one of them from the market. Comparative analysis of performance parameters of both circuits will attempt to answer this question. The paper includes information about systems with direct and indirect desiccation of the refrigerant. Design data: concepts, selection of equipment and their detailed comparison, were presented.

Marzena MATEJCZYK

Environmental and recombinant microorganisms for biopharmaceuticals production

Current, very fast development of genetic engineering and protein engineering (main segments of modern biotechnology) is a good way for commercially production of proteins, which benefit biopharmaceutical, the enzyme and agricultural industries. These products augment the fields of medicine, diagnostics, food, nutrition, detergents, textiles, leather, paper, pulp, polymers and plastics. Proteins with biopharmaceutical application are mainly clinical reagents, vaccines and drugs. During the last decade, the pharmaceutical biotechnology represents the fastest growing segment in the biotechnology sector. Production of recombinant proteins for use as pharmaceuticals, is a multi-billion dollar industry. One third of the biopharmaceuticals has come from microorganisms, such as *Escherichia coli* and yeast. The selection of expression systems depends on the size and biochemical status of proteins. Large proteins and proteins that require glycosylation are usually expressed in a mammalian cells, fungi or the baculovirus system. Smaller proteins are produced by prokaryotic cells. There are some very useful advantages for prokaryotic recombinant expression systems: it is easy of culture, very rapid cell growth with possibility of IPTG expression induction and quite simple product purification. On the other hand, for very large proteins, for S-S rich proteins and proteins which require post-translational modifications, bacteria, usually *E. coli* strains are not robust system. Better are yeasts with very popular species *Saccharomyces cerevisiae* and *Pichia pastoris*. This article presents the current application of microbes as production platforms for recombinant proteins and its genetic engineering for the use as biopharmaceuticals.

Joanna PIOTROWSKA-WORONIAK, Grzegorz WORONIAK

Thermomodernisation of the historic churches

The thermomodernisation was carried out in four historic churches located in the area of the Drohiczyn Diocese. The annual energy effects that could be archived as a result of the proposed improvements were shown. Optimal range of thermomodernisation in these facilities was proposed.

Mikołaj SYCZEWSKI, Genadij SHIROKIY, Pavel JUCHNEVSKIJ

Effectiveness of plasticizing admixtures for concrete as a function of their dipole moments

Paper presents the evaluation method of dipole molecule moment of plasticizing chemical admixtures for cement concrete. Based on the dielectric permittivity of substance and computation of dipole molecule moments of admixture, decrease of water content in concrete mix was evaluated.

Monika SZCZOTKOWSKA, Piotr BRZOZOWSKI

Influence of CSH nanocrystals on strength of the concrete used in precast elements in road and bridge construction

The paper presents the results of laboratory tests of the influence of the chemical admixture containing the CSH nanocrystals on the early strength of concrete. Achieving high early strength of the concrete is necessary for the fast formwork removal from prefabricated elements used in road and bridge construction. Faster binding allows to shorten the manufacturing process and is increasing the productivity of the plant. For the tests three mixtures were used: reference one, mixture with the chemical admixture and mixture with the addition of silica fume. The compressive and the tensile splitting strength of the concrete were determined for the time of 12 hours from the time of preparation of the samples and after 1, 3, 7 and 28 days. The results allowed to confirm the positive effect of the chemical admixture containing the CSH nanocrystals on the early strength of the concrete.