

Jerzy R. ADAMCZYK, dr inż.

Politechnika Lubelska
Katedra Konserwacji Zabytków
ul. Nadbystrzycka 40, 20-618 Lublin

MOŻLIWOŚĆ WYKORZYSTANIA PRZEWYMIAROWANEJ SIECI CIEPŁOWNICZEJ JAKO AKUMULATORA CIEPŁA

STRESZCZENIE

W referacie na przykładzie przewymiarowanej istniejącej sieci ciepłowniczej przeanalizowano możliwość wykorzystania jej jako akumulatora ciepła. Rozpatrzono możliwość zastosowania nowego systemu izolacji istniejącej sieci kanałowej. Podano uzyskane efekty zastosowanych rozwiązań.

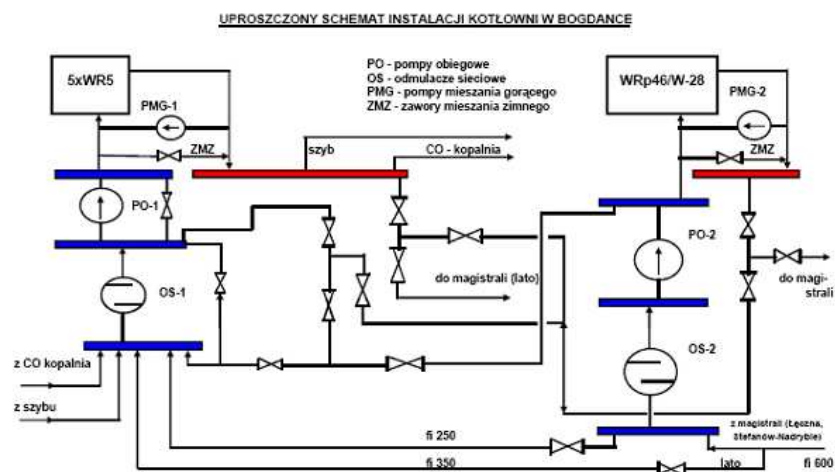
1. WPROWADZENIE

W artykule omówiono możliwości wykorzystania przewymiarowanej, magistralnej sieci ciepłowniczej dn 500 z ciepłowni w Bogdanie do miasta Łęczna jako akumulatora ciepła. Dotychczasowe rozważania właściciela sieci (Spółka „Łęczyńska Energetyka”) dotyczyły jedynie możliwości zmniejszenia przekroju rur sieciowych poprzez wymianę sieci kanałowej na sieć preizolowaną i tym samym uzyskanie mniejszych strat ciepła na przesyle.

2. OPIS OBECNEJ CIEPŁOWNI W BOGDANCE

Obecna kotłownia w Bogdanie wyposażona jest w 6 zmodernizowanych wodnych kotłów rusztowych:

- kocioł WRp;46 /W 28, który z kotła narzutowego został przerobiony na kocioł wodny W;28 z podajnikiem kaskadowym i warstwowym układaniem paliwa na ruszcie (miał węglowy i biomasa) ,
- 5 kotłów rusztowych WR 5 z podajnikami kaskadowymi i warstwowym układaniem paliwa na ruszcie (miał węglowy i biomasa).



Rys. 1 Schemat ciepłowni

Fig. 1 Scheme of the thermal power station

W sezonie grzewczym w zależności od temperatury zewnętrznej pracuje kocioł WRp;46/W;28 oraz kilka (max do 5) kotłów WR5. W razie konieczności możliwa jest również praca tylko kilku kotłów WR 5, ale tylko w przypadku remontu lub czyszczenia kotła WRp;46/W;28. Kocioł WRp;46/W;28 ma wyższą sprawność oraz większą elastyczność pracy. W okresie letnim pracuje 1 lub okresowo 2 kotły WR 5. Wszystkie kotły zostały zmodernizowane w latach 2006 ;2011 i obecnie posiadają dwa niezależne zasobniki (bunkry) opału: jeden na miał węglowy, a drugi na biomasę. Oba zasobniki poprzez niezależne podajniki kaskadowe sterowane silnikami z przetwornicami częstotliwości zapewniają dostawę paliwa do kotła i jego warstwowe układanie na ruszcie. Dolna warstwa to miał węglowy, a nad nią znajduje się biomasa (zrębki drzewne). Rzeczywisty poziom zapotrzebowania na moc ciepłą w sezonie grzewczym podano w poniższej tabeli.

Tabela 1. Zapotrzebowanie ciepła w roku

Table 1. Demand of the warmth in the year

Lp	Rodzaj sieci	Moc na co + wentyl.	Moc na cwu	Straty przesyłu	Moc ogółem	Udział mocy
-	-	kW	kW	kW	kW	%
1	dla miasta Łęczna	20 220	2 900	4700	27 820	55
2	dla pola „Bogdanka”	10 440	600	700	11 740	23
3	Dla pola „Stefanów” i „Nadrybie”	9 200	800	1200	11 200	22
	Razem	39 860	4 300	6 600	50 760	100

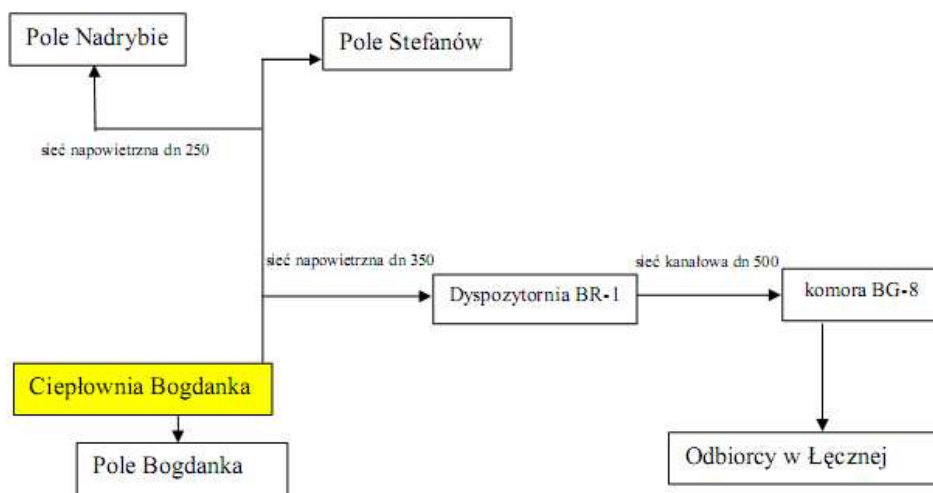
Lp	Rodzaj sieci	Moc na cwu	Straty przesyłu	Moc ogółem	Udział mocy
-	-	kW	kW	kW	%
1	dla miasta Łączna	2 900	1 200	4 100	71
2	dla pola „Bogdanka”	600	100	700	12
3	Dla pola „Stefanów” i „Nadrybie”	800	200	1 000	17
	Razem	4 300	1 500	5 800	100

Poziom mocy zamówionej przez wszystkich odbiorców ciepła przekracza o 10 do 20 % wyżej podane moce rzeczywiste.

3. SIECI CIEPŁOWNICZE ZASILANE Z CIEPŁOWNI W BOGDANCE

Z kotłowni w Bogdance zasilane są 3 sieci ciepłownicze :

1. dla potrzeb pola wydobywczego „Bogdanka”: tj. obiekty położone blisko kotłowni,
2. dla potrzeb pól wydobywczych „Stefanów” i „Nadrybie” położonych około 3 i 6 km (licząc po sieci) od kotłowni w Bogdance, sieć ta posiada krótki wspólny odcinek z poniższą siecią do Łącznej (jedno wyjście z kotłowni),
3. dla potrzeb miasta Łączna położonego 11 km od kotłowni.



Rys. 2. Schemat blokowy sieci ciepłowniczych
Fig. 2. Flow diagram of heat distribution networks

W/w układ sieci powoduje:

- znaczne zróżnicowanie czasu dostawy energii cieplnej do poszczególnych odbiorców przyłączonych do tych sieci,
- konieczność utrzymywania poziomu ciśnienia w źródle, a tym samym w każdej z sieci na poziomie zapewniającym obieg wody grzewczej przez urządzenia najdalej położonych odbiorców (teren miasta Łączna) – wspólne źródło ciepła oraz wspólne pompy obiegowe. Sieć ciepłownicza do miasta Łączna wybudowana była w latach 80; tych przy założeniu, że miasto znacznie się rozbuduje. Sieć ta składa się z dwóch odcinków:
- pierwsza część; napowietrzna o średnicy 2 x dn 350mm (około 6 km),
- druga część; podziemna kanałowa 2 x dn 500 mm (około 5 km).

Do przewidywanej rozbudowy miasta jednak nie doszło i wybudowany odcinek sieci kanałowej o średnicy 2 x dn 500 jest znacznie przewymiarowany w stosunku do obecnego zapotrzebowania na ciepło. Powoduje to generowanie znacznych strat ciepła do otoczenia, które podwyższają w znacznym stopniu cenę ciepła dla odbiorców końcowych. Obecna sieć dn 500 ułożona w kanale zaizolowana jest watą szklaną o grubości 60 (powrót) lub 80 cm (zasilanie) okrytą płaszczem cementowym. Straty ciepła w warunkach obliczeniowych dla tej sieci przy obecnych parametrach pracy źródła 115/65 °C osiągają poziom około 240 W/m dla rurociągu zasilającego oraz 160 W/m dla powrotu. Przestrzeń kanałowa po wielu latach eksploatacji wykazuje znaczne nieszczelności na połączeniach elementów prefabrykowanych, które powodują okresowe zalewanie wodami gruntowymi czy opadowymi kanału wraz z rurociągami. W celu ograniczenia strat ciepła zaplanowano wymianę tego odcinka sieci i zastąpienie jej siecią preizolowaną o średnicy 2 x dn 300 przy następujących założeniach :

- prace modernizacyjne poprzedzone zostaną wymianą całej izolacji na odcinku napowietrznym 2 x dn 350 – zabudowa materiałów o lepszej izolacyjności termicznej,
- nowe rury preizolowane prowadzone będą po trasie starej sieci ciepłowniczej, a na czas prowadzenia prac modernizacyjnych przewiduje się wybudowanie naziemnej sieci tymczasowej (by; pasów z rur preizolowanych) o średnicy 2 x dn 200,
- po wybudowaniu sieci preizolowanej podniesiona zostanie temperatura pracy sieci i źródła do poziomu 130/70 °C w celu utrzymania poziomu ciśnienia nie przekraczającego 1,6 MPa. Straty ciepła w warunkach obliczeniowych dla sieci preizolowanej dn 300 wyniosą :
- przy obecnych parametrach pracy źródła 115/65 °C około 80 W/m dla rurociągu zasilającego oraz 42 W/m dla powrotu,
- przy podniesionych parametrach pracy źródła tj. 130/70 °C około 94 W/m dla rurociągu zasilającego oraz 46 W/m dla powrotu.

4. MOŻLIWOŚĆ WYKORZYSTANIA ODCINKA SIECI O ŚREDNICY DN 500 JAKO AKUMULATORA CIEPŁA

Akumulator to zasobnik (zbiornik) ciepła, który magazynuje energię ciepłą w postaci gorącej wody. Zbiornik jest w pełni wypełniony wodą chłodną i gorącą. Gorąca woda gromadzi się w jego górnej części i oddzielona jest termokliną o stosunkowo nie-

wielkiej grubości, od wody zimnej zalegającej w dolnej części zbiornika. Podczas ładowania, gorąca woda z kotłów wypycha zimną ku dołowi, która następnie wpływa do kotłów. Zaś przy rozładowywaniu woda powrotna – zimna, wypiera wodę gorącą do góry, do rurociągu zasilającego. Poziom wody w akumulatorze praktycznie nie ulega zmianie, zmienia się jedynie ilość wody gorącej i zimnej w akumulatorze, a więc położenie termokliny. Podstawowe zadanie akumulatora ciepła to wyrównywanie obciążenia źródła ciepła przy zmiennym zapotrzebowaniu energii przez odbiorców, które dodatkowo pozwala na:

- pokrywanie szczytowego zapotrzebowania na ciepło,
- wzrost sprawności eksploatacyjnej jednostek wytwórczych poprzez ich stabilną pracę, przy wyrównanym obciążeniu cieplnym, – zmniejszenie zużycia paliwa jako konsekwencja stabilnej pracy przy wyrównanym obciążeniu,
- zmniejszenie emisji zanieczyszczeń jako konsekwencja mniejszego zużycia paliwa i stabilnej pracy przy wyrównanym obciążeniu,
- stabilne i ciągłe działanie jednostek wytwórczych wpływa na ich mniejsze zużycie i niższą awaryjność, obniżając tym samym koszty remontów,
- możliwość uniknięcia czasowego uruchamiania dodatkowych jednostek wytwórczych dla pokrycia zmiennego zapotrzebowania na ciepło,
- możliwość pracy źródła ciepła w okresach w których chwilowe zapotrzebowanie ciepła przez odbiorców jest niższe niż minima techniczne urządzeń wytwórczych,
- możliwość zwiększenia produkcji w skojarzeniu w EC,
- możliwość wytwarzania w EC energii elektrycznej w okresach szczytowego jej zapotrzebowania,
- zmniejszenie strat wody sieciowej, akumulatory pełnią rolę naczyń wzbiórczych w systemie,
- niższe koszty inwestycyjne w przypadku montażu nowych jednostek wytwórczych w źródle energii, z uwagi na wymaganą ich mniejszą moc cieplną.

Istniejący odcinek sieci ciepłowniczej o średnicy dn 500 to „zbiornik” o pojemności blisko 2 000 m. Maksymalny rozbiór wody grzewczej dla miasta Łęczna w sezonie grzewczym wynosi 500 m³/h, a w okresie lata 150 m³/h. Pełne wykorzystanie tego odcinka sieci wymaga oczywiście zabudowania dodatkowych urządzeń, ale istniejąca infrastruktura magistrali ciepłowniczej pozwala na bezkolizyjne ich zabudowanie. Na początku tego odcinka sieci, zabudowany jest obiekt dyspozytorni (BR1) ze sporą halą i zasilaniem elektrycznym o znacznej mocy, która może być wykorzystana do zabudowy pomp obiegowych i układów regulacyjnych. Na końcu sieci dn 500 (na granicy miasta Łęczna) znajduje się duża komora sekcyjna (BG;8), która również posiada niezależne zasilanie elektryczne i przestrzeń pozwalającą na zabudowę dodatkowych układów. Uwzględniając taki stan proponuję wykorzystanie istniejącego odcinka sieci dn 500 jako akumulatora przy następujących założeniach:

1. w dyspozytorni BR;1 zabudować:
 - połączenie rurociągu powrotnego i zasilającego,
 - układ pomp obiegowych zapewniających możliwość zasysania wody z rurociągu powrotnego do zasilającego oraz gwarantujących odpowiedni poziom ciśnienia na zasilaniu, tak by zasilić wszystkich odbiorców na terenie miasta Łęczna
 - układ regulacyjny zapewniający odpowiednie dopuszczenie wody wysokoparametrowej (wysokotemperaturowej) z kotłowni w Bogdance.
2. W komorze BG 8 zabudować:
 - połączenie rurociągu zasilającego z powrotnym – upust wody gorącej,
 - układ regulacyjny zapewniający odpowiedni upust wody z rurociągu zasilającego do powrotnego.

Alternatywnym rozwiązaniem w stosunku do wymiany sieci kanałowej dn 500 na sieć preizolowaną dn 300 jest zastosowanie nowej technologii izolacyjnej GeoSystem na obecnych rurach sieciowych dn 500. Realizacja takich prac izolacyjnych podobnie jak i wymiana sieci na preizolowaną wymaga odkopania (odkrycia) obecnej sieci kanałowej, ale kolejne etapy prac realizowane mogą już być na pracujących rurociągach – przy zachowaniu ciągłości dostawy energii cieplnej do wszystkich odbiorców na terenie miasta Łęczna. W przypadku tym nie budujemy już rurociągu tymczasowego (bypassu) jak to miało miejsce w założeniach do zabudowy sieci preizolowanej. Moduł izolacyjny Geo-System Typ 4 firmy InterWW jest to system oparty na wykorzystaniu cylindrycznych paneli z pianki poliuretanowej o grubości 85 mm w płaszczu osłonowym PEHD o długości 2,8 m. Od wewnętrznej strony elementy zabezpieczone są w procesie produkcji specjalną warstwą hydopreparatu InterChemPlast (warstwa przypominająca plastikowy laminat), która chroni poliuretan przed wchłanianiem wody w przypadku awarii sieci, natomiast płaszcz zewnętrzny chroni piankę i rury przed wodami gruntowymi, opadowymi, nieuszczelniościami kanału i uszkodzeniami mechanicznymi. W systemie tym zastosowano poduszkę powietrzną o grubości 20 mm jako przestrzeń pomiędzy wewnętrzną stroną panelu izolacyjnego, a izolowanym rurociągiem. Rozwiązanie takie zmniejsza obciążenia izolacji na całej długości, co w konsekwencji daje swobodną pracę rurociągu podczas wydłużeń liniowych oraz znacznie poprawia skuteczność izolacyjną (efekt termosu). Rurociąg nie przenosi bezpośrednio temperatury na izolację. Dzięki zastosowaniu konstrukcji dystansowej izolacja nie ulega rozszczelnianiu podczas pracy rurociągu. Zalety GeoSystemu :

- możliwość modernizacji sieci bez przerw w dostawie ciepła do odbiorców (szybki i sprawny montaż modułów);
- niższy koszt inwestycji niż wymiana na rury preizolowane;
- wyższy stopień izolacji niż tradycyjne systemy preizolowane;
- oszczędność czynnika grzewczego – brak konieczności opróżniania ciepłociągu z wody sieciowej;
- dodatkowa izolacja w postaci poduszki powietrznej (efekt termosu);
- wymiana izolacji sieci nie wymaga uzyskania pozwolenia na budowę co znacząco redukuje czas inwestycji i nie podwyższa wartości środka trwałego;

Straty ciepła w warunkach obliczeniowych dla sieci dn 500 z izolacją w technologii GeoSystem przy obecnych parametrach pracy źródła 115/65°C osiągną poziom około 62 W/m dla rurociągu zasilającego oraz 33 W/m dla powrotu.

5. WNIOSKI

Przeprowadzona analiza obecnego układu magistralnej sieci ciepłowniczej do miasta Łęczna wykazała techniczną zasadność i potencjalne możliwości wykorzystania tej sieci jako akumulatora ciepła. Przeprowadzone już (bez dużych nakładów) próby wykorzystania sieci jako akumulatora potwierdzają jednoznacznie ten fakt. Koncepcja rozbudowy układu o urządzenia sterownicze i pompowe wymaga opracowania projektu wykonawczego wraz z oceną opłacalności takiego przedsięwzięcia w stosunku do innych zadań zmniejszających energochłonność przesyłu ciepła. Analiza ta powinna również uwzględniać planowaną rozbudowę obecnej kotłowni w Bogdanie na Elektrociepłownię. Wstępne wyliczenia kosztów materiałowych izolacyjnych GeoSystemu dla rurociągów dn 500 oraz rur preizolowanych dn 300 wykazały porównywalny poziom cen materiałów. Duża różnica kosztów występowała będzie przy wycenie pełnego zakresu prac obu wariantów modernizacyjnych. Warto jedynie zaznaczyć, że straty ciepła będą najniższe przy wykorzystaniu izolacji GeoSystemu dla obecnych rurociągów dn 500.

POSSIBILITY OF USING OVERSIZED THE HEAT DISTRIBUTION NETWORK AS THE BATTERY OF THE WARMTH

SUMMARY

In the paper on the example too big the existing heat distribution network was analysed possibility of using the battery of the warmth for her. A possibility of applying the new system of the isolation of the canal existing network was considered. Get effects of applied solutions were given.

Jerzy R. ADAMCZYK, dr inż.

Jan M. OLCHOWIK, prof. zw. dr hab. inż.

Robert TOMASZEWSKI, dr inż.

Politechnika Lubelska
Katedra Konserwacji Zabytków
ul. Nadbystrzycka 40, 20-618 Lublin
Politechnika Lubelska
Wydział Inżynierii Środowiska
ul. Nadbystrzycka 40, 20-618 Lublin
PSW im. Papieża Jana Pawła II
Biała Podlaska, ul. Sidorska 93/95

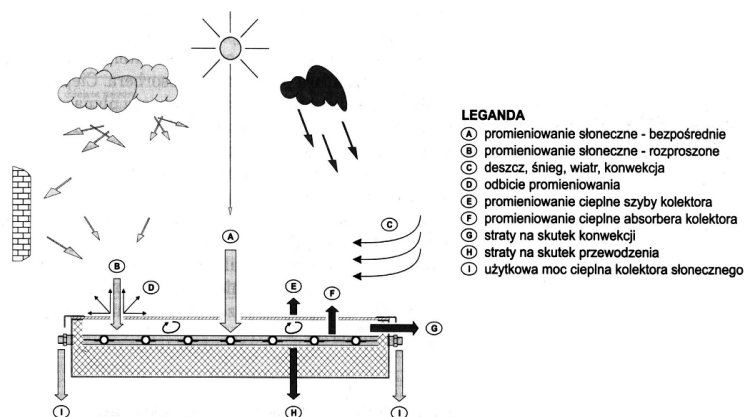
ORIENTACJA KOLEKTORÓW SŁONECZNYCH A UZYSK ENERGETYCZNY

STRESZCZENIE

W referacie omówiono wpływ usytuowania kolektorów na efekty energetyczne. Przeanalizowano ich usytuowanie w stosunku do stron świata jak i pochylenie w stosunku do terenu.

1. WSTĘP

Kolektor słoneczny to urządzenie służące do absorbowania promieniowania słonecznego. Za pozyskiwanie energii słonecznej odpowiedzialny jest absorber kolektora. Zaabsorbowane promieniowanie słoneczne zamieniane jest w ciepło, a następnie transportowane za pomocą czynnika roboczego do wymiennika ciepła. Dzięki kolektorom słonecznym można pozyskiwać darmową energię, którą można wykorzystać m.in. w instalacjach podgrzewu ciepłej wody użytkowej i instalacjach centralnego ogrzewania. Zasada działania kolektora słonecznego pokazana jest na rys. 1 [1]



Rys. 1. Zasada działania kolektora słonecznego
Fig. 1. Rule of operation of the solar interceptor

Kolektory słoneczne można podzielić na następujące grupy:

- kolektory rurowe próżniowe
- o bezpośrednim przepływie czynnika roboczego
- z pośrednim czynnikiem odparowującym w rurce ciepła nazywanej heatpipe
- kolektory cieczowe płaskie
- z izolacją termiczną z wełny mineralnej lub pianki poliuretanowej
- z izolacją próżniową
- kolektory powietrzne

Promieniowanie słoneczne docierające do powierzchni płyty kolektora słonecznego można podzielić na trzy składowe: promieniowanie bezpośrednie, rozproszone i odbite. Ta część pracy będzie poświęcona ich charakterystyce. Promieniowanie bezpośrednie to promienie rozchodzące się w linii prostej od słońca do powierzchni kolektora. Kierunek padania promieni jest uzależniony od wysokości Słońca. Jest to promieniowanie krótkofalowe, gdyż jego długość fali na powierzchni Ziemi w 98% zawiera się w przedziale od 0,3-2,5 μm . Promieniowanie bezpośrednie obejmuje w swoim zakresie w całości widzialne promieniowanie słoneczne, którego długość fali zawiera się w przedziale 0,4-0,7 μm . Promieniowanie rozproszone to promienie słoneczne, które ulegają wielokrotnemu załamaniu, odbiciu i częściowemu pochłonięciu podczas przejścia przez atmosferę Ziemi a także promieniowanie atmosfery. Promieniowanie rozproszone jest promieniowaniem długofalowym. Długość fali jest w granicach od 4 do 120 μm . Jest ono emitowane przez całą atmosferę. Promieniowanie odbite jest to suma promieniowania bezpośredniego i rozproszonego, które dochodzi do powierzchni kolektora po uprzednim odbiciu od powierzchni Ziemi a także od występujących w pobliżu kolektora elementów architektonicznych. Jest to tzw. albedo.

Wartość użyteczna promieniowania słonecznego jest funkcją promieniowania bezpośredniego, rozproszonego i odbitego padających na powierzchnię kolektora. Funkcję tę można zapisać za pomocą wzoru [2]:

$$H_{cp} = H_b R_b + H_r \frac{1 + \cos \varphi}{2} + (H_b + H_r) \frac{1 - \cos \varphi}{2} \rho \quad [1]$$

gdzie:

H_{cp} – wartość użyteczna promieniowania słonecznego, kWh/m²

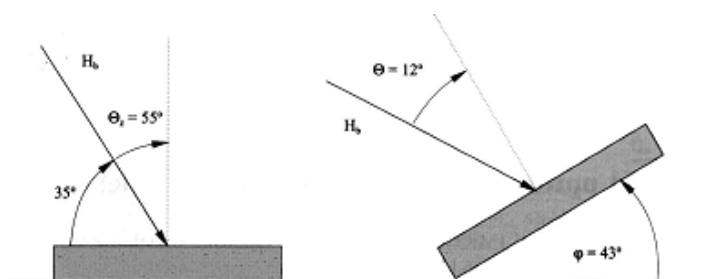
H_b – wartość promieniowania bezpośredniego, kWh/m²

H_r – wartość promieniowania rozproszonego, kWh/m²

R_b – współczynnik korelacji pochylenia powierzchni

ρ – bezwymiarowy współczynnik odbicia promieniowania od powierzchni

Θ , Θ_z , φ – kąty zdefiniowane na rys. 2



Rys. 2. Zdefiniowanie kątów promieniowania słonecznego

Fig. 2. Defining angles of the solar radiation

Współczynnik odbicia zależy od otoczenia, w którym znajduje się kolektor. Dla nie porośniętej ziemi $\rho=0,2 - 0,5$; dla skał $\rho=0,4 - 0,7$; dla wody $\rho=0,7 - 0,9$ a dla śniegu $\rho=0,9 - 0,95$.

2. UZYSK ENERGETYCZNY KOLEKTORA

Kolektor słoneczny nie jest w stanie zaabsorbować całego promieniowania słonecznego, które dociera do jego powierzchni. Stosunek energii użytecznej jaką potrafi wytworzyć kolektor do energii promieniowania słonecznego nazywa się sprawnością kolektora. W literaturze można znaleźć różne pojęcia związane ze sprawnością: sprawność chwilowa, średnia dzienna, średnia miesięczna oraz średnia sprawność w całym cyklu roboczym kolektora (sezonie). Sprawnością chwilową kolektora można nazwać stosunek mocy użytecznej kolektora jaką posiada w danej chwili do wartości natężenia promieniowania słonecznego. Sprawność optyczna kolektora η_0 , jest to sprawność jaką wykazywałby kolektor jeśli pominięto by straty związane z oddawaniem przez kolektor ciepła do otoczenia, czyli strat związanych z przewodzeniem ciepła, promieniowaniem i konwekcją, straty te opisują współczynniki k_1 i k_2 . Sprawność optyczna może być traktowana jako sprawność kolektora w przypadku, gdy różnica temperatur pomiędzy temperaturą kolektora a temperaturą otoczenia jest równa zero, $\Delta T=0$. Sprawności średnie dzienne, miesięczne oraz średnie sezonowe są uśrednieniem wartości chwilowej sprawności w opisywanym przez nie okresie. W tabeli 1 pokazano zmianę sprawności średniej miesięcznej kolektora płytowego SOL25 plus, sprawność instalacji oraz sprawność całego układu instalacji

solarnej wraz z kolektorem w poszczególnych miesiącach roku. Temperaturę otoczenia odczytano dla rejonu Lublina, korzystając z serwisu internetowego IMGW a temperaturę kolektora z braku dokładnych danych technicznych założono. Natężenie promieniowania słonecznego obliczono na podstawie danych przy kolektorze ustawionym pod kąt 43° do poziomu.

Tabela 1. Sprawność kolektora i układu

Table 1. Efficiency of the interceptor and the arrangement

miesiąc	T_a	T_k	ΔT	I	η_0	k_1	k_2	$\eta_{kol.}$	$\eta_{prz.}$	η_u
.	$^\circ C$	$^\circ C$	$^\circ C$	W/m ²	.	W/m ² K	W/m ² K	.	.	.
1	-0,5	50	50,5	1141	0,781	2,838	0,0154	0,62	0,95	0,59
2	-4	55	59	1731	0,781	2,838	0,0154	0,65	0,95	0,62
3	-0,5	60	60,5	2739	0,781	2,838	0,0154	0,70	0,95	0,66
4	8,5	70	61,5	3100	0,781	2,838	0,0154	0,71	0,95	0,67
5	13	75	62	4817	0,781	2,838	0,0154	0,73	0,95	0,70
6	15,5	80	64,5	5580	0,781	2,838	0,0154	0,74	0,95	0,70
7	19,5	80	60,5	5171	0,781	2,838	0,0154	0,74	0,95	0,70
8	17	75	58	4367	0,781	2,838	0,0154	0,73	0,95	0,69
9	15	70	55	2578	0,781	2,838	0,0154	0,70	0,95	0,67
10	8,5	60	51,5	1782	0,781	2,838	0,0154	0,68	0,95	0,64
11	3	55	52	888	0,781	2,838	0,0154	0,57	0,95	0,54
12	-1	50	51	1009	0,781	2,838	0,0154	0,60	0,95	0,57

gdzie:

$\eta_{kol.}$ – sprawność kolektora

$\eta_{prz.}$ – sprawność przewodów

η_u – sprawność całego układu instalacji solarnej

Słońce w ciągu dnia przebywa „drogę” po nieboskłonie, rano jest widoczne nisko nad horyzontem na wschodzie, o godzinie dwunastej góruje wysoko na południu a wieczorem jest przy dolnej linii horyzontu na zachodzie. Skierowanie kolektora w odpowiednią stronę świata ma bardzo duże znaczenie. W zależności od tego jak ustawimy kolektor będzie on pozyskiwał energię w różnej ilości. Najbardziej korzystną stroną świata pod względem ilości promieniowania słonecznego jest południe. O godzinie 12 słońce góruje właśnie na południu i jest wtedy najwyżej. Kolektor skierowany właśnie w tym kierunku charakteryzuje się w miarę równomiernym stopniem pozyskiwania energii przez cały dzień. Godziny południowe będą w tym przypadku pokazywały jaka jest średnia wartość dostarczanego promieniowania użytecznego. Kierunek południowo-wschodni charakteryzuje się dużą wartością promieniowania słonecznego w godzinach rannych, ale wraz z przesuwaniem się Słońca na nieboskłonie, czyli wraz z upływem czasu wartość promieniowania sukcesywnie maleje, by wieczorem osiągnąć wartość minimalną. W tym przypadku promieniowanie jakie otrzymuje kolektor o godzinie 12 też można traktować jako wartość średnią z całego dnia. Kierunek południowo zachodni jest „lustrzanym

odbiciem” kierunku południowo-wschodniego. W godzinach rannych wartości promieniowania są minimalne, by wieczorem osiągnąć wartość maksymalną. Zmiany w ilości promieniowania użytecznego i mocy dostarczanej przez kolektory w zależności od godziny dnia są pokazane w tabeli 2. Wartości, umieszczone ww. tabeli odpowiadają wartościom osiąganym przez kolektor SOL 25 plus w miesiącu marcu.

Tabela 2. Średnie natężenie promieniowania w poszczególnych godzinach dnia w miesiącu marcu. Kolektor ustawiony pod kątem 43 stopni do podłoża

Table 2. Averages radiation intensity in individual hours of the day in the March. Angled interceptor of 43 steps to base

godzina	S		SW		SE	
	Prom. użytecz.	moc dost	Prom. użytecz.	moc dost	Prom. użytecz.	moc dost
	śr. Hep	śr. Qc	śr. Hep	śr. Qc	śr. Hep	śr. Qc
	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²
7	84,64	55,86	36,55	24,12	161,05	106,29
8	84,69	55,90	37,22	24,57	117,37	77,46
9	84,68	55,89	53,62	35,39	100,97	66,64
10	84,75	55,94	63,86	42,15	90,81	59,93
11	85,3	56,30	71,44	47,15	84,03	55,46
12	84,91	56,04	77,45	51,12	77,45	51,12
13	85,3	56,30	84,03	55,46	71,44	47,15
14	84,75	55,94	90,81	59,93	63,86	42,15
15	84,68	55,89	100,97	66,64	53,62	35,39
16	84,69	55,90	117,37	77,46	37,22	24,57
17	84,64	55,86	161,05	106,29	36,55	24,12
średnia	84,82	55,98	81,31	53,66	81,31	53,66

Producenci kolektorów zalecają ustawianie ich w miarę możliwości w kierunku południowym, jak pokazuje tabela 2. te zalecenia są jak najbardziej słuszne. Kierunek południowy osiąga najwyższą wartość średniego promieniowania słonecznego mimo tego, że wartości maksymalnego promieniowania dla tego kierunku są znacznie niższe niż maksymalne wartości dla kierunków SW i SE.

3. WNIOSKI

Kolektory słoneczne stają się coraz bardziej popularne i coraz więcej się ich widzi na dachach domów, lecz świetnie z nimi współgrające pompy ciepła są w dalszym stopniu bardzo mało wykorzystywane. Nawet w najmniejszym stopniu pompy ciepła nie mogą w chwili obecnej konkurować na rynku z kotłami opalanymi surowcami mineralnymi takimi jak węgiel czy gaz. Trudno jest przekonać inwestorów, że można pozyskiwać darmowe i czyste ekologicznie ciepło ze środowiska. Trzeba jednak intensywnie szukać nowych źródeł energii i rozwijać technikę z nimi związaną, by nie być zaskoczonym w przyszłości. Należy w końcu obalić panujący wszechobecnie stereotyp kolektora słonecznego wykorzystywanego tylko i wyłącznie w okresie lata. Kolektory nie muszą być tylko źródłem ciepła do przygotowania ciepłej wody użytkowej, lecz jak udowodniono

mogą być także ważnym ogniwem służącym do zapewnienia odpowiedniej ilości ciepła w zimie. Oczywiście jest fakt, iż same kolektory nie podołają ogrzaniu domu w sezonie zimowym. Jednak odpowiednio dobrana ich powierzchnia powoduje, że ciepło zgromadzone przez nie w trakcie lata i zakumulowane w zbiorniku ciepła staje się wystarczająco dobrym dolnym źródłem dla pompy ciepła, która jest w stanie ogrzać budynek w trakcie całego okresu zimowego. Odpowiednio dobrana powierzchnia kolektorów słonecznych a także odpowiednie ich ustawienie, zarówno w stosunku do podłoża jak i w odpowiednim kierunku świata, jest podstawą przy projektowaniu solarnych instalacji grzewczych. Z pewnością przedstawione tu rozwiązanie nie należy do najtańszych. Decydując się na nie trzeba się przygotować na poniesienie dość wysokich kosztów związanych z zakupem kolektorów, pompy ciepła, kosztów wykonania zbiornika akumulacyjnego i oczywiście montażu samej instalacji. Na dzień dzisiejszy, jako że instalacje służące do wykorzystania energii środowiska naturalnego nie są jeszcze popularne, ceny ich komponentów nadal są wysokie. Istnieje jeszcze tak naprawdę dość mała konkurencja cenowa między firmami produkującymi kolektory czy pompy ciepła. Jednak rynek tych produktów rozwija się bardzo dynamicznie w Polsce i jest nadzieja, że coraz większa konkurencja wymusi stopniową obniżkę cen. Cena z października 2005 roku 1 sztuki kolektora słonecznego SOL 25 plus waha się w granicach 2800 PLN a pompy ciepła WPF 5 w granicach 16000 PLN. W trakcie przeprowadzania kalkulacji opłacalności przedstawionego rozwiązania należy zwrócić uwagę, że poniesiony duży koszt związany z wykonaniem tego typu instalacji z każdym rokiem powoli się amortyzuje. Wykorzystywana energia środowiska jest darmowa i jedynym obciążeniem finansowym ponoszonym w trakcie użytkowania są koszty energii elektrycznej zużywanej przez pompę ciepła i inne zamontowane urządzenia a także cena serwisowania. Instalacja wykorzystująca naturalne źródła ciepła po upływie odpowiednio długiego czasu zwraca się jeśli nie całkowicie to z pewnością w dużym stopniu, czego nie można powiedzieć o tak obecnie popularnych tradycyjnych instalacjach bazujących na surowcach energetycznych.

4. LITERATURA

- [1] Zawadzki M.: Kolektory Słoneczne, Pompy Ciepła - Na Tak, Polska Ekologia, Warszawa 2003r.
- [2] Lewandowski W.: Proekologiczne źródła energii odnawialnej, Wydawnictwa - Techniczne, Warszawa 2001r.

THE SENSE OF DIRECTION OF SOLAR INTERCEPTORS BUT THE ENERGY OUTPUT

SUMMARY

In the paper an influence of situating interceptors on energy effects was discussed. Situating them towards the directions of the world as well as lowering towards the area was analysed.

Mohamed AHMAD, dr inż.

Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Krośnie
Zakład Budownictwa
ul. Kazimierza Wielkiego 6A, 38-400 Krosno
e-mail: zbpwsz@op.pl

BADANIA MOŻLIWOŚCI OTRZYMANIA BETONÓW ZWYKŁYCH NA KRUSZYWACH RECYKLINGOWYCH

STRESZCZENIE

Kruszywa recyklingowe uważane są za bardzo dobry substytut kruszyw naturalnych. Wykorzystywane są jako kruszywa do wytwarzania betonów niskich klas wytrzymałościowych. Do najważniejszych cech ograniczających wykorzystanie tych kruszyw w budownictwie należą: mała szczelność, niska mrozoodporność, skurcz, duża nasiąkliwość i mała wytrzymałość. W referacie przedstawione są wyniki przeprowadzonych badań laboratoryjnych wybranych właściwości mieszanki betonowej i stwardniałego betonu, wytwarzanych na bazie uszlachetnionych kruszyw recyklingowych. Uzyskane wyniki badań dowodzą, że uszlachetnione kruszywa recyklingowe mogą być stosowane jako pełnowartościowe kruszywa do produkcji betonów konstrukcyjnych wyższych klas wytrzymałościowych.

1. WPROWADZENIE

W dzisiejszych czasach beton jest niezastąpionym materiałem w szeroko pojętym budownictwie. Zastosowanie mieszanek betonowych znajduje swoje uzasadnienie zarówno w produktach pośrednich (prefabrykacja) poprzez drogownictwo (autostrady betonowe, wiadukty) aż po skomplikowane nowoczesne konstrukcje betonowe. Wzrost cywilizacyjny powoduje dynamiczny rozwój budownictwa, co skutkuje generowaniem dużej ilości odpadów budowlanych. Odpady to efekt rozbiórek, wyburzeń obiektów celem pozyskania terenów pod nowe inwestycje. Porozbiórkowy materiał, w około 40% stanowi beton, nasuwa się więc pytanie o jego racjonalne wykorzystanie. Właściwego rozwiązania należałoby szukać w wykorzystaniu materiału - kruszywa recyklingowego do wytwarzania pełnowartościowego betonu. Kraje Unii Europejskiej wytwarzają przeszło 200 mln ton odpadów rocznie, z czego około 30% poddaje się recyklingowi. Wstąpienie Polski do Unii Europej-

skiej nakłada na nasz kraj obowiązek odpowiedniej gospodarki odpadami, w tym również odpadami z przemysłu budowlanego. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/we z dnia 19 listopada 2008 r. w sprawie odpadów [3] jest ważnym krokiem w kierunku lepszego gospodarowania zasobami materiałowymi oraz zwiększenia zasobów Unii Europejskiej. Wyjaśniono w niej pojęcia, jak hierarchia odpadów, zapobieganie powstawaniu odpadów oraz wprowadzenie do polityki podejścia opartego na cyklu życia. W dyrektywie określono cele w zakresie recyklingu odpadów na rok 2020: recykling 55% odpadów z gospodarstw domowych oraz 70% odpadów budowlanych i rozbiórkowych. Ilość odpadów budowlanych systematycznie rośnie, dlatego też ze względów ekologicznych, jak i ekonomicznych a także prawnych niedopuszczalne jest składowanie ich na wysypiskach śmieci. Respektowanie zasad zrównoważonego rozwoju obliuguje sektor budownictwa do wznoszenia budynków spełniających określone kryteria społeczne, ekologiczne i ekonomiczne [2]. Gruz betonowy i ceglany pochodzący z rozbiórki obiektów już dziś stanowi cenny surowiec jako kruszywo wykorzystywane do stabilizacji podbudów drogowych. Jednak dopiero wykorzystanie kruszywa recyklingowego na skalę przemysłową jako pełnowartościowego składnika do produkcji betonu może rozwiązać problem odpadów budowlanych. W krajach Europy Zachodniej, USA i Japonii odzysk materiałów rozbiórkowych jest na poziomie 90%, a proces wykorzystania gruzu betonowego jako kruszywa do betonu jest skrupulatnie badany i praktykowany od wielu lat. W Holandii dopuszcza się zastępowanie mineralnego kruszywa grubego kruszywem z recyklingu w ilości do 20% bez konieczności nanoszenia poprawek w projekcie konstrukcji. Zastosowanie większej ilości kruszywa recyklingowego nakłada konieczność wykonania szczegółowych badań właściwości betonu [1]. Dla szerszego wykorzystania recyklingowych kruszyw w budownictwie a w szczególności do produkcji betonów konieczne jest przeprowadzenie takich modyfikacji, polepszenia właściwości tegoż materiału, aby możliwe było produkowanie betonu o parametrach zbliżonych do betonów wytwarzanych z kruszyw naturalnych.

2. CHARAKTERYSTYKA MATERIAŁÓW UŻYTYCH DO BADAŃ LABORATORYJNYCH

Do projektowania mieszanek betonowych zastosowano cement powszechnego użytku CEM II/B-V 32,5 R. Cement ten odpowiada wymaganiom normy PN-EN 197-1 [15]. Jest to cement portlandzki popiołowy. Wytwarza się go przez wspólne rozdrobnienie klinkieru portlandzkiego oraz dodatków mineralnych, a także gipsu, który spełnia funkcję regulatora czasu wiązania. Ilość dodatków mineralnych w cemencie wynosi w granicach 6-35%. Do wytwarzania w/w cementu używa się dodatki jak: pył krzemionkowy, popiół lotny krzemionkowy lub wapienny, żużel wielkopiecowy, a także pucolanę naturalną oraz sztuczną. Posiada on szereg zalet istotnych w praktycznym stosowaniu w budownictwie. Do takich zalet zaliczamy: stabilne parametry jakościowe, zmniejszone ciepło hydratacji, mały skurcz, zwiększoną odporność na działanie wód agresywnych, bardzo dobrą dynamikę narastania wytrzymałości w długich okresach dojrzewania betonu, dobrą urabialność mieszanek betonowych. Właściwości cementu CEM II/B-V 32,5 R podane są w tabeli 1.

Tabela 1. Właściwości cementu CEM II/B-V 32,5 R wg PN-EN 197-1

Table 1. Features of cement: CEM II/B-V 32,5 R according to PN-EN 197-1

Klasa wytrzymałości	Wytrzymałość na ściskanie			Czas wiązania	Staość objętości	Zawartość siarczanów SO ₃	Zawartość chłorków Cl ⁻
	po 2 dniach	po 28 dniach					
	MPa			min	mm	%	
32,5 R	≥ 10,0	≥ 32,5	≤ 52,5	≥ 75	≤ 10	≤ 3,5	≤ 0,10

Do wytwarzania mieszanki betonowej została zastosowana woda z miejskiego wodociągu, którą na podstawie normy PN-EN 1008 [7] uznano za przydatną do zastosowania w betonie bez żadnych badań. Mając na uwadze, że temperatura wody ma wpływ na wiązanie i twardnienie cementu, woda przeznaczona do sporządzania mieszanki betonowej była przechowywana w specjalnych pojemnikach w warunkach laboratoryjnych przez 24 godziny. Bezpośrednio przed użyciem wody jej temperatura wynosiła 20°C. Do sporządzenia mieszanki betonowej zastosowano kruszywa naturalne odpowiadające wymaganiom normy PN-EN 12620-A1 [14] i kruszywa recyklingowe betonowe pozyskane ze składu kruszyw recyklingowych w Będzinie. Do impregnacji kruszyw recyklingowych zastosowano impregnat REMISIL-Cl. Jest domieszką chemiczną do betonu na bazie dyspersji polimerów w wodzie. Stosowana jest do zwiększenia odporności betonów i wyrobów betonowych na działanie warunków atmosferycznych. Przeznaczona jest do zastosowania poprzez natryskiwanie wyrobu betonowego przez specjalne urządzenie natryskowe pod ciśnieniem. Do upłynnienia mieszanki betonowej zastosowano superplastyfikator Muraplast FK 20. Jest to silnie uplastyczniająca domieszka do produkcji betonów towarowych o konsystencji od plastycznej do ciekłej. Muraplast FK 20 stosowana jest ze wszystkimi cementami normowymi. Intensywnie dysperguje ona zaczyn cementowy i zmniejsza wewnętrzne siły tarcia w betonie. Ponadto zmniejsza ona zapotrzebowanie na wodę zarobową dzięki silnym właściwościom upłynniającym oraz ułatwia zagęszczanie mieszanki betonowej. Koagulacja cząstek cementu ulega znacznej redukcji i cement zostaje bardziej zwilżony i rozdzielony. Domieszka Muraplast FK 20 nadaje się do zastosowania w kombinacji z innymi domieszkami.

3. METODYKA I ZAKRES BADAŃ

Badania laboratoryjne zostały przeprowadzone w Laboratorium Materiałów Budowlanych Zakładu Budownictwa Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej w Krośnie. W okresie wykonania oznaczeń utrzymane były normowe wymagania w pomieszczeniu laboratoryjnym [12]. Wszystkie składniki mieszanek betonowych jak woda zarobowa, cement, kruszywa naturalne i recyklingowe miały temperaturę pomieszczeń laboratoryjnych, w których wykonano badania. Mając na uwadze cel opracowania, szczególną uwagę zwrócono na metodykę badań laboratoryjnych. Zarówno warunki wykonania, pielęgnowania i dojrzewania a później oznaczania wytrzymałości na ściskanie próbek betonowych spełniły wymagania normowe w tym zakresie. Do wykonania próbek betonowych zastosowano formy sześciennie o wymiarach 150x150x150 mm [11, 16].

Próbki pozostały w formach w temperaturze $20\pm 5^{\circ}\text{C}$ przez dwa dni i były zabezpieczone przed wstrząsami i utratą wody [13]. Po wyjęciu ich z form, były przechowywane w komorze klimatycznej w temperaturze $20\pm 5^{\circ}\text{C}$ i wilgotności względnej $\geq 95\%$ do czasu poddania badaniom wytrzymałościowym (28 dni). W czasie badania wytrzymałości betonu na ściskanie, obciążenie narastało ze stałą prędkością, mieszczącą się w przedziale od 0,2 MPa/s do 1,0 MPa/s. Zaobserwowano również charakter i prawidłowość zniszczenia próbek betonowych. Zakres badań laboratoryjnych obejmował badania konsystencji mieszanek betonowych, zawartości powietrza w mieszance betonowej, gęstości objętościowej mieszanki betonowej oraz nasiąkliwości i wytrzymałości betonu na ściskanie po 7 i po 28 dniach dojrzewania.

4. PROJEKTOWANIE MIESZANEK BETONOWYCH

Do badania właściwości betonu zaprojektowano 4 mieszanki betonowe klasy C16/20. Receptury laboratoryjne projektowanych mieszanek betonowych przedstawione są w tabeli 1.

Tabela 2. Receptury laboratoryjne mieszanek betonowych

Table 2. Laboratory formulas for designing concrete mixtures

Składniki	Seria I	Seria II	Seria III	Seria IV	Seria IV- M1	Seria IV- M2	Seria IV- M3
	[kg]						
Cement	293	293	293	293	293	293	293
Kruszywo 0/2 mm	764	764	764	764	764	764	764
Kruszywo 2/16 mm	1154	865	577	-	-	-	-
Kruszywo recyklingowe 2/16 mm	-	288	577	1154	1154	1154	1154
Impregnat REMISIL-CI	-	-	-	-	17,31	11,54	5,77
Superplastyfikator Muraplast FK 20	-	-	-	-	5,86	4,40	2,93
Objętość zaprawy [dm ³ /m ³]	542	543	544	546	546	546	546

W pierwszym etapie badań laboratoryjnych wykonano 4 serie próbek betonowych. Seria I wykonana została na kruszywach naturalnych bez udziału kruszyw recyklingowych. W trzech pozostałych seriach stopniowo zwiększono procentowy udział kruszyw recyklingowych: w serii II - 15%, serii III 30% i serii IV - 60%. Celem takiego postępowania był wykazanie na podstawie przeprowadzonych badań laboratoryjnych wpływ kruszyw recyklingowych na właściwości projektowanych mieszanek betonowych i betonu. W drugim etapie wykonano 3 serie próbek betonowych na bazie uszlachetnionego kruszywa recyklingowego - z udziałem 60% kruszyw recyklingowych i 40% kruszyw naturalnych. Skład ziarnowy kruszyw naturalnych i recyklingowych dobrano odpowiednio celem uzyskania optymalnego stosu okrucowego. Analizę sitową kruszyw naturalnych i recyklingowych przedstawiono w tabelach 3-6 a krzywe uziarnienia na rysunkach 1-4.

Tabela 3. Analiza sitowa kruszyw naturalnych dla próbek betonowych serii I

Table 3. Sieve analysis of natural aggregates for concrete samples of the series I

Kruszywa	Analiza sitowa (sita w mm) przechodzi przez sito (%)									
	%	16	8	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
Piasek 0/2	40	40	40	40	36,4	26,4	12,8	3,2	0,4	0
Kruszywo 2/16	60	58,8	24	3,6	0	0	0	0	0	0
Razem	100	98,8	64	43,6	36,4	26,4	12,8	3,2	0,4	0

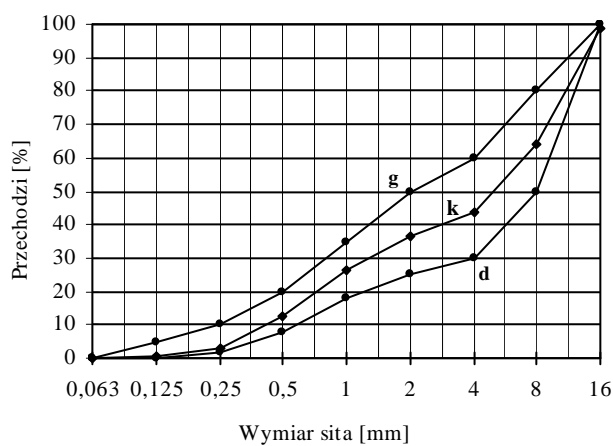
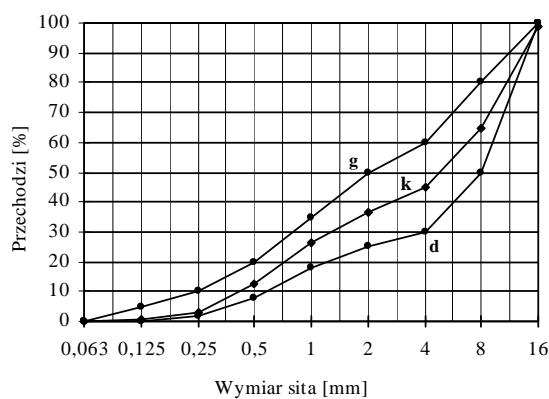
Rysunek 1. Krzywa uziarnienia projektowanego stosu okruszowego dla serii I
(k - krzywa uziarnienia kruszywa, g i d - górna i dolna krzywa graniczna)Figure 1. Graph of granulation of the designed fragmentary pile for the series I
(k - curve of aggregate granulation, g and d - upper and lower border curve)

Tabela 4. Analiza sitowa kruszyw naturalnych i recyklingowych dla próbek betonowych serii II

Table 4. The sieve analysis of natural and recycling aggregates for concrete samples of the series II

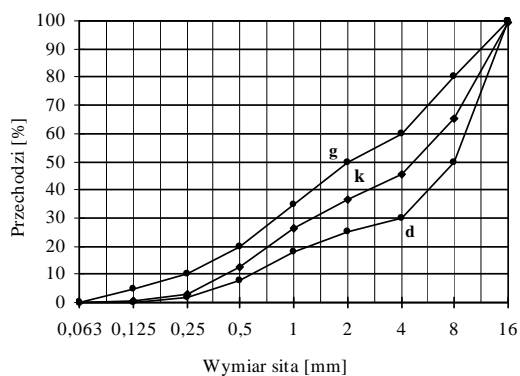
Kruszywa	Analiza sitowa (sita w mm) przechodzi przez sito (%)									
	%	16	8	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
Piasek 0/2	40	40	40	40	36,4	26,4	12,8	3,2	0,4	0
Kruszywo 2/6	45	44,1	18	2,7	0	0	0	0	0	0
Kruszywo recyklingowe 2/16	15	15	6,6	1,95	0,15	0	0	0	0	0
Razem	100	99,1	64,6	44,65	36,55	26,4	12,8	3,2	0,4	0



Rysunek 2. Krzywa uziarnienia projektowanego stosu okruchowego dla serii II
Figure 1. Graph of granulation of the designed fragmentary pile for the series II

Tabela 5. Analiza sitowa kruszyw naturalnych i recyklingowych dla próbek betonowych serii III
Table 5. The sieve analysis of natural and recycling aggregates for concrete samples of the series III

Kruszywa	Analiza sitowa (sita w mm) przechodzi przez sito (%)									
	%	16	8	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
Piasek 0/2	40	40	40	40	36,4	26,4	12,8	3,2	0,4	0
Kruszywo 2/6	30	29,4	12	1,8	0	0	0	0	0	0
Kruszywo recyklingowe 2/16	30	30	13,2	3,9	0,3	0	0	0	0	0
Razem	100	99,4	65,2	45,7	36,7	26,4	12,8	3,2	0,4	0

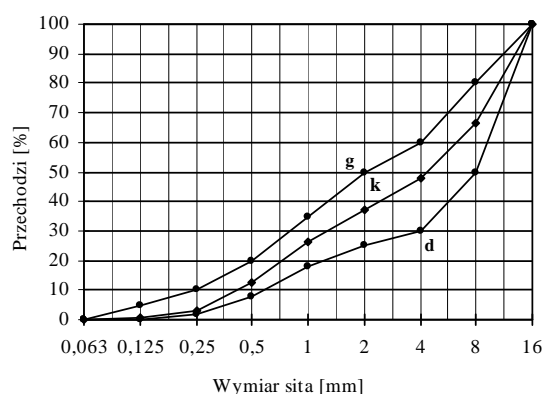


Rysunek 3. Krzywa uziarnienia projektowanego stosu okruchowego dla serii III
Figure 3. Graph of granulation of the designed fragmentary pile for the series I

Tabela 6. Analiza sitowa kruszyw naturalnych i recyklingowych dla próbek betonowych serii IV

Table 6. The sieve analysis of natural and recycling aggregates for concrete samples of the series IV

Kruszywa	Analiza sitowa (sita w mm) przechodzi przez sito (%)									
	%	16	8	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
Piasek 0/2	40	40	40	40	36,4	26,4	12,8	3,2	0,4	0
Kruszywo recyklingowe 2/16	60	60	26,4	7,8	0,6	0	0	0	0	0
Razem	100	100	66,4	47,8	37	26,4	12,8	3,2	0,4	0

Rysunek 4. Krzywa uziarnienia projektowanego stosu okruchowego dla serii IV
Figure 4. Graph of granulation of the designed fragmentary pile for the series IV

5. USZLACETNIANIE BETONOWYCH KRUSZYW RECYKLINGOWYCH

Kruszywo recyklingowe przeznaczone do wytwarzania mieszanek betonowych wstępnie zostało przesiane przez zestaw sit 2 i 16 mm celem wyeliminowania frakcji piaskowej i nadziarna zawierającego kruszywa o uziarnieniu powyżej 16 mm. Uszlachetnienie kruszywa recyklingowego 2/16 mm polegało na jego nasączeniu impregnatem hydrofobizującym REMISIL-CI. Nasycenie kruszywa odbywało się poprzez natryskiwanie pod ciśnieniem kruszywa znajdującego się w urządzeniu mieszającym celem równomiernego nasycenia rozwiniętej powierzchni i zmniejszenia porowatości ziarn. Impregnat został zastosowany w ilościach 0,5; 1,0 i 1,5% w stosunku do masy kruszywa recyklingowego. Po 12 godzinach wysychania w temperaturze 20°C impregnowane kruszywo recyklingowe zostało użyte do sporządzenia mieszanki betonowej. Do wytwarzania mieszanek betonowych na bazie impregnowanego kruszywa recyklingowego dozowano do wody zarobowej superplastifikator Muraplast FK 20 w ilości 1,0; 1,5; 2,0% w stosunku do masy cementu. Ponadto część wody zarobowej została dozowana i przemieszana z kruszywem naturalnym (piaskiem) oraz z cementem, a później wymieszano wszystkie składniki. Wszystkie te za-

biegi miały na celu poprawienie urabialności mieszanki betonowej i zmniejszenie współczynnika w/c.

6. WYNIKI BADAŃ LABORATORYJNYCH

6.1. Właściwości fizyczne mieszanek betonowych

Do oznaczania konsystencji mieszanek betonowych spośród kilku metod wybrano metodę opadu stożka zgodnie z normą PN-EN 12350-2 [8]. Jest to metoda miarodajna w przypadku stosowania kruszyw o wymiarach ziarn nie większych niż 40 mm. Klasę konsystencji mieszanki betonowej według metody opadu stożka ustala się na podstawie danych zawartych w normie PN-EN 206-1 [16]. Oznaczanie gęstości mieszanki betonowej wykonano zgodnie z normą PN-EN 12350-6 [9], zaś zawartości powietrza w mieszance betonowej zgodnie z normą PN-EN 12350-7 [10]. Uzyskane wyniki badań podane są w tabeli 7.

Tabela 7. Właściwości fizyczne mieszanek betonowych

Table 7. Physical features of concrete mixtures

Właściwości	Seria I	Seria II	Seria III	Seria IV	Seria IV-M1	Seria IV-M2	Seria IV-M3
Opad stożka [cm]	14	13	13,5	14	13,5	14	14
Konsystencja	S3						
Wskaźnik w/c	0,621	0,621	0,709	0,873	0,48	0,51	0,53
Gęstość objętościowa [kg/dm ³]	2,269	2,267	2,21	2,177	2,171	2,176	2,17
Zawartość powietrza [%]	1,4	1,45	1,5	1,6	1,55	1,58	1,6

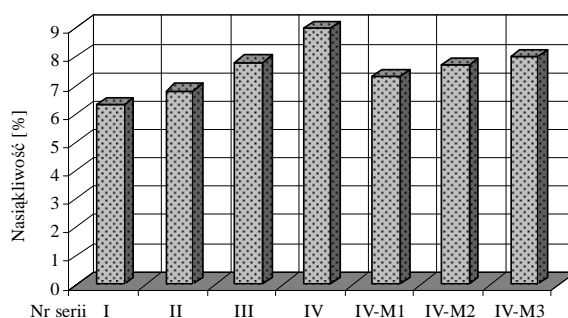
6.2. Nasiąkliwość próbek betonowych

Nasiąkliwość betonu, związana jest z porowatością kapilarną i porami otwartymi w betonie [6]. Stwardniały beton zawiera w swojej strukturze zarówno pory zamknięte jak i otwarte. Mogą one również mieć różne kształty geometryczne: cylindryczne, kuliste, szczelinowe i inne [5]. Nasiąkliwość w betonach zwykłych wynosi 4-8%. Jest to ważna cecha, która wiąże się bezpośrednio z mrozoodpornością i trwałością betonu w środowiskach agresywnych. Otrzymanie betonu o nasiąkliwości poniżej 4% jest technologicznie trudnym problemem. Ponadto liczne przeprowadzone badania potwierdzają fakt, że mimo większej nasiąkliwości powyżej 4%, mrozoodporność betonów była wystarczająca i próbki nie wykazały znaczne ubytki masy lub spadki wytrzymałości poniżej wymaganej [4]. W niniejszym opracowaniu badania nasiąkliwości próbek betonowych wykonano zgodnie z normą PN-EN 12390-2 [12]. Po zakończeniu pielęgnacji próbki betonowe całą objętością zanurzono przez 25 dni w wodzie. Całą powierzchnia próbek w tym okresie była poddana nasączeniu wodą. Nasyczone całkowicie próbki umieszczono w suszarce laboratoryjnej i suszono w temperaturze 105°C do stałej masy. Nasiąkliwości obliczono w % i z dokładnością do 0,1%. Wyniki przeprowadzonych badań laboratoryjnych przedstawione są w tabeli 8 i graficznie zilustrowano na rysunku 5.

Tabela 8. Nasiąkliwość masowa próbek betonowych

Table 8. Mass absorbability of concrete mixtures

Właściwości	Seria I	Seria II	Seria III	Seria IV	Seria IV-M1	Seria IV-M2	Seria IV-M3
Masa próbki maksymalnie nasyconej G_n [kg]	7,752	7,671	7,526	7,372	7,072	7,134	6,975
Masa próbki wysuszonej w 105°C G_s [kg]	7,291	7,182	6,982	6,758	6,591	6,624	6,458
Nasiąkliwość n_m [%]	6,32	6,81	7,79	9,09	7,30	7,70	8,01



Rysunek 5. Nasiąkliwość masowa próbek betonowych

Figure 5. Mass absorbability of concrete mixtures

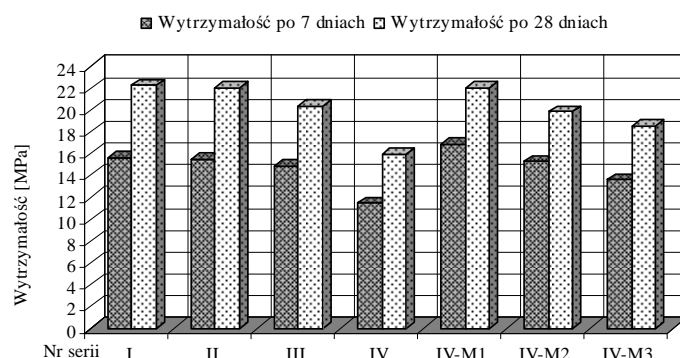
Na podstawie analizy wyników nasiąkliwości zawartych w tabeli 8 i na rysunku 5 wynika, że wraz ze wzrostem udziału kruszyw recyklingowych w mieszankach betonowych wzrasta nasiąkliwość betonu. Nasiąkliwość próbek betonowych serii I wykonanych na samym kruszywie naturalnym wynosiła 6,32%, zaś nasiąkliwość próbek betonowych serii II-IV 6,81-9,09%. Nasiąkliwość próbek betonowych wykonanych z największym udziałem procentowym kruszyw recyklingowych (60%) była wyższa o 43,69% od nasiąkliwości próbek na samych kruszywach naturalnych. Wszystkie próbki betonowe wykonane na uszlachetnionym kruszywie recyklingowym odznaczyły się wyższą nasiąkliwością od nasiąkliwości próbek betonowych na samym kruszywie naturalnym o 15,42-26,61% i mniejszą o 13,49-24,50% od nasiąkliwości próbek betonowych na nieuszlachetnionym kruszywie recyklingowym.

6.3. Wytrzymałość betonu na ściskanie

Wyniki badań wytrzymałości stwardniałego betonu na ściskanie po upływie 7 i 28 dniach dojrzewania przedstawiono w tabeli 8 i graficznie na rysunku 6.

Tabela 8. Wytrzymałość próbek betonowych po 7 i 28 dniach
Table 8. Strength of concrete samples after 7 and 28 days

Wytrzymałość na ściskanie	Seria I	Seria II	Seria III	Seria IV	Seria IV-M1	Seria IV-M2	Seria IV-M3
Po 7 dniach [MPa]	15,623	15,536	14,86	11,467	16,911	15,279	13,608
Po 28 dniach [MPa]	22,26	22,015	20,395	15,908	22,078	19,817	18,532



Rysunek 6. Wytrzymałość próbek betonowych na ściskanie po 7 i 28 dniach dojrzewania
Figure 6. Strength against squeezing of concrete samples after 7 and 28 days of ripening

Na podstawie analizy otrzymanych wyników można stwierdzić, że wraz ze wzrostem ilości kruszyw recyklingowych w mieszance betonowej maleje wytrzymałość stwardniałego betonu na ściskanie zarówno po 7 jak i po 28 dniach dojrzewania. Modyfikowane próbki betonowe na uszlachetnionym kruszywie recyklingowym wykazały zróżnicowane wytrzymałości na ściskanie po 7 dniach dojrzewania. Największe dawki impregnatu REMISIL-SI i superplastyfikatora Muraplast FK 20 w stosunku do masy kruszyw recyklingowych i cementu dały największą wytrzymałość, która jest większa od wytrzymałości próbek betonowych na samym kruszywie naturalnym o 8,24%. Próbki betonowe wytwarzane na bazie kruszyw recyklingowych wykazują mniejszą wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach o 1,11-28,54% od wytrzymałości próbek betonowych na kruszywach naturalnych. Zastosowanie kombinacji impregnatu i superplastyfikatora wyraźnie poprawiło wytrzymałości modyfikowanych próbek betonowych na ściskanie po 28 dniach dojrzewania. Wytrzymałość ta jest zależna od procentowego udziału impregnatu i superplastyfikatora w mieszance betonowej. Modyfikowane próbki betonowe odznaczały się wyższą wytrzymałością na ściskanie po 28 dniach dojrzewania od wytrzymałości niemodyfikowanych próbek betonowych z największym udziałem kruszyw recyklingowych (seria IV). Wytrzymałość modyfikowanych próbek betonowych była większa o 16,49-38,79% od wytrzymałości próbek betonowych z największym udziałem kruszyw recyklingowych (60%).

7. PODSUMOWANE

Analizując wyniki przeprowadzonych badań laboratoryjnych można sformułować następujące wnioski:

1. Uszlachetnione kruszywa recyklingowe częściowo mogą zastąpić lub uzupełnić niedobór kruszyw naturalnych do wytwarzania betonów niskich klas wytrzymałościowych.
2. Przy udziale kruszyw recyklingowych na poziomie 15-30% nie obserwuje się znaczących zmian właściwości betonu.
3. Zastosowanie niewielkich zabiegów polegających na wstępnym impregnowaniu kruszyw recyklingowych oraz użycie domieszek chemicznych pozwala na osiągnięcie parametrów betonu porównywalnych do betonu na kruszywie naturalnym.
4. Uszlachetnione kruszywa recyklingowe stanowią pełnowartościowy składnik betonów konstrukcyjnych.
5. Zastosowanie chemii budowlanej w postaci domieszek do betonów jest najbardziej uzasadnione, zarówno ze względów praktycznych, jak i ekonomicznych.
6. Recykling w budownictwie jest nie tylko wyborem, ale przede wszystkim koniecznością, z uwagi na szeroki zakres inwestycji w budownictwie.
7. Konieczne są dalsze badania w celu poprawienia właściwości fizycznych i wytrzymałościowych kruszyw recyklingowych i betonów wytwarzanych na bazie tych kruszyw.

8. LITERATURA

- [1] Ajdukiewicz A., Kliszczewicz A., Recykling betonu konstrukcyjnego - cz. I, Inżynier budownictwa”, 2, 2009,
- [2] Aysin S., *How Can the Construction Industry Conceptual Framework*. Sustainable Development, t. 17, wyd. 3, 2009,
- [3] Dyrektywa parlamentu europejskiego i rady 2008/98/WE z dnia 19 listopada 2008 r. w sprawie odpadów oraz uchylająca niektóre dyrektywy,
- [4] Flaga K., XV Konferencja Naukowo-Techniczna Przemysłu Betonów „Jadwisin 95”, część pierwsza, Referaty Wiodące, Rynia, 1995,
- [5] Glinicki M. A., Zieliński M., Diagnostyka mikrostruktury porów w betonie wbudowanym w konstrukcje i nawierzchnie, IV Konferencja „Dni Betonu - Tradycja i Nowoczesność”, Wisła, 2006,
- [6] Gołda A., Kaszuba S., Nasiąkliwość betonu - wymagania a metody badawcze, CWB, 6/2009,
- [7] PN-EN 1008:2004, Woda zarobowa do betonu. Specyfikacja pobierania próbek, badanie i ocena przydatności wody zarobowej do betonu, w tym wody odzyskanej z procesów produkcji betonu,
- [8] PN-EN 12350-2:2011, Badanie mieszanki betonowej. Część 2: Badanie konsystencji metodą opadu stożka,
- [9] PN-EN 12350-6:2011, Badania mieszanki betonowej. Część 6: Gęstość,
- [10] PN-EN 12350-7:2011, Badania mieszanki betonowej. Część 7: Badanie zawartości powietrza - Metody ciśnieniowe,

- [11] PN-EN 12390-1:2001, Badania betonu. Część 1: Kształt, wymiary i inne wymagania dotyczące próbek do badania i form,
- [12] PN-EN 12390-2:2011, Badania betonu. Część 2: Wykonywanie i pielęgnacja próbek do badań wytrzymałościowych,
- [13] PN-EN 12390-3:2011, Badania betonu. Część 3: Wytrzymałość na ściskanie próbek do badania,
- [14] PN-EN 12620+A1:2010, Kruszywa do betonu,
- [15] PN-EN 197-1:2002, Cement. Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku,
- [16] PN-EN 206-1:2003, Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność.

RESEARCH ON THE POSSIBILITIES OF RECEIVING REGULAR CONCRETES FROM RECYCLING AGGREGATES

SUMMARY

Recycling aggregates are claimed to be very good substitute for natural aggregates. They are used as aggregates to produce low durability class concretes. The most important features limiting the use of these aggregates in building industry are: low tightness, low frost resistance, contraction, high absorbability and low durability. The paper presents the results of laboratory researches of selected features of concrete mixture and hardened concrete, produced on the basis of improved recycling aggregates. The results prove that improved recycling aggregates can be used as full-value aggregates to produce construction concretes of higher strength classes.

Grzegorz BAJOREK, dr inż.

Politechnika Rzeszowska,
Katedra Konstrukcji Budowlanych
ul. Poznańska 2, 35-084 Rzeszów
Centrum Technologiczne Budownictwa przy Politechnice Rzeszowskiej
ul. Przemysłowa 23, 35-105 Rzeszów
e-mail: g.bajorek@ctb-prz.pl

Marta KIERNIA-HNAT, mgr inż.

Centrum Technologiczne Budownictwa przy Politechnice Rzeszowskiej
ul. Przemysłowa 23, 35-105 Rzeszów
e-mail: m.kiernia@prz-ctb.pl

Wanda KOKOSZKA, inż.

Izabela SKRZYPCZAK, dr inż.

Politechnika Rzeszowska
Katedra Geodezji
ul. Poznańska 2, 35-084 Rzeszów
e-mail: kg@prz.edu.pl

REKULTYWACJA TERENÓW ZDEGRADOWANYCH W WYNIKU ODKRYWKOWEJ EKSPLOATACJI KRUSZYW BUDOWLANYCH

STRESZCZENIE

Ochrona środowiska staje się jednym z czynników determinujących produkcję kruszyw budowlanych, a rekultywacja terenów zdegradowanych w wyniku odkrywkowej eksploatacji kruszyw naturalnych stała się jednym z głównym czynników warunkujących wydobycie tego materiału budowlanego. Dobrze zrehabilitowany obszar może podnieść walory krajobrazowe regionu i przyczynić się do wzrostu atrakcyjności turystycznej.

Aspekty środowiskowe oraz rekultywacja terenów zdegradowanych przy produkcji kruszyw budowlanych została omówiona na przykładzie jednego z producentów tego materiału na terenie Podkarpacia.

1. WPROWADZENIE

Podstawową działalnością przemysłu górnictwa odkrywkowego produkującego kruszywa to eksploatacja kruszywa naturalnego i jego przeróbka w celu uzyskania wysokiej jakości kruszyw budowlanych oraz drogowych. Działalność górnicza niezaprzeczalnie wpływa na środowisko przyrodnicze i krajobraz, ale właściwe prowadzenie eksploatacji i rzetelne wykonanie rekultywacji terenów zdegradowanych sprawiają, że obszary poeksploatacyjne zostają zwracane naturze w stanie nie pogorszonego, a często nawet w lepszym.

W wyniku prowadzonej działalności wydobywczej, poprzez zakłady produkujące kruszywa, zostają naruszone elementy środowiska naturalnego: gleba, ukształtowanie terenu, stosunki wodne. W procesach usługowych i produkcyjnych wykorzystywana jest energia i zasoby naturalne oraz wytwarzane są odpady i emisje do środowiska.

Przy identyfikowaniu i ocenie oddziaływań na środowisko firmy produkujące kruszywa wyodrębniają te aspekty środowiskowe, które mają lub mogą mieć największy wpływ i największą skalę oddziaływania na środowisko w wyniku prowadzonej przez nie działalności.

Zakłady eksploatacji kruszywa usytuowane na terenach objętych szczególną ochroną przyrody wymagają dodatkowej staranności w prowadzeniu działalności górniczej aby ich ingerencja w środowisko naturalne była maksymalnie ograniczona.

2. OCHRONA ŚRODOWISKA PRZY PRODUKCJI KRUSZYW BUDOWLANYCH

Główne aspekty środowiskowe omówiono na przykładzie przedsiębiorstwa, które jako pierwsze na terenie Polski południowo-wschodniej wprowadziło produkcję kruszywa sortowanego na bazie kruszywa naturalnego. Obecnie podstawowym rodzajem działalności prowadzonej przez tą firmę jest wydobywanie surowców naturalnych, ich przeróbka i produkcja kruszyw budowlanych, zgodnie ze zharmonizowanymi normami europejskimi. W minionym roku przedsiębiorstwo to wyprodukowało blisko 6 mln ton kruszyw budowlanych i drogowych, co stanowi około 5% produkcji krajowej [2]. Wraz z produkcją kruszyw budowlanych prowadzone są działania w zakresie zmniejszenia negatywnego oddziaływania na środowisko naturalne.

Monitorując stan środowiska w technologii produkcji kruszyw budowlanych można odnieść się do trzech aspektów:

- Wykorzystania surowców naturalnych
- Wyłączenia gruntów z produkcji rolnej i leśnej
- Rekultywacji terenów poeksploatacyjnych.

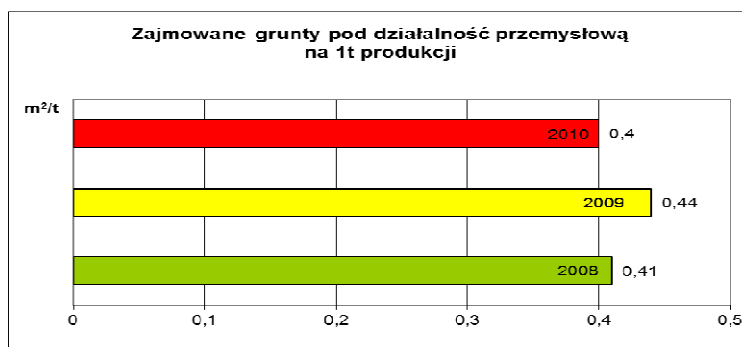
Wydobywanie kruszywa odbywa się z udokumentowanych złóż, na podstawie koncesji wydanych przez organy administracji państwowej poprzedzonych postępowaniami środowiskowymi. Racjonalna gospodarka złożami odbywa się w oparciu o działania planowane, polegające na wykonywaniu Projektów Zagospodarowania Złóż, Planów Ruchu, a także bieżącej obsłudze służb geologiczno-mierniczych nadzorujących wydobywanie kruszywa. Rzeczywiste wykorzystywanie nieodnawialnych naturalnych zasobów złóż kruszywa przekłada się w konsekwencji na ograniczanie możliwości zajmowania pod działalność górnictwem kolejnych terenów, dlatego priorytetem jest efektywne wykorzystanie eksploatowanych złóż. Efektywność wykorzystania zasobów przemysłowych złóż kruszyw

naturalnych dla analizowanego przedsiębiorstwa wyniosła w 2009 roku 86,0 % przy planowanym wykorzystaniu, określonym w projektach zagospodarowania złóż na poziomie 83 % [2].

Podstawowa działalność przedsiębiorstwa, a więc wydobywanie i produkcja kruszyw budowlanych, wymaga czasowego wyłączenia gruntów z produkcji rolnej i leśnej. W celu zminimalizowania tego oddziaływania na środowisko podejmowane są następujące działania:

- wyłączanie gruntów, które odbywa się sukcesywnie wraz z postępem prac udostępniających złoża,
- przywracanie zasobów środowiskowych do użytkowania, które odbywa się na bieżąco, w miarę postępu prac tak, by zminimalizować wielkość ponoszonych z tego tytułu opłat.

Dążeniem przedsiębiorstwa jest uzyskanie w każdym roku zrównoważenia bilansu gruntów wyłączonych z produkcji rolnej lub leśnej z powierzchnią gruntów zrehabilitowanych i tym samym zajmowanie jak najmniejszej powierzchni pod działalność przemysłową (rys. 1).



Rys. 1. Grunty zajmowane pod działalność przemysłową

Fig. 1. Grounds occupied for industrial activity

Rekultywacja odbywa się zgodnie z ustalonymi przez organy administracji samorządowej i państwowej kierunkami rekultywacji, w oparciu o opracowane projekty rekultywacji.

Łączna powierzchnia gruntów zrehabilitowanych w 2010 roku przez to przedsiębiorstwo wyniosła 44,6 ha na terenach poeksploatacyjnych [2].

3. CELE I ZADANIA ŚRODOWISKOWE

Racjonalna gospodarka złożami odbywa się w oparciu o działania zaplanowane na każdy kolejny rok kalendarzowy. Programy te są również podstawą do określenia celów i zadań w zakresie ochrony środowiska i umożliwiają późniejszą weryfikację i ocenę ich realizacji.

Eksploatacja złóż kruszyw naturalnych wymaga zajmowania dużych powierzchni gruntów zagospodarowanych wcześniej rolniczo lub jako użytki leśne. Na koniec 2010

roku przedsiębiorstwo użytkowało w celach przemysłowych 239 ha gruntów co daje wskaźnik 0,40 m² na 1 tonę produkcji kruszywa (rys. 1). Prawidłowa gospodarka zarządzanymi terenami wymaga równoważenia powierzchni gruntów włączanych pod eksploatację kruszywa, z powierzchnią gruntów rekultywowanych.

Unowocześnianie parku maszynowego ma na względzie poprawę wykorzystania surowców naturalnych. Wprowadzane są nowoczesne maszyny wydobywcze umożliwiające eksploatację kruszywa całą miąższością złoża przy mniejszych stratach eksploatacyjnych. Nakłady inwestycyjne związane z modernizacją sprzętu w 2010 roku wyniosły 10 345 mln zł [2].

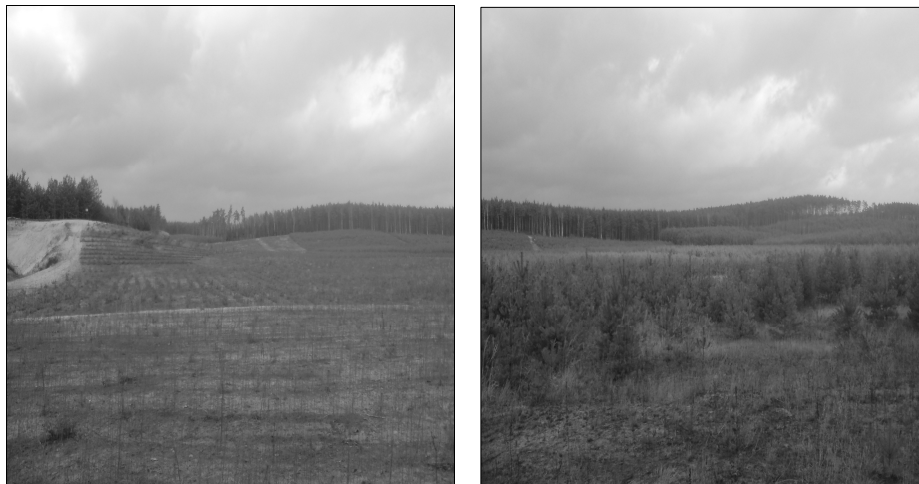
4. REKULTYWACJA TRENÓW ZDEGRADOWANYCH

Rekultywacja i zagospodarowanie terenów i obiektów poeksploatacyjnych do niedawna były traktowane w sposób marginalny. Obecnie już w postępowaniu koncesyjnym (raporcie o oddziaływaniu planowanego przedsięwzięcia na środowisko, projekcie zagospodarowania złoża) należy wskazać kierunek rekultywacji. Wysokie opłaty i podatki od nieruchomości gruntowych użytkowanych na cele nierolnicze i nieleśne, ponoszone przez przedsiębiorcę do czasu uzyskania decyzji starosty o uznaniu rekultywacji gruntów za zakończoną, mają duży wpływ na postępowanie przedsiębiorcy. Bardzo ważne jest rozpoznanie istniejących czy projektowanych cech terenu i podjęcie na tej podstawie decyzji o kierunku rewitalizacji jeszcze przed rozpoczęciem działalności górniczej. W ten sposób można już podczas wydobywania kopaliny odpowiednio uformować wyrobisko, zmniejszyć zakres koniecznych prac naprawczych i odpowiednio przygotować teren pod dalsze niezbędne działania rewitalizacyjne, pozwalając w ten sposób zaoszczędzić czas i pieniądze [3]. Szeręg opracowanych i sprawdzonych technik umożliwia uzyskanie optymalnych warunków dla życia roślin i zwierząt. Eksploatacja nie powinna być prowadzona z myślą jedynie o zyskach. Powinna być oparta na poszanowaniu środowiska przyrodniczego. Zgodnie z ideą zrównoważonego rozwoju w działalności górniczej, należy przyjąć priorytet postulatów ekologicznych w stosunku do ekonomicznych, a czasem nawet społecznych [4].

Przy produkcji kruszyw budowlanych należy więc dążyć, by pogodzić interes przedsiębiorstwa z ochroną środowiska. Przykładem odpowiedzialnego podejścia do spraw środowiskowych na terenie Podkarpacia jest prezentowany w niniejszym artykule producent kruszyw budowlanych.

Przedsiębiorstwo to dla każdej z kopalń opracowuje *Plany Zagospodarowania Złóż oraz Projekty Rekultywacji*, których integralną częścią jest plan rekultywacji terenu kopalni. Opracowanie takie uwzględnia cały przewidywany okres eksploatacji kopalni wraz z rewitalizacją obszarów poeksploatacyjnych. Odtwarzanie siedlisk i krajobrazu na użytkowanych gruntach powinno stać się celem każdej firmy przemysłowej.

Dbając o proekologiczny wizerunek, firma ta podejmuje świadome działania w zakresie zmniejszenia negatywnego oddziaływania na środowisko, spowodowane eksploatacją kruszywa naturalnego. Zakłady górnicze działają z najwyższym poszanowaniem interesów obecnych i przyszłych pokoleń, zapewniając stałą poprawę skuteczności i efektywności działań w zakresie ochrony środowiska.



Rys .2. Tereny zrehabilitowane w kierunku leśnym [2]

Fig. 2. Areas reclaimed to afforestation [2]

Terenom poeksploatacyjnym zostają przywrócone walory krajobrazowe, uzyskiwane poprzez: kształtowanie rzeźby terenu, regulowanie stosunków wodnych i odtwarzanie gleb, co w konsekwencji prowadzi do powstawania nowych użytków rolniczych lub leśnych, atrakcyjnych obszarów wodno-rekreacyjnych i turystycznych, jak również zwiększenie ich bioróżnorodności (rys. 2, 3). Powstałe wyrobiska mogą być przeznaczone pod budowę wielozadaniowych małych zbiorników retencyjnych, które spełniają takie funkcje jak:

- poprawa bezpieczeństwa przeciwpowodziowego,
- podniesienie walorów turystyczno-przyrodniczych,
- ochrona zasobów wód,
- ekologiczne źródło energii.

W ramach prowadzonej rekultywacji wyrobisk pożwirowych największym przedsięwzięciem była budowa na przestrzeni lat 1997-2001 zbiornika wodnego z jazem piętrzącym na rzece Wisłoka o pojemności ok. 6 mln m³ wody. Zbiornik ten jest wykorzystywany obecnie m.in. do celów rekreacyjnych (rys.4).



Rys.3. Teren zrekultywowany jako mały zbiornik retencyjny [2]
Fig .3. Reclaimed areas as a small water reservoir [2]



Rys. 4. Jaz piętrzący na rzece Wiśłoka [2]
Fig. 4 Dam in the Wiśłoka river [2]

Obecnie realizowana jest rekultywacja poprzez wybudowanie kaskadowego układu zbiorników wodnych na terenach poeksploatacyjnych złoża „Krempachy-Frydman” dla ZEK Frydman.

Zaprezentowane przykłady rewitalizacji terenów zdegradowanych poprzez działalność wydobywczą to nie tylko podejście odpowiedzialne do spraw środowiskowych, ale również zoptymalizowany sposób rekultywacji terenów poeksploatacyjnych. Niejednokrotnie zrewitalizowane obszary podniosły walory krajobrazowe regionu i przyczyniły się do wzrostu atrakcyjności turystycznej. Różnorodność i bogactwo przyrody sprawiają, że

przedsiębiorstwo to rozpatruje indywidualnie każdy projekt rekultywacji obszarów zdegradowanych przez działalność odkrywkową.

Należy zauważyć, iż do niedawna wiele przedsiębiorstw w celu rekultywacji gruntów poeksploatacyjnych na szeroką skalę stosowało klasyczną metodę z wykorzystaniem roślin motylkowych, głównie łubinu. Sposób ten sprawdza się w przypadku rekultywacji w kierunku rolnym, gdyż daje szybko rozkładającą się materię organiczną typową dla agrocenozy. Jednak w przypadku odtwarzania terenów leśnych sposób ten nie spełnia dostatecznie stawianych wymagań przyrodniczych i ekonomicznych. Pojawiły się więc nowe metody rekultywacji terenów poeksploatacyjnych, które pozwalają na zoptymalizowanie procesu rekultywacji właśnie w kierunku leśnym.

5. PODSUMOWANIE

Dokonując analizy aspektów środowiskowych na przykładzie jednego z największych producentów tego materiału na terenie Podkarpacia można sformułować następujące wnioski:

- Wielkość terenów przemysłowych (gruntów objętych działalnością wydobywczą) są wynikiem dążenia przedsiębiorstwa do zrównoważenia bilansu gruntów wyłączonych z produkcji rolnej lub leśnej z powierzchnią gruntów zrehabilitowanych i tym samym zajmowanie jak najmniejszej powierzchni pod działalność przemysłową.
- Wyznaczenie kluczowych czynników skutecznej rekultywacji pozwala na odtworzenie sprawności gleby, a w konsekwencji siedliska będącego częścią większych układów przyrodniczych.
- Odtworzenie siedlisk i elementów krajobrazu na terenach poeksploatacyjnych jest dowodem na realizację zasad zrównoważonego rozwoju w przemyśle wydobywczym i produkcji kruszyw budowlanych.
- Dobrze zrehabilitowany obszar może podnieść walory krajobrazowe regionu i przyczynić się do wzrostu atrakcyjności turystycznej.
- Rekultywacja połączona z powstawaniem zbiorników wodnych wspomaga realizowanie lokalnych programów małej retencji.

6. LITERATURA

- [1] Pierwsze Forum Producentów kruszyw, W-wa , 17 listopada 2009
- [2] KRUSZGEO SA, Deklaracja środowiskowa, v.2.1., Rzeszów, 10 marzec 2011
- [3] Kowalska A. *Zmiany antropogeniczne w dolinach rzecznych wywołane eksploatacją kruszyw naturalnych*, Interdyscyplinarne zagadnienia w górnictwie i geologii, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, s.141-149, Wrocław, 2010.
- [4] Papużyński A., *Filozoficzne aspekty zrównoważonego rozwoju – wprowadzenie*. Problemy Ekorozwoju, vol.2, s.95-100, 2006.

RECLAMATION OF AREAS DEGRADED BY OPEN-CAST EXPLOITATION OF AGGREGATES

SUMMARY

Environment protection is important factor influencing production of aggregates for civil engineering needs. Reclamation of areas degraded by open-cast exploitation of natural aggregates became one of the main elements conditioning mining of this building material. Properly reclaimed area can rise natural, landscape values and it can bring advantages for tourist attractiveness of the region.

Environmental aspects and reclamation of areas degraded due to aggregates production have been presented by means of example of the one selected producer from Podkarpacie region.

Grzegorz BAJOREK, dr inż.

Politechnika Rzeszowska
Katedra Konstrukcji Budowlanych
ul. Poznańska 2, 35-084 Rzeszów
Centrum Technologiczne Budownictwa przy Politechnice Rzeszowskiej
ul. Przemysłowa 23, 35-105 Rzeszów
e-mail: g.bajorek@ctb-prz.pl

Marta KIERNIA-HNAT, mgr inż.

Centrum Technologiczne Budownictwa przy Politechnice Rzeszowskiej
ul. Przemysłowa 23, 35-105 Rzeszów
e-mail: m.kiernia@prz-ctb.pl

Wanda KOKOSZKA, inż.

Izabela SKRZYPCZAK, dr inż.

Politechnika Rzeszowska
Katedra Geodezji, ul. Poznańska 2, 35-084 Rzeszów
e-mail: kg@prz.edu.pl

WODA DLA CELÓW PRZEMYSŁOWYCH I LUDNOŚCI A OCHRONA ŚRODOWISKA

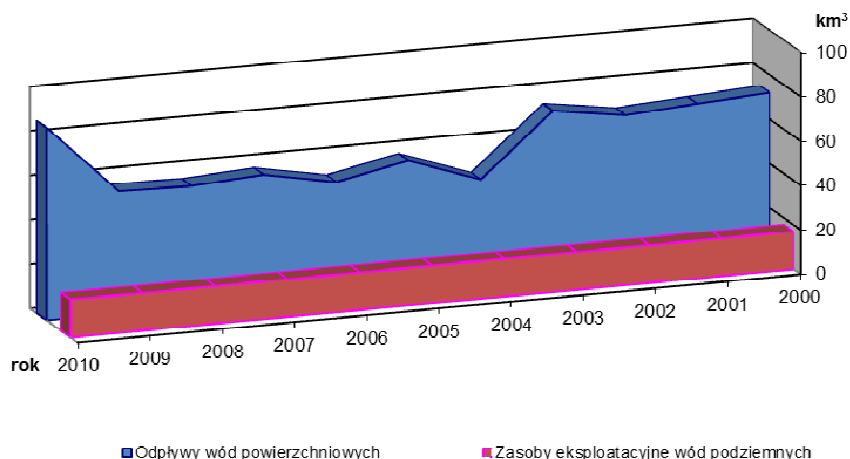
STRESZCZENIE

W artykule opisano problematykę gospodarki zasobami wodnymi na terenie Polski i województwa Podkarpackiego. Przedstawiono aspekty racjonalnego wykorzystania i ochrony tych zasobów. Wskazano na konieczność rozwoju programów małej retencji na przykładzie województwa podkarpackiego.

1. WPROWADZENIE

Zapotrzebowanie na wodę rośnie w ogromnym tempie, a Polska należy do państw o najniższych zasobach wód zwykłych.

Szacuje się, że na jednego mieszkańca w 2010 roku w Polsce przypadało 673 hm^3 wody powierzchniowej oraz $1425,4 \text{ hm}^3$ wody podziemnej. Zmiany wielkości odpływu i zasobów eksploatacyjnych wód podziemnych w latach 2000-2010 przedstawione zostały na rys. 1 [1].



Rys. 1. Odpływy wód powierzchniowych i zasoby eksploatacyjne wód podziemnych w Polsce (na podstawie danych GUS)

Fig. 1. Surface water run-off and exploitable groundwater resources in Poland in 2000-2010 (on the basis of data from GUS)

W Polsce od lat widoczne jest występowanie obszarów o znaczącym deficycie wód zarówno powierzchniowych i jak podziemnych. W literaturze można spotkać podział obszarów deficytowych na trzy rodzaje [2,3]:

- Pierwszy z nich związany jest z ograniczeniami, wynikającymi z występowania zagrożeń dla zrównoważonego korzystania z zasobów wód powierzchniowych i podziemnych.
- Druga kategoria deficytu dotyczy ograniczeń zwiększenia poboru na obszarach o znaczącym wydobyciu wód. Trzeci rodzaj to ograniczenia wynikające z braku możliwości ujmowania wód na potrzeby eksploatacji wodociągowej.
- Innym często spotykanym podziałem to [3,4]:
- deficyt o charakterze naturalnym, będący wynikiem występowania niskich opadów atmosferycznych i niskich odpływów wód powierzchniowych – środkowa Polska oraz niekorzystnych warunków geologicznych – południowa Polska,
- deficyt o charakterze antropogenicznym, będący wynikiem wysokiego poboru wód podziemnych w stosunku do zasobów - odwadnianie wyrobisk górniczych oraz zaopatrzenie ludności dużych miast w wodę wodociągową dobrej jakości.

2. POBÓR I ZUŻYCIE WODY

Według danych zawartych w Raporcie Ochrona Środowiska opracowanego przez Główny Urząd Statystyczny pobór wody w Polsce na potrzeby przemysłu i ludności w 2010 roku kształtował się na poziomie 10 866,4 h m³ i był niższy o 182,1 h m³ w stosunku do 2000 roku. Struktura poboru wód przedstawiała się następująco:

- wody powierzchniowe – 9172,6 hm³ (84,4 % całego poboru wód)
- wody podziemne – 1625,2 hm³ (15,0 %)
- wody z odwadniania zakładów górniczych oraz obiektów budowlanych – około 68,6 h m³ (0,6 %).

Największe ilości wody w 2010 roku pobrane były dla celów przemysłowych (7650,7 hm³). Ponad 96,5% pobranych wód stanowiły wody powierzchniowe, wody z odwadniania to niecałe 4% całkowitego poboru w sektorze przemysłowym.

Drugi co do wielkości pobór realizowany był dla zaspokojenia potrzeb ludności korzystającej z sieci wodociągowej. Wynosił on 2062,4 hm³ pobranej wody, z czego przeszło 69% stanowiły wody podziemne. Do nawadniania w rolnictwie i leśnictwie i uzupełniania stawów rybnych wykorzystywane są wody powierzchniowe. W 2010 pobór na ten cel wyniósł 1153,3 hm³. Powyższe wielkości dotyczą pomiaru rejestrowanego. Bardzo duży wpływ na wielkość poboru wód podziemnych mają ujęcia o poborze nieopomiarowanym, charakterystyczne dla obszarów wiejskich. Szacuje się, że wielkość poboru wód podziemnych w ramach poboru nierejestrowanego wynosi do 1500 h m³/rok [4].

Zużycie wody dla celów przemysłowych i ludności w 2010 roku wynosiło 10 866,4 hm³, co stanowiło 95% poboru rejestrowanego[1]. Pozostałe 5% (572 hm³ wody) to straty w sieci wodociągowej, określone jako straty rzeczywiste i pozorne [5]. Większość strat wody powstaje w skutek nieszczelności systemu wodociągowego oraz w mniejszym stopniu, realizacji potrzeb zakładów wodociągowych (płukanie sieci, zbiorników i filtrów, przygotowanie roztworów do procesów uzdatniania wody).

Pobór i zużycie wód podziemnych i powierzchniowych w Polsce rozkłada się bardzo nierównomiernie. Według obliczeń najmniej wody wodociągowej zużyli mieszkańcy województwa opolskiego (48,5 hm³).

Należy pamiętać, że zaopatrzenie mieszkańców w wodę wodociągową ma miejsce przy wykorzystaniu ujęć powierzchniowych i podziemnych. Ujmowanie wód do sieci wodociągowej jest związane z trzema aspektami: technicznym, ekonomicznym i sanitarnym.

Pod względem technicznym najłatwiejszymi do eksploatacji są wody powierzchniowe, jednak pod względem sanitarnym jakość tych wód dalece odbiega od przyjętych norm dla wód pitnych, w związku z czym konieczne jest zastosowanie kosztownych metod uzdatniania. W Rzeszowie do wodociągów kierowane są jedynie wody powierzchniowe

Natomiast pobór wód podziemnych gwarantuje otrzymanie wód dobrej jakości, które wymagają jedynie prostego uzdatniania w celu eliminacji związków żelaza czy manganu. W tym przypadku rozwiązania techniczne związane z poborem wody i utrzymaniem otworu eksploatacyjnego i filtrów w dobrym stanie są bardzo kosztowne. W miejscach deficytowych, gdzie wody powierzchniowe lub podziemne są jedynym źródłem zaopatrzenia mieszkańców, aspekty ekonomiczne czy technologiczne nie odgrywają decydującej roli przy podejmowaniu decyzji, co do ich eksploatacji.

Przykładem racjonalnego wykorzystania wody w sektorze przemysłowym może być przedsiębiorstwo produkcji kruszyw na terenie województwa podkarpackiego.

Do celów socjalno-bytowych poszczególne jednostki organizacyjne tej firmy zaopatrywane są w większości z sieci wodociągowej, natomiast większość zakładów posiada własne studnie.

W przypadku poboru wody przemysłowej - zakłady górnicze wykorzystują wodę kopalnianą, w obiegu zamkniętym. Woda pobierana jest z basenów stanowiących wyrobiska poeksploatacyjne i przeznaczana jest do celów technologicznych. Zużycie wody do celów technologicznych (nie z wyrobiska) występuje tylko w jednym zakładzie i jest uzależnione od poziomu wody w zbiorniku Czorsztyn-Niedzica, na który zakład ten nie ma wpływu.

Ścieki sanitarne odprowadzane są przeważnie do bezodpływowych zbiorników, a w kilku lokalizacjach do sieci kanalizacyjnej.

Tabela 1. Zbiornicze zestawienie zużycia wody w zakładach terenowych [6]

Table 1. Summary table of water consumption in the local plants [6]

Cel		2010	2009
Socjalny	Studnie	184 m ³	239 m ³
Technologiczny	Woda przemysłowa	7910 m ³	13810 m ³

3. MAŁA RETENCJA PRZYKŁADZIE ZASOBÓW WODNYCH PODKARPACIA

W celu racjonalnego zagospodarowania zasobów wodnych regionu Podkarpacia należy minimalizować ich zmienność przede wszystkim w czasie (okresy suszy i powodzi). Należy podkreślić, że wzrastająca w ostatnich latach częstotliwość występowania powodzi, ich duży zasięg i skutki gospodarcze wskazują i uzasadniają podejmowanie coraz kosztowniejszych działań mających na celu zmniejszenie występujących zagrożeń powodziowych i ograniczenie szkód materialnych i niematerialnych. Do działań tych należy między innymi budowa zbiorników retencyjnych i obiektów małej retencji oraz utrzymanie we właściwym stanie technicznym tych urządzeń.

W ramach rozwoju małej retencji wodnej i ochrony przed powodzią, opracowana została „Synteza programów małej retencji wodnej dla województwa podkarpackiego na lata 2000-2015”. W związku z realizacją zadań małej retencji wodnej w ostatnich latach powstało 11 zbiorników małej retencji w miejscowościach: Żołynia, Wólka Sokołowska, Głuchów, Łopuszka Mała, Dylągówka, Blizne, Grodzisko Dolne (Czyste), Trzciana (Dyndy), Cewków, Góra Ropczycka i Majdan Królewski.

Na podkreślenie zasługuje fakt, że według zawartej w tym programie dokumentacji, będącej w posiadaniu Podkarpackiego Zarządu Melioracji i Urządzeń Wodnych w Rzeszowie, małe zbiorniki retencyjne są planowane głównie w części wyżynnej województwa. Opracowania te nie zagospodarowują rumoszu i innych produktów wietrzenia fliszu (szczególnie istotne w spodziewanych warunkach pogodowych) odkładanych w korytach rzek i zbiorników. Ponadto wody tych zbiorników zwiększają akumulację zbiornika wód podziemnych, skąd spływają korytami podziemnymi do zlewni rzeki Dniestr zubożając zasoby wód podziemnych obszaru polskiego. Alternatywa mogą być zbiorniki budowane kaskadowo. W zależności od ich lokalizacji, mogą być one zbiornikami retencyjnymi,

wyrównawczymi, lub zbiornikami pomocniczymi przy dużych istniejących zbiornikach retencyjnych [7]. Część zbiorników może spełniać rolę zbiorników przepływowych powstałych w wyniku przegrodzenia cieków. Ważną rolę spełniać mogą zbiorniki suche przewidziane jako zbiorniki przeciwpowodziowe. Zbiorniki te mogą akumulować spływający materiał zwietrzelinowy jak również produkty organiczne. Miejsca te z upływem czasu staną się zaprogramowanymi enklawami intensywnego rozwoju flory i fauny a ich zarastanie spowoduje również korzystne procesy humusowe.

Zmiany klimatyczne wywołują powstawanie nie notowanych dotąd nawałnic, które są poważnym zagrożeniem dla mieszkającej na Podkarpaciu ludności, i tak np. nawałnica która przeszła w lipcu 2005r. przez część gminy Zagórz z powiatu sanockiego spowodowała zalanie miejscowości przez podniesienie się poziomu wody o kilka metrów w ciągu godziny. Istotnym więc celem koncepcji budowy wielozadaniowych zbiorników o małej retencji, na wydzielonych ograniczonych obszarach, jest zabezpieczenie przed skutkami stanów powodziowych cieków Podkarpacia. Małe zbiorniki przeciwpowodziowe są najbardziej efektywne, gdy mamy do czynienia z dużym chwilowym przepływem, ale o krótkim czasie trwania, a więc małą pojemnością fali wezbraniowej. Przepływy o takim charakterze mają miejsce właśnie w bieszczadzkich rzekach i potokach.

Budowie zbiorników retencyjnych w Bieszczadach sprzyja stosunkowo korzystna tektonika tego obszaru [8].

Zbiorniki retencyjne i obiekty małej retencji mają istotne znaczenie dla opóźnienia spływu wód wielkich w zlewni do rzeki Wisłok oraz magazynowania wody dla celów nawodnień rolnych, gospodarki rybackiej, przeciwpowodziowych i rekreacyjnych. Obiekty małej retencji powinny być w pierwszej kolejności budowane i modernizowane w celu skutecznego opóźniania odpływu wód wielkich ze zlewni cząstkowych.

4. PODSUMOWANIE

Polska od lat boryka się z problemami wodnymi. Nieracjonalna gospodarka wodą oraz zanieczyszczenia środowiska naturalnego w II poł. XX wieku przyczyniły się do znaczącego zubożenia zasobów, bądź wyeliminowania niektórych cieków powierzchniowych oraz zbiorników podziemnych jako źródeł zaopatrzenia w wodę pitną. Sytuacja ta sprawiła, że zaczęto podejmować działania zmierzające do naprawy szkód wyrządzonych środowisku, w tym środowisku wodnemu. Od kilku lat widoczne jest zmniejszenie poboru wód powierzchniowych podziemnych zarówno w sektorze przemysłowym jak i komunalnym. W ślad za tym zmierza redukcja wielkości zużycia wody oraz dążenie do minimalizacji strat powstałych w związku z przesyłem wody siecią wodociagową (modernizacja rurociągów). Należy chronić zasoby wodne przed zanieczyszczeniami z sektora przemysłowego (składowiska odpadów, zrzuty wód zasolonych, rolniczego (nawozy) oraz komunalnego (nielegalne składowiska odpadów, ścieki), jak również podjąć działania zamierzające do zminimalizowania skutków powodzi czy pustynnienia obszarów. Zbiorniki wodne (retencyjne) umożliwiają wyrównanie odpływu rzecznoego przez magazynowanie (retencjonowanie) wody w okresach jej nadmiaru (wezbrań) i korzystanie w okresach niedoboru (susza).

5. LITERATURA

- [1] Ochrona Środowiska, 2011, Główny Urząd Statystyczny
- [2] Paczyński B., Sadurski A.: Hydrogeologia regionalna Polski. Wody słodkie, Tom I, Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa, 2007
- [3] Syposz-Łuczak B.: Gospodarowanie wodami powierzchniowymi i podziemnymi w Polsce, Technika Poszukiwań Geologicznych, IGSMiE PAN, Zeszyt. 1-2, 2010
- [4] Kotarba M.: Przemiany środowiska naturalnego a ekorozwój, TBPS Geosfera, Kraków 2007
- [5] Frankowski Z., Gałkowski P., Mitęga J.: Struktura poboru wód podziemnych w Polsce, Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa 2009
- [6] KRUSZGEO SA, Deklaracja środowiskowa, v.2.1., Rzeszów, 10 marzec 2011
- [7] Mioduszewski W.: Mała retencja w lasach elementem kształtowania i ochrony zasobów wodnych. Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej R. 10. Zeszyt 2 (18)/2008
- [8] Jaremski J.: Aspekty geotechniczne w ochronie zasobów wodnych województwa podkarpackiego. Inżynieria Morska i Geotechnika, nr 1/2010, Gdańsk, 2010

WATER FOR INDUSTRIAL AND POPULATION GROUP USE REFERRING TO ENVIRONMENT PROTECTION

SUMMARY

Issues of water resources management in Poland and Podkarpacie province have been shown in the contribution. Aspects of reasonable use and protection of these resources have been presented. The authors have given weight to development of small retention programmes.

Grzegorz BAJOREK, dr inż.

Politechnika Rzeszowska, Katedra Konstrukcji Budowlanych
ul. Poznańska 2, 35-084 Rzeszów
Centrum Technologiczne Budownictwa przy Politechnice Rzeszowskiej
ul. Przemysłowa 23, 35-105 Rzeszów
email: g.bajorek@ctb-prz.pl

Marta KIERNIA-HNAT, mgr inż.

Centrum Technologiczne Budownictwa przy Politechnice Rzeszowskiej
email: m.kiernia@ctb-prz.pl

Izabela SKRZYPCZAK, dr inż.

Politechnika Rzeszowska, Katedra Geodezji
ul. Poznańska 2, 35-084 Rzeszów
email: izas@prz.edu.pl

ASPEKTY TECHNOLOGICZNE ZASTOSOWANIA BETONU ARCHITEKTONICZNEGO NA PRZYKŁADZIE WYBRANEGO OBIEKTU BUDOWLANEGO

STRESZCZENIE

W referacie przedstawiono problemy związane z wykonawstwem elementów z betonu architektonicznego. Przedstawiono także zasady technologii betonu architektonicznego zgodnego z zasadami zrównoważonego rozwoju. Całość dotyczy realizacji budynku Sądu Rejonowego w Rzeszowie.

1. WPROWADZENIE

Podążanie za trendami we współczesnej architekturze wymaga stosowania rozwiązań minimalistycznych nie tylko w formie, ale i w zastosowanych materiałach. Do tego trendu świetnie pasuje zastosowanie betonu architektonicznego – stosowanego zarówno

w elewacjach budynków jak i w ich wnętrzach. Surowość tego materiału, emanujący z niego chłód, są dobrym tłem do eksponowania innych elementów architektonicznych. Aby jednak to tło było piękne w swej surowości i jednocześnie „niewidoczne”, konieczne jest, już na etapie projektu, zdefiniowanie co projektant rozumie pod nazwą „beton architektoniczny”, aby wykonawca robót mógł zrealizować jego zamierzenia.

Beton stosowany jest praktycznie na każdej z realizowanych budów więc jego wbudowanie oraz pielęgnacja nie stanowią problemu dla budowlanych firm wykonawczych. Jednak gdy dodane zostanie do niego określenie „architektoniczny” większość wykonawców i producentów betonu zaczyna mieć pewne obawy. Dlaczego tak jest? Czego boją się doświadczeni wykonawcy i producenci betonu? Problemem jest brak w Polsce odpowiednich przepisów (norm, wytycznych) dotyczący wykonania i odbioru dla powierzchni zdefiniowanych jako architektoniczne oraz brak takich wytycznych w projektach budowlanych [1], [2]. Tak więc wykonawcy i producenci boją się po prostu, że nie spełnią tego, co nie zostało jasno określone.

2. ETAP PROJEKTOWANIA

Przykładem zastosowania betonu architektonicznego przy budowie obiektu użyteczności publicznej jest budynek Sądu Rejonowego w Rzeszowie przy ul. Gen. Kuźnia. Obiekt ten był realizowany w okresie od marca 2007 do marca 2010 r. Początki prawie każdej budowy, na której ma być zastosowany beton architektoniczny są podobne. Prowadzone są rozmowy z projektantami, aby Ci określili jasno jakie mają wymagania dla betonu, który nazwali architektonicznym. Następnie projektowana jest odpowiednia mieszanka betonowa, określana jest technologia betonowania, wykonywany jest próbny element – gdy jego wygląd jest satysfakcjonujący, przystępuje się do betonowania elementów właściwych. Jak widać, schemat jest prosty i stosunkowo łatwy do realizacji.

Podczas realizacji Sądu Rejonowego w Rzeszowie schemat ten był jednak trochę inny. Na początku zabetonowano tzw. element próbny i przedstawiono go do akceptacji architektowi – akceptacji niestety nie otrzymał. Wówczas poproszono technologów o pomoc. Analiza dokumentacji budowlanej wykazała, że w zasadzie nie określono wymagań dla betonu architektonicznego, poza tym, że tak został nazwany. Za namową technologów rozpoczęto rozmowy z projektantami w celu określenia wymagań dla powierzchni – uzyskano krótką i jasną odpowiedź – powierzchnia ma być gładka, bez raków i porów oraz jednolitej barwy. Niestety wymaganie to, jak wiadomo, jest niewykonalne do spełnienia dla całej budowy. Po kolejnych rozmowach ustalono wymagania porowatości na poziomie ok. P1 [1] czyli zgół łagodne wymagania dotyczące porowatości oraz utrzymano wymaganie niewielkich zmian w kolorystyce betonu.

Następnie rozpoczęto etap projektowania mieszanki betonowej. Element próbny zabetonowano niestety zwykłym betonem towarowym, dlatego nie spełnił wymagań stawianym betonowi licowemu. Wykonawca stał na stanowisku, że cena mieszanki betonu architektonicznego nie powinna odbiegać od ceny mieszanki betonu zwykłego o tej samej klasie wytrzymałości (w projekcie beton zdefiniowano jako klasę B30).

*Tabela 1. Pierwsza receptura betonu architektonicznego**Table 1. First recipe of architectural concrete*

Składnik	Ilość [kg/m³]
Piasek	700
Żwir	1094
Cement	380
Woda	180
Superplastyfikator	3,8 (1,0% m.c.)

Aby sprostać presji ceny mieszanki betonowej konieczne było zastosowanie lokalnego kruszywa stosowanego standardowo do betonów zwykłych towarowych. Na terenie Podkarpacia złoża kruszyw żwirowych są niejednorodne i zawierają dużą ilość ziarn płaskich w porównaniu ze złożami w innych częściach Polski. Jedynie podkarpackie kruszywa z dorzecza Dunajca wykazują większą jednorodność zarówno pod względem uziarnienia, kształtu jak i kolorystyki – ale te nie są już tanie w porównaniu ze złożami występującymi bliżej Rzeszowa. Wymóg ten spowodował, że wymuszone zostało w zasadzie opracowanie receptury zgodnej z założeniami zrównoważonego rozwoju – z materiałów lokalnie dostępnych i odpadowych (z zastosowaniem popiołu lotnego). Opracowana została recepta o składzie jak w tabeli nr 1. Zabetonowany z niej element próbny spełnił oczekiwania projektanta, więc końcem stycznia 2008 r. rozpoczęto betonowanie elementów właściwych.



Fot. 1. Efekt pierwszego betonowania
Fot. 1. The effect of the first concrete work

W pierwszym dniu betonowania, brygady betoniarskie zostały poinstruowane o właściwym sposobie wbudowywania i zagęszczania mieszanki betonowej. Po dwu dniach betonowań rozpoczęto rozdeskowywanie. Efekt był różny – część powierzchni wykazywała zadowalającą jakość, natomiast wygląd niektórych powierzchni znacząco odbiegał od

oczekiwań (fot. 1). Ponadto występowała zmienność jakości powierzchni pochodzących z jednego betonowania na dwu różnych sąsiadujących ze sobą płytach deskowania (fot 2). Po dokładnym obejrzeniu materiału deskowań okazało się, że były zużyte i z pewnością nie nadawały się do wykonywania betonu architektonicznego o gładkiej powierzchni(fot. 3).



Fot. 2. Efekt zastosowania różnej jakości płyt
Fot. 2. Effect of application of different quality of surface

Problemem były nie tylko zużyte blaty deskowań ale także ich sposób czyszczenia i nanoszenia środka antyadhezyjnego. Ten ostatni наносzono początkowo pędzlami.



Fot. 3. Przykład zastosowanego deskowania
Fot. 3. Example of the sideplanking

Poinstruowano wykonawcę robót o tym jakie płyty deskowań pozwalają uzyskać oczekiwaną powierzchnię i jak należy nanosić środek antyadhezyjny. Równoległe na prośbę producenta betonu rozpoczęto prace nad recepturą bardziej „odporną” na sposób jej wbudowywania.



Fot. 4. Wygląd próbek wykonanych z ostatecznej receptury mieszanki betonowej
Fot. 4. The appearance of samples taken from the final recipe of concrete

Opracowano kilka wersji receptury oraz wykonano serię zarobów próbnych w laboratorium w celu otrzymania recepty, która pozwoliłaby na uzyskanie efektu betonu architektonicznego bez potrzeby wibrowania. Po kilku próbach udało się uzyskać próbki o nienagannym wyglądzie bez ich wibrowania (fot. 4). Recepturę tą przedstawiono wykonawcy i wykonano z niej próbny element (nie informując oczywiście, że przewidziano przy jej opracowywaniu brak konieczności wibrowania wbudowywanej mieszanki). Efekt uzyskany na próbnym betonowaniu był zadowalający więc podjęto decyzję o rozpoczęciu kolejnych betonowań w oparciu o nową recepturę.

Recepturę opracowano zastosowaniem technologii betonu prawie samozagęszczalnego (ASCC). Zastosowano lokalne kruszywa oraz materiał odpadowy (popiół lotny) spełniający wymagania normy PN-EN 450-1 dla dodatków typu II, a jako domieszki użyto superplastyfikatora na bazie eterów polikarboksyłanowych. Skład receptury przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Ostateczna receptura betonu architektonicznego

Table 2. Last recipe of architectural concrete

Składnik	Ilość [kg/m³]
Piasek	650
Żwir	1017
Cement	370
Popiół lotny	120
Woda	180
Superplastyfikator	3,7 (1,0% m.c.)

3. REALIZACJA

Beton produkowany w oparciu o tę recepturę wbudowywano od lutego 2008 roku. Pierwsze betonowanie odbyło się już 5 lutego. Z uwagi na konsystencję mieszanki betonowej zmieniono oczywiście sposób pomiaru konsystencji z opadu stożka na rozplływ mieszanki, który to ustalono na poziomie 65 cm. Taka wartość konsystencji mieszanki betonowej pozwoliła znacząco przyspieszyć prędkość wbudowywania mieszanki betonowej i jakość uzyskiwanych powierzchni (fot. 5).

Wyniki wytrzymałości uzyskiwane na podstawie ostatecznej receptury były oczywiście zawyżone w stosunku do oczekiwanej klasy wytrzymałości – uzyskiwano średnie wartości wytrzymałości 28-dniowej na poziomie 45 MPa. Jednak w przypadku betonu architektonicznego wytrzymałość jest wypadkową składu betonu, a ten musi być wykonany z zastosowaniem odpowiedniej ilości części miążkich [3] a te wprowadza w głównej mierze cement i popiół lotny podwyższając w ten sposób wytrzymałość betonu.

Prace związane z projektowaniem i wbudowywaniem betonu architektonicznego w ścianach były jednak dopiero wstępem do najtrudniejszego zadania – betonowania elewacji, na której projektant przewidział odwzorowanie nazwy obiektu na jej powierzchni licowej, także w technologii betonu architektonicznego.



Fot. 5. Ściana wykonana z betonu zgodnego z recepturą ASCC
Fot. 5. The wall is made of concrete that is compatible with recipe ASCC

Jednak i to zadanie udało się wykonać z sukcesem również w oparciu o tę samą recepturę betonu, dochowując odpowiedniej dbałości na etapie przygotowania szalunku dla liter napisu.

4. PODSUMOWANIE

Wykonanie i wbudowanie betonu architektonicznego nie jest niewykonalnym zadaniem. Ważne tylko jest aby wszystkie strony procesu budowlanego, inwestor, projektant, inspektor i wykonawca były świadome tego z jakim materiałem mają do czynienia i miały świadomość, że nie jest to po prostu zwykły beton towarowy. Konieczne jest jasne określenie wymagań dla takiego betonu już na etapie jego projektu/przetargu aby wykonawca miał świadomość tego jakiej jakości będzie się od niego oczekiwać i aby nie tracić zbędnie czasu na ustalanie tego na etapie rozpoczętych już robót.

5. LITERATURA

- [1] Kuniczuk K.: „Beton architektoniczny - wytyczne techniczne.”, Polski Cement-Stowarzyszenie Producentów Cementu, Kraków 2011
- [2] Czołgosz R., Saferna M., Adamczuk T.: „Beton architektoniczny w teorii i praktyce na przykładzie rozbudowy Stadionu Miejskiego (Lecha) w Poznaniu.”, Dni Betonu, Wisła 11-13 października 2010, Stowarzyszenie Producentów Cementu, Kraków 2010
- [3] Wytyczne Federalnego Stowarzyszenia Producentów Cementu dotyczące przetargów, wykonania i odbioru betonów o zdefiniowanych wymaganiach wizualnych, Koeln 1997

TECHNOLOGICAL ASPECTS OF ARCHITECTURAL CONCRETE EXAMPLE OF THE SELECTED OBJECT

SUMMARY

In-shows the problems of making elements of architectural concrete. Are also the principles of technology architectural concrete is compatible with the principles of sustainable development. A whole concerns the implementation of the building of the Court in Rzeszów.

Grzegorz BAJOREK, dr inż.

Politechnika Rzeszowska, Katedra Konstrukcji Budowlanych
ul. Poznańska 2, 35-084 Rzeszów
Centrum Technologiczne Budownictwa przy Politechnice Rzeszowskiej
ul. Przemysłowa 23, 35-105 Rzeszów
e-mail: g.bajorek@ctb-prz.pl

Marta KIERNIA-HNAT, mgr inż.

Centrum Technologiczne Budownictwa przy Politechnice Rzeszowskiej
ul. Przemysłowa 23, 35-105 Rzeszów
e-mail: m.kiernia@prz-ctb.pl

Izabela SKRZYPCZAK, dr inż.

Politechnika Rzeszowska
Katedra Geodezji
ul. Poznańska 2, 35-084 Rzeszów
e-mail: izas@prz.edu.pl

ROLA BETONU ARCHITEKTONICZNEGO W REALIZACJI OBIEKTÓW BUDOWLANYCH

STRESZCZENIE

W referacie przybliżono rolę betonu architektonicznego, który szczególnie dobrze spełnia swoją funkcję estetyczną, konstrukcyjną i użytkową w przypadku budowli monumentalnych takich jak obiekty sakralne, muzea czy sądy. Szczegółowo omówiono walory architektoniczne tego materiału konstrukcyjnego.

1. WPROWADZENIE

Beton jest współcześnie najszerzej stosowanym materiałem budowlanym na świecie. Światowa gałąź przemysłu budowlanego produkującego beton wytwarza około 6 mld m³ tego materiału rocznie, z czego około 70% produkcji stanowi beton konstrukcyjny.

W Polsce produkuje się około 23 mln m³ tego materiału rocznie [1]. Beton jest więc podstawowym materiałem konstrukcyjnym, ale również elewacyjno-dekoracyjnym.

Podstawowymi właściwościami charakteryzującymi beton są wysoka wytrzymałość i urabialność. Zapewnienie tych cech przy prawidłowo zaprojektowanej mieszance betonowej umożliwia zrealizowanie praktycznie każdej wizji architekta, od rzeźby architektonicznej po elementy elewacyjno-dekoracyjne. Rozwiązania technologiczne umożliwiają stworzenie konstrukcji betonowej o kolorystyce, gładkości lub teksturze powierzchni, która spełni wymagania i oczekiwania każdego architekta. Teraz, kiedy wszechobecny jest minimalizm oraz styl industrialny, beton przeżywa swój renesans.

Rozwój technologii betonu spowodował, że obecnie mamy szereg różnych odmian betonu funkcjonującego pod jedną nazwą – beton architektoniczny.

Beton architektoniczny jest materiałem [2]:

- specjalnie projektowanym na etapie tworzenia dokumentacji,
- określone są wymagania odnośnie jego powierzchni,
- jego zewnętrzna i/lub wewnętrzna powierzchnia jest eksponowana w obiekcie,
- wpływa na wizualny charakter obiektu.

Dekoracyjność tego materiału można uzyskać poprzez zastosowanie jednej z technik [3]:

- pozostawienie w naturalnej formie,
- mechaniczne fakturowanie,
- chemiczne opóźnienie powierzchni wiązania,
- kombinacja powyższych metod.

Najbardziej popularną formą preferowaną przez architektów jest beton gładki, popularnie zwany licowym. Prostota i gładkość powierzchni oraz surowość tego materiału jest dobrym tłem do eksponowania innych elementów architektonicznych.

2. BETON ARCHITEKTONICZNY A EFEKTY WIZUALNE

Beton fasadowy, zwany też betonem architektonicznym, gwarantuje dotrzymanie wymogów wytrzymałościowych przy równoczesnym uzyskaniu estetycznych i trwałych zewnętrznych powierzchni betonu nie wymagających pokrycia warstwą tynku lub innej powłoką, stosowaną przeważnie w konstrukcjach betonowych.

Beton elewacyjno-architektoniczny ze względu na swoją funkcję w obiekcie powinien charakteryzować się następującymi parametrami [4]:

- jednorodna powierzchnia, gładka, szczelna o małej ilości porów,
- jednolite zabarwienie całej powierzchni betonu na wszystkich elementach konstrukcji,
- wszystkie brzegi i kandy wg wymaganych wymiarów, bez usterek i wyszczerbień,
- staranne zaplanowanie i wykonanie niezbędnych fug w sposób możliwie mało widoczny.

Wszystkie wymagania wymienione powyżej, mimo wielkiego postępu w technologii betonu osiągniętego w ostatnich latach, są trudne nawet dzisiaj do spełnienia, stąd też bardzo trudno znaleźć zwięzłą i spójną definicję betonu architektonicznego. Według tych wymagań beton elewacyjny to beton którego widoczna powierzchnia spełnia funkcję twórczą architektonicznie i posiada z góry określony wygląd. W literaturze oraz

wytycznych technicznych pod hasłem *beton architektoniczny* można znaleźć określenie „Powierzchnie betonu dla których zdefiniowane są wymagania odnośnie wyglądu [6, 7]”. Przez powierzchnię widoczną rozumie się tę powierzchnię elementu, która po zabudowie w obiekcie pozostawia widoczny obraz taki jak kształt, tekstura powierzchni, kolor, odbicie powierzchni deskowania, fugi itd., który w ostatecznym efekcie określa wygląd elementu lub architektoniczne oddziaływanie elementu w budowli. Wymagany efekt optyczny może być osiągnięty w różny sposób [6]:

- zastosowanie deskowań strukturalnych o określonej teksturze,
- zastosowanie betonu o szczególnych właściwościach i odpowiednio dobranej recepturze,
- zastosowanie późniejszej obróbki powierzchni betonu.

Tabela 1. Deskowanie a wygląd powierzchni betonu [6]

Table 1. Planking and surface apperance of concrete [6]

Nr	Rodzaj deskowania	Cechy powierzchni
	1	2
1	surowe deski	<ul style="list-style-type: none"> ▪ struktura surowej deski (wysoka chłonność szalunku) ▪ powierzchnia betonu ciemna
2	deski strugane	<ul style="list-style-type: none"> ▪ gładka struktura deski (ograniczona chłonność) ▪ powierzchnia znacznie jaśniejsza jak w pkt. 1
3	niewpewekane płyty wiórowe	<ul style="list-style-type: none"> ▪ powierzchnia betonu lekko szorstka ▪ powierzchnia betonu ciemna
4	włókniny/flizeliny	<ul style="list-style-type: none"> ▪ powierzchnia betonu podobna do sitodruku ▪ powierzchnia betonu ciemniejsza niż w pkt. 3
5	płyty warstwowe o powlekanej powierzchni <ul style="list-style-type: none"> • struktura drewna • struktura groszkowa 	<ul style="list-style-type: none"> • przy pierwszym zastosowaniu powierzchnia betonu ciemna • potem powierzchnie betonu jaśniejsze
6	kartonowe rury	<ul style="list-style-type: none"> • powierzchnia betonu jasna • powierzchnia betonu gładka
7	gładka powlekana sklejka	<ul style="list-style-type: none"> • powierzchnia gładka

	powlekane płyty wiórowe	<ul style="list-style-type: none"> • powierzchnia betonu jasna tak jak w pkt. 9
8	wielowarstwowa sklejka z naniesionym filmem ochronnym sitodruk	<ul style="list-style-type: none"> • struktura powierzchnia betonu oddaje raster sitodruku • powierzchnia nieco ciemniejsza niż w pkt. 7
9	blacha stalowa	<ul style="list-style-type: none"> • powierzchnia betonu jasna • powierzchnia gładka
10	matryca strukturalna	<ul style="list-style-type: none"> • struktura oddająca rodzaj matrycy • powierzchnia betonu jasna
11	deskowania z tworzywa sztucznego deskowania metalowe	<ul style="list-style-type: none"> • powierzchnia betonu jasna • powierzchnia gładka

Poprzez zastosowanie odpowiedniej techniki obróbki powierzchni betonu można również odsłonić rodzaj i kolorystykę zastosowanego do mieszanki betonowej kruszywa i piasku. Dlatego przy projektowaniu betonu architektonicznego przestrzega się zasad doboru rodzaju i uziarnienia kruszywa (granit, piaskowiec, porfir lub kwarc). Ważny jest także kształt ziarna np. żwir (ziarno okrągłe), kruszywo łamane (ziarno o krawędziach ostrych). Dzięki wykorzystaniu tych efektów uzyskuje się zróżnicowanie struktury o różnej kolorystyce [6].

Wykorzystanie koloru daje szczególnie duże możliwości estetycznego oddziaływania powierzchni betonowej, a zastosowanie polerowania barwionego betonu może wzmacniać uzyskany efekt [6]. W przypadku stosowania kolorowych powierzchni mieszanka betonowa powinna być produkowana z zastosowaniem następujących materiałów [7]:

- cementów szczególnie poddających się barwieniu np. cementy białe,
- kruszyw o szczególnych efektach barwnych, np. czerwony granit,
- ewentualne zastosowanie pigmentów do betonu (np. tlenki żelaza).

3. ODBIÓR OBIEKTU

Od betonów architektonicznych oczekuje się przede wszystkim wysokiej optycznej jednorodności powierzchni, stąd dopuszcza się jedynie niewielkie odchyłki w składzie betonu. Dlatego przy produkcji tych betonów należy stosować tylko jeden rodzaj cementu od jednego producenta (tj. pochodzący z tego samego klinkieru). Należy również zadbać o to, by kruszywa pochodziły z jednego złoża. Szczególnie należy kontrolować i ograniczać wahania drobnych frakcji w piaskach. W przypadku stosowania popiołów lotnych, mogą one pochodzić jedynie z jednej elektrowni, z tego samego bloku energetycznego.

Ogólne wrażenie estetycznego oddziaływania budowli powstaje przy oglądaniu jej z pewnej odległości. W praktyce sprawdzili się następujące zasady przy optycznej ocenie betonu architektonicznego :

- Budowla - prawidłowa odległość, z której przeprowadza się ocenę odpowiada odległości, która pozwala objąć wzrokiem całość lub istotną część budowli poddaną ocenie. Odległość ta winna zezwalać na ocenę tych elementów, które wnoszą istotny wkład w wygląd budowli.
- Element budowli - prawidłowa odległość z której przeprowadza się ocenę odpowiada odległości z jakiej element jest użytkowany przez użytkownika.

Należy również zwrócić uwagę, czy całość tworzy zharmonizowany pełny obraz. Przypadkowa nieregularność struktury, czy drobne różnice koloru są charakterystyczne dla technologii betonu architektonicznego i należy je uwzględnić prowadząc ocenę ogólnego oddziaływania estetycznego budowli.

Do elementów które mogą zakłócić ogólne wrażenie w trakcie optycznej oceny należy wymienić :

- nieregularności powodowane różnicami w ubarwieniu sąsiadujących powierzchni ze względu na różne właściwości deskowań,
- różnice w ubarwieniu betonu na skutek nierównomiernego betonowania,
- zbyt duży, nierównomierny rozkład porów w obrębie jednego pola, zakłócający ogólny obraz.

4. PRZYKŁAD UDANEGO ZASTOSOWANIA BETONU ARCHITEKTONICZNEGO

Obiekt: Budynek Sądu Rejonowego w Rzeszowie, projekt: Konior Studio - Tomasz Konior, wykonawca: Warbud S.A.

Obiekt powstał zgodnie z obowiązującym planem miejscowego zagospodarowania, wśród typowych osiedli mieszkaniowych stanowiąc pierwszy element porządkujący przestrzeń tej części Rzeszowa. Jest to bardzo nowoczesny budynek choć nie pozbawiony klasycznych elementów. Pierwsze wrażenie to zastosowane materiały - beton architektoniczny, duże przeszklenia, bloczki betonowe oraz stal nierdzewna. Drugie wrażenie potęguje klasyczny układ bryły, portal wejściowy z kolumnami i symetryczność fasad.

Nowy budynek sądu, masywny i regularny w swej geometrii, jest wynikiem rozwiązań funkcjonalnych. Stworzono trzy niezależne drogi komunikacyjne wewnątrz budynku. Wydzielone zostały odrębne klatki schodowe, korytarze, tworząc bardzo przestrzenny układ całego budynku.

Centrum układu stanowi ogólnodostępny hol wejściowy prowadzący do środkowej przestrzeni komunikacyjnej. Wokół niego, na poszczególnych kondygnacjach znajdują się sale rozpraw. W niższej części budynku rozlokowano funkcje biurowe i administracyjne.

Dominującym materiałem architektonicznym jest beton gładki. Wnętrze jest więc surowe, zgodne z trendami nowoczesnej minimalistycznej architektury oraz walorami użytego materiału.

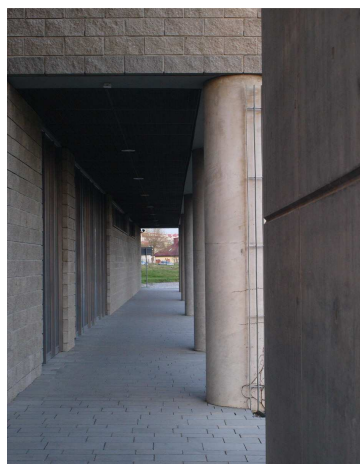
Wnętrza ocieplają ciepłe elementy z drewna: okładziny ścian, balustrady oraz zielone dziedzińce. Poprzez duże przeszklenia holu wejściowego budynek otwiera się na otaczający teren.

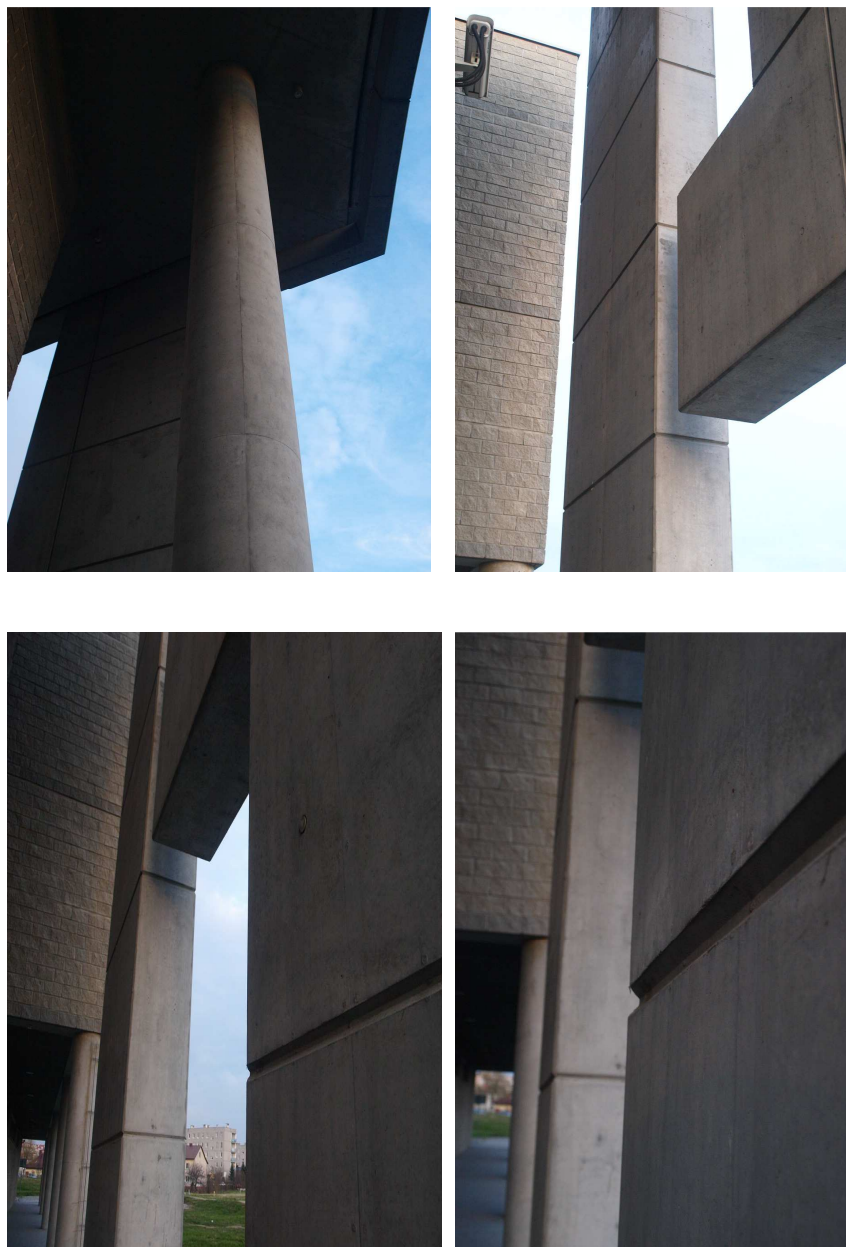
Ogólny widok obiektu, a także bliższy ogląd elementów architektonicznych oddają typowe cechy materiału jakim jest beton architektoniczny, a na uwagę zasługuje wykonany w technologii betonu architektonicznego samozagęszczalnego portal wraz z napisem „Sąd

Rejonowy”. Napis ten to nie szlif tylko odlew w odpowiednio wykonanym i przygotowanym deskowaniu.

Efekt i walory betonu architektonicznego w przypadku zrealizowanego obiektu osiągnięto przy ogromnym zaangażowaniu ze strony projektantów oraz wykonawców i są one typowe dla tej technologii.

Obiekt znalazł ogólne uznanie jako połączenie udanej architektury i dobrego wykonawstwa.





Fot.1 Sąd Rejonowy w Rzeszowie [8]

Fot.1 District Court in Rzeszow [8]

5. PODSUMOWANIE

Przy zastosowaniu betonu architektonicznego należy uwzględnić wiele czynników zarówno odnośnie deskowania jak i samego betonu, które mają decydujący wpływ na jakość użytego materiału oraz uzyskany efekt estetyczny.

Przy ocenie wizualnego charakteru obiektów zrealizowanych z betonu architektonicznego najważniejszym kryterium jest ogólne wrażenie powstające przy oglądaniu całości, a nie ocena prowadzona poprzez odrębne badania poszczególnych elementów obiektu.

W przypadku badań szczegółowych można sprawdzić, czy beton odpowiada przyjętym założeniom dotyczącym właściwości materiału konstrukcyjnego, a nie wymaganiom estetycznym.

Beton architektoniczny szczególnie dobrze spełnia swoją funkcję estetyczną, konstrukcyjną i użytkową w przypadku budowli monumentalnych takich jak obiekty sakralne, muzea. Prostota i surowość zastosowanego materiału w przypadku siedziby Sadu Rejonowego w Rzeszowie pozostaje w zgodzie z charakterem mieszczącej się w tym budynku instytucji państwowej.

6. LITERATURA

- [1] www.spbt.pl
- [2] Kuniczuk K.: Beton architektoniczny – wytyczne techniczne, Polski Cement, Stowarzyszenie Producentów Cementu, Kraków 2011.
- [3] Gluchowski M.: Kierunki w architekturze betonowej.
- [4] Skobierski R.: Beton architektoniczny – problemy realizacyjne, Dni Betonu 2007.
- [5] Kuniczuk K.: Praktyka wykonywania betonu architektonicznego w warunkach budowy, XXIII Konferencja Naukowo-Techniczna, Szczecin – Międzyzdroje, Awarie budowlane 2007.
- [6] Sichtbeton, Merkblatt, Bundesverband der Deutschen Zementindustrie, MBH/ADD/APL/ARCHITEKT-B
- [7] Schmincke P., Sichtbeton - gewußt wie, Beton, 40 (1990) H. 7, str.285/290, MBH/ADD/APL/ARCHB
- [8] Zdjęcia - Maria Jajuga

ASSIGNMENT OF ARCHITECTURAL CONCRETE IN STRUCTURES REALIZATION

SUMMARY

In the paper the authors have been presented attributes of the architectural concrete. This material particularly well fulfils aesthetical, constructional and usable functions in case of monumental buildings. Aspects of architectural advantages of this concrete have been presented.

Joanna BIEDROŃSKA, dr inż. arch.
Jarosław FIGASZEWSKI, dr inż. arch.

Politechnika Śląska
Katedra Strategii Projektowania
i Nowych Technologii w Architekturze
ul. Akademicka 7, 44-100 Gliwice
e-mail: joanna.biedronska@polsl.pl
e-mail: jaroslaw.figaszewski@polsl.pl

GRAFICZNA INTERPRETACJA METOD GOSPODAROWANIA ENERGIĄ W BUDYNKACH BIOKLIMATYCZNYCH

STRESZCZENIE

Schematy energetyczne stanowią praktyczne narzędzie analiz wykorzystania przez budynek energii promieniowania słonecznego. Powinny one przedstawiać działania, wpisujące się w strategię kształtowania budynku przy użyciu pasywnych systemów, które wpływają na jego sprawność energetyczną i mikroklimat wnętrza. Zakres tych działań powinien obejmować zagadnienia ogrzewania i chłodzenia.

1. WPROWADZENIE

Budownictwo funkcjonujące jako ogniwo modelu zrównoważonego rozwoju podlega obecnie głębokim przemianom. Zmierza się do kształtowania środowiska zbudowanego w harmonii z naturą co przyczynia się do wzrostu znaczenia rozwiązań energooszczędnych i proekologicznych w architekturze. Tradycyjne budownictwo łączy takie elementy, jak ekonomia, użyteczność, trwałość i wygoda. Zrównoważone budownictwo dodaje jeszcze aspekt ekologiczny gdzie podstawowym komponentem jest energooszczędność i zastosowanie energii odnawialnej. Pojawił się nowy typ budynków - określonych jako budynki bioklimatyczne. Ich cechą charakterystyczną jest włączenie zagadnień energetycznych do procesu projektowania już na etapie kształtowania formy. Dzięki odpowiednio zaprojektowanej bryle, strukturze i zastosowanym materiałom, właściwej lokalizacji, koncepcji kształtowania funkcjonalno-przestrzennego, budynki mogą odznaczać się ograniczonym zapotrzebowaniem na energię użytkową. Najbardziej efektywnym sposobem oszczędzania jest wykorzystanie w budynku światła i energii cieplnej słońca oraz energii wiatru

w sposób bezpośredni, czyli bez uciekania się do systemów mechanicznych. Jest to sposób naturalny, zwany też pasywnym. Przyjęcie rozwiązania pasywnego wymaga dokładnej analizy potrzeb energetycznych i warunków pozyskiwania energii promieniowania słonecznego dla danej struktury budynku, lokalizacji i usytuowania wobec stron świata. Wiąże się to z kompleksowym podejściem do strategii ogrzewania, chłodzenia i oświetlenia dziennego, racjonalnym gospodarowaniem energią, wodą, materiałem i powietrzem. W przypadku stosowania rozwiązań pasywnych szczególnie istotny jest dobór odpowiednich materiałów i rozwiązań architektoniczno-budowlanych pozwalających wykorzystać strukturę budynku do pochłaniania, magazynowania oraz rozprowadzania pozyskanej energii promieniowania słonecznego. Konstrukcja budynku pozwala na integrację odnawialnych źródeł energii i optymalizację poboru energii. Możliwe staje się to przy wykorzystaniu energii słonecznej przez aktywność bioklimatycznych elementów konstrukcji budynku bez użycia mechanicznych (aktywnych) sposobów pozyskiwania energii.

Rozwiązania pasywne w projektach architektonicznych zaczynają odgrywać coraz większą rolę. Równocześnie konieczne jest uzyskanie odpowiedniego poziomu wiedzy umożliwiającego zrozumienie złożonych zagadnień. Dobry projekt w zamyśle projektanta to już nie tylko prawidłowo opracowana funkcjonalnie przestrzeń ograniczona nowoczesną obudową elewacji z zachowaniem tradycyjnych metod budowania - wedle sztuki. Do konwencjonalnego sposobu projektowania należy dzisiaj włączyć filozofię współlistnienia budynku z otaczającym środowiskiem i zintegrować kształtowanie funkcjonalne z zagadnieniami energetyki cieplnej budynku. Rezultat działań w dużym stopniu zależy od świadomości projektanta i jego umiejętności korzystania z narzędzi jakie oferuje budownictwo energooszczędne i proekologiczne. Już na wstępnym etapie, w procesie kształcenia przyszłej kadry architektów konieczna wydaje się edukacja i uświadomienie ważności zjawisk gospodarki energetycznej zachodzących w budynku. Schematy są narzędziem analiz efektywności energetycznej budynków i uzupełniają w sposób praktyczny wiedzę na ten temat. Przyjmując klarowny kod wizualny oznaczeń, czy to w formie graficznej czy też przestrzennej (makiety), schematy wyjaśniają zakres działań zwiększających sprawność energetyczną budynku oraz prezentują rozwiązania funkcjonalne, formalne i techniczne określane pod tym kątem. Stanowią graficzną wypowiedź projektanta, który w czytelny sposób stara się przybliżyć koncepcję gospodarowania energią w budynku i tym sposobem uzasadnia podjęte decyzje projektowe.

2. ZAWARTOŚĆ SCHEMATÓW ENERGETYCZNYCH

Schematy energetyczne są opracowywane dla potrzeb budynków, zorientowanych na Słońce i wykorzystujących jego energię w celach grzewczych. Stanowią one graficzną interpretację metod gospodarowania nią przy użyciu systemów pasywnych.

Wykorzystanie przez budynek energii promieniowania słonecznego wymaga uwzględniania na etapie kształtowania przestrzennego trzech współzależnych strategii: ogrzewania, chłodzenia i oświetlenia naturalnego. Pierwsza z nich określa sposoby pozyskania energii, jej magazynowania i rozprowadzenia we wnętrzu budynku, a także zachowania i odzysku ciepła. Dopełnieniem całości może być stosowanie innych zasad oszczędnego gospodarowania, opartych na strefowaniu termicznym lub kaskadzie energetycznej,

wykorzystującej energię odpadową. W strategii chłodzenia bierze się pod uwagę ograniczenie zysków energetycznych i pozbycie się nadmiaru ciepła z obiektu. Natomiast koncepcja oświetlenia naturalnego dotyczy zagadnień doświetlenia wnętrza i zapewnienia widoczności. Wchodzi ona w zakres problematyki energetycznej w związku z wyborem dla poszczególnych pomieszczeń rodzaju oświetlenia: naturalnego lub sztucznego. Z uwagi na to, że każda z tych wyszczególnionych strategii ma odmienne cele zachodzi możliwość konfliktu funkcjonalnego, któremu należy przeciwdziałać poprzez dobór odpowiednich rozwiązań.

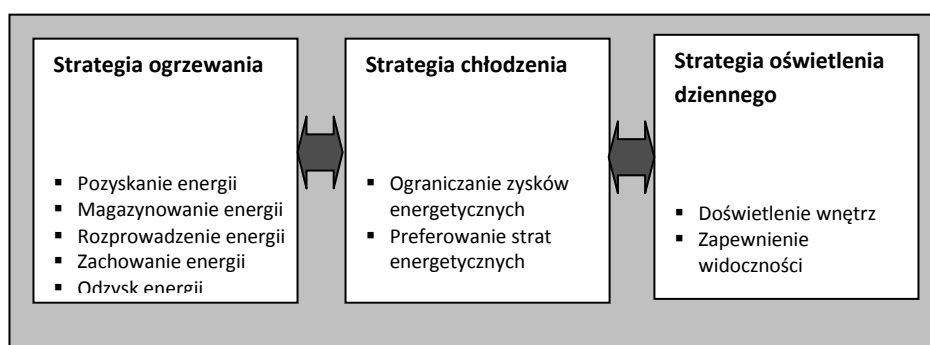


Fig.1. Trzy współzależne strategie wykorzystania przez budynek energii promieniowania słonecznego. Opracowanie własne

Fig.1. Three interdependent strategies of the solar energy radiation for a given building. Original approach proposed by the authors

W zakresie działań energetycznych wszystkie wyszczególnione cele mogą być realizowane w oparciu o różne zjawiska fizyczne przy użyciu zasadniczych elementów struktury budynku oraz komponentów addytywnych, w pełni podporządkowanych wymogom energetycznym.

Promieniowanie słoneczne padające na obiekt i jego otoczenie ulega różnym zjawiskom, w tym refleksji, absorpcji, rozproszenia lub transmisji. Odpowiadają one za oczekiwane zimą lub niepożądane latem zyski cieplne. Ponadto procesy odbicia pozwalają spotęgować efekty energetyczne, a absorpcja jest niezbędna przy magazynowaniu ciepła. Z kolei rozprowadzenie energii termicznej i jej odzysk w budynku odbywa się przy udziale zjawisk wymiany ciepła na drodze radiacji, przewodzenia, konwekcji i parowania. Niektóre z nich uczestniczą również w strategii chłodzenia.

Oprócz przestrzennych komponentów energetycznych (np. atrium), można wyróżnić w strukturze budynku elementy budowlane lub techniczne, stałe lub dodane, które biorą udział w w/w procesach. Z uwagi na pełnioną funkcję można je podzielić na pięć podstawowych grup:

- systemy przeszkleń – odpowiedzialne za efekt szklarniowy i wynikające z tego zyski termiczne;

- systemy magazynowania – z uwagi na swoje właściwości akumulacyjne, mogące gromadzić energię;
- systemy regulacji przepływu energii – uczestniczące w rozprowadzeniu ciepła we wnętrzu lub w usuwaniu jego nadmiaru z budynku;
- systemy ochrony termicznej - redukujące straty ciepłne w strategii ogrzewania, stosowane przy zachowaniu i odzysku energii;
- systemy ochrony przeciwsłonecznej – ograniczające zyski ciepłne w strategii chłodzenia.

3. SPOSOBY PREZENTACJI KONCEPCJI ENERGETYCZNEJ BUDYNKU NA PRZYKŁADZIE PRAC STUDENCKICH

Prezentacja koncepcji energetycznej może przyjmować postać:

- rysunkową, najczęściej stosowaną,
- przestrzenną (wizualizacja lub makieta), przedstawiającą funkcjonowanie budynku w cyklu dobowym, lub z podziałem na dzień i noc oraz w cyklu rocznym.

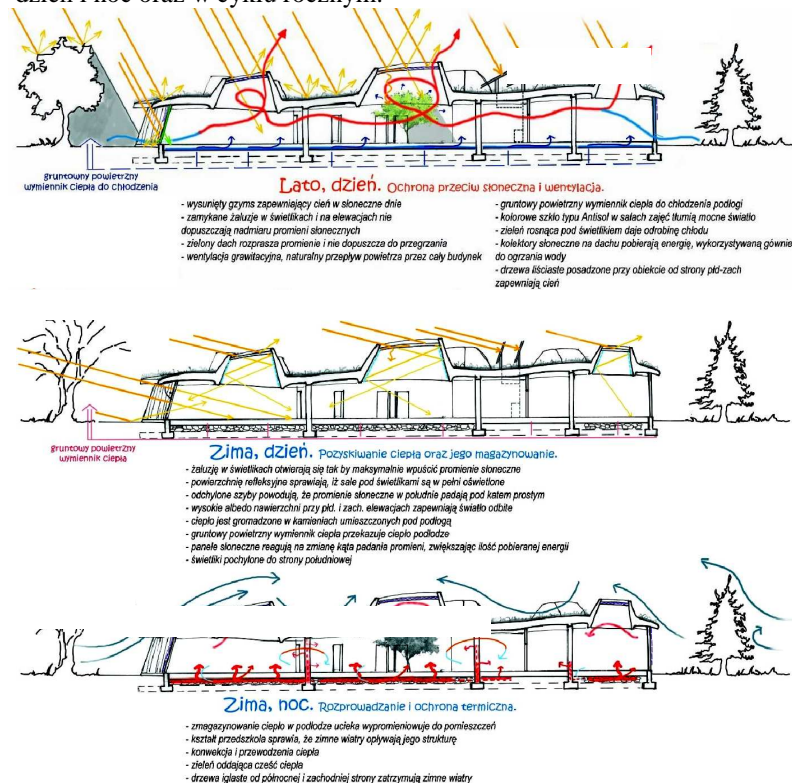


Fig.2. Postać rysunkowa schematu. Praca stud. Dariusza Doung Vu Hong

Fig.2. Graphical interpretation of the energy charts. The work proposed by Dariusz Doung Vu Hong, architecture student

Najbardziej obrazowym przedstawieniem pasywnego sposobu pozyskiwania energii w budynku oraz działań zwiększających jego sprawność energetyczną i poprawiających mikroklimat wnętrza jest **schemat przekroju** w kierunku południe-północ. Forma rysunkowa, ilustrująca funkcjonowanie budynku w cyklu dobowym, ale z podziałem na dzień i noc, powinna na poszczególnych schematach uwypatniać następujące zagadnienia:

- zima dzień – pozyskanie i magazynowanie energii;
- zima noc – rozproszanie i zachowanie energii;
- lato dzień – ograniczanie zysków i preferowanie strat energetycznych;
- lato noc – preferowanie strat energetycznych przy udziale wentylacji naturalnej.

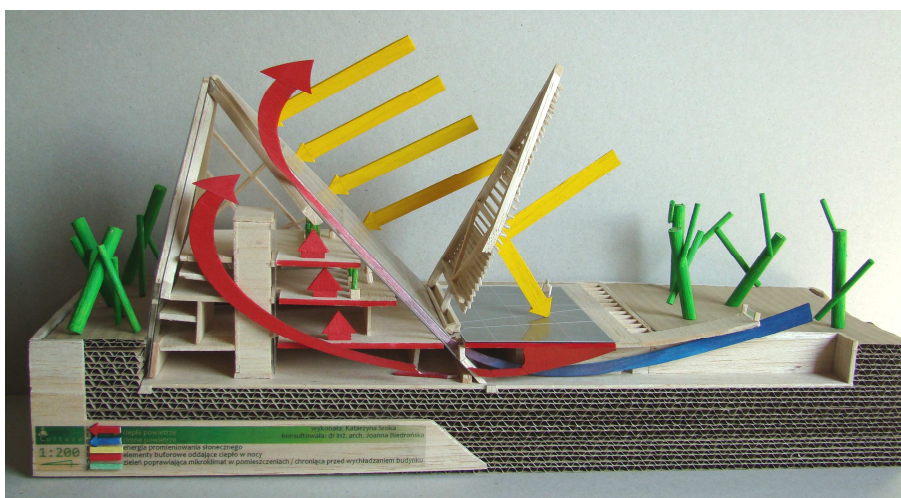
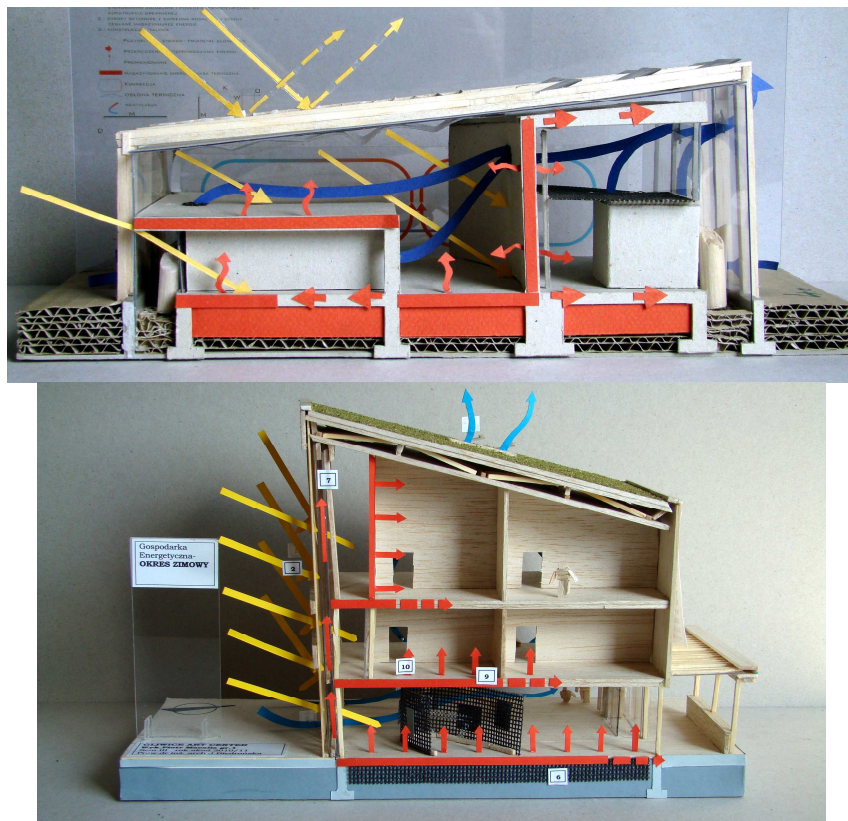


Fig.3. Model uwypatniający systemy odpowiedzialne za pozyskanie energii. Praca stud. Katarzyny Sroki. Foto: J.Figaszewski

Fig.3. Proposed model emphasizing the systems responsible for the increased energy usage. The work proposed by Katarzyna Sroka, architecture student

W graficznej prezentacji zagadnień energetycznych należy wyeksponować następujące elementy struktury budynku i jego wyposażenia:

- Architektoniczne osłony przezroczyste i przeświecające dające dostęp promieniowania słonecznego oraz światła dziennego: okna, struktury szklane przekryć dachowych, świetliki z regulacją stopnia zacielenia w różnych porach roku, osłony bioklimatyczne, przegrody transparentno-izolujące, a w ujęciu przestrzennym: atria wewnętrzne, przeszklone przestrzenie buforowe, szklarnie nie-użytkowe i czerpnie słoneczne;
- Architektoniczne elementy akumulujące energię ciepłą: masywne, nie izolowane termicznie przegrody wewnętrzne budynku, w tym stropy, podłogi i ściany wykonane z naturalnych materiałów o dużej pojemności cieplnej, a także lekkie przegrody z materiałów zmiennofazowych, ponadto zbiorniki wodne i ziemia w szklarniach, podziemne magazyny ciepła;



Figs.4.5. Modele, w których zostały uwidatnione elementy stropów, ścian, podłoża stanowiące masę termiczną. Prace stud. Bartosza Bernackiego i Piotra Macalla.

Foto: J.Figaszewski

Figs.4.5. Models, in which the elements of ceilings, walls, and the base making up the thermal mass (with high thermal inertia) were emphasized. The works proposed by Bartosz Bernacki, Piotr Macalla, architecture students

- Architektoniczne elementy izolujące, zabezpieczające budynek przed stratami ciepła w zimie i zyskami w lecie: ściany i przestrzenie buforowe, zielone dachy i elewacje, zagłębienie części budynku w gruncie, stałe lub dodane elementy zacieniające;
- Architektoniczne elementy służące wentylacji naturalnej: podwójne fasady, przestrzeń buforowa w formie dodanej szklarni, atrium przeszklone spełniające rolę komina wentylacyjnego gdzie w każdym przypadku cyrkulacja powietrza odbywa się przez otwory nawiewne umieszczone w dolnych partiach szklanych ścian i wywiewne w górnych partiach lub dachu, warunkując wentylację wyporową lub wentylację poprzeczną.

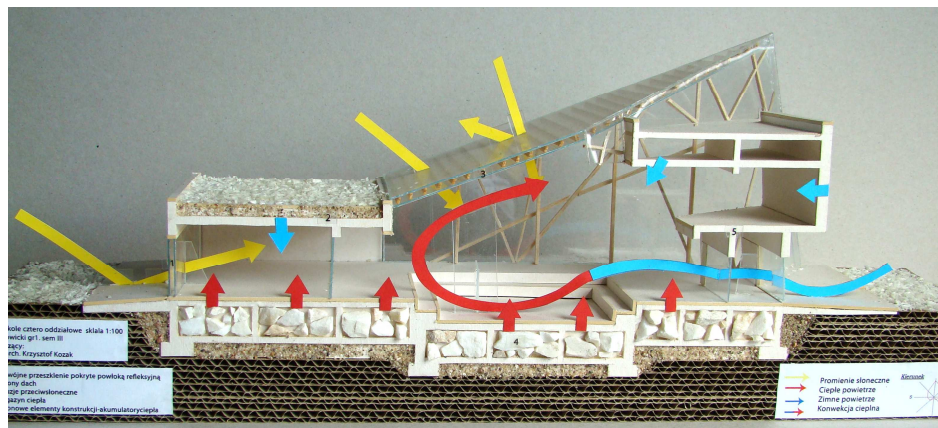


Fig.6. Model, w którym zostały uwidocznione północne, pełne ściany buforowe, zielone dachy. Praca stud. Piotra Nowickiego. Foto: J.Figaszewski

Fig.6. Model, in which northern, buffer walls and green roofs were emphasized.
The work proposed by Piotr Nowicki, architecture student

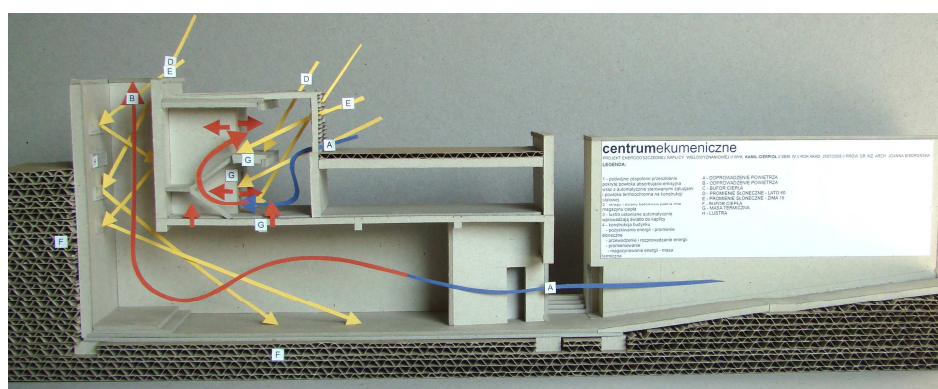


Fig.7. Model przedstawiający ruch powietrza, ilustrujący zasadę komina wentylacyjnego.
Praca stud. Kamila Cierpiotła. Foto: J.Figaszewski

Fig.7. Model representing movement of air - illustrating the concept of ventilation's chimney. The work proposed by Kamil Cierpiotł, architecture student

Całość zjawisk zachodzących w budynku można zobrazować, przypisując role elementom przegród budowlanych, mających znaczenie w strategii pasywnego ogrzewania i chłodzenia, oraz określając oddziaływanie Słońca i wiatru, utrzymujące właściwy mikroklimat wnętrza w porze zimy i lata. Nie należy pominąć znaczenia najbliższego otoczenia, które może wzmacniać lub osłabiać odczuwalne w budynku oddziaływanie energetyczne (naturalne lub projektowane elementy osłonowe, podłoża o nawierzchni odbijającej lub rozpraszającej, zbiorniki wodne, ekrany refleksyjne).

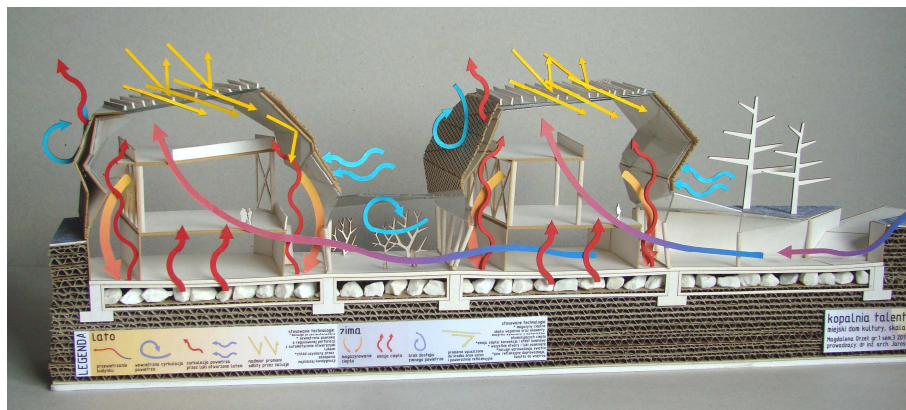


Fig.8. Przedstawienie na modelu zagadnień energetycznych w cyklu rocznym. Praca stud. Magdaleny Orzeł. Foto: J.Figaszewski

Fig.8. An illustration of energy issues in a year cycle using the proposed model. The work proposed by Magdalena Orzeł, architecture student

4. GRAFICZNA INTERPRETACJA ZAGADNIEŃ ENERGETYCZNYCH – PODSTAWOWE ZASADY

Sformułowane dla potrzeb niniejszego opracowania wnioski są efektem wieloletnich doświadczeń w pracy przy projektach obiektów energooszczędnych. Aby schematy energetyczne mogły pełnić swoją rolę w dydaktyce i praktyce projektowej, powinny być sporządzane według określonych zasad.

4.1. Kompleksowe ujęcie zagadnień energetycznych

Częstym błędem schematów energetycznych jest zawężenie zilustrowanych zagadnień do strategii ogrzewania, bez uwzględnienia następstw otwarcia budynku na Słońce poza sezonem grzewczym. Charakterystyka umiarkowanej strefy klimatycznej pozwala korzystać z dobrodziejstw Słońca, ale również wymaga ochrony przed nim. Schemat energetyczny powinien ujawniać wszystkie zależności, procesy i komponenty, wynikające z lokalnych warunków klimatycznych, decydujące o funkcjonowaniu budynku jako całościowego systemu i wpływające na jego bilans cieplny.

4.2. Dostosowanie skali rysunków lub makiet do stopnia szczegółowości

Mała ilość informacji na schematach oznacza zbyt powierzchowne ujęcie problemu. Wymóg kompleksowego podejścia do zagadnień energetycznych skutkuje zwykle nasyceniem treścią rysunków, które wskutek niewłaściwego doboru wielkości mogą utracić swoją czytelność. W przypadku schematów nie można jednak mówić o skali w sensie stosowanym w dokumentacji projektowej, bo chociaż budynek w swojej strukturze powinien zachowywać określone proporcje, poszczególne komponenty znaczeniu energetycznym nie muszą odwzorowywać rzeczywistej wielkości. Tym sposobem podkreśla się ich wagę. Najistotniejsza jest bowiem wartość merytoryczna schematów, wyjaśniająca zagadnienia problemowe.

4.3. Czytelne zobrazowanie wszystkich procesów i komponentów energetycznych oraz ich jednoznaczna identyfikacja przez zastosowanie zunifikowanego kodu graficznego

Wraz z nasyceniem treścią wzrasta stopień komplikacji schematów. Aby mogły one zachować swoją czytelność, muszą opierać się na takim systemie oznaczeń, który jednoznacznie identyfikuje wszystkie procesy i komponenty. Ma on umowny charakter i uwzględnia zróżnicowanie formalne i kolorystyczne oznaczeń. Interpretacja graficzna procesów odzwierciedla ich kierunkowość, a zastosowany kolor jest spójny z powszechnym odczuciem. Barwa żółta kojarzona jest z promieniowaniem słonecznym, czerwona z energią ciepłą, a niebieska z chłodnym powietrzem. Opracowanie i stosowanie zunifikowanego kodu graficznego może ułatwić odbiór i analizę porównawczą różnych rozwiązań.

4.4. Zachowanie logicznej ciągłości procesów

Wykorzystanie energii promieniowania słonecznego w celach grzewczych w budynku obejmuje różne procesy, które zachodzą tylko w ustalonej kolejności i czasie. Schemat energetyczny powinien pokazać uszeregowany ciąg zdarzeń, który przybiera różne scenariusze, zależnie od pór roku.

4.5. Kojarzenie środków technicznych i procesów w przypadku łącznego zobrazowania strategii ogrzewania i chłodzenia

Представление на одном схематическом изображении всех процессов и явлений, происходящих в суточном цикле, не создает больших трудностей. Проблемой является лишь совместное отображение стратегии отопления и охлаждения; обе ведь имеют противоположные цели и не совпадают во времени. Соединение концепции отопления здания зимой и охлаждения его летом возможно для достижения благодаря различиям угла падения солнечных лучей. Точкой отсчета являются его граничные значения для данной широты географической, измеренные в полдень летом и зимой. В отношении к ним разрабатывается усредненный ряд событий, основанный на явлениях и компонентах энергетических, входящих в стратегию отопления, либо в стратегию охлаждения. Чтобы улучшить читаемость целого, можно разделить поперечное сечение здания на секции и по отдельности характеризовать различные подходы к управлению энергией тепла в летнее и зимнее время. Получает это особое значение в случае горизонтальных перегородок во второй обшивке (т.е. плоскости климатической) либо в пространствах внутренних атриумов, в местах вовлечения дополнительных средств, чтобы защитить внутреннюю часть от интенсивных потерь тепла в зимний период и от избыточных теплот летом.

5. PODSUMOWANIE

Wprowadzenie schematów do projektu budynku jest wartościowym przedstawieniem koncepcji energetycznej już na wstępnym etapie projektowania architektonicznego. Mogą one stanowić zaczątek do dalszych analiz kształtowania bryły budynku, struktury materiałowej i konstrukcyjnej wnętrza oraz otoczenia zewnętrznego. W toku nauki projektowania są konsekwentnie rozwijane. Metodyka nauczania buduje bazę wiedzy

podstawowej i wykształca świadomość konieczności uwzględniania pojęć i zależności z zakresu zagadnień energetycznych podjętego tematu.

GRAPHICAL INTERPRETATION OF ENERGY MANAGEMENT METHOD APPLIED TO BIO-CLIMATE BUILDINGS

SUMMARY

The energy charts are practical tools used for analysis of the usage of solar energy radiation by a given building. They should express all the activities being part of the energy strategy, which is influencing a building energy usage. This analysis is based on the passive systems affecting the interior energy efficiency and microclimate. This approach should address the given building air conditioning including both heating and cooling.

Magdalena BOCHENEK, mgr inż.

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
Wydział Budownictwa i Architektury
al. Piastów 50, 70-311 Szczecin
e-mail: Magdalena.Bochenek@zut.edu.pl

PRÓŻNIOWE PANELE IZOLACYJNE (VIPs) W BUDOWNICTWIE

STRESZCZENIE

W referacie przedstawiono próżniowe panele izolacyjne, ich budowę i właściwości. Porównano współczynnik przewodzenia ciepła oraz grubości warstw próżniowych paneli izolacyjnych na tle innych materiałów termoizolacyjnych. Omówiono zastosowanie w budownictwie i przykłady obiektów, gdzie zastosowano ten rodzaj izolacji termicznej.

1. WPROWADZENIE

Próżniowe panele izolacyjne (VIPs, ang. Vacuum Insulation Panels) są przykładem innowacyjnego materiału izolacyjnego używanego zarówno w budownictwie jak i w innych gałęziach przemysłu. Wyróżniają się bardzo niską wartością współczynnika przewodzenia ciepła (λ), a tym samym bardzo dobrymi właściwościami termoizolacyjnymi. Umożliwiają osiągnięcie wartości współczynnika przenikania ciepła $U < 0,10$ [W/(m²·K)]. Zastosowanie VIP w przegrodzie budowlanej pozwala na znaczne zredukowanie grubości warstwy izolacji. Jednakże, ze względu na bardzo wysoką cenę, są to materiały sporadycznie używane, np. gdy brakuje miejsca na zastosowanie tradycyjnych izolacji lub też jak najcieńsza przegroda jest pożądana ze względów estetycznych.

W Europie próżniowe panele izolacyjne cieszą się największą popularnością w Niemczech i Szwajcarii. Pierwszy obiekt w Europie, w którym zastosowano VIP's powstał pod koniec 1998 roku i był to budynek eksperymentalny w Wuerzburg w Niemczech. Od roku 2009 panele posiadają aprobatę techniczną wydaną przez DIBT (Niemiecki Instytut Techniki Budowlanej).

2. ZASADA DZIAŁANIA IZOLACJI PRÓŻNIOWEJ

Mimo, że od wynalezienia próżni (naczynie Dewara koniec XIX wieku) minęło już ponad 100 lat, to w budownictwie panele wykorzystujące termoizolacyjne właściwości próżni znane są dopiero od końca XX wieku [3].

Na intensywne zastosowanie i rozwój technologii próżniowej w branży budowlanej wpłynęło jej praktyczne wykorzystanie w innych sektorach gospodarki, tj. kriogenice, medycynie, transporcie.

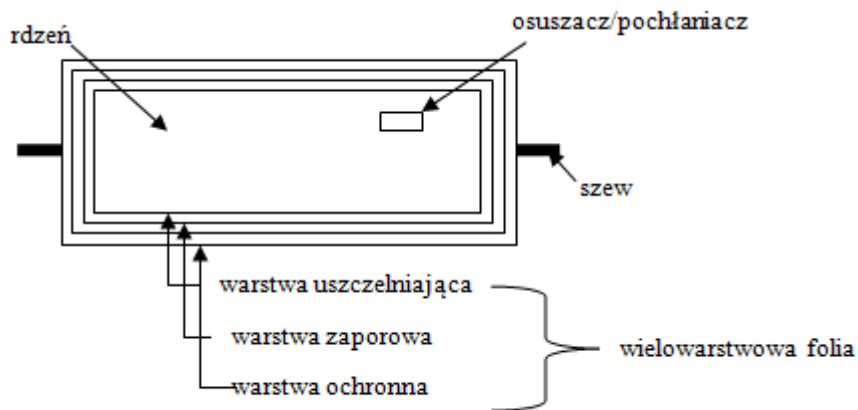
Zasada działania izolacji próżniowej opiera się na zmniejszaniu przewodzenia ciepła przez cząsteczki gazu. Po obniżeniu ciśnienia gazu poniżej pewnego poziomu, ilość przewodzonego ciepła przez ten gaz jest wprost proporcjonalna do jego ciśnienia. W konsekwencji, uzyskując odpowiednio niskie ciśnienie, można uzyskać warunki, w których ilość przewodzonego ciepła przez gaz staje się pomijalnie mała.

Utrzymanie całkowitej próżni jest trudne ponieważ ciśnienie w panelu dąży do zrównoważenia się z ciśnieniem zewnętrznym powietrza, a jego opór ulega systematycznemu pogorszeniu i degradacji. Stąd wynika ograniczona żywotność VIP.

3. BUDOWA PRÓŻNIOWEGO PANELU IZOLACYJNEGO

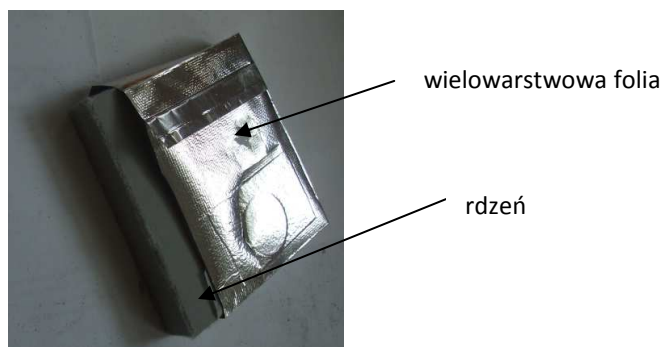
Próżniowy panel izolacyjny nie jest jednorodnym materiałem. Zasadniczo składa się z dwóch elementów o różnych właściwościach: rdzenia i wielowarstwowej folii.

Materiały użyte do budowy rdzenia są mieszane i formowane (prasowane) do postaci płyty, która jest suszona i docinana. W specjalnym procesie płytę pokrywa się cienką folią a powietrze zostaje wypompowane.



Rys.1. Schemat budowy próżniowego panelu izolacyjnego

Fig.1. Structure of vacuum insulation panel



Rys. 2. Przekrój przez VIP
Fig.2. VIP cross section

3.1. Rdzeń

Materiał wykorzystywany jako rdzeń decyduje o właściwościach mechanicznych, a tym samym o trwałości systemu izolacji.

Wymagania stawiane materiałom rdzeniowym:

- muszą być otwarto komórkowe, aby powietrze mogło zostać szybko usunięte z materiału,
- stabilne i wytrzymałe na obciążenia zewnętrzne spowodowane ciśnieniem atmosferycznym,
- muszą utrzymywać wymaganą jakość próżni.

Najczęściej spotykanymi w literaturze materiałami rdzeniowymi są [4]:

- a) szklane lub mineralne włókna,
- b) proszki : aerozele, perlit, pirogeniczna krzemionka, krzemionka strącona,
- c) otwartokomórkowe pianki: polistyrenowa, poliuretanowa.

Rdzeń próżniowych paneli izolacyjnych stosowanych obecnie w budownictwie to najczęściej krzemionka pirogeniczna w postaci proszku [9] (Rys. 3). Stosuje się ten materiał ze względu na jego: nanoporową strukturę, niską wartość współczynnika przewodzenia ciepła oraz bardzo dużą powierzchnię właściwą.

Prowadzone są badania nad zastosowaniem kompozytów włóknisto-proszkowych wykonanych z tradycyjnych izolacji z włókien i proszków wulkanicznych [5].



Rys. 3. Rdzeń VIP (pirogeniczna krzemionka)
Fig 3. Core of VIP (fumed silica)

3.2. Folia

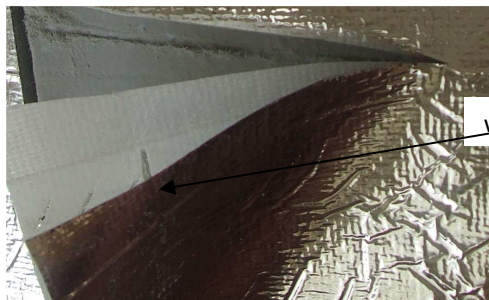
Folia pokrywająca rdzeń zazwyczaj składa się z trzech warstw [10]:

- a) zewnętrznej warstwy ochronnej,
- b) środkowej warstwy zaporowej,
- c) wewnętrznej warstwy uszczelniającej.

Wymagania stawiane folii:

- wystarczająco szczelna dla wody i gazów oraz odporna na działania atmosferyczne,
- niska przewodność cieplna i mała grubość,
- możliwość spawania, klejenia, a także wysoka odporność na przebicie.

Najczęściej stosowanymi materiałami pokrywającymi rdzeń są: politereftalan etylenowy, polietylen, polipropylen, poliamid [10].



wielowarstwowa folia

Rys.4. Wielowarstwowa folia VIP
Fig 4. Multilayered VIP's foil

3.3. Osuszacz/pochłaniacz

W celu wydłużenia okresu użytkowania próżniowych paneli izolacyjnych umieszcza się wewnątrz rdzenia osuszacze/pochłaniacze. Absorbują one parę wodną (osuszacze) i gazy (pochłaniacze), które pozostały w rdzeniu lub przedostały się do niego ze środowiska zewnętrznego. Osuszacz/pochłaniacz musi być dostosowany do rodzaju i ilości absorbowanych gazów/pary wodnej [1].

4. WŁAŚCIWOŚCI PRÓŻNIOWYCH PANELI IZOLACYJNYCH

Właściwości próżniowych paneli izolacyjnych [2]:

- a) współczynnik przewodzenia ciepła: $\lambda=0,007-0,008$ [W/(m·K)],
- b) klasa reakcji na ogień: B2 (wg DIN 4102-1),
- c) odporne na działanie czynników chemicznych,
- d) stabilne w temperaturze do $+80^{\circ}\text{C}$ i wilgotności względnej powietrza do 60%,
- e) gęstość: 190-210 (kg/m³),
- f) ciśnienie wewnątrz panelu: 0,5-3 mbar.

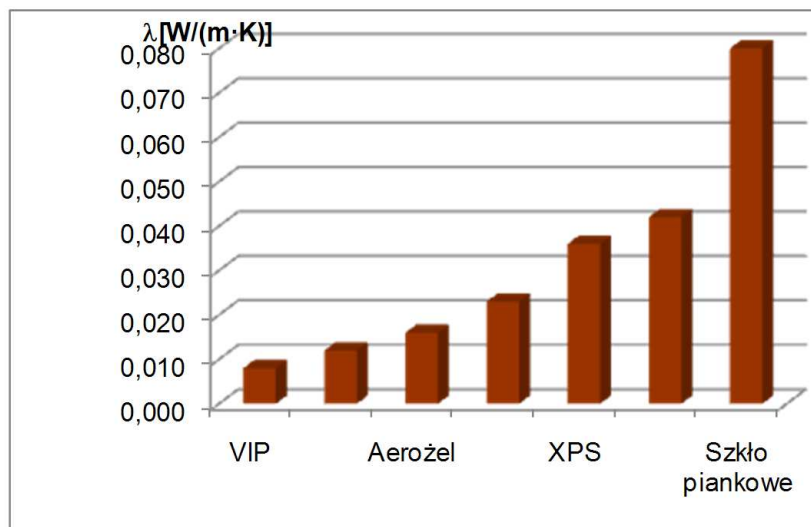
4.1. Izolacyjność termiczna próżniowych paneli izolacyjnych na tle innych materiałów termoizolacyjnych

Każdy materiał ma charakteryzujący go współczynnik przewodzenia ciepła (λ) podawany w [W/(m·K)]. Im niższy współczynnik λ tym lepsze właściwości termoizolacyjne.

Na rysunku 5 pokazano wielkości współczynników przewodzenia ciepła dla wybranych materiałów izolacji cieplnej na podstawie wartości deklarowanych przez wybranych producentów.

Porównano następujące materiały: próżniowe panele izolacyjne (VIP), izolacje refleksyjne, aerozele, poliizocyjanurat (PIR), polistyren ekstrudowany (XPS), wełnę mineralną oraz szkło piankowe.

Jak widać na przedstawionym wykresie panele próżniowe wyróżniają się bardzo niską wartością współczynnika przewodzenia ciepła. Wartość ta jest dziesięciokrotnie niższa niż np. w przypadku szkła piankowego.



Rys.5. Współczynnik przewodzenia ciepła wybranych materiałów izolacji cieplnej (współczynniki deklarowane przez wybranych producentów)

Fig 5. Thermal conductivity of selected insulation materials (coefficients declared by selected manufacturers)

4.2. Współczynnik przenikania ciepła a grubość zastosowanej izolacji

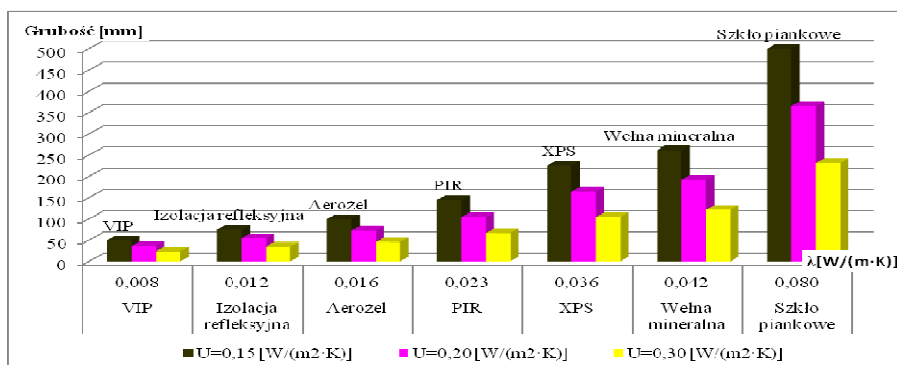
Współczynnik przenikania ciepła jest ważnym parametrem przegród budowlanych. Im jest niższy tym lepsza izolacyjność cieplna budynku, a co za tym idzie mniejsze zapotrzebowanie na ciepło.

W Polsce maksymalna wartość współczynnika przenikania ciepła (U_{\max}) dla ścian zewnętrznych pełnych w budynku użyteczności publicznej i budynku produkcyjnym (przy $t_i > 16^\circ\text{C}$) wynosi obecnie $0,30 \text{ [W/(m}^2\cdot\text{K)]}$ [7,8].

Dla budynków pasywnych przyjmuje się, że wartość U nie powinna przekraczać $0,15 \text{ [W/(m}^2\cdot\text{K)]}$ [11].

Na rysunku 6 przedstawiono grubości warstw wybranych materiałów termoizolacyjnych niezbędne do osiągnięcia różnych wartości U dla ściany pełnej z bloczków wapienno-piaskowych.

Wartości współczynnika ciepła obliczono zgodnie z normą PN-EN ISO 6946 [6]. Założono ścianę dwuwarstwową: bloczek wapienno-piaskowy grubości 18cm i warstwę izolacji cieplnej. W obliczeniach pominięto m.in. warstwę tynku.



Rys.6. Grubości warstw wybranych materiałów termoizolacyjnych niezbędna do osiągnięcia różnych wartości $U \text{ [W/(m}^2\cdot\text{K)]}$ dla ściany pełnej z bloczków wapienno-piaskowych

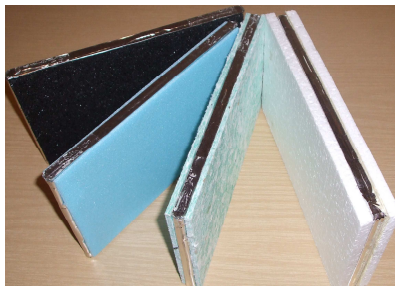
Fig 6. Thicknesses of selected insulation materials required to achieve different U -values $\text{[W/(m}^2\cdot\text{K)]}$ for a lime-sand brick wall

5. VIP W BUDOWNICTWIE

Najczęstszym zastosowaniem próżniowych paneli izolacyjnych w budownictwie są izolacje tarasów (eliminacja wysokiego stopnia pomiędzy pomieszczeniem wewnętrznym a tarasem), krokwie na dachach pochyłych (zwiększenie wysokości pomieszczenia), izolacja od wewnątrz i od zewnątrz ścian zewnętrznych budynków nowych i modernizowanych (zwiększenie powierzchni użytkowej).

Inne zastosowania VIP:

- elewacje, nadproża, ościeża okienne, rolety okienne,
- wewnętrzne ściany działowe,
- posadzki, attyki, balkony, ogrody zimowe, tarasy dachowe,
- połacie dachowe, stropodachy płaskie, stropy drewniane,
- podłogi na gruncie, podłogi na legarach.



Rys.7. Próżniowy panel izolacyjny pokryty: gumową matą, polistyrenem ekstrudowanym, warstwą izolacji akustycznej, styropianem

Fig 7. Vacuum insulation panel covered with: rubber granulate mat, polystyrene, sound insulation, styrofoam

5.1. Przykłady obiektów z zastosowaniem VIP

Pionierami w Europie w zastosowaniu próżniowych paneli izolacyjnych w budownictwie są Niemcy i Szwajcaria.

Kilka wybranych obiektów zlokalizowanych w tych krajach, w których wykorzystano VIP:

- Centrum Energii i Środowiska w Kempten, Niemcy (Rys.8) – VIP pokryty warstwą ochronną z polistyrenu ekstrudowanego w stropie piwnicy,
- Budynek mieszkalno-usługowy w Monachium , Niemcy – pierwszy tak duży obiekt całkowicie zaizolowany próżniowymi panelami izolacyjnymi,
- Budynki wielorodzinne w Kerzers, Szwajcaria – VIP jako izolacja tarasów.



Rys.8. Centrum Energii i Środowiska w Kempten

Fig 8. Energy and environmental centre in Kempten

6. PODSUMOWANIE

W ostatnich latach obserwuje się znaczny wzrost wymagań związanych z energooszczędnością. Poszukiwane są innowacyjne technologie umożliwiające redukcję zużycia energii, zmniejszenie kosztów eksploatacji budynku, zmniejszenie emisji CO₂.

W wyniku dynamicznego rozwoju nowych technologii powstaje wiele nowych materiałów o bardzo dobrych właściwościach.

Koszt większości innowacyjnych produktów jest wysoki. W grudniu 2011 roku Komisja Europejska opublikowała dokument SEC (2011) 1609 „Mapa drogowa rozwoju materiałów na rzecz niskowęglowych technologii” (ang. Materials Roadmap Enabling Low Carbon Energy Technologies). Jednym z założeń jest redukcja kosztów produkcji nowocze-

snych materiałów o co najmniej 30%. Wytycznymi zostały objęte również próżniowe panele izolacyjne.

Zmniejszenie kosztów produkcji VIP, a tym samym obniżenie ceny gotowego wyrobu może przyczynić się do szerszego stosowania tego typu izolacji w budownictwie.

7. LITERATURA

- [1] Alam M., Singh H., Limbachiya M.C.: Vacuum Insulation Panels (VIPs) for building construction industry – A review of the contemporary developments and future directions. *Applied Energy* 88 (2011), s.3592-3602.
- [2] Bochenek M: Izolacje próżniowe (VIP) – właściwości i przykłady zastosowań w budownictwie. Materiały konferencyjne. Dom Wydawniczy Medium. Warszawa, 2012, s. 109-115
- [3] Fricke J.: From Dewars to VIPs – One Century of Progress in Vacuum Insulation Technology. 7 th International Vacuum Insulation Symposium 2005.
- [4] Mukhopadhyaya P., Kumuran M.K., Normandin N., Van Reenen D., Lackey J.C.: High performance vacuum insulation panel development of alternative core material. *Journal of Cold Regions Engineering*, v. 22, no. 4, 2008, s. 103-12.
- [5] Mukhopadhyaya P., Kumuran M.K., Normandin N., Van Reenen D., Lackey J.C.: Fibre-powder composite as core material for vacuum insulation panel. 9th International Vacuum Insulation Symposium, London, UK, September 17-18, 2009.
- [6] PN-EN ISO 6946 Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania
- [7] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (DzU z 2002 r. nr 75, poz. 690).
- [8] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (DzU z 2008 r. nr 201, poz. 1238).
- [9] Simmler H., Brunner S.: Vacuum insulation panels for building application. Basic properties, aging mechanisms and service life. *Energy and Building* 37 (2005), s. 1122-1131.
- [10] Wegger E., Jelle B.P., Sveipe E., Grynning S., Gustavsen A., Thue J.V.: Accelerated Laboratory Ageing of Vacuum Insulation Panels. XII DBMC, International Conference on Durability of Building Materials and Components. Porto-Portugal, April 12th-15th, 2011.
- [11] www.passivhaus.org.uk

VACUUM INSULATION PANELS (VIPs) FOR BUILDING APPLICATION

SUMMARY

The report presents the vacuum insulation panels, their structure and properties. The thermal conductivity and thickness of layers of vacuum insulation panels in comparison to other insulation materials was compared. It shows application in building construction industry and examples of buildings, where this type of thermal insulation were used.

Maria Anna BUKOWSKA, dr inż.

Politechnika Rzeszowska
Zakład Ciepłownictwa i Klimatyzacji
al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów
e-mail: maria.bukowska@prz.edu.pl

KAMERA TERMOWIZYJNA NARZĘDZIEM DIAGNOSTYCZNYM W BUDOWNICTWIE

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono analizę termowizyjną dla budynku jednorodzinnego w celu przedstawienia jakości wykonania prac budowlanych. Analizie poddano typowy segment jednorodzinny wykonany w technologii tradycyjnej, zlokalizowany w zabudowie szeregowej i ocieplony od zewnątrz. Wykonane przy pomocy kamery termowizyjnej termogramy pozwoliły na pokazanie prawdziwego obrazu wykonawstwa budynku i na tej podstawie na jego późniejszą ocenę energetyczną. W artykule wskazano „najsłabsze miejsca”, gdzie najczęściej popełnia się największe błędy (zamierzone lub nie) skutkujące w efekcie końcowym wysokimi rachunkami za ogrzewanie.

1. WPROWADZENIE

Kamera termowizyjna jest narzędziem pomocnym w określaniu stanu technicznego budynków, więc również jego wady wykonawcze w budynkach nowych oraz te, powstałe przez długie lata w trakcie eksploatacji budynków starych. Termowizja jest metodą badawczą bezdotykową polegającą na obserwacji a następnie zapisie rozkładu promieniowania podczerwonego zwanego również promieniowaniem cieplnym. Każde ciało, którego temperatura jest wyższa od zera bezwzględnego wysyła promieniowanie które w efekcie końcowym przekształcane jest na światło widzialne i przedstawione w postaci mapy rozkładu temperatur na powierzchni badanego ciała. Mapa taka może być przedstawiona bądź to w odcieniach szarości, bądź kolorowa w zależności od obranej palety barw.

Wiele firm budowlanych funkcjonujących na rynku polskim posiada już na swoim wyposażeniu kamery termowizyjne dla swoich potrzeb. Diagnostyka poprawności ułożenia i ewentualne wady w ułożeniu izolacji termicznej przegród zewnętrznych, występowanie mostków termicznych, nieszczelności i pęknięcia budynku które są przyczyną ucieczki ciepła. Analizy takiej dokonuje się na wykonanych zdjęciach termowizyjnych dzięki specjalistycznym programom komputerowym. Obrazy te poddawane są obróbce specjalnie do

tych celów przygotowanymi programami komputerowymi. W przypadku analizowanego budynku szeregowego badania wykonane zostały kamerą termowizyjną Guide® IR 928+, zaś szczegółową analizę uzyskanych obrazów wykonano profesjonalnym oprogramowaniem (Guide IR Analyser V 1.4).

W dobie ciągle rosnących cen nośników energii, badania termowizyjne stają się więc formą diagnozowania obiektów w aspekcie oceny stanu „energochłonności”. Metodę termowizji wykorzystuje się również w diagnozowaniu instalacji wewnętrznych znajdujących się w budynkach i stanu technicznego ich izolacji.

Badania termowizyjne prowadzone mogą być zarówno z zewnątrz jak i wewnątrz budynku. Wykonane termogramy z zewnątrz pozwalają ocenić rozkład temperatury na dużych powierzchniach zewnętrznych ścian budynków. W badaniach termowizyjnych wykonywanych od zewnątrz należy bezwzględnie uwzględnić panujące warunki atmosferyczne. Każda wykonana analiza termowizyjna powinna zawierać informacje szczegółowe o warunkach w jakich pomiary były wykonywane.

Wewnątrz budynków również wykonuje się zdjęcia termowizyjne. Najczęściej wykonuje się badania szczegółów wtedy gdy jest dobry dostęp do elementów które chcemy zdiagnozować tzn. nie są one przesłonięte żadnego rodzaju zabudową, meblami itp.

2. CHARAKTERYSTYKA BUDYNKU JEDNORODZINNEGO

W artykule zaprezentowano analizę budynku jednorodzinnego na przykładzie którego pokazano najczęściej występujące błędy wykonawcze. Budynek znajduje się w zabudowie szeregowej i składa się z trzech kondygnacji, przy czym kondygnacja trzecia posiada skośne dachy. Jest to budynek konstrukcji murowanej z bloczków ceramicznych, ocieplony od zewnątrz i otynkowany. Wewnątrz wykończony płytami gipsowo-kartonowymi.

Obliczony współczynnik przenikania ciepła przez przegrody z uwzględnieniem mostków cieplnych U_k musi być mniejszy lub równy wartości współczynnika przenikania ciepła $U_{k(max)}$. Według WT współczynnik ten dla ścian zewnętrznych wynosi $U_{k(max)} = 0,30$ [W/m^2K].

Z dokumentacji projektowej wynika właściwy przyjęty współczynnik przenikania ciepła dla przegród zewnętrznych co powinno skutkować możliwością zapewnienia przez centralne ogrzewanie wymaganego komfortu cieplnego jego użytkownikom.

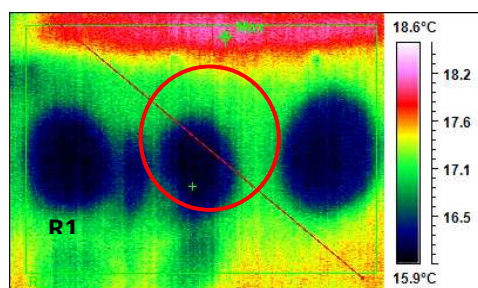
Jednakże w rzeczywistości utrzymanie wymaganej temperatury $+20^{\circ}C$ stało się praktycznie niemożliwe. W przypadku osłabienia ogrzewania w ciągu nocy temperatura w pokojach na drugiej kondygnacji i poddaszu spada nawet do $+11^{\circ}C$.

Wykonano kilkaset zdjęć termowizyjnych w budynku, poddano je szczegółowej analizie w celu rozpoznania zaistniałego stanu.

Na przedstawionym poniżej zdjęciu termowizyjnym Fot. 1. widoczny jest pokój dziecienny w którym oprócz efektu niewystarczającej warstwy izolacyjnej, występuje jeszcze zjawisko infiltracji powietrza w przestrzeni zamkniętej pomiędzy ścianą właściwą konstrukcyjną, a maskującą ścianką gipsowo-kartonową.

Powietrze jest dobrym izolatorem jednakże tylko wtedy gdy jest zamknięte w przestrzeni między przegrodami i nie ma możliwości przepływu. W odwrotnym przypadku następuje zjawisko przepływu powietrza pomiędzy warstwami, powodując zjawisko

ciągu kominowego. W przegrodzie wówczas dochodzi do zakłócenia naturalnego poziomego przewodzenia ciepła przez poszczególne warstwy w kierunku zewnętrznej strony ściany. Skutkuje to dużym schłodzeniem tej przegrody i znaczącymi stratami ciepła. Efekt ten może być również rozpoznany bez kamery termowizyjnej, na podstawie odczuwalnego ruchu powietrza na przykład przy gniazdach elektrycznych (dmucha powietrze z gniazda elektrycznego).



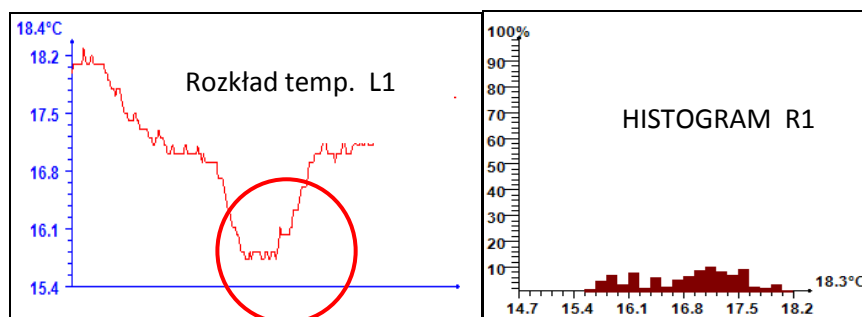
Parametry obiektu	Wartość
Max	18.6°C
R1:Temp. średnia	16.9°C
R1:Temp. max.	18.6°C
R1:Temp. min.	15.5°C
L1:Temp. średnia	17.0°C
L1:Temp. max.	18.2°C
L1:Temp. min.	15.7°C

Fot. 1. Zdjęcie termowizyjne ściany

zewnętrznej budynku i jej parametry

Fig.1. Infrared image of the external wall of the building and its parameters

Wykonane zdjęcia termowizyjne ściany zewnętrznej uwidoczniły rzeczywisty rozkład temperatur na ścianie co przedstawiono na histogramie R1 sporządzonym dla fragmentu ściany. Temperatura ściany powinna być jednakowa. Uwidoczniony rozkład temperatur jest nierównomierny i znacząco odbiegający od temperatury w pokoju dzieciennym wynoszącej +22,5°C.



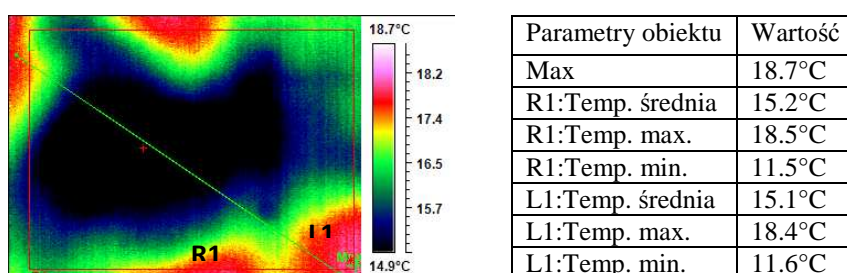
Rys.1. Rozkład temp. wzdłuż linii L1 i histogram temp. dla obszarów R1 na Fot. 1

Fig.1. Temperature distribution along the line L1 and Temperature histogram corresponding in area R1 in Fot.1.

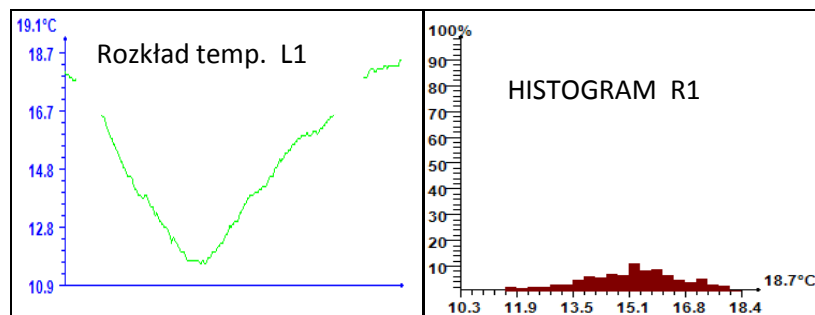
Zaznaczony okręgiem fragment ściany wskazuje miejsca klejenia płyty gips-karton, pokazując jednocześnie jak dobrym przewodnikiem jest klej, co jest również w tym

przypadku zjawiskiem niepożądanym. Temperatura na tych fragmentach ściany jest znacząco niższa od temperatury na pozostałej części powierzchni przegrody.

Na poddaszu na termogramie Fot.2, widoczny rozkład temperatur świadczy o różnej grubości warstwy izolacyjnej przegrody budowlanej. Na podstawie wykonanych zdjęć termowizyjnych, sporządzono histogramy rozkładu temperatur (Rys. 2.) dla fragmentu R1 analizowanej przegrody. Z rozkładu temperatur na powierzchni przegrody wynika jednoznacznie jej „niejednorodność”, tzn. ułożona izolacja jest różnej grubości, nie ma ciągłości w jej ułożeniu lub nie ma jej wcale.



Fot.2. Zdjęcie termowizyjne ściany na poddaszu budynku i jej parametry
Fig.2. Infrared image of the external wall of the building and its parameters

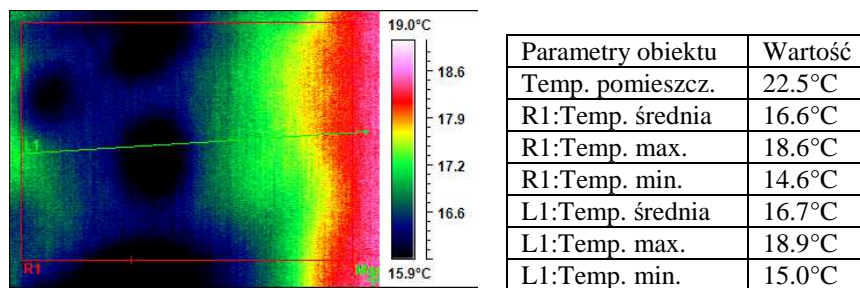


Rys.2. Rozkład temp. wzdłuż linii L1 i histogram temp. dla obszarów R1 na Fot.2
Fig.2. Temperature schedule along the line L1 and temperature histogram corresponding in area R1 in Fot.2.

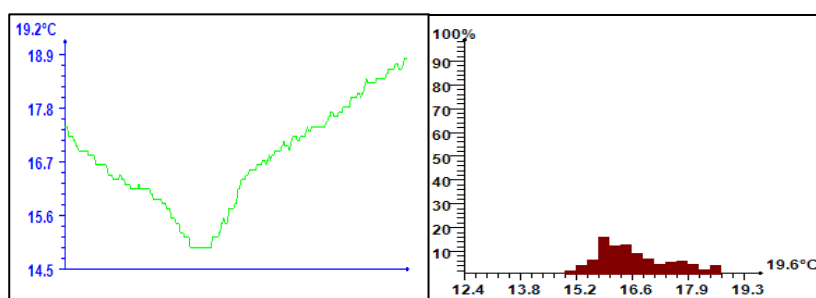
Zakresy temperatur od 11.6 do 18.7°C, wynikające z rozkładu temperatur i histogramu na Rys.2, świadczą o dużym schłodzeniu powierzchni analizowanej przegrody, co przekłada się między innymi na odczucie dyskomfortu osób przebywających w pomieszczeniu.

Nie jest to jednak przypadek odosobniony. W wielu analizowanych innych przypadkach nie izoluje się ścian z przewodami wentylacyjnymi, gdzie również występują

znaczne straty ciepła spowodowane przepływem powietrza wentylacyjnego, czego potwierdzeniem jest kolejne zdjęcie termowizyjne, Fot.3.



Fot.3. Zdjęcie termowizyjne ściany wewnętrznej z kanałami wentylacyjnymi
Fig.3. Infrared image of the wall with ventilation channels and its parameters



Rys.3. Rozkład temp. wzdłuż linii L1 i histogram temp. dla obszarów R1 na Fot.3
Fig.3. Temperature distribution along the line L1 and Temperature histogram corresponding in area R1 in Fot.3.

W przedstawionym przypadku mamy do czynienia z „niekontrolowanym” przepływem powietrza pomiędzy płytami gips-karton i dodatkowo ze ścianą z przewodami wentylacyjnymi. Dlatego efekt obniżonej temperatury na powierzchni przegrody może być dodatkowo spotęgowany. A to wpływa niekorzystnie na odczucie komfortu cieplnego.

3. PODSUMOWANIE

Na podstawie wykonanych badań termowizyjnych budynków jednorodzinnych budowanych w tzw. technologii tradycyjnej, stwierdzono występowanie wad wykonawczych które powtarzają się w wielu obiektach poddanych analizie. Należy tu wymienić przede wszystkim, olbrzymią dysproporcję w rozkładzie temperatur na powierzchni przegrody, „nieszczelności technologiczne” na połączeniach stropów ze ścianami zewnętrznymi oraz połączeniach (narożach) ścian zewnętrznych, niejednorodność przegród ujawniająca się zmienną grubością ułożonej izolacji, brak ciągłości w ułożeniu izolacji lub jej zupełny brak.

Zbyt niska temperatura po wewnętrznej stronie przegrody, daje efekt odczucia chłodu dla osób przebywających w pomieszczeniach. Efekt odczucia chłodu i rzeczywiste obniżenie temperatury jest dodatkowo potęgowane w okresach występowania wiatru. Zimne powietrze wskutek nieuszczelności przegród przedostaje się do jej wnętrza potęgując dyskomfort cieplny.

4. LITERATURA

[1] Badania własne budynków w ramach Europejskiego Projektu ROBUST

THERMAL IMAGING CAMERA DIAGNOSTIC TOOL IN BUILDINGS CONSTRUCTION

SUMMARY

This article presents an analysis of thermal imaging for single-family building in terms of quality performance of construction work. We analyzed a typical single-family segment, made using traditional technology, insulated from the outside and located in a building series. Thermographs made by the infrared camera allowed to show the true picture of performance of the building and on this basis for its assessment of the energy. The article indicates "the worst places" where the biggest errors are made which results in high bills for heating.

Michał BURMISTRZ, mgr inż. arch.

Politechnika Śląska
Wydział Architektury, Rar-3
ul. Akademicka 7, 44-100 Gliwice
e-mail: michal.burmistrz@polsl.pl

OPTIMALIZACJA WYBRANYCH ROZWIĄZAŃ ARCHITEKTONICZNYCH W OPARCIU O TRAJEKTORIĘ SŁOŃCA

STRESZCZENIE

Współczesne projektowanie architektoniczne poprzedzone jest obszerną fazą analityczną, która pozwala ulepszać znane dotychczas rozwiązania. W opracowaniu przedstawiono możliwości wykorzystania współczesnych narzędzi projektowych do optymalizacji – głównie geometrycznej – elementów architektonicznych i budynków. Dotyczą one przede wszystkim ochrony budynków przed nadmiernymi zyskami ciepła, spowodowanymi bezpośrednim promieniowaniem słonecznym oraz oddziaływaniem oświetlenia słonecznego na komfort wizualny użytkowników budynków.

1. WPROWADZENIE

Współcześnie dąży się do obniżenia zużycia energii w trakcie eksploatacji budynków, a główny nacisk – jak pokazują prace badawcze IEA – skoncentrowane są na chłodzeniu budynków, w którym to procesie zużywa się 3 razy więcej energii niż przy ogrzewaniu [1]. Zjawisko to jest szczególnie widoczne w budynkach biurowych, gdzie poza ciepłem wytwarzanym przez urządzenia, oświetlenie, instalacje i użytkowników bardzo duży udział w bilansie energetycznym ma bezpośrednie promieniowanie słoneczne docierające do wnętrza przez przeszklenia. Współczesne oprogramowanie komputerowe wspomagające projektowanie, poza podstawową opcją analizy zacienienia otoczenia przez projektowany budynek, pozwala także na obliczanie optymalnego względem trajektorii Słońca kształtu budynku i jego poszczególnych elementów. Jednak możliwości te nie znajdują się w powszechnie dostępnych programach CAD – najczęściej konieczny jest zakup rozszerzenia lub dodatkowego programu dedykowanego tylko tym funkcjom.

Jak pokazują badania [2] i zrealizowane budynki, w Polsce wciąż zbyt mała jest świadomość istnienia takiego oprogramowania wśród architektów.

Podobnie jest z rozwiązaniami zacieniającymi stosowanymi w celu ochrony użytkowników przed mankamentami bezpośredniego oświetlenia słonecznego. Poniekąd wynika to z faktu, iż wykorzystanie takiego oprogramowania i jego realnych efektów, generuje dodatkowe koszty projektu i budowy.



Rys. 1. Przykład budynku biurowego w Katowicach bez rozwiązań zacieniających – wewnętrzne żaluzje w większości okien (fot. M. Burmistrz)

Fig. 1. An example of the office building without shading solutions in Katowice – internal blinds in most windows (photo M. Burmistrz)

2. OPTYMALIZACJA W ARCHITEKTURZE

W architekturze optymalizacja objawia się przede wszystkim w dążeniu do zapewnienia jak najbardziej przyjaznej użytkownikowi przestrzeni. Uzyskuje się to dzięki możliwości indywidualnego sterowania parametrami środowiska wewnętrznego (temperatura, wilgotność powietrza, wentylacja, oświetlenie) oraz zapewnieniu wysokiej jakości behawioralnej (ergonomia, zieleń we wnętrzach, oświetlenie światłem dziennym, widok z okna, miejsca sprzyjające kontaktom międzyludzkim) [1], [3].

Taki standard wiąże się z wysokimi kosztami utrzymania takiej przestrzeni. Naturalnym jest więc dążenie do obniżania kosztów eksploatacji. W XXI wieku, oszczędności energii osiąga się dzięki zastosowaniu odnawialnych źródeł energii, rozwiązaniom organizacyjnym i architektonicznym [4]. W opracowaniu, omówione zostaną te ostatnie – a dokładniej możliwości optymalizacji wybranych elementów architektonicznych, które minimalizują negatywny wpływ bezpośredniego promieniowania słonecznego i wspomagają oszczędzanie energii w budynku.

3. SŁOŃCE – KLUCZOWY ELEMENT OPTYMALIZACJI

Zdecydowana większość decyzji projektowych uzależniona jest od zjawisk fizycznych jakie w architekturze powstają przy udziale Słońca. Są to m.in.: oświetlenie światłem naturalnym, ogrzewanie, przegrzewanie, stymulowanie ruchu mas powietrza (podwójne elewacje) czy wentylacja naturalna (przeszkłone atria, kominy słoneczne).

To względem stron świata – czyli kierunku padania promieni słonecznych – lokalizujemy projektowany budynek.

Jak pisze D. Chwieduk [5], architekci tworząc koncepcję architektoniczną wykorzystują metodę liniiki MT do wyznaczania, wymaganego warunkami technicznymi,

czasu oświetlenia światłem dziennym. Jest to jednak metoda, która opiera się na dniach równonocy i nie daje możliwości swobodnego projektowania w oparciu o Słońce.

Znacznie efektywniejsze jest wykorzystanie trajektorii Słońca, podczas projektowania bryły budynku. Tym bardziej, że współczesne oprogramowanie pozwala pracować na diagramie, określonym dla zadanej lokalizacji, za pomocą GPS. Dzięki temu, możemy optymalizować nie tylko fragmenty budynku, rozwiązania architektoniczne czy układ pomieszczeń ale przede wszystkim wybrać najlepsze, pod względem zysków z promieniowania słonecznego, miejsce na działce.

Z drugiej strony bezpośrednie promieniowanie słoneczne może być przyczyną wielu niedogodności w budynkach tj.: przegrzewanie się pomieszczeń, zbyt intensywne oświetlenie miejsca pracy, oślepiający blask – „oślnienie” itp. Dlatego odpowiednio zaprojektowane oświetlenie światłem dziennym i słonecznym powinno być stałym elementem analizy fazy koncepcyjnej projektu.

Współczesne oprogramowanie pozwala nie tylko zbudować wirtualny model budynku ale pomaga przewidzieć zjawiska fizyczne, które będą w nim zachodziły. Wszystkie dane na temat Słońca, a dokładniej na temat jego oddziaływania na dane miejsce na Ziemi, pozwalają architektom na poszukiwanie optymalnych rozwiązań w architekturze budynku - w ramach każdej z jego warstw.

W tabeli 1. pokazano wybrane możliwości jakie daje praca na wirtualnym modelu projektowanego budynku z trajektorią Słońca, wyznaczaniem zacienienia oraz pomiarem zysków energetycznych z promieniowania.

Tabela 1. Wybrane przykłady możliwości dokonania analiz z wykorzystaniem Słońca na wirtualnym modelu projektowanego budynku.

Table 1. Selected examples of possibilities analyses using the Sun on a virtual model of the designed building.

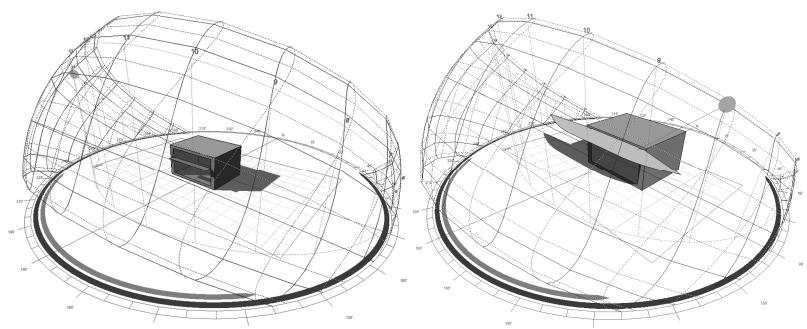
WARSTWA	ANALIZY
DZIAŁKA	<ul style="list-style-type: none"> - cień rzucony budynku i jego droga w ciągu całego roku, - zacienienie przez otoczenie (drzewa, sąsiednie budynki), refleksyjność, - optymalna orientacja budynku na podstawie zysków energetycznych,
KONSTRUKCJA	<ul style="list-style-type: none"> - samozacienianie się konstrukcji, - dobór materiału (konkretne dane)
ELEWACJA	<ul style="list-style-type: none"> - zyski z promieniowania słonecznego na elewacji, - półki świetlne, - zadaszenia/konstrukcje zacieniające, - żaluzje zewnętrzne i wewnętrzne,
WNĘTRZA	<ul style="list-style-type: none"> - ilość światła docierającego do konkretnego miejsca wnętrza, - refleksyjność elementów wyposażenia wnętrz, - śledzenie cieni rzuconych, - wpływ koloru ścian wnętrza na intensywność światła słonecznego

Praca w środowisku BIM (Building Information Modeling – modelowanie informacji o budynku) umożliwia w znacznym stopniu kontrolować oddziaływanie budynku na otoczenie, jak i otoczenia na budynek. Dzięki trajektoriom drogi Słońca jesteśmy w stanie określić m.in. gdzie i o jakiej porze dnia dana przestrzeń/powierzchnia będzie zacieniona lub oświetlona. Pozwala to na etapie koncepcji architektonicznej, sprawdzić m.in. jakie będzie natężenie promieniowania słonecznego w danym wnętrzu i dobrać takie środki zapobiegawcze aby je zminimalizować. Rozwiązanie takich problemów w fazie koncepcyjnej, pozwala zapewnić stały komfort użytkownikom w trakcie korzystania z budynku. Natomiast koszty poniesione na opracowanie tych rozwiązań będą zwiększone tylko w początkowym cyklu życia budynku. Później te i podobne rozwiązania będą stałe wpływały na obniżenie kosztów eksploatacji.

Przykładem takiego projektowania może być wnętrze z dużym przeszkleniem, które chronimy przed przegrzewaniem – okapem lub elementem zacieniającym.

Dzięki możliwości ustawienia parametrów Słońca w programie – zgodnego z jego trajektorią w danej lokalizacji i czasie – możemy sprawdzić na jakiej wysokości powinien znajdować się element zacieniający, jaki powinien być jego wysięg i kształt, aby chronił wnętrze przed mankamentami bezpośredniego promieniowania słonecznego.

Opracowując taki element, można zoptymalizować jego kształt za sprawą obliczeń jakie wykonamy w programie na podstawie trajektorii Słońca (rys.2).



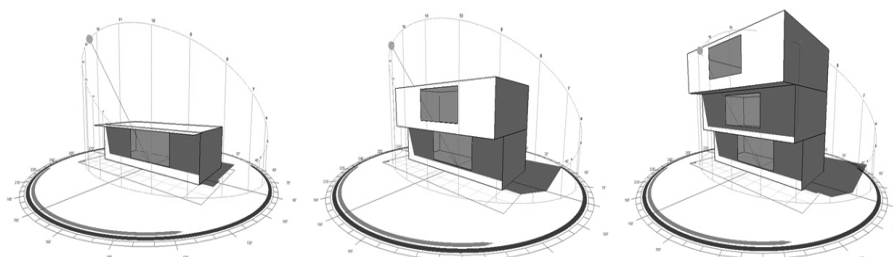
Rys. 2. Przykład zwykłego elementu zacieniającego (po lewej) i zoptymalizowanego elementu zacieniającego, którego kształt obliczono tak, aby zacieniał wnętrze dokładnie od 1 czerwca do 31 sierpnia w godzinach od 8.00 do 16.00

Fig. 2. An example of a normal shading element (left) and an optimised shading element with the shape designed in such a way that it shades the interior exactly from 1 June until 31 August between 8:00 and 16:00.

Obliczenia są wynikiem analizy drogi Słońca w ciągu całego roku oraz analizy przebiegu cienia rzuconego. Na tej podstawie, można dopasować kształt elementu zacieniającego, tak aby chronił otwór przed Słońcem w określonym czasie w ciągu roku. Geometria elementu obliczona jest tak, że nie ma w niej powierzchni, która była by zbędna. Pozwala to oszczędzić część materiałów, przy zachowaniu pełnej skuteczności działania elementu zacieniającego.

Na podstawie otrzymanej geometrii można rozpocząć modelowanie bryły budynku, którego rzut kondygnacji powyżej, będzie opierał się na kształcie obliczonego ele-

mentu zacieniającego otwory okienne kondygnacji poniżej. Efektem tego jest bryła budynku opracowana na podstawie trajektorii Słońca w której pomieszczenia na wszystkich kondygnacjach będą zacieniane zgodnie z określonymi wcześniej zaleceniami (np. od 8.00 – 16.00). Pozwala to trwale rozwiązać problemy przegrzewania się pomieszczeń, zbyt intensywnego doświetlenia miejsca pracy, a dodatkowo oszczędzić na wymianie wewnętrznych lub zewnętrznych elementów zacieniających w trakcie eksploatacji budynku. Przykładowy efekt modelowania kolejnych kondygnacji nad prostym pomieszczeniem pokazano na rys. 3. Wysięg kondygnacji oparty został na geometrii wcześniej obliczonego elementu zacieniającego (prostokątnego) dla podanych wymiarów okna i okresu zacinienia. Najwyższa kondygnacja, może być chroniona elementem zacieniającym.



Rys. 3. Przykład modelu prostego budynku, którego rzuty kolejnych kondygnacji opierają się na geometrii elementu zacieniającego, którego kształt obliczono tak, aby zaciemniał wnętrze dokładnie od 1 czerwca do 31 sierpnia w godzinach od 8.00 do 16.00.

Fig. 3. An example of a simple building model, which floor plans of next levels based on geometry shading element with the shape designed in such a way that it shades the interior exactly from 1 June until 31 August between 8:00 and 16:00.

Dodatkowymi narzędziami w pracy projektanta, pomagającymi w optymalizacji architektury lub sprawdzaniu poprawności założeń projektowych, mogą być aplikacje dostępne na telefon z odbiornikiem GPS. Możemy wtedy wejść w posiadanie danych na temat trajektorii Słońca w konkretnej lokalizacji.



Rys. 4. Praca w terenie z aplikacją pozwalającą określić pozycję Słońca. (fot. M. Burmistrz)

Fig. 4. Field work with an application that enables determination of the Sun position.

(photo by M. Burmistrz)

Oprogramowanie to pozwala pracować w terenie i na działce przeznaczonej pod budowę sprawdzić m.in. następujące czynniki:

- pozycję Słońca w każdej porze roku,
- pozycję Słońca w każdym dniu i o każdej godzinie,
- okresy zacienienia przez elementy otoczenia miejsca przeznaczonego na budowę,
- wskazanie obiektów, które będą zacieniały budynek,
- wskazanie miejsc na działce i projektowanym budynku, które będą zacieniane przez inne budynki lub elementy otoczenia,
- lokalizację Słońca nawet w czasie zachmurzenia,
- dokładne godziny wschodu i zachodu Słońca.

Aplikacja może być uzupełnieniem programu zawierającego trajektorię Słońca. Pozwala zweryfikować i sprawdzić w terenie założenia projektowe architektury opartej na wykorzystaniu Słońca.

4. REALIZACJE ARCHITEKTONICZNE WYKORZYSTUJĄCE TRAJEKTORIĘ SŁOŃCA

Poniżej przedstawiono wybrane realizacje budynków, w których rozwiązania techniczne – energooszczędne - wspierane są przez rozwiązania architektoniczne. Są to przykłady optymalizacji, której założeniem jest nie tylko wyposażenie budynku w w/w instalacje, aby zapewnić wysoki komfort użytkowania, ale także jego zaprojektowanie, aby architektura wspierała niektóre z nich. W obu przypadkach kluczowym elementem wpływającym na kształt lub wyraz architektoniczny budynku było wykorzystanie trajektorii Słońca.



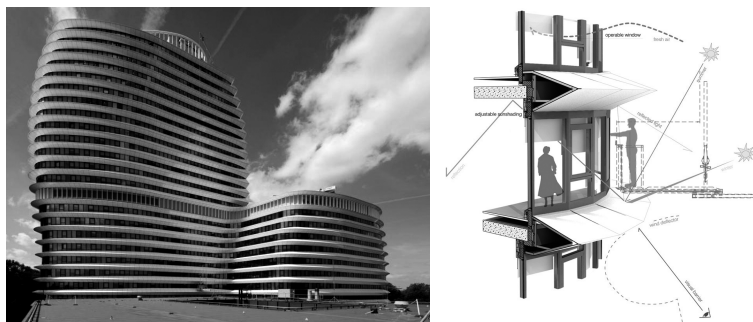
Rys. 5. Budynek biurowy w Kuggen – autorzy: Wingardh Arkontor (fot. e-architect.co.uk)

Fig. 5. Office building in Kuggen – authors: Wingardh Arkontor (photo: e-architect.co.uk)

Budynek biurowy Kuggen w Lindholmsplatsen (Szwecja)

Zaprojektowany dla Uniwersytetu Technologicznego w Chalmers budynek biurowy Kuggen (kuggen – zębatka) to sześciokondygnacyjny obiekt o kształcie poukładanych na sobie walców, które zwiększają swoją średnicę (im wyżej, tym szersze), a ich oś prze-

suwa się w kierunku południowym. Dzięki takiemu rozwiązaniu architektonicznemu, wyższe piętra chronią niższe przed intensywnym światłem dziennym, a dalej przed przegrzewaniem się pomieszczeń. Unika się przez to dodatkowych kosztów, jakie niesie za sobą klimatyzowanie tak dużych pomieszczeń. Ostatnią kondygnację chroni, podążający za słońcem (na metalowych szynach), ekran utworzony z ogniw fotowoltaicznych. Do około jednej czwartej powierzchni elewacji zredukowano przeszklenia. Okna w tym budynku mają kształt trójkątów, które rozszerzają się ku górze. Pozwala to docierać światłu w rejon sufitu, gdzie ten (biały) odbija je dalej w głąb wnętrza.



Rys. 6. Budynek biurowy w Groningen – autorzy: UN Studio (fot. unstudio.com)

Fig. 6. Office building in Groningen – authors: UN Studio (photo: unstudio.com)

Budynek biurowy DUO² w Groningen (Holandia)

W budynku mieszczą się dwie instytucje: Urząd Skarbowy i Agencja ds. Edukacji. Kształt budynku wynika z studiów nad kątem padania promieni słonecznych w tym rejonie. Poziome, białe gzymsy – o zmiennym kształcie i wysięgu – chronią pomieszczenia przed przegrzewaniem i nadmiernym światłem słonecznym. Od strony południowej gzymsy są głębsze, a od północnej płytsze i wpuszczają więcej naturalnego światła. Wewnątrz uzyskano przestrzeń bardzo przyjazną człowiekowi, wykonaną z ekologicznych materiałów i wykorzystującą doświetlenie światłem naturalnym. Architekci pomyśleli nawet o tym, co będzie się działo z budynkiem, gdy ten przestanie pełnić funkcje biurowe (w efekcie np. cyfryzacji oferowanych usług). Całość została tak zaprojektowana, aby w przyszłości można było bez naruszania konstrukcji i układu rzutów przekształcić obiekt na funkcję mieszkaniową, zachowując przy tym wymagany czas doświetlenia mieszkań światłem słonecznym.

5. PODSUMOWANIE

Współczesne oprogramowanie, pozwala coraz dokładniej symulować procesy fizyczne zachodzące w projektowanych budynkach. Dzięki temu, możemy już na etapie projektowania koncepcyjnego, podejmować kluczowe dla energooszczędności budynku decyzje.

Przegrzewanie się pomieszczeń, zbyt intensywne oświetlenie miejsca pracy, oślepiający blask – to tylko wybrane problemy, które możemy zniwelować projektując budynki lub ich elementy w oparciu o trajektorię Słońca.

Zapobieganie tym zjawiskom pozwala m.in.:

- zmniejszyć zużycie energii potrzebnej do sztucznego oświetlania pomieszczeń (przynajmniej o 21% - dane Ecotec Analysys),
- ograniczyć wewnętrzne zyski ciepła (dzięki temu można zmniejszyć zużycie energii potrzebnej do chłodzenia o 20 - 40% - dane Ecotec),
- poprawić samopoczucie użytkowników oraz zwiększyć ich wydajność,
- zmniejszyć ilość materiałów potrzebnych do wykonywania np. elementów zacięniających,
- zaprojektować budynek samo zacięniający własne otwory okienne, w których nie ma wtedy barier wizualnych (żaluzje, rolety).

Rozwiązania te mogą w znaczący sposób wpływać na bilans energetyczny budynku oraz dobrze uzupełniać pozyskiwanie energii z odnawialnych i niekonwencjonalnych źródeł. Zwiększony początkowo budżet na analizy projektowe i budowę, zwraca się z nadwyżką w trakcie eksploatacji, poprzez zastosowanie rozwiązań architektonicznych sprzyjających oszczędzaniu energii. Dlatego tak ważne jest, aby w analizie finansowej przedsięwzięcia inwestycyjnego rozpatrywać koszty budynku, nie tylko w fazie projektu czy budowy, ale w całym cyklu jego życia. Gdyż najwyższe koszty generuje zazwyczaj utrzymanie budynku.

6. LITERATURA

- [1] Niezabitowska E. (red), Budynek Inteligentny, tom I, Potrzeby użytkownika a standard budynku inteligentnego, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2005
- [2] Burmistrz M. Badania własne - ankieta: *Znajomość oprogramowania umożliwiającego obliczanie geometrii zadaszania otworów okiennych na podstawie trajektorii Słońca*, wykonane w 2012 r. Próba 63 respondentów-architektów. Wnioski z ankiety. Maszynopis.
- [3] Masły D., *Jakość budynków biurowych w świetle najnowszych metod oceny jakości środowiska zbudowanego*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2009
- [4] Burmistrz M., Niezabitowska E. *Rozwiązania architektoniczne podnoszące jakość budynku inteligentnego*, Konferencja InBus, Kraków 2011
- [5] Chwieduk D., *Energetyka słoneczna budynku*, Arkady 2011

7. WYKAZ STRON INTERNETOWYCH

Budynek biurowy w Kuggen; źródło: www.e-architect.co.uk (z dn. 26.05.2012)

Budynek biurowy w Groningen; źródło: www.unstudio.com (z dn. 26.05.2012)

ARCHITECTURE SOLUTIONS OPTIMISATION BASED ON THE SUN TRAJECTORY

SUMMARY

Currently architectural design is preceded by a comprehensive analytical phase that enables optimisation of the known solutions. The study presents possibilities provided by today's design tools and devices facilitating decision-making in planning and designing. Such tools work mostly on the basis of the Sun trajectory.

Monika BURMISTRZ, mgr inż. arch.

Politechnika Śląska
Wydział Architektury, Rar-3
ul. Akademicka 7, 44-100 Gliwice
e-mail: monika.burmistrz@polsl.pl

ZIELONY DACH A ARCHITEKTURA ENERGOOSZCZĘDNA

STRESZCZENIE

Szczególny wpływ zielonych dachów na architekturę energooszczędną i zapotrzebowanie energetyczne budynków obserwuje się od kilku dekad. Tereny czynne biologicznie, będące piątą elewacją budynku, zapewniają korzyści ekologiczne, ekonomiczne oraz estetyczno-środowiskowe w ramach całego cyklu życia budynku. Takie rozwiązania zyskują obecnie szerokie grono odbiorców, zarówno wśród projektantów, jak i świadomych zysków inwestorów. W opracowaniu przedstawiono wpływ zielonych dachów na architekturę energooszczędną, współczesne realizacje architektoniczne oraz tendencje projektowe.

1. WPROWADZENIE

Współczesne dachy zielone to kolejny krok w stronę dążenia do budownictwa zrównoważonego. W obliczu wyzwań stawianych obecnie budynkom energooszczędnym, szeroko rozumianym jako poszanowanie środowiska naturalnego, zielone dachy są następnym elementem wpływającym na zapotrzebowanie energetyczne budynku.

Chociaż idea pokrywania dachu roślinnością znana jest od wieków, to w ostatnich dekadach obserwowany jest ogromny rozwój w tej dziedzinie. „Zielone” rozwiązania w ramach piątej elewacji budynku przestają być synonimem ekstrawagancji i futurystycznej wizji architekta, które wykorzystywane są jedynie w inwestycjach wysokobudżetowych. Zielone dachy stają się nierzadko inspiracją do tworzenia nowatorskich projektów architektonicznych. Wynika to ze stale wzrastającej świadomości społecznej, związanej z ekologicznymi problemami globalnymi.

Zielony dach ma wiele korzyści: m.in. poprawia mikroklimat oraz jakość powietrza, obniża koszty eksploatacji budynku, wpływa na atrakcyjność terenu w krajobrazie

miasta, poprawia warunki mieszkania i pracy, stymulując do podejmowania nowych aktywności.

2. ZALETY ZIELONYCH DACHÓW

Chociaż zielone dachy w Polsce nie są jeszcze popularne na taką skalę, jak w Europie Zachodniej, Skandynawii czy Stanach Zjednoczonych (w każdym roku w Polsce powstaje ok. 0,5 mln metrów kwadratowych zielonych dachów, w Niemczech – ok. 9 mln metrów kwadratowych) [1], to taki rodzaj dachów na gruncie rodzimym rozwija się bardzo szybko. A korzyści są wymierne, zarówno w aspekcie ekologicznym, ekonomicznym czy estetyczno-środowiskowym:

Tabela 1. Zalety zielonych dachów [2], [3].

Table 1. Advantages of green roofs [2], [3].

CZNNIK	ZALETY
EKOLOGICZNY	<ul style="list-style-type: none"> - przywrócenie terenów czynnych biologicznie zajętych pod zabudowę - szczególnie cenne na małych działkach i w obszarach intensywnej zabudowy, - przywrócenie równowagi przyrodniczej – stworzenie środowiska życia dla wielu gatunków flory i fauny, - możliwość uprawy owoców i warzyw (np. w miejscu pracy, mieszkania) – zmniejszenie ruchu kołowego – mniejsza emisja spalin, - poprawa bilansu energetycznego budynku.
EKONOMICZNY	<ul style="list-style-type: none"> - oszczędność energii w zimie do 30 % względem tradycyjnego dachu (dach zielony jako dodatkowa izolacja termiczna), latem – osłona przed nagrzewaniem (temperatura typowego dachu to 80°C, zielonego - 30°C), - ochrona hydroizolacji warstwą roślinności przed destrukcyjnymi warunkami atmosferycznymi (opady, promieniowanie UV, wiatry, duża amplituda temperatur) – zwiększenie trwałości dachu, - zmniejszenie kosztów odprowadzenia wody opadowej poprzez retencjonowanie (zatrzymanie 30-99% opadów) – odciążenie kanalizacji deszczowej, redukcja kosztów odprowadzenia wód opadowych i systemu orynnowania (mniejsze wymiary rynien i rur spustowych), - ekonomiczna praca instalacji klimatyzacyjnej poprzez mniejsze nagrzewanie budynku, - większa sprawność instalacji fotowoltaicznych – poprawa wydajności o ok. 4-5%, - redukcja kosztów związanych z pozyskaniem drogich działek budowlanych w mieście – gospodarowanie projektowanych lub istniejących dachów na tereny rekreacyjno-wypoczynkowe,

	<ul style="list-style-type: none"> - zmniejszenie kosztów w trakcie eksploatacji (remonty) – dach zielony jako jeden z najbardziej trwałych i długowiecznych rodzajów dachów, - wykorzystanie materiałów z recyklingu (polietylen, kauczuk, EPS), - wzrost wartości ekonomicznej – mieszkania/biura z ogrodem użytkowym na dachu osiągają proporcjonalnie wyższe ceny względem typowych budynków.
ESTETYCZNO-ŚRODOWISKOWY	<ul style="list-style-type: none"> - wzrost wartości estetycznej - poprawa warunków mieszkania i pracy, w szczególności w obszarach o dużym stopniu urbanizacji, - tworzenie powierzchni użytkowych dla nowych aktywności (parki, ścieżki, miejsca odpoczynku i spotkań), - wkomponowanie urządzeń energooszczędnych w płaszczyznę dachu, - identyfikacja przestrzenna w strukturze miasta, - poprawa mikroklimatu – wydzielanie tlenu, redukcja dwutlenku węgla, - oczyszczanie powietrza z zanieczyszczeń (pyły, spaliny, kurz) – filtracja ok. 10-20 % szkodliwych substancji, - zwiększenie wilgotności powietrza – parowanie wody opadowej z powierzchni roślin (transpiracja) lub gleby (ewapotranspiracja) i oddawanie jej do atmosfery, - poprawa izolacyjności akustycznej- redukcja hałasu o ok. 8dB na skutek pochłaniania dźwięków dzięki strukturze roślinnej.

Przy całym spektrum korzyści wynikających z funkcjonowania dachów zielonych, należy powiedzieć również o jego mankamentach. Do największych zalicza się koszt dachu, w szczególności intensywnego (użytkowany najczęściej przez cały rok, pełniący funkcję rekreacyjno-wypoczynkową, pokryty wyższą roślinnością jak drzewa i krzewy). Ponadto, dach ten wymaga systematycznej pielęgnacji, istnieje również ryzyko uszkodzenia hydroizolacji przez korzenie roślin. Pomimo atrakcyjności tego typu dachu, ciekawą alternatywą staje się zatem dach ekstensywny – jest stosunkowo tani (cena za 1m² – 150-200 zł) [4] i nie wymaga częstych zabiegów pielęgnacyjnych. Jest to dach o niewielkim, względem dachu intensywnego, ciężarze (ok.40-100 kg/m²), a ewentualne problemy techniczne można wyeliminować poprzez prawidłowe wykonawstwo.

Zielone dachy, podobnie jak inne rozwiązania czy elementy wyposażenia budynku energooszczędnego wymagają początkowo większych nakładów finansowych. Jednak koszty te zostają stosunkowo szybko zwrócone w trakcie eksploatacji budynku, a zielony dach staje się opłacalną inwestycją długoterminową, dostępną dla przeciętnego inwestora.

3. ZIELONE DACHY WE WSPÓŁCZESNYCH REALIZACJACH

Ekologia jest jednym z największych wyzwań współczesnego świata architektury. Coraz więcej budynków i założeń urbanistycznych respektuje zasady zrównoważonego rozwoju. Co więcej – wysoce zaawansowane technologie, materiały i rozwiązania zaczynają być standardem projektowym i świadectwem naszych czasów.

Nie inaczej było w przypadku Kalifornijskiej Akademii Nauk w San Francisco. Kompleks ten, zaprojektowany przez biuro architektoniczne Renzo Piano Building Workshop, wpisuje się w nurt zrównoważonego budownictwa, będąc tym samym najbardziej „zielonym” muzeum na świecie. Co wpływa na ekologiczny wymiar tego założenia?

Nowatorskie rozwiązania (m.in. system naturalnej wentylacji, dostępność i zarządzanie światłem naturalnym czy gospodarka wodą) optymalizują wykorzystanie zasobów naturalnych i minimalizują negatywny wpływ na środowisko. Jest to możliwe za sprawą m.in. nietypowego, zielonego dachu o powierzchni 10 000 m², dzięki czemu spowalnia się proces powstawania miejskiej wyspy ciepła (pochłanianie promieni słonecznych np. przez beton i oddawanie jej do atmosfery). Na dachu zasadzono 1,7 mln miejscowych roślin, dzięki czemu budynek doskonale komponuje się z otaczającym go parkiem. Jednak Akademia to przede wszystkim szereg nowatorskich rozwiązań.

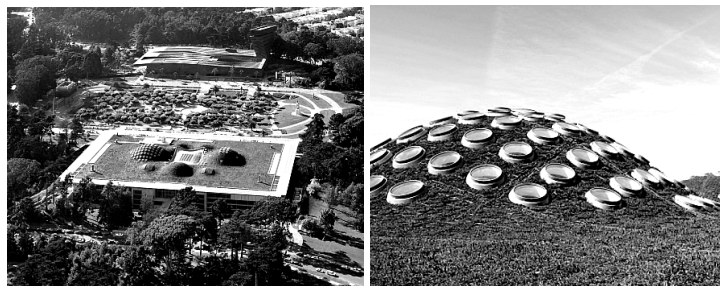
Największym wyzwaniem było zlokalizowanie roślinności na płaszczyźnie kopuły nachylonych pod kątem 60°. Wykorzystano do tego specjalne tace usztywniające wykonane z włókna orzecha kokosowego – trwałego materiału przepuszczającego wodę, zapobiegającego jednocześnie osuwaniu się ziemi. Dzięki temu powstała zwarta struktura roślinności na dachu.

Na podstawie budynku Akademii zbadano również wpływ zielonych dachów na zjawisko powstawania miejskiej wyspy ciepła. Przy średniej temperaturze powietrza 18°C, zwykły dach nagrzewa się do 32°C, natomiast zielony (dzięki parowaniu roślin) – do 15°C [7].

W centralnej części budynku wykonano szklany dach, który zawiera 60 tysięcy ogniw galwanicznych, wytwarzający w skali roku 10% rocznego zapotrzebowania na energię całej Akademii. Zgodnie z założeniami współczesnych dachów zielonych, budynek Akademii charakteryzuje się skutecznym retencjonowaniem wód opadowych na poziomie 13,6 mln litrów rocznie (98%).

Akademia to także ciekawe rozwiązania architektoniczne – kopuły kryjące pod sobą planetarium i las deszczowy wyposażono w okrągłe świetliki, nadając całości futurystyczny wygląd. Na dachu stworzony został korytarz ekologiczny dla dzikich zwierząt, a także punkt widokowy pozwalający na obserwację ich życia.

W zakresie zrównoważonej architektury budynek wspinał się na szczyt ekologicznych możliwości, czego świadectwem jest najwyższe wyróżnienie – amerykański certyfikat LEED Platinum, wydany w 2008 roku przez United States Green Building Council [5].



Rys. 1. Widok zielonego dachu Kalifornijskiej Akademii Nauk, San Francisco
(źródło: <http://www.projektoskop.pl/a-7064-budynek-california-academy-of-science.html>)

Fig. 1. View from the green roof of the California Academy of Sciences, San Francisco
(source: <http://www.projektoskop.pl/a-7064-budynek-california-academy-of-science.html>)

Również w Polsce spotyka się coraz więcej przykładów architektury z zielonym pokryciem. Pierwszym ogólnodostępnym ogrodem na dachu, wykonanym na tak dużą skalę, jest ogród na dachu Biblioteki Uniwersytetu Warszawskiego. Zaprojektowany przez architekt krajobrazu Irenę Bajerską, jest jednym z najbardziej okazałych ogrodów dachowych w Europie. Ogród rozciąga się na powierzchni ponad 1ha (roślinność zajmuje w nim 5111 m²). Założenie składa się z dwóch zasadniczych części: górnej, wykonanej jako dach intensywny, o powierzchni 2000 m² oraz dolnej – głównie ekstensywnej, pokrytej niską roślinnością (powierzchnia 15000 m²). Zielony dach biblioteki wpływa na bilans energetyczny budynku (dodatkowa izolacja zimą, latem – bufor), powoduje poprawę jakości środowiska życia ludzi, roślin i zwierząt, jest dobrym izolatorem akustycznym, co ma szczególne znaczenie w jednostkach naukowych. Dach stanowi również swoiste miejsce aktywności i integracji społeczności akademickiej.



Rys. 2. „Ogród wejściowy” i fragment „ogrodu górnego” Biblioteki Uniwersytetu Warszawskiego (źródło: <http://www.mmwarszawa.pl/photo/776306/BUW>, http://www.buw.uw.edu.pl/images/mapa/ogrody/Zloty/ogr_zloty.html)

Fig. 2. „Entrance Garden” and fragment of the „upper garden” of the University of Warsaw Library (source: <http://www.mmwarszawa.pl/photo/776306/BUW>, http://www.buw.uw.edu.pl/images/mapa/ogrody/Zloty/ogr_zloty.html)

Zielone pokrycia dachowe śmiało implikuje się już nie tylko na dachach budynków użyteczności publicznej, takich jak obiekty biurowe (Platinum, Siedziba ITI, Harmony Office Center w Warszawie), centra handlowe (CH Arkadia, Złote Tarasy

w Warszawie), budynki administracji publicznej (Sąd Okręgowy w Katowicach, Sąd Najwyższy w Warszawie), ale również mieszkalnych jedno i wielorodzinnych – „Domy sąsiedzkie” w Rybniku, EKO-Park, Sun House, Patria, Kirkor w Warszawie [8].

4. EKOLOGICZNE WIZJE – PRZYSZŁOŚĆ ARCHITEKTURY W MIASTACH?

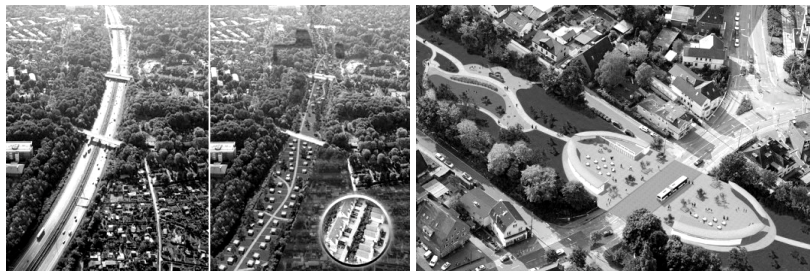
Stopień urbanizacji w XXI w. stale rośnie, architektura dąży do realizacji idei zrównoważonego rozwoju, postęp technologiczny zauważalny jest niemal z dnia na dzień – jednym słowem: jeszcze nigdy wyobrażenia o budynkach, w tym również proekologicznych, nie zaskakiwały tak bardzo. Dokąd zmierzają ekologiczne wizje architektów?

4.1 Zielony pasaż w mieście

Nowatorski projekt zielonego pasażu zrodził się w Hamburgu – mieście, przez centrum którego przebiega najdłuższa autostrada w Niemczech. Droga ta stanowi ruchliwy szlak komunikacyjny i powoduje zwiększone zanieczyszczenie powietrza, powstawanie drgań czy wzmożony hałas. Dodatkowo, betonowe powierzchnie przyczyniając się do powstawania wysp ciepła. Szkodliwe oddziaływanie autostrady odczuwają nie tylko ludzie, ale również środowisko flory i fauny na skutek zaburzenia równowagi przyrodniczej.

Odpowiedzią na te problemy stał się projekt zielonego zadaszienia nad ruchliwą arterią. Realizacja tego założenia, wpisująca się w nurt działań proekologicznych, przełoży się na poprawę jakości życia – warunków mieszkania i pracy, jakość środowiska naturalnego, stając się jednocześnie landmarkiem w strukturze miasta, aktywującym do podejmowania nowych inicjatyw społecznych.

Skala przedsięwzięcia jest ogromna: zielony dach będzie miał 3500 m długości, 34 m szerokości i 3 m grubości. Jeżeli inwestycja ta zostanie zrealizowana (rozpoczęcie prac planuje się na rok 2012), będzie to największa konstrukcja w Niemczech w zakresie budowy zielonych dachów [9].



Rys. 3. Projekt zielonego dachu nad autostradą A7 w Hamburgu (źródło: <http://dachyb2b.pl/wydarzenia/gospodarka/894-gigantyczny-zielony-dach-w-hamburgu>)

Fig. 3. Design of the green roof over A7 motorway in Hamburg (source: <http://dachyb2b.pl/wydarzenia/gospodarka/894-gigantyczny-zielony-dach-w-hamburgu>)

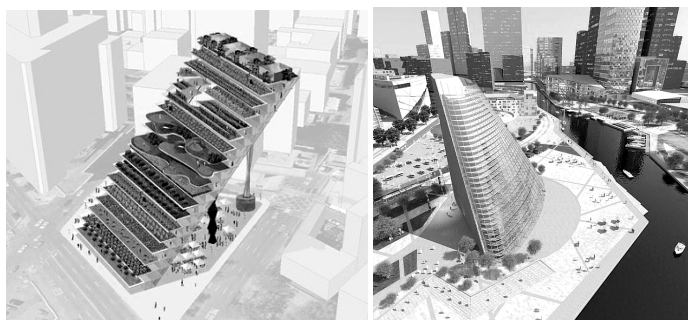
4.2 Vertical farming – koncepcja nowego typu rolnictwa

Jak pisze J. Barwicka, koncepcja vertical farming opiera się na prostej idei: uprawianiu żywności bez zanieczyszczeń na skalę przemysłową, niezależnie od zmian pór roku,

przy pełnej kontroli klimatu, a co najważniejsze – w obszarach intensywnej zabudowy miast. Produkcja żywności w odbywałaby się w wielokondygnacyjnych szklarniach.

Gdyby tradycyjne rolnictwo zostało wyparte przez system wertykalnych farm, jedną z największych korzyści byłaby stopniowa rewitalizacja zdegradowanych ekosystemów. Dodatkowo, transport żywności zostałby ograniczony do minimum. Uwolnione zostałyby obszary wokół miast dla terenów leśnych i łąk. Ponadto, zastąpienie tradycyjnych budynków pokryciem roślinnym na dużą skalę obniżyłoby temperaturę w miastach średnio o ok. 8°C, redukując zjawisko miejskich wysp ciepła.

Pomimo teoretycznych założeń i korzyści wynikających z nowego typu rolnictwa, realizacja w pełni zrównoważonej szklarni w miastach wydaje się mocno kontrowersyjna. Głównie ze względów ekonomicznych – koszt działki budowlanej w centrum miasta znacznie przewyższa cenę działki rolnej. Należy uwzględnić także koszt wybudowania szklarni i jej utrzymania. Dodatkowym mankamentem stają się również problemy technologiczne związane ze sposobem uprawy [6].



Rys. 4. Projekty miejskich farm wertykalnych, po prawej: wieżowiec w Linköping, Szwecja
(źródło: <http://dornob.com/green-in-3d-16-vertical-farm-skyscraper-park-designs/>,
<http://opendoor.pl/europa/pionierski-wiezowiec-do-pionowej-uprawy-roslin-szwecja/>)

Fig. 4. Designs of urban vertical farms, right: a multi-storey building in Linköping, Sweden
(source: <http://dornob.com/green-in-3d-16-vertical-farm-skyscraper-park-designs/>,
<http://opendoor.pl/europa/pionierski-wiezowiec-do-pionowej-uprawy-roslin-szwecja/>)

Jednak nawet najbardziej sceptyczne opinie nie zniechęciły inżynierów z firm Sweco i Plantagon do rozpoczęcia budowy pierwszego na świecie wieżowca do pionowej uprawy żywności. Budynek powstanie w szwedzkim mieście Linköping w III kwartale 2013 roku.

Jak mówi G. Rolski, obiekt ma w najwyższym stopniu wykorzystywać ekologiczne źródła energii – innowacyjny budynek będzie czerpał z nadwyżek energetycznych generowanych przez miasto w celu zwiększenia efektywności procesu fotosyntezy. W budynku wykorzystano południową elewację do maksymalnego pozyskiwania energii słonecznej – zwiększono jej powierzchnię poprzez charakterystyczną formę wieżowca (wyższe kondygnacje przesunięto względem przyziemia w stronę pionowej osi budynku). Każda kondygnacja posiada optymalne warunki świetlne do uprawy warzyw i owoców.

Dodatkowo, inwestycja będzie przetwarzać nadmiar wody i emisji CO₂, minimalizować ruch kołowy związany z dostępnością produktów w bliskim sąsiedztwie (redukcja spalin) czy wpływać na obniżenie cen produktów (brak kosztów związanych z transpor-

tem). Odpowiednie nasłonecznienie i zintegrowane rozwiązania zapewniające najbardziej korzystne warunki hodowlane, mają zapewnić trzykrotnie bardziej efektywną uprawę w stosunku do typowych szklarni [10].

5. PODSUMOWANIE

Zainteresowanie zielonymi dachami, w dobie coraz większej dbałości o środowisko naturalne, systematycznie rośnie. Roślinność na dachu zapewnia szeroki wachlarz korzyści: obniża zapotrzebowanie energetyczne budynku, poprawia jakość klimatu w mieście, przywraca równowagę biologiczną, będąc jednocześnie zaspokojeniem psychofizycznych potrzeb człowieka. Projektując budynek energooszczędny nie należy zapominać, że żywy dach to tylko jeden z elementów umożliwiających osiągnięcie równowagi energetycznej.

W Polsce idea zielonych dachów jest jeszcze bardzo młoda, biorąc pod uwagę chociażby rynek niemiecki, gdzie liczba takich rozwiązań jest niemal 20-krotnie większa w skali roku. Jednak obserwując transformacje w architekturze na przestrzeni ostatnich kilkudziesięciu lat, a także szybkość tych zmian – pewnym jest, że świat architektury zmierzać będzie w stronę budownictwa zrównoważonego, w tym także wpływu zieleni na jakość budynku.

6. LITERATURA

- [1] Piątek-Kożuchowska E., *E-kwartalnik Dachy zielone 1/2010* – „Wstęp”, EPK, 2010,
- [2] Neufert E., *Podręcznik projektowania architektoniczno-budowlanego*, Arkady 2007,
- [3] Mann G., *Dachy płaskie 3/2011*, Polskie Centrum Budownictwa Difin i Müller, 2011,
- [4] Kożuchowski P., Piątek-Kożuchowska E., *Inżynier Budownictwa 5/2009*, Polska Izba Inżynierów Budownictwa, 2009,
- [5] Ryan R., *The Plan 030 Architecture & Technologies in Detail*, The Plan Editions, 2008,
- [6] Barwicka J., *Green² 1/2011*, Świeżym Okiem, 2011.

7. WYKAZ STRON INTERNETOWYCH

- [1] www.science.discovery.com, Ecopolis – Building the Future,
- [2] www.gcl.com.pl,
- [3] www.dachyb2b.pl,
- [4] www.projektoskop.pl.

GREEN ROOF AND ENERGY SAVING ARCHITECTURE

SUMMARY

Specific influence of green roofs on the energy saving architecture and energy demand of the building has been observed for a few decades. Biologically active areas, forming the fifth elevation of the building, provide ecological, economic, aesthetic and environmental benefits over the whole life cycle of the building. Such solutions are currently gaining many enthusiasts, both among designers and benefit-aware investors. The study presents the influence of green roofs on the energy saving architecture, current accomplishments in architecture and designing trends.

Mariusz CHALAMOŃSKI, dr hab. inż. prof. nadzw. UTP

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska
Zakład ogrzewnictwa i Wentylacji
Uniwersytet Technologiczno – Przyrodniczy w Bydgoszczy
85-789 Bydgoszcz
al. Prof. S. Kaliskiego 7

ANALIZA EFEKTYWNOŚCI ENERGETYCZNEJ KOLEKTORÓW SŁONECZNYCH

STRESZCZENIE

W referacie przedstawiono wyniki badań dwóch rodzajów kolektorów słonecznych. Porównano efektywność energetyczną badanych kolektorów zainstalowanych na obiektach w dwóch miastach oddalonych od siebie o ok. 570 km.

1. WPROWADZENIE

Badania ograniczono dla dwóch miast:

Gdańsk (54°22'PN) - województwo pomorskie.

Zakopane (50°03'PN) - województwo małopolskie.

Odległość w linii prostej = 569 [km] [1]

Różnica szerokości geograficznych miast wynosi ok. 4° 20'.

Celem badań były dwa domy oraz dwa hotele: w Gdańsku i w Zakopanem o zbliżonej powierzchni użytkowej i kubaturze. Spadek połaci dachowej na których znajdowała się instalacja solarna był większy od 25%, instalacja skierowana w kierunku południowo – zachodnim, badano budynki o podobnym dobowym zapotrzebowaniu na ciepłą wodę użytkową, ale z różnymi instalacjami solarnymi.

1. Dom o powierzchni **250 m²**, zamieszkiwany przez dwie osoby starsze i dwoje dzieci, o dobowym zapotrzebowaniu na c.w.u. wynoszącym ok. **240 litrów** – instalacja z kolektorami płaskimi.
2. Dom o powierzchni **250 m²**, zamieszkiwany przez dwie osoby starsze i dwoje dzieci, o dobowym zapotrzebowaniu na c.w.u. wynoszącą ok. **240 litrów** – instalacja z kolektorami próżniowymi.
3. Hotel dla **170** gości o dobowym zapotrzebowaniu na c.w.u. wynoszącą ok. **5950 litrów** - instalacja z kolektorami płaskimi.

4. Hotel dla **170** gości o dobowym zapotrzebowaniu na c.w.u. wynoszącą ok. **5950 litrów** – instalacja z kolektorami próżniowymi.

Obliczenia ukazujące różnice i dające wyniki na podstawie których można było wyciągnąć wnioski, zostały wykonane za pomocą kalkulatora energetycznego instalacji solarnych - ROPIDO, firmy SUNEX.

2. PORÓWNANIE KOLEKTORÓW SŁONECZNYCH

Do badań użyto: kolektor próżniowy typu CosmoSUN Select, oraz kolektor płaski typu CosmoSUN Basic – rys. 1 oraz 2.



Rys. 1. Kolektor płaski – CosmoSUN Basic 2.51

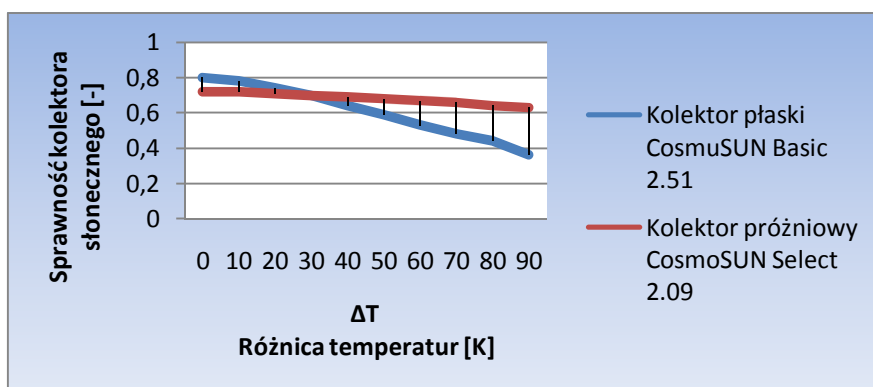
Fig. 1. The flat-plate collectors– CosmoSUN Basic 2.51



Rys. 2. Kolektor próżniowy – CosmoSUN Select 2.09

Fig. 2. The vacuum collector – CosmoSUN Select 2.09

Zarówno kolektor próżniowy typu CosmoSUN Select, jak i kolektor płaski typu CosmoSUN Basic przy określonej różnicy temperatur ΔT między temperaturą absorbera T_{abs} i temperaturą otoczenia otrzymują od Słońca taką samą ilość energii promieniowania słonecznego, ponieważ posiadają taką samą sprawność cieplną. Zależność tą ilustruje punkt przecięcia charakterystyk sprawnościowych omawianych kolektorów. (rys.3).



Rys. 3. Porównanie charakterystyk sprawnościowych kolektorów słonecznych CosmoSUN Basic 2.51 i CosmoSUN Select 2.09

Fig. 3 The comparison of efficiency characteristics of solar collectors

Należy zauważyć, że wraz ze spadkiem lub wzrostem różnicy temperatur ΔT , sprawność cieplna kolektorów również ulega zmianie. Kolektor płaski typu CosmoSUN Basic w porównaniu do kolektora próżniowego typu CosmoSUN Select charakteryzuje się wyższą sprawnością cieplną przy małych różnicach temperatur do ok. 25 K, czyli przy ciepłych dniach. Wraz ze wzrostem tej różnicy (obniżeniem temperatury zewnętrznej) sprawność tego kolektora zmniejsza się, natomiast sprawność cieplna kolektora próżniowego utrzymuje się na wysokim poziomie, praktycznie bez względu na temperatury zewnętrzne. Dlatego kolektory płaskie typu CosmoSUN Basic pod względem energetycznym są wydajniejsze w okresach letnich (wiosna, lato), a kolektory próżniowe – w okresach przejściowych (jesień, zima), co pokazano poniżej.



Rys. 4. Porównanie wydajności cieplnej kolektorów słonecznych przy dziennym zapotrzebowaniu na c.w.u. w wysokości 300 m³ o temp. 45°C oraz rocznym stopniu jej pokrycia na poziomie 50%: A - przez kolektory typu CosmoSUN Basic 2.51 B - przez kolektory typu CosmoSUN Select 2.09 oznaczenia: ■ Energia dodatkowego źródła, ■ Energia słoneczna,

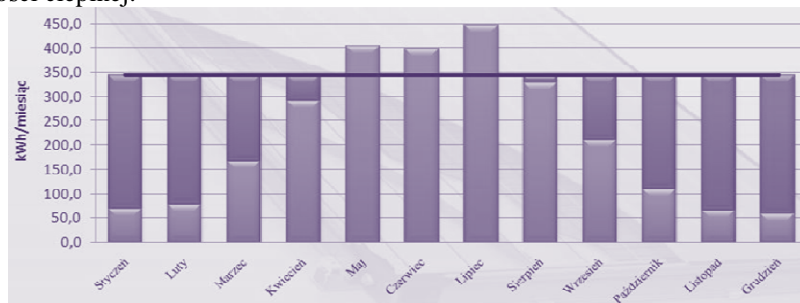
Fig. 4 The comparison of thermal performance of solar collectors

Wymagana energia do podgrzewania c.w.u.

Należy zauważyć, że ilość energii cieplnej (niebieskie słupki) uzyskanej z kolektora płaskiego w okresie miesięcy: maj, czerwiec, lipiec jest o wiele większa niż pozyskanej przez kolektor próżniowy w analogicznym okresie. Jednak w miesiącach listopad, grudzień, styczeń, luty ilość energii cieplnej uzyskanej przez kolektor próżniowy jest znacznie większa niż przez kolektor płaski w analogicznym czasie.

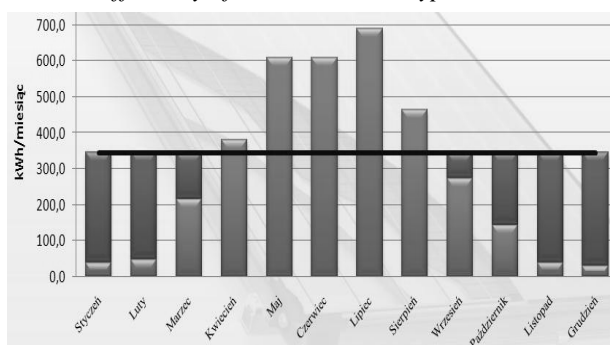
Trzeba pamiętać, że sprawność cieplna kolektora słonecznego zależy również od temperatury nośnika ciepła (płynu solarnego), a co za tym idzie – temperatury absorbera. Jeżeli temperatura będzie wysoka co wiąże się z dużą różnicą temperatur ΔT , wówczas może okazać się, że w okresie letnim wydajniejszy będzie kolektor próżniowy.

Wysoka temperatura nośnika ciepła ma miejsce w instalacjach opartych na płaskich kolektorach słonecznych o wysokim rocznym stopniu pokrycia zapotrzebowania na c.w.u. (rys.6). Wówczas w okresach letnich kolektory typu CosmoSUN Basic z powodu nadmiaru ciepła pracują w zakresie wysokich temperatur, co wiąże się ze spadkiem ich sprawności cieplnej.



Rys. 5. Wydajność cieplna kolektorów słonecznych typu CosmoSUN Basic 2.51 przy dziennym zapotrzebowaniu na c.w.u. w wysokości 300 dm^3 o temp. 45°C oraz rocznym stopniu jej pokrycia na poziomie 60%; oznaczenia jak na rysunku wyżej.[3]

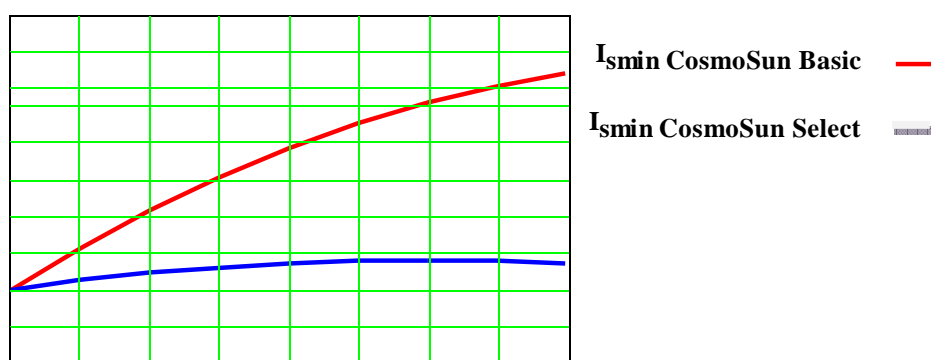
Fig. 5. Thermal efficiency of solar collectors type CosmoSUN Basic 2.51



Rys. 6. Wydajność cieplna kolektorów słonecznych typu CosmoSUN Select 2.09 przy dziennym zapotrzebowaniu na c.w.u. w wysokości 300 dm^3 o temp. 45°C oraz rocznym stopniu jej pokrycia na poziomie 60%; [3]

Fig. 6. Thermal efficiency of solar collectors type CosmoSUN Select 2.09

Wartości progowe natężenia promieniowania słonecznego dla omawianych kolektorów, pracujących przy odmiennych wartościach ΔT przedstawiono na rysunku 7. Wynika z niego, że kolektor próżniowy zaczyna gromadzić energię ciepłą już przy małych wartościach natężenia promieniowania słonecznego. Jest to wynikiem dobrej izolacji cieplnej, jaką jest próżnia, a co za tym idzie straty ciepła są minimalne. W związku z tym kolektory te są o ok. 30% wydajniejsze od kolektorów płaskich. Inaczej rzecz ujmując, aby uzyskać ten sam efekt wydajności cieplnej jak dla kolektorów płaskich o danej powierzchni absorbera, uzyska się z kolektora próżniowego o powierzchni absorbera mniejszej o ok. 30%.



Rys. 7. Porównanie charakterystyk wartości progowych natężenia promieniowania słonecznego I_{smin} w funkcji ΔT dla kolektora płaskiego typu CosmoSUN Basic 2.51 i kolektora próżniowego typu CosmoSUN Select 2.09

Fig. 7. The comparison of characteristics of threshold values of solar radiation I_{smin}



Rys. 8. Porównanie wydajności cieplnej kolektorów słonecznych przy dziennym zapotrzebowaniu na c.w.u. w wysokości 300 dm³ o temp. 45°C oraz rocznym stopniu jej pokrycia na poziomie 30%: A - przez kolektory typu CosmoSUN Select 2.09; B - przez kolektory typu CosmoSUN Basic 2.51

Fig. 8. The comparison of thermal efficiency of solar collectors for day demand on warm usable water

3. PODSUMOWANIE

Analizując otrzymane wykresy można zauważyć, że w miesiącach letnich w przypadku kolektorów płaskich, dobranych na wysokie pokrycie ciepłej wody w skali roku, może dojść do przegrzewania powierzchni kolektorów, jak i przegrzewania ciepłej wody w zasobniku. Wartości progowe natężenia promieniowania słonecznego dla omawianych kolektorów słonecznych pracujących dla różnych wartościach ΔT przedstawiono na rysunku numer 7. Wynika z niego, że kolektor próżniowy typu CosmoSUN Select zaczyna gromadzić energię cieplną już przy stosunkowo małej wartości natężenia promieniowania słonecznego, dzięki posiadaniu bardzo dobrej izolacji cieplnej, jaką jest próżnia, co skutkuje minimalnymi stratami ciepła do otoczenia. W związku z tym kolektory te są o ok. 30% wydajniejsze od kolektorów płaskich typu CosmoSUN Basic.

W instalacjach słonecznych, w których stopień pokrycia zapotrzebowania na c.w.u. kształtuje się na poziomie 20-40%, różnica w pracy pomiędzy kolektorami typu CosmoSUN Basic i próżniowymi typu CosmoSUN Select jest nieznaczna rys.7. Dlatego w tego typu instalacjach zasadne jest stosowanie kolektorów płaskich typu CosmoSUN Basic co zapewni niższe koszty inwestycyjne i równocześnie wysoką efektywność pracy, która wynika z niskich temperatur nośnika ciepła (płynu solarnego).

4. LITERATURA

- [1] Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja, r. 2000-2011
- [2] Dobriański J., Wymiana ciepła w instalacjach słonecznych z płaskimi kolektorami.
- [3] Ferencowicz J., Wentylacja i klimatyzacja, WNT Warszawa
- [4] Lewandowski W.M., Proekologiczne źródła energii. WNT, Warszawa, 2007.
- [5] Praca zbiorowa pod red. Mirosława Zawadzkiego: Kolektory słoneczne, pompy ciepła na tak. Polska Ekologia, wyd. I, 2003
- [6] Wiśniewski G. i inni: Kolektory słoneczne – energia słoneczna w mieszkalnictwie
- [7] <http://bimsplus.com.pl>

ANALYSIS OF THERMAL EFFICIENCY OF SOLAR COLLECTORS

SUMMARY

The paper presents results investigation of flat collectors and vacuum collectors. Compared of thermal efficiency investigated collectors on objects apart on distance 570 km.

Adam CHMIEŁOWSKI, dr inż.,
Michał GEDYMIN, dr inż.

Instytut Technologiczno – Przyrodniczy
Zakład Inżynierii Produkcji Zwierzęcej i Dobrostanu Zwierząt
ul. Biskupińska 65, 60-463 Poznań
a.chmielowski@itep.edu.pl

WTÓRNE WYKORZYSTANIE ENERGII Z POWIETRZA USUWANEGO Z KURNIKA DO OGRZEWANIA SZKLARNI

STRESZCZENIE

Opisano rozwiązanie problemu wykorzystania energii cieplnej traconej podczas usuwania, zanieczyszczonego, powietrza z pomieszczenia inwentarskiego. Określono uwarunkowania energetyczne związane z chowem ptaków w obiekcie produkcyjnym (kurniku). Przy chowie 270 sztuk kur, na 30 m² powierzchni, jest to 1,8 do 2,2 kW (grzania) gdy temperatura powietrza pobieranego wynosi 0°C. W nawiązaniu do postulatu ochrony środowiska przed ujemnymi skutkami tego działu produkcji żywności badano rozwiązanie tego problemu. Przebadano efekty wentylacyjne związane z tą energią, możliwości fitoremediacji oraz ewentualnego wykorzystania roślin ze szklarni.

1. WPROWADZENIE

Stado produkcyjne kur wymaga utrzymania temperatury rzędu 15 – 18°C w pomieszczeniu inwentarskim. W czasie utrzymywania się temperatur otoczenia obiektu drobiarskiego poniżej tego zakresu powietrze wentylacyjne, pobierane z zewnątrz, musi być dogrzewane. Część energii zapewniają same ptaki. Temperatura ciała kury jest rzędu 39,5°C. Utrzymanie temperatury w podanym powyżej zakresie umożliwia uzyskanie bilansu cieplnego ciał ptaków na optymalnym poziomie wartości. Utrzymywanie zbyt niskiej temperatury zmuszającej ptaki do zjadania większej ilości paszy celem uzupełnienia strat energetycznych jest nieekonomiczne. Pasza zjadana ponad normatywnie wypada drożej niż odpowiednie ogrzanie pomieszczenia.

Duża koncentracja stada powoduje jednak znaczne zanieczyszczenie powietrza w pomieszczeniu i konieczność odpowiednio dużej jego wymiany – minimum to 0,5m³h⁻¹kg⁻¹ masy ciała (kury nioski o masie ciała w granicach 2 do 2,5 kg). Przy alternatywnym

systemie utrzymania, w którym dopuszczalna obsada wynosi 9 szt.m^{-2} wymagane jest usunięcie $337,5\text{ m}^3\text{h}^{-1}$ zanieczyszczonego powietrza o temperaturze około 20°C . Powietrze wprowadzane w zamian wymaga dogrzania z wykorzystaniem mocy $1,8 - 2,2\text{ kW}$.

Zanieczyszczenia w powietrzu usuwanym to, oprócz pyłu, głównie CO_2 oraz NH_3 . Chęć minimalizacji negatywnego wpływu na środowisko otaczające obiekt produkcyjny prowadzi do potrzeby eliminacji transportowanych przez powietrze substancji. Równocześnie powietrze będące ich nośnikiem jest ciepłe.

2. IDEA ROZWIĄZANIA PROBLEMU

Jedną z metod eliminacji zanieczyszczeń powietrza jest fitoremediacja [4,5,6], odbywająca się na małą skalę w sposób naturalny w przyrodzie.

Zbieg podanych faktów prowadzi do wniosku o możliwości jej wykorzystania. Całoroczna produkcja drobiarska sugeruje zabezpieczenie bytowania roślin przez umieszczenie ich w szklarni. W efekcie prowadzi to do zastosowania kompleksu kurnik – szklarnia. Założono umieszczenie szklarni na stropie kurnika. Rozwiązanie to ma dwie podstawowe cechy:

- wspólna podłoga szklarni i strop kurnika
- wykorzystanie tendencji do bezpośredniego, grawitacyjnego, przepływu powietrza do szklarni.

Pierwsza cecha, czyli wspólna część struktury obu obiektów, minimalizuje koszty budowy całości systemu. Równocześnie automatycznie realizowana jest druga z wymienionych cech minimalizując, do absolutnie koniecznych, straty przepływu powietrza pomiędzy pomieszczeniami. Wymagany jest kształt wlotów zgodny z zasadami aerodynamiki. Właściwe rozmieszczenie otworów umożliwiających przepływ powoduje, w przybliżeniu, równomierny przepływ powietrza przez powierzchnię szklarni.

Dzięki temu uzyskuje się skuteczne omywanie wszystkich roślin strumieniem, z którego, gazy mają być przez nie absorbowane. Otrzymana wysokość słupa nagrzanego powietrza zwiększa energię ciągu wymiany powietrza. Nagrzewanie szklarni przez słońce powoduje dalsze zwiększenie uzyskiwanego ciągu.

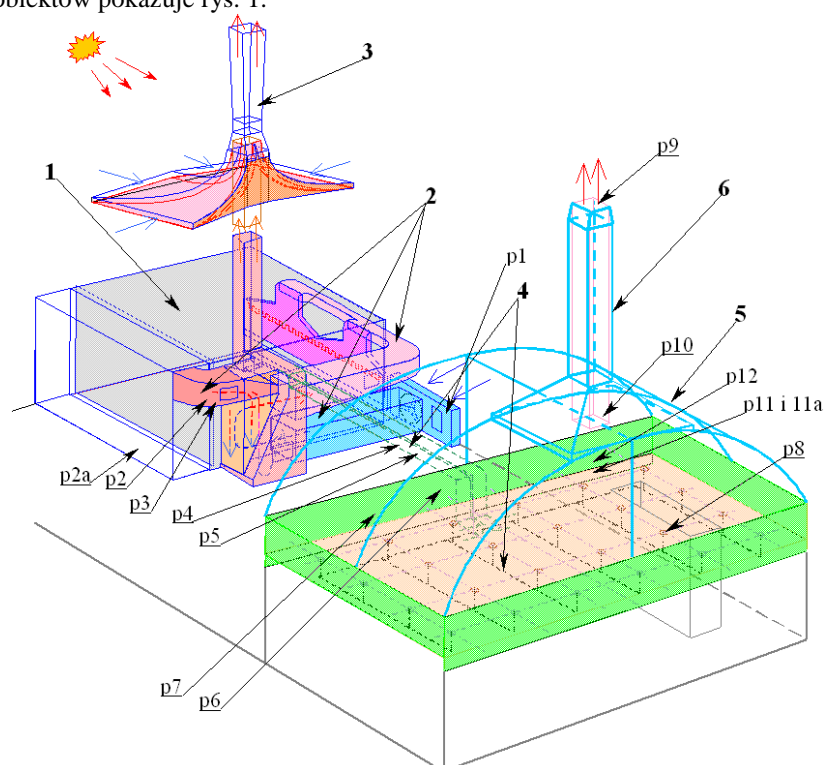
Jednakże, w warunkach letnich, nawet to mogłoby być niewystarczające. W rezultacie system wymiany powietrza dodatkowo wyposażono w komin wentylacyjny, na dachu szklarni [3, 7], zwiększający ciąg kosztem energii słońca (padającego na niego promieniowania słonecznego).

3. FORMA REALIZACJI W WARUNKACH LABORATORIUM

Obiekt badawczy przeznaczony do doświadczeń z drobiem jest izolowany termicznie od reszty pomieszczeń laboratorium. System wentylacji wcześniej został wyposażony w strumienicowy słoneczny komin wentylacyjny [1,2, 7]. Element ten pozostał na dachu nad pomieszczeniem z ptakami – jako rezerwa zapewniająca np. wentylację w trakcie prac wymagających zamknięcia kanałów wymieniających powietrze poprzez szklarnię. Usytuowanie tego urządzenia wymusiło budowę szklarni z pewnym przesunięciem w sąsiednie miejsce na dachu. Zbudowano odpowiedni system kanałów łączących oba obiekty [3]. Należy zdawać sobie sprawę, że ta sytuacja zwiększa znacznie opory przepływu - ponad przewidziane. Założono, że straty termiczne tych kanałów zostaną wyeliminowane przez

odpowiednie ogrzanie pomieszczenia pod szklarnią, przez które zostały przeprowadzone. Powietrze do komory z ptakami dostarczane jest z poprzez urządzenie klimatyzacyjne. Zapewnia ono w okresie letnim możliwość korzystania z wymiany powietrza na minimalnym, określonym wyżej, poziomie. Optymalizuje to czas przepływu powietrza przez szklarnię, zapewniając maksymalny czas pobierania składników odżywczych z powietrza przez rośliny.

W miarę możliwości, w przyszłości, możliwe będzie zainstalowanie pobierania powietrza poprzez grunt (wykorzystanie gruntowych wymienników ciepła) w celu obniżenia temperatury latem i zaoszczędzenia energii cieplnej zimą - klimatyzacja naturalna. Wzajemny układ obiektów pokazuje rys. 1.



Rys.1. Układ pomieszczeń laboratorium

Fig.1. Arrangement of rooms of the laboratory

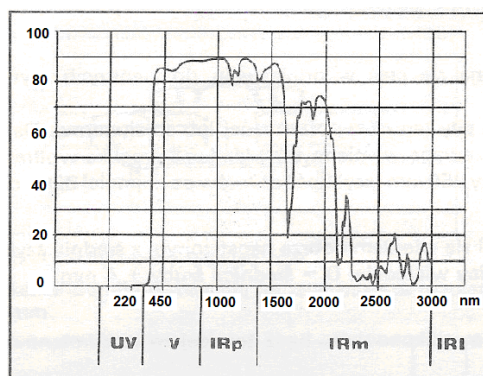
1. Pomieszczenie z ptakami (kurnik), 2. Układ kanałów,
3. Strumieniowe urządzenie wentylacyjne,
- 4 - Kanały doprowadzające i rozprowadzające powietrze do szklarni
5. Szklarnia pokryta poliwęglanem odpowiadająca powierzchni podłogi pomieszczeniu z ptakami
6. Komin wentylacyjny z ciepłowodami

KURNIK

1. Powierzchnia użytkowa 30 m² +ok. 10 m² korytarza obsługowego
2. Obsada ptaków 270 szt. (9,3 szt./m²)
3. Wymiana powietrza 0,5-5,0 m³ h⁻¹ kg⁻¹ masy ciała.
4. Wyposażenie technologiczne – zmechanizowany proces karmienia, zbiór jaj i usuwanie pomiotu i automatyczne poidła.

SZKLARNIA

1. Powierzchnia użytkowa 40 m². Pokrycie z poliwęglanu dwukomorowego 16mm (2,3 W/m²K przy 5,1 dla jednej warstwy szkła). Podstawa zawieszona między murami budynku – drewniana. Izolacja zewnętrzna – styropian

ASTM 1003 - 61**Przewodnictwo świetlne**

U.V.: ultrafiolet 136 do 400 nm
 V.: światło widzialne 400 do 780 nm
 I..R.p.: promienie podczerwone krótkofalowe 780 do 1400 nm
 I..R.m.: promienie podczerwone średnie 1400 do 3000 nm
 I..R.l.: promienie podczerwone odległe 3000 do 1000000 nm

Rys.2. Charakterystyka pokrycia szklarni
 Fig. 2. Characteristics of covering of greenhouse

2. Prowadzona uprawa w szklarni - 40 szt. pacyrecznika (*Canna indica*), w donicach 20 l, ziemia ogrodnicza
3. Zautomatyzowane programowane nawadnianie
4. Cieniowanie – w godzinach i warunkach nadmiernego nasłonecznienia.

Wloty powietrza w podłozie szklarni – 24 sztuki wykonane z rur PCV $\phi 110$. Liczba otworów umożliwiła utrzymanie równomiernego rozplywu i prawidłowego stopniowania średnic strumieni powietrza. Komin wentylacyjny oparty na kołnierzu aluminiowej konstrukcji nośnej (2,1m x 2,1m)

Straty energii powstają z:•Powierzchni pokrycia poliwęglanowego ok.100m² (np. przy temperaturze kurnika 15-18°C, temperaturze otoczenia ok. 0°C pokrycie wypromieniowuje odpowiednio od 3450 do 4140W). •Powierzchni systemu dystrybucji powietrza – mechaniczne. •Wegetacji roślin. •Przewodzenia elementów konstrukcji.

Zyski energii uzyskuje się z:•Efektu szklarniowego z powierzchni ok. 42,6 m, przy wartości promieniowania w efekcie nasłonecznienia – dziennie średnio od ok. 685,9 (XI) do 1350,4 W (II).•Ciepła generowanego przez kury (270 sztuk – ok. 1,8 kW).•Ciepła pobranego przez kolektor komina (ok.. 4m² rzutu – do ok. 4 kW).•Ciepła pobranego przez powierzchnię podłogi szklarni.

4. OPIS METODYKI BADAŃ

Na tym etapie badań korzystano z systemu pomiarowego składającego się z 4 loggerów zbierających dane z czujników i przesyłających je do centrali.

System obsługiwał:

- czujnik temperatury i wilgotności (t/w) powietrza pobieranego do systemu z zewnątrz budynku (pp1; L4),
- czujnik t/w powietrza na wysokości roślin w szklarni (pp6 - L1),
- czujnik t/w powietrza wypływającego ze stanowiska z ptakami (pp3 – L3),
- czujnik t/w powietrza na wlocie do komina wentylacyjnego (pp10 – L4),
- czujnik t/w na szczycie (wylocie) komina (pp9 – L2),
- czujnik t/w na wybranym wlocie przez podłogę do szklarni części strumienia (pp8 – L1),
- czujnik prędkości strumienia powietrza wyciąganego ze stanowiska z ptakami(pp2 – L3),
- czujnik prędkości strumienia powietrza wprowadzanego do systemu dystrybucji, rozprowadzającego go po powierzchni podłogi szklarni (pp.5 – L3),
- przetwornik – czujnik różnicy ciśnień pomiędzy wlotem i wylotem komina wentylacyjnego (pp11 – L2),
- przetwornik – czujnik różnicy ciśnień całkowitego i statycznego na szczycie komina (pp12 – L2),
- czujnik poziomu CO₂ w powietrzu wyrzucanym ze szklarni do komina (pp7 – L2),
- czujnik poziomu CO₂ w powietrzu transportowanym (pp4 – L3) z pomieszczenia z ptakami (generowanym przez nie).

Pomiary z tego systemu przekazywały dane z dłuższych okresów czasu (doby, tygodnia), co umożliwia analizę pod kątem zbieżności z aktywnością dobową ptaków oraz warunkami zewnętrznymi. Równocześnie zawartość NH₃ i CO₂ mierzono rejestratorem Nano 60, a zapylenie powietrza monitorowano dwoma aspiratorami PNS 15 z głowicami PM10. Teom i IPS wykorzystano do określenia relacji wyników z aspiratorów do generowanego pyłu całkowitego. Badania i rejestrację danych prowadzono etapami w roku 2008 i 2009.

Częstotliwość pomiarów jakości powietrza

- na zawartość CO₂ i NH₃ – ciągła
- na zawartość pyłów – dwa razy w miesiącu, dobowo w okresie tygodniowym
- kontrola tempa wzrostu roślin – pomiar 2 razy w miesiącu

Dane pomiarowe pobierano

- na wylocie z pomieszczenia inwentarskiego
- na wejściu do szklarni na poziomie podłogi
- na wlocie do komina wentylacyjnego

Poziom temperatury, na wysokości wierzchołków roślin, uzupełniano do wartości wlotowej automatycznie (bilansując straty spowodowane przewodzeniem przez pokrycie szklarni). W celu kontroli efektów te same rośliny rosły w szklarni Uniwersytetu Przyrodniczego.

5. EFEKTY ZASTOSOWANEGO ROZWIĄZANIA

Tabela 1. Wyniki redukcji stężenia CO_2 [ppm]

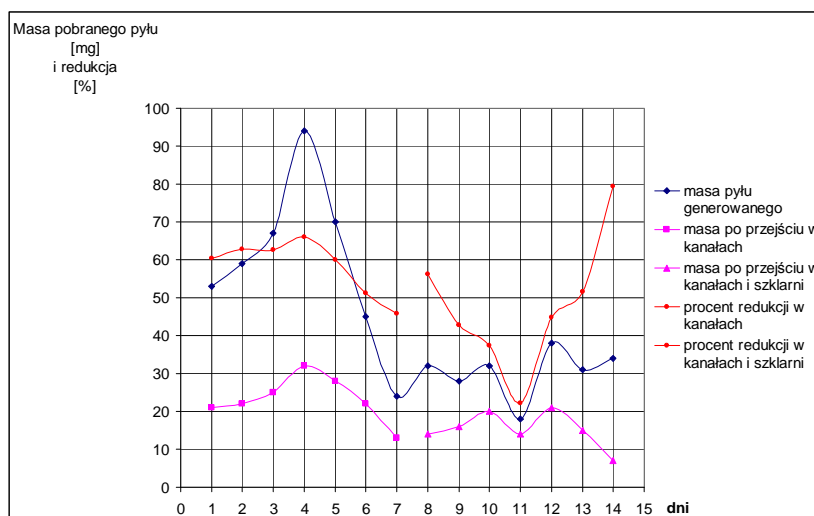
Table 1. Results of reduction of concentration CO_2 [ppm]

okres	wrzesień		październik		listopad	
miejsce	kurnik	paciorecznik	kurnik	paciorecznik	kurnik	paciorecznik
Max.	1620	1410	1840	1840	1800	1400
Min.	760	920	630	810	590	780
Śred.	1209	1127	1173	1000	1127	1012

Tabela 2. Wyniki redukcji – NH_3

Table 2. Results of reduction - NH_3

okres	wrzesień		październik		listopad	
miejsce	kurnik	paciorecznik	kurnik	paciorecznik	kurnik	paciorecznik
wartość	10,5	7,5	16,0	10,0	17,0	10,0



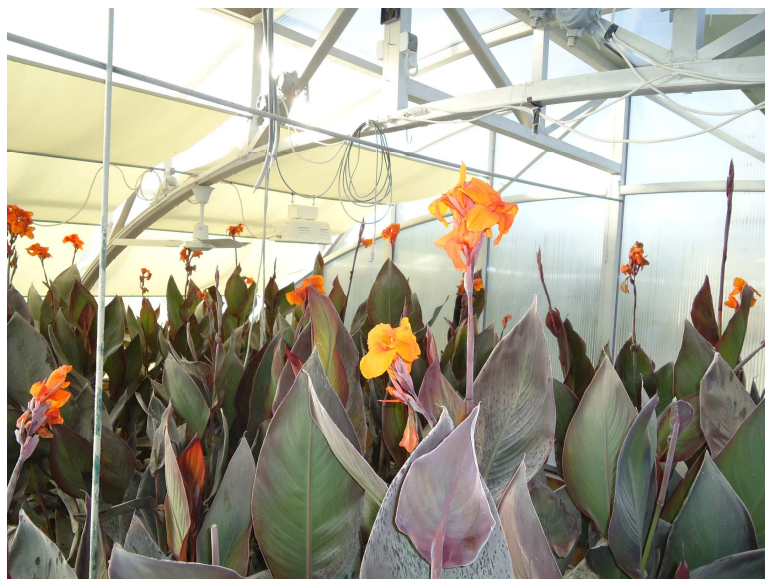
Rys. 3. Wyniki redukcji dla pyłu

Fig. 3. Results of reduction of dust

Zgodnie z badaniami pyłu całkowitego masy pyłu z pomiarów zebrane przez PNS 15 to 2/3 całości. Udział ten był stabilny.

Zestawienie z badaniami porównawczymi

Niezwykłe bujny wzrost paciorecznika (maks. wysokość 2,87 m, dł. liścia 76 cm, szer. liścia 48 cm), który utrudniał przelot powietrza w kierunku komina wentylacyjnego oraz intensywne kiełkowanie młodych odrostów w donicach, pozwoliło zredukować poziom NH_3 w powietrzu aż o 41 %. Stosunkowo niska temperatura (9°C gdy nie działało korekcyjne dogrzewanie szklarni), nie miała wpływu na intensywność rozwoju roślin, które pobierając azot z powietrza, rosły znacznie lepiej niż paciorecznik z grupy kontrolnej, który wykazywał w tym czasie tendencje do zasychania.



Rys. 4. Stan roślin w naszej szklarni
Fig. 4. State of plants in our greenhouse

6. PODSUMOWANIE

- rośliny wykorzystane w doświadczeniu bardzo dobrze rozwijały się w atmosferze powietrza z zanieczyszczeniami typowymi dla kurnika,
- wegetacja była przyspieszona w stosunku do roślin kontrolnych, nie były atakowane przez szkodniki, wykształciły kwiatostany,
- redukcja CO_2 zmieniała się w zależności od pory doby dzień-noc, oraz gatunku uprawianych roślin, wydłużenie dnia świetlnego poprzez zastosowanie sztucznego oświetlenia zwiększyło redukcję średnio o ok. 30%, w czasie działania światła na rośliny całkowita średnia redukcja dwutlenku węgla wyniosła ok. 10%, na taki wynikłożył się proces oddychania roślin zachodzący w ciemności, redukcja poziomu amoniaku w powietrzu przez rośliny doświadczalne wyniosła średnio 39 %,
- uzyskaną średnią redukcję zapylenia (14,2%) spowodowana jest prawdopodobnie niedostatecznie zwartą przeszkodą, jaką stanowią dla pyłu rośliny oraz zakłóceniem procesu jego sedymentacji przez konwekcję,

- rośliny ze szklarni podawano ptakom.

Zastosowane rozwiązanie umożliwia działania proekologiczne znacząco obniżając ich koszt. Ilość energii cieplnej koniecznej do pracy takiej szklarni jest mniejsza o 1/3.

7. LITERATURA

- [1] Chmielowski A., Wentylacja solarna w budynku., Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, 2006
- [2] Chmielowski A., Dobór parametrów strumienicy z kolektorem słonecznym do wentylacji budynków inwentarskich., Prace Naukowe IBMER, Warszawa 2007
- [3] Chmielowski A., New solution of ventilation systems driven with solar radiation., Renewable Energy. Innovative Technologies and New Ideas. Oficyna wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2008
- [4] Chmielowski A. Marek Przemysław, Rakowski Andrzej, Sobczak Joanna, Fitoremediacja jako metoda ograniczania zanieczyszczeń zawartych w powietrzu emitowanym z kurnika., Nauka Przyroda Technologie. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, tom 5, zeszyt 6, Poznań 2011
- [5] Gawroński St., Perspektywy i ograniczenia fitoremediacji., SGGW, VI Sympozjum „Biotechnologia Środowiskowa”, Wrocław 1999
- [6] Gawroński St., Remedium na zanieczyszczenie., SGGW, Zieleń miejska nr 18, 2008
- [7] Hobler T., Ruch ciepła i wymienniki., WNT W-wa, 1986

SECONDARY USING THE ENERGY FROM AIR REMOVED FROM THE HENHOUSE FOR WARMING THE GREENHOUSE

SUMMARY

There was described the solution of problem of using the thermal energy wasted with removing polluted air from the livestock room. It is 1,8 to 2,2 kW (heating) when the temperature of taken air is 0°C at the breeding of 270 pieces of hens on 30 m² of the area. Energy conditioning associated with the aviculture was determined in the production site (henhouse). Further to the demand of the environmental protection before negative consequences of this department of the manufacture of foodstuffs solving this problem was examined.. There were examined the effects of ventilation connected with this energy, possibilities of phytoremediation and of possibility of using plants from the greenhouse.

Dorota A. CHWIEDUK, dr hab. inż., prof. PW

Politechnika Warszawska, MEiL
Instytut Techniki Ciepłej,
ul. Nowowiejska 21/25, 00-665 Warszawa
dchwied@itc.pw.edu.pl

WYBRANE ASPEKTY STOSOWANIA MATERIAŁÓW ZMIENNOFAZOWYCH W PRZEGRODACH ZEWNĘTRZNYCH W POLSKICH WARUNKACH KLIMATYCZNYCH

STRESZCZENIE

W referacie przedstawiono pewne rozważania dotyczące stosowania materiałów PCM w wybranych elementach obudowy budynku, tj. w przegrodach nieprzezroczystych. Opisano niektóre wyniki obliczeń symulacyjnych zmian stanu termicznego przegrody zawierającej warstwę z materiałem zmiennofazowym. Na ich podstawie sformułowano pewne zalecenia, co do stosowania takich przegród w warunkach krajowych. Stwierdzono, że przegrody zewnętrzne z materiałem PCM muszą też charakteryzować się dużą izolacyjnością cieplną, bowiem inaczej nie zaistnieją odpowiednie warunki do zajścia przemiany fazowej i zadziałania przegrody jako zasobnika ciepła.

1. WPROWADZENIE

Dowolny budynek ulega oddziaływaniu promieniowania słonecznego. Wpływ energii promieniowania słonecznego na bilans energetyczny zależy od tego gdzie jest budynek zlokalizowany, i jak budynek został zaprojektowany i wykonany. Bezpośrednie oddziaływanie promieniowania słonecznego na wnętrze budynku ma miejsce tylko przez przegrody przezroczyste. Jest ono związane z parametrami optycznymi tych przegród, tj. ich transmisyjnością, refleksyjnością i absorpcyjnością. Oddziaływanie pośrednie dotyczy całej obudowy i zależy od absorpcyjności powierzchni danej przegrody nieprzezroczystej dla promieniowania słonecznego, a także od konstrukcji i materiałów, z których przegroda jest wykonana, co wpływa na przepływ ciepła, powstałego w warstwie powierzchniowej w wyniku oddziaływania promieniowania słonecznego, do wnętrza przez tę przegrodę. W wyniku przejścia przez przezroczystą przegrodę obudowy budynku promieniowanie słoneczne dociera do wnętrza, gdzie jest pochłaniane przez różne powierzchnie przegród

wewnętrznych (ścian, sufitu i podłogi). Część promieniowania słonecznego odbija się i powraca do powierzchni (wewnętrznej) przezroczystej przegrody, skąd część promieniowania ulega odbiciu i powraca do powierzchni przegród wewnętrznych, część ulega pochłonięciu w przeszkleń, a część może przejść przez te przeszkleń „wydostając się” na zewnątrz. Zjawisko to powtarza się wielokrotnie.

Wskutek oddziaływania promieniowania słonecznego na wnętrze budynku może wystąpić przegrzewanie pomieszczeń, zwłaszcza w przypadku pomieszczeń o specyficznej lokalizacji i rozwiązaniach konstrukcyjno- materiałowych obudowy [1] – [3]. Istnieją różne możliwości ograniczenia oddziaływania otoczenia zewnętrznego, w tym zysków z promieniowania słonecznego. Jedną z nich jest zastosowanie materiałów zmienno-fazowych PCM (*Phase Change Materials*), zintegrowanych ze strukturą budynku.

2. ANALIZA PRZEPŁYWU CIEPŁA PRZEZ NIEPRZEZROCZYSTE PRZEGRODY Z MATERIAŁEM PCM NA PODSTAWIE SYMULACJI KOMPUTEROWEJ ZACHODZĄCYCH ZJAWISK

2.1. Materiały zmienno- fazowe

Stosowanie materiałów PCM w strukturze budynku polega na dodaniu ich w odpowiedniej proporcji do materiałów budowlanych (np. gips, cement), co może ograniczyć oddziaływanie środowiska zewnętrznego, w tym wpływ promieniowania słonecznego. Materiały PCM stosowane w budownictwie ulegają przemianom fazowym topnienie-zestalenie (o bardzo dużej entalpii przemiany) w zakresie temperatur bliskich wymaganej temperaturze w pomieszczeniu. Materiały te charakteryzują się bowiem zdolnością do magazynowania dużych strumieni ciepła zmieniając swoją temperaturę tylko nieznacznie. Duża pojemność cieplna materiałów PCM wynika z ich dużego ciepła przemiany fazowej, które dla materiałów stosowanych w budownictwie, w zależności od ich postaci, wynosi od 100 kJ/kg (gotowe produkty – mikrokapsułki) do 250 kJ/kg (substancje jednorodne) [4].

W badaniach rozważono materiał PCM zintegrowany z obudową budynku. Przeprowadzono obliczenia symulacyjne przegrody zawierającej jedną lub więcej warstw z materiałem zmienno-fazowym. Wybrane warstwy są dostępne na rynku w postaci płyt o nazwie *Energain* [5] i parametrach przedstawionych w Tabeli 1.

Tabela 1. Podstawowe parametry termofizyczne materiału budowlanego zawierającego materiał zmienno-fazowy (60% wosku parafiny)- *Energain*

Table 1. Main thermo-physical parameters of building material with PCM content (60% paraffin wax) - *Energain*

Ciepło właściwe fazy stałej	Gęstość	Przewodność cieplna fazy stałej	Przewodność cieplna fazy ciekłej	Ciepło przemiany fazowej	Temperatura topnienia
c_p [kJ/kgK]	ρ [kg/m ³]	λ [W/m K]	λ [W/m K]	Q_{PC} [kJ/kg]	T_{melt} [°C]
2.2	856	0.18	0.14	70	21,7

Do analizy wybrano różne zewnętrzne nieprzezroczyste pionowe przegrody budowlane zawierające PCM w swojej strukturze, a także przegrodę standardową zapewnia-

jącą istotne ograniczenie wpływu środowiska, w celu porównania dynamiki zachowania się takich przegród w zmieniających się w czasie warunkach otoczenia zewnętrznego. Przyjęto, że rozważane przegrody są zorientowane na południe. Dla takiej orientacji, poza oddziaływaniem samego środowiska otaczającego przegrodę, wpływ promieniowania słonecznego na warstwę powierzchni zewnętrznej jest najbardziej wyraźny w porównaniu z pozostałymi orientacjami.

2.2. Modelowanie matematyczne zachodzących zjawisk

Przegroda ma kontakt z otoczeniem zewnętrznym i wewnętrznym. Przyjęto, że materiał zmienno-fazowy może stanowić dowolną warstwę przegrody, przy czym każda warstwa (przegrody) jest jednorodna i izotropowa. Parametry warstwy z PCM, tj. przewodność cieplna i ciepło właściwe, są zmienne w czasie. Pozostałe warstwy mają parametry stałe. Część przegrody zewnętrznej zawierająca PCM, lub cała przegroda, jeśli cała zawiera PCM, stanowią swoisty zasobnik ciepła funkcjonujący w zmiennych w czasie warunkach cieplnych. Praca zasobnika odbywa się w dwóch podstawowych cyklach, cyklu ładowania, kiedy w odpowiednich warunkach następuje pobieranie dostępnego ciepła, zgodnie z wielkością pojemności cieplnej materiału (faza ciekła) i cyklu rozładowania, kiedy następuje oddanie wcześniej pozyskanego ciepła (przejście fazy ciekłej do stałej – zestalenie materiału). Model pracy zasobnika uwzględnia rzeczywiste właściwości termofizyczne wybranego materiału PCM i innych materiałów budowlanych tworzących daną strukturę nieprzezroczystej przegrody zewnętrznej.

Model matematyczny zjawisk zachodzących podczas przepływu ciepła przez nieprzezroczyste elementy obudowy został przedstawiony w literaturze [2]. Przepływ ciepła odbywa się pomiędzy otoczeniem wewnętrznym – pomieszczeniem budynku, a środowiskiem zewnętrznym – otoczeniem zewnętrznym budynku. Należy zaznaczyć, że otoczenie zewnętrzne jest reprezentowane przez obiekty zarówno w najbliższym sąsiedztwie, jak i dalszym, reprezentowanym przez pozorny nieboskłon. Do modelu fizycznego i matematycznego przepływu ciepła przez przegrodę z materiałem PCM wprowadzono pojęcie efektywnego ciepła właściwego przemiany fazowej. Na podstawie opracowanego modelu matematycznego sformułowano program numeryczny w środowisku MATLAB symulujący zjawiska zachodzące w przegrodzie wielowarstwowej z materiałem PCM podczas przepływu ciepła przez tę przegrodę i przy powstawaniu przemiany fazowej w warstwie PCM. Opracowany program umożliwia tworzenie różnych konfiguracji materiałowych i wymiarowych warstw przegród zewnętrznych.

Istotną sprawą jest wyznaczenie efektywnego ciepła właściwego materiału PCM C_{pmid} [J/kgK] w czasie przemiany fazowej. Ciepło to oblicza się w następujący sposób:

$$C_{pmid}(i) = C_{plow}(i) + \frac{C_{pdeltaH}(i)}{T_{high}(i) - T_{low}(i)} \quad (1)$$

Symbolem (i) opisano kolejny krok czasowy, natomiast poszczególne parametry oznaczają:

C_{plow} - ciepło właściwe PCM przy dolnej temperaturze przemiany fazowej [J/kgK],

$C_{pdeltaH}$ - przyrost entalpii właściwe w czasie przemiany fazowej [J/kg],

T_{high} - górna graniczna wartość temperatury, dla której przemiana może zachodzić [K],

T_{low} - dolna graniczna wartość temperatury, dla której przemiana może zachodzić [K].

Pole temperatury opisuje równanie przewodnictwa z odpowiednio sformułowanymi warunkami początkowymi i brzegowymi. Uwzględniono pojemność cieplną, każdej elementarnej objętości poszczególnych warstw przegrody. W przypadku warstwy z materiałem PCM pojemność ta jest zmienna w czasie. Zgodnie z tym, co przyjęto, zmienia się ciepło właściwe na początku, końcu i dla samej przemiany fazowej, a także różni się dla samej fazy ciekłej i stałej. Zmienne są także inne parametry, takie jak przewodność cieplna, gęstość. Program został napisany w taki sposób, że dla każdego uśrednionego dnia miesiąca obliczenia prowadzone są przez 5 dni, aż do uzyskania ustalonych powtarzalnych przebiegów zmienności temperatury w przegrodzie i rozkładu przepływu ciepła przez przegrodę i do otoczenia. W tabeli 2 przedstawiono parametry materiałów budowlanych, poza PCM, stanowiących warstwy nieprzezroczystej przegrody obudowy budynku poddanej analizie.

Tabela 2. Podstawowe parametry termofizyczne materiałów budowlanych przegrody nieprzezroczystej obudowy (poza PCM) rozważane w obliczeniach

Table 1. Main thermo-physical parameters of opaque building materials of building envelope under consideration (not PCM)

Materiał	Ciepło właściwe	Gęstość	Przewodność cieplna
	c_p [kJ/kgK]	ρ [kg/m ³]	λ [W/m K]
Cegła ceramiczna	0.84	1600	0.69
Wełna mineralna	0.70	24	0.038

Temperatura przemiany fazowej rozważanego materiału zmiennofazowego *Energain* odpowiada 21,7°C. Z tego względu przyjęto, że wymagana wewnątrz budynku temperatura powietrza odpowiada 22°C (w celu stworzenia warunków cieplnych – temperaturowych, bliskich temperaturze przemiany fazowej).

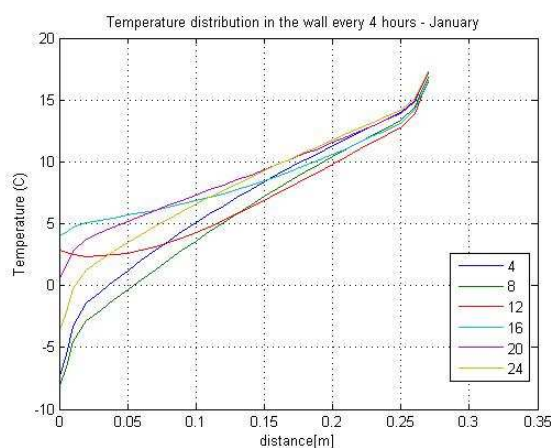
Otrzymane wyniki symulacji numerycznej pozwalają na wysnucie pewnych wniosków ilościowych i jakościowych. Wskazują one na pewne preferencje, co do struktury nieprzezroczystych przegród zewnętrznych. Przeprowadzone rozważania, nie mają charakteru jednoznacznych wytycznych, co do stosowania odpowiednich warstw materiałów zmiennofazowych, nie są też obliczeniami optymalizacyjnymi. Wyniki obliczeń pozwalają zasugerować pewne rozwiązania materiałowe, zarówno ze względu na ich parametry termofizyczne, jak i wymiary warstw, czy przegród.

2.3. Wyniki symulacji numerycznej

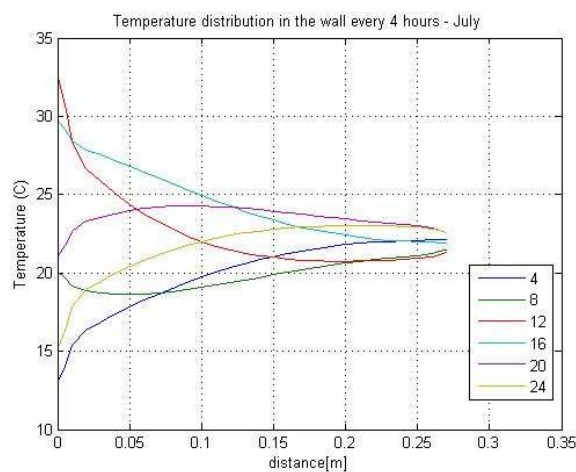
Przeprowadzono obliczenia symulacyjne dynamiki procesów zachodzących w standardowej „energooszczędnej” nieprzezroczystej przegrodzie dwuwarstwowej, która zapewnia znaczne ograniczenie przepływu ciepła między środowiskiem wewnętrznym i zewnętrznym (kierunek przepływu zależny od gradientu temperatur). Jak stwierdzono, przegroda taka powinna składać się z izolacji cieplnej (od zewnątrz) o grubości co najmniej 0,20 m i z materiału konstrukcyjnego o dużej pojemności cieplnej, np. z cegły ceramicznej, o grubości co najmniej 0,25 m, od wewnątrz. Na rysunkach 1 i 2 przedstawiono wybrane

wyniki obliczeń symulacyjnych dla dwóch przykładowych teoretycznych przegród zewnętrznych zawierających materiały PCM. Przegrodami tymi są:

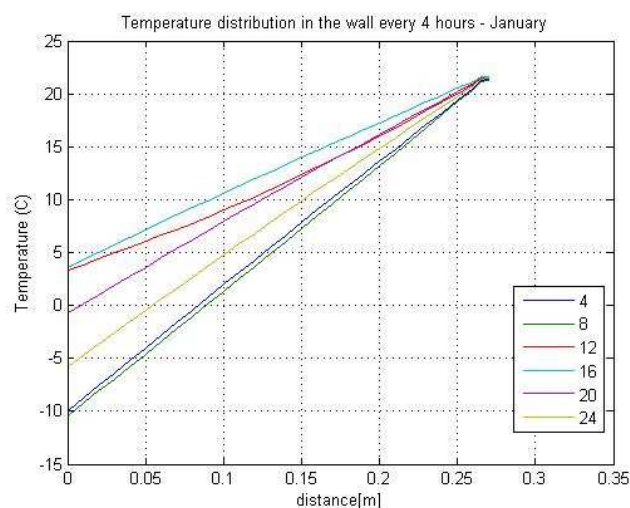
- przegroda A z cegły ceramicznej o grubości 26 cm od zewnątrz i materiałem PCM o grubości 1 cm od wewnątrz (rys. 1),
- przegroda B z izolacją o grubości 26 cm od zewnątrz i materiałem PCM o grubości 1 cm od wewnątrz (rys.2).



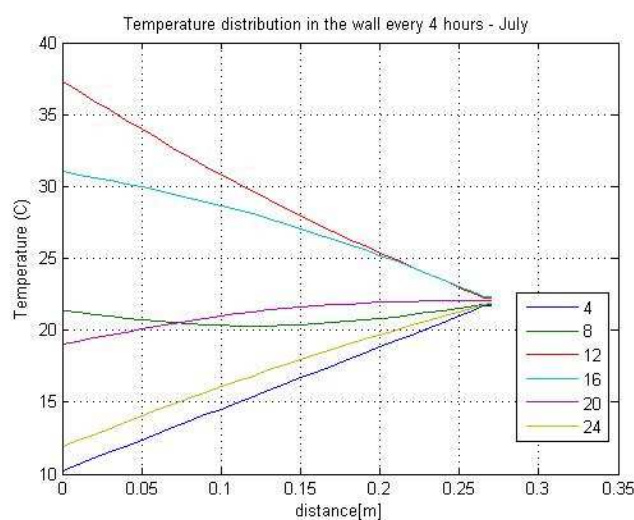
Rys.1a. Rozkład temperatur w przegrodzie budowlanej A w typowym dniu stycznia
Fig.1a. Distribution of temperature in external wall A in a typical day of January



Rys.1b. Rozkład temperatur w przegrodzie budowlanej A w typowym dniu lipca
Fig.1b. Distribution of temperature in external wall A in a typical day of July



Rys.2a. Rozkład temperatur w przegrodzie budowlanej B w typowym dniu stycznia
 Fig.2a. Distribution of temperature in external wall B in a typical day of January



Rys.2b. Rozkład temperatur w przegrodzie budowlanej B w typowym dniu lipca
 Fig.2b. Distribution of temperature in external wall B in a typical day of July

Wybrane wyniki przeprowadzonych obliczeń symulacyjnych dla dwóch rodzajów rozważanych przegród zewnętrznych A (rys. 1) i B (rys. 2) dotyczą rozkładu temperatur w tych przegrodach i na ich powierzchniach w typowym dniu stycznia i lipca. Widać wyraźnie, że w przypadku przegrody B izolowanej cieplnie oddziaływanie środowiska jest

znacznie ograniczone i możliwe jest utrzymanie wymaganego poziomu temperatury powietrza w pomieszczeniu. Temperatura powierzchni zewnętrznej przegrody zewnętrznej B ulega znacznie większym wahaniom niż przegrody A. Szczególnie charakterystyczny jest wyraźny wzrost temperatury powierzchni latem, kiedy to temperatury otoczenia zewnętrznego, a przede wszystkim natężenie promieniowania słonecznego są wysokie. Pozyskane ciepło przez powierzchnię warstwy zewnętrznej izolowanej nie może przedostać się do wnętrza, wzrasta temperatura tej powierzchni, a w konsekwencji intensyfikuje się wymiana ciepła z otoczeniem zewnętrznym przez konwekcję i promieniowanie cieplne. Natomiast w przypadku przegrody A nieizolowanej pozyskane ciepło przenika do wnętrza i warstwa z PCM „ma problemy” ze zmagazynowaniem za dużej ilości przepływającego ciepła. Stabilizująca temperaturę rola warstwy z PCM jest natomiast wyraźna w przypadku przegrody B.

Należy zaznaczyć, że symulację dynamiki cieplnej obudowy budynku przeprowadzono dla różnych teoretycznych przegród wielowarstwowych z warstwą PCM od zewnątrz, od wewnątrz i w środku, lub gdy było więcej niż jedna warstwa z PCM o różnym rozmieszczeniu w przegrodzie. Rozważano przegrody, w których mogły, ale nie musiały występować następujące warstwy: izolacyjna, konstrukcyjna – ceramiczna, z materiałem PCM. W referacie przedstawiono wyniki tylko dwóch wybranych rodzajów analizowanych przegród, przegrody A: konstrukcyjno- pojemnościowej i B: izolacyjno- pojemnościowej.

3. PODSUMOWANIE

Otrzymane wyniki zmian stanu termicznego standardowej „energooszczędnej” przegrody porównano z wynikami obliczeń symulacyjnych dla różnych konfiguracji przegród z warstwą z materiałem PCM. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń można stwierdzić, że zalecaną do stosowania przegrodą, co prawda czysto teoretyczną, jest przegroda z warstwą izolacyjną o grubości 26 cm od zewnątrz i warstwą materiału o istotnie zwiększonej pojemności cieplnej *Energain* o grubości 1 cm od wewnątrz. Przegroda ta daje wyniki komfortu cieplnego – temperaturowego zbliżone do przegrody tradycyjnej energooszczędnej, tj. przegrody z warstwą izolacyjną od zewnątrz o grubości 20 cm i warstwą materiału konstrukcyjnego o dużej pojemności cieplnej o grubości 25 cm od wewnątrz. Można więc stwierdzić, że funkcję tradycyjnego materiału o dużej pojemności cieplnej przejmuje warstwa kompozytu z materiałem zmiennofazowym (tu *Energain*) o grubości zaledwie 1 cm. Jak wspomniano, rozważana przegroda jest czysto teoretyczna. W rzeczywistości przegroda taka, aby stać się obudową budynku musiałaby zawierać również elementy konstrukcyjne. Otrzymane wyniki obliczeń sugerują jednak pewne rozwiązania konstrukcyjno- materiałowe wskazane do stosowania w naszych warunkach klimatycznych. Należy dodać, że jak wykazały obliczenia, inne z rozważanych konfiguracji warstw przegród zewnętrznych nie zapewniają utrzymania względnie stałych warunków temperaturowych w pomieszczeniach budynku. W wielu przypadkach, zwłaszcza gdy przegrody są nieizolowane, zimą temperatura w przegrodzie i na jej powierzchniach jest tak niska, że nie ma fizycznych możliwości, aby zaszła przemiana fazowa umożliwiająca magazynowanie ciepła, a materiał PCM pozostaje cały czas w fazie stałej.

Niniejszy artykuł jest wynikiem prac wykonywanych w ramach realizacji projektu badawczego Nr N N512 459936 „Badania akumulacji ciepła z wykorzystaniem materiałów ulegających przemianom fazowej w zastosowaniu do budownictwa energooszczędnego”.

4. LITERATURA

- [1] Chwieduk D., *Some aspects of modeling the energy balance of a room in regard to the impact of solar energy*. Solar Energy. International Journal Elsevier Science, 82, pp. 870 – 884, 2008.
- [2] Chwieduk D., Modelowanie i analiza pozyskiwania oraz konwersji termicznej energii promieniowania słonecznego w budynku, Prace IPPT. Warszawa. 11/2006
- [3] Chwieduk D., Energetyka słoneczna budynku. Arkady, 2011.
- [4] Jaworski M., Wnuk R., *Badania charakterystyk cieplnych elementów budowlanych akumulujących ciepło, zawierających materiały PCM (Phase Change Materials)*. Polska Energetyka Słoneczna. Polskie Towarzystwo Energetyki Słonecznej, 2-4/2010/1/2011, str.5 -11, 2011
- [5] http://energain.co.uk/Energain/en_GB/pcm_tech/

SOME ASPECTS OF APPLICATION OF THE PCM INCORPORATED INTO EXTERNAL WALLS IN POLISH CLIMATIC CONDITIONS

SUMMARY

The paper presents some consideration on application of the PCM in some elements of a building envelope, i.e. in opaque external walls. Some results of simulation studies of unsteady thermal states of external walls with PCM incorporated into their structure are described. On the base of these simulation studies some recommendation for application of such external walls in Polish climatic conditions are formulated. It can be stated, that such walls with PCM must be characterized by high quality thermal insulation, because otherwise the conditions of phase change phenomena will not be developed and the wall cannot behave like a heat storage unit.

Krystian CIEŚLAK, dr;
Sławomir GUŁKOWSKI, dr;
Jan OLCHOWIK; prof. dr hab. inż.;
Barbara KOZAK*;
Mateusz WIŚNIEWSKI *

Politechnika Lubelska
ul. Nadbystrzycka 40B, 20-618 Lublin
e-mail: k.cieslak@pollub.pl

*Studenckie Koło Naukowe „Grupa Ogniwo”

DETEKCJA KANAŁÓW BOCZNIKUJĄCYCH W CIENKOWARSTWOWYCH OGNIWACH FOTOWOLTAICZNYCH Z WYKORZYSTANIEM BADAŃ TERMOWIZYJNYCH

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono analizę badań termowizyjnych do detekcji kanałów boczniujących w cienkowarstwowych ogniwach fotowoltaicznych. Analizowane ogniwa słoneczne zostały wytworzone na bazie cienkich, monokrystalicznych warstw krzemowych. Warstwa krzemu została nanoszona na podłoże przy zastosowaniu metody epitaksji z fazy ciekłej (Liquid Phase Epitaxy – LPE) [1] i stanowiła warstwę aktywną ze złączem p-n w ogniwie słonecznym. Ze względu na specyfikę wzrostu, na brzegach warstw mogą pojawiać się kanały boczniujące, co powoduje spadek wydajności fotoogniwa. Żeby zlokalizować i wyeliminować niekorzystne obszary fotoogniwa, w badaniach zastosowano analizę termowizyjną powierzchni fotoogniwa i ablację laserową [2].

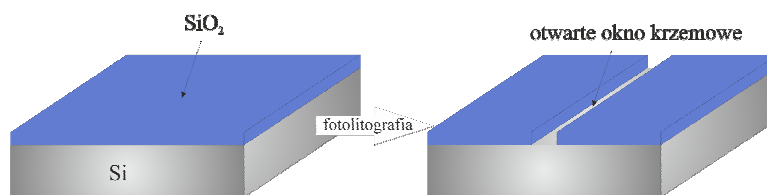
1. WPROWADZENIE

Ze względu na ekonomiczny aspekt, cienkowarstwowe ogniwa słoneczne zysują coraz bardziej liczyć na światowym rynku fotowoltaicznym. Ich wydajność oraz trwałość nie odbiega w znaczący sposób od monokrystalicznych ogniw objętościowych, a oszczędność materiału wykorzystanego do produkcji jest nie do przecenienia. Istnieje wiele metod nanoszenia cienkich warstw półprzewodnikowych do zastosowań fotowoltaicznych. Jedną z nich jest epitaksja z fazy ciekłej - LPE. Używając LPE, i stosując odpó-

wiednio zmodyfikowane podłoża wzrostowe można uzyskać monokrystaliczny krzem cienkowarstwowy o wysokich parametrach krystalograficznych. Specyfika wzrostu warstw za pomocą epitaksji z fazy ciekłej na podłożach krzemowych sprawia, że na brzegach mogą pojawiać się nieregularności w rosnącej warstwie, co jest niekorzystne z punktu widzenia efektywności konwersji fotowoltaicznej. Żeby uniknąć spadku wydajności fotoogniw, do zlokalizowania tych miejsc zostało wykorzystane badanie termowizyjne. Następnie, z wykorzystaniem impulsowego lasera UV, miejsca te zostały poddane ablacji.

2. EKSPERYMENT

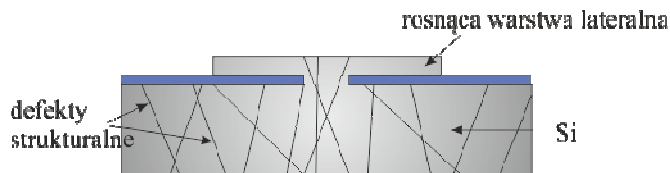
Warstwy aktywne fotoogniw zostały wytworzone za pomocą epitaksji z fazy ciekłej. Jako podłoże wzrostowe został użyty krzem o orientacji krystalograficznej powierzchni (111). Wybrana orientacja podłoża umożliwia otrzymanie cienkiej, monokrystalicznej, lustrzanej warstwy [3]. W niniejszych badaniach została wprowadzona pewna modyfikacja klasycznego wzrostu z epitaksji z fazy ciekłej. Krzemowe podłoża wzrostowe były wstępnie maskowane ditlenkiem krzemu (SiO_2), a następnie za pomocą fotolitografii, w warstwie SiO_2 zostały wytrawione krzemowe okna wzrostowe (Rys. 1).



Rys. 1. Schematycznie przedstawiony proces fotolitografii.

Fig.1. Schematically show photolithography process.

Taka procedura pozwala wykorzystywać do wzrostu epitaksjalnego podłoża o niskich parametrach jakościowych (a więc niedrogie). W takich warunkach wzrost epitaksjalny zależy od orientacji krystalograficznej podłoża, dlatego w niniejszych badaniach okna wzrostowe zostały usytuowane wzdłuż wzajemnie prostopadłych kierunków na powierzchni kryształu, tzn.: $\langle 110 \rangle$ i $\langle 112 \rangle$. Wzrost epitaksjalny zaczyna się od krawędzi okien krzemowych i propaguje równolegle i prostopadle do powierzchni podłoża – jest to tzw. wzrost lateralny (Epitaxial Lateral Overgrowth - ELO). Takie podejście umożliwia otrzymanie cienkiej warstwy krzemowej o mniejszej gęstości defektów krystalograficznych niż podłoże wzrostowe [4]. Jest to spowodowane obecnością ditlenku krzemu na powierzchni płytki krzemowej, co powoduje, że defekty obecne w podłożu wzrostowym, podczas wzrostu, propagują do rosnącej warstwy jedynie przez otwarte okna [5] (Rys. 2). Poza tym, ditlenek krzemu, który po wzroście epitaksjalnym zostaje zamknięty w strukturze ogniwa słonecznego stanowi wewnętrzne lustro dla niezaabsorbowanych promieni słonecznych. Zwiększa to prawdopodobieństwo absorpcji, podnosząc tym samym sprawność baterii słonecznych.



Rys. 2. Przekrój poprzeczny przez podłoże wzrostowe i rosnącą warstwę.

Fig. 2. Cross section through a growing layer and a growing substrate.

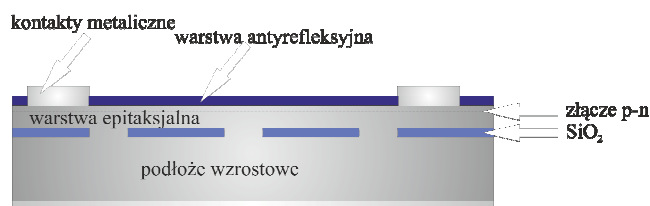
W celu otrzymania cienkiej warstwy krzemowej do zastosowań fotowoltaicznych został przeprowadzony wzrost za pomocą epitaksji z fazy ciekłej z roztworu cyny. Parametry procesu były następujące:

- temperatura początkowa 1207 K – dużo mniejsza niż temperatura topnienia krzemu powoduje, że istnieje mniejsze prawdopodobieństwo zanieczyszczenia warstwy podczas wzrostu;
- różnica temperatur: 60 K – taka wartość umożliwia pełną koalescencję rosnącej warstwy i uzyskanie ciągłej, lustrzanej powierzchni;
- stopień przechłodzenia 0,5 K/min – odpowiada za prędkość wzrostu, został tak dobrany, żeby krystalizacja następowała na przygotowanym podłożu, a nie w całej objętości roztworu;
- roztwór metaliczny – cyna (Sn) z dodatkiem aluminium (Al) - aluminium w roztworze zmienia napięcie powierzchniowe roztworu, co ułatwia zainicjowanie wzrostu, ale również wchodząc do struktury krystalograficznej rosnącej warstwy staje się akceptorem, zmieniając tym samym typ przewodności na p.

Tak otrzymane warstwy stanowiły bazę do produkcji ogniw fotowoltaicznych. Do wytworzenia struktury fotoogniwa zastosowano standardową procedurę, polegającą na:

- dyfuzji fosforu do aktywnej warstwy bazy p -typu, w celu stworzenia złącza p-n;
- naniesieniu warstwy pasywacyjnej oraz antyrefleksyjnej;
- naniesieniu przednich i tylnych kontaktów metalicznych;

Przekrój poprzeczny ogniwa opartego na lateralnych warstwach epitaksjalnych został przedstawiony na Rys. 3.

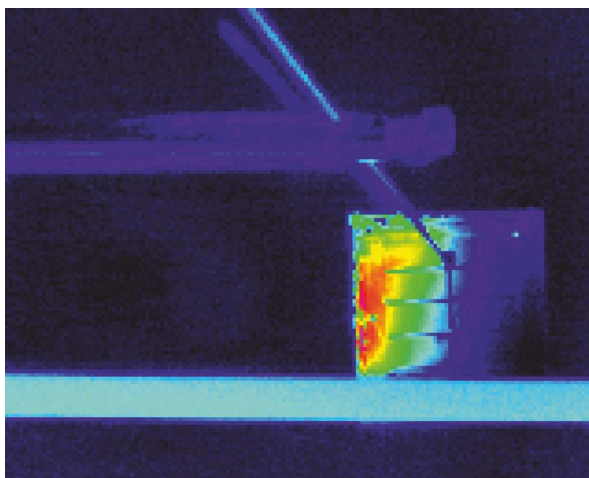


Rys. 3. Przekrój poprzeczny ogniwa słonecznego opartego o epitaksjalne warstwy lateralne.

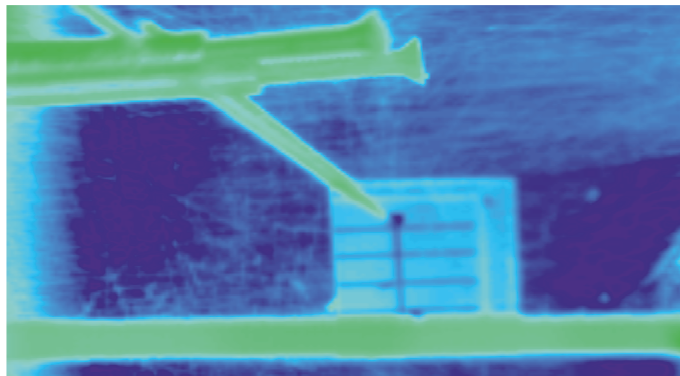
Fig. 3. Cross section of solar cell based on Epitaxial Lateral Overgrowth layers.

3. WYNIKI

Specyfika wzrostu w metodzie epitaksji z fazy ciekłej na podłożach maskowanych (ELO) sprawia, że na brzegach próbki powstają nieregularności, stwarzając tym samym centra rekombinacyjne dla nośników mniejszościowych wygenerowanych przez fotony. Podłoża używane w naszym eksperymencie miały powierzchnię około 1 cm^2 , co sprawiało, że negatywne efekty na brzegach były stosunkowo duże. Aby zminimalizować negatywny wpływ potencjalnych kanałów bocznikujących na wydajność kwantową fotoogniw, zostało zastosowane badanie za pomocą kamery termowizyjnej z detektorem półprzewodnikowym na bazie InSb, wrażliwym na fale elektromagnetyczne o długości z zakresu od 3 do $5\text{ }\mu\text{m}$. Do próbki zostało przyłożone napięcie zewnętrzne, co pozwoliło na zlokalizowanie kanałów „zwarciovych” w warstwie - tzw. „*hot spots*”. Miejsca te charakteryzują się podwyższoną temperaturą w stosunku do całej powierzchni, dlatego na zdjęciach wykonanych kamerą termowizyjną można je łatwo zlokalizować. Aby pozbyć się miejsc niekorzystnych z punktu widzenia konwersji fotowoltaicznej, zostały one poddane ablacji laserowej za pomocą lasera UV o długości fali $\lambda=355\text{ nm}$ i czasie impulsu 10 ns. Współczynnik absorpcji dla tej długości fali elektromagnetycznej dla krzemu jest bardzo wysoki [6], dlatego laser tego typu umożliwia efektywne odparowanie materiału. Przykładowe zdjęcia z kamery termowizyjnej przed ablacją i po ablacji laserowej zostały przedstawiona na Rys. 4.



a)



b)

Rys. 4. Zdjęcia fotoogniwa zrobione kamerą termowizyjną. a) Ogniwo z wyraźnym obszarem o podwyższonej temperaturze, b) Ogniwo po usunięciu „hot spots”.

Fig. 4. Infrared thermography pictures a) before laser cutting with an area of high temperature, b) after laser ablation.

4. PODSUMOWANIE

Do produkcji cienkich warstw krzemowych do zastosowań fotowoltaicznych została użyta metoda epitaksji z fazy ciekłej. Lateralny wzrost epitaksjalny umożliwił otrzymanie monokrystalicznych warstw o dobrych parametrach krystalograficznych, jednak efekty zrastania się rosnących skrzydeł krzemowych często powodują, że na brzegach próbki powstają nieregularności, tworzące kanały bocznikujące i tzw. *hot spots*. W celu pozbycia się obszarów negatywnie wpływających na działanie fotoogniwa, zostały przeprowadzone badania termowizyjne. Pozwoliło to na zlokalizowanie tych miejsc i ich eliminację za pomocą lasera UV.

Badania termowizyjne są stosowane w przemyśle fotowoltaicznym między innymi do lokalizowania uszkodzeń w modułach słonecznych. W naszych badaniach technika ta została z powodzeniem wykorzystana do ulepszenia sprawności cienkowarstwowych ogniw słonecznych, opartych na lateralnych warstwach epitaksjalnych, uzyskiwanych z fazy ciekłej.

5. LITERATURA

- [1] Capper P., Irvine S., Joyce T., Epitaxial Crystal Growth: Methods and Materials In Springer Handbook of Electronics and Photonic Materials, Springer, 2006,
- [2] Simon M., Meyer E. L., detection and analysis of hot-spot formations in solar cells, Solar Energy Materials and Solar Cells, 94:106 – 113, 2010,
- [3] Suzuki Y., Nishinaga T., Epitaxial lateral overgrowth of Si by LPE with Sn solution and its orientation dependence, Japanese Journal of Applied Physics, 28:440-445, 1989,
- [4] Kraiem J., Fave A., Kaminski A., Lemiti M., Jóźwik I., Olchowik J. M., 18th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 1158-1161, 2004,
- [5] Nishinaga T., Microchannel epitaxy: an overview, journal of Crystal Growth, 237-239:1410-1417, 2002,

- [6] Green M. A., Keevers M. J., Optical properties of intrinsic silicon at 300K, *Progres in Photovoltaics: Research and applications*, 3:189-192, 1995,

HOT SPOTS DETECTION IN THIN LAYER SOLAR CELLS BY INFRARED THERMOGRAPHY

SUMMARY

Solar cells were fabricated on the base of thin silicon monocrystalline layers obtained in liquid phase epitaxy process (LPE). Modification of LPE was introduced – growing substrate was covered with SiO₂ and growing windows were opened in dielectric cover. Specificity of growth on that kind of substrate introduces some crystallographic defects on the edge of the sample. After solar cells fabrication these deformations can make “hot spots” which decrease solar cell performance. In order to localize these areas infrared thermography examination was introduced and UV laser was used to eliminate it from a solar cell.

Dariusz CZEKAŁSKI, dr inż.

Paweł OBSTAWSKI, dr inż.

SGGW w Warszawie

Katedra Podstaw Inżynierii

ul. Nowoursynowska 164, 02-787 Warszawa

e-mail: dariusz_czekalski@sggw.pl

PROBLEMY TERMICZNEJ JAKOŚCI WODY DOSTARCZANEJ PRZEZ SYSTEM ODNAWIALNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII

STRESZCZENIE

W referacie w oparciu o dane pomiarowe analizowano jakość termiczną ciepłej wody podgrzewanej przez autonomiczny system odnawialnych źródeł energii. Kryterium oceny była zdolność do uzyskiwania temperatur pozwalających zapewnić komfort i bezpieczeństwo użytkowania.

1. JAKOŚĆ ENERGII

Jakość w przypadku paliw i mediów energetycznych to pojęcie wieloznaczne. Przykładowo główne cechy jakościowe węgla kamiennego to wartość opałowa oraz zawartość składników popielnych i siarki. Przez jakość gazu ziemnego sieciowego rozumie się ciepło spalania i ciśnienie w sieci dystrybucyjnej. Z kolei jakość energii elektrycznej jest pojęciem specyficznym i ma szczególne znaczenie. Od tego medium wymaga się: stabilnego napięcia na nominalnym poziomie, stałej częstotliwości z wahaniami w bardzo wąskim zakresie, ograniczonego udziału wyższych składowych harmonicznych itd.

Jakość energetyczna ciepłej wody użytkowej (cwu) sprowadza się po prostu do zdolności do zaopatrzenia instalacji w wodę o temperaturze umożliwiającej uzyskanie w punktach czerpalnych temperatury $55^{\circ}\text{C} \div 60^{\circ}\text{C}$ [1]. Osobnym wymaganiem, które pojawiło się formalnie w ostatnich latach jest konieczność przeprowadzenia okresowej dezynfekcji cieplnej instalacji wodociągowej ciepłej wody poprzez uzyskanie w punktach czerpalnych temperatury wody nie niższej niż 70°C i nie wyższej niż 80°C . Wymagany czas trwania termicznej dezynfekcji instalacji ciepłej wody zależy od zastosowanej temperatury. Przegrzew do 60°C powinien być dłuższy od 30 minut, a do 70°C już tylko 5 minut [2]. Powyższy zabieg ma na celu ograniczenie zagrożenia zakażenia bakterią *Legionella*. Bakterie z rodzaju *Le-*

gionella odkryto w 1976 roku. Wtedy to, na zjeździe amerykańskiej organizacji kombatanckiej "American Legion" w hotelu w Filadelfii, na ciężkie zapalenie płuc zachorowało ponad 200 byłych legionistów i obsługa. Skutkiem choroby była śmierć trzydziestu czterech osób. Na ich cześć bakterię nazwano *Legionella pneumophila*, samą chorobę *chorobą legionistów*. Wzrostowi bakterii trwającemu od 2 do 6 dni, sprzyjają wysoka wilgotność, duże stężenie dwutlenku węgla oraz temperatury z zakresu $37\div 43^{\circ}\text{C}$. Takie warunki panują na przykład w instalacjach klimatyzacyjnych i wentylacyjnych oraz systemach ciepłej wody (głównie w zbiornikach, głowicach natryskowych pokrytych osadem wapiennym, zaworach czerpalnych). Na szczególne niebezpieczeństwo narażeni są pacjenci szpitali, których obniżona odporność powoduje, że po zakażeniu śmiertelność rośnie do $30\div 50\%$ podczas gdy poza szpitalem to $13\div 20\%$ [3].

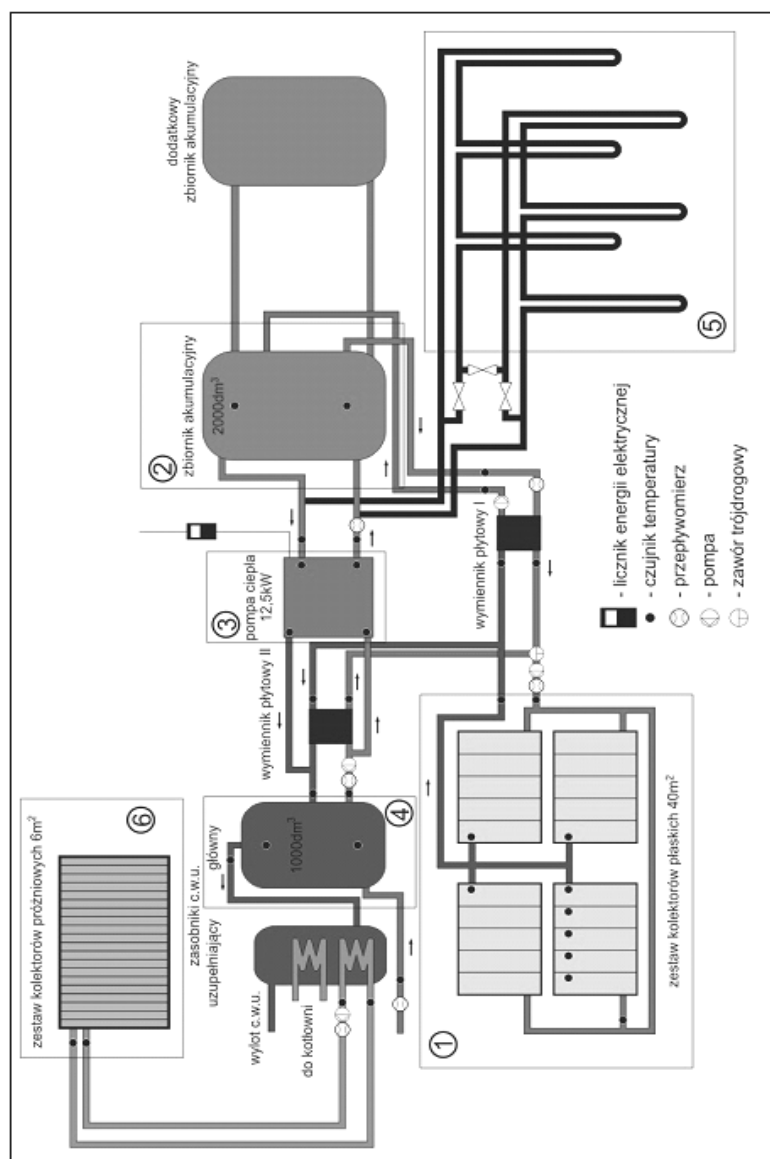
W systemach grzewczych opartych autonomicznie na odnawialnych źródłach energii, w tym na energii promieniowania słonecznego, pojawia się problem zmienności temperatury cwu gromadzonej w zbiornikach i tym samym jakości zasilania punktów czerpalnych.

2. CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU BADAŃ

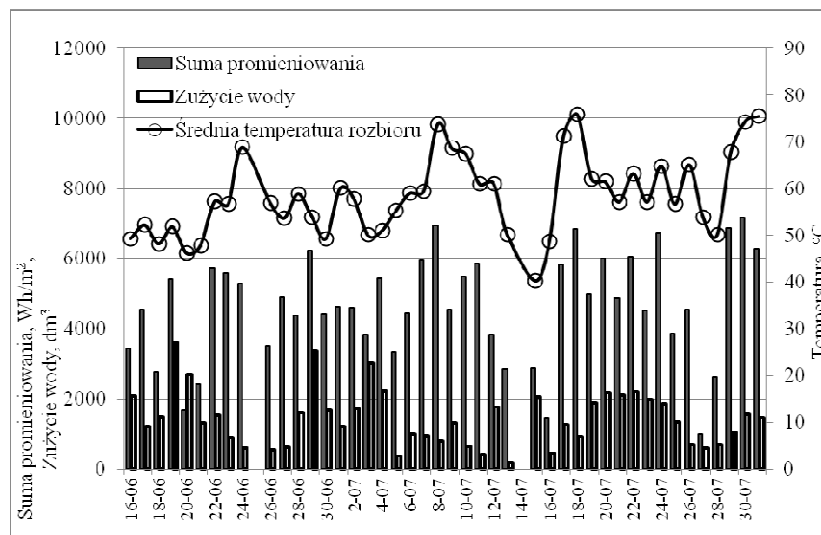
Rozpatrywany system odnawialnych źródeł energii przygotowujący w sezonie ciepłym autonomicznie ciepłą wodę dla budynku hotelowego znajduje się w Ośrodku Edukacji Ekologicznej i Wypoczynku w Budach Grabskich. Instalacja (rys. 1) składa się z dwudziestu jednostek kolektorów słonecznych płaskich o łącznej powierzchni 40 m^2 (1), sekcji kolektorów próżniowych o łącznej powierzchni 6 m^2 (2), sprężarkowej pompy ciepła o nominalnej mocy $12,5\text{ kW}$ (3), wymiennika gruntowego pionowego umieszczonego w 6 odwiertach o głębokości 30 m każdy (5) oraz zbiorników akumulacyjnych o objętości 1000 dm^3 (4) oraz 300 dm^3 . System dostarcza ciepłą wodę do obiektu z temperaturą gwarantowaną przez pompę ciepła minimum $47,5^{\circ}\text{C}$ w ilości do 3000 dm^3 na dobę. Sekcje kolektorów słonecznych, współpracując z pompą ciepła równolegle, podwyższają temperaturę w zbiornikach do temperatur zależnych od kombinacji poziomu napromieniowania słonecznego i wielkości oraz harmonogramu rozbioru (rys. 2). W systemie stosowana jest cyrkulacja wewnętrzna, a tym samym temperatura ciepłej wody w punktach czerpalnych niewiele odbiega od temperatury poboru ze zbiornika.

3. METODYKA BADAŃ

Temperatura ciepłej wody ma zapewnić komfort i bezpieczeństwo użytkowania instalacji. Oczekiwana jest wartość pomiędzy 55°C a 60°C i takie poziomy graniczne są podstawowym kryterium kwalifikacji jakościowej okresów pracy instalacji ciepłej wody. Oprócz ustalenia czasów trwania poszczególnych okresów obliczano ilość ciepła nadmiarowego i brakującego. Za ciepło nadmiarowe uznano dostarczane ponad wymaganą temperaturą 60°C , natomiast za brakujące niedobór uniemożliwiający uzyskanie 55°C [4]. Analizowano w szczególności w których godzinach pojawiają się niedobory, a w których nadwyżki. Dodatkowym kryterium oceny jakościowej jest możliwość rozgrzania instalacji do temperatury pomiędzy 70°C a 80°C . Sprawdzano, czy było to możliwe przynajmniej raz



Rys. 1. Schemat hybrydowego systemu przygotowania ciepłej wody
 Fig. 1. Functional diagram of hybrid system for hot water



Rys. 2. Temperatura rozbioru ciepłej wody na tle warunków pracy systemu
Fig. 2. Hot water temperature on the background of operation conditions

na każde 7 dni. Z racji zmienności warunków pogodowych i nierównomierność rozbiorów nie sposób przewidzieć kiedy warunek termicznej dezynfekcji będzie spełniony.

Dane służące do analizy i poddane ocenie obejmowały okresy o największym w ciągu roku napromieniowaniu, czyli pochodzące z maja, czerwca, lipca i sierpnia z lat 2002 ÷ 2004; razem 230 dni.

4. WYNIKI BADAŃ

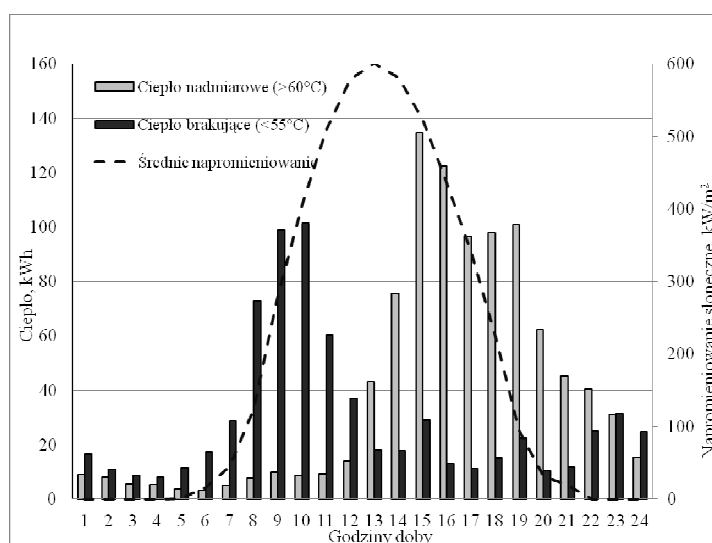
W tabeli 1 zestawiono liczbę dni w poszczególnych latach, gdy temperatury poboru ciepłej wody mieściły się w wyznaczonych zakresach. W całym badanym okresie zanotowano zaledwie jeden dzień z temperaturą poboru poniżej 45°C. Dni z temperaturami z zakresu 45°C ÷ 55°C stanowiły 33,5%, a z zakresu 55°C ÷ 60°C (normatywnego) 19,6% badanej populacji. Minimalną wymaganą temperaturę wynoszącą 55°C uzyskiwano w 66,1%-ach poddanych analizie dni.

Tab. 1. Liczba dni z temperaturą ciepłej wody w badanych przedziałach

Tab. 1. Number of days with temperature of hot water in the investigated ranges

Okres	Dni z temperaturami			
	poniżej 45°C	45°C ÷ 55°C	55°C ÷ 60°C	powyżej 55°C
2002 rok (73 dni)	0	26 (~36%)	13 (~18%)	47 (~64%)
2003 rok (87 dni)	0	29 (~33%)	15 (~17%)	58 (~67%)
2004 rok (70 dni)	1 (~1,4%)	22 (~32%)	17 (~25%)	47 (~68%)
2002÷2004	0,4%	33,5%	19,6%	66,1%

Niedobory energii potrzebnej do uzyskania temperatury 55°C notowano najczęściej w godzinach porannych – od 7 do 11 (rys. 3). Stanowiły one za cały okres 230 dni łącznie ok. 700 kWh, co jednak stanowiło zaledwie 8% produkowanego przez system ciepła. Z kolei nadmiary energii, tj. ponad progiem 60°C , występowały w największym stopniu od godziny 14 do 20. Suma energii nadmiarowej wynosząca 955 kWh przekraczała w bilansie poziom niedoborów i stanowiła 11% całkowitej produkcji ciepła przez system. Założony warunek termicznej dezynfekcji systemu praktycznie został spełniony w badanym okresie. Tylko 2-krotnie wystąpiły siedmiodniowe ciągi gdy temperatura w systemie nie przekroczyła 70°C , ale nawet wówczas notowano szczytowo ponad 65°C .



Rys. 3. Rozkład dobowy niedoborów i nadwyżek energii

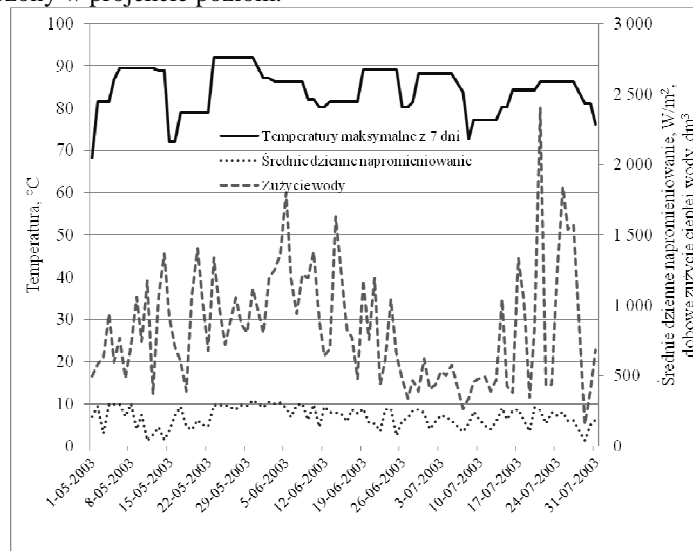
Fig. 3. The distribution of daily energy deficiencies and surpluses

Na rysunku 4 przedstawiono maksymalne temperatury w zbiornikach w 7. dniowych krocących okresach od 1 maja do 31 lipca 2003 roku. Tłem są dobowe zużycia ciepłej wody i przeciętne jednostkowe natężenie promieniowania słonecznego płaszczyzny kolektorów płaskich. Zapotrzebowanie na ciepłą wodę wahało się w tym czasie od 130 dm^3 do ponad 2000 dm^3 na dobę, średnio wynosząc 630 dm^3 , a więc znacznie poniżej założeń projektowych systemu. W kombinacji z warunkami natężenia promieniowania w miesiącach letnich skutkowało to wysokimi temperaturami szczytowymi, często dochodzącymi do 90°C . Tylko z punktu widzenia dezynfekcji termicznej można uznać to zjawiska za korzystne.

5. PODSUMOWANIE

Autonomiczny system przygotowania ciepłej wody złożony z pompy ciepła i instalacji słonecznej charakteryzuje się dużą zmiennością temperatury w zasobnikach co jest problemem z kategorii termicznej jakości zasilania. W badanym systemie w 2/3 dni z sezonu ciepłego rozbiór wody odbywa się z temperaturą normatywną - ponad 55°C . Jed-

nocześnie w całym badanym okresie możliwa była wymagana dezynfekcja termiczna instalacji odbiorczej. Trzeba jednak przyznać, że obciążenie systemu tylko sporadycznie osiągało założony w projekcie poziom.



Rys. 4. Maksymalne temperatury ciepłej wody na tle warunków pracy systemu
Fig. 4. Maximum hot water temperature on the background of operation conditions

6. LITERATURA

- [1] Rozporządzenie min. infrastruktury z 12.03.2009: „w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie”. Dz. U. 56/2009, poz. 461.
- [2] Szaflik W. : Możliwości ograniczenia rozwoju bakterii Legionella w instalacji ciepłej wody użytkowej. Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja, nr 9, 2006.
- [3] Matuszewska R.: Bakterie z rodzaju Legionella – występowanie i zagrożenie zdrowotne. Instal, nr 12, 2002.
- [4] Janus M.: Ocena jakości energii produkowanej przez system odnawialnych źródeł energii w Budach Grabskich. Praca magisterska, SGGW, 2012.

HOT WATER QUALITY PROBLEMS IN SYSTEM OF RENEWABLE ENERGY SOURCES

SUMMARY

The paper presents thermal quality analysis of hot water that is produced by autonomous system of renewable energy sources. The main criteria for the analysis were abilities to obtain required temperatures, suitable for ensure users' comfort and safety.

Dariusz CZEKAŁSKI, dr inż.,
Paweł OBSTAWSKI, dr inż.,

SGGW w Warszawie, Katedra Podstaw Inżynierii
ul. Nowoursynowska 164, 02-787 Warszawa
e-mail: dariusz_czekalski@sggw.pl

OCENA WYDAJNOŚCI WIELKOPOWIERZCHNIOWEJ SŁONECZNEJ INSTALACJI GRZEWczej W DPS W MIENI

STRESZCZENIE

W referacie zaprezentowano przykład wielkopowierzchniowej słonecznej systemu grzewczego wdrożonego w obiekcie użyteczności publicznej. Scharakteryzowano wydajność cieplną instalacji w poszczególnych miesiącach wybranego roku pracy. Określono sprawność konwersji energii promieniowania słonecznego i oszacowano udział energii słonecznej w procesie przygotowania ciepłej wody. Oceniono także efekty ekonomiczne analizowanego wdrożenia.

1. WIELKOPOWIERZCHNIOWE SŁONECZNE SYSTEMY GRZEW- CZE

Sukces we wdrażaniu w Polsce słonecznych systemów grzewczych w znacznej mierze wynika z programów sprowadzających się, w mniejszym czy większym stopniu, do udzielania dotacji. W efekcie opłacalność dla inwestora jest bezsporna. Nie zwalnia to jednak z potrzeby oceny wydajności energetycznej tych rozwiązań. Więcej, zaangażowanie publicznych środków zobowiązuje do kontrolowania rzeczywiście osiągniętych efektów energetycznych, a co za tym idzie także ekologicznych.

Samo pojęcie wydajności instalacji słonecznej nie jest jednoznaczne. Najprościej wydajność ustalić na podstawie ilości ciepła odbieranego z pola kolektorów w badanym okresie. Monitoruje się temperatury czynnika przed i za kolektorami lub, co bardziej miarodajne, na wymienniku ciepła, a ponadto natężenie przepływu. Wynik oceny zależy jeszcze od metody kwalifikacji pozyskanej energii słonecznej – przykładowo według klasycznej koncepcji nie jest wliczana do bilansu energia dostarczana do zbiornika przy temperaturach przekraczających poziom nominalny [1]. W metodyce oceny efektów eksploatacji instalacji słonecznej zwykle uznaje się, że zbilansowana energia dostarczona przez kolektory do zbiornika jest w pełni energią użyteczną, to znaczy jest ekwiwalentem energii kon-

wencjonalnej używanej w systemie. W rzeczywistości energii wyprodukowanej przez kolektory słoneczne nie można automatycznie utożsamiać z oszczędnościami paliw stosowanych w systemie. Wynika to z faktu, że dostarczanie energii z segmentu słonecznego odbywa się bez związku z bieżącym zapotrzebowaniem na ciepłą wodę, natomiast dogrzew konwencjonalny dostosowany jest do aktualnego zapotrzebowania. Segment słoneczny może zatem produkować okresowo energię w nadmiarze co prowadzi do przegrzewów i wzmożonych strat, zwłaszcza gdy systemie ciepłej wody stosowana jest cyrkulacja wewnętrzna.

Opisane wyżej dylematy metodyczne w mniejszym stopniu dotyczą instalacji wielkopowierzchniowych. W Polsce za takie uchodzą umownie systemy o powierzchni kolektorów przekraczającej 100 m². Zwykle projektowane są z priorytetem osiągania wysokiej wydajności jednostkowej kolektorów (np. w kWh/m²), a na drugim planie jest procentowy udział energii słonecznej w pokryciu łącznego zapotrzebowania. Jednocześnie wielkość instalacji w odniesieniu do dobowego zużycia ciepłej wody w obiekcie jest tak dobierana aby unikać przegrzewów prowadzących do tak uciążliwych w eksploatacji zapowietrzeń. Często też powierzchnia pól kolektorów limitowana jest rozmiarami i układem dachu, czy też dostępem do niezacienianego terenu pod konstrukcje wolnostojącą. W efekcie w wielkopowierzchniowych słonecznych systemach grzewczych rzadko energia z kolektorów dostarczana jest przy temperaturach w zbiornikach przekraczających wartość nominalną. Można wówczas z dużym prawdopodobieństwem zakładać, że energia dostarczona przez kolektory jest w pełni energią użyteczną, to znaczy jest ekwiwalentem energii konwencjonalnej używanej w systemie.

2. CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU BADAŃ

Badany system grzewczy [2] wspomagany instalacją słoneczną znajduje się w Domu Pomocy Społecznej w Mieni (rys. 1) położonej ok. 8 km od Mińska Mazowieckiego. Dom Pomocy przeznaczony jest dla osób wymagających całodobowej opieki. Ośrodek dysponuje 180 miejscami w kompleksie 4 wolnostojących budynków. W obsłudze zatrudnionych jest ok. 130 osób (w 3 zmianach). Podstawowym źródłem ciepła są dwa kotły olejowe o mocy 405 kW każdy. W roku 2006 w instalację ciepłej wody użytkowej wbudowano instalację słoneczną złożoną z 96 kolektorów płaskich cieczowych typu 2000 S/P z absorberem o powierzchni 1,8 m² (łączna powierzchnia grzewcza kolektorów to 172,8 m²). Zainstalowane zostały na płaskim dachu jednego z pawilonów pod kątem 45° względem płaszczyzny horyzontalnej w kierunku południowym (rys. 2). W założeniach projektowych średnie miesięczne zużycie wody o temperaturze nominalnej 55°C przyjęto na poziomie 500 m³. Instalacja kolektorów łączy się z instalacją w kotłowni preizolowanymi rurami miedzianymi. W pomieszczeniu kotłowni znajdują się połączone szeregowo 4 zasobniki akumulacyjne o objętości 2000 dm³ każdy. Obieg kolektorowy oddzielono od obiegu wody użytkowej płytowym wymiennikiem ciepła (rys. 3). Do oceny wydajności segmentu słonecznego służą czujniki temperatur oraz ultradźwiękowy przetwornik przepływu SONO 2500 CT połączone z przelicznikiem ciepła INFOCAL 5 posiadającym 24 miesięczną pamięć rejestracji.



Rys. 1. Budynek główny DPS w Mieni
Fig. 1. The main building in Mienia DPS



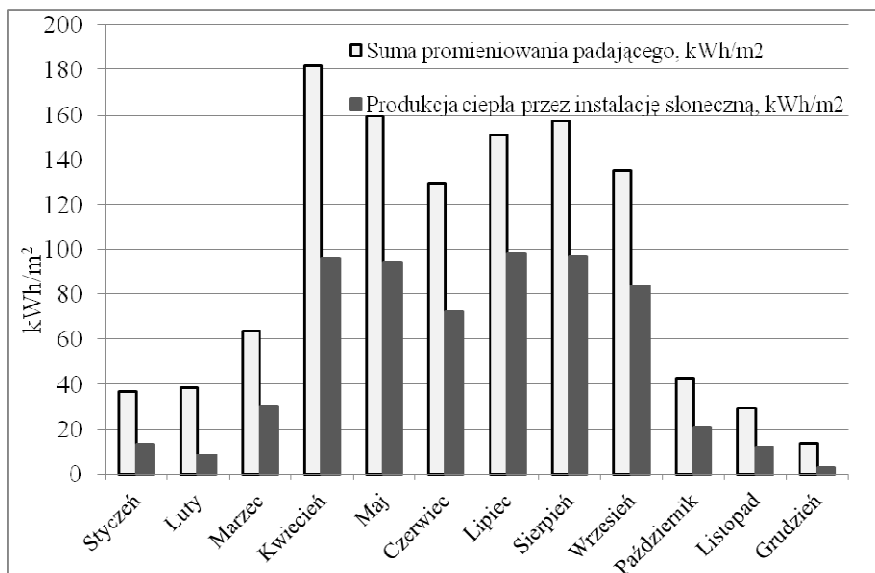
Rys. 2. Sekcja płaskich kolektorów słonecznych na dachu budynku B
Fig. 2. Flat plate solar collectors on the roof



Rys. 3. Węzeł cieplny systemu przygotowania ciepłej wody
Fig. 3. Hot water distribution centre

3. WYDAJNOŚĆ INSTALACJI SŁONECZNEJ

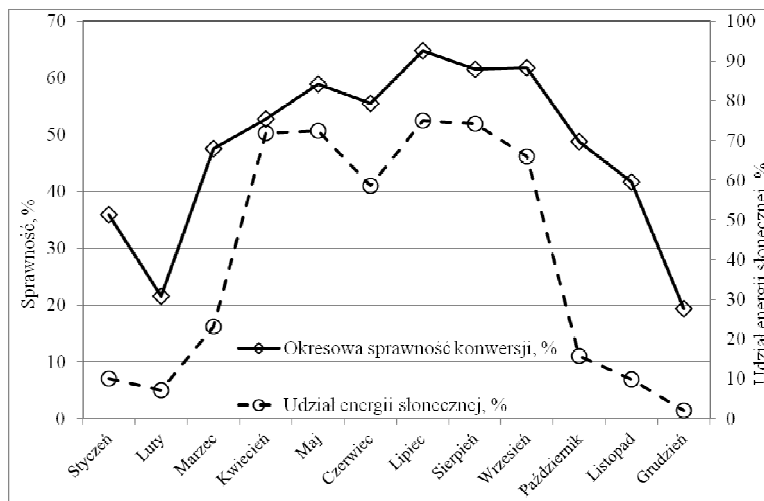
Badania wydajności instalacji słonecznej w DPS w Mieni objęły jeden pełny rok 2009 [2]. W obiekcie tym zużycie ciepłej wody jest bardzo stabilne i wynosi $13 \div 15 \text{ m}^3$ na dobę, rzadko nie mieszcząc się w tych granicach. W przebiegu warunków słonecznych w 2009 roku wystąpiły dwa nietypowe zjawiska (rys. 4). W kwietniu zanotowano rekordowo wysoką sumę promieniowania i w konsekwencji był to miesiąc o najlepszych warunkach słonecznych w tym roku. Natomiast w czerwcu warunki słoneczne zdecydowanie odbiegały na minus od przeciętnie spotykanych w tym miesiącu. Suma roczna promieniowania ostatecznie była zbliżona do średniej wieloletniej. Produkcja ciepła przez segment słoneczny ujęta w przedziałach miesięcznych ma bezpośredni związek z napromienianiem słonecznym kolektorów. Najwyższą, niemal identyczną, wydajność uzyskano w kwietniu, maju, lipcu i sierpniu - jednostkowo w granicach $94 \div 98 \text{ kWh/m}^2$. Zgodnie z charakterem polskiego klimatu efekty pozyskiwania energii słonecznej w listopadzie, grudniu, styczniu oraz lutym były znikome (rys. 4).



Rys. 4. Ciepłota wydajność jednostkowa segmentu słonecznego
Fig. 4. Thermal output per solar collectors unit area

Sprawność konwersji energii promieniowania słonecznego w badanym systemie osiąga wysoki poziom (rys. 5), przekraczający w miesiącach letnich 60%. W skali całego roku 2009 sprawność wyniosła 55%. Jednocześnie wyliczono, że udział energii słonecznej w procesie przygotowania ciepłej wody dochodził do 75 % w lipcu i sierpniu, a w skali roku wyniósł ok. 40%. Ponieważ nie wyposażono systemu w oddzielny układ do pomiaru produkcji energii przez kotły olejowe na potrzeby ciepłej wody, to określenie udziału energii słonecznej jest hipotetyczne i opiera się na pewnych założeniach co do jednostkowej energochłonności brutto podgrzewania wody. Tym bardziej trudno ocenić w jakim stopniu

pozyskiwanie energii słonecznej zmniejsza zużycie oleju opałowego jako paliwa podstawowego.



Rys. 5. Sprawność konwersji energii promieniowania słonecznego

Fig 5. Solar energy conversion efficiency

4. ZAGADNIENIA EKONOMICZNE

Słoneczna instalacja grzewcza w DPS w Mieni kosztowała ok. 290 000 PLN, z tym, że wkład własny zarządu placówki stanowił 10% inwestycji. Spłatę kredytu w 50% dotował Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Warszawie, a w 40% Fundacja EkoFundusz. Oszczędność oleju opałowego w wyniku funkcjonowania instalacji słonecznej może wynosić ok. 10 ton rocznie, pod warunkiem precyzyjnego sterowania całym systemem. Ceny oleju opałowego ulegają silnym wahaniom, a praktycznie mają trend wzrostowy od 15 lat. W momencie budowy instalacji słonecznej za tonę oleju płacono ok. 2200 PLN, a w roku 2012 cena detaliczna przekroczyła 4000 PLN. Zwrot wkładu własnego inwestora był niemal natychmiastowy, natomiast kosztu całkowitego nastąpi po ok. 10 latach.

5. PODSUMOWANIE

Słoneczny system grzewczy w DPS w Mieni ma wiele typowych cech dla wielkopowierzchniowych instalacji słonecznych wdrażanych w obiektach użyteczności publicznej. Charakterystyczne są same intencje inwestorów reprezentujących interes publiczny (jednostki podległe samorządom). Wcześniej, głównie pod koniec lat 90. XX w., często korzystali oni z pomocy funduszy proekologicznych w celu wymiany kotłowni węglowych na olejowe, co było skokowym postępem w dziedzinie ochrony atmosfery na terenach słabo zurbanizowanych. Od czasu realizacji tych inwestycji cena oleju opałowego wzrosła w zdecydowanie najwyższym stopniu spośród paliw i mediów grzewczych, co jest przyczyną poszukiwania rozwiązań zmniejszających zużycie, a najlepiej eliminujących to drogie paliwo. Na wsparcie środkami publicznymi mogą w tych okolicznościach liczyć insta-

lacje odnawialnych źródeł energii jako kolejny etap ograniczania emisji gazowych. W grę wchodzi głównie pompy ciepła, kotły biomasowe i kolektory słoneczne. Na tym tle wdrożenie systemu słonecznego w DPS Mieni, dotowanego w 90%-ch ze środków publicznych, jest w pełni zrozumiałe. Koszt budowy był stosunkowo niski t.j. na poziomie 1,5 tysięcy PLN w przeliczeniu na 1 m² powierzchni. Bez wątpienia liczył się tu efekt skali przedsięwzięcia. Projekt systemu dla obiektu o dużym i stabilnym zapotrzebowaniu na ciepłą wodę zakładał rozmiar charakterystyczny ok. 1,1 m² powierzchni kolektorów płaskich w przeliczeniu na 100 dm³ dobowego rozbioru ciepłej wody. W efekcie ilość wyprodukowanego ciepła użytecznego w ciągu roku przypadająca na 1 m² kolektorów jest bardzo wysoka i wynosi ponad 600 kWh. Ale jednocześnie udział energii słonecznej w przygotowaniu ciepłej wody w skali roku jest co najwyżej 40%-owy. Wiele projektów wielko powierzchniowych systemów grzewczych opiera się na podobnych założeniach, choć wydajność jednostkowa zwykle nie jest tak wysoka [3, 4].

Ocena wymiernych efektów opisywanego wdrożenia, przez które rozumie się obniżenie zużycia oleju opałowego, nie jest jednak precyzyjna i pewna. Tak jak w innych instalacjach wielkopowierzchniowych zwykle nie monitoruje się zużycia paliw lub mediów na potrzeby podgrzania ciepłej wody. Nawet jeśli zużycie energii ze źródła konwencjonalnego jest rejestrowane, to brakuje jeszcze wyznaczenia energochłonności brutto (bez udziału segmentu słonecznego) jako kontrolnej wartości odniesienia.

6. LITERATURA

- [1] Duffie J.A., Beckman W.A.: Solar Engineering of Thermal Processes, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1991.
- [2] Skoczek M.: Ocena techniczno-ekonomiczna słonecznego systemu grzewczego w Domu Pomocy Społecznej św. Józefa w Mieni, Praca inżynierska, SGGW 2012.
- [3] Czekalski D., Obstawski P.: Wydajność słonecznych systemów grzewczych wielkoskalowych w świetle badań eksploatacyjnych, Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja, nr 3, 2008.
- [4] Stachniak A.: Analiza funkcjonowania systemu grzewczego z kolektorami słonecznymi w sanatorium Włókniarz w Busko-Zdroju na tle innych słonecznych instalacji wielkopowierzchniowych, Praca magisterska, SGGW 2011.

PERFORMANCE EVALUATION OF SOLAR LARGE-SCALE HEATING SYSTEM IN MIENIA DPS

SUMMARY

The paper presents the example of solar large-scale heating system put in place in public facility. The thermal efficiency of the installation in each month of chosen year was described. Conversion efficiency of solar energy was determined and solar energy share in the preparation of hot water was estimated. The study also evaluated the economic impact of implementation.

Bernardeta DĘBSKA, mgr inż.
Lech LICHOLA, dr hab. inż., prof. PRz

Politechnika Rzeszowska
Zakład Budownictwa Ogólnego
ul. Poznańska 2, 35-959 Rzeszów
e-mail: bdebska@prz.edu.pl

**BADANIE MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA
MODYFIKOWANYCH ZAPRAW EPOKSYDOWYCH
W PROCESACH NAPRAWCZYCH BETONÓW
CZ. 1. OZNACZANIE WŁAŚCIWOŚCI
WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH, ABSORPCJI WODY ORAZ
ODPORNOŚCI CHEMICZNEJ**

STRESZCZENIE

W pracy opisano sposób otrzymywania zapraw epoksydowych modyfikowanych glikolizatami odpadowego poli(tereftalanu etyleny) (PET) i wyniki badań wybranych właściwości mechanicznych i fizyko-chemicznych uzyskanych kompozytów, które wskazują na możliwość ich aplikacji jako materiałów naprawczych. W obszarze zainteresowania znalazły się najważniejsze cechy charakteryzujące dobry materiał naprawczy, tj. przyczepność do materiału naprawianego, cechy wytrzymałościowe, absorpcja wody, a także odporność chemiczna. Otrzymane kompozyty mogą być stosowane jako materiały naprawcze lub zabezpieczające beton przed korozją.

1. WPROWADZENIE

O obiekty budowlane zarówno nowo powstałe, jak i te już wcześniej oddane do użytku należy odpowiednio dbać, aby zapobiec ich destrukcji oraz możliwości wystąpienia zagrożeń bezpieczeństwa użytkowników. Szkodliwe oddziaływanie na obiekty ze strony środowiska naturalnego, zwiększająca się agresywność środowiska, naturalne procesy starzenia się obiektów budowlanych, a także negatywny wpływ człowieka, stwarzają potrzebę coraz częstszych napraw i stałej ochrony konstrukcji, w tym również konstrukcji betonowych.

Najczęstszym przykładem procesu renowacji konstrukcji betonowych w budownictwie ogólnym są naprawy balkonów i loggii, ze względu na wadliwy sposób

odprowadzenia wody deszczowej i nieodpowiedni dobór materiałów. Zniszczeniu często ulegają także przemysłowe konstrukcje inżynierskie, takie jak fundamenty pod maszyny, zwłaszcza pod duże i ciężkie turbozespoły [1]. Wprawdzie beton jest względnie tanim i wydajnym materiałem konstrukcyjnym, ale konieczność jego naprawy podczas użytkowania obiektu jest kłopotliwa i droga. Z tego też względu intensywnie poszukuje się niezawodnych, trwałych materiałów do napraw uszkodzonych konstrukcji betonowych.

W latach ubiegłych podstawową zasadą doboru materiałów do napraw była „*naprawa podobnego podobnym*”, przy czym podobieństwo to traktowano jako materiałowe, nie zaś podobieństwo cech technicznych. Często przyjmowano też, że skoro dany materiał nie okazał się odpowiednio trwały, to należy do naprawy zastosować lepszy, o wyższej wytrzymałości. Obecnie powszechnie stosowana jest w naprawach, w tym również w renowacji konstrukcji betonowych, *zasada kompatybilności*, czyli naprawianie przy zastosowaniu środków o parametrach technicznych zbliżonych do parametrów charakteryzujących naprawiany element. W praktyce, niezastąpionym materiałem naprawczym okazały się betony polimerowe, ze względu na takie ich szczególne właściwości, jak: doskonała przyczepność do wielu materiałów (m.in. do starego betonu, stali, ceramiki budowlanej), krótki czas potrzebny do osiągnięcia sprawności eksploatacyjnej, szczelność i mrozoodporność oraz estetyczny wygląd zewnętrzny. Charakteryzująca je bardzo wysoka wytrzymałość mechaniczna i duża odporność chemiczna, zapewniają podwyższoną trwałość połączeń wykonanych z takich materiałów. Obowiązujące obecnie normy dotyczące betonów cementowych obejmują także betony o wysokiej wytrzymałości i zwracają jednocześnie uwagę projektantów na fakt, że podczas doboru materiału należy wziąć pod uwagę założony czas jego trwałości.

Pojawienie się pojęć polimer i betony polimerowe ponad 70 razy w normach z serii PN-EN 1504 „Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych”, świadczy o szczególnej ważności zastosowania betonów polimerowych w naprawach, zwłaszcza, że norma PN-EN 1504-4 określa, iż „połączenie konstrukcyjne” betonu naprawianego z betonem naprawczym powinno być tak dobrane, aby ewentualne uszkodzenia występowały w naprawianym podkładzie betonowym [2].

Betony polimerowe nie należą do tanich materiałów (polimery są ok. 10 do 100 razy droższe od cementu w przeliczeniu na jednostkę masy) i raczej nigdy tanie nie będą. Na obniżenie ceny tych kompozytów może wpłynąć wykorzystanie w procesie produkcji odpadów z tworzyw sztucznych. Do wad betonów polimerowych zaliczyć należy także niską odporność ogniową, stosunkowo duży skurcz utwardzania oraz podatność na starzenie. W związku z powyższym, betony polimerowe do napraw i ochrony należy dobierać według *reguły kompatybilności*, np. w oparciu o istniejące bazy materiałów i korzystające z nich programy komputerowe.

W literaturze [2, 3] można znaleźć definicje betonopodobnych kompozytów budowlanych odnoszące się do różnych betonów polimerowych, których podział przedstawia się następująco:

- betony (i zaprawy) polimerowo-cementowe (ang. Polymer-Cement Concrete, PCC), otrzymywane przez dodanie polimeru, oligomeru lub monomeru do mieszanki betonowej;

- betony impregnowane polimerem (ang. Polymer Impregnated Concrete, PIC), otrzymywane przez impregnację stwardniałego betonu monomerem lub oligomerem i następnie jego polimeryzację wewnątrz betonu;
- betony (i zaprawy) żywiczne (ang. Polymer Concrete, PC), które nie zawierają cementu oraz otrzymywane są poprzez zmieszanie syntetycznych żywic lub monomerów z kruszywem i następnie utwardzenie spoiwa żywicznego.

Najczęściej stosowane systemy naprawcze to kompozyty polimerowo-cementowe (PCC). Ciekawe przykłady skutecznego wykorzystania ich do napraw oraz omówienie czynników, które mogą decydować o jakości połączenia można znaleźć m.in. w pracach [4 - 9]. Betony żywiczne (PC) stosuje się do napraw rzadziej i przede wszystkim tam, gdzie na przywrócenie warunków użytkowania jest tylko kilka dni a nawet godzin, w naprawach konstrukcji z betonów o podwyższonej wytrzymałości, w warunkach zagrożenia agresją chemiczną (np. wanny elektrolityczne w przemyśle miedziowym), rury wykorzystywane np. w mikrotunelowaniu (bezwykopowym układaniu podziemnych sieci wodociągowych), elementy prefabrykowane z tzw. syntetycznego marmuru (podokienniki, płytki, elementy sanitarne, krawężniki, płyty itp.) [2]. Zaproponowana zaprawa epoksydowa modyfikowana glikolizatem PET wpisuje się w te kierunki zastosowania, dzięki cechującym ją wysokim wartościom parametrów wytrzymałościowych, bardzo dobrej odporności chemicznej, niskiej nasiąkliwości wodą i dobrej przyczepności.

2. PLAN EKSPERYMENTU

Przebadanie dużej liczby różniących się składem kompozytów, wymagało odpowiedniego zaprojektowania planu badań. Aby ograniczyć ilość koniecznych eksperymentów posłużono się algorytmem statystycznym pozwalającym na znaczną redukcję liczby próbek zapraw, które należało przebadać. Do utworzenia planu wykorzystano pakiet STATISTICA. Plan eksperymentu przyjął formę tabeli (tabela 1).

Tabela.1. Zestawienie parametrów opisujących skład zaprawy dla poszczególnych punktów planu eksperymentu

Table 1. List of parameters describing the composition of mortar for each point of the experiment plan

Nr punktu planu eksperymentu	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Zawartość PET, % wag.	7,03	2,06	0,00	7,03	7,03	7,03	12,00	12,00	14,06	2,06
Stosunek mas żywicy do kruszywa Z/K	0,36	0,33	0,25	0,14	0,25	0,25	0,18	0,33	0,25	0,18

Każda z dziesięciu kolumn tabeli przedstawia jeden punkt planu i opisuje parametry eksperymentu, który przeprowadzono. Wybrany plan eksperymentu zakładał powtórzenie badania w punkcie centralnym, dlatego punkty planu oznaczone jako 5 i 6, nie różnią się składem.

2.1. Użyte surowce

Zaprawę żywiczną wykonano z zastosowaniem żywicy epoksydowej Epidian 5, utwardzacza Z-1, piasku normowego o uziarnieniu 0 - 2 mm oraz glikolizatu poli(tereftalanu etyleny) opartego na glikolu propylenowym.

2.2. Przygotowanie próbek

Proces otrzymywania zapraw przebiegał w trzech etapach:

Etap 1. Otrzymywanie kompozycji epoksydowych modyfikowanych glikolizatem PET

Odpowiednie ilości żywicy epoksydowej i modyfikatora odważono w zlewce przy użyciu wagi technicznej z dokładnością $\pm 0,01$ g i wymieszano bagietką w celu ujednolicenia. Po wymieszaniu składniki wygrzewano przez 60 minut w temperaturze 358 K, co umożliwiło przebieg reakcji pomiędzy grupami funkcyjnymi obu składników.

Etap 2. Utwardzanie kompozycji epoksydowych

Po osiągnięciu temperatury pokojowej przez przygotowaną kompozycję epoksydową zmodyfikowaną glikolizatem PET, zmieszano ją z odpowiednią ilością utwardzacza Z-1 (10 cz.w./100 g żywicy). Składniki dokładnie wymieszano za pomocą szklanej bagietki, aż do uzyskania jednorodnej mieszaniny.

Etap 3. Wykonanie zapraw epoksydowych

Do misy mieszarki laboratoryjnej przeniesiono przygotowane wcześniej kompozycje żywiczne i wymieszano z piaskiem normowym, zachowując jednakowy czas mieszania i obroty mieszarki. Gotową zaprawę umieszczono w formach stalowych o wymiarach: 40x40x160 mm (próbki przeznaczone do badań wytrzymałościowych) oraz 60x60x5 mm (próbki do badań twardości). Zaprawę przeznaczoną do badania przyczepności ułożono w sposób określony w normie PN-EN 1542 w warstwie o grubości 5 mm na bloczkach z betonu zwykłego o klasie wytrzymałości C16/20. Aby nastąpił proces utwardzenia, próbki pozostawiono przez 7 dni w warunkach określonych przez odpowiednią normę przedmiotową.

2.3. Opis przeprowadzonych badań

Dla utwardzonych zapraw epoksydowych wykonano oznaczenia następujących właściwości:

- Wytrzymałości: na zginanie R_f i na ściskanie R_c .
Badania te przeprowadzono w maszynie wytrzymałościowej zaopatrzonej w odpowiednie wkładki, na beleczkach normowych zgodnie z normą PN-B-04500:1985.
- Absorpcji wody zgodnie z normą PN-EN ISO 62:2008.
- Odporności chemicznej na media korozyjne, którymi były: 10% kwas siarkowy, 10% kwas azotowy, 10% wodorotlenek sodu oraz 10% chlorek sodu. Badania te przeprowadzono zgodnie z normą PN-EN ISO 175:2002.
- Przyczepności przez odrywanie (f_h). Opis tego badania oraz analizę uzyskanych wyników zamieszczono w drugiej części artykułu.

3. ANALIZA WYNIKÓW

Skład zaprawy (stosunek żywica/kruszywo (Z/K) i procentową zawartość glikolizatu PET) zaprojektowano w oparciu o dane literaturowe oraz własne doświadczenie wynikające z przeprowadzonych badań wstępnych. Celem badań eksperymentalnych było do-

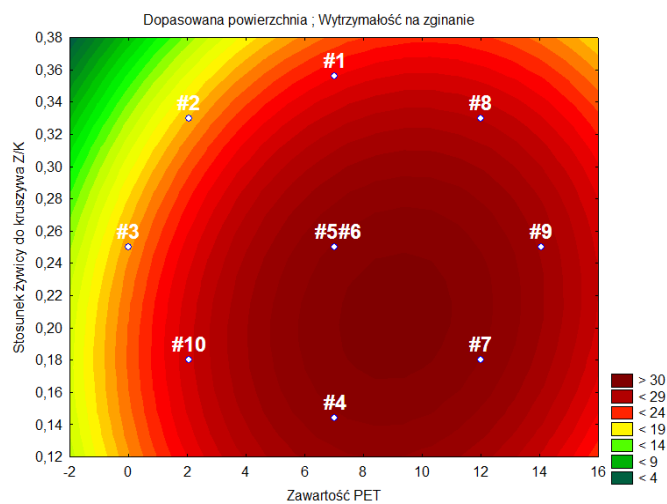
świadczałne wyznaczenie funkcji opisującej wpływ parametrów wejściowych, charakteryzujących skład zaprawy na jej jakość określoną za pomocą wielkości wyjściowych, czyli cech poddanych badaniom. Charakter tego wpływu oraz obszary zmienności danych wejściowych, w których wielkości wyjściowe przyjmują wartości największe, uwidaczniają wykresy ilustrujące powierzchnie odpowiedzi (Rys. 1 - 4). Biorąc pod uwagę obszar zastosowań naprawczych betonów żywicznych, ważne było aby badana zaprawa spełniała przyjęte kryteria dotyczące przyczepności, charakteryzując się jednocześnie wysokimi wartościami wybranych parametrów wytrzymałościowych, niską nasiąkliwością oraz dobrą odpornością chemiczną.

Na rysunkach 1 i 2 przedstawiono wyniki badań wytrzymałości na zginanie i ściskanie modyfikowanej zaprawy epoksydowej w założonych wcześniej punktach planu, oznaczonych na rysunkach # numer (np. #1). W zależności od stosunku żywica/ kruszywo (Z/K) oraz ilości dodanego modyfikatora, wartości wytrzymałości na zginanie mieszczą się w granicach od 18,2 MPa do 32,2 MPa. Najniższą wartością wytrzymałości na zginanie charakteryzują się próbki zapraw bez dodatku modyfikatora. Z kolei maksymalną wartość wytrzymałości osiągnięto dla zaprawy zawierającej 7% glikolizatu PET oraz największą ilość piasku (stosunek Z/K równy 0,14)(#4). Wytrzymałość na ściskanie osiągnęła wartości z przedziału 84,7÷116,1 MPa, odpowiednio dla zaprawy zawierającej 2% modyfikatora i stosunku Z/K równym 0,33 (#2) oraz 7% glikolizatu PET i Z/K równym 0,25 (#5).

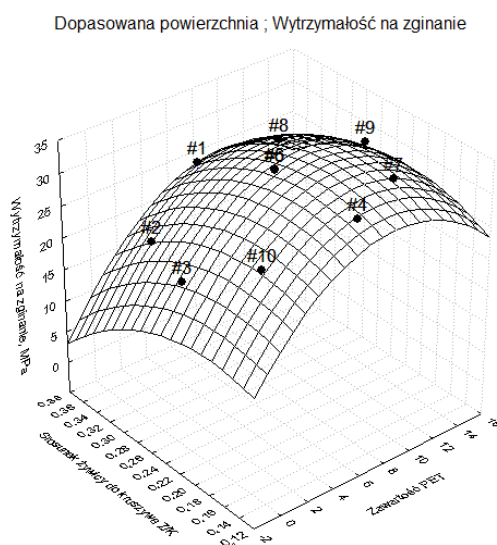
Z wyjątkiem wyników osiągniętych w punkcie 2 (#2), wszystkie pozostałe rezultaty są znacznie lepsze w porównaniu do wartości wytrzymałości na ściskanie odnotowanej dla zaprawy otrzymanej bez dodatku modyfikatora (#3).

Aproksymując wartości powierzchni odpowiedzi znaleziono ekstrema globalne badanych parametrów. Stwierdzono, że wytrzymałość na zginanie osiąga wartość maksymalną równą 33,54 MPa dla zawartości glikolizatu PET równej 9,1 % oraz stosunku żywicy do kruszywa $Z/K = 0,21$, natomiast maksimum wytrzymałości na ściskanie, wynoszące 117,32 MPa, uzyskano dla zawartości glikolizatu PET wynoszącej 9,4 % i dla stosunku żywicy do kruszywa $Z/K = 0,22$. Te dwa punkty opisujące skład zaprawy leżą więc w bezpośrednim sąsiedztwie. Wysokie wartości wytrzymałości mechanicznej modyfikowanej zaprawy epoksydowej mogą świadczyć o znacznie lepszym uelastycznieniu otrzymanych kompozytów w porównaniu z materiałem niemodyfikowanym. Uzyskana dla badanej zaprawy wytrzymałość na ściskanie o wartościach powyżej 100 MPa jest porównywalna lub wyższa w stosunku do betonów wysokiej wytrzymałości według PN-EN 206-1. Spełnione są więc wymagania normy PN-EN 1504 mówiące o tym, że wytrzymałość materiału naprawczego (f_t^N) powinna być nie mniejsza od wytrzymałości podkładu betonowego (f_t^B): $f_A > f_t^N \geq f_t^B$. Jednocześnie adhezja w złączu (f_A) powinna przewyższać wytrzymałość na rozciąganie elementów łączonych. Według PN-EN 1054-3 – wyroby klasy R4 przeznaczone do napraw konstrukcyjnych powinna charakteryzować wytrzymałość na ściskanie $f_c \geq 45$ MPa, natomiast w naprawach niekonstrukcyjnych $f_c \geq 15$ MPa. Poddana badaniom modyfikowana zaprawa epoksydowa spełnia te wymagania z dużym nadmiarem.

a)



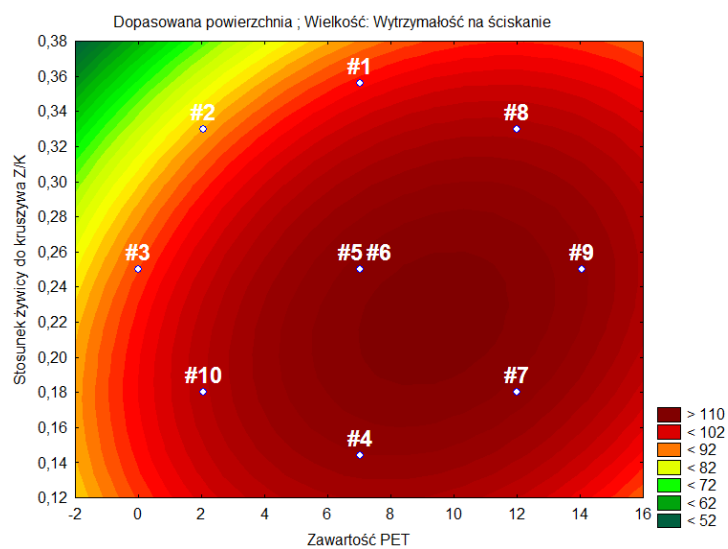
b)



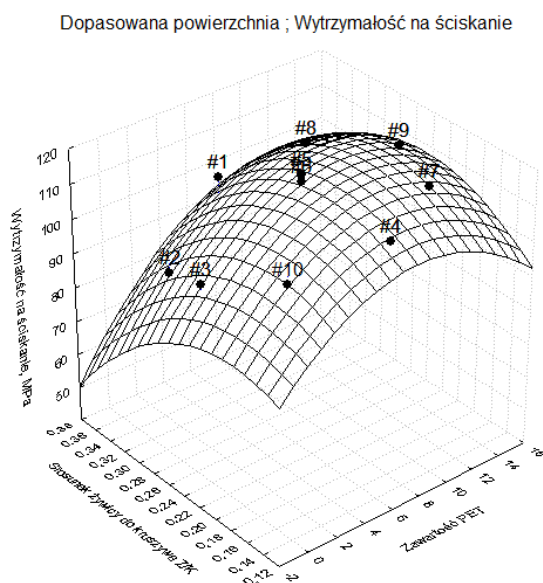
Rys. 1. Wykres powierzchni odpowiedzi dla wytrzymałości na zginanie, w poszczególnych punktach planu eksperymentu [MPa] a) warstwowy, b) przestrzenny

Fig. 1. Diagram of response surface for bending strength, in each point of the experiment plan [MPa] a) contour, b) spatial

a)

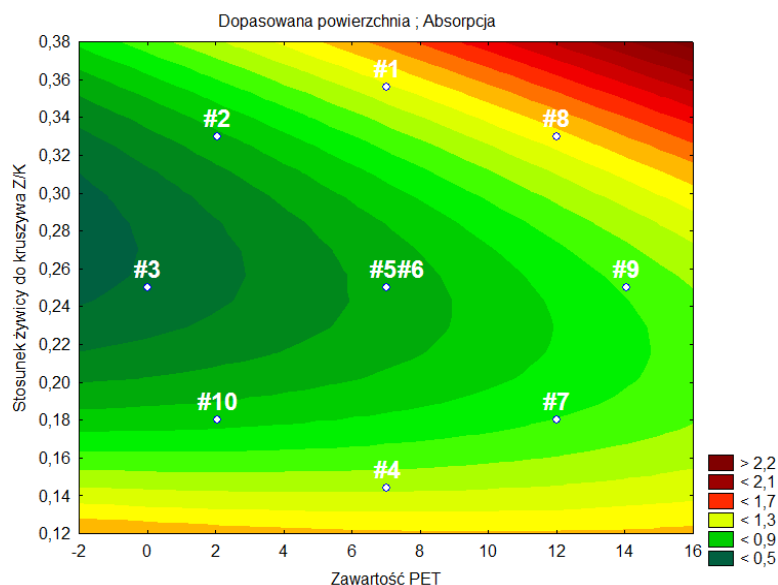


b)



Rys. 2. Wykres powierzchni odpowiedzi dla wytrzymałości na ściskanie, w poszczególnych punktach planu eksperymentu [MPa] a) warstwowy, b) przestrzenny
 Fig. 2. Diagram of response surface for compressive strength, in each point of the experiment plan [MPa] a) contour, b) spatial

Kolejną badaną właściwością była absorpcja wody przez próbki. Wykres warstwiczny powierzchni odpowiedzi przedstawiający absorpcję wody przez próbki, oznaczoną po 4 tygodniach od momentu zanurzenia ich w cieczy, pokazano na Rys. 3.



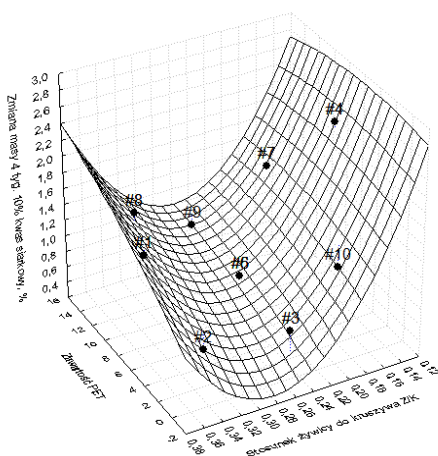
Rys. 3. Warstwiczny wykres powierzchni odpowiedzi dla absorpcji wody po 4 tyg. [%]
Fig. 3. Contour diagram of response surface for water absorption after 4 weeks [%]

Maksymalna absorpcja wody przez zaprawę epoksydową modyfikowaną glikolizatem PET, zbadana po czterech tygodniach od momentu zanurzenia próbek w cieczy, wynosiła 1,45%. Została ona osiągnięta dla takiego składu zaprawy, który cechuje najwyższa ilość dodanego modyfikatora, przy stosunku żywica/kruszywo równym 0,33 (#8). Z kolei najniższa wartość absorpcji wody (równa 0,59%) charakteryzuje zaprawę otrzymaną bez dodatku modyfikatora (#3). Oceniając te parametry w obszarze, w którym uzyskano wartości krytyczne parametrów wytrzymałościowych ($Z/K = 0,21 \div 0,22$ oraz zawartość PET równa $9,1\% \div 9,4\%$) zauważono, że badana zaprawa charakteryzuje się niską nasiąkliwością, nie przekraczającą 1%. Oznacza to, że ilość zaabsorbowanej wody przez modyfikowaną zaprawę epoksydową jest kilkakrotnie niższa w porównaniu do zwykłej zaprawy cementowej, która wynosi $4 \div 10\%$. Potwierdza to możliwość stosowania badanego kompozytu jako zaprawy naprawczej.

Perspektywiczna możliwość zastosowania zaprawy epoksydowej do napraw w środowisku charakteryzującym się dużą agresją chemiczną, skłoniła do podjęcia próby oznaczenia zmiany masy próbek zaprawy po ekspozycji ich na działanie wybranych mediów korozyjnych, takich jak: 10% kwas siarkowy, 10% kwas azotowy, 10% wodorotlenek sodu oraz 10% chlorek sodu. Rysunek 4 przedstawia wyniki oznaczenia zmiany masy uzyskane po 4 tygodniach zanurzenia serii próbek w wymienionych wyżej roztworach.

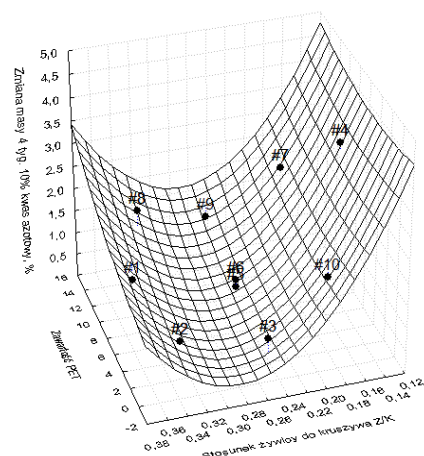
a)

Dopasowana powierzchnia ; Zmiana masy 4 tyg. 10% kwas siarkowy



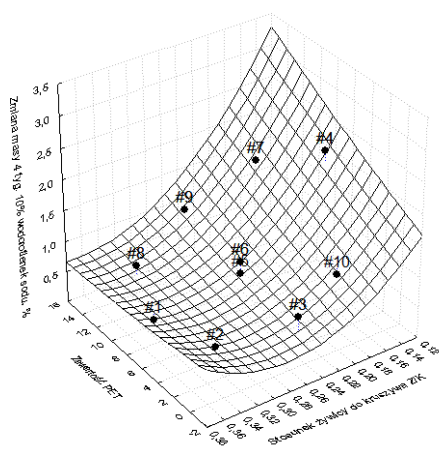
b)

Dopasowana powierzchnia ; Zmiana masy 4 tyg. 10% kwas azotowy



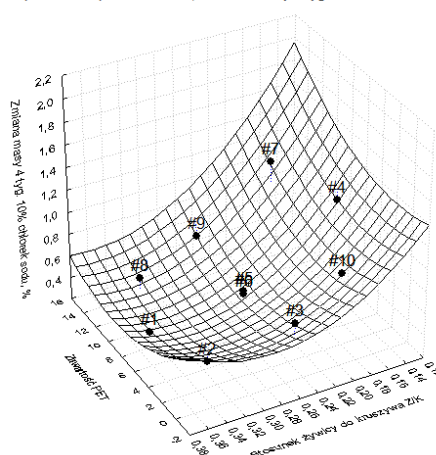
c)

Dopasowana powierzchnia ; Zmiana masy 4 tyg. 10% wodorotlenek sodu



d)

Dopasowana powierzchnia ; Zmiana masy 4 tyg. 10% chlorek sodu



Rys. 4. Przestrzenny wykres powierzchni odpowiedzi dla zmiany masy próbek po 4 tygodniach ekspozycji w a) 10% kwasie siarkowym, b) 10% kwasie azotowym, c) 10% wodorotlenku sodu, d) 10% chlorku sodu, [%]

Fig. 4. Spatial diagram of response surface for specimens weight change after 4 weeks of exposure in a) 10% sulfuric acid, b) 10% nitric acid, c) 10% sodium hydroxide, d) 10% sodium chloride, [%]

Największe wartości zmiany masy odnotowano dla próbek poddanych działaniu 10% kwasu azotowego (Rys. 4b.). Największa wartość zmiany masy wyniosła 3,6% (#4).

Najniższe wartości oznaczanej cechy uzyskano dla 10% roztworu chlorku sodu, w granicznym przypadku stwierdzono, że nie przekraczają one wartości 1,3%. Zdecydowanie największe przyrosty masy, dla prawie wszystkich mediów korozyjnych zauważono dla czwartego punktu planu eksperymentu. Skład zaprawy w tym punkcie charakteryzuje największa zawartość kruszywa w kompozycji (zawartość glikolizatu PET równa 7%, stosunek żywicy do kruszywa $Z/K = 0,14$), co mogło powodować niedostateczne oblepienie ziaren kruszywa przez żywicę, a tym samym pogorszenie odporności korozyjnej kompozytu.

Odnosząc przeprowadzone badanie zmiany masy do kompozytu, dla którego stwierdzono wcześniej najlepsze wartości przebadanych właściwości, tj. zaprawy charakteryzującej się dodatkiem modyfikatora na poziomie $9,1\% \div 9,4\%$ oraz stosunkiem żywicy do kruszywa Z/K z przedziału $0,21 \div 0,22$, stwierdzono, że cechują ją stosunkowo niskie wartości zmiany masy ($0,76\% \div 1,53\%$) próbek poddanych działaniu wszystkich czterech roztworów substancji agresywnych.

4. PODSUMOWANIE

Modyfikowana glikolizatem PET zaprawa epoksydowa spełnia wysokie wymagania stawiane produktom używanym do napraw. Zastąpienie ok. 9% wag. żywicy epoksydowej glikolizatem otrzymywanym na bazie glikolu propylenowego oraz odpadów poli(tereftalanu etyleny), przy zachowaniu stosunku mas żywicy do kruszywa na poziomie 0,22, pozwala uzyskać materiał naprawczy cechujący się bardzo dobrą wytrzymałością na zginanie i ściskanie, niską absorpcją wody oraz bardzo dobrą odpornością chemiczną.

Badania były częściowo finansowane ze środków przeznaczonych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego na naukę w latach 2010-2013 (projekt badawczy nr N N506 194338).

5. LITERATURA

- [1] Kamiński M. (red.), Współczesne metody naprawcze w obiektach budowlanych, Dom Wydawniczy Edukacja, 2009.
- [2] Czarnecki L., Betony polimerowe, Cement-Wapno-Beton, nr 2/2010, s. 63-85.
- [3] Czarnecki L., Betony żywiczne, Wydawnictwo „Arkady”, Warszawa 1982.
- [4] Łukowski P., Polimerowo-cementowa zaprawa naprawcza o podwyższonej przyczepności do betonu, XXIII Konferencja Naukowo-Techniczna Awarie Budowlane 2007, Szczecin-Międzyzdroje 23-26 maja 2007, s. 851-858.
- [5] Afridi M.U.K., Ohama Y., Zafar Iqbal M., Demura K., Water retention and adhesion of powdered and aqueous polymer-modified mortars, Cement and Concrete Composites, nr 17/1995, s. 113-118.
- [6] Saccani A., Magnaghi V., Durability of epoxy resin-based materials for the repair of damaged cementitious composites, Cement and Concrete Research, nr 29/1999, s. 95-98.
- [7] Schulze J., Killermann O., Long-term performance of redispersible powders in mortars, Cement and Concrete Research, nr 31/2001, s. 357-362.

- [8] Garbacz A., Courard L., Kostana K., Characterization of concrete surface roughness and its relation to adhesion in repair systems, *Materials Characterization*, nr 56/2006, s. 281-289.
- [9] Momayez A., Ehsani M.R., Ramezaniapour A.A., Rajaie H., Comparison of methods for evaluating bond strength between concrete substrate and repair materials, *Cement and Concrete Research*, nr 35/2005, s. 748–757.

**STUDY OF THE USE OF MODIFIED EPOXY MORTARS IN REPAIR
PROCESS OF CONCRETE
PART 1. DETERMINATION OF STRENGTH, WATER
ABSORPTION AND CHEMICAL RESISTANCE**

SUMMARY

The thesis presents methods of obtaining, as well as selected properties of epoxy mortars modified by waste poly (ethylene terephthalate) (PET) glykolysate and the results of these selected mechanical properties and physico-chemical properties of the composites obtained, which indicate the possibility of their application as repair materials. In the area of interest are the most important characteristics of a good repair material, such as adhesion to the material being repaired, compressive strength, water absorption, and chemical resistance. The resulting composites can be used as materials for concrete repair and protection against corrosion.

Bernardeta DĘBSKA, mgr inż.
Lech LICHOTA, dr hab. inż., Prof. PRz

Politechnika Rzeszowska
Zakład Budownictwa Ogólnego
ul. Poznańska 2, 35-959 Rzeszów
e-mail: bdebska@prz.edu.pl

BADANIE MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA MODYFIKOWANYCH ZAPRAW EPOKSYDOWYCH W PROCESACH NAPRAWCZYCH BETONÓW CZ.2. OZNACZENIE PRZYCZEPNOŚCI

STRESZCZENIE

W pierwszej części pracy opisano sposób otrzymywania zapraw epoksydowych modyfikowanych glikolizatami odpadowego poli(tereftalanu etylenu) (PET) i ich właściwości, takie jak wytrzymałość na zginanie i ściskanie, absorpcja wody i odporność chemiczna. Ten artykuł poświęcony jest omówieniu wyników badań kolejnej niezwykle ważnej właściwości – przyczepności zaprawy będącej materiałem naprawczym do materiału naprawianego. Rezultaty przeprowadzonych badań potwierdziły, że otrzymane kompozyty mogą być stosowane jako materiały naprawcze lub zabezpieczające beton przed korozją.

1. WPROWADZENIE

Jak pokazano w pierwszej części artykułu, istnieje potrzeba znalezienia takich niezawodnych, trwałych materiałów do napraw uszkodzonych konstrukcji betonowych, które powinny charakteryzować się odpowiednią wytrzymałością na ściskanie, ograniczonym skurczem i pęcznieniem, odpornością na karbonatyzację i absorpcję kapilarną. Wymagania te spełniają betony polimerowe, które cechuje także doskonała przyczepność do wielu materiałów (m.in. do starego betonu, stali, ceramiki budowlanej), krótki czas potrzebny do osiągnięcia sprawności eksploatacyjnej, szczelność i mrozoodporność oraz estetyczny wygląd zewnętrzny. Charakteryzująca je bardzo wysoka wytrzymałość mechaniczna i duża odporność chemiczna, zapewniają podwyższoną trwałość połączeń wykonanych z takich materiałów [1]. We wstępnej publikacji [2] opisano zaprawę epoksydową modyfikowaną glikolizatem PET, którą cechują wysokie wartości parametrów wytrzymałościowych, bardzo dobra odporność chemiczna oraz niska nasiąkliwość wodą. Z uwagi na fakt, że mate-

riały naprawcze powinna również cechować dobra przyczepność do elementu naprawianego, gdyż trwałość naprawy zależy bezpośrednio właśnie od jakości przyczepności, dlatego modyfikowaną zaprawę epoksydową postanowiono zbadać również pod kątem tej właściwości.

Przyczepność można wyrazić jako jednostkową siłę, która przeciwstawia się przesuwaniu względem siebie lub odrywaniu od siebie łączonych elementów. W pierwszym przypadku mówimy o przyczepności przy ścinaniu, w drugim o przyczepności przy rozciąganiu. Wartość tej siły kształtują m.in. takie czynniki, jak: rodzaj spoiwa w kompozycie (zaprawie, betonie), rodzaj materiału łączonego z kompozytem, stan powierzchni tego materiału. Substancje takie jak woda, tłuszcz lub kurz wpływają na znaczne osłabienie przyczepności. Z kolei, pozytywny wpływ na trwałość spoiny ma występowanie na styku materiałów łączonych ząbów mechanicznych, które zależą od konfiguracji powierzchni i stopnia porowatości materiału łączonego z kompozytem oraz od zawartości spoiwa w kompozycie [3].

2. UŻYTE SUROWCE

Aby artykuł stanowił spójną całość z wcześniej zaprezentowanymi wynikami, poniżej krótko opisano zaprojektowany eksperyment. Zaprawę żywiczną wykonano z zastosowaniem żywicy epoksydowej Epidian 5, utwardzacza Z-1, piasku normowego o uziarnieniu 0 - 2 mm oraz glikolizatu poli(tereftalanu etylenu) opartego na glikolu propylenowym.

Badanie przeprowadzono zgodnie z planem do utworzenia którego wykorzystano pakiet STATISTICA. Plan eksperymentu przyjął formę tabeli (tabela 1). Każda z dziesięciu kolumn tabeli przedstawia jeden punkt planu i opisuje parametry eksperymentu, który przeprowadzono. Wybrany plan eksperymentu zakładał powtórzenie w punkcie centralnym, dlatego punkty planu oznaczone jako 5 i 6, nie różnią się składem.

Tabela.1. Zestawienie parametrów opisujących skład zaprawy dla poszczególnych punktów planu eksperymentu

Table 1. List of parameters describing the composition of mortar for each point of the experiment plan

Nr punktu planu eksperymentu	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Zawartość PET, %wag.	7,03	2,06	0,00	7,03	7,03	7,03	12,00	12,00	14,06	2,06
Stosunek mas żywicy do kruszywa Z/K	0,36	0,33	0,25	0,14	0,25	0,25	0,18	0,33	0,25	0,18

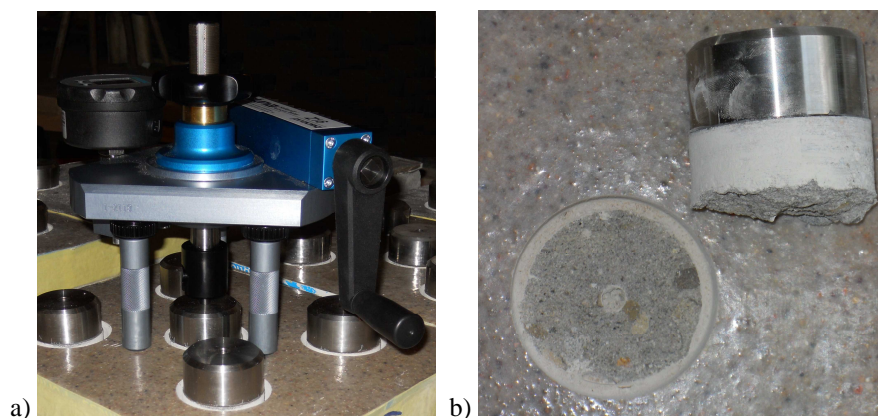
3. OPIS PRZEPROWADZONYCH BADAŃ

Dla utwardzonych zapraw epoksydowych wykonano oznaczenie wytrzymałości na zginanie i ściskanie, zbadano także absorpcję wody oraz odporność chemiczną na wybrane media korozyjne. Wyniki tych badań zamieszczono w pierwszej części artykułu. Poniżej

opisano oraz przeprowadzono analizę wyników badania przyczepności do podłoża betonowego modyfikowanych zapraw epoksydowych.

Przyczepności przez odrywanie f_b oznaczono zgodnie z normą PN-EN 1542. Pomiary przyczepności wykonano przez odrywanie zaprawy nakładanej na bloczki betonowe o klasie wytrzymałościowej C16/20. Przed nałożeniem zaprawy dokonano obróbki powierzchniowej bloczków czyszcząc je szczotką drucianą. Jako system naprawczy zastosowano zaprawę epoksydową zmodyfikowaną glikolizatem PET. Grubość nakładanej zaprawy wynosiła 5 mm.

Metoda badania polegała na bezpośrednim odrywaniu stalowych krążków, przyklejonych do powierzchni zaprawy epoksydowej za pomocą kleju epoksydowego dwuskładnikowego. Obszar badania wyznaczony został przez odpowiednie nawiercenie powierzchni. Badanie przeprowadzono aparatem Dyna Pull-off Tester (Rys.1a) z wykorzystaniem stalowych krążków o średnicy 50 mm i grubości 20 mm (Rys.1b).

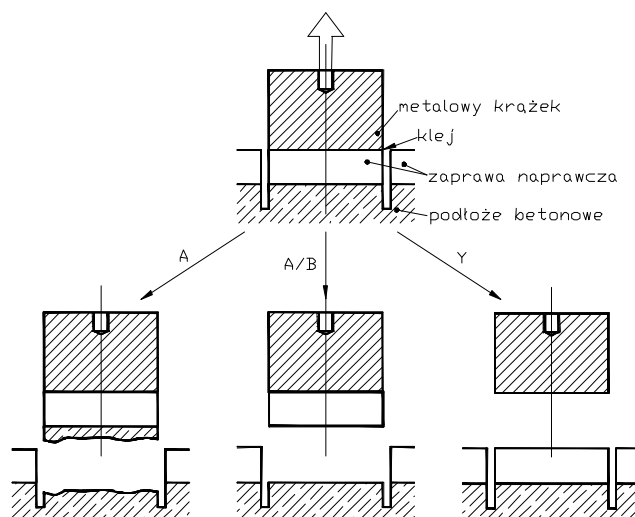


Rys. 1. Aparat wraz z krążkami do badania przyczepności
Fig. 1. Apparatus with discs for testing grip

4. ANALIZA WYNIKÓW

Biorąc pod uwagę obszar zastosowań naprawczych betonów żywicznych, ważne było, aby badana zaprawa charakteryzowała się wysokimi wartościami wybranych parametrów wytrzymałościowych, niską nasiąkliwością oraz dobrą odpornością chemiczną spełniając jednocześnie przyjęte kryteria dotyczące przyczepności wymienione w normie PN-EN 1504-3. Określana w badaniu *pull-off* wartość przyczepności przez odrywanie warstwy naprawczej od podłoża przygotowanego normowo w warunkach laboratoryjnych dla wyrobów do napraw konstrukcyjnych, powinna wynosić minimum 2,0 MPa dla klasy R4 i 1,5 MPa dla klasy R3. Dla napraw niekonstrukcyjnych minimalna wartość przyczepności powinna być większa niż 0,8 MPa lub, gdy występuje zniszczenie kohezyjne w materiale naprawczym, 0,5 MPa. Na placu budowy dopuszcza się materiały naprawcze, dla których uzyskane wartości przyczepności mieszczą się w zakresie 1,2÷1,5 MPa przy naprawach konstrukcyjnych oraz minimalną wartość 0,7 MPa przy naprawach niekonstrukcyjnych.

Schematy uzyskanych modeli rozrywania przedstawia rysunek 2.



Rys. 2. Schematy modeli rozrywania uzyskanych w badaniu przyczepności
Fig. 2. Breaking models, diagrams obtained in the study of adhesion

Model A rozrywania obrazuje zniszczenie kohezyjne w warstwie naprawianego podłoża. W takim przypadku wartość przyczepności jest większa od oznaczonej. Właściwą wartość przyczepności otrzymano wtedy, gdy zniszczenie nastąpiło na granicy materiałów naprawczego i naprawianego. Ten model określany jako adhezyjny oznaczono na rys. 2 jako A/B. Model Y przedstawia przypadek zniszczenia w warstwie kleju. Wyniki przyczepności dla tego modelu nie zostały uwzględnione w trakcie obliczania średnich wartości przyczepności.

Podczas przeprowadzania badania przyczepności modyfikowanej zaprawy epoksydowej, dla większości punktów pomiarowych, zaobserwowano przypadki wystąpienia zniszczenia w betonie, czyli materiale naprawianym (Rys. 2, model A). Oznacza to, że przyczepność modyfikowanej glikolizatem PET zaprawy epoksydowej przewyższa wytrzymałość na rozciąganie samego betonu i osiąga wartości z przedziału 1,5÷2,3 MPa. Wyniki badania przyczepności zamieszczono w tabeli 2a i 2b. Dla dwóch próbek (punkty 7 i 10 w planie eksperymentu) zaobserwowano obok rozerwania kohezyjnego w betonie (Rys. 2 model A) także przypadki oderwania adhezyjnego pomiędzy betonem a zaprawą naprawczą (Rys. 2 model A/B) oraz przypadek zdefiniowany jako model mieszany – częściowo kohezyjny w warstwie betonu, a częściowo adhezyjny występujący w warstwie beton-zaprawa naprawcza (zgodnie z normą oznaczany jako A : A/B).

Tabela.2a. Wyniki badania przyczepności
Table 2a. The results of adhesion tests

Nr punktu planu eksperymentu	Nr pomiaru	Model rozrywania	Siła odrywająca próbkę, N	Przyczepność, N/mm ²	Wartość średnia przyczepności, N/mm ²
1	1.1	A	3720	1,8	1,5
	1.2	A	3540	1,8	
	1.3	A	4420	2,2	
	1.4	A	1610	0,8	
	1.5	A	2260	1,1	
2	2.1	A	3720	1,8	1,9
	2.2	A	3356	1,7	
	2.3	Y	2649	1,4	
	2.4	A	4530	2,2	
	2.5	Y	3945	2,0	
3	3.1	Y	2550	1,3	2,3
	3.2	A	3720	1,8	
	3.3	A	5720	2,9	
	3.4	A	3720	1,8	
	3.5	A	5640	2,8	
4	4.1	A/B	720	0,3	0,2
	4.2	A/B	420	0,2	
	4.3	A/B	420	0,2	
	4.4	A/B	160	0,1	
	4.5	A/B	440	0,2	
5	5.1	A	3252	1,6	1,7
	5.2	Y	2748	1,4	
	5.3	A	3068	1,6	
	5.4	A	3721	1,9	
	5.5	Y	3591	1,8	

Tabela.2b. Wyniki badania przyczepności
Table 2b. The results of adhesion tests

Nr punktu planu eksperymentu	Nr pomiaru	Model rozrywania	Siła odrywająca próbkę, N	Przyczepność, N/mm ²	Wartość średnia przyczepności, N/mm ²
6	6.1	A	3953	1,9	2,1
	6.2	A	3801	1,9	
	6.3	A	5581	2,7	
	6.4	A	3922	1,9	
	6.5	A	4233	2,1	

7	7.1	A : A/B 40% : 60%	3800	1,9	1,5
	7.2	A	3560	1,8	
	7.3	A	3460	1,7	
	7.4	A/B	2180	1,1	
	7.5	A/B	1870	0,9	
8	8.1	Y	2649	1,4	2,0
	8.2	A	4160	2,0	
	8.3	A	3690	1,8	
	8.4	A	3930	1,9	
	8.5	A	4680	2,3	
9	9.1	A	3720	1,8	1,9
	9.2	A	3906	1,9	
	9.3	A	3850	1,9	
	9.4	A	3957	2,0	
	9.5	Y	2826	1,4	
10	10.1	A	4970	2,4	1,7
	10.2	A : A/B 70% : 30%	2700	1,4	
	10.3	A : A/B 10% : 90%	3330	1,7	
	10.4	Y	4290	2,2	
	10.5	A	3200	1,6	

Wartość średnia przyczepności w tych punktach jest zbliżona i wynosi odpowiednio 1,5 MPa oraz 1,7 MPa. Z kolei dla próbek charakteryzujących czwarty punkt planu eksperymentu występuje tylko adhezyjny (Rys. 2 model A/B) model odrywania, wyrażający rzeczywistą przyczepność systemu naprawczego do podłoża betonowego, która w przypadku badanych próbek wynosiła 0,2 MPa. Wyniki uzyskane dla próbek, których skład określono w punktach 7, 10 oraz 4 planu eksperymentu można tłumaczyć niewłaściwą konsystencją stosowanej tutaj zaprawy naprawczej. Wymienione trzy punkty opisane są przez taki skład zaprawy, dla którego występuje najwyższa zawartość kruszywa (dla punktów 7 i 8 $Z/K=0,18$, a dla punktu 4 $Z/K = 0,14$). Zbyt mała urabialność zaprawy spowodowała niecałkowite wypełnienie przez nią nierówności powierzchni, a tym samym spadek przyczepności. Przeprowadzony test wytrzymałości na odrywanie pokazuje, że dodatek modyfikatora w postaci glikolizatu PET, nie wpływa istotnie na zmianę przyczepności zaprawy do podłoża betonowego. Wydaje się, że dla uzyskania pełnego obrazu zależności pomiędzy zastosowanym dodatkiem modyfikatora a wartością przyczepności, konieczne jest przeprowadzenie dodatkowych badań z wykorzystaniem podłoża betonowego o znacznie wyższych wartościach wytrzymałości na ściskanie, tj. takich, których wartości są porównywalne (lub nawet wyższe) niż cechy wytrzymałościowe badanej zaprawy. Dodatkowe polepszenie przyczepności można byłoby uzyskać wykorzystując inne metody obróbki powierzchniowej niż zastosowane podczas badania wyczyszczenie powierzchni próbek szczotką drucianą (np. czyszczenie

strumieniem wody o niskim ciśnieniu, piaskowanie) przed przystąpieniem do układania warstwy naprawczej.

Na podstawie przeprowadzonych badań przyczepności można stwierdzić, że badana zaprawa epoksydowa charakteryzująca się stosunkiem żywicy do kruszywa $Z/K > 0,18$ spełnia wymagania normowe dla napraw konstrukcyjnych klasy R3 oraz napraw niekonstrukcyjnych. Z powodzeniem może być także stosowana w obydwu typach napraw prowadzonych na placu budowy.

5. PODSUMOWANIE

Modyfikowana glikolizatem PET zaprawa epoksydowa charakteryzuje się dobrą przyczepnością do podłoża betonowego, a jednocześnie spełnia wysokie wymagania stawiane produktom używanym do napraw, a więc takich, które powinny cechować bardzo dobra wytrzymałość na zginanie i ściskanie, niska absorpcja wody oraz bardzo dobra odporność chemiczna. Agregacja tych cech uzasadnia postawioną na wstępie tezę, że zaprojektowane i przebadane kompozyty mogą być skutecznie i trwale stosowane jako materiały naprawcze, bądź chroniące przed korozją.

Badania były częściowo finansowane ze środków przeznaczonych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego na naukę w latach 2010-2013 (projekt badawczy nr N N506 194338).

6. LITERATURA

- [1] Czarnecki L., Betony polimerowe, Cement-Wapno-Beton, nr 2/2010, s. 63-85.
- [2] Dębska B., Lichołai L., Badanie możliwości wykorzystania modyfikowanych zapraw epoksydowych w procesach naprawczych betonów. Cz. 1. Oznaczanie właściwości wytrzymałościowych, absorpcji wody oraz odporności chemicznej, zgłoszono na Konferencję Solina 2012.
- [3] Hop T., Betony polimerowe, t.1, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 1992.

STUDY OF THE USE OF MODIFIED EPOXY MORTARS IN REPAIR PROCESS OF CONCRETE PART 2. ADHESION TEST

SUMMARY

The first part of thesis presents methods of obtaining of epoxy mortars modified by waste poly (ethylene terephthalate) (PET) glykolysate and their properties such as flexural strength and compressive strength, water absorption and chemical resistance. This article discusses the results of another very important feature - which is the adhesion of mortar repair material to the material being repaired. The results of the study confirmed that the resulting composites can be used as materials for concrete repair and protection against corrosion.

Aleksandra DRYGAŁA, dr inż.

Politechnika Śląska

Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, Zakład Technologii Procesów

Materiałowych, Zarządzania i Technik Komputerowych w Materiałoznawstwie

ul. Konarskiego 18A, 44-100 Gliwice

e-mail: aleksandra.drygala@polsl.pl

TEKSTUROWANIE POWIERZCHNI KRZEMU POLIKRYSTALICZNEGO Z WYKORZYSTANIEM LASERA Nd:YAG

STRESZCZENIE

Podstawowym celem badań i rozwoju fotowoltaiki jest zwiększenie sprawności ogniw słonecznych. Straty spowodowane odbiciem promieniowania słonecznego od przedniej powierzchni ogniw sprawiają, że na świecie prowadzi się intensywne badania nad jego zmniejszeniem. Przypadkowy rozkład orientacji krystalograficznej ziaren w krzemie polikrystalicznym powoduje trudności w wytworzeniu jednorodnej tekstury na całej jego powierzchni, a zastosowanie techniki laserowej jest jedną z najbardziej obiecujących metod teksturowania powierzchni krzemu polikrystalicznego.

1. WPROWADZENIE

Przetwarzanie promieniowania słonecznego na energię elektryczną zależy od szeregu czynników, które ograniczają wydajność ogniw słonecznych. Do jednych z najistotniejszych mechanizmów ograniczających sprawność konwersji fotowoltaicznej należą straty związane ze współczynnikiem odbicia światła. Część padającego promieniowania zostaje stracona wskutek odbicia przez przednią powierzchnię ogniwa słonecznego. Jest to spowodowane różnicą współczynników załamania światła w powietrzu i półprzewodniku. Straty związane z odbiciem padającego promieniowania można znacznie zredukować przez zastosowanie warstwy przeciwo odbiciowej i teksturowanie powierzchni ogniwa fotowoltaicznego, które umożliwia ponowną absorpcję promieniowania odbitego [1,2].

Laserowe techniki należą do jednych z najbardziej obiecujących i efektywnych dla zapewnienia rozwoju w wielu gałęziach przemysłu. Cechy obróbki laserowej takie jak bezkontaktowość, selektywność oraz możliwość pełnej automatyzacji, pozwalają na precyzyjną obróbkę wybranych fragmentów podłoża, przy dokładnej regulowanej głębokości i szerokości [3,4]. W niniejszej pracy rozszerzono zastosowanie laserowej obróbki powierzchniowej

o wyniki laserowego teksturowania powierzchni krzemu dla zastosowań fotowoltaicznych – priorytetowego kierunku w dobie globalnego zanieczyszczenia środowiska naturalnego i wyczerpujących się zasobów konwencjonalnych źródeł energii.

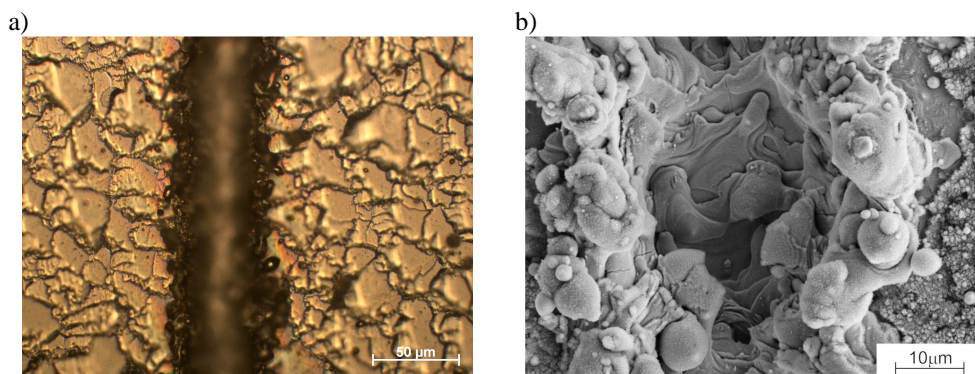
2. METODYKA BADAŃ

Badania wykonano na płytkach z krzemu polikrystalicznego domieszkowanego borem o powierzchni 50 x 50 mm, grubości ~330 μm . Laserowe teksturowanie powierzchni krzemu zrealizowano przy użyciu systemu laserowego Allprint DN 50A, w którym źródłem promieniowania jest laser ze stałym ośrodkiem czynnym - kryształem granatu itrowo-aluminiowego domieszkowanego jonami neodymu (Nd:YAG). Wykonano laserową teksturę odpowiadającą siatce rowków z odstępami między nimi 90 μm i prędkością skanowania wiązki laserowej 80 mm/s.

Badanie topografii powierzchni krzemu po obróbce laserowej wykonano w skaningowym mikroskopie elektronowym ZEISS SUPRA 25. Badania metalograficzne tekstur i rowków wykonano na mikroskopie świetlnym LEICA MEF4A wyposażonym w komputerowy system analizy obrazu.

3. WYNIKI BADAŃ

W celu wykonania laserowego teksturowania powierzchni krzemu w pierwszej kolejności dokonano doboru warunków obróbki laserowej. Obróbka laserowa w trybie pracy ciągłej sprawia, że moc wyjściowa lasera jest zbyt mała, by zagwarantować efektywne kształtowanie powierzchni krzemu. Dla tego trybu pracy stwierdzono jedynie niewielkie zmiany powierzchni poddanej obróbce. Z tego względu dalsze badania wykonywano w trybie pracy pulsacyjnej.



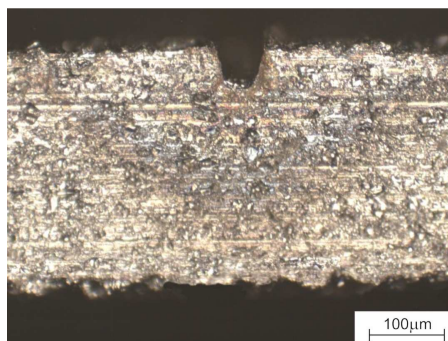
Rys. 1. Ścieżka laserowa wykonana z prędkością skanowania wiązki laserowej 80 mm/s
a) mikroskop świetlny b) SEM

Fig. 1. Laser groove obtained for speed of laser beam 80 mm/s a) light microscope b) SEM

Wyniki badań topografii powierzchni wykazują występowanie zagłębienia usytuowanego wzdłuż osi oddziaływania wiązki laserowej oraz wypływek położonych symetrycznie

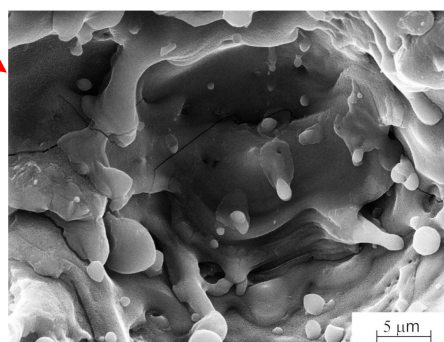
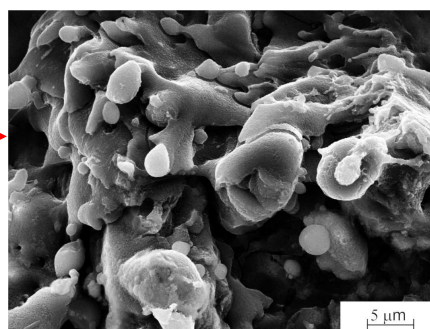
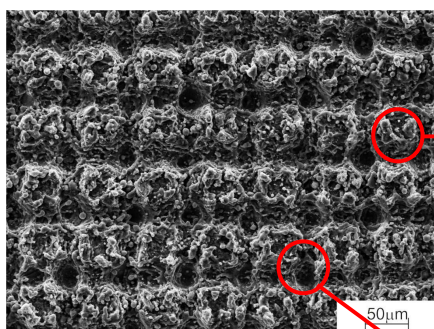
wzdłuż obu brzegów rowka (rys. 1). Wysokość wypływki zwiększa się wraz ze zmniejszeniem prędkości skanowania wiązki laserowej. Ciepło przekazywane do materiału przez impuls laserowy podczas mikroobróbki powoduje powstawanie tzw. strefy oddziaływania cieplnego (z ang. HAZ - Heat Affected Zone) (rys. 2).

Na całej laserowo teksturowanej powierzchni znajduje się warstwa uszkodzonego materiału powstała w wyniku kondensacji fazy ciekło-gazowej występującej w trakcie obróbki laserowej (rys. 3).



Rys. 2. Przekrój poprzeczny rowka wykonanego z prędkością skanowania wiązki laserowej 50 mm/s przy średnicy przysłony 1,1 mm,

Fig. 2. Cross-section of groove obtained by speed of laser beam $v=50\text{mm/s}$, diameter of the aperture 1,1 mm



Rys. 3. Topografia laserowo teksturowanej powierzchni krzemu polikrystalicznego (SEM)

Fig. 3. Topography of laser textured surface of polycrystalline silicon (SEM)

Część stopionego materiału ulega ponownej krystalizacji w postaci kropeł o różnych rozmiarach umiejscowionych wewnątrz rowków, w wypływkach i obszarach

między rowkami. W przypadku tekstury odpowiadającej głębokim rowkom występuje ich wtórne zalanie przez roztopiony i niecałkowicie odparowany materiał.

4. WNIOSKI

W ramach niniejszej pracy zbadano możliwość zastosowania obróbki laserowej do teksturowania powierzchni krzemu polikrystalicznego. Wytworzone zagłębienia są wtórnie zalewane stopionym i nie w pełni odparowanym materiałem. Obszary między wypływkami sąsiadnych rowków są pokryte zakrzepłym materiałem, który został wyrzucony z zagłębienia oraz osadzonymi z fazy gazowej produktami wydobywającymi się podczas odparowania materiału na zewnątrz rowka. Uszkodzenia występujące w warstwie wierzchniej krzemu w postaci mikropęknięć i mikroszczelin spowodowane są naprężeniami cieplnymi związanymi ze zbyt dużą szybkością nagrzewania i chłodzenia podczas obróbki laserowej. Laserowa obróbka powierzchni krzemu stanowi ciekawą alternatywę w porównaniu z chemicznymi i elektrochemicznymi metodami teksturowania stwarzając możliwość precyzyjnej obróbki jednak znajdujące się na powierzchni uszkodzenia wytworzone w wyniku obróbki muszą być usunięte w celu otrzymania dobrych własności elektrycznych ogniw fotowoltaicznych, co można osiągnąć przez chemiczne trawienie.

5. PODZIĘKOWANIA

Praca częściowo realizowana jest w ramach projektu NN 508 444 136 finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki. Autor pragnie podziękować firmie Printy Poland, a w szczególności Panu Prezesowi J. Kurzacowi za możliwość wykonania obróbki laserowej.

6. LITERATURA

- [1] Goetzberger A., Hoffmann V.U., Photovoltaic solar energy generation, Springer, Berlin, 2005.
- [2] Li, M. Chong, L. Yang, J. Xu, X. Duan, M. Gao, F. Wang, A new technique for boosting efficiency of silicon solar cells, Solar Energy Materials and Solar Cells, 86(4) (2005) 585-591.
- [3] M. Allmen, A. Blatter, "Laser-beam interactions with materials: physical principles and applications", Springer Verlag, Berlin, 1998.
- [4] Dobrzański L.A., Drygała A., Gołombek K., Panek P., Bielańska E., Zięba P., Laser surface treatment of multicrystalline silicon for enhancing optical properties, Journal of Materials Processing Technology, 201(1-3) (2008) 291-296.

TEXTURING OF POLYCRYSTALLINE SILICON SURFACE USING Nd:YAG LASER

SUMMARY

The present study investigated the possibility of laser treatment for surface texturing of polycrystalline silicon. Laser surface treatment of silicon is an interesting alternative in comparison with the chemical and electrochemical methods texturing, making it possible precision machining on the surface however damages caused by the treatment must be removed in order to obtain good electrical properties of photovoltaic cells, which can be achieved by chemical etching.

Iwona DUDZIK, dr

Państwowa Wyższa Szkoła Techniczno-Ekonomiczna
Zakład Nauk Społecznych
ul. Czarnieckiego 16, 37-500 Jarosław
e-mail: iwona.dudzik@op.pl

CZASY BURMISTRZOSTWA DRA ADOLFA DIETZIUSA 1891-1919

STRESZCZENIE

W artykule opisano rozwój miasta Jarosławia za czasów burmistrzostwa dra Adolfa Dietziusa. Zwrócono uwagę, iż za jego kadencji, po prawie stuletniej przerwie otwarto gimnazjum oraz szkołę realną. Wybudowany został m.in. okazały gmach „Sokoła”, budynki Straży Ogniowej, Dyrekcji Skarbu, poczty, starostwa i bursy szkolnej. Powstały nowe ulice: Poniatowskiego, Królowej Jadwigi, Kraszewskiego, Kościuszki, Głowackiego i Raclawicka. Budowano nowe i remontowano stare studnie publiczne i rozbudowano miejską sieć kanalizacyjną. W 1900 roku założono park miejski na Olszanówce, a w 1902 roku wybudowano miejski szpital powszechny. Za jego rządów powstały również: szkoła realna, prywatne kursy seminaryjne, Prywatne Gimnazjum Żeńskie, Szkoła Rzemiosł Budowlanych, szkoła muzyczna przy Towarzystwie Muzycznym im. Chopina.

1. WPROWADZENIE

Na rozwój przestrzenny miast Galicji, w tym Jarosławia (jednego z drugorzędnych miast, które miało tak świetną przeszłość),¹ miały pozytywny wpływ dwa podstawowe czynniki: po pierwsze autonomia na płaszczyźnie państwa koronnego, po drugie zaś autonomia na płaszczyźnie gmin, wynikająca z Ustawy gminnej, uchwalonej 5 marca 1862 roku. Systematyczny rozwój grodu nad Sanem obserwujemy więc dopiero po połowie XIX wieku, kiedy to w wyniku reform administracyjnych w monarchii habsburskiej miasto otrzymało status powiatu, natomiast w 1867 roku własny samorząd. Apogeum tego procesu przypada na lata, kiedy urząd burmistrza objął dr Adolf Dietzius – człowiek charyzmatyczny i przedsiębiorczy, filantrop i społecznik. To dzięki jego energii,

¹ J. S. Zubrzycki, *Miasto Jarosław i jego zabytki*, Czcionkami Drukarni Uniwersytetu Jagiellońskiego pod zarządem Józefa Filipowskiego, Kraków 1903, s. 1.

zaangażowaniu i niezłomności Jarosław piękniał i rozrastał się, dotrzymując kroku innym miastom galicyjskim. Okres jego burmistrzostwa to czas, w którym gród nad Sanem z małego miasteczka przeistacza się w miasto na wskroś nowoczesne, projektowane z rozmachem i świadomością, pełne budowli będących recepcją kosmopolitycznych wzorów o rodowodzie metropolitarnym.

2. PIERWSZE DZIESIĘCIOLECIE BURMISTRZOSTWA DRA ADOLFA DIETZIUSA

Z chwilą objęcia rządów nad Jarosławiem przez burmistrza dra Adolfa Dietziusa, rozpoczyna się dla miasta nowa era jego życia samorządowego. Zadaniem nowej reprezentacji miejskiej była rozbudowa samorządu miejskiego, która zbiegła się z rozwojem i rozbudową miasta, a która wywołana była potrzebą tworzenia nowych instytucji miejskich dla popierania rozwoju miasta i nowych gałęzi gospodarstwa społecznego.² Tak więc na podstawie uchwały z 11 kwietnia 1892³ roku Jarosław został podzielony na cztery dzielnice: Śródmieście, Krakowskie, Głębockie i Leżajskie. Na ówczesne czasy Śródmieście ze względu na swoje położenie, rozkład placów i ulic, jak również zabytki budownictwa z początku wieków nowożytnych stanowiło typ grodu średniowiecznego. Pomimo tego, iż z rozkazu rządu austriackiego zburzone zostały bramy, baszty i mury miejskie, pozostały naturalne podstawy grodu, czyli położenie na wzgórzu w zamkniętej przestrzeni, która ograniczona była ulicami: Zwierzyniecką, Panieńską, Pełkińską, Lubelską oraz Placem Mickiewicza. Środek Śródmieścia zajmował rynek, który otoczony był jedno i dwupiętrowymi kamienicami, na środku którego wznosił się ratusz. Rozszerzeniem rynku w kierunku zachodnim był Plac św. Michała, który mieścił niegdyś kolegiatę Wszystkich Świętych. Kamienice, które otaczały rynek od strony południowej i wschodniej posiadały jeszcze wiele cech dawnego budownictwa, jednak tylko kamienica Orsettich zachowała zewnętrznie w całości wygląd polskiej kamienicy renesansowej z końca XVI wieku. Ulice Śródmieścia były krótkie i wąskie, jedne były drogami dojazdowymi, inne stanowiły pierścień, biegnący w sąsiedztwie dawnych murów miasta, a inne z kolei stanowiły łącznice między rynkiem, a zewnętrznym pierścieniem ulic. Z kolei Dzielnica Krakowska obejmowała zachodnią część miasta, ciągnącą się od ulicy Pełkińskiej, Lubelskiej i Placu Mickiewicza, aż po tor kolejowy poza kościół i klasztor OO. Dominikanów. Przejście ze Śródmieścia w Dzielnicę Krakowską otwierał Plac Mickiewicza, który od wschodu otoczony był kamienicami Śródmieścia, od północy dwoma kamienicami sąsiadującymi z kościołem św. Ducha, od zachodu piętrowym budynkiem „Hotelu Warszawskiego”, a od południa kamienicą „Dom Ubogich” oraz parterowymi domkami. Dzielnica Głębocka zaś rozciągała się w południowej stronie miasta i oddzielona była od Śródmieścia Placem Mickiewicza i ulicą Fredry, a od Dzielnicy

² A. Wondaś, *Szkice do dziejów Jarosławia. Upadek Jarosławia pod rządami austriackimi 1773-1818*, t. 1, Nakładem Muzeum miejskiego w Jarosławiu, Jarosław 1934, s. 31-32.

³ Zbiory Muzeum Regionalnego Kamienica Orsettich w Jarosławiu, Akta Miasta Jarosławia, *Księga Uchwał Rady Komunalnej*, sygn. 18, *Uchwała z dnia 11 kwietnia 1892 r. – Wniosek magistratu podziału miasta na rejony ogniowe [dzielnice]*, s. 261-264.

Pelkińskiej ulicą Zamkową. Natomiast Dzielnica Leżajska obejmowała wschodnią i północną część miasta⁴.



Fot. 1. Rynek, zbiory Muzeum Kamienica Orsettich w Jarosławiu, sygn. MJF/B 2752.
Photo 1. Market square, collection of the Kamienica Orsettich Museum in Jarosław, reg. no. MJF/B 2752.

Należy zaznaczyć, iż Dietzius był zwolennikiem prowadzenia przedsiębiorstw oraz budowli miejskich w takich rozmiarach, jakie odpowiadały zasobom miasta, czyli w wysokości posiadanej gotówki. Nie ustawał jednocześnie w staraniach o nowe urzędy państwowe, rozbudowę sieci szkół ludowych i wydziałowych miejskich, pozyskania dla miasta nowych średnich szkół państwowych oraz prywatnych. I tak Rada miejska uchwałą z 19 września 1892⁵ roku postanowiła utworzyć drugą męską szkołę ludową. Szkoła ta została zorganizowana w ciągu roku 1893/94. Z początkiem roku szkolnego 1894/95 umieszczona ona została w budynku Strażnicy Miejskiej⁶. W następnym roku 1895 uchwaliła Rada kreować na rok szkolny 1895/96 dwie nowe szkoły czteroklasowe – męską i żeńską, jak również zamienić jedną szkołę męską i jedną szkołę żeńską na wydziałowe. Po otwarciu tych nowych szkół nadał Zarząd miasta nazwy wszystkim szkołom ludowym: ośmioklasowa szkoła żeńska otrzymała nazwę św. Jadwigi, sześcioklasowa męska – szkoły im. P. Skargi, czteroklasowa żeńska – szkoły im. św. Kingi, czteroklasowa męska – szkoły im. A. Mickiewicza, druga czteroklasowa męska – szkoły im. St. Konarskiego, a dwuklasowa szkoła na Przedmieściu Dolno-leżajskim – szkoły im. St. Staszica. Należy zwrócić uwagę jeszcze na fakt, iż w ówczesnym czasie miejskie budynki szkół ludowych

⁴ A. Wondaś, *Szkice...*, dz. cyt., s. 41-55.

⁵ Zbiory Muzeum Regionalnego Kamienica Orsettich w Jarosławiu, Akta Miasta Jarosławia, *Księga Uchwał Rady Komunalnej*, sygn. 18, *Uchwała z dnia 19 września 1892 r. – Uchwałą magistratu dotycząca sprawy utworzenia drugiej IV kl. szkoły etat. miejskiej w Jarosławiu*, s. 333.

⁶ A. Wondaś, *Szkice...*, dz. cyt., s. 59-60.

nie były w stanie pomieścić szybko tworzących się nowych oddziałów zarówno szkół męskich, jak i żeńskich, w wyniku czego Rada miejska w 1899 roku uchwaliła budowę gmachu szkolnego z przeznaczeniem na pomieszczenia dwóch miejskich szkół ludowych w mieście, jak również dobudowę dwóch sal na pomieszczenia szkoły im. St. Staszica na Przedmieściu Dolno-leżajskim. Postanowiono również przekształcić czteroklasową szkołę żeńską im. św. Kingi na pięcioklasową szkołę wydziałową, natomiast dwuklasową szkołę im. St. Staszica na czteroklasową. Z uwagi na duży napływ młodzieży do szkół Zarząd miasta w 1901 roku został zmuszony do przeprowadzenia podziału szkoły im. św. Jadwigi na dwie, a mianowicie wieloklasową wydziałową im. św. Jadwigi oraz czteroklasową ludową, której nadano nazwę szkoły im. A. ks. Ostrogskiej, którą niebawem również przekształcono na wydziałową. W dalszej kolejności, kosztem 102.060 koron, w 1900 roku miasto wzniosło kolejny dwupiętrowy budynek szkolny przy ulicy Kraszewskiego, w którym umieściło szkołę męską im. Konarskiego, jak również szkołę żeńską im. A. ks. Ostrogskiej. Jednocześnie przeniesienie szkoły Konarskiego i Ostrogskiej do nowego budynku szkolnego zamyka pierwszy okres wzrostu i rozwoju szkolnictwa ludowego w Jarosławiu.⁷

Dietzius ma również niezaprzeczalne zasługi pod względem rozbudowy szkolnictwa miejskiego, jak również starań o nowe szkoły państwowe. Sam zaś Jarosław w ówczesnym czasie ze względu na koszty ponoszone na rzecz szkolnictwa ludowego i oświaty stawiany był w pierwszym rzędzie z trzydziestu większych miast galicyjskich. Dzięki staraniom Dietziusa oraz Rady miejskiej, jak również świadczeniom finansowym ze strony miasta Jarosław zawdzięcza pozyskanie szkoły realnej (o której utworzenie Zarząd miasta rozpoczął starania w 1896 roku) oraz szkoły rzemiosł budowlanych. Należy podkreślić, iż Ministerstwo Oświaty wyrażało zgodę na założenie szkoły realnej w Jarosławiu, jednak domagało się wysokich świadczeń finansowych miasta na rzecz mającej powstać szkoły średniej. W wyniku ugody miasto zakupiło i oddało pod budowę szkoły parcelę za kwotę 7000 zł. przy ulicy Św. Ducha. W tym miejscu wybudowano okazały gmach szkoły realnej, który w 1901 roku został oddany do użytku młodzieży.⁸

Dzięki poparciu finansowemu w mieście rozwijały się również prywatne zakłady naukowe, takie jak: prywatne kursy seminarialne, prywatne gimnazjum żeńskie im. J. Słowackiego i prywatna szkoła muzyczna przy Towarzystwie Muzycznym im. F. Szopena. W 1900 roku miasto założyło duży park miejski na Olszanówce, a w 1905 roku podjęło plany kanalizacji całego miasta, natomiast w 1912 roku budowy wodociągów. Niestety nie spieszo się z wykonaniem tych planów, a wojna całkowicie udaremniła przeprowadzenie tych robót inwestycyjnych. Należy również wspomnieć o wzniesionym kosztem 270.000 koron gmachu Szpitala Powszechnego oraz zaopatrzenie go w odpowiednie urządzenia wewnętrzne i oddanie Wydziałowi Krajowemu na użytek ludności całego kraju. Natomiast w 1892 roku miasto dobudowało drugie piętro w budynku Koszar Obrony Krajowej i jednocześnie przystąpiło do budowy gmachu Dyrekcji Skarbu we własnym zarządzie. Na ten cel zaciągnęło pożyczkę w Banku krajowym w wysokości 60.000 zł. Budowę przeprowadzono w ciągu 1893 i 1894 roku, a faktyczne koszty owej inwestycji opiewały na

⁷ Tamże, s. 86-88.

⁸ Tamże, s. 90-91.

kwotę 65.274 zł. Należy wspomnieć, iż po wybudowaniu gmachu Dyrekcji Skarbu Zarząd miasta nie podjął się już budowy kolejnych gmachów na cele pomieszczenia urzędów państwowych. Zajął się natomiast odnawianiem, przebudową oraz powiększaniem starych budowli miejskich, jak też budową gmachów i przedsiębiorstw użyteczności publicznej. Tak więc w 1893 roku ukończono budowę Strażnicy Miejskiej, jednak już w dwa lata po ukończeniu przedsięwzięcia miasto zmuszone było do rekonstrukcji budowli, ze względu na wady w budowie stropów. Po zakończeniu prac Rada miejska postanowiła przeznaczyć ów budynek na szkołę ludową męską. Zestawienie całkowitych kosztów budowy oraz rekonstrukcji budynku wyniosły 48.273 zł. 61 ct, a. w. Po przebudowaniu strażnicy przystąpiono między innymi do przebudowy ratusza, przebudowy kamienicy miejskiej im. św. Kingi mieszczącej się w rynku na pomieszczenia szkoły żeńskiej oraz do budowy bazaru na Placu św. Michała. Tak więc ratusz miał być tak przebudowany, aby stylistycznie odpowiadał kamienicy Orsettich oraz aby mógł pomieścić biura miejskie. Po przedłożeniu planów z 28 marca 1896 roku przyjęto plan inż. Dolińskiego rekonstrukcji gmachu w stylu odrodzenia, samo zaś wykonanie budowy powierzono Kaz. Kotłowskiemu, który był kierownikiem Urzędu Budownictwa Miejskiego.⁹

Autorka pozwoliła sobie przytoczyć w części uchwałę Rady miejskiej z 28 marca 1896 roku:

„Rada miejska zgodnie z postanowieniem magistratu:

I przyjąć i zatwierdzić przedłożony przez p. Kazimierza Kotłowskiego w lutym [1]896 projekt na odnowienie fasady ratusza i na budowę wieży ratuszowej z następującymi zmianami:

- 1) przy wymiarach fasady parteru, pierwszego i drugiego piętra należy się trzymać planu architektury p. Dolińskiego i
- 2) trzpień należy o [nieczytelne słowo] balkonu licząc obniżyć;
- 3) wyższą część należy nieco zwęzić”.¹⁰

Za sumę 26.187 zł. 92 ct. dobudowane zostało trzecie piętro gmachu, nadbudowano również wieżę i umieszczono na niej zegar oraz dostosowano górne części i ozdoby budynku do tak zwanego Starego Zamku (kamienicy Orsettich). W dalszej kolejności Rada uchwałała budowę aresztów miejskich przy ratuszu oraz za kwotę 15.000 zł., budowę drewnianego bazaru na Placu św. Michała. Można zatem stwierdzić, iż wszystkie wykonane w pierwszym sześcioleciu burmistrzostwa Dietziusa roboty inwestycyjne miały charakter gospodarczy, natomiast w kolejnym użyteczności publicznej.¹¹

⁹ Tamże, s. 59-61.

¹⁰ Zbiory Muzeum Regionalnego Kamienica Orsettich w Jarosławiu, Akta Miasta Jarosławia, *Księga Uchwał Rady Komunalnej*, sygn. 19, *Uchwała z dnia 28 marca 1896 r.*, s. 215.

¹¹ A. Wondaś, *Szkice...*, dz. cyt., s. 92-98.



Fot. 2. Pomnik św. Michała i ratusz, zbiory Muzeum Kamienica Orsettich w Jarosławiu, sygn. MJF/B 2797.

Photo 2. Monument of St. Michael and the Town Hall, collection of the Kamienica Orsettich Museum in Jarosław, reg. no. MJF/B 2797.

W dalszej kolejności, zgodnie z przyjętym w 1898 roku planem robót inwestycyjnych, Zarząd miasta wykonał w latach 1899/90 budowę gmachu przy ulicy Kraszewskiego z przeznaczeniem na pomieszczenia miejskich szkół ludowych, a w latach 1901/02 budowę już wyżej wspomnianego Szpitala Powszechnego oraz budowę Gazowni Miejskiej. Na posiedzeniu Rady w dniu 24 lutego 1898 roku myśl założenia szpitala wysunął Dr Wł. Jahl. Owa propozycja została przyjęta i uchwalono budowę szpitala o nazwie Szpital Powszechny im. ces. Franc. Józefa I. Pod budowę owego obiektu miasto zakupiło 3-morgowy teren przy ulicy 3 Maja i wzniosło na nim piętrowy budynek szpitalny wraz z pawilonem dla chorób zakaźnych, budynkiem administracyjnym i gospodarczym za kwotę przeszło 200.000 koron. Następne 70.000 koron przeznaczyło miasto na wyposażenie i urządzenie wewnątrz. W dniu 31 maja 1902 roku Rada uchwaliła akt fundacyjny szpitala, na w 1903 roku oddała cały kompleks budynków szpitalnych wraz z urządzeniem wewnętrznym na własność kraju i użytek ludności całej Galicji Wydziałowi Krajowemu. Natomiast pod budowę Gazowni Miejskiej miasto zakupiło grunt w Dzielnicy Leżajskiej przy ulicy Zamkowej i na nim wybudowało piętrowy budynek administracyjny, halę fabryczną oraz budynki gospodarcze. Pożyczkę na całe przedsięwzięcie w wysokości 200.000 koron udzielił Wydział Krajowy. Jednak cały koszt budowy gazowni, wewnętrznego jej urządzenia i sieci oświetlenia gazowego zamknął się w kwocie 298.281 k. 5 h.¹²

¹² Tamże, s. 98-100.

3. DRUGIE DZIESIĘCIOLECIE BURMISTRZOSTWA DRA ADOLFA DIETZIUSA

Drugie dziesięciolecie burmistrzostwa dra Adolfa Dietziusa, trwające od 1901 do 1911 roku można śmiało nazwać okresem dobrobytu oraz gromadzenia funduszy z uwagi na stały wzrost dochodów miasta, jak też przeznaczanie nadwyżek kasowych na powiększenie funduszy, które pozostawały pod bezpośrednim zarządem, nadzorem i opieką miasta. Jednak pomimo bardzo dobrego stanu finansów miejskich po 1902 roku nastąpił kilkuletni zastój w miejskich pracach inwestycyjnych. Zarząd miasta przez pięć kolejnych lat nie podjął żadnych większych prac inwestycyjnych, lecz tylko wykańczał, uzupełniał i rozszerzał istniejące już przedsiębiorstwa miejskie. I tak wykończył budowę gazowni, dworca materiałowego, pawilonu i domu ogrodnika przy parku na Olszanówce, przeprowadził rozszerzenie sieci oświetlenia gazowego na przedmieście Górno-leżajskie, na ulicy Kościuszki i do dworca kolejowego. W dalszej kolejności przeprowadzono brukowanie ulicy Krakowskiej, założono chodniki przy ulicy Kraszewskiego, Kościuszki i Pełkińskiej, wybudowano kilka nowych studzien, budowano i naprawiano drogi w mieście i na przedmieściach. Niestety w wyniku pewnego niezdecydowania Zarządu miasta gmina straciła możliwość rozszerzenia Koszar Obrony Krajowej, a budowa Koszar Kawalerii dostała się w ręce prywatnego przedsiębiorcy, jak również zaprzepaszczona została możliwość odzyskania na rzecz gminy koszar i kościoła św. Anny.¹³

Po 1907 roku w dziedzinie prac inwestycyjnych miejskich nastąpiło pewne ożywienie, co było następstwem wyboru dra Dietziusa na posła do parlamentu austriackiego. Bardzo dobry stan finansów miasta skłonił burmistrza do podjęcia nowych planów rozbudowy miasta oraz tworzenia przedsiębiorstw miejskich. Tak więc końcowe lata drugiego dziesięciolecia burmistrzostwa dra Adolfa Dietziusa zaznaczyły się ponownie wydatną i ożywioną działalnością inwestycyjno-gospodarczą. W 1908 roku Rada przyjęła plan rozszerzenia ratusza przez dobudowę skrzydła od strony zachodniej, aby uzyskać w ten sposób szereg ubikacji na pomieszczenie miejskiej Kasy Oszczędności i biur Magistratu. Powrócono tym samym do zarzuconej w 1899 roku myśli, a urząd budownictwa miejskiego pod kierunkiem inż. Stobieckiego w 1909 roku kosztem 54.000 koron wybudował skrzydło ratusza, zachowując przy tym jednocześnie wszelkie cechy i formy architektoniczne przebudowanego w 1896 roku ratusza.¹⁴

Rozbudowa szkolnictwa ludowego, która przeprowadzona została w ostatnich latach XIX wieku, tylko na pewien czas zaspokoila potrzeby w tej dziedzinie. Ludność Jarosławia w bardzo szybkim tempie wzrastała, co było powodem otwierania nowych klas przy istniejących już szkołach, a nawet wznoszenia nowych budynków. Dlatego w 1906 roku Rada miasta uchwaliła zorganizowanie osobnej nowej czteroklasowej szkoły męskiej, jak również rozszerzenie dwóch innych szkół miejskich. Nowo zorganizowanej szkole męskiej nadano nazwę szkoły im. T. Czackiego. Umieszczona ona została w parterowych, odpowiednio przebudowanych salach szkoły Król. Jadwigi. W 1908 roku przeprowadzono zamianę dwuklasowej szkoły im. Staszica na Przedmieściu Dolno-leżajskim na czteroklasową szkołę ludową oraz przekształcono czteroklasową szkołę im. A. Ks.

¹³ Tamże, s. 113-124.

¹⁴ Tamże, s. 131-132

Ostrogskiej na siedmioklasową szkołę wydziałową. Aby można było pomieścić młodzież w czteroklasowej szkole im. Staszica, Zarząd miasta przeprowadził przebudowę budynku szkolnego na Przedmieściu Dolno-leżajskim (dobudowano piętro), za sumę 25.000 koron. Natomiast dla pomieszczenia młodzieży żeńskiej zbudował przy ulicy 3 Maja okazały budynek szkolny, z centralnym ogrzewaniem za kwotę 200.000 koron. Do tego nowego budynku przeniesiono szkołę wydziałową im. Król. Jadwigi. Na miejsce zaś szkoły Król. Jadwigi, do budynku przy Placu Skargi, Zarząd miasta przeniósł szkołę im. A. Ks. Ostrogskiej, natomiast na jej miejsce w budynku przy ulicy Kraszewskiego umieścił szkołę im. Św. Kingi. Budynek po szkole Kingi został wydzierżawiony prywatnej szkole im. Fr. Szopena.¹⁵

4. JAROSŁAW PRZED WYBUCHEM I WOJNY ŚWIATOWEJ (1911-1914)

Przedwojenny okres w dziejach Jarosławia (1911-1914) był okresem rządów burmistrza dra Adolfa Dietziusa, który postanowił zająć się oraz w pełni poświęcić sprawom miasta. Gospodarka finansowa miasta w owym okresie była prowadzona wzorowo. Po zaciągnięciu w 1911 roku pożyczki na cele inwestycyjne w Banku Krajowym w kwocie 600.000 koron stabilizacji uległy prawie wszystkie pozycje budżetu, a dochody miasta w zupełności wystarczały na pokrycie wszystkich wydatków budżetowych, jak również na stale powiększanie funduszy miejskich, podejmowanie inwestycji, wspieranie towarzystw, związków i organizacji. Miasto posiadało prawdziwy dobrobyt, a fundusze miejskie, które lokowane były w różnych fundacjach wzrastały, a ich stan w momencie wybuchu wojny dochodził do sumy 1½ miliona koron w gotówce, jak i papierach wartościowych. Ze względu zatem na fakt, iż stan finansów miejskich był doskonały, Jarosław zaliczał się do tych niewielu miast galicyjskich, które posiadały gotówkę i nie obciążały podatkami gminnymi swoich mieszkańców. Przy tak dobrym stanie finansów miejskich można było między innymi wznosić monumentalne gmachy, ale i dbać o utrzymanie starych pamiątkowych budowli. Niestety niewłaściwa polityka finansowa Dietziusa jak i Zarządu miasta nie pozwoliły na odzyskanie na własność klasztoru i kościoła św. Anny oraz budynków przyklasztornych przy kościele św. Jana, nie przeprowadzono również kanalizacji i budowy sieci wodociągowej, nie ufundowano żadnej biblioteki publicznej, muzeum miejskiego, galerii obrazów. Zarząd miasta skupił się bowiem na gromadzeniu gotówki i umieszczaniu jej w papierach wartościowych, które w dalszej kolejności przemieniane na austriackie pożyczki wojenne, straciły swoją wartość, a co za tym idzie stosunkowo wielki majątek miejski został zmarnowany. Mimo to jednak doskonały stan finansów miejskich skłaniał Zarząd miasta do podejmowania wszelkiego rodzaju robót miejskich. W latach 1912-1913 miasto przeprowadziło budowę zejść schodowych konstrukcji kamiennej z ulicy Badeniego do ulicy Fredry i z ulicy Franciszkańskiej do ulicy 3 Maja, natomiast drewnianej konstrukcji z ulicy Tatarskiej do ulicy Podzamcze i do koszar Robinsohna. W wyniku tych robót połączone zostało Śródmieście z Dzielnicą Głęboką i Leżajską. W 1913 roku biuro budownictwa miejskiego przeprowadziło też brukowanie ulicy Słowackiego za sumę 80.000 koron. Dzięki temu

¹⁵ Tamże, s. 136-138.

ułatwiona została komunikacja miasta najkrótszą drogą ze stacją kolejową. Na koszty tej budowy złożyły się udziały wydziału w kwocie 60.000 koron oraz udział miasta w kwocie 20.000 koron. W tym też roku, po uzyskaniu pożyczki bezprocentowej w wysokości 135.000 koron, miasto wybudowało dwa magazyny amunicyjne przeznaczone dla wojska na gruntach w Pawłosiowie i przeniosło tam magazyny z Garbarzy, przyczyniło się to do rozbudowy tegoż przedmieścia. Zarząd miasta przeprowadził również poszerzenie sieci oświetlenia gazowego na ulice Kraszewskiego, Kilińskiego, Kościuszki, Raclawicką i Polną. Przystąpił tym samym do rozszerzenia gazowni przeznaczając na ten cel kwotę 75.000 koron, natomiast na inwestycje wewnątrz gazowni 70.000 koron. Wymienione inwestycje miały być pokryte z własnych dochodów gazowni. W latach 1907-1912 gmina miasta, ponosząc część kosztów, brała udział w budowie probostwa łacińskiego i ruskiego, jak też w odbudowie cerkwi oraz odrestaurowaniu kościoła św. Jana, fundując dla tych świątyń witraże (witraż św. Michała w kościele farnym oraz witraż Przemienienie Pańskie w cerkwi).¹⁶

Budowlą niemal sztandarową za czasów przedwojennego burmistrzostwa Dietziusa była miejska hala targowa. W czasach, kiedy Jarosław był ogniskiem wielkiego handlu, sprzedaż wszelkiego rodzaju towarów pochodzenia zarówno miejscowego, jak i obcego odbywała się w tak zwanych „Wiatach”, czyli miejscach przeznaczonych do wystawy towarów i ich sprzedaży. Jednak po przejściu Galicji pod panowanie austriackie, jak też opanowanie handlu przez Żydów, wystawy towarów zostały przeniesione do okien sklepów, które zwrócone były do ulic, jak również na stoły, stragany i kramy, które stawiane były na rynku, czy wolnych placach i przy zbiegu ulic. Tak więc w miejsce dawnego wielkiego handlu w Jarosławiu rozwinęło się kramikarstwo żydowskie i aby ten handel unormować, Zarząd miasta wyznaczył specjalne miejsca, w których wolno było stawiać kramy i stragany. Jednak owe zarządzenie nie zawsze było przestrzegane, w wyniku czego Zarząd miasta przystąpił do budowy miejskich bazarów kupieckich. Tak więc w 1899 roku miasto wybudowało drewniany bazar kupiecki na placu św. Michała i przystąpiło jednocześnie do wykupu domów na Małym Rynku. Jednak nowo wybudowany bazar nie był w stanie pomieścić wszystkich drobnych kupców, dlatego w 1908 roku Zarząd miasta podjął myśl budowy wielkiej Hali Targowej. W 1910 roku za kwotę 32.000 koron miasto nabyło grunt proboszczowski (był to grunt po dawnym budynku probostwa naprzeciw placu św. Michała, obok kamienicy Tumidajskich), a urząd burmistrzostwa miejskiego podjął się wykonać, a w dalszej kolejności wykonał i przedłożył Radzie projekt budowy Hali Targowej, biorąc za wzór konstrukcję Hali Targowej we Wrocławiu. W 1913 roku projekt został przyjęty przez Radę miasta, która powierzyła kierownictwo nad budową gmachu hali inż. H. Pohorylesowi. Na budowę hali, licząc i wartość gruntu, na którym halę wzniesiono, preliminowała Gmina kwotę 367.000 koron, faktycznie jednak koszt budowy hali wraz z urządzeniem wewnętrznym przekroczyły znacznie kwotę 500.000 koron, lecz miasto zyskało potężny gmach, do którego przeniosło

¹⁶ A. Wondaś, *Szkice do dziejów Jarosławia*, t. 2, Nakładem Muzeum miejskiego w Jarosławiu, Jarosław 1935, s. 3-10.

cały handel kramikarski z placów i ulic miasta. Hala zarządzeniem Rady miasta otrzymała nazwę „Miejska Wiata Targowa”.¹⁷

Warto wspomnieć, iż budowę Hali Targowej w Jarosławiu poprzedził konkurs, który rozpisany został przez Magistrat i ogłoszony m. in. na łamach „Nowej Gazety Jarosławskiej” w roku 1912. Treść ogłoszenia brzmiała następująco: „Konkurs na budowę bazaru na placu „na probostwie” rozpisuje Magistrat. Nagrody III w wysokości 2500 K. Warunki w biurze architektów we Lwowie i w Krakowie.”¹⁸ We Lwowie zaś ów konkurs ogłoszono za pośrednictwem Koła Polskich Architektów.

Prace konkursowe nadesłane miały być do dnia 10 marca 1912 roku.¹⁹ Na konkurs wpłynęło 16 projektów i już 4-ego kwietnia tegoż roku, wybrano zwycięskie plany. Pierwszą nagrodę otrzymała praca oznaczona nr 6- Rudolfa Marcusa i Henryka Zaremby ze Lwowa. Nagrodę drugą otrzymał również lwowianin – Jan Protschke, trzecią wyróżniono projekt nr 9 – nieznanego autora.²⁰ W zbiorach Archiwum Państwowego w Przemyślu zachował się projekt konkursowy Jana Protschke ze Lwowa, który jednak ze względu na monumentalną fasadę, nie został przeznaczony do realizacji.²¹



Fot. 3. Hala Targowa, zbiory Muzeum Kamienica Orsettich w Jarosławiu, sygn. MJF/A 2004.

Photo 3. Market Hall, collection of the Kamienica Orsettich Museum in Jarosław, reg. no. MJF/A 2004.

W 1914 roku Rada miasta Jarosławia wybudowała w parku na Olszanówce kort tenisowy, który jednak w 1915 roku w skutek działań wojennych uległ zniszczeniu, a po wojnie został całkowicie zniesiony. Rada miasta nabyła również obszar gruntu na Łazach

¹⁷ Tamże, s. 10-14.

¹⁸ *Kronika*, „Nowa Gazeta Jarosławska”, 1912, R. II, nr 2., s. 3.

¹⁹ *Sprawy bieżące*, CTL, R. XXX, 1912, nr 1, s. 14.

²⁰ *Sprawy bieżące*, CTL, R. XXX, 1912, nr 10, s. 145.

²¹ Zbiory Archiwum Państwowego w Przemyślu, *Akta Miasta Jarosławia*, sygn. 281.

z przeznaczeniem urządzenia w tym miejscu nowej targowicy na bydło, jednak w tych działaniach przeszkodził wybuch wojny. Również w tym okresie nie udało się doprowadzić do skutku budowy Sądu Obwodowego, bowiem mimo tego, iż w 1912 roku Ministerstwo robót publicznych zatwierdziło plany jego budowy, to jednak rząd nie przedstawił potrzebnej sumy na jego budowę do budżetu ani na 1913, ani 1914 rok. Kolejne starania Rady miejskiej u Koła Polskiego, jak i Namiestnictwa galicyjskiego oraz ministerstw wiedeńskich, zostały całkowicie przekreślone przez wojnę. Po trwających wiele lat zabiegach pozostały jedynie akty dotyczące budowy sądu oraz plac zlokalizowany u zbiegu ulic Kraszewskiego i Kilińskiego. Należy wspomnieć również o tym, iż Zarząd miasta Jarosławia w owym czasie nie przeznaczył funduszów miejskich na kupno koszar, jak też kanalizację oraz budowę sieci wodociągowej mimo tego, iż wstawił na plany regulacji miasta do budżetu na 1911 i 1912 rok po 2.000 koron rocznie, natomiast na plany szczegółowej kanalizacji na 1913 i 1914 rok po 3.500 koron.²²

5. PODSUMOWANIE

Jarosław, wraz z objęciem urzędu burmistrza przez dra Adolfa Dietziusa, w dniu 12 stycznia 1891 roku, zyskał godnego gospodarza. Stał on na czele grupy mieszczan, która dbała o polski patriotyzm oraz patriotyzm lokalny, realizując go w granicach autonomii. Dietzius porzucił profesję lekarską oraz stanowisko posła do Rady Państwa, aby bardziej rzetelnie wypełniać swe obowiązki względem miasta, jak też lokalnej społeczności, czym zyskał uznanie współczesnych. Odbudował liczne obiekty, dbał o rozwój szkolnictwa i ochrony zdrowia, ufundował dom dla sierot. Na okres jego gospodarowania przypada dynamiczny rozwój Jarosławia. To wtedy powstają reprezentacyjne gmachy użyteczności publicznej, eklektyczne kamienice reprezentujące repertuar form charakterystyczny dla późnego historyzmu przy ulicach Kraszewskiego, Słowackiego, ulicy Jana Pawła II, Grunwaldzkiej oraz 3 Maja. Z chwilą objęcia rządów nad Jarosławiem przez burmistrza dra Adolfa Dietziusa, rozpoczyna się dla miasta nowa era jego życia samorządowego. Zadaniem nowej reprezentacji miejskiej była rozbudowa samorządu miejskiego, która zbiegła się z rozwojem i rozbudową miasta, a która wywołana była potrzebą tworzenia nowych instytucji miejskich dla popierania rozwoju miasta i nowych gałęzi gospodarstwa społecznego.²³

6. LITERATURA

- [1] *Kronika*, „Nowa Gazeta Jarosławska”, 1912, R. II, nr 2.
- [2] *Sprawy bieżące*, CTL, R. XXX, 1912, nr 1.
- [3] *Sprawy bieżące*, CTL, R. XXX, 1912, nr 10.
- [4] Wondaś A., *Szkice do dziejów Jarosławia. Upadek Jarosławia pod rządami austriackimi 1773-1818*, t. 1, Nakładem Muzeum miejskiego w Jarosławiu, Jarosław 1934.

²² Tamże, s. 14-20.

²³ A. Wondaś, *Szkice do dziejów Jarosławia. Szkic uzupełniający. Jarosław w pierwszych latach ery samorządowej 1867-1889*, Nakładem Muzeum miejskiego w Jarosławiu, Jarosław 1938, s. 29.

- [5] Wondaś A., Szkice do dziejów Jarosławia, t. 2, Nakładem Muzeum miejskiego w Jarosławiu, Jarosław 1935.
- [6] A. Wondaś, Szkice do dziejów Jarosławia. Szkic uzupełniający. Jarosław w pierwszych latach ery samorządowej 1867-1889, Nakładem Muzeum miejskiego w Jarosławiu, Jarosław 1938.
- [7] Zbiory Archiwum Państwowego w Przemyśle, Akta Miasta Jarosławia, sygn. 281
- [8] Zbiory Muzeum Regionalnego Kamienica Orsettich w Jarosławiu, Akta Miasta Jarosławia, Księga Uchwał Rady Komunalnej, sygn. 18, Uchwała z dnia 11 kwietnia 1892 r. – Wniosek magistratu podziału miasta na rejony ogniowe.
- [9] Zbiory Muzeum Regionalnego Kamienica Orsettich w Jarosławiu, Akta Miasta Jarosławia, Księga Uchwał Rady Komunalnej, sygn. 18, Uchwała z dnia 19 września 1892 r. – Uchwałą magistratu dotycząca sprawy utworzenia drugiej IV kl. szkoły etat. miejskiej w Jarosławiu.
- [10] Zbiory Muzeum Regionalnego Kamienica Orsettich w Jarosławiu, Akta Miasta Jarosławia, Księga Uchwał Rady Komunalnej, sygn. 19, Uchwała z dnia 28 marca 1896 r.
- [11] Zubrzycki J. S., Miasto Jarosław i jego zabytki, Czcionkami Drukarni Uniwersytetu Jagiellońskiego pod zarządem Józefa Filipowskiego, Kraków 1903.

THE PERIOD OF MAYORSHIP OF DR ADOLF DIETZIUS 1891-1919

SUMMARY

The article describes the development of the town Jarosław in the period when Dr Adolf Dietzius was its mayor. It brings attention to the fact that during his term, after almost a hundred years of inactivity, the junior secondary school and secondary school were reopened. During that time, there were built the building of "Sokół", buildings of the Fire Brigade, Treasury Authorities, Post Office, Staroste Office and school's dormitory. New streets were created: Poniatowskiego, Królowej Jadwigi, Kraszewskiego, Kościuszki, Głowackiego and Raclawicka. Old public wells were renovated and new ones built, and the sewerage system was expanded. In 1900, the municipal park in Olszówka was established, and in 1902, the municipal general hospital was built. Under his administration, there were also established the secondary school, private seminary courses institution, Private Female Junior Secondary School, School of Construction Crafts and a music school by the Chopin Music Society.

Jolanta FIEDUCIK, dr

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
Wydział Nauk Technicznych,
ul. Oczapowskiego 11, 10-900 Olsztyn
email: jfieduci@uwm.edu.pl

Adam GAWROŃSKI, mgr inż.

Zespół Szkół Elektronicznych i Telekomunikacyjnych w Olsztynie
ul. Bałtycka 37a, 10-144 Olsztyn
email: adamgaw@wp.pl

Ryszard MATUSZCZAK, mgr inż.

Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji w Olsztynie
ul. Oficerska 16A, 10-218 Olsztyn

METODY PRZEKSZTAŁCANIA OSADU ŚCIEKOWEGO NA PRZYKŁADZIE INSTALACJI OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW „ŁYNA” W OLSZTYNIE

STRESZCZENIE

W referacie przedstawiono zagadnienia związane z unieszkodliwianiem i utylizacją osadów ściekowych powstających w oczyszczalni ścieków. Na przykładzie rzeczywistego obiektu opisano proces suszenia i spalania osadów, jako najnowocześniejszą metodę utylizacji, zgodną z przepisami i wymaganiami ochrony środowiska. Przeanalizowano aspekt ekologiczny powstających spalin i popiołów.

1. WPROWADZENIE

Powstawanie osadów ściekowych jest nieodzownym elementem procesu oczyszczania ścieków. Zagospodarowanie tych osadów jest problemem ogólnościowym. W ostatnich latach budowane są nowe oraz modernizowane istniejące oczyszczalnie ścieków, które charakteryzują się coraz lepszym oczyszczaniem ścieków. Przechwycone zanieczyszczenia stają się osadem ściekowym. Im wyższy stopień oczyszczania, tym

więcej osadów, a zatem problem niezagospodarowanych osadów nasila się z roku na rok. Projektanci systemów oczyszczania ścieków muszą w najbliższej przyszłości znaleźć odpowiednie rozwiązania dla każdej funkcjonującej oczyszczalni.

Jedną z najnowszych metod utylizacji osadów ściekowych jest ich termiczne suszenie połączone z późniejszym spalaniem w wysokiej temperaturze rzędu 800 – 1000 °C [1]. Metoda ta została przedstawiona w referacie.

2. WYBRANE METODY UTYLIZACJI OSADÓW ŚCIEKOWYCH

Utylizacja, jest to proces przetwarzania odpadów w taki sposób, by można było je wykorzystać jako surowce wtórne. W zależności od rodzaju odpadów, ich utylizację można prowadzić metodami mechanicznymi, fizycznymi, chemicznymi lub biologicznymi.

Potocznie utylizacja jest błędnie rozumiana jako niszczenie zużytych maszyn, urządzeń i innych odpadów. Terminem pokrewnym do utylizacji jest unieszkodliwianie odpadów, które należy rozumieć jako ich przetwarzanie metodami mechanicznymi, fizycznymi, chemicznymi lub biologicznymi w taki sposób, by odpady te nie stwarzały zagrożenia dla życia i zdrowia ludzi i zwierząt oraz szeroko rozumianego środowiska naturalnego.

2.1. Suszenie osadów.

Suszenie jest procesem mającym na celu zredukowanie zawartości wody w produkcie poprzez jej odparowanie lub mechaniczne usunięcie np. poprzez wyciskanie lub odwirowanie. W procesie mechanicznego suszenia osadów ściekowych możliwe jest uzyskanie produktu o zawartości suchej masy nieprzekraczającej 60%. Zwykle jednak wartość ta jest niższa. Dalsza redukcja wolnej wody oraz wody związanej kapilarnie wymaga suszenia termicznego z wykorzystaniem dodatkowej energii cieplnej. Energia do suszenia najczęściej pozyskiwana jest ze spalania paliw, np. gazu ziemnego. Ze względów ekonomicznych korzystnym rozwiązaniem jest połączenie procesów suszenia i spalania osadów, ponieważ umożliwia to wykorzystanie ciepła spalania osadu w procesie suszenia. Niekonwencjonalnym rozwiązaniem jest bezpośrednie wykorzystanie energii słonecznej w procesie suszenia. Umożliwia znaczne zredukowanie kosztów eksploatacyjnych suszarni, jednak czyni ją bardzo silnie zależną od warunków pogodowych oraz pór roku.

Suszenie termiczne jest ściśle powiązane z suszeniem mechanicznym. Odparowanie dużej ilości wody z osadu o zawartości suchej masy na poziomie 2% byłoby nieuzasadnione i niedopuszczalne z przyczyn ekonomicznych. Dlatego osad należy wstępnie odwodnić, zwykle za pomocą pras ramowych, taśmowych lub komorowych. Następnie osad trafia do suszarki. W suszarniach osadów ściekowych najczęściej stosowane są suszarki rozpyłowe i obrotowe. W suszarkach rozpyłowych jako czynnik roboczy wykorzystuje się gorące powietrze podgrzane z użyciem zewnętrznego źródła ciepła. W przypadku skojarzenia procesów suszenia i spalania, czynnikiem roboczym będą gorące spaliny powstałe w procesie spalania osadu. Zmniejsza to nakłady finansowe ponoszone na utylizację osadu.

Zaletą suszenia termicznego jest stosunkowo krótki czas potrzebny do usunięcia wody z osadu oraz możliwość uzyskania suchej masy na poziomie nawet powyżej 90%. Tak wysuszony osad może zostać spalony lub wykorzystany w rolnictwie. Wysoka temperatura panująca w suszarce higienizuje osad, zabijając żyjące w nim drobnoustroje chorobotwórcze. Odparowaną wodę można bezproblemowo odzyskać w procesie kondensacji i skierować do kanalizacji, w celu oczyszczenia. Gaz procesowy, czyli mieszaninę powie-

trza, spalin i odparowanej wilgoci poddaje się filtrowaniu, tym samym zmniejszając wpływ procesu oczyszczania ścieków na środowisko naturalne.

Główną wadą termicznego suszenia osadów ściekowych są wysokie koszty inwestycyjne i eksploatacyjne, wynikające z energochłonności procesu oraz rosnących cen paliw.

2.2. Spalanie osadów

Utylizacja osadów ściekowych na drodze spalania polega na pełnym utlenieniu związków organicznych zawartych w osadzie. Ze względu na stosunkowo wysoką wartość opałową osadów, sięgającą nawet 12 MJ/kg suchej masy, istnieje możliwość samoistnego ich spalania. W praktyce stosuje się jednak współspalanie. Konieczność współspalania odpadów jest podyktowana względami ochrony środowiska. Najczęściej wykorzystywanym do tego celu dodatkowym paliwem jest gaz ziemny.

Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 21. marca 2002 w sprawie wymagań dotyczących prowadzenia procesu termicznego przekształcania odpadów, temperatura spalania powinna być utrzymywana przez co najmniej 2 sekundy na poziomie nie niższym niż 1100 °C dla odpadów zawierających powyżej 1% związków chlorowco-organicznych przeliczonych na chlor natomiast 850 °C dla odpadów zawierających do 1% związków chlorowco-organicznych przeliczonych na chlor. Uzyskanie takich warunków jest niemożliwe w przypadku samoistnego spalania osadu.

W wyniku spalania uzyskuje się całkowite unieszkodliwienie osadów, a powstały popiół jest czysty pod względem biologicznym. Jest to bardzo ważne zwłaszcza w przypadku utylizacji osadów powstałych w procesie oczyszczania ścieków bytowo-gospodarczych.

W wyniku spalania uzyskujemy zmniejszenie masy i objętości osadu, a powstały popiół ma masę około 20% suchej masy osadu.

W przypadku obecności metali ciężkich w osadzie, popiół powstały w procesie spalania należy traktować jako odpad niebezpieczny i składować zgodnie z przepisami. Jeśli osad był wolny od metali ciężkich popiół traktowany jest jako odpad inny niż niebezpieczny i może zostać wykorzystany między innymi w drogownictwie jako podsypka.

Osad przeznaczony do spalania musi być wcześniej wysuszony. Ułatwia to proces spalania, zmniejsza zapotrzebowanie na paliwo dodatkowe, a także korzystnie wpłynie na skład spalin. Powstałe w wyniku spalania osadu ciepło najkorzystniej jest przekierować do instalacji suszenia, w celu zmniejszenia nakładów energetycznych i finansowych ponoszonych na proces utylizacji osadu.

Dopuszczalne jest współspalanie osadów wraz z odpadami komunalnymi, jednak i w tym przypadku wymagane jest paliwo dodatkowe, w celu utrzymania wysokiej temperatury spalania odpadów.

3. CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU BADAŃ

Miasto Olsztyn położone jest w północno-wschodniej części Polski, w środkowej części województwa warmińsko-mazurskiego. Przez jego teren przepływa rzeka Łyna. Olsztyn jest stolicą województwa warmińsko-mazurskiego oraz jego największym miastem, liczącym przeszło 176 tysięcy mieszkańców.

3.1. Oczyszczalnia Ścieków „Łyna” w Olsztynie

Oczyszczalnia Ścieków „Łyna” w Olsztynie została oddana do użytku w 1983 r, zmodernizowana w latach 2002 – 2004, zlokalizowana jest w pobliżu granic administracyjnych miasta, na gruntach wsi Redykajny i Likusy, na lewym brzegu rzeki Łyny. Oddalona

jest od centrum miasta o około 4 kilometry w kierunku południowym. Wydzielony na cele działalności oczyszczalni obszar zajmuje 22 ha powierzchni [2].

Obiekty oczyszczalni znajdują się na dwóch tarasach, niższym (94-100 m.n.p.m.) położonym nad brzegiem rzeki Łyny, na którym zlokalizowana jest część przepływowa oczyszczalni, zamknięte komory fermentacyjne, urządzenia do oczyszczania i magazynowania biogazu powstałego w oczyszczalni, zasilane biogazem kogeneratory elektryczne oraz budynek biurowy. Na drugim, górnym tarasie (108-116 m.n.p.m.) zlokalizowane są obiekty związane z unieszkodliwianiem i utylizacją osadów ściekowych [2].

Odbiornikiem oczyszczonych ścieków jest rzeka Łyna, największy lewobrzeżny dopływ Pregoty, rzeki uchodzącej do Zalewu Wiślanego.

Mechaniczno-biologiczna oczyszczalnia ścieków „Łyna” w Olsztynie, należy do grupy miejskich oczyszczalni. Do oczyszczania ścieków wykorzystuje się w niej metodę osadu czynnego, ze wspomaganie chemicznym PIX.

Średnia dobową zdolność odprowadzania oczyszczonych ścieków wynosi $Q_{\text{dsr}} 60000 \text{ m}^3/\text{d}$, a maksymalna $Q_{\text{dmax}} 72000 \text{ m}^3/\text{d}$.

Zgodnie z pozwoleniem wodno-prawnym ŚR.I.AM-6811/8/2004, na podstawie którego funkcjonuje oczyszczalnia, minimalny procent redukcji zanieczyszczeń określony względem ładunku zanieczyszczeń zawartych w ściekach dopływających do oczyszczalni, przy równoważnej liczbie mieszkańców (RLM) = 270000, dla oczyszczonych ścieków komunalnych wprowadzanych do wód ma wynosić w czasie normalnej pracy oczyszczalni ścieków odpowiednio:

- biochemiczne zapotrzebowanie na tlen w okresie 5 dobowym (BZT₅) – 90%
- chemiczne zapotrzebowanie na tlen (ChZT_{Cr}) – 75%
- zawiesiny ogólne – 90%
- azot ogólny – 85%
- fosfor ogólny – 90%

W tabeli 1 zestawiono wymagany i uzyskany w 2011 r. stopień redukcji zanieczyszczeń w Oczyszczalni Ścieków „Łyna”.

Tabela 1. Procent redukcji zanieczyszczeń zawartych w ściekach
Table 1. Reductions of contaminants in wastewater expressed in percents

Wskaźnik zanieczyszczeń	Uzyskany stopień redukcji zanieczyszczeń	Wymagany stopień redukcji zanieczyszczeń
BZT ₅	99%	90%
ChZT	96%	75%
Azot ogólny	99%	85%
Fosfor ogólny	93%	90%
Zawiesiny ogólne	90%	90%

Skuteczność oczyszczania ścieków w opisywanej oczyszczalni przewyższa stawiane jej wymagania.

4. SUSZARNIA I SPALARNIA OSADÓW ŚCIEKOWYCH PRZY OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW „ŁYNA”

Konieczność budowy instalacji termicznego przetwarzania osadu została podyktowana przede wszystkim względami ekologicznymi. Utylizacja dużej ilości osadu, średnio

550 m³/d z wykorzystaniem dotychczas stosowanej metody suszenia w warunkach atmosferycznych oraz późniejszego kompostowania stała się kłopotliwa zarówno pod względem logistycznym jak i pod względem ekologicznym - konieczność wywożenia osadu poza teren oczyszczalni. W wyniku suszenia osadu na poletkach osadowych, do środowiska przedostawały się dokuczliwe odory. Problem systematycznie narastał w związku z powstaniem i ciągłą rozbudową osiedla mieszkaniowego znajdującego się w bezpośrednim sąsiedztwie oczyszczalni ścieków. Kompostowanie ustabilizowanego i wysuszonego osadu wymagało pozyskiwania coraz większych obszarów pól, niezbędnych do przeprowadzenia procesu utylizacji osadu. Ilość osadu składowanego na jednostce powierzchni pola jest ściśle określona przepisami ochrony środowiska naturalnego i gospodarki odpadami.

4.1. Proces technologiczny oraz budowa instalacji termicznego przekształcania osadu.

Ustabilizowany osad przepompowywany jest z otwartych basenów fermentacyjnych do stacji odwadniania osadów, w której zainstalowane są dwie równolegle pracujące prasy taśmowe. Odwodniony do zawartości suchej masy około 20% osad, transportowany jest do silosu (S1) o pojemności 110 m³. Z silosu osad transportowany jest przenośnikiem śrubowym (AC1) do dozownika (DS1), którego zadaniem jest równomierne dozowanie osadu do turbosuszarki (ES1). Turbosuszarka zbudowana jest w formie nieruchomej, cylindrycznej komory, pokrytej z zewnątrz płaszczem grzejnym, wewnątrz którego przepływa olej termiczny stanowiący czynnik grzewczy. Olej podgrzewany jest za pomocą kotła gazowego (BR1) o mocy 930 kW. W turbosuszarce zamontowana jest turbina, której zadaniem jest rozprowadzanie osadu po ścianach cylindra oraz wymuszenie przemieszczenia osadu. Osad jest ogrzewany i suszony poprzez bezpośredni kontakt z gorącymi ścianami suszarki oraz przez recyrkulowany gorący gaz procesowy, będący mieszaniną odparowanej wody oraz powietrza. Powietrze ogrzewane jest w wymienniku (E1), z którego za pomocą wentylatora (B1) kierowane jest do układu suszenia.

Gaz procesowy przemieszcza się w układzie zamkniętym z kondensacją oparów, dzięki czemu nie powoduje emisji odorów do otoczenia. Taka konstrukcja została podyktowana przepisami ochrony środowiska [3].

W zależności od zadanych parametrów pracy instalacji, wysuszony osad zawiera od 60% do 90% suchej masy. W ciągu trwającego od 2 do 3 minut cyklu suszenia, obróbce poddawana jest porcja około 120 kg osadu. Osad podawany jest partiami, co zapobiega mieszaniu osadu wysuszonego z mokrym. Wysuszony osad wraz z gazem procesowym, jest kierowany do cyklonu (C1) za pośrednictwem podciśnieniowego układu transportu pneumatycznego. Odseparowanie osadu od gazu następuje wskutek działania siły odśrodkowej na cząsteczki osadu, opadające następnie na dno cyklonu, skąd trafiają na przenośnik (AC2). Gaz procesowy trafia do filtra workowego (FT1), w którym przeprowadza się dalszy etap separacji osadu od gazu procesowego. Filtr wymaga okresowego czyszczenia, co jest realizowane przez pneumatyczny system czasowego wstrząsania. Strząśnięta frakcja pylista osadu opada na przenośnik (AC2), zaś większa część gazu procesowego recyrkulowana jest przez wentylator (B1) do turbosuszarki. Zawartość tlenu w turbosuszarce wynosi poniżej 4%, co znacząco obniża ryzyko eksplozji.

Pneumatyczny system transportu osadu wysuszonego pracuje na podciśnieniu, co w przypadku rozszczelnienia instalacji zapobiega emisji odorów do wnętrza budynku,

a w rezultacie do atmosfery. Recyrkulowany gaz procesowy przed ponownym wprowadzeniem do suszarki, trafia do wymiennika ciepła (E1) w celu podgrzania. Nadmiar gazu, kierowany jest do sekcji kondensacji oparów, której głównym elementem jest pionowa kolumna kondensacyjna (CO1). Ciecz powstająca z kondensatu i wody kondensującej gromadzi się w dolnej części kolumny, a gazy niekondensujące trafiają do jej górnej części. Kondensat kierowany jest do wymiennika ciepła (E2) w celu schłodzenia, a następnie recyrkulowany jest do kolumny (CO1), w której służy jako woda kondensująca. Nadmiar kondensatu odprowadzany jest do kanalizacji sanitarnej w celu ponownego oczyszczenia.

Wymiennik ciepła (E2) jest połączony ze znajdującą się na zewnątrz budynku spalarni wieżą wyparną (TE1) służącą chłodzeniu całości wody obiegowej wykorzystywanej w procesie suszenia i spalania osadu. Niekondensujące gazy zebrane w kolumnie kondensacyjnej, zwane powietrzem złowonnym, za pośrednictwem wentylatora (B2) kierowane są rurociągiem do znajdującej się na zewnątrz budynku spalarni, sekcji oczyszczania powietrza złowonnego. Opary wydzielone w zbiorniku (S1), tak samo jak powietrze złowonne z kolumny kondensacyjnej wymagają oczyszczenia.

Sekcja oczyszczania powietrza złowonnego składa się z płuczki z kwasem siarkowym oraz biofiltra. W płuczce zachodzi reakcja chemiczna pomiędzy kwasem siarkowym, a zawartym w powietrzu amoniakiem w wyniku której powstaje siarczan amonu, odprowadzany do kanalizacji sanitarnej. Dalsze oczyszczanie powietrza zachodzi w biofiltrze, w którym przy udziale mikroorganizmów usuwane są substancje odorotwórcze. Przebieg procesu oczyszczania powietrza złowonnego jest nieustannie monitorowany przez centralny sterownik sekcji suszenia osadu.

Wysuszony osad przetransportowany za pomocą przenośnika (AC2) trafia do dozownika (DS3), który dawkuje go do peletyzatora. Istnieje możliwość pominięcia procesu peletyzacji, wówczas osad w formie pylistej trafia na przenośnik (AC3). Osad trafia do silosu (S2) o pojemność 25m³, skąd za pośrednictwem przenośnika (AC4) podawany jest do dozownika sekcji spalania (DS2). Dozownik ten kieruje osad do spalarni (IO1), składającej się z sekcji spalania, sekcji oczyszczania gazów odlotowych oraz sekcji odzysku ciepła.

Jednostka spalania składa się z dwóch komór spalania - podstawowej i drugorzędnej. Komora podstawowa, służy do spalania osadów i wyposażona jest w jeden palnik gazowy. Pojemność komory spalania została tak dobrana, aby zapewnić dwusekundowe przetrzymywanie gazów odlotowych w temperaturze 850 – 950°C. Zapewnia to niską produkcję popiołów oraz zmniejsza emisję CO₂. W procesie spalania zawartość węgla organicznego zredukowana jest do poziomu poniżej 9%.

Przemieszczanie się wysuszonego osadu wewnątrz komory spalania realizowane jest poprzez niklowo-chromową ruchomą kratę z prętami trzonowymi. W komorze spalania zastosowano przeciwprądowy przepływ powietrza względem osadu, co zapewnia całkowite spalanie osadu. Drugorzędna komora spalania służy do niekatalitycznej redukcji zawartych w gazach odlotowych związków NO_x. W jej wnętrzu zainstalowane są dwa palniki gazowe. Komora ta wchodzi w skład sekcji oczyszczania gazów odlotowych. Gazy odlotowe z komory spalania poddawane są dopalaniu w temperaturze od 850 do 1050 °C przy jednoczesnym dozowaniu roztworu mocznika bezpośrednio do komory spalania. Gazy odlotowe powstałe w piecu (IO1) są przesyłane do wymienników E3 oraz E4, wchodzących w skład sekcji odzysku ciepła [3]. Sekcja odzysku ciepła z gazów odlotowych jednostki (IO1) składa się z dwóch wymienników ciepła. Pierwszy (E3) służy do podgrzewania oleju ter-

micznego, będącego medium grzewczym w procesie suszenia. Drugi z wymienników ciepła (E4) służy do ogrzewania powietrza, podawanego do pieca w celu spalania. Innym celem zastosowania wymiennika (E4) jest dostosowanie temperatury gazów odlotowych do nominalnej temperatury pracy filtra workowego. Z sekcji odzysku ciepła, gazy spalinowe kierowane są do sekcji oczyszczania gazów odlotowych.

Zadaniem sekcji oczyszczania gazów odlotowych, jest ograniczenie niektórych substancji oraz pyłów zawartych w gazach odlotowych – spalinach.

W skład tej sekcji wchodzi: system redukcji NO_x , jednostka oczyszczania RE1, filtr workowy FT2, wentylator gazów odlotowych B3, komin CM1.

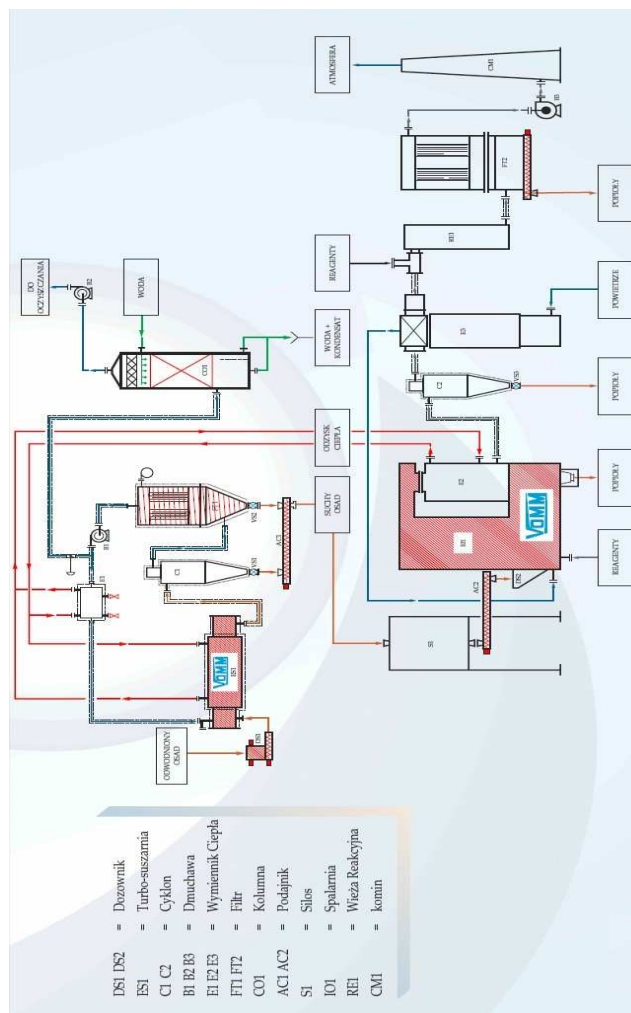
Zastosowany w spalarni osadów przy Oczyszczalni Ścieków „Łyna” system redukcji NO_x , funkcjonuje w oparciu o podawanie roztworu mocznika bezpośrednio do drugorzędnej komory spalania. Do prawidłowego zajścia procesu redukcji NO_x , niezbędne jest zachowanie temperatury w drugorzędnej komorze na poziomie od 850 do 1050 °C.

Usuwanie pyłów, chlorowodoru (HCL), fluorowodoru (HF), tlenku siarki (SO_2) oraz metali ciężkich, realizowane jest poprzez metody fizykochemiczne z zastosowaniem reagentu w skład którego wchodzi węgiel sodowy i węgiel aktywny.

Wieża reakcyjna, do której podawane są reagenty, działa na zasadzie cyklonu. Zainstalowana jest za sekcją odzysku ciepła gazów odlotowych. Zawarte w gazach odlotowych HCl, HF i SO_2 reagują z dozowanymi związkami sodu, tworząc pył. Proces ten nosi nazwę odkwaszania spalin. Węgiel aktywny absorbuje obecne w gazach metale ciężkie i również w postaci pyłu trafia do kolejnego urządzenia sekcji oczyszczania gazów i filtra workowego. Filtr workowy, służy do przechwytywania zawartych w gazach odlotowych pyłów powstałych w procesie spalania osadów oraz procesie oczyszczania gazów odlotowych. Zbudowany jest z koszy oraz worków wykonanych z tkaniny. Gazy odlotowe przedostają się do filtra przepływając przez worki od zewnętrznej strony. Wychwycone zanieczyszczenia są okresowo strącane z worków poprzez ich wstrząsanie sprężonym powietrzem pod ciśnieniem 6 bar. Urządzenie wyposażone jest w drzwi inspekcyjne oraz przystawkę do workowania pyłów. Pyły składowane są na składowisku odpadów niebezpiecznych.

Gazy odlotowe opuszczające sekcje oczyszczania kierowane są do wentylatora B3. Skład jakościowy i ilościowy gazów jest monitorowany na bieżąco i w przypadku nie spełniania norm emisyjnych, część gazów recyrkulowana jest do drugorzędnej komory spalania, w celu dopalenia NO_x .

Wentylator gazów odlotowych B3, umożliwia zasysanie z sekcji oczyszczania oraz wyrzut gazów odlotowych poprzez komin [3].



Rys. 1. Schemat blokowy instalacji termicznego przetwarzania osadów
 Fig. 1. Block diagram of thermal treatment of sludge installation

5. ANALIZA EKOLOGICZNA GAZÓW ODLOTOWYCH I POPIOŁÓW

Popiół jest stałą pozostałością po spalaniu substancji organicznych. Jest produktem wtórnym, otrzymywanym w wyniku działania wysokiej temperatury na substancje mineralne. Zawiera większość pierwiastków znajdujących się w spalonym materiale, jednak wchodzi one w skład innych substancji. Ubytek masy popiołu względem pierwotnej masy spalanego materiału, związany jest z powstawaniem substancji lotnych w procesie spalania. Substancje te stanowią gazy odlotowe.

5.1. Analiza składu gazów odlotowych

Zgodnie z rozporządzeniem ministra gospodarki z dnia 21 marca 2002 r. w sprawie wymagań dotyczących prowadzenia procesu termicznego przekształcania odpadów, podczas prowadzenia procesu spalania osadów należy prowadzić ciągły pomiar temperatury i ciśnienia gazów spalinowych oraz zawartości tlenu w tych gazach.

W omawianej instalacji w sposób ciągły prowadzony jest pomiar stężenia następujących substancji zawartych w gazach odlotowych: pyłu ogółem, HCL, CO, CO₂, O₂, NO_x, SO₂. Ponadto mierzone są parametry gazów odlotowych, w tym prędkość przepływu spalin, ciśnienie statyczne spalin, ciśnienie dynamiczne spalin. W celu umożliwienia poprawnej interpretacji uzyskanych wyników niezbędny jest także pomiar temperatury otoczenia oraz wilgotności bezwzględnej. Poniżej w tabeli przedstawiono wyniki badań emisji spalin, z których wynika, że prezentowana w referacie instalacja z powodzeniem spełnia wymogi przepisów dotyczących ochrony środowiska naturalnego. Wszystkie parametry emisji mają wartości poniżej wymaganych.

Tabela 2. Wyniki badań emisji spalin

Table 2. The results of exhaust emission tests

Lp.	Nazwa substancji	Średnie dobowe standardy emisyjne w mg/m ³ przy zawartości 11% tlenu w gazach odlotowych	Uzyskane średnie dobowe wartości emisyjne w mg/m ³ przy zawartości 11% tlenu w gazach odlotowych ¹⁾ dane z dnia 24.08.2011 pozostałe dane z dnia 12.03.2012
1	Pył ogółem	10	0,19
2	HCT *	10	1,34
3	HCl	10	6,94
4	SO ₂	50	0,30
5	CO	50	31,96
6	NO + NO ₂	400	91,22
7	HF	1	<0,9 ¹⁾
8	Hg	0,05	0,0005 ¹⁾
9	Cd + Ti	0,05	0,002 ¹⁾
10	Sb+As+Pb+Cr+V +Co+Cu+Mn+Ni	0,5	0,02 ¹⁾
11	Dioksyny i furany	0,1 ng/m ³	0,01 ng/m ³ ¹⁾

HCT*- substancje org. w postaci gazów i par wyrażone jako całkowity węgiel org.

5.2. Analiza popiołu powstałego w procesie spalania

Zgodnie z rozporządzeniem ministra gospodarki z dnia 21 marca 2002 r. w sprawie wymagań dotyczących prowadzenia procesu termicznego przekształcania odpadów, całkowita zawartość węgla organicznego w żużlach i popiołach paleniskowych nie może przekraczać 3%. Przeprowadzone w dniu 7.12.2011 badanie popiołu powstałego

w olsztyńskiej spalarni osadów ściekowych dało wynik 1,95% całkowitej zawartości węgla organicznego.

Opinia w sprawie przekwalifikowania odpadu niebezpiecznego na odpad inny niż niebezpieczny i obojętny, z dnia 16.09.2010, przeprowadzona na podstawie badań składu chemicznego żużli i popiołów powstałych w wyniku spalania osadów ściekowych, jednoznacznie wskazuje, iż popioły te nie są odpadami niebezpiecznymi.

6. PODSUMOWANIE

W powyższym referacie przedstawiono instalację do termicznego przetwarzania osadów ściekowych powstałych w procesie oczyszczania ścieków komunalnych w olsztyńskiej Oczyszczalni Ścieków „Łyna”. Z opracowania wynika jednoznacznie, że instalacja ta jest w pełni ekologiczna i spełnia wszystkie normy ochrony środowiska naturalnego. Przeanalizowanie wyników badań gazów odlotowych oraz żużli i popiołów pozwala na stwierdzenie, że cel ochrony środowiska poprzez budowę suszarni i spalarni osadów ściekowych w Olsztynie został osiągnięty.

Obecnie przedstawiony obiekt suszarni i spalarni jest w okresie testowania i usuwania wad technicznych oraz dostosowania instalacji do warunków klimatycznych Polski.

7. LITERATURA

- [1] Dymaczewski Z., Oleszkiewicz J.A., Sozański M.M., Poradnik eksploatatora oczyszczalni ścieków, Wydanie PZLiTS, Poznań 1997 r.
- [2] Grzybowski P., Opis technologii oczyszczania ścieków w oczyszczalni „Łyna” dla miasta Olsztyn, Wydawnictwo PWiK sp. z o.o., Olsztyn
- [3] Zaprojektowanie i wykonanie suszarni i spalarni osadów na terenie Oczyszczalni Ścieków „Łyna w Olsztynie (dokument wewnętrzny)

METHODS OF TRANSFORMATION OF SEWAGE SLUDGE BASED ON THE “ŁYNA” SEWAGE TREATMENT PLANT INSTALLATION IN OLSZTYN

SUMMARY

The paper presents issues related to disposal and utilization of sewage sludge produced in wastewater treatment plant. Based on the existing establishment and the process of drying and burning the sludge is described, as a the most modern method of utilization, compliant with standards and requirements of environmental protection. The ecological aspect of combustion gas and ash produced was analysed.

Jolanta FIEDUCIK, dr

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski
Wydział Nauk Technicznych
Katedra Elektrotechniki i Energetyki
ul. Oczapowskiego 11, 10-900 Olsztyn
e-mail: jolanta.fieducik@uwm.edu.pl

Jan GODLEWSKI, prof. dr hab.

Politechnika Gdańska
Wydział Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej
ul. Narutowicza 11/12, 80-952 Gdańsk
e-mail: jago@mif.pg.gda.pl

DIODY TERMICZNE - POTENCJALNE MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA DIOD TERMICZNYCH W TECHNICIE

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono zagadnienia przewodnictwa i przenikania ciepła w różnych strukturach. Przeanalizowano działanie różnych rodzajów makro, mikro i nano diod termicznych. Wskazano możliwości transportu ciepła przy pomocy diod w ściśle określonym kierunku, oraz możliwości wykorzystania tych rozwiązań w budownictwie.

1. WPROWADZENIE

Zagadnienia związane z transportem ciepła są przedmiotem zainteresowania od wielu lat. Można przypuszczać, że szereg problemów z tego zakresu jest znanych, zarówno od strony teoretycznej jak i praktycznych zastosowań. Okazuje się, że zagadnienia dotyczące przewodnictwa ciepła są ciągle nie do końca rozwiązany problemem. Szczególnie, dotyczy to zagadnień związanych z transportem ciepła w strukturach niskowymiarowych oraz w szczególnych strukturach geometrycznych.

2. PRZEWODNICTWO CIEPLNE W DIODACH TERMICZNYCH

Zwykle przyjmuje się, że przewodnictwo cieplne podlega dobrze znanemu prawu statystycznemu w postaci różniczkowej zwanej zależnością Fouriera w postaci:

$$Q = -k \cdot \text{grad } T, \quad (1)$$

gdzie Q jest gęstością strumienia ciepła, k jest współczynnikiem przewodnictwa cieplnego, $\text{grad } T$ określa lokalny gradient temperatury, natomiast znak minus oznacza, iż ciepło przepływa od wyższej temperatury do niższej. Prawo to jest dobrze spełnione w strukturach izotropowych, ale istnieją poważne problemy z jego aplikacją w strukturach niskowymiarowych lub złączowych [1, 2].

W ostatnim okresie szczególne zainteresowanie zagadnieniami transportu ciepła wynika z możliwości uzyskania diod termicznych w strukturach niskowymiarowych oraz prawie jednokierunkowego przewodzenia ciepła w makrostrukturach o różnej budowie i konstrukcji.

Jednokierunkowy transport ciepła ma wiele możliwości wdrożenia w nauce, technice, przyrodzie i w życiu codziennym. Takie „prostowniki ciepła” mogą być wykorzystane przy budowie statków powietrznych, w budownictwie, w chłodnictwie, elektronice i wielu innych dziedzinach. Kierunkowe przewodnictwo ciepła może być podstawą do budowy w przyszłości termicznych tranzystorów, a nawet termicznych komputerów [3]. Dioda termiczna jest prostym analogiem znanej od ponad stu lat diody elektronicznej, przewodzącej zdecydowanie różnie prąd elektryczny w przeciwnych kierunkach. Jeżeli przewodnictwo w diodzie elektronicznej oparte jest, przede wszystkim, na transporcie elektronów, to dioda elektroniczna jest także diodą termiczną lub odwrotnie. Przykładem takiego urządzenia jest znana od lat dioda, zarówno elektroniczna jak i termiczna, składająca się z płaszczyzny miedzi pokrytej utlenioną warstwą tlenku miedzi [2].

Zakładając, że dioda termiczna może być analogiem diody elektrycznej, naturalnym stwierdzeniem wydaje się być założenie, że dioda termiczna może być zbudowana ze złącz różnych materiałów. Niestety, takie przypuszczenie nie jest generalnie słuszne z tego powodu, iż w diodzie elektrycznej za przewodnictwo prądu odpowiada cząstka materialna, zwykle elektron, natomiast w diodzie termicznej za przewodnictwo ciepła odpowiadają najczęściej fonony, czasami transport masy lub transport elektronów.

Przejście strumienia fononów przez złącze dwóch materiałów podlega prawu wynikającemu z transportu fali i dla danej temperatury, zarówno transmisja fononów przez złącze jak i ich odbicie, nie zależy od kierunku. Ewentualne efekty prostujące transport ciepła na złączu można osiągnąć wraz ze zmieniającą się temperaturą złącza, co w konsekwencji prowadzi do różnej zależności współczynnika transportu ciepła od temperatury dla materiałów tworzących złącze i stąd do prostowania transportu ciepła [7].

Wydajność termicznej diody jest określana przez współczynnik prostowania η wyrażony wzorem [5]:

$$\eta = (k_f - k_r) / k_r, \quad (2)$$

gdzie k_f i k_r są współczynnikami przewodzenia ciepła w kierunku do przewodzenia i przeciwnym, odpowiednio.

3. TRANSPORT CIEPŁA W DIODACH TERMICZNYCH

Transport ciepła lub szerzej – energii, może odbywać się za pomocą fononów, fotonów lub poprzez transport masy. Jest to więc bardzo szerokie spektrum zjawisk fizycznych do praktycznego wykorzystania. Każdy z tych mechanizmów transportu energii może być osobno wykorzystany do budowy diody termicznej lub w wyniku wzajemnej kombinacji tych i innych zjawisk lub rozwiązań konstrukcyjnych.

Zbudowanie diody termicznej na bazie transportu energii za pomocą fononów może być dokonane z włączaniem inżynierii materiałowej, opartej o jednowymiarowe materiały z nieliniowymi łańcuchami atomów, zarówno o organicznej jak i o nieorganicznej naturze [4, 10]. Teoretycznie, analizuje się właściwości różnych materiałów, które mogą być przydatne do budowy diod termicznych. Kierunkowe zjawisko transportu ciepła można osiągnąć przy użyciu struktur jednowymiarowych, szczególnie nanostruktur węglowych, wykazujących jednowymiarowość oraz często także przy solitono- nowej naturze transportu ciepła [6].

Używając nanostruktur na bazie węgla uzyskano eksperymentalne wartości prostowania ciepła rzędu 7% [6], a obliczenia teoretyczne wskazują na możliwości uzyskania wartości współczynnika prostowania ponad 50% [8, 9]. Nie jest to wiele, ale stanowi wielki impuls do poszukiwania nowych materiałów o zdecydowanie lepszych parametrach do wykorzystania w kierunkowym transporcie ciepła. Analiza zagadnień związanych z jednokierunkowym transportem ciepła na bazie zjawisk odpowiedzialnych za transport ciepła na poziomie atomowym i molekularnym, jest względnie nowym zagadnieniem z początku XXI wieku [3]. Oczekuje się, że rozwój tej dziedziny pozwoli rozwinąć nowe dziedziny nauki i technologii, włącznie z budową nowych typów diod, tranzystorów, logicznych bramek, a nawet termicznych komputerów.

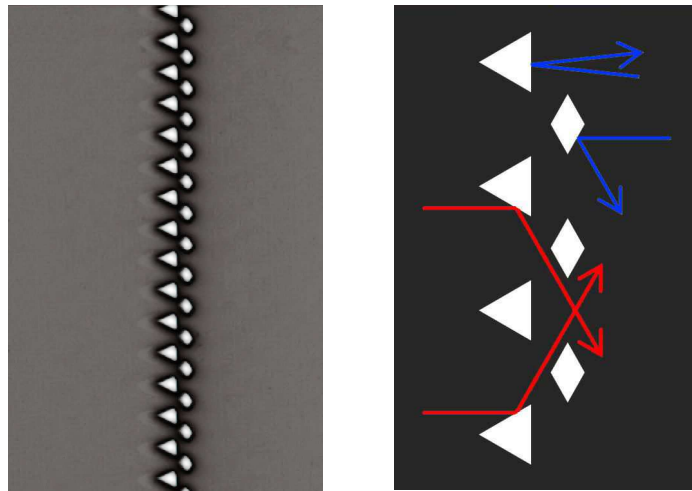
Poza wyróżnionym jednokierunkowym transportem nośników ładunku oraz ciepła w różnych materiałach, możliwy jest także jednokierunkowe przesyłanie fal akustycznych. W szczególnych warunkach uzyskuje się bardzo duże współczynniki prostowania, osiągające wartości rzędu 10000 [10].

Istotą prostowania przepływu ciepła jest to, aby fonony w danym materiale lub układzie materiałów przemieszczały się wydajniej w jednym wyróżnionym kierunku względem kierunków pozostałych. Struktury na poziomie atomowym lub molekularnym zapewniają taką możliwość poprzez asymetrię drgań lub struktury i niektóre z nich były wspomniane powyżej.

Oddzielnym zagadnieniem dotyczącym jednokierunkowego transportu ciepła, mającym istotne znaczenie praktyczne, są mikro i makrostruktury, wykorzystujące różne zjawiska fizyczne w makroskali, odpowiedzialne za transport energii cieplnej w technice [10,11,12,13].

Literatura dotycząca powyższych zagadnień dostarcza szeregu informacji w zakresie wydajnych układów wykazujących cechy jednokierunkowego przewodzenia ciepła.

Ukierunkowanie ruchu fononów w wyróżnionym kierunku może być dokonane poprzez odpowiedni układ zwierciadeł opartych na krzemowej membranie [10].



Rys. 1. Wygląd odpowiednio ukształtowanej trójkątnej i rombowej siatki przesyłającej fonony w jednym kierunku w różnej skali [10].

Fig 1. Design of the triangular and rhombic hole array. [10]

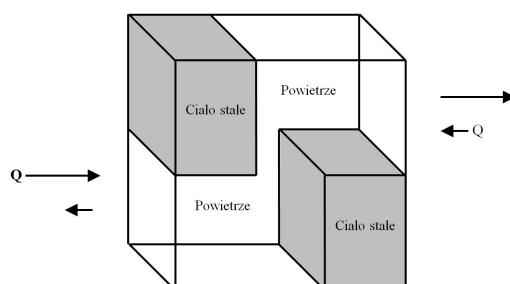
W układzie przedstawionym na rys. 1, fonony z lewej strony z większą łatwością przechodzą na prawą stronę, niż to mogą czynić fonony z odwrotnej strony. Prowadzi to do prostowania przepływu ciepła ze współczynnikiem wynoszącym 1,7 w temperaturze 150 K.

Inny przykład asymetrycznego transferu ciepła w układzie makro, jest realizowany przez złącze dwóch sześciątów zawierających odpowiednio: wodę oraz roztwory wodne, np. zawierające NaCl. Taki układ zapewnia współczynnik prostowania około 65,4 % [14]. Prostowanie wynika z różnych szybkości i kierunków konwekcji ciepła w czystej wodzie i w roztworze wodnym.

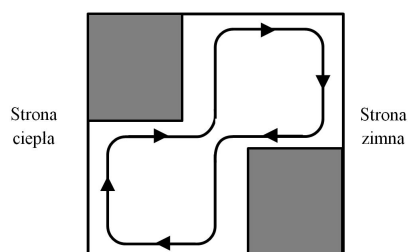
Do prostowania przepływu ciepła można wykorzystać także parowanie cieczy i hydrofilowość lub hydrofobowość cieczy do wybranych powierzchni. W pracy [5], przez zastosowanie superhydrofilowych i superhydrofobowych powierzchni, otrzymanych na bazie nanotechnologii, uzyskano współczynniki prostowania przepływu ciepła osiągające wartości rzędu 100.

4. PRAKTYCZNE ZASTOSOWANIA DIOD W BUDOWNICTWIE

W celu prostowania przepływu ciepła można także wykorzystać konwekcje ciepłego powietrza i jego pułapkowanie w odpowiedniej konstrukcji. Schemat takiego układu jest przedstawiony na rys. 2 [11].

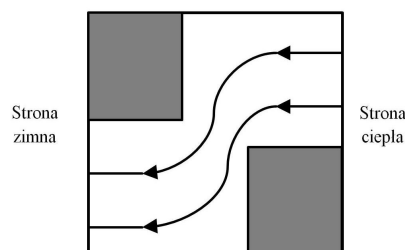


Rys. 2a.



Konwekcja naturalna

Rys. 2b.



Przewodzenie

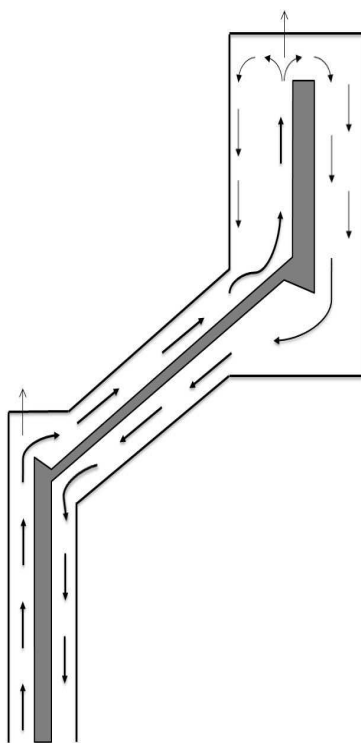
Rys. 2c.

Rys. 2a. Schemat trójwymiarowej diody termicznej, 2b. dla przepływu ciepła przy naturalnej konwekcji, 2c. podczas przewodnictwa [11]

Fig 2a. Three-dimensional view of a thermal diode, 2b heat exchange in a thermal diode natural convection, 2c conduction only [11]

Powyższa dioda z powrotem może być stosowana w budownictwie, czy innych urządzeniach wykorzystujących transport ciepła.

Podobnym typem diody jest dioda termiczna typu Bayonet'a. System diody działa jak termosyfon wodny. Schemat diody Bayonet'a przedstawia rys. 3.



Rys. 3. Schemat diody Bayonet`a z zaznaczonymi kierunki wektora prędkości czynnika roboczego. Rysunek wykonano wg [12]

Fig 3. Bayonet-type diode, velocity vectors in the reservoir with a guide vane (fluent) [12]

W pracy [13] pokazano, że prostowanie przepływu ciepła można uzyskać także w asymetrycznych objętościowych materiałach. Stosując złącze LaCoO_3 (LCO) oraz $\text{La}_{0,7}\text{Sr}_{0,3}\text{CoO}_3$ (LSCO) w postaci stożkowego złącza uzyskano prostowanie przepływu ciepła osiągające wartości 1,43.

5. PODSUMOWANIE

Powyższe przykłady świadczą o tym, że proces jednokierunkowego przepływu ciepła może być realizowany nie tylko w różnych maszynach termodynamicznych, a także przez wpływ na proces transportu fononów w wielu różnych układach fizycznych. Opanowanie elementarnych jednokierunkowych procesów transportu ciepła jest zagadnieniem aktualnym i mającym istotne znaczenie dla rozwoju nowych urządzeń elementów fononiki oraz wyjaśnienia procesów termodynamicznych w organizmach żywych.

6. LITERATURA

- [1] Jun Wang and Zhigang Zheng, Heat conduction and reversed thermal diode: The interface effect, *Physical Review E* 81, 011114 (6)(2010)
- [2] C. Star, The copper oxide rectifier, *Journal of Applied Physics*, 7, 15 (1936)
- [3] Lei Wang and Baowen Li, Photonics gets hot, *Physics World*, March 2008, p. 27,
- [4] M. Terraneo, M. Peyrard and G. Casati, Controlling the energy flow in nonlinear lattices, *Physical Review Letters*, 2002
- [5] J. B. Boreyko, Y. Zhao and C-H Chen, Planar jumping-drop thermal diodes, *Applied Physics Letters* 99, 234105(2011)
- [6] C. W. Chang, D. Okawa, A. Majumdar and A. Zetti, *Science*, 314, 5802, 1121(2006)
- [7] C. Dames, Solid-state thermal rectification with existing bulk materials, *Journal of Heat Transfer*, 131, 061301-1 (2009)
- [8] J. Hu, X. Ruan and Y. P. Chen, Thermal conductivity and thermal rectification in graphene nanoribbons: A molecular dynamics study, *Nano Letters*, 9(7)2730(2009)
- [9] K. Vallabhaneni, Y. P. Chen, J. Hu and X. Ruan, Thermal rectification in graphene and carbon nanotube systems using molecular dynamic simulations, *Proceedings of the ASME/JSME 2011*, Honolulu, Hawaii, USA
- [10] M. Schmotz, J. Maier, E. Scheer and P. Leiderer, A thermal diode using phonon rectification, *New Journal Of Physics* 13, 113027(2011)
- [11] H. A. Machado and A. G. Ramos, Performance analysis of thermal diode, *Thermal Engineering*, 5, 66(2006)
- [12] W. Chun , Y. J. Lee, J. Y. Lee, K. Chen, H. T. Kim and T. K. Lee, Application of the thermal diode concept for the utilization of solar energy, *Proceedings of the Intersociety Energy Conversion Engineering Conference, IEEE*, 3, 1709(1996)
- [13] D. Sawaki, W. Kobayashi, Y. Moritomo and I. Terasaki, Thermal rectification in bulk materials with asymmetric shape, *Applied Physics Letters*, 98, 081915(2011)
- [14] M. F. Cawley, P.A. Mooney and P O'Connor, Asymmetrical heat transfer through composites of water and aqueous solutions in the presence of the density maximum, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 51, 224(2008),

THERMAL DIODES: POTENTIAL USES IN TECHNOLOGY

SUMMARY

The paper presents issues relating to conduction and heat transfer in different structures. The operation of different types of macro, micro and nano thermal diodes were analyzed. The potential of heat transport through diodes in a specific direction, and the possibility of using these solutions in construction were described.

Halina GARBALIŃSKA, dr hab. inż., prof. ZUT
Jarosław STRZAŁKOWSKI, mgr inż.

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
Wydział Budownictwa i Architektury
Katedra Dróg, Mostów i Materiałów Budowlanych
Zakład Materiałów Budowlanych i Fizyki Budowli
al. Piastów 50, 70-311 Szczecin
e.mail: halina@zut.edu.pl

BADANIA WSPÓŁCZYNNIKÓW WYRÓWNANIA TEMPERATURY BETONÓW RÓŻNEGO RODZAJU

STRESZCZENIE

W referacie przedstawiono badania współczynników wyrównania temperatury dla czternastu zróżnicowanych kompozytów betonowych wykonanych na bazie kruszywa kamiennego oraz lekkich kruszyw sztucznych: keramzytu i Pollytagu. Omówiono wpływ wstępnego nasycenia wodą kruszyw lekkich oraz wpływ zastosowanej domieszki napowietrzającej na testowane parametry cieplne. Dodatkowo przedstawiono rozwój współczynnika wyrównania temperatury w 28-dniowym okresie dojrzewania.

1. WPROWADZENIE

Współczynnik wyrównania temperatury a [m^2/s] opisuje zależność między współczynnikiem przewodzenia ciepła λ oraz objętościowym ciepłem właściwym c_p :

$$a = \frac{\lambda}{c_p}. \quad (1)$$

Wielkość ta jest wykorzystywana przy ocenie dynamicznych charakterystyk cieplnych materiałów i przegród budowlanych obliczanych zgodnie z [1]. Parametr a opisuje przepływ energii cieplnej przez badany komponent. W niniejszej pracy przedstawiono ocenę porównawczą współczynników wyrównania temperatury a dla różnych kompozytów betonowych wykonanych na bazie kruszywa kamiennego oraz lekkich kruszyw sztucznych: Pollytagu i keramzytu.

2. ZAŁOŻENIA BADAWCZE

W celu przeprowadzenia analizy porównawczej współczynników wyrównania temperatury różnych betonów zdecydowano się na przetestowanie czternastu receptur mie-

szanek betonowych, wykonanych na bazie kruszyw o zdecydowanie różnych właściwościach.

Przyjęto następujące założenia wyjściowe przy projektowaniu receptur:

- stały wskaźnik wodno-cementowy równy 0,55,
- stały stosunek piasku ($0 \div 2$ mm) do cementu równy 1,2,
- ten sam rodzaj cementu CEM I 42,5R,
- kruszywo grube tej samej frakcji z przedziału $4 \div 8$ mm.

Niniejsze założenia przyjęto na podstawie danych zawartych w pracy [2]. Receptury do badań podzielono na trzy kategorie K1, K2 oraz K0. Skład receptur na 1m^3 betonu przedstawiono w tabeli 1.

W kategorii K1 wyszczególniono sześć receptur mieszanek betonów lekkich wykonanych na bazie kruszywa keramzytowego. Ze względu na problem znaczącej nasiąkliwości kruszyw lekkich [3], jak również z uwagi na ich wpływ na urabialność oraz końcowe parametry otrzymanego betonu, zastosowano zabieg wstępnego moczenia kruszywa w wodzie bezpośrednio przed wykonywaniem mieszanki. Miało to na celu wyeliminowanie odciągania przez kruszywo wody z zaczynu cementowego. Aby dokładnie zdiagnozować to zjawisko wykonano po trzy receptury o następujących poziomach wilgotności kruszywa lekkiego:

- kruszywo wysuszone do stałej masy,
- kruszywo w stanie naturalnego zawilgocenia,
- kruszywo całkowicie nasycone wodą.

Dodatkowo wykonano trzy kolejne receptury o identycznym składzie jak wyżej omówione z wprowadzeniem domieszki napowietrzającej w ilości 1,1 % masy cementu. Celem zastosowania domieszki było wprowadzenie dodatkowych pęcherzyków powietrza do zaczynu cementowego, a w efekcie także zwiększenie urabialności mieszanek.

W kategorii K2 zastosowano receptury analogiczne jak w K1 z zastąpieniem kruszywa keramzytowego Pollytagiem.

W ramach kategorii K0 testowano dwie receptury (z domieszką napowietrzającą oraz bez) wykonane na bazie wyłącznie kruszyw kamiennych, o takiej samej frakcji jak w K1 oraz K2. Dzięki tym założeniom poszczególne receptury dają możliwość porównania betonów lekkich z betonami zwykłymi. Bezpośrednią ocenę zapewniało odniesienie do betonów zwykłych receptur K1/3 oraz K2/3 czyli tych betonów, w których zastosowano kruszywo w pełni nasycone, nie będące w stanie odciągać wody z zaprawy.

W tabeli 1 podano wagowe proporcje poszczególnych składników betonów. Kruszywo K ($4 \div 8$ mm) zawierało wodę zgodnie z podaną po lewej stronie wilgotnością. Piasek P dodany został w stanie całkowitego wysuszenia. W przedstawia ilość wody dodaną w czasie wykonywania mieszanki (bez wody zawartej w kruszywie lekkim).

Próbki poszczególnych betonów były przechowywane przez jedną dobę na ruszcie nad wodą. Następnie po rozformowaniu przez pierwszy tydzień przechowywano je w szczelnych foliowych workach, a później w laboratorium w temperaturze 20 ± 2 °C oraz wilgotności ok. 50 %, aż do osiągnięcia poszczególnych punktów czasowych przewidzianych w badaniach.

Tabela 1. Receptury mieszanek betonowych przyjętych do badań (w kg/m^3 mieszanki)Table 1. Formulae of concrete mixtures taken to tests (in kg/m^3 of concrete)

Typ:	K0: Próbkki wykonane na bazie kruszywa kamiennego					
	Wilgotność wagowa w_K [%]	K [kg/m^3]	P [kg/m^3]	C [kg/m^3]	W [kg/m^3]	D [kg/m^3]
K0/3a	0,00	1290,73	464,57	387,14	212,93	0,000
K0/3b	0,00	1002,56	360,85	300,71	165,39	3,308
Typ:	K1: Próbkki wykonane na bazie lekkiego kruszywa keramzytowego					
	Wilgotność wagowa w_K [%]	K [kg/m^3]	P [kg/m^3]	C [kg/m^3]	W [kg/m^3]	D [kg/m^3]
K1/1a	0,000	257,84	602,89	502,41	276,32	0,000
K1/2a	0,065	313,85	483,36	402,80	221,54	0,000
K1/3a	0,286	340,36	462,15	385,12	211,82	0,000
K1/1b	0,000	209,74	490,42	408,68	224,77	4,495
K1/2b	0,065	232,48	358,04	298,37	164,10	3,282
K1/3b	0,286	233,43	316,95	264,12	145,27	2,905
Typ:	K2: Próbkki wykonane na bazie lekkiego kruszywa Pollytag					
	Wilgotność wagowa w_K [%]	K [kg/m^3]	P [kg/m^3]	C [kg/m^3]	W [kg/m^3]	D [kg/m^3]
K2/1a	0,000	570,00	619,64	516,36	284,00	0,000
K2/2a	0,035	699,43	538,60	448,83	246,86	0,000
K2/3a	0,193	756,00	497,45	414,55	228,00	0,000
K2/1b	0,000	451,92	491,27	409,39	225,17	4,503
K2/2b	0,035	597,05	459,76	383,13	210,72	4,214
K2/3b	0,193	535,14	352,12	293,44	161,39	3,228

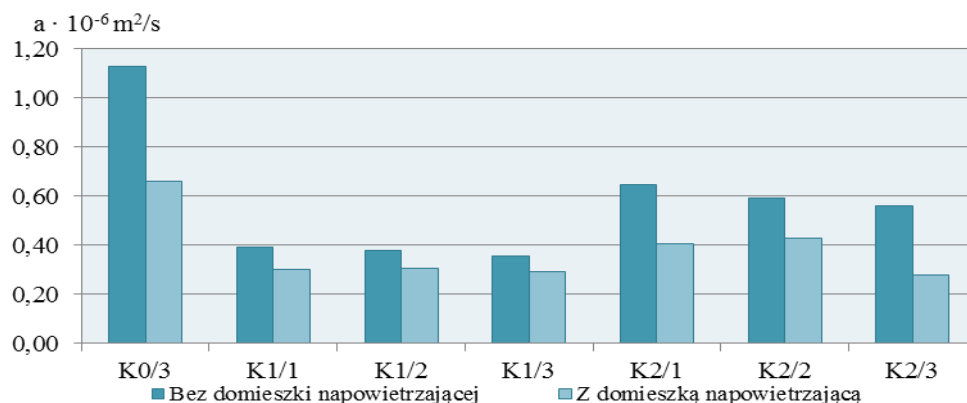
3. POMIARY CIEPLNE I ANALIZA OTRZYMANYCH WYNIKÓW

Pomiar właściwości cieplnych poszczególnych betonów wykonano przy użyciu aparatu Isomet 2104, który przedstawiono na rysunku 1. Aparat ten działa w oparciu o metodę nieustalonego przepływu ciepła, współpracując z przyłgowymi czujnikami temperatury oraz z tzw. sondami cieplnymi. Aparatem można badać bezinwazyjnie próbki w formie płyt o wymiarach nie mniejszych niż 50x50x10 mm.



Rys. 1. Aparat do pomiaru właściwości cieplnych ISOMET 2104
Fig. 1. Apparatus for testing heat parameter ISOMET 2104

Badania przeprowadzono na kostkach sześciennych o wymiarach 10x10x10 cm po 3, 7, 14 oraz 28 dniach dojrzewania. Poniżej przedstawiono wykresy porównawcze średnich współczynników wyrównania temperatury uzyskanych w badaniach 14 kompozytów, po upływie 28-dniowego okresu ich dojrzewania.



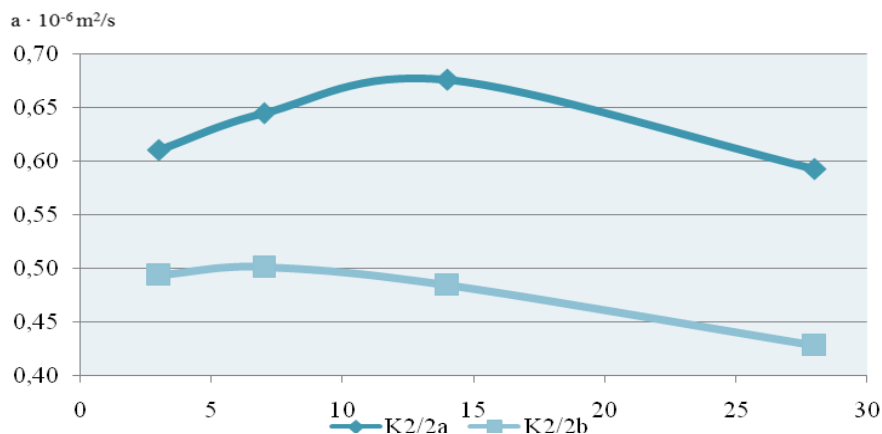
Rys. 2. Współczynniki wyrównania temperatury po 28 dniach dojrzewania betonów
Fig. 2. The temperature compensation coefficients of 28 days old concretes

Zestawione na rysunku 2 współczynniki wyrównania temperatury wykazują zdecydowanie najwyższe wartości w przypadku betonu zwykłego na bazie kruszywa kamiennego, przy czym ewidentnie wyższe wartości pojawiały się w przypadku betonu zwykłego nie napowietrzonego, w stosunku do tego z domieszką napowietrzającą. Znacznie niższymi wartościami współczynnika a cechują się betony wykonane na bazie kruszyw lekkich. Wartości tego parametru w przypadku betonów z Pollytagiem są o około 45 % niższe w porównaniu do betonów zwykłych. Najniższe współczynniki a otrzymano dla kompozytów keramzytowych, wykazujących wartości mniejsze o ponad 60 % w stosunku do betonu zwykłego.

W przypadku każdej receptury ujawnił się także jednoznaczny wpływ zastosowanej domieszki napowietrzającej na współczynnik wyrównania temperatury. Największe różnice między próbkami z domieszką i bez domieszki zaobserwowano dla betonów z kruszywem kamiennym oraz z Pollytagiem. W przypadku betonów keramzytowych różnice między wartościami tego parametru dla próbek typu a i b nie są już tak istotne.

Warte podkreślenia jest również, że wielkość wstępnego nasycenia wodą kruszyw sztucznych nie miała większego wpływu na współczynnik wyrównania temperatury betonów lekkich po 28-dniowym okresie ich dojrzewania.

Na rysunku 3 przedstawiono rozwój współczynnika wyrównania temperatury dla przykładowo wybranego betonu K2/2 w okresie pierwszych czterech tygodni dojrzewania. Na wykresach ujawnia się wpływ warunków przechowywania na przebieg zmienności współczynnika a betonu bez domieszki i z domieszką napowietrzającą. Specyficzny charakter zmienności parametru a w czasie związany jest ze strukturą porowatości materiału oraz występującymi ograniczeniami dotyczącymi możliwości odparowywania wody w pierwszym tygodniu dojrzewania, gdy próbki były przechowywane w szczelnych foliowych workach, które hamowały proces wysychania. W przypadku betonu napowietrzonego K2/2b (w okresie kolejnych trzech tygodni) oraz w przypadku betonu nienapowietrzonego (w okresie ostatnich dwóch tygodni) współczynnik przewodzenia ciepła malał intensywniej niż objętościowe ciepło właściwe, w efekcie czego wartość współczynnika wyrównania temperatury również spadała.



Rys. 3. Rozwój współczynnika wyrównania temperatury betonu K2/2 w pierwszych 28 dniach

Fig. 3. Development of the temperature compensation coefficient of K2/2 concrete for the first 28 days

4. PODSUMOWANIE

W niniejszej pracy omówiono wpływ zastosowanego kruszywa oraz domieszki napowietrzającej na wartości współczynnika wyrównania temperatury a testowanych 14 kompozytów betonowych. Przedstawiono współczynniki a uzyskane dla różnych betonów wykonanych na bazie kruszyw kamiennych oraz lekkich kruszyw sztucznych. Opisano różnice w wartościach współczynnika a dla betonów z domieszką oraz bez domieszki na-

powietrzającej. Wykazano, że wartość tego współczynnika znacząco zmienia się w trakcie dojrzewania betonu w okresie pierwszych 28 dni.

5. LITERATURA

- [1] PN-EN ISO 13786:2008, Ciepłne właściwości użytkowe komponentów budowlanych, Dynamiczne charakterystyki cieplne, Metody obliczania,
- [2] Domagała L.: Wytrzymałość konstrukcyjnych betonów lekkich a wstępna wilgotność kruszyw porowatych, Konferencja „Dni Betonu”, 2010,
- [3] Kaszyńska M., Rucińska T.: Wpływ kompozycji kruszywa na właściwości lekkich betonów samozagęszczalnych, Konferencja „Dni Betonu”, 2008.

MEASUREMENTS OF THE TEMPERATURE COMPENSATION COEFFICIENTS OF MISCELLANEOUS CONCRETES

SUMMARY

The paper presents temperature compensation coefficients for the fourteen different concrete composites based on natural coarse aggregate and artificial lightweight aggregates: LECA and Pollytag. The report shows the influence of initial water saturation of lightweight aggregates on the thermal parameters and the effect of aeration admixture on these parameters. Moreover, it analyzes the development of the temperature compensation coefficient for the first 28 days of the curing period.

Halina GARBALIŃSKA, dr hab. inż., prof. ZUT
Jarosław STRZAŁKOWSKI, mgr inż.

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
Wydział Budownictwa i Architektury
Katedra Dróg, Mostów i Materiałów Budowlanych
Zakład Materiałów Budowlanych i Fizyki Budowli
al. Piastów 50, 70-311 Szczecin
e-mail: halina@zut.edu.pl

WPŁYW TECHNIKI DOZOWANIA DOMIESZKI NAPOWIEETRZAJĄCEJ NA PARAMETRY WYTRZYMAŁOŚCIOWE I CIEPLNE BETONU LEKKIEGO

STRESZCZENIE

Przedstawione badania odnoszą się do grupy sześciu kompozytów betonowych. Kompozyty wykonano na bazie kruszywa lekkiego, o różnym wyjściowym zawilgoceniu (od stanu suchego do stanu pełnego nasycenia wodą). Trzy mieszanki betonowe wykonano bez użycia domieszki napowietrzającej. Do trzech kolejnych dodawano domieszkę napowietrzającą – w tej samej ilości, ale w różny sposób. Dokonano oceny badawczej wpływu techniki dozowania domieszki na wybrane właściwości technologiczne świeżej mieszanki oraz podstawowe parametry cieplne i wytrzymałościowe stwardniałego betonu.

1. WPROWADZENIE

Zarówno właściwości cieplne jak i wytrzymałościowe betonów zależą od wielu czynników. Między innymi od rodzaju użytego kruszywa, ilości oraz typu cementu, wskaźnika wodno-cementowego, rodzaju i ilości zastosowanych domieszek i dodatków, ale również od technologii wykonywania oraz czasu i warunków dojrzewania betonu.

Przy wykonywaniu betonów zwykłych na bazie kruszywa kamiennego wpływ domieszek napowietrzających na właściwości betonu zależy w dominującej mierze od rodzaju i ilości wprowadzonej domieszki. Inaczej sytuacja wygląda przy zastosowaniu kruszywa sztucznego o porowatej strukturze. W przeciwieństwie bowiem do kruszyw naturalnych cechują się one wysoką nasiąkliwością, której wpływ na efekty działania domieszki jest niebagatelny. W niniejszym opracowaniu skupiono się właśnie na zróżnicowanym

oddziaływaniu domieszki napowietrzającej na parametry betonu wykonanego na bazie kruszywa lekkiego Pollytag.

2. RECEPTURY PRZYJĘTE DO BADAŃ

2.1. Kruszywo

Podstawowym surowcem do produkcji Pollytagu jest popiół lotny – uboczny produkt powstający w procesie spalania węgla w elektrowniach i elektrociepłowniach [1]. Lekkie kruszywo popiołoporytowe powstaje poprzez granulowanie i spiekanie popiołów lotnych najczęściej na urządzeniach rusztowych lub piecach obrotowych w temperaturze $1000 \div 1350$ °C. Pollytag cechuje się dużą lekkością, żaroodpornością i znaczną wytrzymałością na ściskanie, co pozwala na uzyskanie betonów lekkich o wysokiej ognioodporności i wytrzymałości przekraczającej 60 MPa, przy jednoczesnej redukcji ciężaru o 25 % w stosunku do betonów zwykłych. W Europie kruszywo popiołoporytowe znane jest pod nazwą Lytag i stosowane jest w szerokim zakresie w budownictwie mieszkaniowym, użyteczności publicznej, drogownictwie i mostownictwie. Kruszywo Pollytag przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Kruszywo Pollytag (frakcja 4÷8 mm)

Fig. 1. Pollytag aggregate (fraction 4÷8 mm)

Ustalając wyjściowe założenia badawcze, za niezbędne uznano przeprowadzenie badań nasiąkliwości, z uwagi na dużą porowatość kruszywa, powodującą zmianę ilości wody uczestniczącej w procesie hydratacji. Badanie polegało na zamaczaniu odmierzonej ilości wysuszonego do stałej masy kruszywa i ważeniu próbki w stanie powierzchniowo wysuszonym w określonych odstępach czasu. Wyniki uzyskane w doświadczeniu zestawiono w tabeli 1. Ustalono, że maksymalne nasycenie wodą kruszywa wynosi 19,3 %.

Tabela 1. Wyniki badania nasiąkliwości kruszywa Pollytag

Table 1. The results of aggregate absorption of Pollytag

Nr próbki	Próbka nr I		Próbka nr II		Wilgotność wagowa średnia [%]
Waga pojemnika [g]	262,50		262,55		
Waga pojemnika z próbką [g]	860,17		884,66		
Waga próbki [g]	597,67		622,11		
Czas zamaczania kruszywa [min]	Masa pojemnika z próbką [g]	Wilgotność wagowa [%]	Masa pojemnika z próbką [g]	Wilgotność wagowa [%]	
5	949,90	15,01	984,54	16,06	15,53
10	952,25	15,41	981,09	15,50	15,45
15	952,24	15,40	981,78	15,61	15,51
30	952,23	15,40	981,23	15,52	15,46
1440 (24h)	976,40	19,45	1004,21	19,22	19,33

2.2. Założenia wstępne

W celu oceny wpływu wyjściowego zawilgocenia kruszywa oraz technologii dozowania domieszki na właściwości cieplne i wytrzymałościowe kompozytów betonowych zdecydowano się na przetestowanie sześciu receptur mieszanek betonowych, wykonanych na bazie kruszywa Pollytag. Przyjęto następujące założenia wyjściowe przy projektowaniu receptur:

- stały wskaźnik wodno-cementowy równy 0,55,
- stały stosunek piasku do cementu równy 1,2,
- ten sam rodzaj cementu CEM I 42,5R,
- piasek kwarcowy 0 ÷ 2 mm, z odsianym nadziarnem,
- kruszywo grube tej samej frakcji z przedziału 4 ÷ 8 mm.

Niniejsze założenia przyjęto na podstawie analizy danych literaturowych, zawartych m.in. w pracy [3]. Wyszczególniono trzy główne typy receptur mieszanek betonowych, zróżnicowanych z uwagi na stan wilgotnościowy kruszywa lekkiego wprowadzanego do mieszanki. Zastosowano mianowicie:

- kruszywo wysuszone do stałej masy,
- kruszywo w stanie naturalnym,
- kruszywo całkowicie nasycone wodą.

Zdecydowano się na stymulowanie zawilgocenia kruszywa na różnym poziomie (od suchego do w pełni nasyconego), z uwagi na znaczącą nasiąkliwość kruszyw lekkich [4] i jej spodziewany wpływ na podstawowe parametry świeżego i stwardniałego betonu. Pełne nasycenie kruszywa wodą miało na celu całkowite zredukowanie odciągania przez kruszywo wody z zaczynu cementowego.

W ramach trzech receptur podstawowych wydzielono dodatkowo dwie kategorie *a* oraz *b*. Kategorii *a* odpowiadają receptury wyjściowe bez domieszki napowietrzającej, natomiast kategorii *b* te same receptury, ale dodatkowo z domieszką napowietrzającą w ilości 1,1 % masy cementu. Producent podaje graniczne proporcje stosowania domieszki od 0,05 % do 1,6 %. Przyjęty stosunkowo wysoki procent zawartości domieszki w mieszance miał na celu uwidocznienie różnic między testowanymi betonami i technologiami ich wykonania. Skład receptur na 1 m³ betonu przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Receptury mieszanek betonowych przyjętych do badań (w kg/m³ betonu)

Table 2. Formulae of concrete mixtures taken to tests (in kg/m³ of concrete)

Typ:	Wilgotność wagowa w_K [%]	K [kg/m ³]	P [kg/m ³]	C [kg/m ³]	W [kg/m ³]	D [kg/m ³]	Objętość kruszywa K [%]	Objętość zaprawy [%]
1	2	3	4	5	6	7	8	9
K1a	0,000	570,00	619,64	516,36	284,00	0,000	42	68
K2a	0,035	699,43	538,60	448,83	246,86	0,000	50	59
K3a	0,193	756,00	497,45	414,55	228,00	0,000	45	55
K1b	0,000	451,92	491,27	409,39	225,17	4,503	33	54
K2b	0,035	597,05	459,76	383,13	210,72	4,214	43	51
K3b	0,193	535,14	352,12	293,44	161,39	3,228	32	39

W tabeli 2 podano wagowe proporcje poszczególnych składników betonów. Receptury 2 oraz 3 w masie kruszywa K (4 ÷ 8 mm) zawierały wodę w ilości odpowiadającej wartościom wilgotności kruszywa podanym w kolumnie 2. Ilość piasku P podana została w stanie całkowitego wysuszenia. W przedstawia ilość wody dodaną w czasie wykonywania mieszanki (bez wody zawartej w kruszywie lekkim). W kolumnie 8 podano objętość kruszywa K, a w kolumnie 9 objętość zaprawy (P + C + W). Dla betonów lekkich suma tych objętości daje wartości powyżej 100 % z uwagi na występujące odciąganie wody przez kruszywo w czasie wykonywania mieszanek.

2.3. Technologia wykonywania mieszanek

Podstawą wstępnie przyjętych receptur mieszanek były dane opublikowane w [3]. Prezentowane w [3] wyniki wskazywały, że wraz ze wzrostem nasycenia wodą kruszywa lekkiego drastycznie spada w mieszance betonowej ilość zaprawy, niezbędnej do wypełnienia przestrzeni między ziarnami.

W czasie wykonywania pierwszej mieszanki okazało się, że przyjęte założenie jest błędne. Takie proporcje zaprawy do kruszywa były całkowicie niewystarczające. Dlatego też w trakcie realizacji pracy [5] przyjęto doświadczalną metodę opracowywania receptur. Polegała ona na korygowaniu ilości zaprawy, aż do uzyskania żądanej konsystencji i urabialności mieszanki. Dzięki temu możliwe było utrzymanie ważności założeń przyjętych w pkt. 2.2. Następnie wykonywano taką samą mieszankę na bazie identycznej receptury, ale z domieszką napowietrzającą. Końcowe receptury betonów z domieszką i bez

domieszki podane w tabeli 2 różnią się znacząco. Wynika to z przeliczenia ich składu na 1m^3 .

Trudno jest jednoznacznie wykazać, że wraz ze wzrostem początkowego zawilgocenia kruszywa lekkiego ilość zaprawy potrzebnej w mieszance znacząco maleje. Można natomiast przyjąć, że powoduje to nieznaczne rozrzedzenie konsystencji i upłynnienie zaprawy w mieszance betonowej.

Przy projektowaniu betonów na bazie kruszyw lekkich skomplikowane jest określenie dokładnego poziomu współczynnika wodno-cementowego, niezależnie od tego, czy kruszywo było w stanie pełnego nasycenia wodą, czy też wysuszone do stałej masy. Część wody trafia albo z kruszywa do zaprawy, albo z zaprawy do kruszywa. Mimo powyższego stwierdzenia, najkorzystniejsze okazało się stosowanie kruszywa w stanie wysuszonym lub w stanie naturalnym. Proces nasycania kruszywa wodą jest kłopotliwy. Kruszywo takie należało po nasyceniu wodą powierzchniowo wysuszyć, co nawet przy ilości kruszywa do badań doświadczalnych było niezwykle uciążliwe. Bez odpowiedniego przygotowania kruszywa nasyczonego wodą w warunkach budowlanych istnieje duże ryzyko dostarczenia niekontrolowanej ilości wody występującej na powierzchni ziaren.

Przeprowadzone testy wskazują, że przy wykonywaniu betonów na bazie kruszyw lekkich należy dostosować się do poniższych wytycznych:

- kruszywo lekkie powinno być w stanie wysuszonym lub naturalnym, ale o określonym wagowym poziomie wilgotności,
- dozowanie składników należy rozpocząć od kruszywa lekkiego, piasku oraz ok. 50 % wody zarobowej,
- pozostałe składniki należy dodać po odpowiednim otoczeniu ziaren kruszywa piaskiem (tak jak przedstawiono na rysunku 2)



Rys. 2. Wstępnie nasycone wodą kruszywo otoczone piaskiem

Fig. 2. Pre-saturated coarse aggregate surrounded by fine aggregate

Wpływ domieszki napowietrzającej na właściwości betonu na bazie kruszyw lekkich zależy w dużej mierze od zastosowanej technologii wykonania mieszanki. Z uwagi na silną nasiąkliwość kruszyw lekkich część domieszki trafia bezpośrednio do ziaren kru-

szywa, w związku z czym nie wpływa na właściwości betonu. Ilość „niepracującej” domieszki zależy z jednej strony od zawilgocenia kruszywa, a z drugiej od kolejności dozowania domieszki.

Domieszkę napowietrzającą dostarczano do mieszanki wymieszaną w połowie wody zarobowej. W recepturach K1b oraz K3b do kruszywa dodawano najpierw czystą wodę, natomiast w recepturze K2b wodę z domieszką napowietrzającą. Zamiana kolejności dozowania domieszki spowodowała, że duża część domieszki trafiła bezpośrednio do ziaren kruszywa.

Przy wykonywaniu mieszanek sprawdzano każdorazowo konsystencję metodą stożka opadu [2]. Wyniki testów pokazano w tabeli 3. Na podstawie wyników z betonów K1b oraz K3b widać wyraźnie, że domieszka napowietrzająca spowodowała uplastycznienie mieszanki i zwiększenie jej urabialności. Im większe wstępne nasycenie wodą betonu, tym mniej domieszki trafia do kruszywa, a tym samym wzmacnia się efekt napowietrzenia. Pośredni wynik uzyskano by prawdopodobnie dla betonów K2, gdyby nie inna kolejność dozowania domieszki, która spowodowała, że jej znaczna część trafiła do kruszywa. Jak widać otrzymana konsystencja nie różni się znacząco od mieszanki bez domieszki.

Tabela 3. Badanie konsystencji mieszanek betonowych metodą opadu stożka
Table 3. Slump test of concrete mixtures

Typ próbek:	K1a	K1b	K2a	K2b	K3a	K3b
Opad stożka I [mm]	79	136	25	38	27	159
Opad stożka II [mm]	94	115	37	43	16	168
Konsystencja:	S2	S3	S1	S1	S1	S3/S4

Podobną tendencję można zaobserwować porównując gęstości objętościowe świeżego betonu podane w tabeli 4. Z analizy danych dotyczących receptur K1b oraz K3b wynika, że im większe wstępne nasycenie kruszywa lekkiego wodą, tym większy wpływ domieszki na parametry betonu. Także tutaj wyraźnie uwidocznia się w przypadku betonu K2 wpływ kolejności dozowania domieszki na stosunek gęstości mieszanek z oraz bez domieszki.

Tabela 4. Gęstość objętościowa testowanych mieszanek betonowych
Table 4. Density of tested concrete mixtures

Typ próbek:	K1a	K1b	K2a	K2b	K3a	K3b
ρ [kg/dm ³]	1,96	1,55	1,93	1,65	1,94	1,38
Stosunek gęstości $\rho(a)/\rho(b)$	1,26		1,17		1,41	

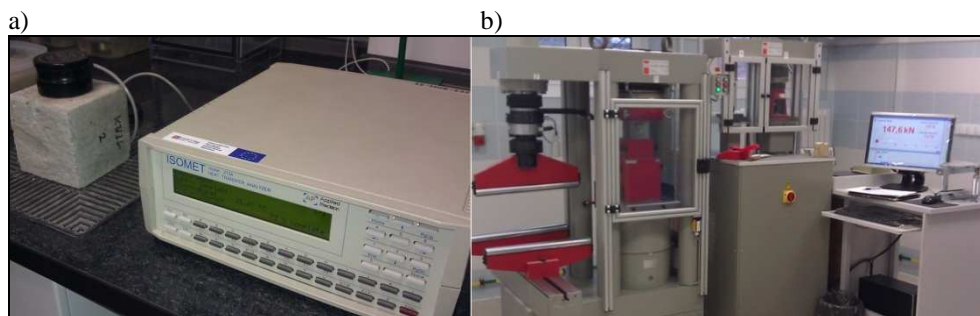
Na podstawie wcześniej przedstawionych wyników wyróżnić należy dwa sposoby dozowania domieszki napowietrzającej:

- a) Domieszkę rozrabia się równomiernie w całej wodzie zarobowej – umiarkowany efekt napowietrzenia,

- b) Domieszkę rozrabia się w połowie wody zarobowej, najpierw dodając czystą wodę do kruszywa, następnie wodę z domieszką – silny efekt napowietrzenia.

3. BADANIA CIEPLNE I WYTRZYMAŁOŚCIOWE

Przeznaczone do dalszych badań próbki poszczególnych betonów (K1a, K1b, K2a, K2b, K3a, K3b) przechowywane były w formach przez 24 h na ruszcie nad wodą. Następnie po rozformowaniu przez pierwsze 7 dni przechowywano je w szczelnych foliowych workach, później bezpośrednio na powietrzu w temperaturze $20^{\circ}\text{C} \pm 2$ oraz wilgotności ok. 50 %, aż do określonego czasu badania. Pomiary cieplne i wytrzymałościowe w odniesieniu do testowanych betonów przeprowadzono po 3, 7, 14 oraz 28 dniach. Najpierw wyznaczano parametry cieplne za pomocą aparatu ISOMET 2104 i sondy przylgowej o odpowiednim zakresie pomiarowym, a następnie na tych samych próbkach wykonywano próby niszczące przy użyciu prasy. Aparaturę do badań przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Aparatura do badań: ISOMET 2104 (a), Prasa do badania wytrzymałości (b)

Fig. 3. Apparatus for testing: ISOMET 2104 (a), Press for strength testing (b)

3.1. Właściwości cieplne

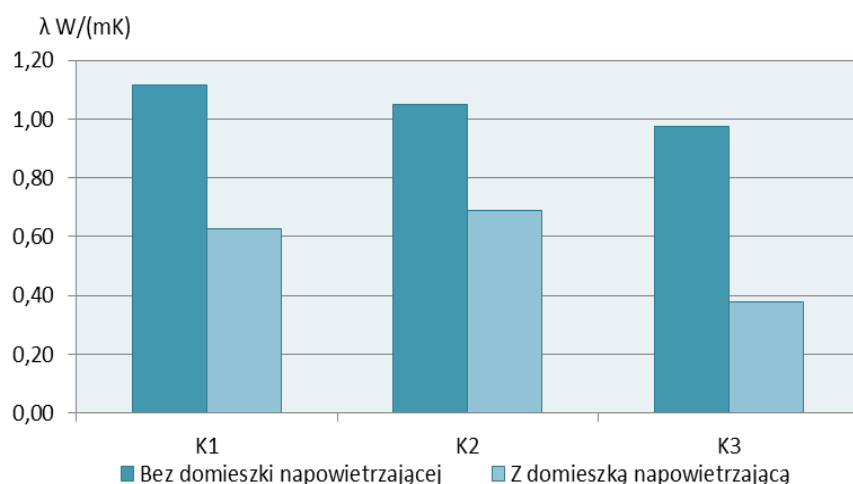
Parametry cieplne betonów uzyskane po 28 dniach przedstawiono w tabeli 5. Widać, że w każdym przypadku w efekcie zastosowania domieszki napowietrzającej uzyskano spadek wartości parametrów cieplnych – zarówno współczynnika przewodzenia ciepła λ , jak i ciepła właściwego c_p oraz współczynnika wyrównania temperatury a .

Tabela 5. Parametry cieplne testowanych betonów po 28 dniach

Table 5. Heat parameters of the tested concretes after 28 days

Typ próbek:	K1a	K1b	K2a	K2b	K3a	K3b
$a [10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}]$	0,65	0,41	0,59	0,43	0,56	0,28
$c_p [10^6 \text{ J}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})]$	1,72	1,55	1,77	1,61	1,74	1,37
$\lambda [\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$	1,12	0,63	1,05	0,69	0,98	0,38
Stosunek $\lambda(a)/\lambda(b)$	1,78		1,52		2,57	

Występujące relacje ilościowe między poszczególnymi współczynnikami przewodzenia ciepła zobrazowano na rysunku 4. Widać wyraźnie, że technika dozowania domieszki ma znaczący wpływ na parametry cieplne, głównie na współczynnik przewodzenia ciepła. Stosunek współczynnika λ dla betonu K2 między mieszanką bez domieszki oraz z domieszką był najmniejszy, mimo iż zawartość wody w kruszywach do tych betonów była większa niż w przypadku próbek K1.



Rys. 4. Współczynniki przewodzenia ciepła testowanych betonów po 28 dniach

Fig. 4. The coefficient of thermal conductivity of concrete tested at 28 days

3.2. Wytrzymałość na ściskanie

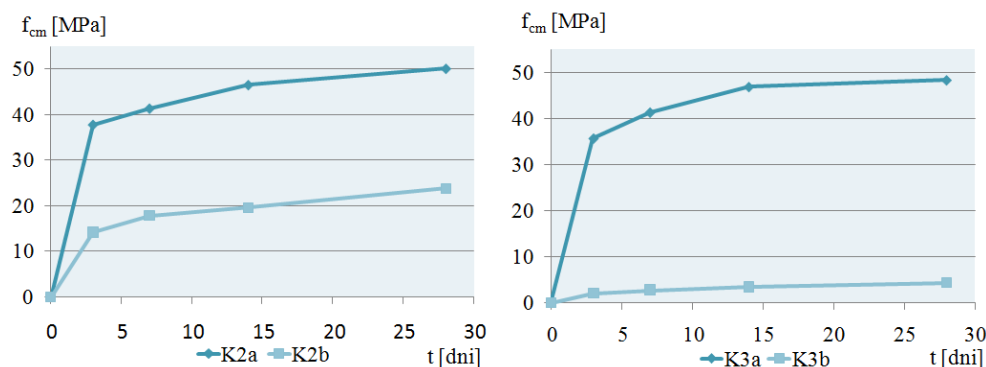
Charakterystyczną wytrzymałość betonów na ściskanie podano w tabeli 6. Użycie domieszki napowietrzającej w ilość 1,1 % masy cementu powoduje bardzo silne napowietrzenie skutkujące znaczącym spadkiem wytrzymałości. Również na przykładzie rozkładu wytrzymałości widać wyraźnie, że wcześnie dodanie domieszki do kruszywa lekkiego skutkuje spadkiem wydajności samej domieszki w oddziaływaniu na parametry mechaniczne betonu K2. Wyniki wytrzymałości dla betonów K3, w których kruszywo było w pełni nasycone wodą świadczą o maksymalnym wykorzystaniu domieszki w betonie. Tylko minimalna ilość napowietrzacza mogła dostać się do ziaren kruszywa.

Tabela 6. Charakterystyczna wytrzymałość betonów na ściskanie

Table 6. The characteristic compressive strength of concretes

Typ próbek:	K1a	K1b	K2a	K2b	K3a	K3b
$f_{ck,cube,15}$ [MPa]	46,55	14,46	43,66	20,39	40,27	3,62
Stosunek $f(a)/f(b)$	3,22		2,14		11,11	

Na rysunku 5 przedstawiono rozwój wytrzymałości betonów K2 oraz K3 w czasie pierwszych 28 dni. W przypadku betonów bez domieszki, tj. K2a oraz K3a rozwój wytrzymałości betonów był zbliżony, mimo nieznacznie różnych receptur. Natomiast ujawniają się wyraźne różnice przy analizie porównawczej dotyczącej wytrzymałości próbek zawierających domieszkę.



Rys. 5. Rozwój wytrzymałości betonów K2 oraz K3 w czasie pierwszych 28 dni
Fig. 5. The development of strength of K2 and K3 concretes during the first 28 days

4. PODSUMOWANIE

W niniejszej pracy przedstawiono wpływ techniki dozowania domieszki napowietrzającej na parametry cieplne i wytrzymałościowe betonu, wykonanego na bazie kruszyw lekkich o różnym stopniu nasycenia wodą. Udowodniono, że sposób dodawania domieszki napowietrzającej ma ogromny wpływ na właściwości mieszanki, takie jak jej konsystencja, czy gęstość objętościowa, ale również na parametry stwardniałego betonu, takie jak współczynnik przewodzenia ciepła, ciepło właściwe, współczynnik wyrównania temperatury oraz wytrzymałość na ściskanie. Wykazano, że zmiana kolejności dodawania czystej wody i wody z domieszką wywiera bardzo duży wpływ na wynikowe parametry kompozytu betonowego.

W związku z tym zaleca się, aby przy projektowaniu mieszanek na bazie kruszyw lekkich o dużej porowatości i nasiąkliwości, z domieszkami podawanym z wodą zarobową ustalić sposób jej podawania. Staranność dozowania i restrykcyjne przestrzeganie ustalonych procedur warunkują uzyskanie betonów o zakładanych i powtarzalnych parametrach.

5. LITERATURA

- [1] Jamróży Z.: Beton i jego technologie, PWN, Warszawa, 2005,
- [2] PN-EN 1097-6:2002, Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw, Oznaczanie gęstości ziarn i nasiąkliwości,
- [3] Domagała L.: Wytrzymałość konstrukcyjnych betonów lekkich a wstępna wilgotność kruszyw porowatych, Konferencja „Dni Betonu”, 2010,
- [4] Kaszyńska M., Rucińska T.: Wpływ kompozycji kruszywa na właściwości lekkich betonów samozagęszczalnych, Konferencja „Dni Betonu”, 2008,

- [5] Strzałkowski J.: Ocena przydatności wybranych kompozytów betonowych do wykonywania ścian zewnętrznych, praca dyplomowa magisterska, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, 2012,
- [6] PN-EN 12350-2:2001, Badania mieszanki betonowej, Badanie konsystencji metodą opadu stożka.

THE EFFECT OF DOSING TECHNIQUE OF AERATION ADMIXTURE ON THE HEAT AND STRENGTH PARAMETERS OF LIGHTWEIGHT CONCRETE

SUMMARY

The presented study refers to a group of six concrete composites. The composites were based on lightweight aggregate, with a diverse levels of moisture content (from dried to fully saturated with water coarse aggregate). Three of those composites were made without aeration admixture. To the other three aeration admixture was added – with the same quantity, however with a different technique. Moreover the paper shows the evaluation of influence of admixture dosing technique on chosen technological properties of fresh concrete and also basic heat and strength parameters of hardened concrete.

