

II Konferencja SOLINA 2008
ENERGIA ODNAWIALNA
Innowacyjne Rozwiązania
Materiały i Technologie dla Budownictwa



Jerzy ADAMCZYK^{1,*}, dr inż.
Jan M. OLCHOWIK^{1,*}, dr hab. inż. - prof. nadzw.;
Robert TOMASZEWSKI^{*}, mgr;
Mateusz ADAMCZYK²,

¹Politechnika Lubelska
ul. Nadbystrzycka 38, 20-618 Lublin
e-mail: j.adamczyk@pollub.pl
^{*}PWSZ im. Papieża Jana Pawła II w Białej Podlaskiej
ul. Sidorska 95/97, 21-500, Biała Podlaska
² Wydział Matematyki Informatyki i Mechaniki
Uniwersytet Warszawski

**WYKORZYSTANIE CIEPŁA PROMIENIOWANIA
SŁONECZNEGO DO PRZYGOTOWANIA CIEPŁEJ WODY
W BUDYNKU WZiPT POLITECHNIKI LUBELSKIEJ**

STRESZCZENIE

W referacie przedstawiono wyniki badań instalacji kolektorów słonecznych zainstalowanych na budynku WZiPT Politechniki Lubelskiej. Instalacja wspomaga przygotowanie ciepłej wody. Dodatkowo opracowano program umożliwiający ciągły monitoring poszczególnych parametrów instalacji.

1. WPROWADZENIE

Zapewnienie dostępu do źródeł energii ma zasadnicze znaczenie dla rozwoju ludzkości. Wzrost zaludnienia i podnoszenie poziomu życia wymusza zwiększenie wytwarzania i zużycia energii. Tradycyjne źródła ulegają szybkiemu wyczerpaniu. Koniecznością staje się poszukiwanie nowych zasobów. Zgodnie z dyrektywą Unii Europejskiej w 2020 roku udział energii odnawialnych w całkowitym bilansie winien stanowić 12%. Jednym ze źródeł alternatywnych jest promieniowanie słoneczne.

2. PROMIENIOWANIE SŁONECZNE

W artykule przeanalizujemy możliwość wykorzystania energii słonecznej do przygotowania ciepłej wody w warunkach klimatycznych Polski. Energia promieniowania słonecznego jest wykorzystywana w wielu krajach. Czas operacji słonecznej zmienia się w ciągu roku i doby. Zmienia się wraz z:

- Szerokością geograficzną,
- Porą dnia,
- Porą roku,
- Lokalizacją obiektu,
- Stanem zanieczyszczenia środowiska (powietrza)

Chcąc określić możliwość wykorzystania energii promieniowania słonecznego powinniśmy znać następujące jego parametry:

- Uśłonecznienie,
- Napromieniowanie kWh/m²,
- Natężenie promieniowania słonecznego kW/m²,
- Strukturę promieniowania słonecznego
- Rozkład w czasie promieniowania zarówno w cyklu dobowym jak i rocznym.

Dla obszaru Polski roczna gęstość strumienia promieniowania słonecznego waha się w granicach 950 – 1250 kWh/m². W warunkach klimatycznych Polski region lubelski plasuje się jako jeden z korzystniejszych pod względem heliograficznym. Średnio roczne całkowite promieniowanie słoneczne wyniesie ponad 1050 kWh/m². Powyższe zobrazowano na rys. 1.

Załączona mapa przedstawia obszary zróżnicowanych sum rocznego napromieniowania zgodne z przyjętą normą dla całego kraju 3600MJ/m², co odpowiada wartości 1000kWh/m² z odchyłkami +/- 10%.

Znając rozkład promieniowania możemy określić tzw. koherentność (spójność źródła słonecznego z przewidywanym czasem i sposobem użytkowania energii). Zależy nam, by maksymalne moce danego źródła energii występowały w tym samym czasie, kiedy występuje największe zapotrzebowanie na energię użytkową. Jeżeli takie zjawisko nie występuje, wtedy energia musi być magazynowana w czasie, kiedy jest dostępna w dużych ilościach, aby mogła być wykorzystana w okresach późniejszych.

Średnie miesięczne całkowite napromieniowanie na płaszczyznę poziomą I, udział promieniowania rozproszonego [%] D i temperaturę powietrza zewnętrznego t_e dla Warszawy (uśrednione za okres 30 lat) przedstawiono w poniższej tabeli 1 [1]:

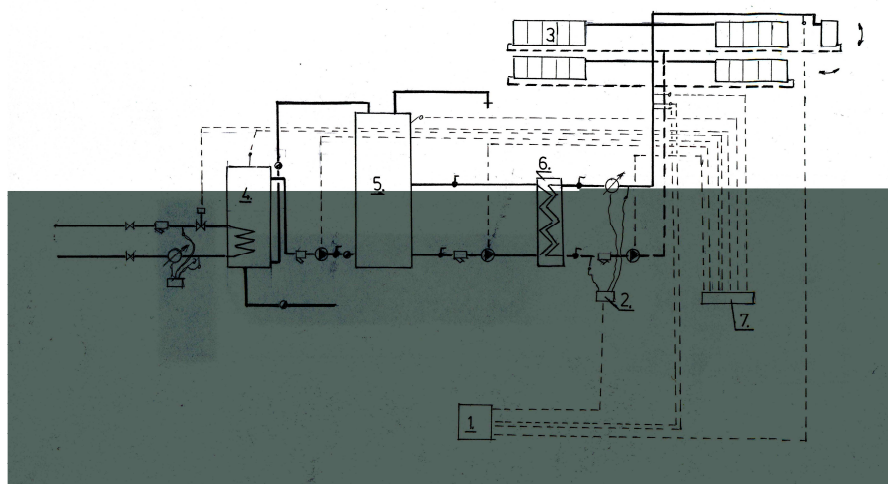
Tabela 1. Uśrednione dane klimatyczne.

Table 1. Climatological data

M	I	II	III	IV	V	VI	VII	VII	IX	X	XI	XII
I	16,2	27,4	67,0	95,6	137,0	164,0	158,0	134,0	65,0	48,0	16,7	11,2
D	67,0	65,8	63,8	49,8	47,4	43,8	45,3	45,2	46,7	54,8	68,6	74,4
t _e	-3,5	-2,6	1,2	7,8	13,8	17,3	19,1	18,2	13,9	8,1	3,0	-0,6

3. INSTALACJA SOLARNA

W celu weryfikacji możliwości wykorzystania promieniowania słonecznego do przygotowania ciepłej wody na budynku WZiPT Politechniki Lubelskiej zainstalowano 20 kolektorów płaskich nieruchomych o łącznej powierzchni 36 m^2 , oraz jeden automatycznie ustawiany prostopadłe do kierunku promieniowania słonecznego o powierzchni $1,8 \text{ m}^2$. Zrealizowany system pracuje w układzie biwalentnym tj. kolektory słoneczne wspomagają tradycyjny układ przygotowania ciepłej wody oparty o sieć ciepłą. W instalacji zastosowano płaskie kolektory słoneczne firmy Hewalex [5]. Umożliwiają one uzyskanie około 600 kWh energii użytecznej w ciągu roku z 1 m^2 absorbera. Rejestracja parametrów pracy kolektorów i instalacji centralnego ogrzewania odbywa się automatycznie. Do rejestracji zastosowano ciepłomierz APATOR LQM, 11 z którego za pomocą złącza BUS przesyłane są dane do komputera wyposażonego w kartę pomiarową. Komputer rejestruje następujące dane: natężenie przepływu płynu solarnego, temperaturę zasilającą i powrotną płynu solarnego, temperaturę wychodzącą z kolektora podążającego za ruchem słońca, temperaturę wody zimnej, temperaturę wody ciepłej, natężenie przepływu wody ciepłej i cyrkulacyjnej, parametry i natężenie przepływu wody sieciowej. Schemat stanowiska badawczego pokazano na rys.1.



1. Komputer IBM z kartą pomiarową
2. Licznik ciepła APATOR LQM 11
3. Kolektor HEWALEX
4. Podgrzewacz 500 dm^3
5. Zasobnik ciepła 1000 dm^3
6. Wymiennik ciepła płytowy
7. Sterownik GECO SR n12

Rys.1 Schemat stanowiska pomiarowego zrealizowanego na WZiPT.

Fig.1 The pattern of measuring position realized on WZiPT.

By uzyskać poprawną komunikację i wymianę danych licznika ciepła z komputerem wymiana danych musi następować według ściśle ustalonych zasad. Zasady te określone są przez protokół komunikacji. Protokół ten skonstruowany jest według obowiązujących norm. Licznik ciepła z serii LQM II firmy Apator zamontowany w instalacji solarnej wykorzystuje protokół transmisji danych. Zgodnie z tym protokołem transmisji, wykorzystując łącze komunikacyjne licznik powinien umożliwiać odczyt następujących danych bieżących: suma energii cieplnej, suma objętości nośnika, moc chwilowa, przepływ chwilowy, temperatura zasilania, temperatura powrotu, kod błędu, czas pracy, czas pracy z błędem. Licznik umożliwia też odczyt danych archiwalnych, będących sumą danych na koniec miesiąca. Do danych tych należą: energia, objętość, maksymalna moc i przepływ, czas pracy z błędem oraz kod błędu.

4. REZULTATY

Poniżej przedstawimy rezultaty uzyskane z analiz teoretycznych, oraz porównamy je z otrzymanymi wynikami z przeprowadzanych badań. Symulację przeprowadzono przy wykorzystując program GetSolar 8.0. Ważnym elementem w opłacalności ekonomicznej realizowanej instalacji jest zapewnienie odbioru ciepła z instalacji słonecznej. W związku z powyższym przeanalizowano ten sam układ w przypadku rozbioru ciepłej wody 100 dm³/dobę, oraz 1500 dm³/dobę. Do analiz przyjęto następujące dane: lokalizacja Lublin, szer. geogr.: 50,7° kolektor 38,18 m² Hewalex KS2000 TP charakterystyka: c₀ = 0,802 c₁ = 3,800 W/(m_sK) c₂ = 0,0067 W/(m_sK_s)

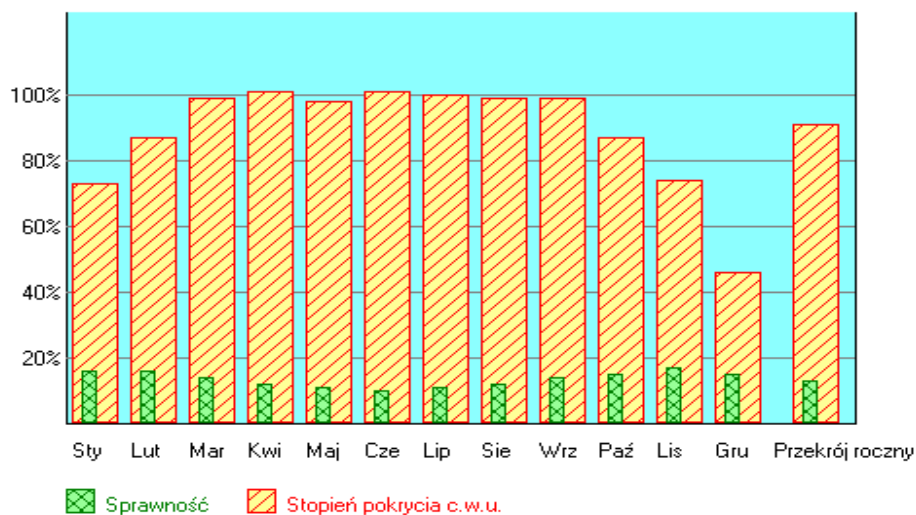
Pochyłość 45,0° Azymut: 0,0° Typ instalacji Ciepła woda Zasobnik 1500 litr Temperatura: max. 75°C / min. 42°C Ciepła woda 10°C na 50°C

Otrzymane wyniki przedstawiono w poniższych tabelach.

Tabela 2. Uzyskane dane przy zużyciu ciepłej wody 100 dm³/dobę .

Table 2. Got data near waste warm wody 100 dm³ / day .

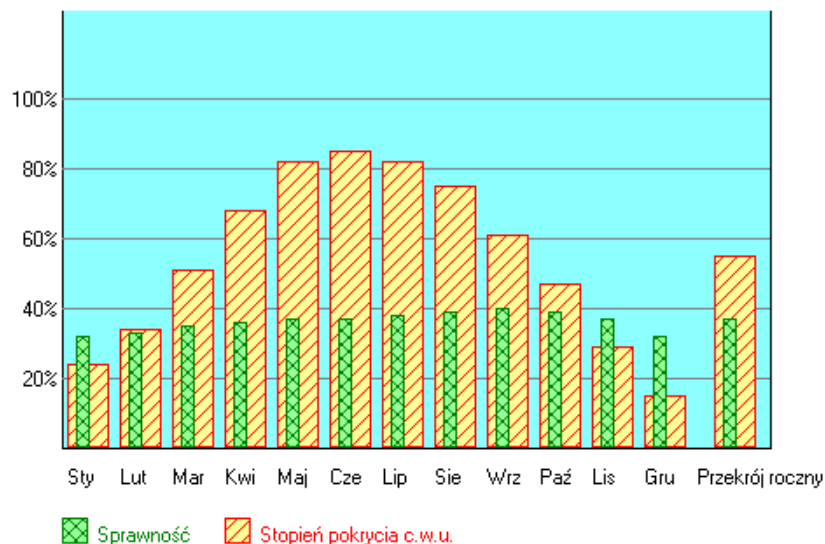
Miesiąc	Zysk solarny	Napromienowanie	Energia Konwen.	Stopień pokrycia	sprawność	CO ₂ mniej
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	%	%	[kg]
styczeń	274	1698	119	73	16	221,1
luty	348	2234	65	87	16	281,2
marzec	478	3448	24	99	14	386,6
kwiecień	531	4385	3	101	12	428,8
maj	571	5375	0	98	11	461,2
czerwiec	568	5413	0	101	10	459,0
lipiec	584	5301	0	100	11	471,6
sierpień	559	4698	0	99	12	451,8
wrzesień	506	3527	6	99	14	408,6
październik	417	2768	34	87	15	336,9
listopad	288	1726	87	74	17	232,6
<u>grudzień</u>	<u>152</u>	<u>1038</u>	<u>163</u>	<u>46</u>	<u>15</u>	<u>122,7</u>
razem	5274	41610	502	91	13	4262,1
Przeciętny roczny zysk kolektora: 138 kWh/m²						



Rys 2. Uzyskane dane przy zużyciu ciepłej wody 100 dm³/dobę .
 Fig 2. Got data near waste warm wody 100 dm³ / day .

Tabela 3. Uzyskane dane przy zużyciu ciepłej wody 1500 dm³/dobę .
 Table 3. Got data near waste warm wody 1500 dm³ / day .

Miesiąc	Zysk solarny [kWh]	Napromieniowanie [kWh]	Energia Konwen. [kWh]	Stopień pokrycia %	sprawność %	CO ₂ mniej [kg]
styczeń	543	1698	1741	24	32	438,5
luty	727	2234	1423	34	33	587,8
marzec	1203	3448	1163	51	35	971,8
kwiecień	1573	4385	736	68	36	1271,5
maj	1980	5375	437	82	37	1600,2
czerwiec	2005	5413	371	85	37	1620,0
lipiec	2005	5301	436	82	38	1619,9
sierpień	1824	4698	587	75	39	1473,8
wrzesień	1393	3527	902	61	40	1125,8
październik	1083	2768	1228	47	39	874,8
listopad	641	1726	1567	29	37	518,2
grudzień	330	1038	1845	15	32	266,4
razem	15306	41610	12438	55	37	12368,6
Przeciętny roczny zysk kolektora: 401 kWh/m ²						



Rys 3. Uzyskane dane przy zużyciu ciepłej wody 1500 dm³/dobę .
 Fig 3. Got data near waste warm wody 1500 dm³ / day .

Jeden kolektor w instalacji wykonany został jako ruchomy i jest sterowany za pomocą programu umożliwiającego automatyczną korektę położenia. Kolektor prowadzony jest automatycznie tak by ustawiał się prostopadłe do kierunku padania promieni słonecznych. Zwiększenie wydajności kolektora „ruchomego” w stosunku do kolektorów stacjonarnych średnio rocznie wzrosło o prawie 15% i największe było w miesiącach chłodnych przekraczało 30%.

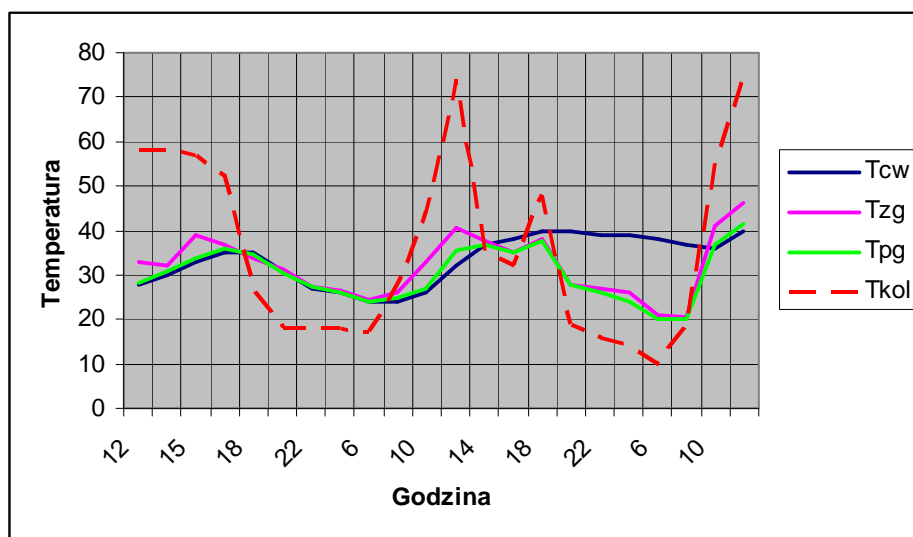
Jak podałem wcześniej wyniki analiz porównano z danymi uzyskanymi na drodze empirycznej. Poniżej przedstawiono tabelę z pierwszego uruchomienia instalacji.

Tabela 4. Wyniki pomiarów z uruchomienia instalacji.

Table 4. Results of measurements from actuation of installation

data	godz	woda	Tcw	Tzg	Tpg	Tkol	Q	Tcwzas	Tcwpod	ΔQ
		m3	0 C	0 C	0 C	0 C	GJ	0 C	0 C	GJ
19.08.03	12	1,1	28	32,8	28,4	58	0,13	30	28	0,03
	14	1,1	30	32,2	30,6	58	0,14	32	30	0,025
	15	1,1	33	39	34	57	0,16	32	30	0,02
	16	1,1	35	37	36	52	0,18	35	33	0,02
	18	1,2	35	34	34,6	27	0,19	35	34	0,01
	20	1,4	31	31,4	30,5	18	0,19	32	30	0
	22	1,4	27	27,5	27,5	18	0,19	28	34	0
	24	1,4	26	26,5	26	18	0,19	27	34	0

20.08.03	6	1,4	24	24,4	24	17	0,19	25	34	0
	8	1,5	24	26	25	28	0,19	25	34	0
	10	1,6	26	33	27	44	0,2	26	34	0,01
	12	1,6	32	0,8	35,5	74	0,24	34	34	0,04
	14	1,7	37	37,5	37	35	0,27	38	38	0,03
	16	1,7	38	35	35	32	0,28	38	38	0,024
	18	1,7	40	38	37,5	48	0,29	40	40	0,01
	20	1,8	40	27,6	28	19	0,31	40	40	0,005
	22	1,8	39	27	26	16	0,31	39	39	0
	24	1,8	39	26	24	14	0,31	39	39	0
21.08.03	6	1,8	38	20,8	20	10	0,31	39	39	0
	8	2	37	20,6	20	19	0,31	38	39	0
	10	2	36	41	37	55	0,32	36	39	0,01
	12	2,1	40	46,1	41,7	74	0,35	40	40	0,03

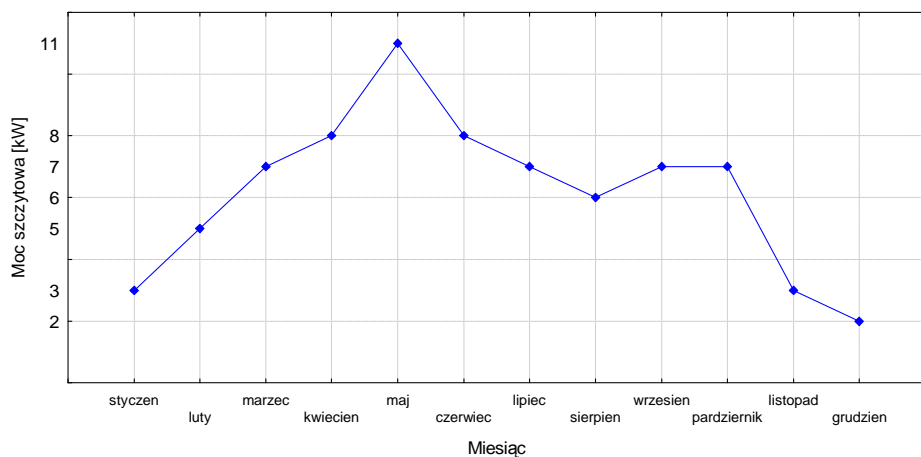


Rys 4. Przebieg zmian temperatury .
Fig 4 Course of changes of temperature.

Tabela 5. Średnie miesięczne w roku 2006.

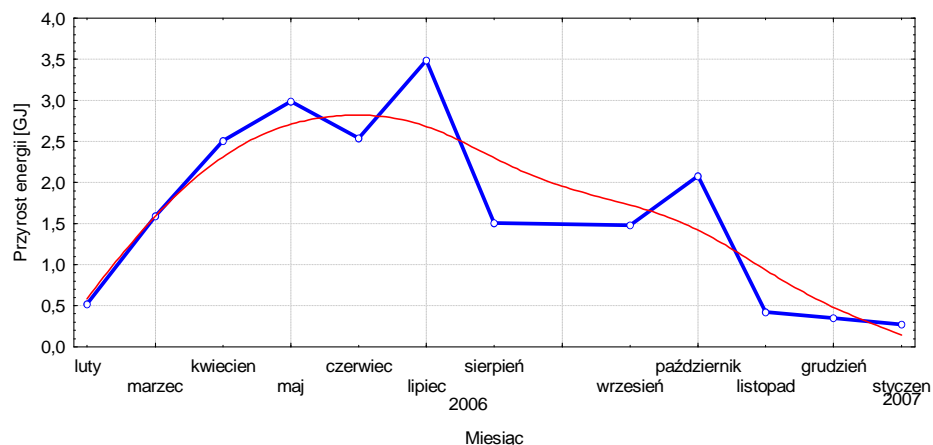
Table 5. Average monthly in year 2006

miesiąc	energia ciepła [GJ]	objętość [m ³]	moc Szczytowa [kW]	przepływ szczytowy [m ³ /h]	temperatura na zasilaniu [°C]	temperatura na powrocie [°C]
styczeń	64,60	5525,99	3	0,73	16,0	15,6
luty	65,12	5563,65	5	0,72	28,5	27,8
marzec	66,71	5674,72	7	0,31	20,2	19,6
kwiecień	69,22	5823,68	8	1,01	44,6	44,3
maj	72,21	5978,30	11	0,69	26,5	26,2
czerwiec	74,75	6120,51	8	0,61	50,7	50,1
lipiec	78,24	6233,86	7	0,56	74,5	72,7
sierpień	79,75	6350,23	6	0,54	31,7	31,2
wrzesień	81,23	6519,76	7	0,77	27,5	29,6
październik	83,31	6983,01	7	0,65	15,2	16,1
listopad	83,73	7406,64	3	0,71	12,9	13,4
grudzień	84,08	7494,52	2	0,68	22,0	21,4



Rys 5. Maksymalne moce uzyskane w poszczególnych miesiącach w roku 2006 .

Fig 5. Maximum got in individual months in year 2006 powers .



Rys 6. Zmiany energii w poszczególnych miesiącach w roku 2006 .
Fig 6. The change of energy in individual months in year 2006 .

5. WNIOSKI

Reasumując można stwierdzić że:

- Koszty inwestycyjne są o około 60 % wyższe od instalacji wykorzystujących tradycyjne systemy przygotowania ciepłej wody. Wpływ na powyższe ma polityka prowadzona przez kolejne ekipy decydenckie, gdyż podatek VAT na kolektory słoneczne wynosi 22%, a na kotły 7%. Należałoby rozważyć wprowadzenie zerowej stawki podatku VAT na instalacje wykorzystujące odnawialne źródła ciepła.
- Wykazano, że w warunkach klimatycznych Polski nawet w miesiącach chłodnych (zimowych) możliwe jest wykorzystanie energii promieniowania słonecznego do przygotowania ciepłej wody użytkowej. Oszczędności wyniosą około 42% w zużyciu tradycyjnych nośników energii.
- Należy podkreślić że wprowadzenie do szerszego stosowania instalacji wykorzystujących odnawialne źródła ciepła spowoduje zmniejszenie emisji substancji zanieczyszczających środowisko – w zależności od paliwa (CO₂, NO_x, SO₂, pyły, para wodna).
- Uzyskanie znaczących efektów energetycznych bez konieczności monitoringu pracy instalacji i komputerowego wspomaganie nie jest możliwe.

6. SPIS LITERATURY

1. Wnuk R. Wykorzystanie odnawialnych źródeł ciepła w budownictwie – poradnik W-wa 2000
2. Wiśniewski G. Gołębiowski S. Gryciuk M. Kolektory słoneczne poradnik wykorzystania energii słonecznej COIB Warszawa 2001
3. Wołoszyn M.A. Wykorzystanie energii słonecznej w budownictwie jednorodzinym, COIB, Warszawa, 1999
4. Wołoszyn M.A. Wykorzystanie energii słonecznej w budownictwie jednorodzinym, COIB, Warszawa, 1991
5. Materiały katalogowe Viessman, Hewalex

**THE HEAT TO PREPARATION of WARM WATER W BUILDING WZiPT
the LUBELSKIEJ ENGINEERING COLLEGE**

SUMMARY

It the results of investigations of installation sunny collectors in report were introduced was installed on building WZiPT Lubelskiej Politechniki. The installation helps the preparation of warm water. The programme was has worked out the enabling continuous monitoring of individual parameters of installation additionally.

II Konferencja SOLINA 2008

ENERGIA ODNAWIALNA
Innowacyjne Rozwiązania
Materiały i Technologie dla Budownictwa



Calogero BELLANCA, professore

Facoltà di Architettura Valle Giulia
Università di Roma
Via Antonio Gramsci 53, 00197 Roma, Italia
e-mail: calogero.bellanca@uniroma1.it

RECENTI SPIGOLATURE SUL TEMPIO DI PORTUNO

In data odierna si vede ancora nella sua essenzialità architettonica il tempio rettangolare del Foro Boario dopo i restauri degli anni venti del Novecento.

Da qualche mese sono stati avviati alcuni interessanti interventi di studio e restauro, pertanto sembra opportuno rammentare gli aspetti dottrinari e le attuazioni operative che hanno determinato i precedenti complessi interventi.

Il tempio è un testrasto pseudoperiptero ionico su podio, nel quale *l'opus quadratum* in pietra riveste un nucleo murario in *opus Coementicium*. Da notare la trabeazione ionica “asiana” che si riconosce per il forte sviluppo della sottocornice, quindi per una certa ispirazione ellenistica e per la voluta d'angolo del capitello.

1. PREMESSA

Dopo l'unità d'Italia e le prime leggi su Roma, si riapre il dibattito sull'isolamento del tempio della Fortuna Virile alla Bocca della Verità. Esso risulta già oggetto di una comunicazione scritta dal Direttore Generale delle Antichità e Belle Arti, Barnabei, indirizzata al Direttore dell'Ufficio regionale dei Monumenti Ferdinando Mazzanti il 6 settembre del 1898.

In questa lettera si legge: “ mi mostrò ieri ... gli studi pel progetto di isolamento del Tempio della Fortuna Virile ... si mettesse mano al più presto alla demolizione della vecchia casa sul prospetto della piazza.

Ma a rendere complessa la vicenda di liberazione e del completo isolamento del tempio si ritrova l'interesse del Collegio degli armeni, allora proprietario, a tutelare i propri beni.

Infatti un progetto “completo di ricostruzione ... e di sopraelevazione” di uno degli edifici appartenenti al collegio in data 18 marzo 1914 è descritto da Gustavo Giovannoni il quale afferma in merito che: “non occorre che segnali il danno gravissimo che verrebbe a produrre il lasciar sviluppare la fabbricazione intorno al Tempio... poiché ne sarebbe impedita la possibilità della liberazione e della sistemazione di una località tra le più importanti di Roma.

Sulla necessità dell'isolamento insiste Giovannoni, il quale, nel 1914, si occupa in uno scritto dal titolo *Il tempio della Fortuna Virile e il “ Forum Boarium”*, e ne auspica cure e restauri in modo da contrastare “l'oculata speculazione programmata dal Collegio degli Armeni”.

Giovannoni si richiama alla liberazione della Maison Carrée di Nîmes (1816-1823) ed al tempio di Augusto e Livia a Vienne (1852-1872), ma egli in una riflessione maturata dalla lettura del Durm, in riferimento al tempio di Vienne scrive: “prima tutto rovinato e alterato da porte e finestre medievali, pure interessanti, poi libero e magnifico per unità e proporzioni, ecco un caso in cui senza dubbio la teoria di Viollet-le Duc ha ragione”. Da questa considerazione traspare ancora un certo fascino per l'intervento secondo lo stile dovuto. In particolare per il tempio rettangolare egli espone il suo programma che prevede: “oltre all'abbattimento delle fabbriche dell'insula, anche il ripristino del lato sinistro ora racchiuso da muri, nel quale le cornici sono state barbaramente mozzate e le colonne in gran parte tolte...”. Infine si preoccupa di avviare anche la “redenzione di tutta la zona a cui esso appartiene”.

2. L'INTERVENTO

Nel 1916 la commissione istituita in seno all'Associazione Artistica fra i Cultori di Architettura, dopo una descrizione del Tempio presenta una proposta nella quale fra l'altro si legge: “... il bel monumento torni libero d'ogni lato, non più soffocato e ristretto, che sia ripristinato nel suo stato primitivo, che rivesta ancora la bella euritmia delle sue linee...”. La proposta continua precisando che si richiederà “il restauro del pronao del quale dovranno essere riaperti gli intercolumni e dovrà riprendersi la parete di fondo...”.

Da queste prime considerazioni si vedrà come il progetto Muñoz sarà articolato diversamente ed avrà come orientamento di base l'isolamento ma non mirerà ad un ripristino assoluto, secondo le esperienze che in quegli stessi anni si stavano attuando in Italia e in altri paesi.

Antonio Muñoz, come già accennato nella sua relazione sull'importanza del tempio della Fortuna Virile, scrive: “Occorre dunque restaurare il fianco sinistro del tempio, chiudendo la porta della sagrestia, e liberandolo dalla casa sotto cui è nascosto. Sotto la casa stessa fin dal XVI secolo sono venuti in luce resti di muri antichi, di una certa importanza, e che

debbono appartenere a uno degli altri templi del foro Boario, e che sarebbe opportuno mettere in luce demolendo la casa stessa.

Con questa demolizione si ottengono così due importanti risultati: si libera il fianco del tempio della Fortuna Virile, e si mettono in luce i resti dell'altro tempio. Per poi riaprire il pronao, e togliere dall'interno della cella le aggiunte fattevi posteriormente e i rozzi stalli del coro della confraternita, e sgombrarlo di tutti gli altri oggetti moderni, è necessario acquistare il tempio stesso che è pure proprietà degli Armeni".

Il Soprintendente stesso spiega il suo intervento, " ...in grazia del quale non solo si è completamente liberato l'edificio dalle fabbriche moderne che vi erano addossate, ma sono tornati in luce elementi di sommo interesse per lo studio dell'architettura antica".

Egli sentiva le necessità di conservare alcune testimonianze della chiesa settecentesca e di lasciar vedere entrambe le realtà. Infatti così prosegue, " un primo problema fu quello ...della conservazione della chiesa. Quegli altari, quegli affreschi ... la cantoria, la balaustrata ... la riproduzione del Santo Sepolcro ...facevano capolino qua e là, in quel pronao murato, in cui apparivano le colonne scanalate, costituivano un quadro di insieme così pittoresco, che veniva spontaneo il desiderio di conservarlo, ... ma ciò non fu possibile perché l'Ospizio Armeno reclamava la consegna di tutta la suppellettile mobile, ... Perciò la chiesa fu ... dismessa".

Muñoz continua con una puntuale descrizione dei lavori che va iniziando: accenna al risultato del ritrovamento delle tracce della scala e " conosceva quasi con certezza il numero dei gradini ... che sono stati ricostruiti in mattoni", quindi affronta un altro quesito, quello della ricostruzione del fregio di coronamento su tutto il lato destro ex 85, chiedendosi come deve considerare il tempio, se " come un rudero morto e quindi conservarlo intatto religiosamente, senza la più piccola opera di ripristino, oppure si doveva riguardare come un edificio ancora vivo, e quindi completarlo e rimetterlo nella sua completa efficienza".

Egli conclude affermando che " due ragioni mi fecero senza esitare seguire questa seconda via: una estetica l'altra pratica".

Quindi codifica questo restauro come l'unico da realizzare, come " un restauro di analogia, che si poteva compiere con l'assoluta certezza di rispettare l'antico" , accennando alla necessità di completare l'architrave, ricostruendo la parte mancante.

" Volli però nell'esecuzione distinguerla nettamente dalle parti antiche facendola in muratura di mattoni invece che in tufo, con intonaco rustico tinteggiato in grigio, in modo da intonarsi al resto dell'edificio, pur rimanendo chiaramente riconoscibile ... e rifeci pure in mattoni le parti mancanti delle colonne coprendole con intonaco rustico senza le scanalature, e parte della cornice del podio" .

Muñoz, durante l'esecuzione dei lavori, ritrova anche le tracce della volta a botte lunettata inserita in precedenza nella cella e riesce a confermare alcune precedenti ipotesi

sulle pareti esterne del tempio, le quali dovevano essere rivestite in stucco, sia “nelle colonne sia negli intercolumni dove formava una scompartazione a bugne rettangolari ...” . Egli infine sintetizza, attraverso una minuziosa analisi dei vari prospetti, i singoli interventi effettuati che si possono rileggere anche con l’ausilio di appositi grafici. (vedi tavv.).

Il fronte settentrionale evidenzia la reintegrazione della scala antistante realizzata in mattoni e la parziale riconfigurazione del timpano a sinistra insieme ad un brano della trabeazione con mattoni rivestiti da intonaco grezzo.

Il fronte meridionale presenta un insieme di lavori, quasi di ritassellature per una complessiva reintegrazione. La cornice superiore del podio è ripresa con mattoni, quindi alcune basi delle colonne evidenziano un rifacimento della finitura superficiale. Tra gli intercolumni le ‘lacune’ sono riprese con materiale tufaceo e con una rifinitura dell’intonaco di color grigiastro. L’architrave è ricomposta in cemento armato; e questa inserzione è visibile solamente dall’esterno, mentre il timpano, insieme alla sottostante cornice presenta un rivestimento di intonaco.

Si vede come attraverso questa operazione Muñoz desiderasse avvicinarsi ma nello stesso tempo distinguersi dall’intervento di Valadier. Infatti si astiene dall’intervenire sulle due colonne centrali in tufo realizzate nel restauro del 1835.

Nel fronte occidentale, si evidenziano soprattutto le chiusure delle tre finestre, trattate come una lacuna da colmare. L’attuale intonaco risulta più chiaro e con un leggero sottolivello; questo deriva dall’intervento del 1966 di Elisa Lissi Caronna. Infatti “il riempimento operato da Muñoz delle finestre aperte nel XVI secolo con muratura eterogenea e con la partizione a blocchi sull’intonaco, ...si era molto deteriorato, ... Fu perciò eliminato uno strato di cm.10 della muratura di riempimento, e venne creato l’intonaco liscio”. (E. Lissi Caronna, 1977, pp.299-325).

Egli non si è intromesso mediante il suo operato nel fregio, non ha toccato le decorazioni in stucco senza avviare quei completamenti e quei ripristini come una certa prassi del tempo ancora richiedeva, mentre si intravedono ancora due putrelle probabilmente inserite per sostenere i frammenti dell’architrave superiore.

Il fronte orientale si presenta con un ‘ampia rassegna di interventi’ . Le reintegrazioni si presentano in mattoni come nella scala e nella cornice del podio. Si notano altresì alcuni fusti di colonne con una ripresa in mattoni e finiture ottenute con intonaco grezzo. La cornice è stata anch’essa in gran parte ripresa con mattoni trattati in superficie e con un intonaco lasciato grezzo. Dall’analisi di altri particolari si colgono nel dettaglio questi interventi.

Si vede infine un frammento della finitura di stucco antico, nel primo intercolumnio a destra, protetto con grappe di ferro e cemento. Tutti questi lavori sono dichiaratamente visibili e non c’è stata nessuna volontà di mimetizzarli o di uniformarli. Per gli affreschi lo stesso Muñoz precisa nel suo volume del 1925 che non è possibile presentare uno studio analitico ,tuttavia si limita a puntualizzare che questi sembrano risalire al IX secolo “... tutta la cella era stata ricoperta ... di colori, anche il medioevo aveva, pur mutandogli il

carattere, saputo aggiungere una nota di bellezza artistica all'elegante edificio dell'antichità". Uno studio più recente sugli affreschi si deve a M. Trimarchi, in *Studi Medievali*, 1978, pp.653-679.

3. CONSIDERAZIONI SULL'INTERVENTO DI ANTONIO MUÑOZ

Poco dopo l'ultimazione dei lavori, in data 23 novembre 1925, L'Associazione Artistica fra i Cultori di Architettura, "esprime il vivo compiacimento per l'avvenuto restauro da tanto tempo auspicato... ed invia il proprio plauso al Ministero dell'Istruzione ed ...al prof. Antonio Muñoz, che seppe ottimamente attuarlo ... e richiama altresì gli studi edilizi da molti anni compiuti da una commissione per la sistemazione del Foro Boario, ed esprime il vivissimo voto affinché l'attuazione di tali proposte... consenta in breve tempo di completare la bell'opera iniziata e ricomporre così importanti monumenti dell'antichità e del medioevo...".

Il restauro di Muñoz, quindi, non ha inteso ripristinare uno stato ipotetico del monumento, bensì ha offerto una complessa interpretazione architettonica del concetto di *reintegrazione distintiva*.

Egli si è limitato dapprima a isolare e liberare il monumento, quindi a conservare alcune tracce del passato, infine a restituire mediante delle opportune operazioni alcuni elementi architettonici quali l'angolo della trabeazione e parte del timpano mancanti. Si rammenta che lo stesso Pietro Fedele, il giorno dell'inaugurazione, evidenziava come l'intervento avesse rispettato le tracce " lasciatevi dalle vicende dei tempi, come i preziosi affreschi del IX secolo".

Allo stesso tempo in altri dettagli, quali il capitello della colonna verso est del fronte meridionale, ha lasciato la mancanza delle volute e le stesse tracce del rivestimento di intonaco e di stucco negli intercolumni, quindi si è limitato a conservare le stesse tracce rimaste delle decorazioni del fregio.

In questo suo intervento Antonio Muñoz si allontana da quei precedenti saggi grafici di restituzione e restauri che per tutto l'ottocento si erano dedicati al tempio della Fortuna Virile, come per esempio quello di Leonardo Paterna Baldizzi.

Semmai si può osservare, in questa soluzione del 1925, una concreta anticipazione sia delle norme per il restauro italiano del 1932, sia delle famose premesse sul restauro critico di Giulio Carlo Argan del 1938.

E' chiaro che i tempi non erano ancora maturi e lo stesso Muñoz, con molta probabilità , non intuì sino in fondo la portata della sua realizzazione per certi aspetti precorritrice di successive enunciazioni del restauro.

Tuttavia l'adozione di questi brani di materiale moderno, il cemento armato, a quel tempo considerato essenziale, permette di risolvere il problema dell'architrave del fronte meridionale del tempio non solo con una forma semplificata, ma anche senza falsificazioni e senza inganni.

In riferimento alle moderne inserzioni in cemento armato sembra avallarsi l'ipotesi della partecipazione indiretta di Ignazio Carlo Gavini o comunque più operativamente del riecheggiare delle diverse esperienze condotte in questi stessi anni venti dalla Soprintendenza diretta Muñoz e Gavini nel territorio abruzzese.

In questo restauro si vedono inoltre adottati atteggiamenti moderatamente conservativi, dove l'anima dello scrupoloso storico-restauratore si manifesta in maniera prevalente rispetto a quella di altri contemporanei e più tradizionali restauratori.

Sembrano affiorare quindi le differenze tra Giovannoni e Muñoz, il primo ancora orientato verso più tradizionali interventi, mentre il secondo già aperto alle nuove istanze.

Per gli interventi successivi a quelli di Muñoz si rammentano il completamento dell'isolamento del tempio(1930-31) con la demolizione del caseggiato all'angolo tra la via della Bocca della Verità e via di Ponte Rotto. In quell'occasione furono rinvenuti avanzi del muro in blocchi di tufo e tracce di strutture a cortina. Una seconda serie di esplorazioni fu effettuata nel 1947-48 per accertare la presenza di un edificio preesistente nella zona del *Portus Tiberinus*.

A tal fine si ricordano i saggi di Guglielmo Gatti presso l'angolo sud-est del tempio di Portuno. Infine fra i più evidenti sembra necessario ricordare i lavori avviati nel 1966 dalla Soprintendenza Archeologica di Roma con la direzione di Elisa Lissi Caronna. Per queste indicazioni e per un più completo approfondimento si rinvia al saggio dello scrivente inserito nel volume *Antonio Muñoz, la politica di tutela dei monumenti di Roma durante il Governatorato*, Roma 2003.

LAST VARIOUS NEWS ABOUT THE PORTUNO TEMPLE

SUMMARY

The article shows the information on restoration works in the temple Portuno. The temple Portuno erected in ancient times, became transformed in IX century of the new era into the Christian church, keeping the outside view. The temple is located on the rise and is rimmed by columns.



Tadeusz BEWSZKO, dr inż.

Politechnika Rzeszowska
Zakład Energoelektroniki i Elektroenergetyki
ul. Wincentego Pola 2, 35-959 Rzeszów
e-mail: tbewszko@prz.edu.pl

**ZASTOSOWANIE WIELOKRYTERIALNEJ ANALIZY
DO WSPOMAGANIA DECYZJI WYBORU OPTYMALNEGO
SPOSOBU ZAOPATRZENIA W ENERGIĘ OBIEKTU
KOMUNALNO-BYTOWEGO**

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono możliwość skutecznego wykorzystania metody interaktywnej, wielokryterialnej analizy modelu do rozwiązania problemu decyzyjnego wyboru optymalnego sposobu zaopatrzenia w energię obiektu komunalno-bytowego. Dla przykładowego budynku mieszkalnego jednorodzinnego zbudowano model matematyczny zagadnienia decyzyjnego. W oparciu o zebrane dane przeprowadzono różne analizy wielokryterialne pozwalające wyznaczyć różne Pareto optymalne rozwiązania, które odpowiadają różnym kompromisom pomiędzy analizowanymi kryteriami.

1. WPROWADZENIE

Szybki postęp technologiczny oraz rozwój technik informatycznych, jakie dokonały się w ostatnich latach, umożliwiły powstanie, rozwój i doskonalenie systemów wspomaganie decyzji (SWD), a następnie ich zastosowanie do rozwiązywania wielu zagadnień występujących w praktyce. Jednym z takich problemów decyzyjnych jest problem wyboru sposobu zaopatrzenia w energię nowego obiektu komunalno-bytowego. Jest to zagadnienie, które rozwiązywane było dotychczas różnymi metodami. Jednak wspomniany powyżej szybki rozwój technik wspomaganie decyzji – w tym

wielokryterialnych – daje możliwość wykorzystania tej nowej, bardziej efektywnej metody rozwiązania tego typu problemu decyzyjnego.

W fazie projektowania obiektu komunalno-bytowego należy również ustalić sposób zaopatrzenia w energię, czyli zdecydować jakimi nośnikami energii i przy użyciu jakich urządzeń przetwarzających te nośniki energii będzie zaspokajana każda potrzeba energetyczna obiektu. Wymaga to uwzględnienia możliwości dostarczania energii do obiektu przy wykorzystaniu wielu dostępnych nośników energii oraz zastosowania różnych rozwiązań technicznych przetwarzających poszczególne nośniki energii.

Każdy wybór - stanowiący decyzję jakimi nośnikami energii będą zaspokajane poszczególne potrzeby energetyczne obiektu - niesie ze sobą konkretne konsekwencje. Ujawniają się one w postaci nakładu inwestycyjnego, rocznego kosztu eksploatacyjnego, emisji do atmosfery wielu różnorodnych zanieczyszczeń (m. in. CO₂, SO₂, NO₂, pyłów), komfortu użytkowania danego sposobu zaopatrzenia czy też skumulowanej sprawności procesu przetwarzania energii. Zatem każda decyzja wyboru sposobu zaopatrzenia w energię obiektu, jest zawsze kompromisem pomiędzy wieloma, najczęściej konfliktowymi, kryteriami. Na przykład, im niższy jest roczny koszt eksploatacyjny danego sposobu zaopatrzenia w energię, tym zwykle rośnie jego nakład inwestycyjny oraz im niższy jest poziom emisji szkodliwych zanieczyszczeń, tym większa ilość nośników energii pochodzi z importu.

2. SFORMUŁOWANIE PROBLEMU DECYZYJNEGO

Jako przykładowy obiekt komunalno-bytowy przyjęto budynek mieszkalny jednorodzinny, który – w polskich warunkach klimatycznych – najczęściej zużywa energię do zaspokojenia czterech potrzeb energetycznych: (i) ogrzewania i wentylacji, (ii) przygotowania ciepłej wody użytkowej (c.w.u.), (iii) przygotowania posiłków oraz do (iv) zasilania wszystkich urządzeń elektrycznych. Każda z tych potrzeb energetycznych może być zaspokajana za pomocą różnorodnych nośników energii oraz przy użyciu różnych technik przetwarzających nośniki energii w energię końcową (np. używając energii elektrycznej do ogrzewania można zastosować: grzejniki konwekcyjne, piece akumulacyjne z dynamicznym rozładowaniem bądź pompę ciepła).

W każdym przypadku przed decydentem stoją istotne pytania: (i) jakie wybrać nośniki energii oraz (ii) jakie zastosować sposoby przetwarzania energii, aby konsekwencje decyzji wyboru były najkorzystniejsze.

3. MODEL MATEMATYCZNY PROBLEMU DECYZYJNEGO

Ze względu na przyjętą metodologię (wielokryterialna analiza modelu) modelowanie matematyczne sytuacji decyzyjnej wyboru sposobu zaopatrzenia w energię obiektu komunalno-bytowego należy przeprowadzić z uwzględnieniem reguł modelowania wielokryterialnego [1].

Rozważono I rodzajów nośników energii oznaczonych przez indeksy $i \in I$ oraz J rodzajów potrzeb energetycznych oznaczonych przez indeksy $j \in J$. Tabela 1 przedstawia wszystkie, przyjęte za dopuszczalne sposoby zaspokajania potrzeb energetycznych obiektu w postaci budynku mieszkalnego jednorodzinnego (znak „+” oznacza, iż możliwe jest zaspokojenie j -tej potrzeby energetycznej za pomocą i -tego nośnika energii).

Tabela 1. Przyjęte za dopuszczalne sposoby zaspokajania potrzeb energetycznych za pomocą dostępnych nośników energii dla jednorodzinnego budynku mieszkalnego

Table 1. Available energy carriers for various demands for a single-family house

			Potrzeby energetyczne				
			j	0	1	2	3
				Ogrzewanie	Ciepła woda	Posiłki	Urząd. Elektr.
Nośniki energii	i						
	0	Węgiel	+				
	1	Biomasa (drewno)	+				
	2	Gaz ziemny przewodowy	+	+	+		
	3	LPG	+	+	+		
	4	Olej „Ekoterm”	+	+			
	5	Ciepło z sieci	+	+			
	6	Energia elektr. - pompa ciepła (taryfa G11 „dzień”)	+	+			
	7	Energia elektr. (taryfa G11 „dzień”)	+	+	+	+	
8	Energia elektr. (taryfa G12 „noc”)	+	+				

3.1 Zmienne decyzyjne

Zmienną decyzyjną jest x_{ij} - ilość energii dostarczanej za pomocą i -tego nośnika zaspokajającego j -tą potrzebę energetyczną.

3.2 Zmienne wyjściowe i ograniczenia modelu

Zmiennymi wyjściowymi modelu (czyli potencjalnymi kryteriami analizy wielokryterialnej) są:

- Nakład inwestycyjny (INV) sposobu zaopatrzenia w energię,
- Całkowity roczny koszt eksploatacji i konserwacji (OMC) sposobu zaopatrzenia w energię,
- Całkowity koszt sposobu zaopatrzenia liczony w pełnym cyklu użytkowania (LCC),
- Całkowity roczny koszt użytkowania (TAC) sposobu zaopatrzenia w energię,
- Całkowita roczna emisja do atmosfery wybranych zanieczyszczeń stałych i gazowych (CO_2 , SO_2 , NO_2 , PM -pyły) powstałych w wyniku użytkowania danego sposobu zaopatrzenia w energię,
- Odwrotność całkowitej systemowej sprawności przetwarzania energii danego sposobu zaopatrzenia ($Inv_TotSysEff$),
- Całkowite roczne zużycie energii pierwotnej pochodzącej z nośników importowanych ($ImpRes$) przy użytkowaniu danego sposobu zaopatrzenia,
- Całkowite roczne zużycie energii pierwotnej ($TotRes$) przy użytkowaniu danego sposobu zaopatrzenia,
- Komfort użytkowania ($ComUse$) danego sposobu zaopatrzenia w energię (przyjęto, iż użycie węgla oraz biomasy jest nie komfortowe gdyż od użytkownika jest wymagana dodatkowa praca: zakup, przywóz oraz magazynowanie paliwa, załadunek kotła. Stąd każdy sposób zaopatrzenia, w którym do zaspokajania potrzeby ogrzewania jest zużywany węgiel kamienny bądź biomasa będzie uważany za nie komfortowy).

Przyjęte ograniczenia wynikają z bilansu energii na potrzeby: ogrzewania, przygotowania ciepłej wody użytkowej, przygotowania posiłków i zasilania urządzeń elektrycznych. Szczegóły dotyczące modelu matematycznego tego zagadnienia decyzyjnego są przedstawione w [2].

3.3 Dane przyjęte do analizy

Analizy dokonano dla budynku mieszkalnego jednorodzinnego zlokalizowanego przy ul. Miłocińskiej w Rzeszowie. Przyjęto, iż będzie on zamieszkiwany przez cztery osoby oraz że jego powierzchnia mieszkalna wynosi ok. 180 m². Roczne zapotrzebowanie na energię do ogrzewania i wentylacji przyjęto dla takiego budynku na poziomie 100 kilowatogodzin na metr kwadratowy powierzchni użytkowej. Roczne zapotrzebowanie na energię do przygotowania ciepłej wody użytkowej, do przygotowania posiłków oraz do zasilania wszystkich urządzeń elektrycznych przyjęto na podstawie danych statystycznych.

Dane dotyczące cen nośników energii, jak również kosztów urządzeń przetwarzających nośniki energii w energię użytkową przyjęto dla miasta Rzeszowa. Nakłady inwestycyjne doprowadzenia wybranych nośników energii na miejsce inwestycji uzyskano bezpośrednio z przedsiębiorstw zajmujących się dystrybucją i sprzedażą tych nośników.

4. WIELOKRYTERIALNA ANALIZA MODELU

4.1 Metoda interaktywnej wielokryterialnej analizy modelu

Spośród wielu istniejących interaktywnych metod wielokryterialnej optymalizacji wybrano (na podstawie przeglądu literaturowego [2]) metodę *ARBDS*. Metoda *ARBDS* (*Aspiration-Reservation Based Decision Support*) jest rozszerzeniem metody punktu odniesienia (*Reference Point Method*) zaproponowanej w [3], [4]. Preferencje użytkownika są określane poziomami aspiracji (pożądane wartości każdego kryterium) i rezerwacji (najgorsze akceptowalne wartości) wszystkich analizowanych kryteriów. Specyfikacja preferencji odbywa się - poprzez interaktywny interfejs - za pomocą modułu *ISAAP* (*Interactive Specification and Analysis of Aspiration-Based Preferences*) [5].

Metoda *ARBDS* opiera się na schemacie decyzji satysfakcjonującej, w której decydent próbuje osiągnąć poziomy aspiracji, zwykle poprzez próbę poprawy najpierw tego kryterium, z którego jest najmniej zadowolony. Algorytm tej metody przedstawia się następująco:

1. Decydent wybiera zbiór kryteriów (spośród zmiennych wyjściowych modelu) do wielokryterialnej analizy modelu oraz dla każdego kryterium określa jego typ. Pod pojęciem typu kryterium rozumie się bądź jego minimalizację, bądź jego maksymalizację, bądź też jego stabilizację na pożądanej wartości. W klasycznych zastosowaniach analizuje się model w oparciu od 2 do 7 kryteriów jednocześnie.

2. Decydent określa wektor aspiracji $\bar{\mathbf{q}} = \{\bar{q}_1, \dots, \bar{q}_k\}$, gdzie \bar{q}_i to poziomy aspiracji (pożądane wartości każdego kryterium), zaś k to liczba analizowanych kryteriów. Dodatkowo decydent określa wektor rezerwacji $\bar{\bar{\mathbf{q}}}$, który składa się z najgorszych akceptowalnych wartości każdego kryterium.

3. Następuje maksymalizacja funkcji osiągnięcia (szczegółowo opisanej w [1]), w której zawarta jest informacja o bieżących preferencjach (poziomy aspiracji, rezerwacji czy też stabilizacji dla każdego kryterium) decydenta. Wynik maksymalizacji daje Pareto sprawne rozwiązanie, najbliższe (w sensie ważonej normy Czebyszewa) aktualnym preferencjom decydenta.

4. Decydent bada różne Pareto sprawne rozwiązania poprzez zmianę wybranych elementów wektorów aspiracji $\bar{\mathbf{q}}$ i rezerwacji $\bar{\bar{\mathbf{q}}}$, które odpowiadają modyfikacji jego preferencji odzwierciedlających różne kompromisy pomiędzy osiąganymi wartościami

Postępowania opisane w punktach 2, 3, oraz 4 są powtarzane dopóki nie zostanie wyznaczony zbiór rozwiązań satysfakcjonujących decydenta.

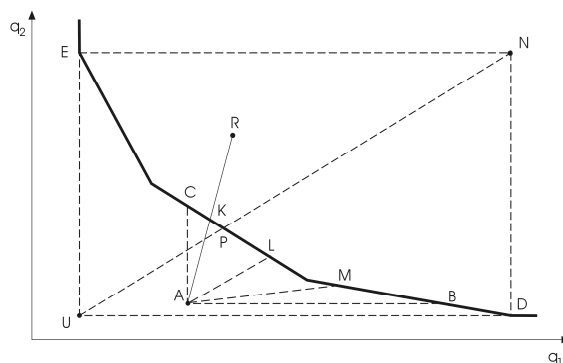


Fig. 1. Illustration of a Pareto-optimal surface for a two criteria, continuous case [6]

Użytkownik w trakcie procesu wielokryterialnej analizy może w dowolny sposób wielokrotnie modyfikować (używając interaktywnego interfejsu) poziomy aspiracji oraz rezerwacji każdego kryterium. Jest to równoznaczne z badaniem najbardziej interesujących decydenta podzbiorów zbioru Pareto rozwiązań dla przyjętego zbioru kryteriów. Użytkownik ma również możliwość przeprowadzenia innych wielokryterialnych analiz badanego problemu tzn. analiz wykonanych w oparciu o inne, dowolnie przez siebie wybrane, zbiory kryteriów decyzyjnych. Każda z tych analiz prowadzi do uzyskania przez decydenta kilku lub kilkunastu rozwiązań Pareto sprawnych. Cały proces decyzyjny kończy się podjęciem decyzji satysfakcjonującej decydenta, która jest jednym z rozwiązań przeprowadzonych wcześniej różnych analiz wielokryterialnych (tzn. przeprowadzonych w oparciu o różne zbiory kryteriów decyzyjnych).

Wiele różnorodnych analiz może być przeprowadzanych przez poszczególnych użytkowników systemu wspomagania decyzji, chociaż model matematyczny pozostaje

zawsze ten sam. Każdy użytkownik SWD może analizować sytuację decyzyjną w oparciu o dowolny zbiór kryteriów, który jest podzbiorem wszystkich możliwych kryteriów (12 kryteriów, tabela 2).

Możliwi użytkownicy systemu wspomagania decyzji to:

- Oszczędny odbiorca indywidualny (kompromis pomiędzy kryteriami ekonomicznymi i komfortem),
- Przyjazny środowisku, „zielony” odbiorca (kompromis pomiędzy kryteriami ekonomicznymi, ekologicznymi i komfortem),
- Ekspert – planista (kompromis pomiędzy kryteriami ekonomicznymi, ekologicznymi i bezpieczeństwem energetycznym).

Tabela 2. Możliwe rodzaje kryteriów

Table 2. Types of criteria

KRYTERIA			
Ekonomiczne	Komfort	Ekologiczne	Bezpieczeństwo energetyczne
<i>INV</i>	<i>ComUse</i>	<i>TotEmCO₂</i>	<i>Inv_TotSysEff</i>
<i>OMC</i>		<i>TotEmSO₂</i>	<i>TotRes</i>
<i>TAC</i>		<i>TotEmNO₂</i>	<i>ImpRes</i>
<i>LCC</i>		<i>TotEmPM</i>	

4.3 Przykładowe rezultaty analiz

Do wielokryterialnych analiz modelu wykorzystano pakiet *MCMA* opracowany w *IIASA* (*International Institute for Applied Systems Analysis*) będący komputerową implementacją metody *ARBDS*.

Tabela 3 przedstawia wybrane rozwiązania, które uzyskano z czterech rodzajów analiz (trzech różnych użytkowników analizujących przedmiotowe zagadnienie w oparciu o cztery różne zbiory kryteriów). Przy każdym rozwiązaniu pokazano również odpowiadający mu sposób zaopatrzenia w energię budynku mieszkalnego jednorodzinnego.

Pierwszy użytkownik dokonał analiz w oparciu o kryteria ekonomiczne i kryterium komfortu. Przeprowadził dwie analizy (Analiza A: kryteria ekonomiczne (*INV*, *OMC*, *TAC*) oraz kryterium komfortu (*ComUse*), Analiza B: kryteria ekonomiczne (*LCC*) oraz kryterium komfortu (*ComUse*)). Uzyskał rozwiązania: A1–A6 oraz B1–B4. Decyzja jaką podejmie będzie zależała głównie od kompromisu pomiędzy kryteriami ekonomicznymi a komfortem. W przypadku dużej wagi przykładanej do komfortu wybierze rozwiązanie A1=B1 lub rozwiązanie A6 (które zapewnia najniższe koszty eksploatacyjne, aczkolwiek bardzo wysokie nakłady inwestycyjne). Najtańszym rozwiązaniem liczonym w okresie 15 lat (kryterium *LCC*) to rozwiązanie B3=A2, jednak nie zapewnia ono komfortu użytkownika sposobu zaopatrzenia.

Drugi użytkownik przeprowadził analizę w oparciu o kryteria ekonomiczne (*INV*, *OMC*), kryterium komfortu (*ComUse*) oraz kryteria ekologiczne (*TotEmCO₂*, *TotEmSO₂*, *TotEmPM*) – otrzymane rozwiązania: C1–C5. Tutaj należy zwrócić uwagę na bardzo niską emisję zanieczyszczeń (szczególnie *CO₂*) w przypadku rozwiązania C2 i C4 (wykorzystanie biomasy do ogrzewania).

Trzeci użytkownik przeprowadził analizę uwzględniając kryteria ekonomiczne (*INV*, *OMC*), kryterium komfortu (*ComUse*), kryteria ekologiczne (*TotEmCO2*, *TotEmSO2*) oraz kryterium określające poziom zużywanych nośników energii pochodzących z importu (*ImpRes*) – otrzymane rozwiązania: D1–D8. W tej analizie wyraźnie jest widoczna duża konfliktowość pomiędzy kryteriami komfortu, emisją zanieczyszczeń (szczególnie SO_2) oraz poziomem importowanych nośników energii.

Tabela 3. Wyniki przykładowych analiz wielokryterialnych

Table 4. Selected solutions obtain from multicriteria model analysis

Table 4. Selected solutions obtain from mathematical model analysis													
Konsekwencje opcji zaopatrzenia										Wejście (wybrany sposób zaopatrzenia: nośniki energii i technologie)			
	INV	OMC	TAC	Com Use	LCC	TotEm CO2	TotEm SO2	TotEm PM	Imp Res				
	PLN	PLN	PLN	-	PLN	kg	kg	kg	GJ	Ogrzewanie	Ciepła woda	Przyg. posił.	Urząd. elektr.
A.1	21 535	2 901	5 732	1						gaz	gaz	gaz	en. el.
A.2	16 735	2 632	4 832	0						biomasa	en. el. G12	en. el.	en. el.
A.3	21 335	3 069	5 874	1						gaz	en. el. G12	gaz	en. el.
A.4	52 235	2 284	9 152	1						Pompa c.	Pompa c.	en. el.	en. el.
A.5	12 135	6 371	7 967	1						en.el. G11	en. el. G12	en. el.	en. el.
A.6	55 685	2 200	9 521	1						Pompa c.	Pompa c.	LPG	en. el.
B.1				1	43 605					gaz	gaz	gaz	en. el.
B.2				1	53 807					olej	olej	En. el.	en. el.
B.3				0	36 757					biomasa	en. el. G12	En. el.	en. el.
B.4				1	68 034					en. el. G11	en. el. G11	En. el.	en. el.
C.1	21 535	2 901		1		5 807	0,06	0,03		gaz	gaz	gaz	en. el.
C.2	19 835	2 410		0		1 702	0,04	0,03		biomasa	gaz	gaz	en. el.
C.3	52 235	2 284		1		6 288	7,68	6,91		Pompa c.	Pompa c.	en. el.	en. el.
C.4	31 985	2 613		0		1 702	0,04	0,03		biomasa	gaz	LPG	en. el.
C.5	12 135	7 349		1		21 536	26,2	23,6		en. el. G11	en. el. G11	en. el.	en. el.
D.1	52 235	2 284		1		6 288	7,68		0	Pompa c.	Pompa c.	en. el.	en. el.
D.2	20 385	2 947		0		1 702	0,04		29,4	biomasa	LPG	LPG	en. el.
D.3	57 185	2 370		1		5 520	4,70		31,6	Pompa c.	gaz	gaz	en. el.
D.4	12 135	7 349		1		21 536	26,2		0	en. el. G11	en. el. G11	en. el.	en. el.
D.5	12 135	6 371		1		21 535	26,2		0	en. el. G11	en. el. G12	en. el.	en. el.
D.6	27 835	3 394		1		20 674	24,8		8,33	en. el. G12	en. el. G12	gaz	en. el.
D.7	19 635	3 555		0		5 399	6,19		8,33	biomasa	en. el. G11	gaz	en. el.
D.8	24 935	3 448		1		21 536	26,2		0	en. el. G12	en. el. G12	en. el.	en. el.

5. PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono możliwość skutecznego wykorzystania metody interaktywnej wielokryterialnej analizy modelu do rozwiązania problemu decyzyjnego wyboru optymalnego sposobu zaopatrzenia w energię obiektu komunalno-bytowego. Prezentowana metoda może być użyta przez indywidualnych inwestorów, projektantów budynków, jak również ekspertów zajmujących się planowaniem zaopatrzenia w energię do wyboru sposobu zaopatrzenia, który jest najbliższy ich preferencjom. Proces decyzyjny bazuje na złożonej analizie konsekwencji potencjalnych decyzji wyboru sposobu zaopatrzenia. Proponowana metoda rozwiązania przedmiotowego zagadnienia może być zastosowana do wszystkich typów obiektów (niezależnie od liczby możliwych do

wykorzystania nośników energii, liczby potrzeb energetycznych jak również przyjętych technik przetwarzania dostępnych nośników energii).

6. LITERATURA

- [1] Wierzbicki, A., Makowski, M., and Wessels, J., eds, Model-Based Decision Support Methodology with Environmental Applications, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2000.
- [2] Bewszko T.: Wielokryterialna analiza zasilania w energię odbiorcy komunalno-bytowego. Rozprawa doktorska, Rzeszów 2005.
- [3] Wierzbicki, A., Basic properties of scalarizing functionals for multiobjective optimization, *Mathematische Operationsforschung und Statistik*, s. Optimization 8, pp. 55–60, 1977.
- [4] Lewandowski A., Wierzbicki A., eds., Aspiration Based Decision Support Systems: Theory, Software and Applications, *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, vol. 331, Springer Verlag, Berlin, New York, 1989.
- [5] Granat, J., Makowski, M.: ISAAP - Interactive Specification and Analysis of Aspiration-Based Preferences. Interim Report IR-98-052, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria 1998.
- [6] Makowski, M.: Methodology and a modular tool for multiple criteria analysis of LP models, Working Paper WP-94-102, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria 1994.

APPLICATION OF MULTICRITERIA ANALYSIS IN SUPPORTING DECISION OF CHOOSING OPTIMAL ENERGY SUPPLYING OPTION FOR MUNICIPAL AND RESIDENTIAL CUSTOMERS

SUMMARY

The paper deals with application of interactive multicriteria method of solving decision problem for selecting optimal energy supplying option for municipal and residential buildings. In the beginning formulation of the decision problem and more details of method of solving decision-making problem by using interactive multicriteria method of decision aid were presented. Then for a single-family house a multicriteria model of decision problem was built. The whole paper ends with results of various multicriteria analyses. The proposed method can be applied to every municipal and residential customer regardless of numbers of available the energy carries, numbers of energy demands and the technologies used to convert energy carriers into end-use energy.



Joanna BOGUSŁAWSKA-KOZŁOWSKA, dr inż.:
Jan JERUZAL doc. dr inż.

Politechnika Łódzka
Katedra Fizyki Budowli i Materiałów Budowlanych
Al. Politechniki 6, Łódź
joboko@p.lodz.pl
jeruzal@p.lodz.pl

ANALIZA STANU MYKOLOGICZNEGO OBIEKTÓW SAKRALNYCH

STRESZCZENIE

Przedmiotem badania były trzy kościoły, których przegrody zostały porażone przez grzyby pleśniowe. W referacie przedstawiono analizę składu jakościowego i ilościowego pleśni zidentyfikowanych na przegrodach w zależności od rodzaju źródła zawilgocenia (woda kondensacyjna, opadowa lub z gruntu).

1. WPROWADZENIE

Nadmiar wody w budynkach powoduje zasiedlenie się i rozwój grzybów pleśniowych na powierzchni przegród – ścian i stropów. Niepożądana woda może pochodzić tak z zewnątrz (przecieki przez przegrody) jak i wewnątrz (woda kondensacyjna, wady instalacji). Z dotychczasowych badań, m. in. [1, 3] wynika, że w budynkach mieszkalnych dominującą mikroflorę przegród pod względem częstości występowania stanowią grzyby z kilku rodzajów: *Penicillium*, *Cladosporium*, *Aspergillus*, *Alternaria* oraz *Acremonium*. Inne rodzaje i gatunki pleśni występują w mniejszej liczbie prób. Dalsze analizy pozwoliły na określenie związków między źródłem zawilgocenia a składem ilościowym i mikroflory pleśniowej [3, 4].

Na rozwój mikroflory pleśniowej zasiedlającej obiekty wpływają warunki rozwojowe na przegrodzie i mikroklimat pomieszczeń – przede wszystkim wilgotność

i temperatura powietrza. Budynki sakralne charakteryzują się zdecydowanie odmiennym mikroklimatem wewnątrz w stosunku do budynków mieszkalnych, co wynika z odmiennego sposobu ich użytkowania.

Celem przeprowadzonej analizy było porównanie składu jakościowego i ilościowego mikroflory pleśniowej rozwijającej się na przegrodach obiektów sakralnych ze składem mikroflory występującej w budynkach mieszkalnych.

Identyfikację pleśni wykonano w Instytucie Technologii Fermentacji i Mikrobiologii Politechniki Łódzkiej. Próby do analizy mikrobiologicznej pobierano z badanych powierzchni metodą wymazu do jałowego płynu fizjologicznego. Identyfikację grzybów pleśniowych prowadzono stosując standardową procedurę opisaną w [1, 2].

Ze względu na pochodzenie niepożądanych zawilgoceń, w analizie wyróżniono następujące ich źródła:

A – woda pochodząca z kondensacji pary wodnej zawartej w powietrzu wewnętrznym. Jako główne przyczyny tego rodzaju zawilgoceń wyróżnia się: niedostateczną wentylację pomieszczeń, niewłaściwe użytkowanie (zbyt wysoka wilgotność względna powietrza), obecność mostków termicznych,

B – woda pochodząca z opadów – bezpośrednie przenikanie przez ścianę lub przekrycie budynku, nieszczelne obróbki blacharskie lub uszkodzone elementy odwodnienia,

C – woda pochodząca z gruntu – brak lub niedostateczna izolacja podziemnej części budynku.

2. OPIS BADANYCH OBIEKTÓW

Przedmiotem analizy były trzy obiekty sakralne - dwa położone w Łodzi i jeden w Lipnie w województwie kujawsko-pomorskim. W każdym z tych obiektów zidentyfikowano mikroflorę zasiedlającą przegrody pod względem jakościowym i ilościowym. Do porównania wykorzystano kilkadziesiąt budynków mieszkalnych w Łodzi, dla których analiza mikroflory pleśniowej przedstawiona została w [3].

Pierwszy z obiektów stanowiła cerkiew prawosławna p.w. św. Olgi znajdująca się w Łodzi przy ul. Piramowicza (Rys. 1). Jest to budynek pochodzący z końca XIX wieku, o ścianach murowanych z cegły ceramicznej pełnej z dwuspadowym dachem o konstrukcji drewnianej. Od strony zachodniej dobudowano przedsionek wejściowy z usytuowaną nad nim wieżą z kopułą, a następnie około 1937 r. - schody na gruncie. Od strony północnej kościół ma wspólną ścianę z 2-kondygnacyjnym budynkiem dawnego sierocińca, obecnie budynkiem mieszkalnym. Oba budynki są w pełni podpiwniczone.

Zawilgocenia ścian cerkwi w poziomie parteru zostały spowodowane głównie przeciekami z uszkodzonych rur spustowych (Rys. 2), zaś ścian piwnic – brakiem pionowej izolacji przeciwwilgociowej. Na powierzchniach ścian i sklepień brak było typowej plechy grzybów pleśniowych. Rys. 3 i 4 przedstawia typowy obraz skorodowanych powierzchni; jednocześnie są to miejsca, z których pobrano próby do laboratoryjnej analizy mikrobiologicznej.

Drugim z poddanych analizie obiektów była kaplica „Mateusik” kościoła ewangelickiego p.w. Św. Mateusza w Łodzi przy ul. Piotrkowskiej 283. Kaplica jest budynkiem murowanym, jednoprzestrzennym. Została wybudowana wraz z kościołem w końcu lat 20-tych XX w. (Rys. 5). W tym samym okresie powstały dwie dwukondygnacyjne przybudówki usytuowane wzdłuż ściany południowej i północnej (Rys. 6).



Rys. 1. Widok cerkwi od strony zachodniej
Fig. 1 View on orthodox church from the west side



Rys. 2. Niedrożna rura spustowa
Fig. 2. Blocked rain gutter



Rys. 3. Korozja ściany parteru
Fig. 3. Corrosion of ground floor wall



Rys. 4. Korozja ściany piwnic
Fig. 4. Corrosion of the basement wall

Pomieszczenie kaplicy jest przekryte sklepieniem wykonanym z siatkobetonu. Powyżej sklepienia siatkobetonowego (stanowiącego sufit) jest wykonany dach o konstrukcji stalowej, krokwiowo-jętkowy, pokryty dachówką ceramiczną. Nad wieżami -

dachy namiotowe, także o konstrukcji stalowej kryte dachówką. Ściany zewnętrzne wykonane są z cegły ceramicznej pełnej na zaprawie cementowo-wapiennej. Przybudówki usytuowane przy południowej i północnej ścianie kaplicy - z cegły pełnej. Stropy żelbetowe na belkach stalowych, schody żelbetowe. Dachy jednospadowe o krokwiowej konstrukcji drewnianej. Odwodnienie zewnętrzne rynnami i rurami spustowymi z blachy miedzianej, włączone do kanalizacji deszczowej.

W latach 90-tych XX wieku kościół poddano gruntownemu remontowi. W trakcie robót, po demontażu starej drewnianej konstrukcji przekryć, obfite opady deszczu spowodowały silne zawilgocenie siatkobetonowej kopuły, ścian kaplicy, ścian wieżyczek oraz ścian i stropów w przybudówkach.



Fot. 5. Kaplica Mateusik wraz z południową wieżyczką
Fig. 5. Mateusik chapel with its southern tower



Rys. 6. Przybudówka południowa
Fig. 6. Southern extension



Rys. 7. Grzyby pleśniowe na ścianie wieżyczki

Fig. 7. Moulds on tower Wall



Rys. 8. Pleśń na ścianie w kuchni młodzieży

Fig. 8. Mould on the wall of teenagers' kitchen

Na zawilgoconych powierzchniach zasiedliły się pleśnie. Ich morfologia była zróżnicowana – od typowej plechy o zielonym i czarnym zabarwieniu (Fot. 7) do nietypowej formy współśrodkowych białobrązowych okręgów (Fot. 8, pleśń niezidentyfikowana z klasy *Deuteromycetes*).

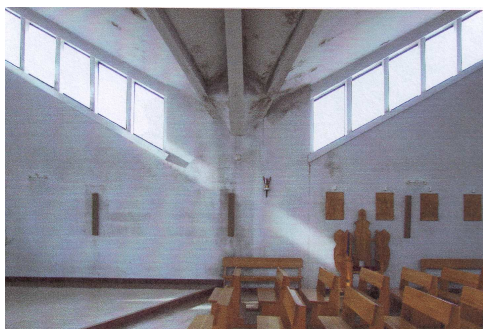
Trzecim z analizowanych obiektów sakralnych był kościół katolicki p.w. bł. Bpa Michała Kozala w Lipnie w woj. kujawsko-pomorskim. Kościół został oddany do użytku w 1996 roku. Wykonany został w konstrukcji mieszanej – nośna konstrukcja dachu, przypory i fundamenty – żelbetowe, ściany murowane 3-warstwowe pełne.



Rys. 9. Widok kościoła w Lipnie

Fig. 9. View on the church in Lipno

Pierwsze ogniska grzybów pleśniowych pojawiły się zaraz po oddaniu kościoła do eksploatacji. Pleśnie zasiedliły się na powierzchni sklepienia, w niszach utworzonych przez zbiegające się żebra konstrukcji przekrycia (Rys. 10). Przeprowadzone analizy pozwoliły na określenie jako pierwotnej przyczyny zawilgoceń przegród i rozwoju pleśni – kondensacji pary wodnej na powierzchni sklepienia i ścian w miejscach mostków termicznych.



Rys. 10. Pleśnie na powierzchni sklepienia i ściany kościoła
Fig. 10. Moulds on the ceiling and wall of the church

3. ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

W tabeli 1 zestawiono rodzaje i gatunki pleśni zidentyfikowanych w badanych obiektach sakralnych. Dla każdego obiektu i miejsca pobranego wymazu określono źródło zawilgocenia zgodnie z przyjętą klasyfikacją, tj. A, B lub C.

Przegrody budynków sakralnych zasiedlały te same rodzaje pleśni, które były identyfikowane w budynkach mieszkalnych [1 – 4]. Zaskakującą różnicę stanowiła istotnie niższa częstość występowania (lub nieobecność) grzybów z rodzaju *Penicillium*, które w mieszkaniach występowały niezależnie od źródła zawilgocenia i identyfikowano je najczęściej (A – 80%, B – 95%, C – 82% przypadków [3]). Różnorodność mikroflory pleśniowej na przegrodach zawilgoconych wodą z opadów atmosferycznych (B) była charakterystyczna zarówno dla budynków mieszkalnych jak i sakralnych, przy czym 6 rodzajów pleśni wystąpiło w obu rodzajach budynków (por. tabela 2 i 3). Interesującym wynikiem analizy była obecność tylko jednego rodzaju pleśni dla zawilgocenia spowodowanego kondensacją pary wodnej (A). Przyczyną takiego wyniku może być wiosenna dominacja pleśni z rodzaju *Cladosporium* (badanie przeprowadzono w maju). Gdy woda pochodziła z gruntu (C) zarówno w budynkach mieszkalnych jak i sakralnym identyfikowano gatunki pleśni specyficzne dla gleby, humusu lub resztek roślinnych np. *Trichoderma*, *Stachybotrys*, *Doratomyces* w budynkach mieszkalnych oraz *Chrysosporium* – w sakralnym.

W dalszej kolejności przeprowadzono analizę pod względem ilościowym (tabela 2). W budynkach sakralnych zawilgoconych wodą opadową (B) najobficiej namnożyły się grzyby z rodzaju *Trichoderma* i *Acremonium*, podczas gdy w budynkach mieszkalnych – *Cladosporium* (por – tabela 3). Ponadto, na przegrodach zawilgoconych wodą pochodzącą z gruntu (C) stwierdzono zdecydowaną dominację pojedynczych gatunków specyficznych dla środowiska glebowego – *Stachybotrys* dla budynków mieszkalnych oraz *Chrysosporium* dla sakralnych.

Tabela 1. Pleśnie wyizolowane na przegrodach badanych obiektów sakralnych
Table. 1. Moulds identified on the walls examined sacral objects

Table 1. Results identified on the walls examined sacral objects					
Nr	Miejsce	Rodzaje, gatunki pleśni	Ogólna liczba [jtk/100 cm ²]	Udział %	Źródło zawilgocenia
Cerkiew pw. Św. Olgi					
1	ściana parteru	<i>Aspergillus fumigatus</i> , <i>Chrysosporium</i> sp., <i>Penicillium expansum</i> , <i>Penicillium chrysogenum</i>	6,5 x 10 ⁴	5,0 88,2 6,2 0,6	B (woda opadowa – nieszczelna rura spustowa)
2	ściana piwnicy	<i>Chrysosporium</i> sp., <i>Aspergillus fumigatus</i> , <i>Penicillium expansum</i>	6,4 x 10 ⁵	99,7 0,1 0,2	C (woda z gruntu - brak izolacji przeciwwilgociowej ściany)
Kaplica Mateusik kościoła ewangelickiego pw. Św. Mateusza					
1	balkon nad kaplicą główną	<i>Aspergillus niger</i>	2,67 x 10 ²	100,0	B (woda opadowa – przecieki przez ścianę)
2	wieżyczka południowa	<i>Alternaria alternata</i> ,	1,0 x 10 ⁶	100,0	
3	kuchnia, ściana	<i>Aspergillus versicolor</i> , <i>Acremonium strictum</i>	2,71 x 10 ⁶	70,5 29,5	
4	kuchnia młodzieży	<i>Trichoderma viride</i> , <i>Acremonium</i> sp., <i>pleśń niezidentyfikowana z klasy Deuteromycetes</i>	1,9 x 10 ⁷	52,6 16,8 31,6	
Kościół pw. bł. Bpa Michała Kozala w Lipnie					
1	ściana nad chórem	<i>Cladosporium cladosporioides</i>	1,1 x 10 ⁷	100,0	A (woda kondensacyjna)
2	ściana północna	<i>Cladosporium herbarum</i> <i>Cladosporium cladosporioides</i>	1,9 x 10 ⁶	68,4 31,6	

Tabela 2. Rozkład ilościowy rodzajów grzybów zasiedlających przegrody w budynkach sakralnych ze względu na źródło zawilgocenia [%]

Table 2. Quantity distribution of moulds genera on the walls of sacral buildings, with respect on the cause of moisture [%]

Rodzaj pleśni	Źródło zawilgocenia		
	A	B	C
<i>Cladosporium</i>	100	-	-
<i>Acremonium</i>	-	17,5	-
<i>Penicillium</i>	-	0,02	0,2
<i>Aspergillus</i>	-	8,4	0,1
<i>Alternaria</i>	-	4,4	-
<i>Trichoderma</i>	-	43,9	-
<i>Chrysosporium</i>	-	0,25	99,7
pleśnie niezidentyfikowane z klasy <i>Deuteromycetes</i>	-	26,4	-

Tabela 3. Rozkład ilościowy rodzajów grzybów zasiedlających przegrody w budynkach mieszkalnych ze względu na źródło zawilgocenia [%][3]

Table 3. Quantity distribution of moulds genera growing on the walls of residential buildings, with respect on the cause of moisture [%]

Rodzaj pleśni	Źródło zawilgocenia		
	A	B	C
<i>Cladosporium</i>	39,3	38,0	2,9
<i>Acremonium</i>	21,3	20,1	4,3
<i>Penicillium</i>	17,6	26,5	< 1
<i>Aspergillus</i>	17,3	2,9	1,0
<i>Alternaria</i>	< 1	1,8	< 1
<i>Trichoderma</i>	-	1,6	< 1
<i>niezidentyfikowane</i>	-	8,5	< 1
<i>Stachybotrys</i>	-	-	84,0
<i>Verticillium</i>	3,6	-	-
<i>Doratomyces</i>	-	-	2,7
<i>Rhodotorulla</i>	< 1	< 1	2,1
<i>Mucor</i>	-	-	< 1

4. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone analizy wykazały, że pod względem jakościowym zidentyfikowana mikroflora pleśniowa obiektów sakralnych jest zasadniczo zgodna z mikroflorą w budynkach mieszkalnych [3, 4]. Widoczne zróżnicowanie rodzajów i gatunków pleśni wystąpiło w obu rodzajach budynków, gdy woda pochodziła z opadów atmosferycznych lub gruntu (B, C).

Najistotniejsza różnica polegała na praktycznie nieobecności grzybów z rodzaju *Penicillium* w budynkach sakralnych, podczas gdy w budynkach mieszkalnych ten rodzaj pleśni dominował pod względem częstości występowania. Należy także podkreślić, że pleśni widocznej na rys. 8 nie spotkano w żadnym innym budynku (pleśń niezidentyfikowana z klasy *Deuteromycetes*, wrażliwa barwą na światło).

Przedstawione analizy dotyczyły zaledwie trzech obiektów sakralnych, zatem pozostałe opisane w rozdziale 3 obserwacje i zależności wymagają potwierdzenia na większej liczbie prób.

5. LITERATURA

- [1] Piotrowska M., Żakowska Z., Bogusławska-Kozłowska J. „Charakterystyka grzybów strzępkowych występujących na przegrodach budowlanych wybranych budynków w Łodzi” I Ogólnokrajowa Konferencja Naukowa „Rozkład i korozja mikrobiologiczna materiałów technicznych” Łódź, 27 stycznia 2000 r., s. 67-69
- [2] Piotrowska M., Żakowska Z., Gliścińska A., Bogusławska-Kozłowska J. „Rola mikroflory powietrza zewnętrznego w kształtowaniu bioaerozolu grzybowego pomieszczeń zamkniętych” II Ogólnokrajowa Konferencja Naukowa „Rozkład i korozja mikrobiologiczna materiałów technicznych” Łódź, 27 stycznia 2001 r., s. 113-118
- [3] Bogusławska-Kozłowska J., Jeruzal J., Piotrowska M., Żakowska Z. „Źródła wilgoci a grzyby pleśniowe w budynkach” materiały konferencyjne X Polskiej Konferencji Naukowo-Technicznej Łódź 2005, s. 24-31
- [4] Bogusławska-Kozłowska J., Jeruzal J. „Analiza składu mikroflory pleśniowej w zagrzybionych budynkach Łodzi”. Materiały XII Konferencji Naukowo-Technicznej Problemy Remontowe w Budownictwie Ogólnym i Obiektach Zabytkowych „REMO 2006”, Wrocław – Zamek Kliczków, 6 – 8 grudzień 2006, s. 178-183

MYCOLOGICAL CONDITION ANALYSIS OF SACRAL BUILDINGS

SUMMARY

The subject of the research were three churches, the walls of which were infected by the moulds. In the article the quantity and quality content analysis of the moulds identified on the walls depending on the cause of moisture (condensing water, rainfall or from the soil) was presented.



Piotr CELEWICZ, mgr inż. arch.

Politechnika Krakowska, Wydział Architektury
Instytut Projektowania Urbanistycznego A-3
Katedra Kształtowania Środowiska Mieszkaniowego
ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków
e-mail: architekt@piotrek.strefa.pl

**ENERGIA ODNAWIALNA W ARCHITEKTURZE
JAKO WYRAZ DBAŁOŚCI O ŚRODOWISKO NATURALNE
- PRZYKŁADY REALIZACJI W NIEMCZECH**

STRESZCZENIE

W referacie przedstawiono przykłady nowoczesnej architektury użyteczności publicznej, w których priorytetową rolę zajmuje wykorzystanie energii odnawialnych. Opisywane obiekty powstały w okresie ostatnich kilku lat na terenie Niemiec i są wynikiem polityki dbałości o czyste środowisko naturalne. Redukcja kosztów związanych z bilansem energetycznym budynku to nie jedyne plusy takich rozwiązań. Patrząc globalnie, wpływa to na zmniejszenie produkcji dwutlenku węgla powstającego przy wytwarzaniu energii.

1. WPROWADZENIE

W dzisiejszych czasach słowo „ekologia” stało się bardzo popularne i modne, funkcjonuje we wszystkich dziedzinach życia człowieka, a nawet stało się wyznacznikiem tego, co poprawne, a co nie (dobre lub złe). Przedrostek *eko-* lub *ekologiczny* wykorzystuje się dziś, by lepiej coś sprzedać. Z tego wynika, iż w społeczeństwie istnieje świadomość dbania o środowisko naturalne, tak by niezniszczone zachować dla przyszłych pokoleń. Podejście ekologiczne do budownictwa przejawia się w nurcie *architektury zrównoważonej*, której jedną z cech jest wykorzystanie odnawialnych źródeł energii. Jak nazwa wskazuje mowa tu o nieograniczonych zasobach energii zamagazynowanej m.in.

w: promieniach słonecznych, sile wiatru, ciepłe geotermalnym, wodach opadowych i biomasie. Są to energie ekologicznie czyste.

2. SPOSOBY WYKORZYSTANIA ŹRÓDEŁ ENERGII

Energia słoneczna może być zamieniana na energię ciepłą służącą do podgrzewania wody, lub na energię elektryczną. Warunkiem sprzyjającym jest bezchmurna pogoda, a zachmurzenie nie wyklucza użycia, lecz tylko zmniejsza sprawność funkcjonowania systemu. Jeśli chodzi o kolektory słoneczne i ogniwa fotowoltaiczne, są one niewątpliwie czynnikiem wpływającym i często kształtującym architekturę obiektów.

Energia pochodząca z siły wiatru zamieniana jest na energię elektryczną. Najczęściej odbywa się to na farmach wiatrowych, które są oddalone od siedlisk ludzkich. W budownictwie jednorodzinnym istnieje możliwość zastosowania wiatraków o niewielkich rozmiarach i mocy. Ciepło geotermalne zamieniane jest na energię ciepłą, najczęściej rozprowadzaną przez sieć. Energia elektryczna pochodząca z elektrowni wiatrowych i wodnych również odprowadzana jest do sieci. Energię zamagazynowaną w biomasie wykorzystać można do produkcji energii cieplnej, jak również elektrycznej.

Z punktu widzenia architekta, elementami wpływającymi na formę, bryłę obiektu są kolektory słoneczne i ogniwa fotowoltaiczne. Czasem widoczne są gdzieś z boku budynku, a innym razem wyeksponowane są na pierwszym planie podkreślając idee wykorzystania energii ekologicznie czystych.

3. BILANS ENERGETYCZNY BUDYNKU

Patrząc ogólnie, budynek jest odbiorcą (odbiornikiem) energii rozprowadzanej w sieci. Zapotrzebowanie energii określa bilans. Przykładowo obiekt położony w zimnym klimacie będzie ogrzewany, a w gorącym – klimatyzowany, oba wymagają nakładów energii. Powierzchnia przeszkleń, izolacyjność przegród, forma budynku, lokalizacja względem stron świata to ważne czynniki decydujące o zyskach i stratach energetycznych obiektu. Budownictwo pasywne dąży do zminimalizowania strat energetycznych. Instalacje wykorzystujące naturalne źródła energii pozwalają zwiększyć autonomiczność i zbudować obiekt bliski samowystarczalnemu energetycznie.

4. ARCHITEKTURA

Poniżej zostały dokładniej opisane przykłady interesujących realizacji na terenie Niemiec. Wybudowane zostały w ostatnich latach. Obiekty powstały z myślą o zminimalizowaniu kosztów związanych ich funkcjonowaniem - utrzymaniem.

4.1. Wissenschaftspark Rheinelbe w Gelsenkirchen.

Polityka Państwa i współpraca z sektorem prywatnym pozwoliły z miasta przemysłowego stworzyć zagłębie energii solarnej. Całość założenia tworzy park technologiczny, w którym znajduje się centrum informacji m.in. o nowoczesnych technologiach solarnych. Ponadto znajdują się tam biura i przedstawicielstwa firm zajmujących się wykorzystaniem źródeł odnawialnych, które także prowadzą badania w swoich laboratoriach. Obiekt służy również jako przestrzeń konferencyjna z salami seminaryjnymi. Całość założenia otoczono malowniczym parkiem z oczkiem wodnym. Budynek został nagrodzony za swoją innowacyjność techniczną i prezentuje wysoki poziom architektury. Autorzy to architekci: Kiessler i partnerzy. Obiekt posiada

elektrownie solarną z ogniwami fotowoltaicznymi o powierzchni ok. 1500 m². Przeszkłone arkady o powierzchni 300 m² pozwalają zarówno na kumulowanie ciepła, jak i na przewietrzanie obiektu przy użyciu systemu przesuwania tafli szklanych. Nachylona pod kątem, wielka na całą długość obiektu przeszkłona ruchoma ściana to charakterystyczna rzecz dla tego budynku. W zależności od zapotrzebowania można ją podnosić i opuszczać, odsłaniając tym samym widok na park. Postulaty zrównoważonej architektury realizowane są poprzez: poszanowanie natury - energooszczędność całego założenia, produkcję energii elektrycznej przy użyciu *czystej* technologii, ponowne użycie terenu przemysłowego - do 1984 funkcjonowała w tym miejscu odlewnia stali. Dziś obiekt pełni rolę centrum konferencyjnego i edukacyjnego w omawianej tematyce.

4.2. Zukunftszentrum w Herten.

Centrum nowoczesnych technologii wchodzące w skład parku technologicznego zostało otwarte w 1996 roku, oferuje przestrzeń biurową, zarządzanie i pośrednictwo w innowacjach branżowych oraz obsługę firm zajmujących się wykorzystaniem źródeł odnawialnych. Nadzoruje się tam wiele programów związanych z innowacyjnymi technologiami. Budynek już od strony wejścia robi niesamowite wrażenie, w swojej elewacji posiada ogniwa fotowoltaiczne o powierzchni ok. 20 m² będące wizytówką obiektu w ramach przemyślanej kompozycji architektonicznej. Budowla prezentuje architekturę na wysokim poziomie połączoną z zielenią, tworząc przyjemne warunki do pracy. Jest to przykład ilustrujący, że nowoczesne biurowce, nie zawsze muszą być wysokie i pozbawione zieleni służącej relaksowi i odpoczynkowi dla użytkowników.

4.1. Akademia Mont-Cenis w Herne.

Zwycięski projekt: Jourda et Perraudin oraz Hegger Schleif Kassel, otwarty w 1999 roku. Obiekt porównać można do szklarni o gigantycznych rozmiarach - hala o długości 170 m, szerokości 78 m i wysokości 16 m. Konstrukcja drewniana, wyeksponowana i godna podziwu dźwiga tafle szklane wraz ogniwami PV. Całość jest przeszkłona i mieści pod swoim dachem inne kubatury: centrum konferencyjno-seminaryjne, restaurację, hotel i kasyno dla uczestników szkoleń. Środek założenia przecina ciek wodny z licznymi kładkami nadający niepowtarzalny klimat wnętrzu. Beton i żwirek w podłodze pozwala akumulować ciepło. Dzięki wykorzystaniu innowacyjnych technologii w środku panuje stała temperatura i wilgotność powietrza niezależnie od pory roku, przypominająca klimat śródziemnomorski. Wentylacja została wykorzystana do chłodzenia, a przeszklenia do kumulacji ciepła w zależności od zapotrzebowania. Budowla jest równocześnie największą elektrownią słoneczną, której dach o powierzchni 10000 m² został pokryty ogniwami fotowoltaicznymi. Moc układu wynosi 1MW, a produkowana energia zaspokaja nie tylko zapotrzebowanie obiektu, ale również pewnej części miasta poprzez nadwyżki energii odprowadzane do sieci elektrycznej. Budynek cechuje energooszczędność i prezentuje wysoką jakość architektury, która stała się symbolem i wizytówką miasta. Jest to również przykład rewitalizacji i ponownego użycia terenów przemysłowych kopalni węgla kamiennego, która funkcjonowała do 1978 roku.

4.4. Szkoła Zarządzania i Designu Zollverein w Essen.

Budynek zaprojektowany przez architektów: Kazuyo Sejima i Ryue Nishizawa /SANAA/. Kształtem przypomina gigantyczny prostopadłościan, w którym powycinano

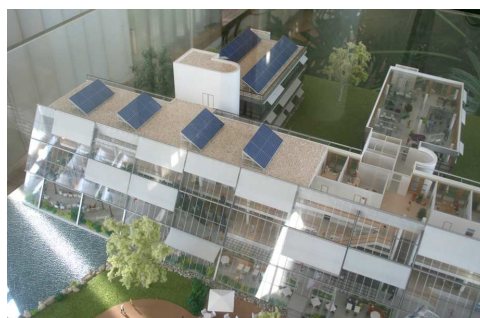
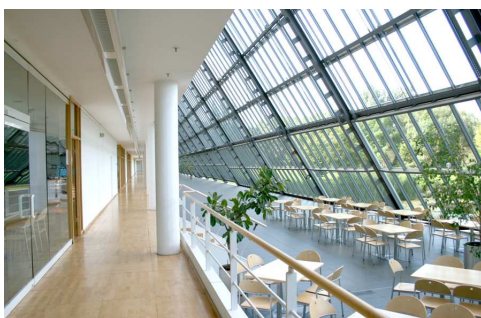
otwory okienne wpuszczające promienie słoneczne. Jest to przykład nurtu minimalizmu w architekturze tworzonego przez ascetyczności: formy i użytych materiałów. Na dachu znajduje się ogród, a pomieszczenia wewnątrz dają duże możliwości adaptacji - adekwatnie do aktualnego zapotrzebowania. Jest to możliwe, gdyż do ogrzewania wykorzystano w innowacyjny sposób system elementów grzewczych, które zostały zintegrowane z konstrukcją budynku (stropami i ścianami), co umożliwia zmienny aranż pomieszczeń w zależności od potrzeb. We wnętrzach utrzymywany jest przyjazny klimat do pracy. Natomiast do zasilania w ciepło wykorzystuje się źródło energii geotermalnej. Obiekt położony jest w sąsiedztwie zamkniętej kopalni, gdzie kiedyś zlokalizowany został przemysł wydobywczy. Budynek jest niewątpliwie atrakcją architektoniczną, podobnie jak zaadaptowana do nowych potrzeb kopalnia.

5. PODSUMOWANIE

Opisane przykłady prezentują pewną strategię, która jest wynikiem troski o środowisko naturalne, aby zachować je dla przyszłych pokoleń, ale również by dziś żyło się lepiej. Obecnie, gdy produkcja większości wyrobów odbywa się w krajach, gdzie jest to tańsze i bardziej dochodowe, pewne gałęzie przemysłu w Zagłębiu Ruhry przestały być atrakcyjne z ekonomicznego punktu widzenia. Zainwestowano tam w technologie solarne, które stanowią przyszłość i wyznaczają nowe standardy w technologii. Polityka wielu krajów dąży do upowszechnienia wykorzystania odnawialnych źródeł energii. Powodów jest wiele: troska o przyrodę, zminimalizowanie kosztów utrzymania obiektów, czy redukcja emisji dwutlenku węgla (CO₂), do której zobowiązani są partnerzy traktatu z Kyoto.

Przykład niemiecki pokazuje, iż warto inwestować w nowoczesny przemysł. Dawne zdegradowane tereny poprzemysłowe są dziś rekultywowane, poddawane rewitalizacji i włączane w struktury miast jako parki, lub osiedla mieszkaniowe itp. Wśród społeczeństwa rośnie świadomość ekologiczna, a zarazem powszechność i dostępność technologii nieszkodzących środowisku naturalnemu. Wykorzystanie siły wiatru, ciepła geotermalnego, wody opadowej ze względu na koszty inwestycji powinno leżeć w kompetencji samorządów lub organizacji wyżej położonych w hierarchii administracyjnej. Energia elektryczna i ciepła rozprowadzane są z reguły poprzez sieci. Natomiast coraz powszechniej stosuje się kolektory słoneczne, czy ogniwa fotowoltaiczne, gdyż o takich sprawach zdecydować może inwestor, po kalkulacji kosztów wydawanych na energię i oszczędności z nimi związanych. Wykorzystanie technologii solarnych ma swój wyraz w architekturze, w przeciwieństwie do mediów sieciowych dostarczanych pod powierzchnią ziemi. Kolektory można montować na dachu obiektu, ale nie tylko, można je też wykorzystać jako element kształtujący formę i styl budynku, jako jego wizytówkę, podążanie z duchem czasu, a nawet jako coś modnego w dzisiejszych czasach - ekologiczny styl życia kreowany przez media.

6. ILUSTRACJE



Fot.: 1,2,3,4,5. Wissenschaftspark Rheinelbe w Gelsenkirchen [autor: Piotr Celewicz]
Photo: 1,2,3,4,5. Wissenschaftspark Rheinelbe in Gelsenkirchen [author: Piotr Celewicz]



Fot.: 6,7. Zukunftszentrum w Herten [autor: Piotr Celewicz]
Photo: 6,7. Zukunftszentrum in Herten [author: Piotr Celewicz]



Fot.: 8. Akademia Mont-Cenis w Herne. [autor: Piotr Celewicz]
Photo: 8. Academy Mont-Cenis in Herne. [author: Piotr Celewicz]



Fot.: 9,10. Akademia Mont-Cenis w Herne. [autor: Piotr Celewicz]
Photo: 9,10. Academy Mont-Cenis in Herne. [author: Piotr Celewicz]



Fot.: 11,12,13. Szkoła Zarządzania i Designu Zollverein w Essen.
[autor: Piotr Celewicz]
Photo: 11,12,13. Zollverein School of Management and Design in Essen
[author: Piotr Celewicz]

7. LITERATURA

- [1] Janina Kopietz-Unger; „IBA – Emscher Park – Architektura”, Architektura i Biznes, lipiec/sierpień 1999 s. 46-47
- [2] <http://www.swiat-szkla.pl/content/view/466/lang,pl/> stan na 04.2008r.
- [3] <http://www.swiat-szkla.pl/content/view/434/lang,pl/> stan na 04.2008r.
- [4] <http://www.wipage.de> stan na 04.2008r.
- [5] <http://www.zzh-herten.de> stan na 04.2008r.
- [6] <http://www.route-industriekultur.de/themenrouten/grosschemie/solkraftwerk-akademie-mont-cenis.html> stan na 04.2008r.
- [7] <http://www.akademie-mont-cenis.com> stan na 04.2008r.

RENEWABLE ENERGY IN ARCHITECTURE AS A VOICE TO CARE OF THE NATURAL ENVIRONMENT – EXAMPLES OF IMPLEMENTATIONS IN GERMANY

SUMMARY

There are examples of modern public building architecture in presented paper, in which use of renewable energy is the priority, it has the leading role. The objects were built in last several years in Germany and they are result of care of the natural environment. Reduction of building energetic costs balance – is not the only advantage of these architectural solutions. In total – it has an influence on reduction of carbon dioxide emission, which comes into being by generating the energy.



Adam CHMIEŁOWSKI, dr inż.

Instytut Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa
Oddział Poznań
Zakład Technologii Drobiarskich
Ul. Biskupińska 67, 60-463 Poznań
e-mail: achmiel@ibmer.waw.pl

METODYCZNE ROZWIĄZANIA BADAŃ NAD PROCESEM OCZYSZCZANIA POWIETRZA Z KURNIKÓW POPRZECZ FITOREMEDIACJĘ

STRESZCZENIE

W referacie przedstawiono założenia metodyczne kontynuowanych, w nowym stanowisku, badań fitoremediacji powietrza usuwanego z kurnika przy zastosowaniu systemu wentylacji napędzanego energią promieniowania słonecznego. Zaprezentowano ograniczenia wynikające z zastosowanego rozwiązania oraz równoczesnego prowadzenia badań fitoremediacji i nowej konstrukcji wentylacji napędzanej promieniowaniem słonecznym.

Określono wymagania w stosunku do zastosowanej, podstawowej, aparatury – równoległa rejestracja danych termodynamicznych z charakterystycznych punktów systemu (16 wejść), rejestracji poziomu zanieczyszczeń gazowych i poziomu zapylenia.

1. WSTĘP

Głównym kierunkiem badań nad oczyszczaniem środowiska z wykorzystaniem fitoremediacji jest, aktualnie, usuwanie metali ciężkich. Można jednak wykorzystać zdolność roślin do absorbowania substancji z otoczenia do eliminacji (a co najmniej redukcji) zanieczyszczeń powstających, w budynkach inwentarskich (głównie kurnikach), w efekcie produkcji drobiarskiej. Mogą one być pożywieniem dla roślin.

Najlepszym rozwiązaniem jest eliminacja zbędnych substancji w miejscu ich powstawania. Sytuacja jest o tyle korzystna że warunki utrzymania drobiu są kompatybilne z wymaganymi przez rośliny. Można więc skojarzyć obiekt z ptakami z pomieszczeniem dla roślin. Nasuwa się więc idea nabudowania szklarni na obiekcie inwentarskim i bezpośredniego ich połączenia.

2. WARUNKI BADAŃ

W celu określenia warunków w których będziemy przeprowadzać badania trzeba zdefiniować elementy środowiska w kurniku jako wartości wyjściowe. Interesujące są parametry związane ze strumieniem powietrza zanieczyszczonego i usuwanego z kurnika. Wartości te określone są przez przeciętną ilość produktów przemiany materii wydalaną przez ptaki. Równocześnie wydalone substancje generują zanieczyszczenia pochodne. W efekcie w powietrzu wentylacyjnym występują CO_2 , NH_3 , H_2S oraz para wodna. Charakterystyczny dla środowiska kurnika jest kurz, powstający podczas rozgrzebywania ściółki, zadawania i pobierania paszy. Wartości parametrów zanieczyszczenia powietrza definiuje też wielkość obsady.

Powyższe określa parametry strumienia powietrza wentylacyjnego:

- Prędkość ruchu strumienia
- Strumień (objętościowo)
- Stężenie CO_2
- Stężenie NH_3
- Temperaturę powietrza wyrzucanego (mieszcząca się w zakresie od około piętnastu do trzydziestu kilku $^{\circ}\text{C}$, zakres ten obejmuje ptaki od jednodniówek po dorosłe nioski).
- Stężenie pyłu

Dopuszczalne zakresy ilości zanieczyszczeń gazowych są sytuowane w granicach:

CO_2 – 3,822 g/kg, NH_3 – 0,016 g/kg.

Dodatkowym produktem jest wytwarzane przez ptaki ciepło – ma ono walor negatywny w lecie (gdy w otoczeniu jest co najmniej dosyć ciepła) ale w zimie należy go wartościować pozytywnie. Systemy wentylacyjne w okresie zimnym pracują tak by utrzymać stężenia zanieczyszczeń na dopuszczalnym poziomie (przy minimalnej stracie ciepła) a w lecie z wydajnością umożliwiającą obniżenie poziomu temperatury do akceptowalnej wartości.

3. OPIS OBIEKTU BADAWCZEGO

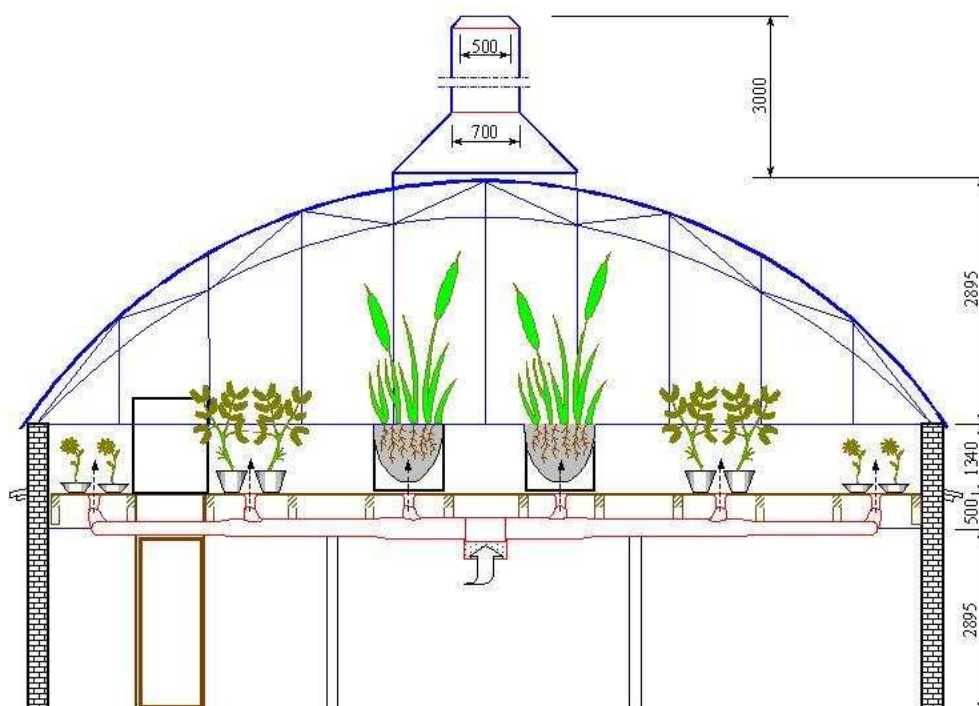
Obiekt laboratoryjny musi spełniać szersze wymagania niż produkcyjny tzn. jego właściwości w szerszym zakresie muszą się poddawać regulacji i kontroli. Równocześnie musi w określonym zakresie modelować warunki produkcyjne.

Powyższe osiągnięto sytuując obiekt dla roślin powyżej pomieszczenia z ptakami lecz łącząc go nie bezpośrednio (przez strop – minimum oporów przepływu, kierunek ruchu zgodny z naturalną tendencją) ale za pośrednictwem specjalnego kanału dystrybucji powietrza z kontrolą przepływu. System umożliwia zdławienie dopływu powietrza do poszczególnych sekcji pomieszczenia badawczego. Dodatkowy kanał zwiększa opory przepływu całości obciążając urządzenie wentylacyjne.

Szklarnia laboratoryjna ma powierzchnię podłogi 40m^2 porównywalną z pomieszczeniem inwentarskim (36m^2) – umożliwiając symulację połączenia bezpośredniego pod względem rozptywu powietrza (rys.1).

Rośliny weryfikowane w trakcie badań muszą wykazywać takie cechy jak:

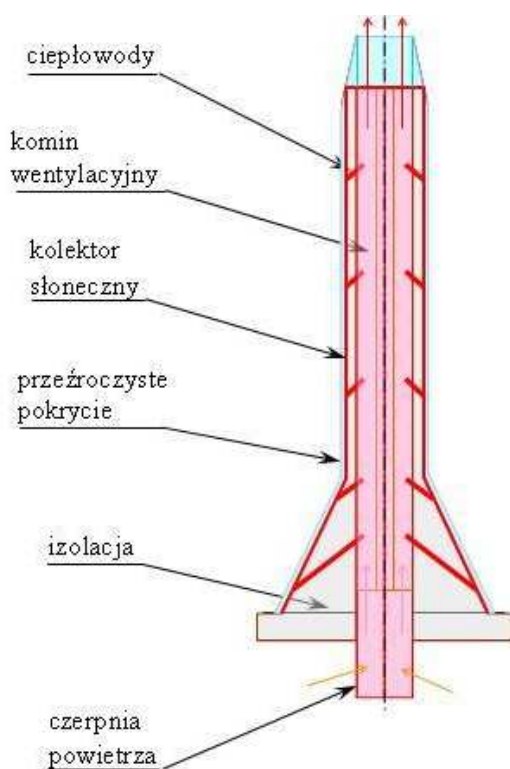
- duża zdolność pochłaniania emitowanych z kurnika gazów
- możliwość wychwytywania pyłu bez szkodliwego wpływu na własny rozwój
- możliwość wykorzystania po spełnieniu funkcji remediacyjnej
- szybki przyrost i duża masa zielona



Rys.1. Koncepcja wykorzystania tworzonego stanowiska
Fig.1. Conception of utilization of created plant

Tak usytuowana szklarnia wraz z kominem wentylacyjnym (solarnym) pozwoli, kosztem energii cieplnej z kurnika oraz ze słońca, zapewnić wymianę powietrza na wymaganym przez ptaki poziomie. Urządzenie wentylacyjne nie może zajmować zbyt dużej powierzchni ze względu na umieszczenie na dachu szklarni. W celu wymuszenia wentylacji zastosowano rozwiązanie, wykorzystujące do napędu promieniowanie słoneczne (rys.2). W tym przypadku energia cieplna oddziałuje bezpośrednio na strumień wyrzucany z obiektu inwentarskiego. Ciepło z kolektora do wymiennika wewnętrznego komina jest przenoszone przez ciepłowodę. Układ cechuje znacznie wyższa sprawność lecz wymaga zastosowania bardziej zaawansowanej technologii i jest bardziej podatny na zanieczyszczenia.

W przypadku niepełnego usunięcia pyłu ze strumienia powietrza wyrzucanego istnieje prawdopodobieństwo osadzania się go na żebrach wymiennika. Przewidziano możliwość dostępu do jego wnętrza celem oczyszczenia.



Rys.2. Komin wentylacyjny z ciepłowodami - zasada działania
Fig.2. Ventilate chimney with heatpipes - rule of working

Pomieszczenie można dzielić na sekcje w zależności od potrzeb. W celu równomiernej dystrybucji powietrza w każdej (możliwej) sekcji wykonano 4 regulowane wloty, podzielonego na 24 części strumienia, wprowadzające go pomiędzy rośliny.

4.OPIS METODYKI POMIARÓW

4.1. Opis metodyki

Czas badań podzielono na:

1. Okres wstępny – określenia rośliny (roślin) najlepiej spełniającej założoną funkcję
2. Badania zasadnicze – weryfikujące wybraną roślinę szczegółowo w funkcji czasu działania jako fitoremediatora
3. Ostateczną weryfikację.

Równolegle zbadany będzie komin wentylacyjny.

W okresie wstępnym konieczne jest wydzielenie poszczególnych sekcji (z daną rośliną) w celu eliminacji wzajemnych wpływów. System dystrybucji powietrza usuwanego z kurnika musi zapewniać jednakowe strumienie dostarczane w poszczególne obszary. Powietrze wprowadzone do szklarni, w obszar poszczególnych sekcji badawczych będzie kontrolowane w kanale dystrybucyjnym i przy wylocie z każdego z wydzielonych obszarów. Rozkład zanieczyszczeń określony podczas badań bez roślin pozwoli wyeliminować wpływ samego pomieszczenia na wyniki – wskaźnikiem będzie, przede wszystkim, rozkład pyłu.

Strumień przepływającego ciepłego powietrza, niosącego zanieczyszczenia przeznaczone do absorpcji, będzie podany w obszar zajmowany przez rośliny i dalej skierowany do komina.

Metodyka badań uwzględni zmianę warunków zewnętrznych w ciągu roku. Zmienność parametrów powietrza zewnętrznego (ciśnienie, temperatura, wilgotność) oraz czas ekspozycji na światło słoneczne – również wpływ zegara biologicznego roślin (dzienny, roczny) wpływają na wyniki przyswajania substancji z otoczenia i muszą być uwzględnione. Przewidziano tygodniowe cykle rejestracji w danej konfiguracji parametrów mierzonych. Pozwoli to na analizę zjawisk występujących w ciągu dnia i nocy. Rozkład cykli tygodniowych w czasie roku ma reprezentować poszczególne pory pokrywając pełne spektrum występujących temperatur zewnętrznych – od najniższych zimowych po możliwie najwyższe letnie.

Zrealizowane to będzie poprzez właściwą, ze względu na uzyskane dotychczas wyniki, ilość powtórzeń. Wymagana ze względu na występujące temperatury liczba cykli rejestracji zapewni znaczne pokrycie wynikami poszczególnych punktów rejestrowanej temperatury. Rozrzut pozostałych parametrów w uzyskanych przedziałach temperatury (temperatura jest przyjęta jako główny wyznacznik warunków otoczenia) uwzględni pozostałe cechy środowiska.

Powyższy układ badań i rejestracji wyników pomiarów jest korzystny również przy badaniach urządzenia wentylacyjnego. Zapewnia, co najmniej, po kilkadziesiąt wyników rejestracji parametrów w danej temperaturze.

4.2. Aparatura

W celu przeprowadzenia badań wg opracowanej metodyki rejestrowane będą:

- termodynamicznych właściwości powietrza
- zawartości pyłu w powietrzu
- zawartości gazów (amoniak, dwutlenek węgla)

Parametry termodynamiczne mierzone będą odpowiednio skonfigurowanym zestawem Testo 454. W skład zestawu wchodzi sonda do pomiaru:

- prędkości przepływu strumienia powietrza
- ciśnienia powietrza
- temperatury
- wilgotności
- dwutlenku węgla

Do pomiarów stężenia amoniaku użyty będzie 1312 Fotoacoustic Multi-gas Monitor. Stężenia gazów analizowane będą w skojarzeniu z właściwościami termodynamicznymi przepływającego strumienia powietrza. Punktem odniesienia są parametry środowiska otaczającego obiekt inwentarski reprezentowane przez temperaturę.

Rejestracja zapylenia powietrza po przejściu przez pomieszczenie inwentarskie i po przejściu przez szklarnię wykonana będzie odpowiednim monitorem pyłu.

Do pomiarów przewidziano:

- Monitor pyłu zawieszonego TEOM serii 1400a firmy Thermo Elektron Corporation
- Analizator pyłu typu IPS K firmy Kamika Instruments

5. PODSUMOWANIE

Wynikiem badań będzie określenie rośliny (roślin) przydatnej, w tym przypadku, do celów fitoremediacji, stwierdzenie poziomu oczyszczenia powietrza w przebadanych warunkach i określenie potrzebnych modyfikacji rozwiązania.

Uzyskane parametry strumienia powietrza wentylacyjnego pozwolą określić prawidłowość konstrukcji urządzenia wentylacyjnego.

Badania chemiczne uzyskanej masy roślinnej pozwolą określić kierunek dalszego wykorzystania jej na cele paszowe, nawozowe lub inne.

6. LITERATURA

Chmielowski A., Dobór parametrów strumienicy z kolektorem słonecznym do wentylacji budynków inwentarskich., Prace Naukowe IBMER, 2007

Gawroński ST.W., Perspektywy i ograniczenia fitoremediacji., SGGW

Hobler T., Ruch ciepła i wymienniki., WNT W-wa, 1986

METHODICAL SOLUTIONS OF INVESTIGATIONS ON PROCESS OF CLEANING OF AIR FROM HENHOUSES THROUGH FITOREMEDIATION

SUMMARY

In report foundations were introduced methodical assumptions continued, in new plant, investigations of fitoremediation of air removed from henhouse at use of ventilation system driven energy sunny radiation. As results were presented limitations from applied solution and simultaneous leadership of investigations fitoremediation and new construction of ventilation driven sunny radiation.

Requirements were qualified to applied in relation, basic, by apparatus - parallel registration of thermodynamical datas from characteristic points of system (16 entries), registration of level of gas dirt and level of pollinating.

Dorota A. CHWIEDUK, dr hab. inż.

Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN
Zakład Problemów Eko-Budownictwa
Ul. Świętokrzyska 21, 00-049 Warszawa
e-mail: dchwied@ippt.gov.pl

WYBRANE ASPEKTY KONWERSJI TERMICZNEJ ENERGII PROMIENIOWANIA SŁONECZNEGO W BUDYNKU

STRESZCZENIE

Konwersja termiczna energii promieniowania słonecznego zachodzi w budynku w sposób naturalny. Przedstawiono wyniki obliczeń symulacyjnych bilansu cieplnego pomieszczenia z uwzględnieniem oddziaływania energii promieniowania słonecznego przyjmując, że konwersja fototermiczna w budynku odbywa się w sposób niezaplanowany.

1. WPROWADZENIE

Promieniowanie słoneczne przechodząc przez atmosferę ziemską ulega różnego rodzaju oddziaływaniom. Docierając do obudowy budynku niesie określoną wielkość strumienia energii i może bezpośrednio przenikać do wnętrza przez przezroczyste elementy obudowy lub oddziaływać pośrednio na wnętrze wskutek pochłaniania w obudowie budynku, którą stanowią przegrody nieprzezroczyste i przezroczyste – okna. W obudowie i wewnątrz budynku zachodzą procesy konwersji fototermicznej, polegające na przemianie energii promieniowania słonecznego w ciepło. W heliopasywnych elementach obudowy budynku procesy te zachodzą w sposób naturalny zgodnie z zasadami fizyki budowli, pozyskiwanie i przepływ ciepła są samoczynne. Promieniowanie słoneczne docierające do nieprzezroczystych ścian zewnętrznych ulega odbiciu od przegrody i pochłonięciu w jej warstwie zewnętrznej. W wyniku pochłonięcia promieniowania słonecznego w warstwie zewnętrznej przegrody wzrasta jej temperatura, część pozyskanego ciepła jest oddawana do otoczenia w postaci promieniowania cieplnego, część przenika przez przegrodę przede wszystkim wskutek przewodzenia. W przypadku, gdy promieniowanie dociera do granicy ośrodków przezroczystych o różnej gęstości (np. powietrze – szkło) ulega załamaniu

i odbiciu. W zależności od właściwości optycznych ośrodka przezroczystego i jego absorpcyjności natężenie promieniowania ulega odpowiedniemu zmniejszeniu (osłabieniu). Promieniowanie słoneczne po przejściu przez przezroczystą przegrodę, tj. okno, dociera do ośrodka nieprzezroczystego, który stanowią wewnętrzne przegrody pomieszczenia i przedmioty w nim znajdujące się, ulega odbiciu i pochłonięciu. Energia promieniowania słonecznego, które zostało pochłonięte ulega zamianie na ciepło. Przechodząc przez obudowę budynku do wnętrza pomieszczenia energia promieniowania słonecznego może wpływać w sposób istotny na jego bilans cieplny, co obrazują wyniki obliczeń symulacyjnych przeprowadzonych na podstawie opracowanego modelu matematycznego [1].

2. MODEL BILANSU CIEPLNEGO POMIESZCZENIA

W celu określenia dostępności promieniowania słonecznego i napromieniowywania różnie usytuowanych elementów obudowy budynku dla różnie usytuowanych powierzchni, opisanych kątem azymutalnym i kątem pochylenia, w odniesieniu do uśrednionych reprezentatywnych dni poszczególnych miesięcy uśrednionego reprezentatywnego roku [2], wykorzystano model anizotropowy promieniowania słonecznego rozproszonego HDKR [3], wg którego napromieniowanie godzinne półsferyczne I_s powierzchni pochylonej pod kątem β i zorientowaniu opisanym kątem azymutalnym γ wyznacza się na podstawie danych napromieniowania bezpośredniego I_b i rozproszonego I_d powierzchni poziomej, współczynników korekcji promieniowania bezpośredniego R_b , rozproszonego R_d i odbitego R_o , współczynnika anizotropowości A_i i wskaźnika zachmurzenia f , i na podstawie zależności:

$$I_s(t) = (I_b(t) + I_d(t)A_i(t))R_b(t) + I_d(t)(1 - A_i(t))(R_d) \left[1 + f(t) \sin^3\left(\frac{\beta}{2}\right) \right] + I(t)\rho_g(R_o) \quad (1)$$

Współczynnik anizotropowości A_i odpowiada stosunkowi napromieniowania bezpośredniego I_b powierzchni poziomej na ziemi do promieniowania pozaziemskiego I_0 na zewnętrznej powierzchni atmosfery, który jest obliczany przy wykorzystaniu zależności geometrii sferycznej związanej z ruchem Ziemi wokół Słońca [4].

W celu rozwiązania zagadnienia dynamiki procesów zachodzących w obudowie budynku w wyniku zmieniających się w czasie warunków otoczenia, z uwzględnieniem napromieniowywania ich promieniowaniem słonecznym sformułowano model matematyczny zjawisk zachodzących w przegrodach nieprzezroczystych, przezroczystych i ich otoczeniu. Rozważając przepływ energii przez okno w sposób zintegrowany, jednocześnie modułowy opisano przepływ energii przez przeszklenie, obrzeże przeszklenia i ramę, uwzględniając wzajemne oddziaływanie poszczególnych elementów. Uwzględniono zmienność w czasie zapotrzebowania na ciepło/chłód na wentylację.

Bilans energetyczny modelowego pomieszczenia budynku można zapisać w postaci ogólnej traktując powietrze w pomieszczeniu jako układ o parametrach skupionych oraz uwzględniając dopływające i odpływające z niego strumienie ciepła oraz wewnętrzne źródła ciepła w chwili czasu t w następujący sposób:

$$Vc_p\rho\frac{dT_w}{dt} = \dot{Q}_{dopr}(t) - \dot{Q}_{odpr}(t) - \dot{Q}_{wen}(t) + \dot{Q}_{qv}(t) \quad (2)$$

gdzie:

Q_{dopr}	strumień energii doprowadzonej do wnętrza pomieszczenia przez przegrody [W]
Q_{odpr}	strumień ciepła odprowadzony z wnętrza pomieszczenia przez przegrody [W]
Q_{wen}	zapotrzebowanie na moc grzewczą do celów wentylacyjnych [W]
Q_{qv}	strumień wewnętrznych źródeł ciepła w pomieszczeniu [W]
V	objętość pomieszczenia [m ³]
T_w	temperatura powietrza wewnątrz pomieszczenia [K]
ρ	gęstość powietrza [kg/m ³]
c_p	ciepło właściwe powietrza [J/kg K]

W celu rozwiązania równania bilansowego (2) przyjęto założenia upraszczające, jako podstawowe założenie przyjęto, że wszystkie pomieszczenia w budynku, wyposażone w j ścian – przegród nieprzezroczystych oraz i przezroczystych (okna), mają taką samą temperaturę T_w , stałą w czasie i przestrzeni, i równanie bilansowe (2) przybiera następującą ogólną postać:

$$\dot{Q}_{h/c}(t) = \dot{Q}_{qv}(t) = \sum_j \dot{Q}_{j,sciany}(t) + \sum_i \dot{Q}_{i,okna}(t) + \dot{Q}_{wen}(t) - \sum_i \dot{Q}_{s,i}(t) \quad (3)$$

gdzie:

$Q_{h/c}$	obciążenia grzewczo/klimatyzacyjne [W]
Q_s	strumień energii słonecznej bezpośrednio przenikający przez przeszklenie [W]

Przyjęcie założenia o stałej temperaturze wewnętrznej pomieszczeń oznacza utrzymywanie stałych w czasie warunków temperaturowych w dowolnym pomieszczeniu dzięki nadążnemu funkcjonowaniu instalacji grzewczo/klimatyzacyjnej, czyli dostarczaniu ciepła lub chłodu na takim poziomie, aby pokrywało ono straty/zyski ciepła wynikające z oddziaływania otoczenia zewnętrznego, tj. z wymiany ciepła przez nieprzezroczyste i przezroczyste przegrody budowlane, bezpośredniego oddziaływania promieniowania słonecznego (jeśli występuje) i zapotrzebowanie na ciepło/chłód do celów wentylacyjnych.

3. WPŁYW ENERGII PROMIENIOWANIA SŁONECZNEGO NA BILANS CIEPLNY MODELOWEGO POMIESZCZENIA

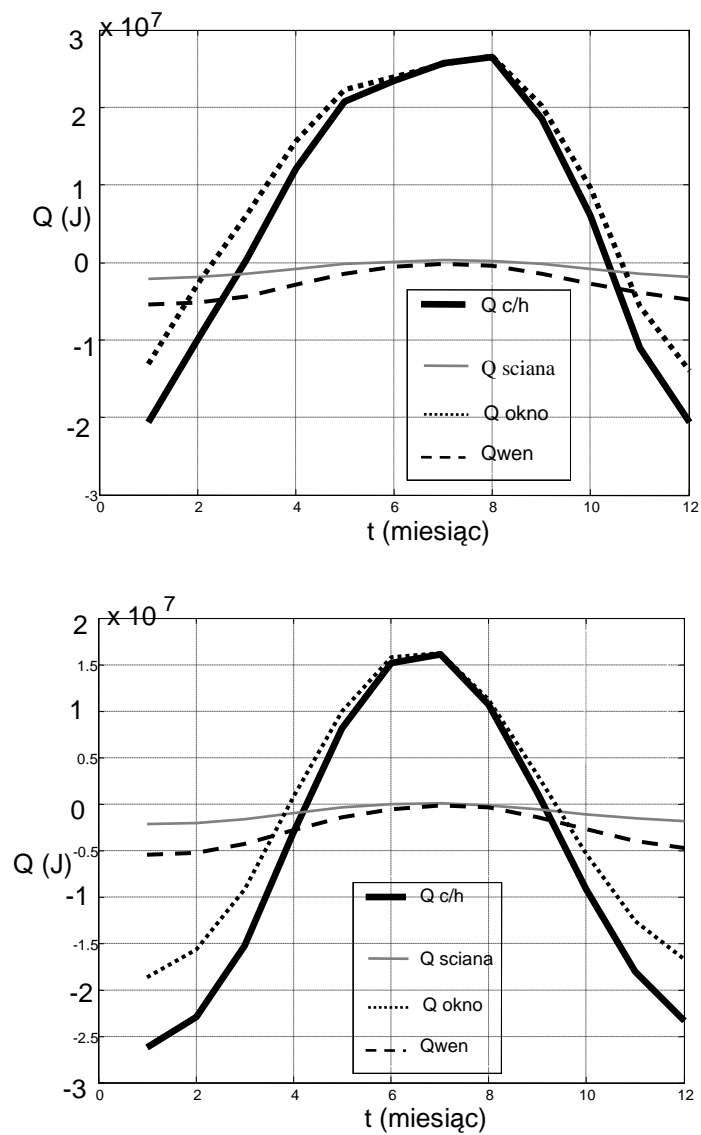
Sformułowany model matematyczny i jego zapis numeryczny [1] pozwalają na prowadzenie obliczeń symulacyjnych procesów zachodzących w obudowie budynku i jego otoczeniu w zmieniających się w czasie warunkach, i dla różnych parametrów konstrukcyjno-materiałowych obudowy budynku. Równania opisujące przepływ energii przez przegrody budynku są równaniami cząstkowymi parabolicznymi dla obszarów wewnętrznych, dla których sformułowano warunki początkowe i brzegowe. Do obliczeń przyjęto dla każdego miesiąca te same dzienne rozkłady temperatury otoczenia zewnętrznego i strumienia energii promieniowania słonecznego, powtarzające się cyklicznie w kolejnych dniach danego miesiąca. Bilanse dobowe energii dla kolejnych dni zmieniają się dążąc do pewnych ustalonych wartości w kolejnych przedziałach czasowych, zgodnie z twierdzeniem o asymptotycznych własnościach rozwiązań równań parabolicznych. W celu osiągnięcia powtarzalnych wartości bilansów dobowych obliczenia prowadzono w sekwencjach 10 dniowych. Obliczenia przeprowadzono w środowisku

MATLAB. Tabela 1 zawiera wybrane wyniki w postaci wielkości obciążeń ogrzewczych i klimatyzacyjnych dla przykładowych modelowych pomieszczeń o różnym usytuowaniu, opisanym kątem pochylenia β i kątem azymutalnym γ przegród zewnętrznych, i o różnej wielkości okien, otrzymane dla przyjętych założeń odnośnie do parametrów geometrycznych i fizycznych.

Tabela 1. Obciążenia ogrzewcze i klimatyzacyjne dla przykładowych modelowych pomieszczeń

Okno [m ²]	β [°] pochylenie	γ [°] azymut	Q _c [MJ] klimatyzacja	Q _h [MJ] ogrzewanie	Q _{całk} [MJ] całkowite	Q _h /Q _{całk} [%]
1x1	90	0	700,7	1449,7	2150,4	0,67
1x1	90	-90	517,4	1851,3	2368,7	0,78
1x1	90	+90	695,9	1754,6	2450,6	0,72
1x1	90	180	255,4	2048,0	2303,3	0,89
2x2	90	0	4078,08	1884,19	5962,27	0,32!
2x2	90	-90	2791,18	2969,04	5760,22	0,52
2x2	90	90	3729,28	2802,82	6532,10	0,43!
2x2	90	180	1568,00	3573,52	5141,52	0,70
1x1	45	0	1252,34	1430,07	2682,41	0,53
1x1	45	-90	844,40	1772,44	2616,84	0,68
1x1	45	90	1038,21	1671,72	2709,93	0,62
1x1	45	180	551,39	2070,42	2621,81	0,79
2x2	45	0	6481,75	2008,76	8490,51	0,24!
2x2	45	-90	4503,87	3019,36	7523,23	0,40!
2x2	45	90	5326,95	2681,28	8008,23	0,33!
2x2	45	180	2790,87	3642,97	6433,84	0,57

Na podstawie stworzonego modelu matematycznego i przeprowadzonych obliczeń symulacyjnych uzyskano przebieg zmienności w czasie zapotrzebowania na ciepło chłód oraz innych składowych bilansu energetycznego budynku dla wybranych modelowych pomieszczeń. Wybrane przykłady uzyskanych wyników rozkładu obciążeń i jego składowych są przedstawione na rys. 1. Dotyczą one rozkładu obciążeń ogrzewczych i klimatyzacyjnych dla pomieszczeń ograniczonych przegrodami pionowymi zorientowanymi na południe (górny wykres) i północ (dolny wykres), o dużych oknach (2 x 2 m²).



Rys.1. Rozkład obciążeń ogrzewczo/klimatyzacyjnych i ich składowych dla pomieszczeń zorientowanych na południe (górny wykres) i północ (dolny), duże okna ($2 \times 2 \text{ m}^2$)

4. PODSUMOWANIE

Wyniki przeprowadzonych obliczeń wskazują, że rzeczywiście zgodnie z poczynionymi założeniami odnośnie rozwiązań materiałowych przegród nieprzezroczystych budynku, udział wymiany ciepła przez te przegrody jest bardzo mały i stanowi z reguły najmniej istotny element bilansu energetycznego pomieszczenia w skali roku. Zapotrzebowanie na ciepło do celów wentylacyjnych, pomimo zastosowania rekuperacji ciepła w układach wentylacyjnych, stanowi nadal ważny element rocznego bilansu pomieszczenia. Waha się on w skali roku od kilkunastu procent, w przypadku najlepiej napromieniowywanych pomieszczeń, do 40% w przypadku pomieszczeń północnych. Zdecydowanie największy wpływ na roczny bilans cieplny pomieszczenia ma okno, które staje się podstawowym i newralgicznym elementem bilansu cieplnego pomieszczenia, a przez to projektu budynku. Rola okna w bilansie energetycznym rośnie ze wzrostem jego powierzchni i ściśle zależy od pory roku i jego lokalizacji (pochylenia, orientacji). Szczególnie wyraźny wpływ okna na bilans cieplny pomieszczenia występuje w okresie letnim, kiedy pozostałe składowe bilansu, takie jak wymiana ciepła przez przegrody nieprzezroczyste i do celów wentylacyjnych jest na niewielkim poziomie. Pochylenie powierzchni okna i innych przegród zewnętrznych zwiększa znacznie przepływ energii do wnętrza pomieszczenia.

5. LITERATURA

- [1] Chwieduk D.: Modelowanie i analiza pozyskiwania oraz konwersji termicznej energii promieniowania słonecznego w budynku. Prace IPPT. Warszawa. 11/2006.
- [2] Chwieduk D., Bogdańska B.: Some recommendations for inclinations and orientations of building elements under solar radiation in Polish conditions, *Renewable Energy Journal* 29, 2004, 1569 - 1581
- [3] Reindl D. T., Duffie J. A., Beckman W. A.: Evaluation of Hourly Tilted Surface Radiation Models, *Solar Energy*, 45, 1999, 9 – 14
- [4] Duffie J. A., Beckman W. A.; *Solar Engineering of Thermal Processes*. John Wiley & Sons, Inc., 1991, New York

SOME ASPECTS OF PHOTO-THERMAL CONVERSION OF SOLAR ENERGY IN A BUILDING

SUMMARY

The paper deals with natural photo-thermal conversion of solar energy in a building. The results of simulation studies of energy balance of a modeled room with focus on unplanned utilisation of solar energy have been presented and analysed.

II Konferencja SOLINA 2008
ENERGIA ODNAWIALNA
Innowacyjne Rozwiązania
Materiały i Technologie dla Budownictwa



Dariusz CZEKALSKI, dr inż.
Rafał KORUPCZYŃSKI, dr inż.
Paweł OBSTAWSKI, dr inż.

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
Zakład Gospodarki Energetycznej
ul. Nowoursynowska 166, 02-787 Warszawa
e-mail: dariusz_czekalski@sggw.pl
rafal_korupczynski@sggw.pl
pawel_obstawski@sggw.pl

**BADANIE ZASOBÓW ENERGII WIATROWEJ W REJONIE
RZD SGGW W ŻELAZNEJ**

STRESZCZENIE

W referacie przedstawiono wstępne wyniki badań dotyczących zasobów energii wiatrowej na terenie Rolniczego Zakładu Doświadczalnego SGGW w Żelaznej k. Skierniewic (woj. łódzkie). Obliczenia oparto o pomiary prowadzone na polowej stacji meteorologicznej Katedry Podstaw Inżynierii.

1. WPROWADZENIE

Obecnie energetyka wiatrowa rozwija się w Polsce w przyspieszonym tempie. W ostatnim czasie powstało kilka nowych dużych farm wiatrowych i planowana jest budowa następnych [1]. Ze względu na wysokie koszty inwestycyjne, budowa farm wiatrowych jest opłacalna jedynie na terenach odznaczających się stosunkowo wysokimi prędkościami wiatru w ciągu całego roku. Energia uzyskiwana z wiatru jest proporcjonalna do trzeciej potęgi prędkości, zatem kluczowym problemem jest oszacowanie jakie prędkości wiatru występują w miejscu planowanej lokalizacji farmy wiatrowej. Prędkość wiatru można wyznaczyć drogą pomiarową za pomocą przyrządów zwanych anemo-

metrami [2]. Innym sposobem jest uzyskanie wieloletnich danych z Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej, niestety jedynie w formie przetworzonej (odpłatna ekspertyza) [3].

Planowana lokalizacja farmy wiatrowej to okolice miejscowości Żelazna (woj. łódzkie, pow. skierniewicki). Wstępnie wskazano miejsce przyszłego posadowienia turbin wiatrowych na jednym z pól uprawnych Rolniczego Zakładu Doświadczalnego SGGW. Według opinii okolicznych mieszkańców właśnie to miejsce odznacza się szczególną wietrznością. Z uwagi na brak możliwości dostępu do wieloletnich danych meteorologicznych przedsięwzięcie poprzedzono ekspertyzą IMGW, która tylko częściowo potwierdziła obiegowy pogląd.

2. METEOROLOGICZNA STACJA POMIAROWA

Stacja znajduje się na wysokości 174 m n.p.m. Aluminiowy maszt ma wysokość 12 m (rys. 1) i jest ustabilizowany trzema stalowymi odciegami zakotwiczonymi w betonowych stopach fundamentowych. Na maszcie umieszczono następujące czujniki do oceny zasobów energii wiatru:

- LB-747 wiatromierz do pomiaru prędkości i kierunku wiatru na wysokości 12 m n.p.g.,
- LB-747 wiatromierz do pomiaru prędkości wiatru na wysokości 6 m n.p.g.,
- LB-716 barometr do pomiaru ciśnienia,
- LB-710R termohigrometr do pomiaru wilgotności względnej i temperatury powietrza, oraz czujniki uzupełniające:
- LB-711 wielokanałowy termometr do pomiaru temperatur powietrza na wysokości +10 cm oraz gruntu na głębokości –10 cm i –50 cm,
- LB-797 wilgotnościomierz do pomiaru wilgotności gleby na głębokości –30 cm.

Stacja ze względu na polowy charakter wyposażona jest w wielofunkcyjny rejestrator LB-741 służący do konwersji i rejestracji bieżących wskazań. Czujniki jak też rejestrator wymagają zasilania, stąd wobec braku linii przewodowej zastosowano akumulator żelowy o napięciu znamionowym 12 V i pojemności 72 Ah. Aby ograniczyć częstotliwość wymiany akumulatorów układ zasilania stacji wsparto modulem fotowoltaicznym umieszczonym na maszcie. Rozmiar pamięci rejestratora jest stosunkowo niewielki, zatem należało rozwiązać problem transmisji danych do komputera będącego jednocześnie centralnym rejestratorem oraz serwerem danych. Do transmisji danych na dystansie ok. 1200 m (do siedziby RZD), użyto zestaw nadajnik-odbiornik z kompletem anten kierunkowych. W ten sposób dane bieżące jak też pliki archiwalne mogą być przesyłane stałym łączem internetowym i odbierane przez uprawnionych pracowników Zakładu Gospodarki Energetycznej SGGW. Specjalistyczne oprogramowanie wizualizacyjno-archiwizacyjne z opcją komunikacji sieciowej pod nazwą LBX dostarczył i wdrożył wykonawca stacji. Wszystkie dane pomiarowe zapisywane są co 1 minutę, a archiwizacja obejmuje automatycznie przedziały tygodniowe. Stanowisko pomiarowe zostało wybudowane i uruchomione przy wykorzystaniu środków finansowych przydzielonych w ramach grantu uczelnianego SGGW nr 50411250017 w 2007 r.

3. WYNIKI

W okresie 01.12.2007 do 23.02.2008 r. korzystając ze stacji pomiarowej zarejestrowano następujące parametry istotne z punktu widzenia zasobów energii wiatru:

– prędkość wiatru na wysokościach 6 i 12 m,

- kierunek wiatru na wysokości 12 m,
- ciśnienie atmosferyczne,
- temperaturę powietrza.



Rys. 1. Widok ogólny stacji meteorologicznej na terenie RZD SGGW w Żelaznej
 Fig. 1. Measuring station on the territory of RZD SGGW at Zelazna - general view

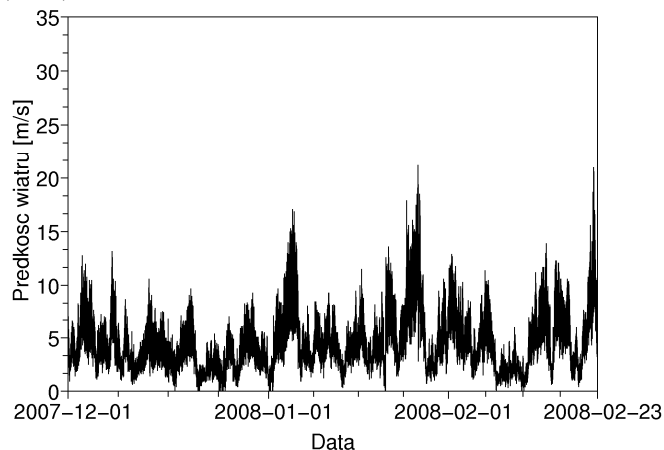
W dn. 24.02 - 1.03.2008 r. stacja uległa awarii, czego skutkiem jest brak danych z ostatniego tygodnia lutego.

Wykresy prędkości wiatru w funkcji czasu ilustrujące dane pomiarowe przedstawiono na rys. 2 i 3. Korzystając z tych danych przeliczono prędkości wiatru na wysokości 50 i 73 m, które odpowiadają wysokościom turbin 330 kW (Enercon E-33) i 800 kW (Enercon E-53). Ze względu na stosunkowo niskie prędkości startowe turbiny te są preferowanym rozwiązaniem technicznym przyszłej farmy wiatrowej, która ma powstać w tej lokalizacji. Obliczenia wykonano korzystając z wykładniczego profilu prędkości wiatru:

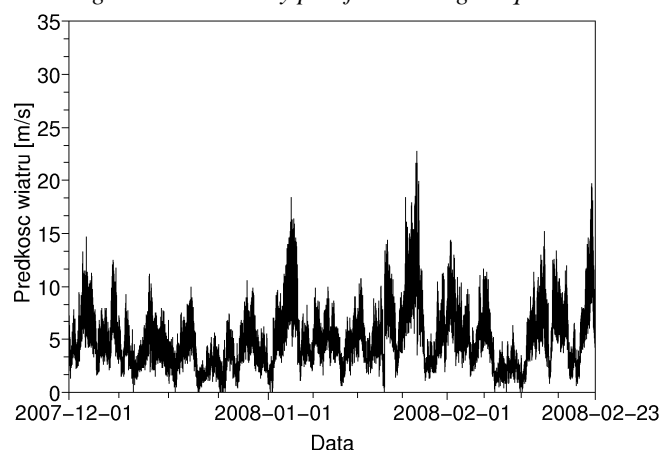
$$v_{h2} = v_{h1} \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^p \quad (1)$$

gdzie: h_1 , h_2 – wysokości nad poziomem gruntu [m], v_{h1} , v_{h2} – prędkości wiatru [m/s] odpowiednio na wysokości h_1 i h_2 , p – wykładnik potęgowego profilu prędkości wiatru. Wartość p została obliczona jako średnia na podstawie porównania danych pomiarowych

na wysokościach 6 i 12 m ($p_{sr} = 0,26$). Wykresy prędkości wiatru na wysokościach 50 i 73 m pokazano na rys. 4 i 5. Ponadto obliczono średnie prędkości wiatru na rozpatrywanych wysokościach (tab.1).



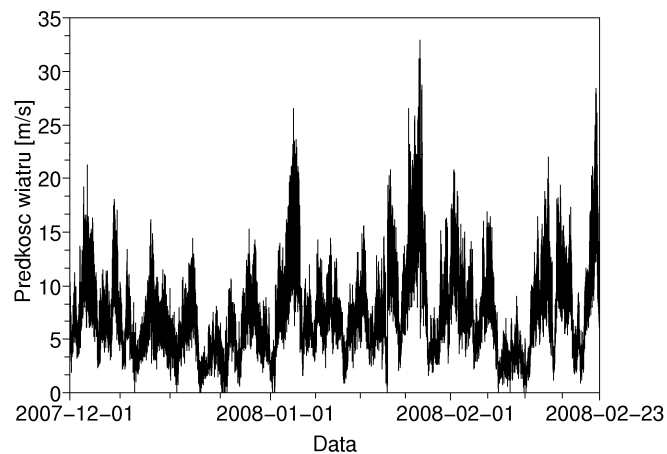
Rys. 2. Wykres prędkości wiatru na wysokości 6 m
Fig. 2. Wind velocity plot for the height equal 6 m



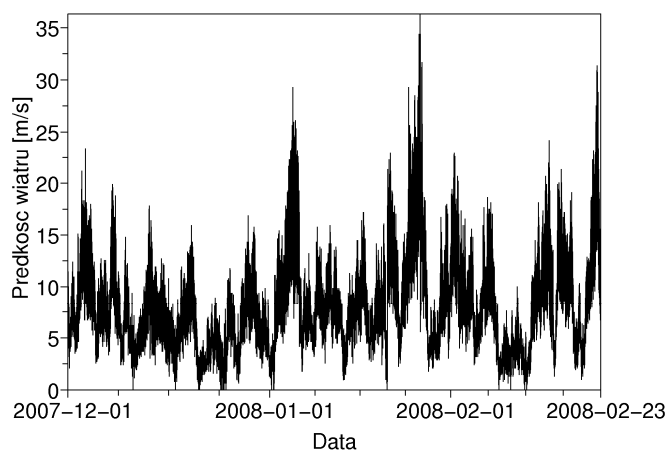
Rys. 3. Wykres prędkości wiatru na wysokości 12 m
Fig. 3. Wind velocity plot for the height equal 12 m

Tabela 1. Średnie prędkości wiatru na rozpatrywanych wysokościach
Table 1. Mean wind velocity on the considered heights

Lp.	h [m]	v_{sr} [m/s]
1	6	4,39
2	12	4,94
3	50	7,14
4	73	7,88



Rys. 4. Wykres prędkości wiatru na wysokości 50 m
Fig. 4. Wind velocity plot for the height equal 50 m



Rys. 5. Wykres prędkości wiatru na wysokości 73 m
Fig. 5. Wind velocity plot for the height equal 73 m

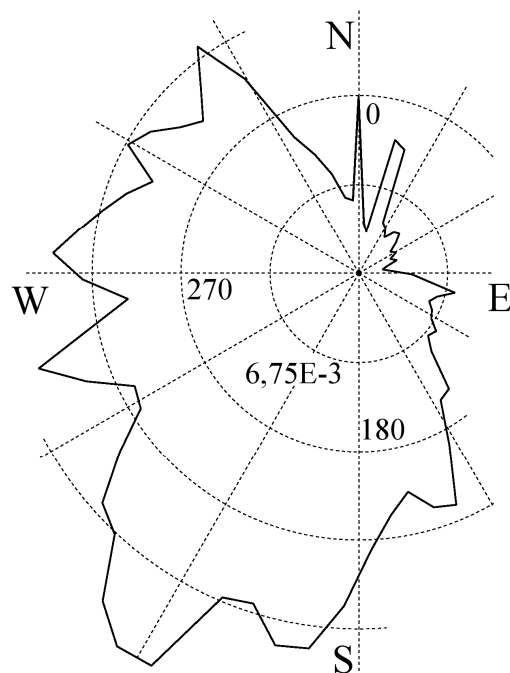
Z analizy danych zamieszczonych w tabeli 1 wynika, że prędkość wiatru znacząco rośnie ze wzrostem wysokości. W warunkach krajowych [4], teren przydatny do wykorzystania energii wiatru powinien mieć średnią roczną prędkość wiatru na wysokości 70 m powyżej 6,0 m/s. Pomimo dostępności danych pomiarowych jedynie z 3 miesięcy należy przypuszczać, że rozpatrywana lokalizacja spełni ten warunek.

Szorstkość n obliczono korzystając z wartości średniej wykładnika p wg metody podanej w [5]:

$$n = \frac{\sqrt{h_1 h_2}}{e^p} \quad (2)$$

Otrzymano $n = 0,175$ m, co odpowiada terenowi rolniczemu z populacją ludności o średniej liczebności.

Rysunek 6 przedstawia wykres częstości wiatru pochodzącego z danego kierunku (różę wiatrów), przy czym zastosowano przedziały pięciostopniowe. Pierwszy, licząc od środka, okrąg skali tego wykresu odpowiada częstości równej $6,75 \cdot 10^{-3}$. Można zauważyć, iż przeważają wiatry z kierunków: zachód, południowy zachód, południe. Jednak do ustalenia rozmieszczenia turbin w terenie konieczne jest uwzględnienie oprócz kierunku wiatru również jego prędkości. Dane te znajdują się w fazie opracowania.



Rys. 6. Róża wiatrów dla wysokości 12 m
Fig. 6. Wind rose for the height equal 12 m

Dane pomiarowe pozwoliły na obliczenie użytecznej energii wiatru E_u [kWh/m²] w analizowanym okresie czasu (ekstrapolacja dla 3 miesięcy) dla rozpatrywanych wysokości (tab. 2). Do obliczeń przyjęto zakres prędkości wiatru od 3 do 25 m/s. Najbardziej korzystnym rozwiązaniem pod względem wykorzystania energii wiatru jest zastosowanie możliwie wysokich wież turbin wiatrowych. Ze względu na koszt urządzeń

i konieczność spełnienia pewnych warunków z punktu widzenia bezpieczeństwa ruchu lotniczego [6], wysokość 73 m wydaje się być rozwiązaniem optymalnym.

Tabela 2. Użyteczna energia wiatru na rozpatrywanych wysokościach

Table 2. Useful wind energy on the considered heights

Lp.	h [m]	E_u [kWh/m ²]
1	6	221,7
2	12	298,6
3	50	891,5
4	73	1163,3

Celem oszacowania przychodów, jakie mogłyby być osiągnięte, jeżeli farma wiatrowa zostałaby uruchomiona z dniem 1.12.2007 r. obliczono wartości energii elektrycznej E [kWh] która mogłaby być wyprodukowana w okresie 1.12.2007 – 29.02.2008 r. (tab. 3).

Tabela 3. Przewidywana ilość energii elektrycznej wyprodukowanej przez turbinę w okresie 1.12.2007 – 29.02.2008 r.

Table 2. Predicted electrical energy produced by wind turbine between 1.12.2007 and 29.02.2008

Lp.	Typ, moc turbiny	E [kWh]
1	Enercon E-33, 330 kW, $h = 50$ m	239505
2	Enercon E-53, 800 kW, $h = 73$ m	694899

Turbina o mocy 800 kW umieszczona na wysokości 73 m wyprodukowałaby ok. 3 razy więcej energii elektrycznej w analizowanym okresie czasu niż turbina o mocy 330 kW na wysokości 50 m. Przyjmując łączny przychód jednostkowy 0,30 PLN za 1 kWh ze sprzedaży energii i świadectw jej pochodzenia [6], w rozpatrywanym okresie turbina wiatrowa o mocy 330 kW zapewniłaby przychód 71851,50 PLN, a turbina o mocy 800 kW – 208469,70 PLN. Przybliżony koszt elektrowni wiatrowej to ok. $6 \div 7$ mln PLN za 1 MW mocy znamionowej.

4. PODSUMOWANIE

Wysokie koszty inwestycyjne w zakresie budowy elektrowni wiatrowych wymuszają wykonanie dokładnej i rzetelnej oceny warunków wiatrowych w planowanej lokalizacji. Jedną z dróg tej oceny jest badanie zasobów energii wiatrowej drogą pomiarów terenowych. Roczne pomiary meteorologiczne pozwalają na ocenę zasobów energii wiatru z błędem 5 – 15% [7]. Taka ocena dla przedmiotowej lokalizacji będzie możliwa już w grudniu 2008 r.

5. LITERATURA

[1] Łakoma A.; Dwa miliardy na elektrownie wiatrowe, Rzeczpospolita, 6.12.2007 r.,

- [2] Petersen E. L., Mortensen L. G., Landberg L.; Wind Power Meteorology, Riso National Laboratory, 1997 (www.risoe.dk),
- [3] <http://www.imgw.pl/wl/internet/zz/dziala/oferta.html>, dostęp 3.04.08 r.,
- [4] Latko A., Latko A.; Analiza warunków wiatrowych dla potrzeb Energetycznych, <http://windhunter.com/literatura.html>, dostęp: 3.04.08 r.,
- [5] Quaschnig V.; Understanding renewable energy systems, Earthscan, 2005,
- [6] Czekalski D., Korpysz H., Roszkowski H., Świerczyński D., Korupczyński R., Obstawski P., Rozbicki T.; Ekspertyza: Perspektywy produkcji energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych w Rolniczych Zakładach Doświadczalnych SGGW, 2007 r.
- [7] Bechrakis D.A., Deane J.P., McKeogh E.J.; Wind resource assessment of an area using short term data correlated to a long term data set, Solar Energy 76 (2004).

**RESEARCHING ON THE WIND ENERGY RESOURCES AT THE TERRITORY
OF AGRICULTURAL EXPERIMENTAL INSTITUTE OF WARSAW
UNIVERSITY OF LIFE SCIENCES AT ZELAZNA**

SUMMARY

In the paper a estimation results of wind energy resources at Zelazna in Poland was presented. This place lays on the field of Agricultural Experimental Institute of Warsaw University of Life Sciences. The estimation was based on a meteorological measurements, which was done by especially constructed measuring station.



Dariusz CZEKALSKI, dr inż.,
Paweł OBSTAWSKI, dr inż.,
Rafał KORUPCZYŃSKI, dr inż.

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

IDENTYFIKACJA DETERMINANTÓW WYDAJNOŚCI INSTALACJI TUBOWYCH KOLEKTORÓW PRÓŻNIOWYCH

STRESZCZENIE

W referacie zaprezentowano wyniki wieloletnich badań wydajności słonecznej instalacji tubowych kolektorów próżniowych wbudowanej w system hybrydowy. Analizowano wpływ wymuszeń meteorologicznych i eksploatacyjnych na sprawność instalacji.

1. WPROWADZENIE

Instalacje słoneczne weszły w ostatnich latach do standardu oferty handlowej firm z branży techniki grzewczej. Płaskie, jak też tubowe, kolektory słoneczne umieszczane na dachach domów jednorodzinnych, bloków mieszkalnych, obiektów rekreacyjnych czy też budynków użyteczności publicznej stają się trwałym elementem architektury. W naszej strefie klimatycznej system grzewczy oparty wyłącznie na kolektorach słonecznych byłby niewystarczający do pełnego pokrycia zapotrzebowania na energię potrzebną na przykład do przygotowania ciepłej wody użytkowej. Niedobór energii występuje głównie zimą, dlatego konieczne jest, aby instalacja solarna połączona była z innym źródłem ciepła. W ten sposób powstaje elementarny hybrydowy system zasilania energetycznego. Wydajność słonecznych instalacji grzewczych osiągnięta w warunkach eksploatacyjnych często odbiega od projektowanej i reklamowanej przez producentów bądź instalatorów [1, 2], tym bardziej, że w rozbudowanych systemach hybrydowych kolektory mogą pracować w nietypowych

warunkach termicznych. Zatem potrzebne są nadal badania zmierzające do ustalenia, które czynniki klimatyczne oraz eksploatacyjne i w jakim stopniu wpływają na wydajność kolektorów słonecznych pracujących w systemach przygotowania ciepłej wody użytkowej.

2. OBIEKT I METODA POMIARÓW

Obiektem badań była instalacja kolektorów tubowych próżniowych *VITOSOL 300* (rys. 1) złożona z 60 tub o łącznej powierzchni absorbującej wynoszącej 6 m^2 . Kolektory zostały umieszczone na dachu budynku gospodarczego o wystawie zachodnio-południowej i kącie nachylenia 40° . Płytki absorberów zostały obrócone kątem 45° wokół osi tub tak aby uzyskać poprawę wystawy w kierunku południowym i tym samym zwiększyć dopływ energii promieniowania słonecznego bezpośredniego. Czynnikiem pośredniczącym z wewnętrznego wymiennika jednostki absorbującej kierowany jest do węzownicy wymiennika umieszczonego w zasobniku o objętości 300 dm^3 . Zbiornik ten wraz z szeregowo połączonym głównym zbiornikiem o objętości 1000 dm^3 (rys. 2) stanowi magazyn ciepłej wody dla hotelu o zapotrzebowaniu do 3000 dm^3 na dobę. W systemie tym podstawowym urządzeniem grzewczym jest sprężarkowa pompa ciepła, która gwarantuje w zbiornikach temperaturę na poziomie 50°C . Zatem specyfika eksploatacji kolektorach próżniowych w tym układzie polega na tym, że zasilają energią zbiornik, w którym temperatura zależnie od warunków nasłonecznienia i przebiegu rozbioru ciepłej wody waha się w granicach $50 \div 90^\circ\text{C}$ [3].



Rys. 1. Sekcja tubowych kolektorów próżniowych
Fig. 1. Section of tubular vacuum solar collectors

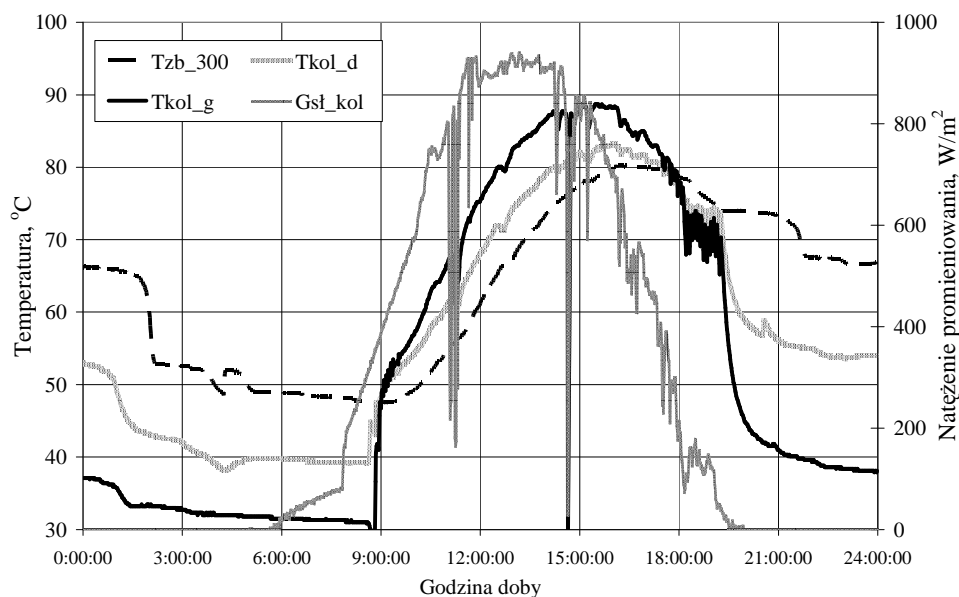
Instalację wyposażono w czujniki pomiarowe niezbędne do wyznaczania jej wydajności w określonych warunkach pracy. W celu wyznaczenia strumienia ciepła dostarczanego z kolektorów do wymiennika wbudowanego w zbiornik, na wlocie i wylocie węzownicy umieszczono scalone czujników temperatury typu *LM335*. W tym węźle pomiarowym pomiar przepływu czynnika wykonuje się za pomocą zainstalowanego w rurociągu wodomierza *JS 2,5* z impulsatorem (1 impuls na $2,5 \text{ dm}^3$). Temperatura panująca w zbiorniku mierzona jest na jego środkowej wysokości, a czujnik wprowadzono na głębokość ok. 0,2 m w fabrycznym sztyfcie. Do pomiarów natężenia promieniowania słonecznego na płaszczyźnie kolektorów zastosowano pyranometr *CM3* umieszczony na konstrukcji dachu. Mierzona jest także temperatura powietrza na wysokości 1,5 m. Rejestrowany jest przebieg rozbioru ciepłej wody z wykorzystaniem wodomierza *JS 2,5* z impulsatorem. Każdy z czujników został wyposażony w przewód odpowiedniej długości łączący go z listwą zaciskową. Wszystkie czujniki z przewodami zostały wykalibrowane w jednakowej temperaturze. Rejestracje wszystkich sygnałów przeprowadza się na stanowisku monitoringu wyposażonym w komputer klasy *Pentium III*. W komputerze zainstalowano modem, kartę sieciową oraz analogowo-cyfrowe karty pomiarowe *PCL 818* i *836* posiadające wejścia analogowe i licznikowe. Obsługę kart prowadzi się przy pomocy oprogramowania zalecanego przez producenta z własnymi modyfikacjami. Parametry tego zestawu pozwalają na rejestrację, wizualizację i przetwarzanie danych z częstotliwością 1 minuty. O godzinie 24 archiwizowane są pliki dobowe i w ten sposób powstaje podstawowa baza danych, złożona obecnie z kilkuset dni.



Rys. 2. Zbiorniki akumulacyjne systemu o pojemności 300 i 1000 dm^3
 Fig. 2. Accumulation tanks of capacity 300 and 1000 dm^3

3. PRZYKŁADOWY ZAPIS DOBOWYCH POMIARÓW

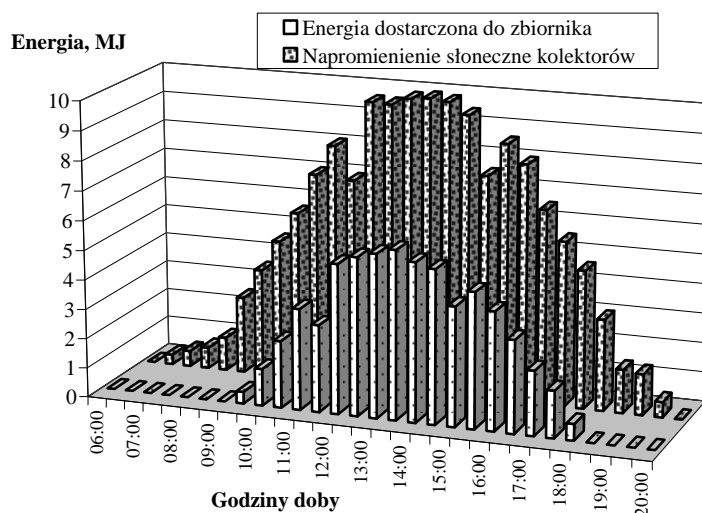
Na rysunku 3 pokazano zmiany wartości chwilowych parametrów ilustrujących przebieg pozyskiwania energii przez badaną instalację kolektorów próżniowych. Jako reprezentatywny dla bazy danych wybrano dzień 31 maja 2003 roku. W tym dniu napromienienie słoneczne kolektorów chmury zakłócały sporadycznie. W godzinach około południa słonecznego natężenie przekraczało 900 W/m^2 , a suma dobową osiągnęła $6,84 \text{ kWh/m}^2$. Temperatura w zbiorniku o godzinie 9.00, czyli w momencie uruchomienia obiegu kolektory – wymiennik wynosiła $47,6^\circ\text{C}$. Następnie wzrastała stopniowo dochodząc do 80°C ok. godziny 16.00 i na tym poziomie utrzymywała się do 17.50, kiedy to pompa obiegowa zatrzymała się. W kolejnych godzinach wskutek rozbioru ciepłej wody oraz działania cyrkulacji wewnętrznej temperatura w zbiorniku spadała. Opóźnienie związane z bezwładnością konwersji, transportu i akumulacji energii w tym układzie powoduje, że maksymalna temperatura w zbiorniku występuje ok. 3,5 godziny po szczycie napromieniania płaszczyzny kolektorów. Na przebieg nagrzewania wody w zbiorniku na pewno wpływa wielkość rozbioru ciepłej wody, jednak w badanym obiekcie harmonogram rozbioru charakteryzuje się wyraźnym szczytem wieczornym i bardzo intensywnym porannym, a zatem na godziny aktywnego pozyskiwania energii słonecznej przypada stosunkowo niewielkie zapotrzebowanie. W omawianym dniu zapotrzebowanie było typowe dla obiektu i wyniosło $862,5 \text{ dm}^3$, a z tego na godziny od 9.00 do 17.50 przypadło 450 dm^3 . Uwzględniając gradient temperatur, ciepło właściwe oraz przepływ czynnika doprowadzanego do wymiennika węzownicowego, wyznaczono dla okresów 30 minutowych porcje energii zasilającej zbiornik.



Rys. 3. Rozkład temperatur w instalacji na tle warunków słonecznych

Fig. 3. Schedule of temperatures in installation on background of sunny conditions

Przebieg gromadzenia energii na tle sum napromienienia słonecznego kolektorów przedstawia rysunek 4. Kolektory próżniowe działające na zasadzie *heat pipe* charakteryzują się szybką reakcją na zmiany napromienienia ich powierzchni. Obserwacja strumieni energii w godzinach 11.00-11.30 oraz 14.30-15.00 potwierdza tę ocenę. Od godziny 11.30 do 15.30 sprawność konwersji energii słonecznej przez instalację przekraczała 50% osiągając 57,2% pomiędzy 13.00, a 13.30. Bilans całodniowy to 62,54 MJ energii przekazanych do zbiornika, przy sumie napromieniowania kolektorów 147,74 MJ, co oznacza sprawność dla całego dnia 42,33 %.



Rys. 4. Rozkład strumieni energii w instalacji słonecznej

Fig. 4. Energy flux distribution in solar installation

4. DETERMINANTY WYDAJNOŚCI BADANEJ INSTALACJI

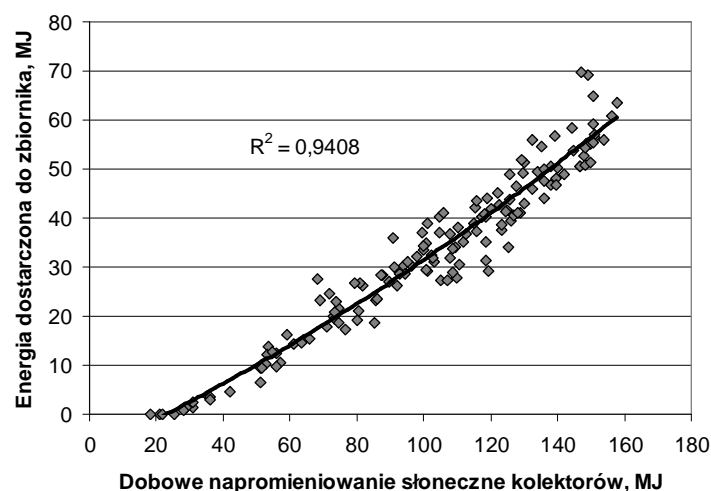
Wydajność instalacji słonecznej zależy od wymuszeń, które należą do dwóch grup:

- przebieg zmienności warunków atmosferycznych – napromieniowania słonecznego kolektorów; temperatury powietrza; prędkości wiatru,
- przebieg rozbioru ciepłej wody – jako wymuszenie wpływające na temperaturę początkową w zbiorniku akumulacyjnym oraz ograniczające wzrost temperatury podczas zasilania zbiornika energią słoneczną.

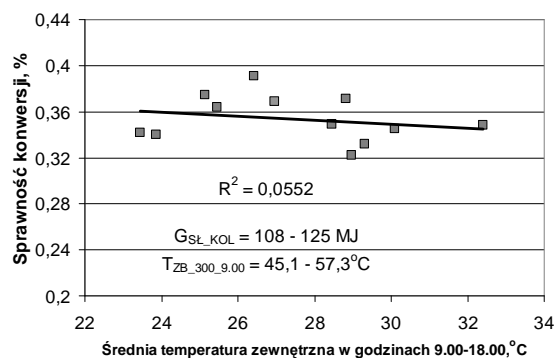
W dalszych rozważaniach przyjęto zasadę, że każdy z wymienionych czynników ma być reprezentowany przez jedną wartość dla danego dnia. Bez wątpienia największy wpływ na wydajność instalacji słonecznej ma napromieniowanie słoneczne kolektorów, a jako reprezentant tego determinanta nasuwa się oczywiście dzienna suma promieniowania. Jest to zmienna losowa niezależna o rozkładzie normalnym prawoskośnym. Ponieważ na sprawność konwersji promieniowania słonecznego w kolektorach istotny wpływ ma kąt padania promieniowania bezpośredniego, toteż aby nie wprowadzać dodatkowej zmiennej do zestawu wymuszeń, do analiz wybrano z bazy danych dni z okresu

od 5 maja do 9 sierpnia. Trajektoria ruchu pozornego Słońca w tym okresie zmienia się nieznacznie. Drugim znaczącym wymuszeniem atmosferycznym jest zewnętrzna temperatura powietrza. Mając na uwadze godziny pozyskiwania energii słonecznej, parametrem bardziej adekwatnym od średniej dobowej jest średnia temperatura z okresu potencjalnej aktywnej pracy instalacji czyli z godzin 9.00 – 18.00. Trzeba zaznaczyć, że temperatura powietrza atmosferycznego nie jest zmienną niezależną i wykazywać będzie istotną korelację z sumą promieniowania słonecznego. Prędkość wiatru zostanie pominięta w dalszych analizach, jako wymuszenie o mało istotnym wpływie na wymianę ciepła w kolektorach tubowych próżniowych.

Wstępne rozpoznanie wagi dziennego napromienienia jako determinanta wydajności badanej instalacji polegało na zbudowaniu jednowymiarowego modelu regresji wielomianowej. Baza danych obejmowała ponad 200 zestawów wartości. Rysunek 5 pokazuje zależność wydajności dobowej instalacji wyrażanej w MJ od dobowego napromienienia kolektorów. Wartość współczynnika determinacji wynosząca 0,9487 wskazuje na bardzo silny związek analizowanych wielkości – prawie pełną ich korelację. Należy się spodziewać, że pozostałe wymuszenia w zakresie ich zmienności typowej dla badanego obiektu w niewielkim stopniu decydują o wydajności instalacji. Wstępnej ocenie poddano także wpływ temperatury powietrza atmosferycznego na sprawność dobową sekcji kolektorów. Aby ustabilizować wartość głównego determinanta wydajności kolektorów wybrano z bazy danych tylko te dni gdy suma napromienienia mieściła się w granicach 108-125 MJ na dobę. Uzyskany obraz w układzie współrzędnych sprawność konwersji – średnia temperatura zewnętrzna (rys. 6) wskazuje na słabą korelację pomiędzy tymi zmiennymi. Zawężanie zakresu wartości pozostałych zmiennych potwierdzał ten wniosek.

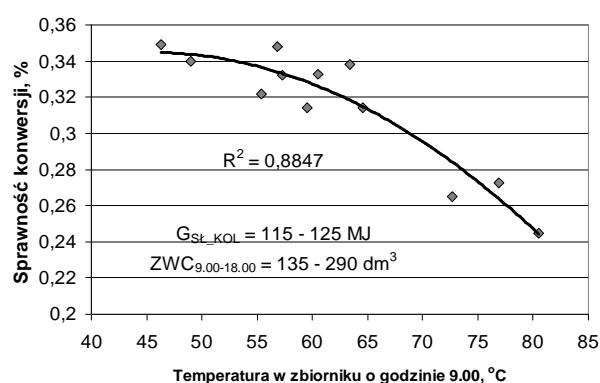


Rys. 5. Zależność wydajności instalacji słonecznej od napromieniania kolektorów
 Fig. 5. Relationship between daily solar irradiance and performance of solar installation



Rys. 6. Zależność sprawności instalacji słonecznej od temperatury otoczenia
 Fig. 6. Relationship between ambient temperature and efficiency of solar installation

Druga grupa wymuszeń wynika z obciążenia systemu, czyli wielkości i harmonogramu rozbioru ciepłej wody. Parametrem charakterystycznym dla każdego dnia jest temperatura początkowa w zbiorniku akumulacyjnym, która wprawdzie zależy bezpośrednio od sumy napromienienia kolektorów i wielkości rozbioru, ale obserwowanych dnia poprzedniego. Dla dnia bieżącego temperatura początkowa zbiornika jest parametrem niezależnym od innych wielkości dobowych. Rysunek 7 przedstawia sprawność dobową instalacji w funkcji temperatury zbiornika notowanej o godzinie 9.00. Z bazy danych wybrano dni z sumami napromienienia kolektorów ograniczonymi do zakresu 115-125 MJ na dobę i z rozbiorem ciepłej wody w godzinach 9.00 – 18.00 z zakresu 135-290 dm³. Natomiast badane temperatury występowały w przedziale 45,1-82,1°C. Nawet przy niewielkiej liczbie tak przygotowanej próbki, można stwierdzić istotny wpływ temperatury początkowej w zbiorniku na sprawność konwersji. Wyższe temperatury w zbiorniku skutkują oczywiście wyższymi temperaturami medium w kolektorach, a to oznacza spadek sprawności konwersji energii promieniowania słonecznego.



Rys. 7. Zależność sprawności instalacji słonecznej od początkowej temperatury zbiornika
 Fig. 7. Relationship between initial tank temperature and efficiency of solar installation

Wstępnej ocenie znaczenia poszczególnych wymuszeń poddano także wielkość rozbioru ciepłej wody. Przyjęto za reprezentatywny dla tego parametru sumaryczny rozbiór przypadający danego dnia na potencjalny okres aktywnej pracy kolektorów, czyli na godziny 9.00 ÷ 18.00. I tym razem zawężono zakres zmienności pozostałych głównych wymuszeń. Rozbiór wody w okresie aktywnej pracy kolektorów przyjmował wartości od 138 do 1480 dm³. Zależność pomiędzy rozbiorem ciepłej wody, a sprawnością instalacji słonecznej charakteryzuje się niewielką korelacją. Wynika to zapewne z tłumiącego efektu wywołwanego przez cyrkulację wewnętrzną włączaną w godzinach 12.00 – 15.00. Analogiczne analizy prowadzone dla okresu gdy cyrkulacja wewnętrzna funkcjonowała przez całą dobę wykazywały brak związku pomiędzy rozbiorami ciepłej wody, a sprawnością konwersji.

5. PODSUMOWANIE

W badanym systemie instalacja tubowych kolektorów słonecznych próżniowych pracuje w warunkach podwyższonych względem standardu temperatur w zbiorniku akumulacyjnym. Inną znaczącą cechą eksploatacji systemu jest włączana okresowo w ciągu doby cyrkulacja wewnętrzna w obiegu ciepłej wody użytkowej. Kilkuletnie badania wykazały, że w powyższych warunkach o wydajności i sprawności instalacji słonecznej danego dnia niemal wyłącznie decyduje suma promieniowania padającego na płaszczyznę absorbującą. Istotne znaczenie ma jeszcze temperatura początkowa w zbiorniku akumulacyjnym. Natomiast nie stwierdzono wpływu takich parametrów jak temperatura zewnętrzna czy też intensywność rozbioru ciepłej wody (w zakresie obserwowanym podczas eksploatacji). Informacje o determinantach wydajności instalacji słonecznej w warunkach eksploatacyjnych mogą być pomocne przy projektowaniu układu sterowania i prognozowaniu efektów pracy systemów słonecznych.

6. LITERATURA

- [1] Czekalski D., Obstawski P.: Wydajność słonecznych systemów grzewczych w domach jednorodzinnych w świetle badań eksploatacyjnych. Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja nr 1, 2008, str. 15-19.
- [2] Czekalski D., Obstawski P.: Wydajność słonecznych systemów grzewczych wielkoskalowych w świetle badań eksploatacyjnych. Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja nr 3, 2008, str. 21-24.
- [3] Chochowski A., Czekalski D., Mirski T.: System przygotowania ciepłej wody zasilany energią odnawialną. INSTAL nr 10, 2001, str. 50-53.

IDENTIFICATION OF DETERMINANTS OF TUBULAR VACUUM SOLAR COLLECTORS INSTALLATION EFFICIENCY

SUMMARY

The results of several years' investigations on subject of tubular vacuum solar collectors installation efficiency in report were presented. The dependence of installation efficiency from meteorological and exploational conditions was defined.

II Konferencja SOLINA 2008
ENERGIA ODNAWIALNA
Innowacyjne Rozwiązania
Materiały i Technologie dla Budownictwa



Bernardeta DEBSKA, mgr inż.

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

Anna ŻMIHORSKA-GOTFRYD, dr

Politechnika Rzeszowska
Zakład Technologii Tworzyw Sztucznych
ul. Wincentego Pola 2, 35-959 Rzeszów
e-mail: anzmigot@prz.edu.pl

**ANALIZA PORÓWNAWCZA WŁAŚCIWOŚCI ZAPRAW NA
PODSTAWIE NIENASYCONYCH ŻYWIC POLIESTROWYCH
I EPOKSYDOWYCH MODYFIKOWANYCH RECYKLATEM PET**

STRESZCZENIE

W pracy opisano sposób otrzymywania i wybrane właściwości żywicznych zapraw poliestrowych modyfikowanych recyklatem PET. Dodatek modyfikatora spowodował poprawę wybranych właściwości zapraw. Porównano rezultaty przeprowadzonych badań dla zapraw poliestrowych i epoksydowych.

1. WPROWADZENIE

Cykl badań nad możliwością wykorzystania recyklatu PET jako modyfikatora żywic do zapraw polimerowych został podzielony na dwa etapy.

Etap pierwszy obejmował otrzymanie zapraw na podstawie żywicy epoksydowej Epidian 5 i zbadanie ich wybranych właściwości. Wykorzystanie hydrolizatu PET do modyfikacji zapraw epoksydowych stanowi swego rodzaju novum. Wyniki przeprowadzonych badań opisano w publikacji pod tytułem „Wpływ recyklatu PET na wybrane właściwości zapraw na podstawie żywic epoksydowych” załączonej do niniejszej

monografii. Uzyskane rezultaty były na tyle obiecujące, że podjęta została próba przeprowadzenia analogicznych badań dla zapraw na podstawie nienasyconej żywicy poliestrowej Polimal 103.

W literaturze [1 - 4] spotkać można stosunkowo dużo doniesień na temat modyfikacji i zastosowania nienasyconych żywic poliestrowych do otrzymywania zapraw. Podjęto próbę sprawdzenia, czy zastosowanie recyklatu PET do modyfikacji nienasyconych żywic poliestrowych daje wyniki porównywalne do uzyskanych dla wybranej wcześniej żywicy epoksydowej, czy podobny eksperyment dla UP wykaże podobny wpływ recyklatu PET na otrzymane zaprawy.

2. PLAN EKSPERYMENTU

2.1. Użyte surowce i skład kompozycji

Skład zaprawy poliestrowej I modyfikowanej produktem degradacji PET

- nienasycona żywica poliestrowa Polimal 103 – 20% całej kompozycji
- hydrolizat poli(tereftalanu etyleny) (PET) – 0%, 5%, 10% lub 15% wag w stosunku do ilości żywicy
- utwardzacz K-1 – 2% wag w stosunku do żywicy
- przyspieszacz Co 1% - 0,4% wag w stosunku do żywicy
- piasek normowy – 80% całej kompozycji

Skład zaprawy poliestrowej II modyfikowanej produktem degradacji PET

- nienasycona żywica poliestrowa Polimal 103 - 20% całej kompozycji
- hydrolizat poli(tereftalanu etyleny) (PET) - 0%, 5%, 10% lub 15% wag w stosunku do ilości żywicy
- utwardzacz K-1 - 2% wag w stosunku do żywicy
- przyspieszacz Co 1% - 0,4% wag w stosunku do żywicy
- krzemionka koloidalna HDK H 20 – 1% wag w stosunku do ilości żywicy
- piasek normowy - 80% całej kompozycji

2.2. Przygotowanie próbek

Kompozycje poliestrowe modyfikowane hydrolizatem PET otrzymano na podstawie żywicy Polimal 103. Odważone na wadze technicznej z dokładnością ± 1 g komponenty mieszano 10 min. Następnie rozdzielano na 2 części – do jednej dodawano odpowiednią ilość utwardzacza K-1, do drugiej wymaganą ilość przyspieszacza. Obie części spoiwa poliestrowego umieszczano w pojemniku mieszarki laboratoryjnej, dodawano kruszywo i mieszano. Przygotowując zaprawy zachowano jednakowy czas mieszania i jednakowe obroty mieszarki. Gotową zaprawę umieszczono w formach stalowych o wymiarach 40x40x160 mm. Sporządzono też próbki do badania nasiąkliwości i odporności chemicznej. Tak przygotowane próbki pozostawiono do sezonowania przez 7 dni w temperaturze pokojowej.

2.3. Opis przeprowadzonych badań

Dla utwardzonych zapraw poliestrowych wykonano następujące oznaczenia wytrzymałości mechanicznej:

- **Wytrzymałość na zginanie R_z**

Badanie przeprowadzono zgodnie z normą PN-B-04500: 1985. Uzyskane wyniki zamieszczono na rysunku 1.

- **Wytrzymałość na ściskanie R_s**

Badanie przeprowadzono zgodnie z normą PN-B-04500: 1985. Uzyskane wyniki zamieszczono na rysunku 2.

- **Twardość wg Brinell'a HK**

Do oznaczenia twardości wykorzystano twardościomierz Brinell'a. Badanie przeprowadzono zgodnie z normą PN-EN ISO 2039-1: 2003. Uzyskane wyniki zamieszczono na rysunku 3.

Określenie nasiąkliwości w wodzie n_m otrzymanych zapraw

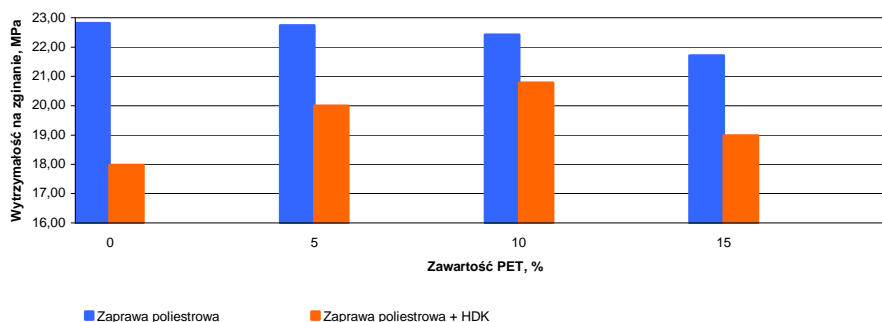
Nasiąkliwość badano przez 7 dni w temperaturze 23 ± 1 °C wg PN-EN 206-1: 2003. Uzyskane wyniki zamieszczono na rysunkach 4-6.

Oznaczenie odporności otrzymanych zapraw na wybrane media agresywne

Próbki zapraw przez 14 dni poddano ekspozycji w następujących mediach agresywnych: kwas azotowy 10%, kwas siarkowy 10%, kwas solny 10%, chlorek sodu 10%, wodorotlenek amonu 10%, wodorotlenek sodu 1%.

Badanie przeprowadzono zgodnie z normą: PN-EN ISO 175: 2002. Uzyskane wyniki zamieszczono na rysunkach 7-12.

2.4. Analiza wyników



Rys.1. Zależność wytrzymałości na zginanie zapraw poliestrowych od procentowej zawartości modyfikatora

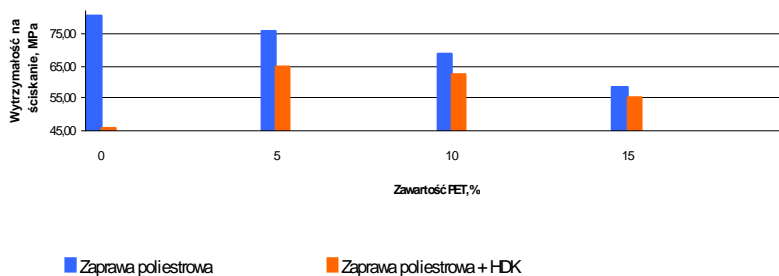
Fig.1. Flexural strength of polyester mortars depending on modifier content

Wytrzymałość na zginanie modyfikowanych zapraw poliestrowych przedstawiono na rys.1. W przypadku zapraw poliestrowych wraz ze wzrostem ilości modyfikatora w zaprawie obserwuje się nieznaczny spadek wytrzymałości na zginanie. Jest to sytuacja odwrotna niż dla zapraw epoksydowych opisanych w [5].

W kompozycjach poliestrowych z dodatkiem krzemionki koloidalnej następuje wzrost wytrzymałości na zginanie wraz ze wzrostem ilości modyfikatora w porównaniu z kompozycją niemodyfikowaną. Przy 5 i 10% zawartości modyfikatora ten wzrost jest większy, przy 15% nieco mniejszy.

Zarówno dla modyfikowanych zapraw poliestrowych, jak i modyfikowanych zapraw poliestrowych z dodatkiem krzemionki, otrzymane wyniki wytrzymałości na zginanie są dużo niższe niż dla modyfikowanych zapraw epoksydowych opisanych w [5].

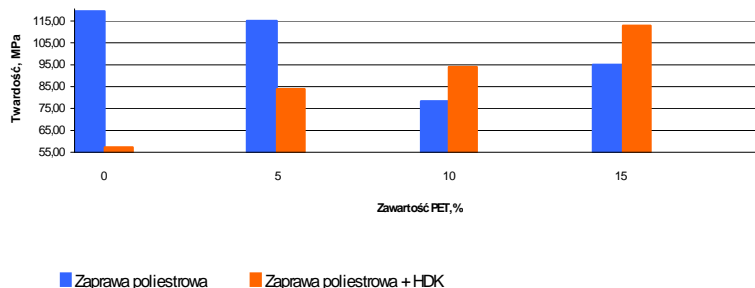
Optymalna wartość tej wytrzymałości dla zapraw poliestrowych z dodatkiem modyfikatora wynosi 22,7 MPa, podczas gdy dla zapraw epoksydowych z dodatkiem PET - 36,7 MPa.



Rys.2. Zależność wytrzymałości na ściskanie zapraw poliestrowych od procentowej zawartości modyfikatora

Fig.2. Compression strength of polyester mortars depending on modifier content

Zależność wytrzymałości na ściskanie od zawartości modyfikatora (rys.2) kształtuje się analogicznie jak dla wytrzymałości na zginanie. Występuje tutaj także znaczna różnica między wynikami dla modyfikowanych zapraw poliestrowych (maksymalna wartość to 76 MPa) i modyfikowanych zapraw epoksydowych przedstawionych w [5] (wartość optymalna – 98,6 MPa).



Rys.3. Zależność twardości zapraw poliestrowych od procentowej zawartości modyfikatora

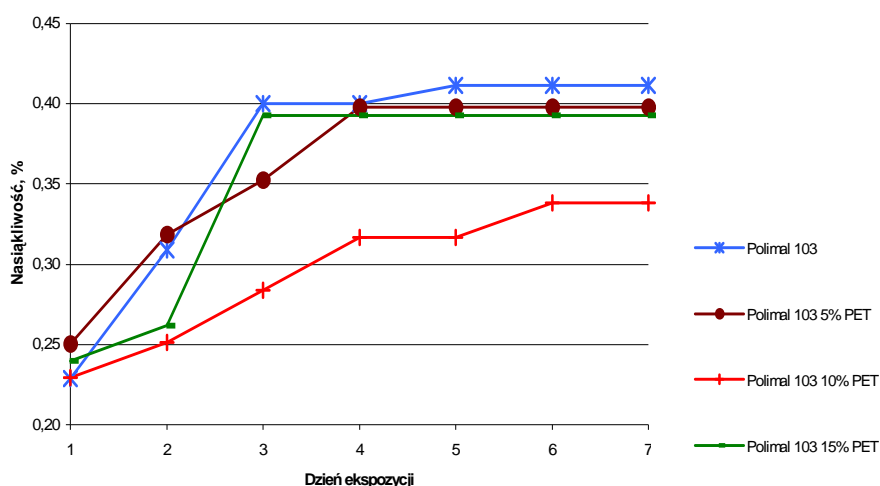
Fig.3. Hardness of polyester mortars depending on modifier content

Zbadano również wpływ dodatku hydrolizatu PET na twardość zapraw poliestrowych. Twardość modyfikowanej zaprawy poliestrowej maleje wraz ze wzrostem zawartości modyfikatora. Jest to sytuacja odwrotna niż w przypadku modyfikowanych zapraw epoksydowych [5]. Różnica między wartościami optymalnymi (114,9 MPa dla zaprawy opartej na żywicy poliestrowej i 183,6 MPa dla zaprawy na podstawie żywicy epoksydowej) jest znaczna i wynosi 68,7 MPa. Różnice w odmiennym zachowaniu modyfikowanych zapraw epoksydowych i poliestrowych można tłumaczyć różnym charakterem sposobu modyfikacji obu kompozycji.

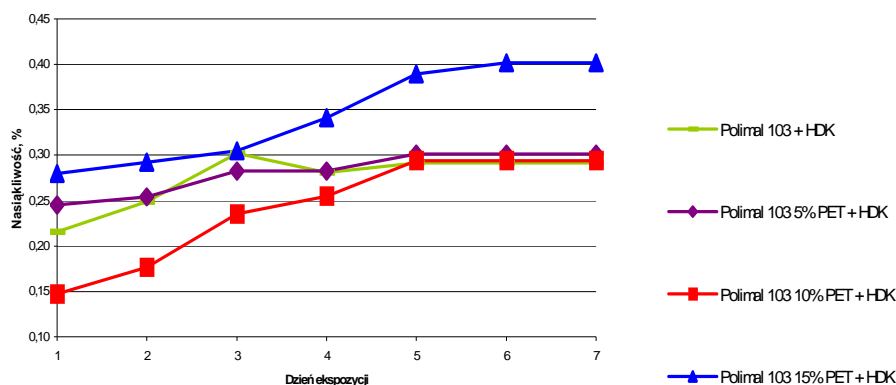
W przypadku kompozycji epoksydowej, żywicę epoksydową i modyfikator wygrzewano w temp. 80 °C w ciągu 1 h. Następową reakcją między grupą epoksydową a grupą hydroksylową hydrolizatu PET. Nienasycona żywica poliestrowa nie była wraz z hydrolizatem PET wygrzewana. PET pełni więc tutaj rolę wyłącznie plastyfikatora fizycznego.

Analizując wyniki przedstawione na rys.3, dla modyfikowanej zaprawy poliestrowej z dodatkiem krzemionki obserwuje się wzrost twardości wraz ze wzrostem zawartości PET w porównaniu do zaprawy niemodyfikowanej. Wartość optymalną osiągnięto dla próbki z zawartością PET równą 15%. Wynosi ona 112,8 MPa i jest niższa od wartości optymalnych osiągniętych dla modyfikowanych zapraw poliestrowych, jak i epoksydowych.

Badano również nasiąkliwość wodą dla otrzymanych kompozycji. Analizując przedstawione na rys.5 wyniki, zauważa się, że nasiąkliwość jest stosunkowo niewielka, wzrasta w ciągu pierwszych 3-4 dni a następnie nie ulega zmianie.



Rys.4. Nasiąkliwość wodą próbek zapraw poliestrowych
Fig.4. Water absorbability for polyester mortars specimens



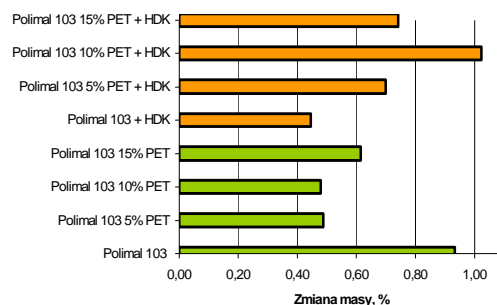
Rys.5. Nasiąkliwość wodą próbek zapraw poliestrowych
 Fig.5. Water absorbability for polyester mortars specimens with HDK

Dla zapraw na podstawie żywicy Polimal 103 dodatek PET powodował obniżenie nasiąkliwości (rys.4) w stosunku do zapraw bez modyfikatora.

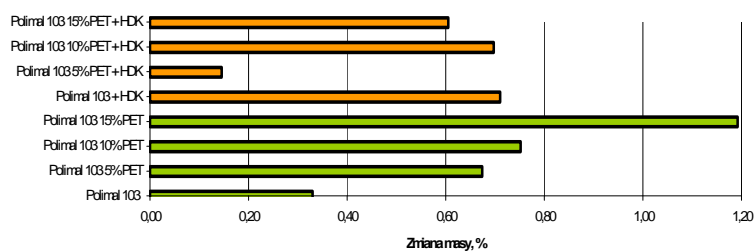
Dodatek krzemionki do zapraw opartych na żywicy Polimal 103 powodował obniżenie nasiąkliwości dla próbek z 10% zawartością PET, a wzrost nasiąkliwości dla próbek z zawartością modyfikatora równą 15% (rys.5). Krzemionka może działać tutaj jak mikronapełniacz, który zmniejsza porowatość zaprawy a tym samym chłonność wody.

Analogiczne badanie przeprowadzone dla zapraw epoksydowych z dodatkiem hydrolizatu PET [5], wykazują, że nasiąkliwość wodą dla modyfikowanych zapraw epoksydowych jest dwukrotnie niższa niż dla modyfikowanych zapraw poliestrowych. Zaprawy epoksydowe z dodatkiem modyfikatora równym 10% osiągają najwyższą nasiąkliwość wodą wynoszącą 0,18%, natomiast dla zapraw poliestrowych maksymalna wartość nasiąkliwości to odpowiednio 0,39% dla zapraw bez dodatku krzemionki i 0,4% dla zapraw z HDK.

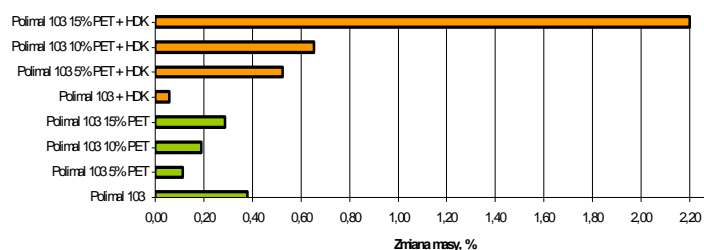
Ostatnim badaniem było określenie odporności chemicznej na wybrane media agresywne. Wartości procentowej zmiany masy dla poszczególnych próbek przedstawiają rys. 6-11. Badanie było przeprowadzone dla 6 różnych mediów agresywnych. Wszystkie próbki wykazały bardzo dobrą odporność chemiczną. Dodatek hydrolizatu PET powodował, że nasiąkliwość próbek nie przekroczyła wartości 2,2%. Najniższe zmiany masy zaobserwowano dla próbek zanurzonych w 10% chlorku sodu (rys.9). Zmiana masy nie przekroczyła tutaj 0,4%. Porównując odporność chemiczną modyfikowanych zapraw epoksydowych [5] i poliestrowych, można zauważyć, że odporność na 10% kwas azotowy, 10% kwas siarkowy i 10% wodorotlenek amonu jest lepsza dla EP. W pozostałych środowiskach korozyjnych zaprawy EP i UP zachowują się porównywalnie.



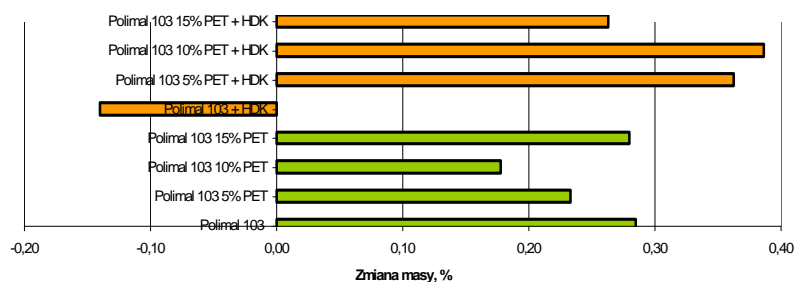
Rys.6. Zmiana masy próbek zapraw po 14 dniach ekspozycji w 10% kwasie azotowym w temperaturze 23 ± 2 °C
 Fig.6. Changes in the mass of mortars specimens after 14 days of exposure in 10% nitric acid in the temperature of 23 ± 2 °C



Rys.7. Zmiana masy próbek zapraw po 14 dniach ekspozycji w 10% kwasie siarkowym w temperaturze 23 ± 2 °C
 Fig.7. Changes in the mass of mortars specimens after 14 days of exposure in 10% sulfuric acid in the temperature 23 ± 2 °C

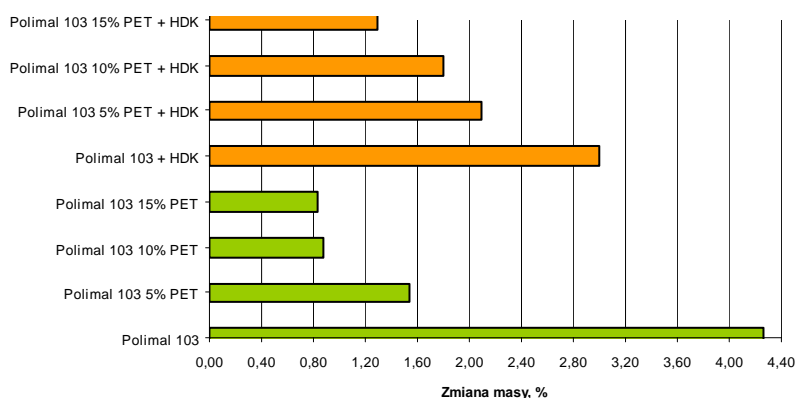


Rys.8. Zmiana masy próbek zapraw po 14 dniach ekspozycji w 10% kwasie solnym w temperaturze 23 ± 2 °C
 Fig.8. Changes in the mass of mortars specimens after 14 days of exposure in 10% hydrochloric acid in the temperature 23 ± 2 °C



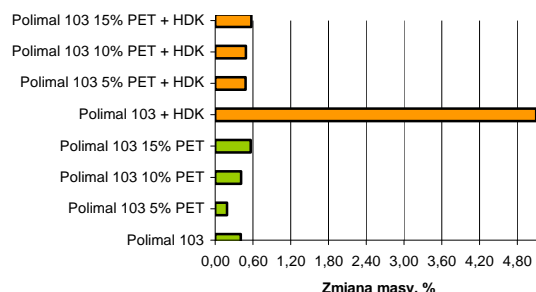
Rys.9. Zmiana masy próbek zapraw po 14 dniach ekspozycji w 10% chlorku sodu w temperaturze $23 \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Fig.9. Changes in the mass of mortars specimens after 14 days of exposure in 10% sodium chloride in the temperature $23 \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$



Rys.10. Zmiana masy próbek zapraw po 14 dniach ekspozycji w 10% wodorotlenku amonu w temperaturze $23 \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Fig.10. Changes in the mass of mortars specimens after 14 days of exposure in 10% ammonium hydroxide in the temperature $23 \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$



Rys.11. Zmiana masy próbek zapraw po 14 dniach ekspozycji w 1% wodorotlenku sodu w temperaturze $23 \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$
 Fig.11. Changes in the mass of mortars specimens after 14 days of exposure in 10% sodium hydroxide in the temperature $23 \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$

3. PODSUMOWANIE

W oparciu o przeprowadzone badania i uzyskane wyniki można stwierdzić:

1. W pracy otrzymano zaprawy polimerowe oparte na modyfikowanej hydrolizatem PET nienasyconej żywicy poliestrowej P103 i standardowym kruszywie.
2. Dla zapraw na podstawie modyfikowanej żywicy P103 obserwuje się spadek wytrzymałości na zginanie i ściskanie oraz twardości wraz ze wzrostem ilości modyfikatora w porównaniu do zapraw z żywicą niemodyfikowaną. Ponadto obserwowano tendencje napełniacza do sedimentacji.
3. Zastosowanie krzemionki koloidalnej do modyfikowanych spoiw poliestrowych pozwoliło wyeliminować zjawisko sedimentacji i spowodowało poprawę parametrów wytrzymałościowych zapraw.
4. Modyfikowane zaprawy epoksydowe wykazują korzystniejsze parametry wytrzymałościowe niż modyfikowane zaprawy poliestrowe w porównaniu do zapraw na niemodyfikowanych żywicach EP i UP.
5. Modyfikowane zaprawy epoksydowe i poliestrowe charakteryzują się niewielką nasiąkliwością wodą (w zakresie 0,08 – 0,18 % dla EP i w zakresie 0,23 – 0,4 % dla UP) oraz bardzo dobrą odpornością chemiczną na wybrane środowiska korozyjne. Procentowe zmiany masy osiągają wartości poniżej 3.
6. Recyklat PET może być wykorzystany do modyfikacji żywic epoksydowych i nienasyconych poliestrowych przy otrzymywaniu zapraw, lepsze rezultaty można jednak otrzymać w przypadku zastosowania tego modyfikatora dla żywic epoksydowych.

4. LITERATURA

1. N. W. Choi, Y. Ohama: Development and testing of polystyrene mortars using waste EPS solution-based binders, Construction and Building Materials 18 (2004)

2. Bignozzi M. C., Saccani A., Sandrolini F.: New polimer mortars containing polymeric wastes. Part.1 Microstructure and mechanical properties, Composites: Part A 31 (2000) 97-106
3. Bignozzi M. C., Saccani A., Sandrolini F.: New polimer mortars containing polymeric wastes. Part.1 Dynamic mechanical and dielectric behaviour, Composites: Part A 31 (2002) 205-211
4. Ribeiro M. C. S., Nóvoa P. R., Ferreira A. J. M., Marques A. T.: Flexural performance of polyester and epoxy polymer mortars under severe thermal conditions, Cement & Concrete Composites 26 (2004) 803-809
5. Dębska B., Żmihorska-Gotfryd A.: Wpływ recyklatu PET na wybrane właściwości zapraw na podstawie żywic epoksydowych, w druku

COMPARATIVE ANALYSIS OF MORTAR CHARACTERISTICS BASED ON UNSATURATED POLIESTER RESINS AND EPOXY RESINS MODIFIED WITH PET RECYCLATE

SUMMARY

The thesis presents methods of obtaining, as well and selected properties of polyester mortars. The addition of PET hydrolysate as the modifier of mortars resulted in improvement of selected properties of the mortars. The results of made an investigation for polyester and epoxy resins are compared.

II Konferencja SOLINA 2008

ENERGIA ODNAWIALNA
Innowacyjne Rozwiązania
Materiały i Technologie dla Budownictwa



Bernardeta DEBSKA, mgr inż.

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

Anna ŻMIHORSKA-GOTFRYD, dr

Politechnika Rzeszowska
Zakład Technologii Tworzyw Sztucznych
ul. Wincentego Pola 2, 35-959 Rzeszów
e-mail: anzmigot@prz.edu.pl

WPŁYW RECYKLATU PET NA WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI ZAPRAW NA PODSTAWIE ŻYWIC EPOKSYDOWYCH

STRESZCZENIE

W pracy opisano sposób otrzymywania i wybrane właściwości żywicznych zapraw epoksydowych modyfikowanych recyklatem PET. Dodatek modyfikatora spowodował poprawę wybranych właściwości zapraw i obniżył koszt ich produkcji. PET to tworzywo powszechnie stosowane m.in. jako materiał opakowaniowy i bardzo szybko staje się odpadem, zajmując duże objętości. Wykorzystanie odpadów PET jest korzystne ze względów ekologicznych i ekonomicznych.

1. WPROWADZENIE

Materiały budowlane, które do tej pory z powodzeniem spełniały swoją funkcję, coraz częściej okazują się niewystarczające w zderzeniu z nowoczesnymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi, architektonicznymi, czy też technologicznymi. Wymusza to poszukiwanie nowych materiałów lub modyfikowanie już istniejących. Bieżący rozwój

materiałów konstrukcyjnych powinien zwracać szczególną uwagę na materiały ekologiczne i energooszczędne. Szczególnie ważna wydaje się możliwość ekologicznego zagospodarowania odpadów z tworzyw sztucznych [1].

Jednymi z materiałów spełniających powyższe kryteria są zaprawy i betony żywiczne. Zaletą ich jest połączenie wytrzymałości mechanicznej z dobrą chemoodpornością, czego brak jest betonom zwykłym. Niewątpliwą wadą betonów polimerowych jest cena - polimery są od 10 do 100 razy droższe niż cement.

Zagadnienia związane z wytwarzaniem i zastosowaniem betonów żywicznych są znane od lat. W literaturze można spotkać informacje o różnych sposobach modyfikacji tych betonów. Oprócz tradycyjnych napełniaczy, takich jak włókna węglowe czy włókna szklane, coraz częściej wykorzystuje się odpady polimerowe np. ABS, styropian, sproszkowana guma itp. [2 - 5].

Wydaje się, że interesującym sposobem modyfikacji betonów żywicznych jest wykorzystanie jako modyfikatora produktów degradacji chemicznej poli(tereftalanu etylenu).

Poli(tetraftalan etylenu) (PET) jest powszechnie znanym i szczególnie popularnym materiałem opakowaniowym m.in. na butelki do napojów. PET uważany jest za tworzywo nowoczesne, ekologiczne i niedrogie. Jednak szybki wzrost zużycia opakowań z poli(tetraftalanu etylenu) stwarza problemy środowiskowe. Czas życia tych opakowań jest wyjątkowo krótki, dlatego bardzo szybko stają się odpadem i zajmują dużą objętość. Względę ekologiczne i ekonomiczne przemawiają więc za tym, aby odpady PET poddać recyklingowi.

Jednym ze sposobów wykorzystania odpadów poli(tetraftalanu etylenu) jest użycie ich do modyfikacji zapraw epoksydowych lub poliestrowych. Dodatek modyfikatora spowodowałby zmniejszenie zużycia żywicy, a co za tym idzie koszty produkcji zapraw żywicznych.

2. PLAN EKSPERYMENTU

2.1. Użyte surowce i skład kompozycji

Skład zaprawy epoksydowej modyfikowanej produktem degradacji PET

- żywica epoksydowa (EP) – 20% całej kompozycji
- hydrolizat poli(tereftalanu etylenu) (PET) – 0%, 5%, 10% lub 15% wagowych w stosunku do ilości żywicy
- utwardzacz TECZA – 10% wagowych w stosunku do ilości żywicy
- piasek normowy – 80% całej kompozycji

2.2. Przygotowanie próbek

Kompozycje epoksydowe modyfikowane hydrolizatem PET sporządzono na podstawie żywicy Epidian 5. Odpowiednie ilości komponentów (wg p. 2.1.) odważono na wadze technicznej z dokładnością $\pm 0,1$ g, starannie mieszano w ciągu 10 min, a następnie wygrzewano przez 60 min w temp. 353 K w celu umożliwienia reakcji chemicznych grup funkcyjnych obu składników. Po schłodzeniu do temperatury pokojowej modyfikowaną żywicę przenoszono do pojemnika mieszarki laboratoryjnej, dodawano odpowiednią ilość utwardzacza Z-1 i kruszywo. Przygotowując zaprawy zachowywano jednakowy czas mieszania i jednakowe obroty mieszarki. Gotową zaprawę umieszczono w formach

stalowych o wymiarach 40x40x160 mm. Sporządzono też próbki do badania nasiąkliwości i odporności chemicznej. Tak przygotowane próbki pozostawiono do sezonowania przez 7 dni w temperaturze pokojowej.

2.3. Opis przeprowadzonych badań

Dla utwardzonych zapraw epoksydowych wykonano następujące oznaczenia wytrzymałości mechanicznej:

- **Wytrzymałość na zginanie R_z**

Badanie przeprowadzono zgodnie z normą PN-B-04500: 1985. Uzyskane wyniki zamieszczono na rysunku 1.

- **Wytrzymałość na ścisnienie R_s**

Badanie przeprowadzono zgodnie z normą PN-B-04500: 1985. Uzyskane wyniki zamieszczono na rysunku 2.

- **Twardość wg Brinell'a HK**

Do oznaczenia twardości wykorzystano twardościomierz Brinell'a. Badanie przeprowadzono zgodnie z normą PN-EN ISO 2039-1: 2003. Uzyskane wyniki zamieszczono na rysunku 3.

Określenie nasiąkliwości w wodzie n_m otrzymanych zapraw

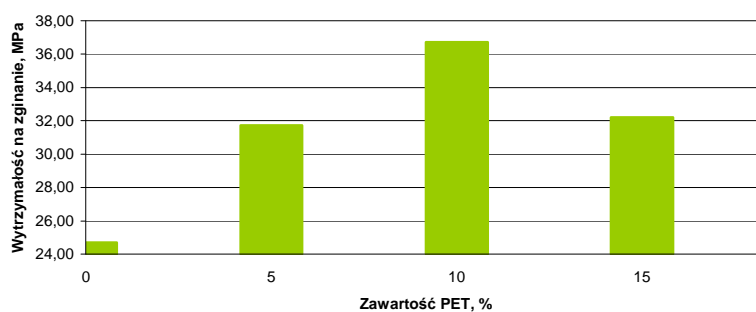
Nasiąkliwość badano przez 7 dni w temperaturze 23 ± 1 °C wg PN-EN 206-1: 2003. Uzyskane wyniki zamieszczono na rysunkach 4-6.

Oznaczenie odporności otrzymanych zapraw na wybrane media agresywne

Próbki zapraw przez 14 dni poddano ekspozycji w następujących mediach agresywnych: kwas azotowy 10%, kwas siarkowy 10%, kwas solny 10%, chlorek sodu 10%, wodorotlenek amonu 10%, wodorotlenek sodu 1%.

Badanie przeprowadzono zgodnie z normą: PN-EN ISO 175: 2002. Uzyskane wyniki zamieszczono na rysunkach 7-12.

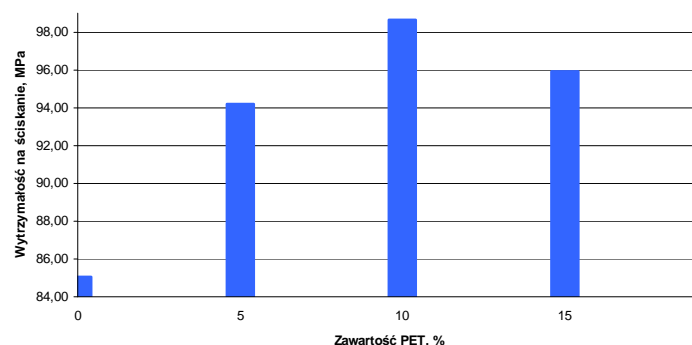
2.4. Analiza wyników



Rys.1. Zależność wytrzymałości na zginanie zapraw epoksydowych od procentowej zawartości modyfikatora

Fig.1. Flexural strength of epoxy mortars depending on modifier content

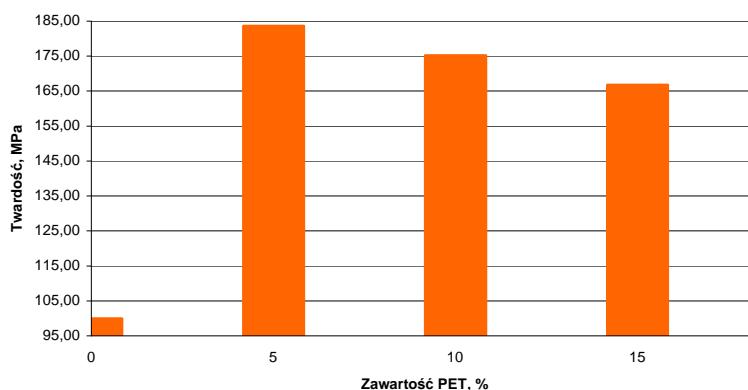
Wytrzymałość na zginanie modyfikowanych zapraw epoksydowych przedstawiono na rys.1. Daje się zauważyć, że dla zapraw epoksydowych wraz ze wzrostem ilości dodanego modyfikatora wytrzymałość na zginanie wzrasta w stosunku do zaprawy niemodyfikowanej. Optymalna wartość wynosząca 36 MPa została osiągnięta dla 10% zawartości PET w zaprawie.



Rys.2. Zależność wytrzymałości na ściskanie zapraw epoksydowych od procentowej zawartości modyfikatora

Fig.2. Compression strength of epoxy mortars depending on modifier content

Zależność wytrzymałości na ściskanie od zawartości modyfikatora (rys.2) kształtuje się analogicznie jak dla wytrzymałości na zginanie.



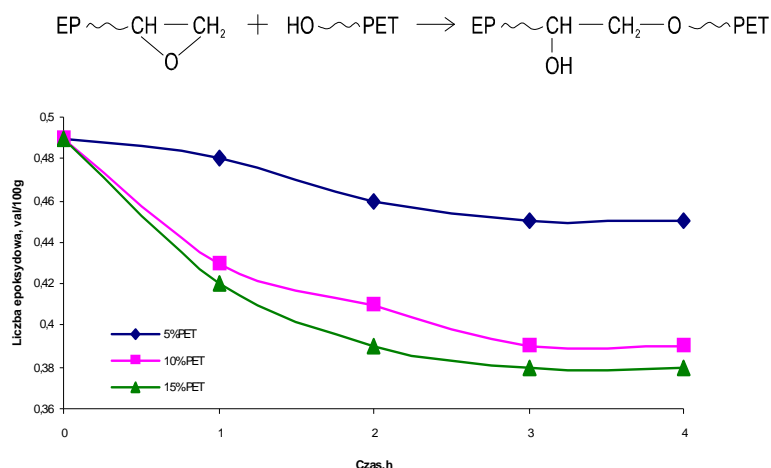
Rys.3. Zależność twardości zapraw epoksydowych od procentowej zawartości modyfikatora

Fig.3. Hardness of epoxy mortars depending on modifier content

Zbadano również wpływ dodatku hydrolizatu PET na twardość zapraw epoksydowych. Analizując wyniki przedstawione na rys.3, dla modyfikowanej zaprawy epoksydowej obserwuje się wzrost twardości wraz ze wzrostem zawartości PET w porównaniu do

zaprawy niemodyfikowanej. Wartość optymalną osiągnięto dla próbki z zawartością PET równą 5%.

W przypadku kompozycji epoksydowej, żywicy epoksydowej i modyfikatora wygrzewano w temp. 80 °C w ciągu 1 h. Następowala reakcja między grupą epoksydową a grupą hydroksylową hydrolizatu PET wg następującego schematu:

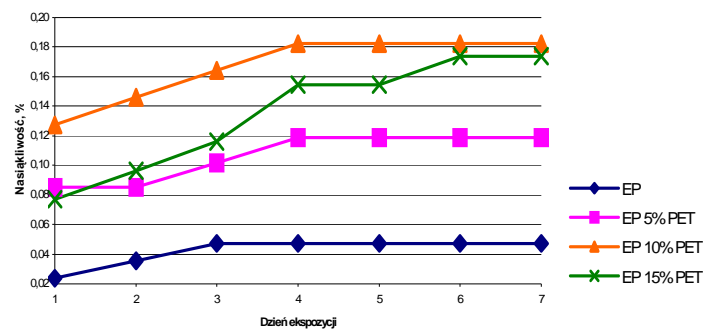


Rys.4. Zależność wartości liczby epoksydowej od czasu wygrzewania w temp. 80 ± 1 °C dla kompozycji EP/PET

Fig.4. Epoxy value of EP/PET compositions depending on modifier content and heating time in the temperature of 80 ± 1 °C

Reakcje grup funkcyjnych obu komponentów potwierdzają wyniki zmian liczby epoksydowej modyfikowanych kompozycji w czasie wygrzewania w temp. 80°C (rys. 4). Największy spadek obserwowano w ciągu pierwszych 60 min. Świadczy to o tym, że modyfikator chemicznie wbudowuje się w żywicę, co może powodować wzrost twardości.

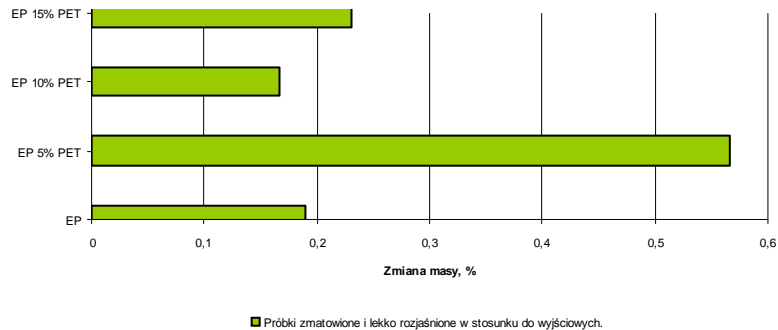
Badano również nasiąkliwość wodą dla otrzymanej kompozycji. Analizując przedstawione na rys.5 wyniki, zauważa się, że nasiąkliwość jest stosunkowo niewielka, wzrasta w ciągu pierwszych 3-4 dni a następnie nie ulega zmianie.



Rys.5. Nasiąkliwość wodą próbek zapraw epoksydowych
Fig.5. Water absorbability for epoxy mortars specimens

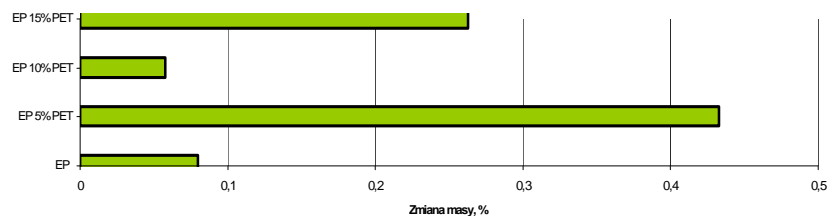
W przypadku zapraw epoksydowych dodatek modyfikatora powoduje wzrost nasiąkliwości, przy czym najwyższą wartość osiągnięto dla próbki zawierającej 10% PET.

Ostatnim badaniem było określenie odporności chemicznej na wybrane media agresywne. Wartości procentowej zmiany masy dla poszczególnych próbek przedstawiają rys. 6-11.



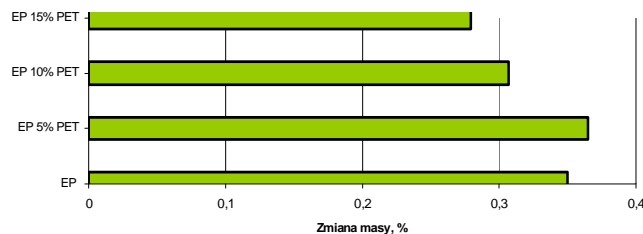
Rys.6. Zmiana masy próbek zapraw po 14 dniach ekspozycji w 10% kwasie azotowym w temperaturze 23 ± 2 °C

Fig.6. Changes in the mass of mortars specimens after 14 days of exposure in 10% nitric acid in the temperature of 23 ± 2 °C



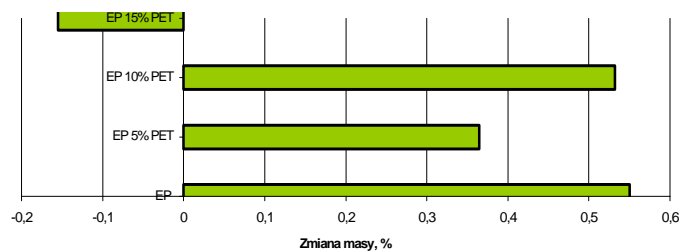
■ Próbkę lekko zmatowione w stosunku do wyjściowych.

Rys.7. Zmiana masy próbek zapraw po 14 dniach ekspozycji w 10% kwasie siarkowym w temperaturze $23 \pm 2^\circ\text{C}$
 Fig.7. Changes in the mass of mortars specimens after 14 days of exposure in 10% sulfuric acid in the temperature $23 \pm 2^\circ\text{C}$



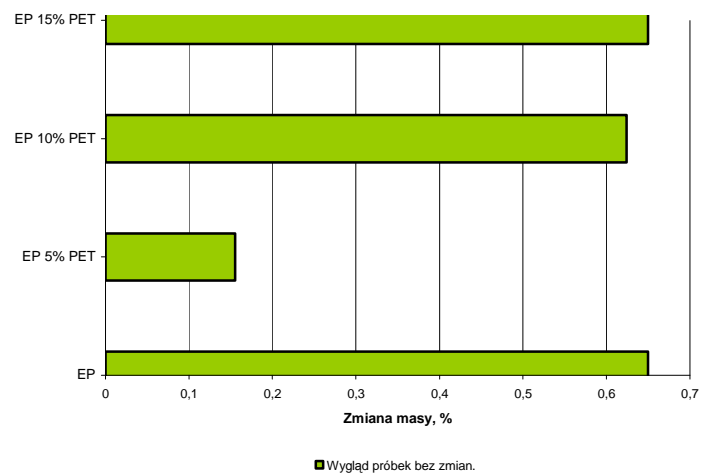
■ Wygląd próbek bez zmian.

Rys.8. Zmiana masy próbek zapraw po 14 dniach ekspozycji w 10% kwasie solnym w temperaturze $23 \pm 2^\circ\text{C}$
 Fig.8. Changes in the mass of mortars specimens after 14 days of exposure in 10% hydrochloric acid in the temperature $23 \pm 2^\circ\text{C}$



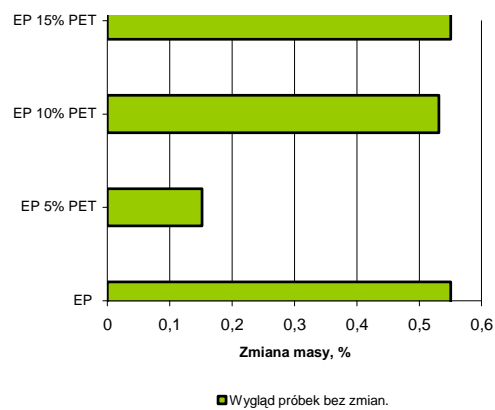
■ Próbkę lekko matowe, ciecz agresywna żółkła.

Rys.9. Zmiana masy próbek zapraw po 14 dniach ekspozycji w 10% chlorku sodu w temperaturze $23 \pm 2^\circ\text{C}$
 Fig.9. Changes in the mass of mortars specimens after 14 days of exposure in 10% sodium chloride in the temperature $23 \pm 2^\circ\text{C}$



Rys.10. Zmiana masy próbek zapraw po 14 dniach ekspozycji w 10% wodorotlenku amonu w temperaturze $23 \pm 2^\circ\text{C}$

Fig.10. Changes in the mass of mortars specimens after 14 days of exposure in 10% ammonium hydroxide in the temperature $23 \pm 2^\circ\text{C}$



Rys.11. Zmiana masy próbek zapraw po 14 dniach ekspozycji w 1% wodorotlenku sodu w temperaturze $23 \pm 2^\circ\text{C}$

Fig.11. Changes in the mass of mortars specimens after 14 days of exposure in 1% sodium hydroxide in the temperature $23 \pm 2^\circ\text{C}$

Badanie było przeprowadzone dla 6 różnych mediów agresywnych. Wszystkie próbki wykazały bardzo dobrą odporność chemiczną. Najniższe zmiany masy zaobserwowano dla próbek zanurzonych w 10% kwasie solnym (rys.8). Zmiana masy nie przekroczyła tutaj 0,4%. Bardzo dobre wyniki osiągnięto też dla próbek poddanych działaniu 10% kwasu siarkowego (rys.7) i 1% wodorotlenku sodu (rys.11).

3. PODSUMOWANIE

W oparciu o przeprowadzone badania i uzyskane wyniki można stwierdzić:

1. W pracy otrzymano zaprawy polimerowe oparte na modyfikowanej hydrolizatem PET żywicy epoksydowej EP5 i standardowym kruszywie.
2. Zaprawy oparte na modyfikowanej żywicy EP5 charakteryzowały się:
 - zwiększoną wytrzymałością na zginanie i ściskanie,
 - zwiększoną twardościąw stosunku do zapraw opartych na niemodyfikowanej żywicy.
3. Modyfikowane zaprawy epoksydowe charakteryzują się niewielką nasiąkliwością wodą (w zakresie 0,08 – 0,18 %) i bardzo dobrą odpornością chemiczną na wybrane środowiska korozyjne.
4. Recyklat PET może być stosowany jako modyfikator żywicy epoksydowej przy otrzymywaniu betonów żywicznych. Poprawia właściwości w/w betonów i obniża ich koszt.
5. Użycie hydrolizatu PET do modyfikacji zapraw polimerowych jest sposobem na utylizację odpadów z tego tworzywa sztucznego.

4. LITERATURA

1. Ohama Y.: Recent Progress in Concrete-Polymer Composites, Advanced Cement Based Materials 5 (1997) 31-40
2. N. W. Choi, Y. Ohama: Development and testing of polystyrene mortars using waste EPS solution-based binders, Construction and Building Materials 18 (2004) 235-241
3. A. Palos, N. A. D'Souza: Modification of cement mortar with recycled ABS, Cement and Concrete Research 31 (2001) 1003-1007
4. Ribeiro M.C.S. i in.: Fleksural performance of polyester and epoxy polymer mortars under severe thermal conditions; Cement & Concrete Composites, 26 (2004), 803-809
5. Bognozzi M.C. i in.: New polymer mortars containing polymeric waste; Composites: Part A, 33 (2002), 205-211

INFLUENCE OF PET RECYCLATE ON SELECTED PROPERTIES OF EPOXY MORTARS

SUMMARY

The thesis presents methods of obtaining, as well and selected properties of epoxy mortars. The addition of PET hydrolysate as the modifier of EP mortars resulted in improvement of selected properties of the mortars in comparison with the properties of mortars with unmodified resins. The application of PET waste materials to modify polymeric binders in mortars is also advantageous for economical and ecological reasons.



Jurij DOBRIANSKI, dr hab. inż.
Michał DUDA, mgr

Uniwersytet Warmińsko – Mazurski
Katedra Elektrotechniki i Energetyki
ul. Oczapowskiego 11, 10-719 Olsztyn
e-mail: dobr@uwm.edu.pl, duda_michal@o2.pl

EKSPERYMENTALNA INSTALACJA SŁONECZNA Z SAMOCZYNĄ POMPĄ CYRKULACYJNĄ NAPĘDZANĄ CIEPŁEM LOKALNYM

STRESZCZENIE

W referacie został przedstawiony schemat eksperymentalnej instalacji słonecznej z samoczynną pompą cyrkulacyjną napędzaną ciepłem lokalnym. Instalacja ta jest stanowiskiem badawczym pozwalającym na ocenę jakości tego typu urządzenia pompującego pod względem jego praktycznej efektywności eksploatacyjnej. Samoczynna pompa cyrkulacyjna została pomyślnie sprawdzona w warunkach laboratoryjnych.

1. WPROWADZENIE

Słoneczne systemy podgrzewania wody funkcjonują w różnych konfiguracjach i mogą pracować według kilku wariantów sterowania [1]. Najprostszą a zarazem najtańszą instalacją do przygotowania ciepłej wody użytkowej jest instalacja grawitacyjna zwana termosyfonową. W tego typu instalacjach przepływ czynnika odbywa się samoistnie w skutek unoszenia cieplejszych mas [2]. Taki obieg jest jednocześnie samosterowny, to znaczy intensywność ruchu medium zależy od różnicy temperatur pomiędzy górnymi partiami kolektorów, a dolną częścią zbiornika. Brak pompy cyrkulacyjnej i automatycznego sterowania, to niewątpliwie zalety takiego rozwiązania. Jednak warunkiem ich sprawnego funkcjonowania jest odpowiednie rozmieszczenie poszczególnych podzespołów instalacji. Zbiornik powinien być umieszczony powyżej górnej krawędzi kolektorów, co

w przypadku kolektorów montowanych na dachach budynków jest niepraktyczne. Problem stanowi dodatkowe obciążenie połaci dachu. Zaletą tego wariantu jest to, że umieszczając kolektory na dachu wykorzystujemy niezacienione, niezagospodarowane miejsce. Często także, kąty pochylenia połaci dachowej w większości przypadków nadają się do bezpośredniego montowania kolektorów na pokryciu dachowym. W takich przypadkach stosuje się instalacje z aktywnym, czyli wymuszonym obiegiem czynnika w układzie kolektory słoneczne – zbiornik akumulacyjny. Obieg czynnika uruchamia zazwyczaj jednofazowa pompa bezdławicowa, której pracą steruje regulator różnicowy temperatur.

Na terenach pozbawionych sieci energetycznej możliwy jest napęd pompy za pomocą energii pozyskiwanej z ogniw fotowoltaicznych. Taki układ charakteryzuje się pewną samosterownością, jednakże dochodzi koszt zakupu ogniw. Rozwiązaniem jest zastosowanie samoczynnej pompy cyrkulacyjnej zasilanej częścią ciepła dostarczoną do instalacji przez kolektor słoneczny [3].

2. MATERIAŁY I METODY

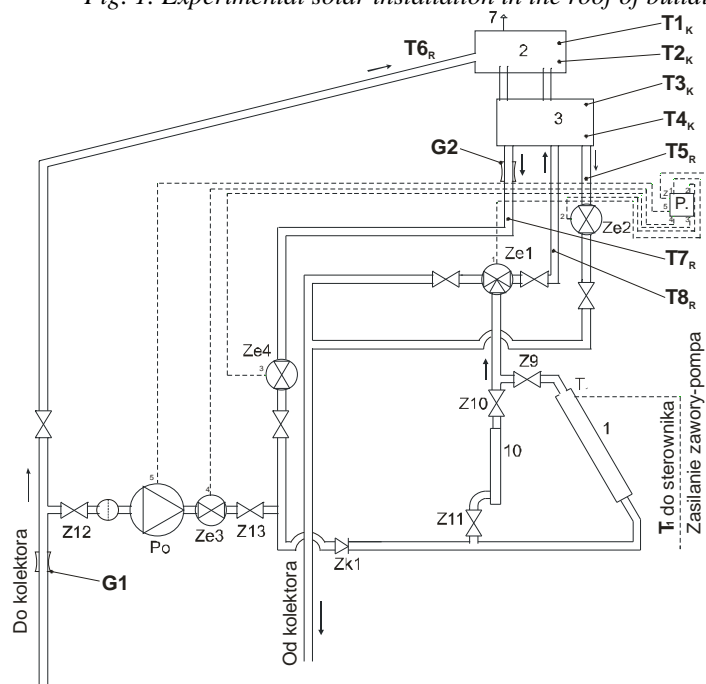
Samoczynna pompa cyrkulacyjna znana jest z ukraińskiego opisu patentowego nr 15361A [4]. Zbudowana jest jako zamknięty obieg, częściowo wypełniony ciekłym czynnikiem roboczym. Urządzenie to pracuje cyklicznie. W górnej części opadowej gałęzi obiegu podgrzewany jest ciekły nośnik ciepła, w wyniku czego wzrasta ciśnienie pary nasyconej tego czynnika i następuje wypieranie jego w dół. W dolnej części obiegu czynnik schładza się i schłodzony przepływa do gałęzi podnośnej. W skutek tego poziom ciekłego czynnika roboczego wrasta w gałęzi podnośnej. Wynika to z różnicy ciśnień w gałęziach obiegu. Po osiągnięciu określonej różnicy ciśnień otwiera się przejście w górnej części obiegu i para z górnej części gałęzi opadowej przechodzi do gałęzi podnośnej. Jednocześnie nadmiar schłodzonej cieczy z gałęzi podnośnej, grawitacyjnie zlewa się przez kanał pośredni do górnej części gałęzi zimnej. Istnieje kilka modyfikacji urządzeń służących do realizacji tego sposobu przekazywania ciepła. Ogólnie wszystkie rozwiązania wykonane są w postaci obiegu zamkniętego z opadową i podnośną gałęzią. Za bazę dla zbudowania pompy, która będzie wykorzystana w danej instalacji solarnej był patent PL 195 490 B1 [5]. Urządzenie to jest zbudowane z dwóch umiejscowionych jedno nad drugim naczyń (ciepłego i zimnego). Naczynia połączone zostały kanałem pośrednim służącym do zlania cieczy po zakończeniu cyklu pracy oraz zaworem hydraulicznym, który steruje całym procesem. W obiegu pracę wykonuje para nasycona czynnika roboczego.

2.1. Instalacja słoneczna – lokalizacja i budowa

Instalacja słoneczna do pracy z samoczynną pompą cyrkulacyjną została zbudowana przy Wydziale Nauk Technicznych Uniwersytetu Warmińsko – Mazurskiego. Jest to układ aktywny z ciekowym kolektorem o powierzchni $F=2,0\text{ m}^2$, zamocowanym na dachu budynku uczelni rys.1. Kolektor połączono z podgrzewaczem ciepłej wody użytkowej o pojemności 300 l, zamontowanym w piwnicy budynku. Przewidziano dwa sposoby wymuszenia obiegu cieczy solarnej. W pierwszym przypadku obieg wymusza pompa elektryczna. Jest to klasyczne rozwiązanie wymagające układów sterujących. Ponadto układ został przystosowany do podłączenia innego urządzenia wymuszającego cyrkulację – samoczynnej pompy cyrkulacyjnej. Schemat podłączenia takiej pompy przedstawia rys.2.



Rys. 1. Eksperymentalna instalacja badawcza na dachu budynku
Fig. 1. Experimental solar installation in the roof of building



Rys. 2. Schemat podłączenia samoczynnej pompy cyrkulacyjnej do instalacji słonecznej:
1 – kolektor, 2,3 – naczynia samoczynnej pompy cyrkulacyjnej; T – czujniki temperatury,
G – przepływomierz, Z – zawór, Po – elektryczna pompa obiegowa

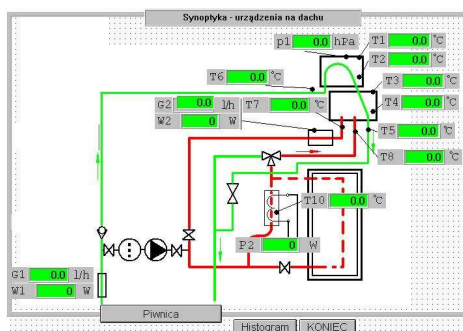
Fig. 2. Scheme of connection of self-acting circulation pump with solar installation:
1 – collector, 2,3 – vessels of the self-acting circulation pump ; T – temperature sensors,
G – flow sensor, Z – valve, Po – electrical circulating pump

2.2. Instalacja kontrolno – pomiarowa

Badanie parametrów instalacji z samoczynną pompą cyrkulacyjną umożliwia współpracę z układem kontrolno – pomiarowym. Uzyskanie danych empirycznych jest możliwe dzięki szczegółowemu opomiarowaniu badanej instalacji. Zainstalowane urządzenia pomiarowe mierzą w czasie rzeczywistym następujące parametry:

- temperaturę cieczy solarnej w różnych punktach instalacji;
- strumień przepływu cieczy;
- ciśnienie w obwodzie samoczynnej pompy cyrkulacyjnej.

Wartości wielkości pomiarowych pracy instalacji poprzez moduł z wejściami analogowymi oraz prądowymi 4 – 20 mA zbierane będą i przesyłane do jednostki centralnej. Wizualizacja pracy wszystkich urządzeń badanej instalacji ma postać maski graficznej przedstawionej na rysunku 2. Można na niej obserwować zmiany wartości wszystkich mierzonych parametrów. Maskę zawiera opis czujników należących do systemu pomiarowego badanej instalacji:

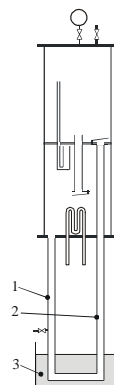


Rys. 3. Maskę wizualizacji pomiarów badanej instalacji solarnej z samoczynną pompą cyrkulacyjną

Fig. 3. Display of measured magnitudes of test solar installation with self-acting circulation pump

2.3. Metoda badań samoczynnej pompy w warunkach laboratoryjnych

Samoczynna pompa cyrkulacyjna została sprawdzona w warunkach laboratoryjnych. W badanym modelu kolektor zastąpiono grzałką elektryczną z termoregulatorem o mocy 300 W, zaś do transportu ciepła wykorzystano wodę. Pompa przetłaczała medium poprzez miedziany wymiennik umieszczony w izolowanym zasobniku o pojemności 7 litrów, wypełniony wodą. Podczas trwania eksperymentu nie zachodziła wymiana ciepła w zasobniku. W trakcie pracy urządzenia dokonano pomiarów temperatury w gałęzi opadowej, podnośnej oraz w zasobniku. Miejsca rozmieszczenia punktów pomiarowych przedstawiono na rysunku 4. Do pomiaru temperatury użyto czujników oporowych podłączonych do modułów z wejściami prądowymi 4 – 20 mA. Odczyt wyników pomiarów odbywał się z częstotliwością 0,1 Hz. Podczas opracowania danych empirycznych wykorzystano algorytm napisany w Excel'u do redukcji szumów pomiarowych procesów okresowych [6].

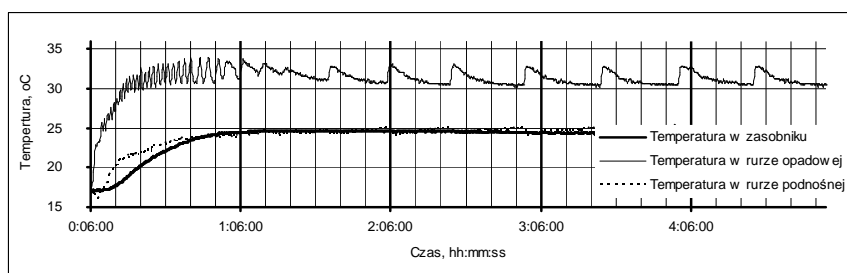


Rys. 4. Schemat rozmieszczenia punktów pomiarowych: 1 – rura wyjścia medium z pompy, 2 – rura powrotu medium do pompy, 3 – wymiennik ciepła w zasobniku

Fig. 4. Scheme of sensors layout: 1 – pump's supply conduit, 2 – pump's return tube, 3 – heat exchanger in tank-accumulator

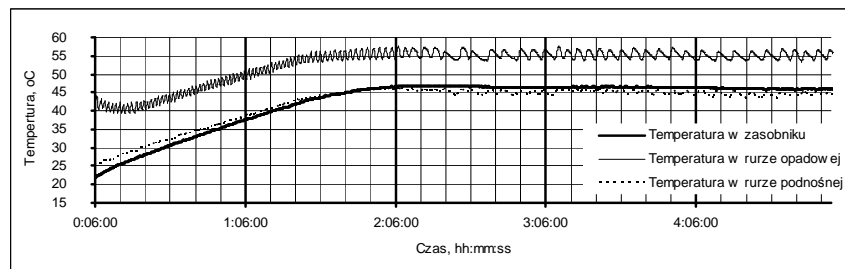
3. WYNIKI

Wyniki przeprowadzonego eksperymentu zostały przedstawione na rysunkach 5 i 6. W pierwszym przypadku urządzenie uruchomiono przy temperaturze cieczy w układzie 17°C i ustalonym górnym pułapie temperatury źródła ciepła na poziomie 35°C . Rozpoczęcie pracy urządzenia nastąpiło z chwilą włączenia grzałki. Pierwsze cykle przetłaczania medium przebiegały z dużą intensywnością w wyniku czego temperatura we wszystkich punktach pomiarowych wzrosła. Po czym temperatura w zasobniku i gałęzi podnośnej ustaliła się na poziomie 25°C , a w gałęzi opadowej oscylowała w przedziale $31^{\circ}\text{C} - 33^{\circ}\text{C}$. Jednocześnie zauważalnie wzrosła długość cykli pompowania. Drugi wykres przedstawia pracę układu przy ustalonej maksymalnej temperaturze w obwodzie grzałki 60°C . Podobnie jak w poprzednim przypadku, początkowo temperatura w każdym punkcie pomiarowym wzrastała aż do ustalenia na poziomie około 47°C dla gałęzi podnośnej i zasobnika, oraz rzędu 55°C w gałęzi opadowej.



Rys. 5. Wykres zmian temperatury w poszczególnych punktach obiegu podczas pracy modelu laboratoryjnego przy temperaturze źródła 35°C

Fig. 5. Temperature diagram for different measurement points of laboratory model at heater temperature 35°C



Rys. 6. Wykres zmian temperatury w poszczególnych punktach obiegu podczas pracy modelu laboratoryjnego przy temperaturze źródła 60°C

Fig. 6. Temperature diagram for different measurement points of laboratory model at heater temperature 60°C

4. PODSUMOWANIE

Przedstawione wyniki eksperymentu potwierdzają cykliczny charakter pracy urządzenia, które rozpoczyna przetłaczanie medium w chwili uruchomienia źródła ciepła. Intensywność pompowania uzależniona jest od mocy źródła oraz różnicy temperatury źródła i zasobnika ciepłej wody. W tym przypadku można mówić o samosterowalności układu. Pomyślnie przeprowadzone badania na modelu laboratoryjnym przyczyniły się do zbudowania omówionej instalacji solarnej. Kolejne badania związane będą ze sprawdzeniem samoczynną pompą cyrkulacyjną w tej instalacji.

5. LITERATURA

- [1] Chochowski A., Czekalski D., Słoneczne instalacje grzewcze, Warszawa 1999
- [2] Lewandowski W., Proekologiczne odnawialne źródła energii. WNT, Warszawa 2006
- [3] Dobriański J., Wesołowski M., Ocena techniczno-ekonomiczna zastosowania samoczynnego obiegu cyrkulacyjnego w słonecznej instalacji grzewczej. Problemy inżynierii rolniczej Nr. 3/2003: 71-78
- [4] Dobrianski Yu. P. Sposib teploperedachi i prystriy do yego zdiysniennia. Patent of Ukraine. UA 15361 A; MIIK F 28 D 25/00
- [5] Dobriański Jurij, Fieducik Jolanta, Urządzenie do przekazywania ciepła w kierunku przeciwnym do konwekcji naturalnej, Patent PL 195490 B1
- [6] J. Dobrianski, M. Duda: Algorytm opracowania w Excel'u danych eksperymentalnych procesów okresowych, Technical Sciences, 10/2007

EKSPERYMENTAL SOLAR INSTALLATION WITH SELF-ACTING CIRCULATION PUMP POWERED BY LOCAL HEAT

SUMMARY

Scheme of experimental solar installation with self-acting heat powered circulation pump is presented in this paper. The test unit is destined for estimation of capacity for work of self-acting circulation pump in real-life environment. Action of this pump was successfully tested in laboratory environment.

II Konferencja SOLINA 2008
ENERGIA ODNAWIALNA
Innowacyjne Rozwiązania
Materiały i Technologie dla Budownictwa



Jurij DOBRIAŃSKI*, dr hab. inż.,
Marek SAMSEL**,
Daniel CHLUDZIŃSKI*

*Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
Wydział Nauk Technicznych, ul. Oczapowskiego 11, p. 204, 10-736 Olsztyn
e-mail: dobr@uwm.edu.pl

** Marcinkowo 68, Marcinkowo k/Olsztyna, 11-030 Purda

**EKOLOGICZNY DOM W ZABUDOWIE ENERGOOSZCZĘDNEJ
W MIEJSCOWOŚCI MARCINKOWO KOŁO OLSZTYNA**

STRESZCZENIE

W referacie przedstawiono charakterystykę domu jednorodzinnego i doświadczenie z pierwszego roku eksploatacji. Budynek jest proekologiczny oraz energooszczędny. Znajduje się w miejscowości Marcinkowo koło Olsztyna. Przy projektowaniu zostały uwzględnione takie zagadnienia energetyczne jak: ogrzewanie budynku, oszczędność energii, wykorzystanie energii z wewnętrznych źródeł i z otoczenia, sezonowa akumulacja energii, chłodzenie w okresie ciepłym. Zostały również rozważone i uwzględnione aspekty ekologiczne, zdrowotne i przyjaznego wpływu na otoczenie.

1. WPROWADZENIE

Ważniejszymi zadaniami budynku mieszkalnego jest:

- zapewnienie komfortowych warunków klimatycznych dla mieszkańców,
- zapewnienie korzystnych warunków ekologicznych, odpowiednich dla mieszkańców i przyjaznych dla otoczenia,
- osiągnięcie powyższych celów w możliwie najtańszy sposób.

Te wymagania są znane od dawna, ale tylko współczesny rozwój technologiczny pozwala na osiągnięcie tych rozwiązań w sposób bardziej doskonały przy umiarkowanych wydatkach inwestycyjnych i małych wydatkach eksploatacyjnych. Znane są liczne

konstrukcje domów energooszczędnych i pasywnych [1-10], w których przedstawiono szereg architektonicznych rozwiązań i energooszczędnych instalacji domowych. Każdy poszczególny przykład budynku ma indywidualny zestaw rozwiązań technicznych, wybór których jest skutkiem obiektywnych i subiektywnych czynników.

Głównymi kryteriami przy projektowaniu budynku w Marcinkowie były:

1. Zmniejszenie strat ciepła emitowanych do otoczenia przez dobór odpowiedniej konstrukcji budynku.
2. Wykorzystanie wewnętrznych źródeł ciepła i odzysk ciepła odpadowego.
3. Stosowanie akumulacji ciepła
4. Wykorzystanie niekonwencjonalnych źródeł energii.
5. Zastosowanie „inteligentnych” rozwiązań technicznych do sterowania procesami i urządzeniami energetycznymi.
6. Wykorzystanie materiałów zapewniających odpowiedni dla zdrowia klimat i przyjaznych dla otaczającego środowiska.

2. OBNIŻENIE STRAT CIEPŁA

W celu obniżenia strat ciepła były stosowane następujące zasady i konstrukcyjne rozwiązania:

- wykorzystanie materiałów o niskiej przewodności cieplnej: do wypełnienia zastosowano sprasowaną słomę, dla powierzchni wewnętrznych – ekofiber, dla powierzchni zewnętrznych – styropian,
- wypełnienie nie użytkowanej przestrzeni poddasza grubą warstwą ekofibru – materiału wykonanego z włókna celulozowego pochodzącego z makulatury gazetowej i impregnowanego związkami boru,
- rozmieszczenia najcieplejszych urządzeń i pomieszczeń (kuchni, łazienki i sezonowego akumulatora ciepła) w centralnych częściach budynku,
- stosowanie okien z powłokami o niskiej emisyjności w zakresie widma fal podczerwonych, zapewnia niską wartość współczynnika przenikania ciepła równą $0,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$,
- zmniejszenie pola powierzchni ścian zewnętrznych poprzez zastosowanie zaokrąglonej formy ścian, co zapewnia bardziej korzystną wartość współczynnika kształtu wynoszącego w omawianym budynku $A/V = 520/700 = 0,74 \text{ m}^{-1}$.

3. ŹRÓDŁA CIEPŁA I GRZEJNIKI

3.1 Wewnętrzne źródła ciepła i ciepło odpadowe

Energia różnego rodzaju samoczynnie i z łatwością przekształca się w ciepło. Dlatego w trakcie szeregu przekształceń energii praktycznie cała energia dostarczana do pracujących urządzeń gospodarstwa domowego przechodzi ostatecznie w ciepło. W przypadku braku wskazówek krajowych zalecana przez normę PN-EN 832:2001 wartość wewnętrznych źródeł ciepła wynosi 5 W na 1 m^2 podłogi pomieszczeń ogrzewanych. Dla niniejszego budynku całkowita wartość wynosi $5 \cdot 190 = 950 \text{ W} \approx 1 \text{ kW}$.

Wymianę powietrza przez wentylację określa się wyłącznie warunkami higienicznymi. Jest jednak związana z koniecznością nagrzewania powietrza doprowadzanego w zimny okres z zewnątrz do środka domu. Powietrze zużyte jest wyprowadzane na

zewnątrz, co stanowi 30-60% wszystkich strat ciepła we współczesnych budynkach. To ciepło należałoby wykorzystać do podgrzewania powietrza z zewnątrz, w tym celu konieczne jest stosowanie wymienników o dość dużych powierzchniach. Nowoczesne technologie pozwalają na produkcję takich wymienników. Mają one zwarte konstrukcje, niewielkie zużyciu materiałów i niskie ceny produkcji. W omawianym domu zastosowano rekuperacyjny wymiennik ciepła o maksymalnym przepływie powietrza 800 m³/h.

3.2 Zewnętrzne źródła ciepła

Energia promieniowania słonecznego została wykorzystana w sposób bierny przez okna i w sposób czynny przez zastosowanie kolektorów słonecznych.

Dla zapewnienia większego stopnia wykorzystania promieniowania słonecznego na sposób pasywny elewacja frontowa została skierowana na południe. Okna frontowe o całkowitej powierzchni około 30 m² pozwalają na napromieniowanie nie tylko podłogi, ale w okresie niskiego przesilenia słonecznego również przeciwległej ściany pomieszczenia. Całkowita powierzchnia okien wynosi 50 m².

Bierne użytkowanie promieniowania słonecznego docierającego przez okna w okresie letnim może być nadmiernym. Dlatego wykonano zewnętrzne elementy zabudowy w taki sposób, aby zapewnić zacienienie okien podczas dużego przesilenia słonecznego latem. Toteż słoneczne źródło energii było rozpatrywane nie tylko z punktu widzenia pozyskania energii, ale również ograniczenia jego niepożądanego działania w okresie ciepłych warunków meteorologicznych.

Północna część budynku jest usytuowana przy skarpie. Wykonana została z żelbetonu pokrytego styropianem. Nie posiada okien przez co może być zasypana ziemią, która łągodzi warunki temperaturowe północnej ściany w okresie zimy.

Czynny sposób wykorzystania promieniowania słonecznego przez zastosowanie kolektorów słonecznych ma istotne zalety polegające na tym, że pozwala uzyskać ciepło o dość wysokiej temperaturze. Dobrymi właściwościami wyróżniają się rurowo-próżniowe kolektory, ponieważ mogą pracować przy obniżonych temperaturach otoczenia. Dlatego zostały one wykorzystane w omawianym budynku.

Roczne wahania temperatury gruntu oscylują wokół średniej rocznej temperatury atmosferycznej i amplituda oscylacji zmniejszają się w miarę zwiększania głębokości. W okresie zimnym temperatura gruntu jest wyższa od temperatury powietrza pobieranego z otoczenia do wentylacji pomieszczeń. Zatem w tych okresach grunt może być wykorzystany do wstępnego podgrzewania powietrza wentylacyjnego. W celu wykorzystania zasobów ciepła zawartych w ziemi, przy domu został zainstalowany gruntowy wymiennik ciepła. Wymiennik złożony jest z dwóch perforowanych rur plastikowych o średnicy $d = 0,4$ m i długości $L = 9$ m rozstawionych na odległość 6 m. Między rurami na głębokości ponad 1 m została założona wysypka ze żwiru płukanego o masie 60 ton. W okresie letnim dolotowe powietrze wentylacyjne ochładza się w tym wymienniku, pozbywa się kurzu i nadmiaru wilgotności.

3.3 Uzupełniające konwencjonalne źródła ciepła i grzejniki

W celu zapewnienia ogrzewania budynku w ekstremalnie zimnych warunkach w budynku zostały zamontowane salonowy kominek z płaszczem wodnym o mocy 33 kW oraz kocioł elektryczny o mocy 18 kW.

W omawianym domu zostały zamontowane grzejniki podłogowe i ściennie, które pracują przy obniżonej temperaturze nośnika ciepła. Wobec tego potrzebują niskotemperaturowego ciepła, które jest pozyskiwane tańszym kosztem. Rozprowadzenie nośnika ciepła zostało wykonane tylko na poziomie podłogi. Natomiast grzejniki ściennie zostały wykonane z termosyfonowych rur cieplnych i rozprowadzone do wysokości 1-2 m, obejmując również okienne parapety.

4. AKUMULATOR CIEPŁA

Akumulacja zasobów energii termicznej jest uzasadniona rozbieżnością między występowaniem naturalnych i odpadowych źródeł energii a czasem zapotrzebowania na ciepło. Rozbieżności te mają dobowy i cykliczny charakter. W celu zabezpieczenia możliwości pozyskania ciepła od źródeł naturalnych i zapewnienia dostarczania ciepła w miarę zapotrzebowania w centralnej części budynku usytuowano ogromny zasobnik wody. Sezonowy akumulator ciepła adaptowany został z samochodowej cysterny o pojemności 22 m³. Ustawienie zbiornika w pozycji pionowej oraz odpowiednie wyposażenie zapewnia możliwość wykorzystania temperaturowej stratyfikacji wody zarówno przy zasilaniu jego ciepłem jak i przy odbiorze ciepła do użytkowania.

5. INTELIGENTNY SYSTEM STEROWANIA INSTALACJĄ GRZEWczą

Najważniejszym zadaniem układu sterującego jest zapewnienie możliwości zasilania sezonowego akumulatora ciepłem o różnej temperaturze uzyskiwanej od różnych źródeł energii. Rozwiązaniem problemu jest zastosowanie szeregu zaworów regulacyjnych i sterujących, które służą do rozdzielnego podawania cieczy o różnych temperaturach do warstwy wody w akumulatorze o odpowiedniej temperaturze. Wykorzystując ten fakt możemy zasiląć obwód grzewczy wodą o bardzo zróżnicowanej temperaturze (25-85°C). Ogrzewanie ściennie i podłogowe jest systemem nisko temperaturowym, jedynie do nagrzewnicy powietrznej potrzebny jest nośnik ciepła o temperaturze 40-50°C. Włączanie ogrzewania poszczególnych pomieszczeń także jest regulowane przez układ sterujący.

6. CHARAKTERYSTYKA EKOLOGICZNA

Dom wykonany jest w około 70% z materiałów naturalnych. Szkielet budynku został zrobiony z sosnowo-świerkowych bali. Do wypełnienia szkieletu zastosowano sprasowaną słomę i pokryto ją warstwą gliny (technologia BALES OF STRAW). Izolacja stropów w dużym stopniu została wykonana z ekologicznego materiału, którym jest ekofiber. Podłogi w pomieszczeniach mieszkalnych zostały wykonane z drewnianego parkietu. W kominku, który jest estetycznym wykończeniem salonu spalane jest drewno. Rozpalany jest doraźnie głównie w celu poprawienia samopoczucia domowników podczas, gdy mają ochotę na blask i ciepło promieniujące z ognia.

7. CHARAKTERYSTYKA EKONOMICZNA I PODSUMOWANIE

Zdjęcia domu w trakcie budowy i po ukończeniu prac budowlanych jest przedstawiony na rysunkach powyżej. Konstruktor, kładąc duży nacisk na izolację cieplną sprawił, że niskie koszty muru i późniejszych zysków związanych z ograniczeniem do minimum paliwa na dogrzewanie, w dużo szybszym czasie przyniosą zwrot środków przeznaczonych na zakupu instalacji słonecznej, wymienników, akumulatora ciepła, kotła elektrycznego, termokominka i okien.



Rys. Dom energooszczędny w trakcie budowy
Fig. Low energy house during of building



Rys. Dom energooszczędny po wykończeniu
Fig. Low energy house after completion

W pierwszym roku użytkowania domu koszty ogrzewania wyniosły około 1500 zł. Podliczenia pokazały również, że wskaźnik energochłonności budynku stanowi około 30 kWh/m^2 rocznie. Ten fakt całkowicie spełnił oczekiwania inwestora. Przy tym poczucie bezpieczeństwa, komfort klimatyczny, oświetleniowy, akustyczny sprawiają, że dom jest przyjazny dla użytkowników. Inwestując w dom stawiamy na ekologię, świeże powietrze, bezpieczeństwo i komfort, „nasz” komfort, a on jest nieoceniony lecz kosztuje.

8. LITERATURA

- [1] Wnuk R.; Instalacje w domu pasywnym i energooszczędnym, Wydawnictwo „Przewodnik budowlany”, Warszawa, 2007.
- [2] Wnuk R.; Budowa domu pasywnego w praktyce, Wydawnictwo „Przewodnik budowlany”, Warszawa, 2006.
- [3] Koc D. (red.), poradnik dla inwestora indywidualnego w zakresie energooszczędnego ogrzewania budynków jednorodzinnych, Krajowa Agencja Poszanowania Energii, Warszawa, 2001.

- [4] „Kierunki rozwoju ogrzewania budynków mieszkalnych”; Miesięcznik informacyjno-techniczny „Magazyn Instalatora”, nr 9 (97), wrzesień 2006.
- [5] Wnuk R., zespół pracowników GUS pod kierownictwem Berent-Kowalskiej G., Efektywność wykorzystania energii w latach 1993-2003, Główny Urząd Statystyczny, Warszawa, 2005.
- [6] Keller, B., Yuan, T., Magyari, E. New ways to high comfort and low energy buildings Proceedings of the 2003 4th International Symposium on Heating, Ventilating and Air Conditioning, 2003, pp. 18-26.
- [7] Chwieduk, D.; Prospects for low energy buildings in Poland, Renewable Energy 16 (1-4), 1999, pp. 1196-1199.
- [8] Ziegler, B., Castagna, G.; Examples of low energy buildings issued from ISO standard on management of energy during the design process, Collection of Technical Papers - 4th International Energy Conversion Engineering Conference 1, 2006, pp. 471-476.
- [9] Thomsen, K.E., Schultz, J.M., Poel, B.; Measured performance of 12 demonstration projects - IEA Task 13 "advanced solar low energy buildings" Energy and Buildings 37 (2), 2005, pp. 111-119.
- [10] Corradini, R.; Affiliated companies. FfE. Low energy house. Further savings possible [Organgesellschaften. FfE. Niedrigenergiehaus. Weitere Einsparungen möglich] Brennstoff-Waerme-Kraft 52 (11), 2000, pp. 39.

ECOLOGICAL AND LOW ENERGY HOUSE IN MARCINKOWO NEAR OLSZTYN

SUMMARY

Characteristics of ecological and low energy house in Marcinkowo near Olsztyn and experience of the first period of its usage are presented in this paper. Following power problems were considered at designing: heating, economy of energy, use of energy of the internal and surrounded sources, annual accumulation of heat, cooling in the summer. Ecological aspects of health and favourable influence on environment was also taken into consideration.

II Konferencja SOLINA 2008

ENERGIA ODNAWIALNA
Innowacyjne Rozwiązania
Materiały i Technologie dla Budownictwa



Julia FERENC, mgr inż.

Politechnika Warszawska
Wydział Inżynierii Materiałowej
Zakład Projektowania Materiałów
ul. Wołoska 141, 02-507 Warszawa
e-mail: julia.ferenc@inmat.pw.edu.pl

JAK SFINANSOWAĆ POMYSŁY I POTRZEBY ZWIĄZANE Z ODNAWIALNĄ ENERGIA?

STRESZCZENIE

Potrzeby i pomysły związane z odnawialną energią można finansować z kilku źródeł. Są nimi środki własne, rządowe, prywatni inwestorzy, Fundusze Strukturalne (FS), Programy Ramowe (PR) i Norweski Mechanizm Finansowania. W referacie przedstawiono charakterystykę powyższych źródeł (do)finansowania obszaru energii odnawialnej.

1. WPROWADZENIE

Pomimo decyzji jaką podjęto podczas szczytu Unii Europejskiej w Brukseli w marcu 2007 roku, poziom zaawansowania badań i zastosowań alternatywnych źródeł energii w Polsce jest na poziomie podstawowym [1]. W Brukseli (marzec, 2007 r) przywódcy Państw Członkowskich przyjęli zobowiązanie, że do 2020 roku 20% energii produkowanej w UE będzie pochodzić ze źródeł energii odnawialnej (proponowany cel dla Polski, to 15%).

Niski poziom zaawansowania i wysokie zobowiązania w ograniczonym czasie utworzyły nisze naukowo-rozwojowo-gospodarczą w obszarze Energii Odnawialnej. Taki stan rzeczy wymusza potrzeby i jest natchnieniem dla pomysłów; buduje możliwości dla inicjatyw, które realizowane mogą być przy pomocy różnych źródeł finansowania.

2. MOŻLIWOŚCI FINANSOWANIA POTRZEB I POMYSŁÓW

Potrzeby i pomysły do zrealizowania potrzebują zazwyczaj kapitału. Który nie musi być problemem, jeśli mamy dostęp do źródła finansowania. W przypadku źródeł finansowania „energii odnawialnej” mamy do czynienia z następującymi:

- własne
- rządowe
- prywatnych inwestorów
- Fundusze Strukturalne 2007-2013 (FS)
- Programy Ramowe 2007-2013 (PR)
- Norweski Mechanizm Finansowania

Fundusze własne rozumiane są jako kapitał własny, którego nie trzeba dalej rozwijać. Dofinansowywania ze strony polskiego rządu są zazwyczaj dofinansowaniami do projektów europejskich (projektów w ramach PR lub FS). Pozostałe źródła zostaną scharakteryzowane w kolejnych podrozdziałach.

2.1 Prywatni inwestorzy

Przedsiębiorstwa posiadają skumulowane zasoby pieniężne, które mogą być przeznaczone na inwestycje (np. w nasze pomysły).

Sami lub poprzez firmę pośredniczącą (w ustnym referacie zostanie podany przykład pośrednika) możemy znaleźć przedsiębiorstwo któremu nasze badania/ich implementacja przydadzą się na drodze rozwoju. Po znalezieniu zainteresowanego przedsiębiorstwa, droga do sfinansowania jest krótka (najkrótsza z przedstawionych w referacie).

2.2 Fundusze Strukturalne 2007 – 2013

Fundusze Strukturalne są narzędziem Unii Europejskiej do likwidacji dysproporcji między państwami członkowskimi oraz ich negatywnych skutków występujących na płaszczyźnie politycznej, ekonomicznej, społecznej i kulturowej. Taka polityka UE realizowana jest poprzez dofinansowywanie projektów, które mogą przyczynić się do zlikwidowania dysproporcji między państwami.

Programy FS dofinansowujące projekty związane z energią odnawialną, przedstawiono w Tabeli 1.

Tabela 1. Fundusze Strukturalne dla „energii odnawialnej” [2]

Table 1. The Structural Funds for „renewable energy” [2]

Program Operacyjny Innowacyjna Gospodarka	
Oś priorytetowa	Działanie
1. Badania i rozwój nowoczesnych technologii	1.2 Wzmocnienie potencjału kadrowego nauki
	1.3 Wsparcie projektów B + R na rzecz przedsiębiorców realizowanych przez jednostki naukowe
	1.4 Wsparcie projektów celowych
2. Infrastruktura sfery B + R	2.2 Wsparcie tworzenia wspólnej infrastruktury badawczej jednostek naukowych
	2.3 Inwestycje związane z rozwojem infrastruktury nauki
4. Inwestycje w innowacyjne przedsiębiorstwa	4.1 Wsparcie wdrożeń wyników prac B + R
5. Dyfuzja innowacji	5.1 Wsparcie powiązań kooperacyjnych o znaczeniu ponadregionalnym
	5.4 Zarządzanie własnością intelektualną

Program Operacyjny Kapitał Ludzki	
<i>Oś priorytetowa</i>	<i>Działanie</i>
2. Rozwój zasobów ludzkich i potencjału adaptacyjnego przedsiębiorstw	2.1 Rozwój kadr nowoczesnej gospodarki
4. Szkolnictwo wyższe i nauka	4.1 Rozwój potencjału dydaktycznego uczelni
	4.2 Zwiększenie liczby absolwentów kierunków o znaczeniu kluczowym dla gospodarki opartej na wiedzy
	4.3 Wzmocnienie kompetencji kadr B + R
8. Regionalne kadry gospodarki	8.1 Rozwój pracowników i przedsiębiorstw w regionie
	8.2 Transfer wiedzy
9. Rozwój wykształcenia i kompetencji w regionach	9.3 Upowszechnienie kształcenia ustawicznego
	9.4 Wysoko wykwalifikowane kadry systemu oświaty
Program Operacyjny Infrastruktura i Środowisko	
<i>Oś priorytetowa</i>	<i>Działanie</i>
10. Infrastruktura energetyczna przyjazna środowisku	10.3 Termomodernizacja obiektów użyteczności publicznej
14. Infrastruktura szkolnictwa wyższego	14.1 Infrastruktura szkolnictwa wyższego

2.3 Programy Ramowe 2007-2013

Programy Ramowe finansują inicjatywy kwalifikujące się do celów naukowych i technicznych państw członkowskich Unii Europejskiej. Wspieranie rozwoju energii odnawialnej jest jednym z priorytetów UE. Dlatego ustanowiono następujące programy jej finansowania:

a. Blok WSPÓŁPRACA - wsparcie dla szerokiego zakresu działań badawczych prowadzonych w ramach współpracy międzynarodowej, począwszy od projektów i sieci realizowanych w ramach współpracy, a skończywszy na koordynacji programów badawczych. Międzynarodowa współpraca pomiędzy UE a krajami trzecimi stanowi integralną część tego działania. W bloku wyróżniono następujące priorytety związane z energią odnawialną:

- 1.1 Nanonauki, nanotechnologie, materiały i nowe technologie produkcyjne
- 1.2 Środowisko
- 1.3 Nauki społeczno-ekonomiczne i humanistyczne
- 1.4 Energia

b. Blok POMYSŁY - wsparcie inspirowanych przez naukowców „badań odkrywczych” i prowadzonych we wszystkich dziedzinach nauki i technologii, łącznie z inżynierią, naukami społeczno-ekonomicznymi i humanistycznymi przez pojedyncze zespoły rywalizujące na poziomie europejskim. Program ten ma na celu pobudzenie kreatywności i dążenie do doskonałości.

c. Blok LUDZIE - Działania wspierające szkolenie i rozwijanie kariery naukowców, wzmocnienia potencjału ludzkiego w nauce i badaniach. Ma on zachęcić naukowców do pozostania w Europie lub do przyjazdu do Europy [3]

2.4 Norweski Mechanizm Finansowania

Norweski Mechanizm Finansowania oferuje pomoc materialną działaniom związanym z energią odnawialną poprzez trzy priorytety.

Priorytet 1 – Ochrona środowiska, w tym środowiska ludzkiego, poprzez między innymi redukcję zanieczyszczeń i promowanie odnawialnych źródeł energii.

- rozbudowa miejskich systemów ciepłowniczych w celu eliminowania źródeł niskiej emisji,

- zastąpienie przestarzałych źródeł energii cieplnej nowoczesnymi.

Priorytet 2 – Promowanie zrównoważonego rozwoju poprzez lepsze wykorzystanie i zarządzanie zasobami w tym:

- zmniejszenie energo-, materiało- i wodochłonności produkcji i usług poprzez poprawę efektywności wykorzystania zasobów produkcyjnych,

- wykorzystanie odnawialnych źródeł energii,

- wspieranie procesu tworzenia „zielonych” miejsc pracy i „zielonych zamówień”,

- działania na rzecz poprawy poziomu edukacji ekologicznej,

Priorytet 6 – Dotacje na badania naukowe projektów badawczych ze wszystkich dziedzin i dyscyplin naukowych realizowanych w ramach Mechanizmu Finansowego EOG (Europejski Obszar Gospodarczy) oraz Norweskiego Mechanizmu Finansowania [4].

3. PODSUMOWANIE

Mając pomysł, potrzebę do zaspokojenia, pamiętajmy o możliwości do(finansowania) jej realizacji. Możliwościami stwarzają nam następujące narzędzia finansowe: środki własne, dotacje rządowe prywatni inwestorzy, Fundusze Strukturalne, Programy Ramowe i Norweskie Mechanizmy Finansowania. Podmioty, które skorzystały dotychczas z przedstawionych źródeł finansowania twierdzą, że było warto.

4. LITERATURA

[1] Polska Izba Gospodarcza Energii Odnawialnej;

http://www.pigeo.org.pl/index.php?a=10002&id_a=55

[2] Centrum Transferu Technologii, Politechnika Krakowska;

http://www.transfer.edu.pl/FS2007-13/FS_dla_nauki-2007-13.pdf

[3] Krajowy Punkt Kontaktowy; <http://www.kpk.gov.pl>

[4] Europejski Obszar Gospodarczy; <http://www.eog.pl>

IDEAS AND NEEDS AROUND THE GREEN ENERGY – HOW TO FINANCE THEM?

SUMMARY

Ideas and Needs require financing. Financing may origin from different sources. The sources are as follows: own capital, government funds, private investors, Structural Funds, Framework Programs and Norwegian Financing Mechanisms. The essay presents each of the financing source with respect to “renewable energy”.

II Konferencja SOLINA 2008

ENERGIA ODNAWIALNA
Innowacyjne Rozwiązania
Materiały i Technologie dla Budownictwa



Jolanta FIEDUCIK, dr

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski
Wydział Nauk Technicznych
ul. Oczapowskiego 11, 10-900 Olsztyn
e-mail: jfieduci@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

POTENCJALNE MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA ENERGII SŁONECZNEJ W BUDOWNICTWIE

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono potencjalne możliwości wykorzystania promieniowania słonecznego, jako źródła energii w budownictwie. Szczególną uwagę zwrócono na zdolności absorpcyjne i emisyjne różnych materiałów używanych do przetwarzania energii słonecznej. Wskazano praktyczne kierunki dotyczące zastosowania odpowiednich konstrukcji i materiałów do przetwarzania energii słonecznej. Przedstawiono także niektóre praktyczne urządzenia wykorzystujące w budownictwie promieniowanie słoneczne do ogrzewania budynku oraz ciepłej wody użytkowej.

1. WSTĘP

Uzyskiwanie energii, możliwie najniższym kosztem i przy jednoczesnym zapewnieniu ochrony środowiska naturalnego, jest celem wielu programów badawczych i wdrożeniowych. Jednym z istotnych obszarów tego działania jest wykorzystanie energii

słonecznej w budownictwie. Dotyczy to intensywnie rozwijającego się budownictwa oszczędzającego energię do celów bytowych. Szczególnym rodzajem budownictwa są domy pasywne, które w kompleksowym bilansie energetycznym uwzględniają w kalkulacjach energetycznych prawie każdy dżul energii.

Energia słoneczna w budownictwie jest wykorzystywana w wyniku przetwarzania w różnych mechanizmach fizycznych. Celem tych działań jest przejście możliwie jak największej energii słonecznej do celów bytowych.

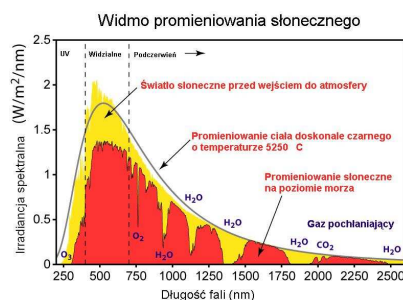
Zasadnicze procesy fizyczne prowadzące do efektywnego wykorzystywania energii słonecznej w budownictwie są następujące:

- bezpośrednia absorpcja energii słonecznej na powierzchniach budynków,
- wychwyt energii słonecznej w wyniku procesów przetwarzania tej energii na energię emisyjną w obszarze podczerwieni,
- absorpcja energii słonecznej poprzez przepływającą ciecz lub gaz,
- przetwarzanie energii słonecznej w bateriach fotowoltaicznych na energię elektryczną,
- minimalizacja strat energii powodowanych przez przewodnictwo ciepłe i systemy wentylacyjne.

Celem tego artykułu jest dokonanie analizy potencjalnej wydajności w przetwarzaniu energii słonecznej na inne rodzaje energii oraz prześledzenie aktualnych rozwiązań i ofert technicznych dotyczących praktycznych systemów przetwarzania energii słonecznej.

2. FIZYCZNE PODSTAWY KONWERSJI ENERGII

Źródłem wszelkiego rodzaju energii otrzymywanej z Słońca jest strumień energii niesiony przez widmo promieniowania elektromagnetycznego Słońca. Całkowity strumień energii promieniowania, jaką maksymalnie dostarcza Słońce na naszej szerokości geograficznej wynosi około $E = 1300$ watów na metr kwadratowy [W/m^2]. Szacuje się, że średnia wartość strumienia energii, jaki może być wykorzystany z promieniowania słonecznego wynosi około 300 W/m^2 [10, 15]. Ta ostatnia wielkość określa średni strumień energii niesionej przez promieniowanie słoneczne do powierzchni Ziemi w ciągu roku, niezależnie od warunków atmosferycznych w ciągu danego dnia. W celu wykorzystania energii promieniowania słonecznego niezwykle ważne jest widmo tego promieniowania docierające do powierzchni Ziemi. Widmo promieniowania docierające do powierzchni Ziemi, po absorpcji i rozproszeniu w atmosferze ziemskiej, przedstawia rys. 1.



Rys. 1 Widmo promieniowania słonecznego w funkcji długości fali [7]

Fig. 1. Solar radiation spectrum as a function of wavelength [7]

Rysunek 1 przedstawia wartość strumienia energii promieniowania słonecznego (w watach na metr kwadratowy) padającego na powierzchnię Ziemi na jednostkowy przedział długości fali promieniowania [nanometr - nm]. Jednocześnie, na rysunku przedstawione jest przybliżenie widma słonecznego, widmem emisyjnym ciała doskonale czarnego o temperaturze $T=5250$ K. Z rysunku widać także, że widmo promieniowania słonecznego docierające do powierzchni Ziemi jest znacznie zniekształcone poprzez absorpcje na różnych gazach w atmosferze ziemskiej.

Wykorzystanie całkowitej energii widma promieniowania słonecznego jest możliwe wówczas, gdy to promieniowanie zostanie zaabsorbowane na oświetlanej powierzchni i przetworzone na energię ciepłą, elektryczną lub inny rodzaj energii.

3. WYKORZYSTANIE PROMIENIOWANIA SŁONECZNEGO DO OGRZEWANIA POWIERZCHNI BUDYNKÓW

Rozpatrzmy potencjalne możliwości wykorzystania promieniowania słonecznego do ogrzewania powierzchni budynków mieszkalnych. Energia promieniowania przekazana do powierzchni budynku może także być wykorzystana do ogrzania wody lub innej cieczy, a także gazu [8, 9]. Przyjmijmy, że promieniowanie słoneczne posiada widmo zbliżone do widma ciała doskonale czarnego oraz że widmo emitowane przez ogrzane powierzchnie budynków jest także zbliżone do widma ciała doskonale czarnego. Załóżmy jednocześnie, że w rozpatrywanym układzie inne rodzaje energii są do pominięcia, to dla warunków równowagi pomiędzy energią absorbowaną i emitowaną z powierzchni mamy:

$$K \alpha \cdot \sigma \cdot T_1^4 = E = 2 \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_2^4 \quad (1)$$

gdzie: K - jest współczynnikiem określającym jaką część widma Słońca dociera do powierzchni Ziemi, σ - jest stałą Stefana - Boltzmana, α - jest uśrednionym po długościach fal współczynnikiem absorpcji promieniowania słonecznego na oświetlanej powierzchni, natomiast ε - jest współczynnikiem, uśrednionym po długościach fal, określającym zdolność emisyjną ciała absorbującego. Z prawej strony równania (1) pojawia się czynnik 2, gdyż przyjęto, że powierzchnia emisyjna ciała oświetlanego jest dwa razy większa od powierzchni oświetlanej.

W przypadku widma emisyjnego Słońca, przybliżonego widmem ciała doskonale czarnego, temperatura powierzchni Słońca T_1 wynosi około 5250 stopni kelwina (rys. 1).

W celu określenia potencjalnych możliwości wykorzystania promieniowania słonecznego na podstawie równania (1), ważna jest wartość relacji α/ε . Z kolei, o możliwości wykorzystania ciepła uzyskanego z promieniowania słonecznego decyduje temperatura T_2 . Z wzoru (1) widać, że jeżeli wartość relacji α/ε będzie duża, to temperatura (T_2) będzie względnie wysoka. Zatem, w przypadku dużej zdolności absorpcyjnej ciała na które pada promieniowanie słoneczne, a małej zdolności emisyjnej (np. materiału pokrywającego budynek), uzyskana temperatura oświetlanego elementu będzie względnie wysoka. Jednocześnie, zgodnie z drugą zasadą termodynamiki mamy, że im wyższa jest różnica temperatur, tym wyższa jest sprawność przetwarzania energii. W powyższym przypadku źródłem ciepła jest powierzchnia budynku, natomiast odbiornikiem, otoczenie. Współczynniki α i ε mogą zmieniać swoje wartości praktycznie w przedziale od prawie zera do jedności. Współczynnik absorpcji promieniowania (współczynnik α) może być wówczas maksymalny, gdy powierzchnia na którą pada promieniowanie nie odbija ani nie rozprasza promieniowania. Całkowity współczynnik odbicia i rozproszenia światła

padającego (określany jako albedo) zależy od rodzaju materiału i struktury jego powierzchni. Albedo może zmieniać się od wartości 0,04 dla powierzchni morza, poprzez wartość około 0,4 dla suchego piasku, aż do wartości około 0,95 dla świeżego śniegu. Światło odbite i rozproszone od powierzchni jest światłem straconym dla celów związanych z wykorzystaniem energii słonecznej.

Istnieje kilka różnych metod zmniejszania współczynnika odbicia oraz rozproszenia promieniowania. W celu zmniejszenia współczynnika odbicia stosowane są warstwy przeciwoodbiciowe, które potrafią całkowicie zniwelować odbicie promieniowania [2,3,12,14]. Warstwy te są stosowane na gładkich powierzchniach okien, powierzchniach absorberów promieniowania słonecznego, powierzchniach fotowoltaicznych lub innych wybranych układach absorbujących promieniowanie. Istota budowy warstw przeciwoodbiciowych polega na pokrywaniu powierzchni, na którą pada promieniowanie elektromagnetyczne, cienką warstwą odpowiedniego materiału o grubości wynoszącej około 1/4 długości fali padającego promieniowania. Jeżeli powierzchnia nie jest gładka, wytworzenie klasycznej warstwy przeciwoodbiciowej jest praktycznie niemożliwe. Dla porowatych powierzchni (np. ścian budynku), całkowitej absorpcji promieniowania padającego można dokonać poprzez pokrycie tej powierzchni odpowiednią absorbującą farbą lub też w wyniku stosowania tzw. pułapek światła [1,4,11,13,16].

Pułapka światła może mieć różną formę. Są to odpowiednio dobrane konstrukcje geometryczne lub też celowo zmodyfikowane powierzchnie materiałów (np. powierzchnie zbliżone do struktury powierzchni łydy). Takimi materiałami mogą być odpowiednie polimery używane do tynkowania, na okna czy dachy. Istotą pułapki światła jest, aby przejąć maksymalnie wydajnie energię padającego promieniowania. Zwykle, pułapki światła przejmują prawie całkowicie energię padającego promieniowania.

Pułapki światła powodują, że powierzchnia całkowicie absorbuje promieniowanie, natomiast w przypadku warstwy przeciwoodbiciowej, absorpcja promieniowania zwykle odbywa się w głębi oświetlanego obiektu. Ważnym również jest, aby absorbująca lub przepuszczająca promieniowanie powierzchnia miała także mały współczynnik emisyjności. W takich warunkach absorpcji promieniowania słonecznego, temperatura powierzchni będzie względnie wysoka i w wyniku stosowania takich układów w technice otrzymamy dużą wydajność przetwarzania energii słonecznej.

Wybrane wartości współczynnika emisyjności niektórych materiałów stosowanych na powierzchnię w budownictwie, podane są w tabeli 1.

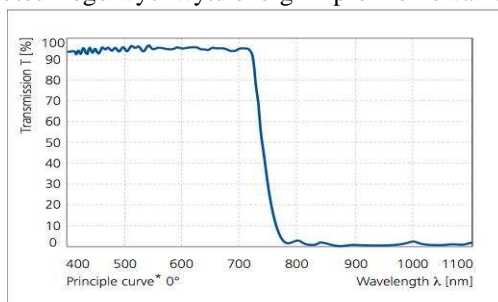
Tabela 1. Wartości średniego współczynnika emisyjności (ϵ) wybranych materiałów.

Materiał	Współczynnik emisyjności	Materiał	Współczynnik emisyjności
Cegła czerwona	0,9	Miedź utleniona	0,8
Beton	0,9	Aluminium	0,09
Szkło	0,9	Miedź	0,02
Gips	0,85	Śnieg	0,8
Piasek	0,9	Stal	0,1

Biorąc pod uwagę wzór (1), oraz wartości współczynnika emisyjności podane w tabeli 1, przy założeniu, że współczynnik absorpcji promieniowania jest bliski jedności, to w szczególnie korzystnych warunkach, temperatura powierzchni oświetlanej przez Słońce może dochodzić nawet do kilkuset stopni Celsjusza. Stąd, metale pokrywające

dachy bardzo silnie nagrzewają się pod wpływem promieniowania słonecznego z powodu małego współczynnika emisyjności czystych metali (tabela 1). Omówiony powyżej sposób pozyskania energii słonecznej jest przydatny do bezpośredniego ogrzewania wybranej objętości lub czynnika roboczego, takiego jak ciecz lub gaz stosowany w obiegu termodynamicznym z obszarem podgrzewania w pobliżu powierzchni [8,9,10,15]. Jest to masowo stosowane w słonecznych wymiennikach ciepła opartych na ciekłych lub gazowych czynnikach roboczych.

Zupełnie innym sposobem przechwytu energii słonecznej jest metoda oparta na wykorzystaniu okien optycznych o odpowiedniej charakterystyce spektralnej. Dla celów absorpcji energii promieniowania słonecznego stosuje się okna optyczne przepuszczające promieniowanie widzialne, a odbijające promieniowanie podczerwone. Istota działania takiego okna jest zbliżona do zjawisk wykorzystujących efekt cieplarniany, przy czym absorpcja energii padającego promieniowania i przetworzenie jej na ciepło, odbywa się w głębi budynku. Schemat charakterystyki spektralnej okna spełniającego powyższe wymagania przedstawia rys. 2. Podczas przejmowania energii słonecznej, promieniowanie o krótszych długościach fal (na rys. 2 promieniowanie o długości fali krótszej niż $\lambda = 750$ nm) wnika przez okno do środka budynku i w wyniku absorpcji ogrzewa wnętrze. Ogrzane wnętrze emituje promieniowanie podczerwone o znacznie większych długościach fal, które jest odbijane od okna i nie może opuścić wnętrza budynku. Prowadzi to do ogrzania budynku i skutecznego wychwytu energii z promieniowania słonecznego.



Rys. 2 Charakterystyka spektralna okna zatrzymującego promieniowanie cieplne[15]

Fig. 2 Spectral characteristics of window blocking thermal emission [15]

W przypadku gdyby parametry przepuszczania i odbijania przezroczystego szkła były odwrotne względem długości fal, okna tego typu chroniłyby przed promieniowaniem słonecznym i zapewniały względne chłodzenie pomieszczeń.

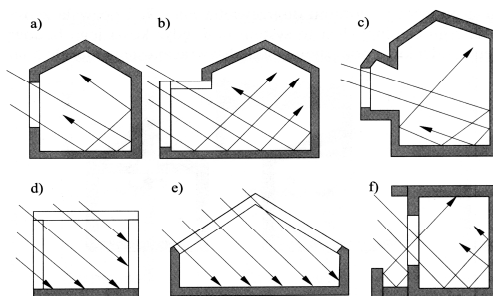
4. BATERIE FOTOWOLTAICZNE

Dla promieniowania słonecznego o energii kwantu ponad jeden elektronowolt (praktycznie dotyczy to promieniowania widzialnego i ultrafioletowego), istnieje możliwość bezpośredniej zamiany energii promieniowania słonecznego na energię elektryczną. Jest to niezwykle korzystny sposób przetwarzania energii, gdyż energia elektryczna jest łatwo transportowana do odbiorników i wiele urządzeń jest przystosowanych do wykorzystania energii elektrycznej. Wydajność standartowych, używanych obecnie baterii fotowoltaicznych wynosi około 12 %. Jest to wydajność znacznie mniejsza niż całkowita sprawność urządzeń wykorzystujących promieniowanie słoneczne do celów grzewczych, która dochodzi do 50%.

5. PRAKTYCZNE WYKORZYSTANIE ENERGII PROMIENIOWANIA SŁONECZNEGO W BUDOWNICTWIE

W naszych warunkach klimatycznych w budownictwie, w coraz szerszym zakresie, wykorzystuje się energię promieniowania słonecznego do ogrzewania wody użytkowej oraz w celu ogrzewania pomieszczeń. Ze względu na sposób przepływu czynnika roboczego instalacje słoneczne dzielimy na bierne i aktywne. Przy wykorzystaniu konwekcji swobodnej, wynikającej z różnicy temperatur czynnika roboczego występującego między różnymi częściami instalacji, mamy do czynienia z bierną instalacją słoneczną, natomiast przy przepływie wymuszonym z instalacją aktywną.

Bierne instalacje słoneczne mają zastosowanie, przede wszystkim, do ogrzewania budynków. W tym względzie bardzo ważny jest projekt architektoniczny, który powinien pozwalać na maksymalne wykorzystanie energii słonecznej. Podstawowym warunkiem efektywnego wykorzystywania energii słonecznej jest również odpowiednie usytuowanie budynku względem stron świata. Najkorzystniej jest, gdy najdłuższa ściana znajdzie się na osi wschód – zachód i skierowana jest na południe. Bierna instalacja grzewcza wtedy wykorzystuje elementy konstrukcyjne budynków, tj. ściany, okna i stropy do absorbowania promieniowania słonecznego i magazynowania uzyskiwanego ciepła. Przepływ ciepła w tych instalacjach zdeterminowany jest głównie przez konstrukcję budynku i właściwości fizyczne materiałów budowlanych, z których wykonane zostały części budynku będące elementami instalacji. Na poniższym rysunku przedstawiono bierne sposoby ogrzewania budynków.



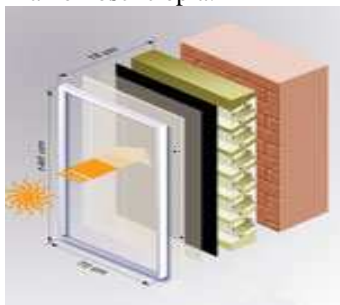
Rys. 3 Bierne sposoby przekazywania promieniowania słonecznego w budynku [10]

Fig.3 A some possibilities for transferring of solar energy emission into building [10]

Jeszcze innym rozwiązaniem jest wysunięty poza dach okap, który chroni w lecie okna przed promieniami słonecznymi. Z kolei, w okresie zimowym, gdy słońce jest nisko, jego promienie swobodnie docierają do wnętrza budynku. Wybierając działkę i planując rozmieszczenie na niej drzew, krzewów lub jakiegokolwiek zabudowy, warto zwrócić uwagę na to, aby zimą nie rzucały cienia na południową fasadę budynku. Przemysłane rozmieszczenie roślin na działce, zwłaszcza drzew, umożliwia regulowanie dopływu promieni słonecznych do budynku. Rosnące w odpowiednim miejscu drzewa liściaste latem zatrzymują około 90% promieniowania, natomiast zimą, kiedy tracą liście, zatrzymują już tylko około 50% promieniowania i jest to korzystne z energetycznego punktu widzenia. Również ważna jest, przy wykorzystaniu promieniowania słonecznego, kolorystyka ścian budynku.

Do biernych sposobów praktycznych przejmowania energii słonecznej, stosowanych w budownictwie można zaliczyć panele „RymSol” [8]. Podobne panele produkują

także inne firmy takie jak Viessmann [9]. Jest to rodzaj izolacji termicznej, posiadającej możliwość pochłaniania promieniowania słonecznego i oddawania go do muru w postaci ciepła. Panele charakteryzują się wyjątkowo dobrymi właściwościami izolacyjnymi. Współczynnik przenikania ciepła U wynosi $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ i występuje duża penetracja słoneczna wynosząca około 45%. Działanie paneli jest oparte na zasadzie konwekcji, gdzie powietrze ogrzane energią słoneczną w strefie absorbera unosi się do góry i w kanałach warstwy izolacyjnej oddaje ciepło do ściany. Po ochłodzeniu powietrze zwiększa swoją gęstość i opada ponownie do strefy absorbera. W ciągu nocy z powodu niższej temperatury absorbera następuje rozwarstwienie i unieruchomienie warstw powietrza w przewodach. Dzięki temu moduły działają i są sterowane samoistnie do optymalnego poboru energii słonecznej i izolacji nocą, bez udziału dodatkowej energii z zewnątrz. Panele te są montowane bezpośrednio na masywnej ścianie, na stronie o orientacji od wschodniej do zachodniej. W lecie panele zakrywa się żaluzją odbijającą promieniowanie słoneczne i dzięki temu pochłaniają minimalne ilości ciepła.



Rys. 4 Schemat paneli firmy „RymSol”[8]

Fig.4.Schema of panel from firm „RymSol”[8]

Do aktywnych systemów wykorzystania energii słonecznej należą instalacje z kolektorami słonecznymi, które w naszych warunkach klimatycznych stosuje się przede wszystkim do ogrzewania ciepłej wody użytkowej. Najważniejszym elementem kolektorów słonecznych jest absorber, który absorbuje energię promieniowania słonecznego. Ciepło z absorbera jest odbierane przez czynnik roboczy płynący przez węzownicę kolektora. W zależności od czynnika roboczego przenoszącego ciepło wyróżniamy dwa rodzaje kolektorów: cieczowe i powietrzne. Natomiast ze względu na budowę kolektory dzielimy na: płaskie, próżniowe i magazynujące. Kolektory próżniowe mają kształt cylindryczny i jako izolację termiczną stosuje się próżnię. W większości kolektorów próżniowych wykorzystuje się promieniowanie bezpośrednie i rozproszone. Przy temperaturze czynnika roboczego na wylocie z kolektora przekraczającej 80 C° , sprawność z jaką przetwarzają one energię promieniowania słonecznego na ciepło użyteczne jest znacznie większa niż w przypadku kolektorów płaskich.

6. PODSUMOWANIE

W ostatnich latach trwają intensywne badania nad materiałami budowlanymi wykorzystującymi promieniowanie słoneczne. Z analizy wynika, że istnieją duże możliwości w tym zakresie.

Zastosowanie biernego systemu do ogrzewania budynku przez promieniowanie słoneczne pozwala zaoszczędzić do 40% energii cieplnej [6]. Natomiast szacuje się, że w przypadku zastosowania kolektorów słonecznych można zaoszczędzić około 60%

kosztów na ogrzewanie ciepłej wody użytkowej. Są to bardzo ważne zagadnienia dotyczące oszczędności kosztów wydawanych na ogrzewanie budynków oraz do podgrzewania wody użytkowej, ale również bardzo znaczące dla ochrony środowiska.

7. LITERATURA

1. Brendel R., Gier A., Menning M., Schmidt H., Werner J. H., Sol-gel coatings for light trapping in crystalline thin film silicon solar cells, *J. of Non-Crystalline Solids*, 218, (1997), pp. 391-394
2. Chen D., Antireflection (AR) coatings made by sol-gel process, *Solar Energy Mater. Solar Cells* 68(2001), pp. 313-336
3. Crawford F. C., Fale, PWN Warszawa 1973 r.
4. Davies P. A., Light trapping lenses for solar cells, *Applied Optics*, 31, 6021 (1992)
5. Ealing Optics Katalog 84/85
6. Feist W., Podstawy budownictwa pasywnego, Polski Instytut Budownictwa Pasywnego, Gdańsk 2006 r.
7. http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_radiation
8. Katalog firmy RymSol 2007 r.
9. Katalog firmy Viessmann 2007 r.
10. Lewandowski W., Proekologiczne odnawialne źródła energii, Wydawnictwo Naukowo Techniczne 2003 r.
11. Nowinsky L., Handbook of light trapping, Savaria University Press, 2000
12. Richards B. S., Single materials TiO_2 double-layer antireflection coating, *Solar Energy Mater. Solar Cells*, 79, (2003), pp. 369-390.
13. Saraf L. V., Engelhard M. H., Lea A. S., Fabrication of SiO_2 microdisc array for optics and light trapping experiment, *Microelectronic Engineering*, 84(2007) 2799-2803.
14. Schulz U., Review of modern techniques to generate antireflective properties on thermoplastic polymers, *Applied Optics*, 45 (2006), pp. 1608-1618.
15. Smolec W., Fototermiczna konwersja energii słonecznej, Wydawnictwo Naukowo Techniczne 2000 r.
16. Vlasov V.A., Myshkin V.F., Chernov D.G., Light-absorbing coating, *Science and technology*, 3, (2003) 283-286.
17. Wnuk R., Budowa domu pasywnego w praktyce, Przewodnik Budowlany 2006 r.

POTENTIAL POSSIBILITIES OF UTILIZATION SOLAR RADIATION ENERGY IN BUILDING SYSTEM

SUMMARY

The possibilities of utilization of solar energy radiation as a source of energy in building systems are discussed. Special attention was focus on absorption and emission properties of a different materials using to solar energy conversion. It was shown the directions of possible developing the solar energy systems about its construction and properties of using materials. A some practical systems for solar energy conversion in building apartment house for warming and hot water preparation are presented.

II Konferencja SOLINA 2008
ENERGIA ODNAWIALNA
Innowacyjne Rozwiązania
Materiały i Technologie dla Budownictwa



Halina GARBALIŃSKA, dr hab. inż., prof. nadzw. PS
Agata SIWIŃSKA, mgr inż.

Politechnika Szczecińska
Wydział Budownictwa i Architektury
Al. Piastów 50, 70-311 Szczecin
e-mail: halina@ps.pl, siwinska@ps.pl

**OCENA PORÓWNAWCZA STACJONARNEJ
I NIESTACJONARNEJ TECHNIKI POMIARU
PRZEWODNOŚCI CIEPLNEJ**

STRESZCZENIE

Referat dotyczy badań współczynników przewodzenia ciepła materiałów budowlanych przeprowadzonych dwiema metodami: stacjonarną i niestacjonarną. Badania zrealizowano na materiałach o różnym stopniu zawilgocenia, od stanu suchego do nasyconego. W pomiarach prowadzonych metodą stacjonarną wykorzystano aparat płytowy z osłoniętą płytą grzejną GHP8302.3, natomiast pomiary niestacjonarne przeprowadzono aparatem ISOMET2104 z sondą przylgową. Oceniano kompatybilność zastosowanych metod pomiarowych.

1. WPROWADZENIE

Współczynnik przewodzenia ciepła λ materiału budowlanego można wyznaczyć z dowolnego zadania przewodzenia ciepła, gdyż po przekształceniu jest on funkcją pozostałych parametrów, które należy ustalić na drodze doświadczalnej. Rozwiązanie problemu sprowadza się do określenia pola temperatury, tj. podania zależności funkcyjnej temperatury od położenia i czasu. W związku z tym istnieje wiele metod pomiarowych, które można podzielić na dwie zasadnicze grupy [2]. Są to metody ustalonego strumienia cieplnego (metody stacjonarne) oraz metody nieustalonego strumienia cieplnego (niestacjonarne).

Metody i techniki pomiaru współczynnika przewodzenia ciepła wymagają od badacza, przed przystąpieniem do pomiarów, zwrócenia uwagi na cechy badanych materiałów, metod i stosowanych aparatów. Wybór właściwej metody pomiaru współczynnika przewodzenia ciepła ma istotne znaczenie dla uzyskania właściwego efektu w przeprowadzanych badaniach i otrzymania możliwie dobrej dokładności.

Jeśli chodzi o przedmiot badań to należy zwrócić uwagę na jego właściwości, które mogą determinować pobieranie próbek, ich trwałość, odporność na ściskanie i odkształcenia, możliwość obróbki powierzchni pobranej próbki, zmiany powierzchniowe powstające przy obróbce, a także możliwość wstępnej oceny rzędu wielkości λ , jak również wpływu struktury na badany parametr.

Przeanalizowanie właściwości materiałów pozwala w dalszej kolejności wybrać odpowiednią metodę pomiaru: absolutną lub porównawczą, szybką lub długotrwałą, o średnim lub wąskim zakresie mierzonych wartości, wymagającą dokładnej znajomości właściwości materiału lub nie, nie eliminującą oporów kontaktu, pozwalającą je eliminować lub ich nie mającą. Rodzaj materiału w dużym stopniu determinuje więc konstrukcję przyrządu oraz metodykę badań.

Uwagi wymagają również właściwości wybranego aparatu pomiarowego. Chodzi tu między innymi o wielkość aparatu, jego stopień komplikacji i trudności w obsłudze, wpływ oddziaływania otoczenia, możliwość komputerowego sterowania.

W referacie przedstawiono wyniki badań współczynnika przewodzenia ciepła zrealizowane na sześciu materiałach budowlanych o różnym stopniu zawilgocenia. Z grupy metod stacjonarnych wybrano aparat płytowy z osłoniętą płytą grzejną GHP8302.3, natomiast z metod niestacjonarnych zdecydowano się na aparat ISOMET2104 z sondą przylgową. Oceniano kompatybilność zastosowanych metod.

2. PRÓBKİ DO BADAŃ

Do badań przyjęto dwie grupy materiałów budowlanych. Były to materiały gotowe: cegła ceramiczna CC, cegła silikatowa CS, beton komórkowy BK oraz materiały wykonywane w laboratorium: zaprawa cementowa ZC, zaprawa cementowa modyfikowana włóknami polipropylenowymi ZM, zaprawa cementowo-wapienna ZCW.

W przypadku cegły ceramicznej i cegły silikatowej próbki do badań przygotowywano na bazie gotowych, fabrycznie wykonanych elementów o wymiarach 6,5×12×25 cm. Natomiast próbki z betonu komórkowego przycinano z bloczków o wymiarach 12×24×59,5 cm.

Natomiast próbki z zapraw zostały wykonane we własnym zakresie w warunkach laboratoryjnych. Do wykonania próbek wykorzystano formy 25×25×6 cm. Poszczególne mieszanki, w przeliczeniu na 1 dm³, sporządzono według następujących receptur [5]:

- zaprawa cementowa (ZC): cement 490 g, woda 270 g, piasek 1519 g, w/c=0,55,
- zaprawa modyfikowana (ZM): cement 490 g, woda 270 g, piasek 1519 g, włókna fibermix dł. 3 mm 0,9 g, w/c=0,55,
- zaprawa cementowo-wapienna (ZCW): cement 194 g, wapno 194 g, woda 336 g, piasek 1164 g, w/c=1,73, w/s=0,87.

Wszystkim próbkom wyrównano powierzchnie czołowe na profesjonalnych szlifierkach. Dzięki temu powierzchnie dokładnie przylegały do grzejnika i chłodnicy aparatu. W przypadku materiałów gotowych zeszlifowano również powierzchnie styku obu

cegieł, tak aby dobrze do siebie przylegały. Następnie wszystkie próbki zostały wysuszone do stałej masy początkowo nad żelazem krzemionkowym, a następnie w suszarkach w temperaturze 40°C. Określono gęstość próbek, a wyniki zebrano w Tabeli 1.

Tabela 1. Średnia gęstość próbek do badania współczynnika przewodzenia ciepła
Table 1. Average density of samples for research of thermal conductivity
coefficient

Materiał	ρ [g/cm ³]	s_ρ [g/cm ³]
Cegła ceramiczna	1,543	0,0214
Cegła silikatowa	1,804	0,0313
Beton komórkowy	0,603	0,0082
Zaprawa cementowa	2,066	0,0336
Zaprawa modyfikowana	2,020	0,0314
Zaprawa cementowo-wapienna	1,737	0,0244

Badaniom poddano materiały o różnym stopniu zawilgocenia. Poziomy wilgotności były następujące: materiał suchy, materiał o pośrednich poziomach wilgotności sorpcyjnej stymulowanych przy $\phi \approx 11, 33, 54, 75, 85, 98\%$ (przy temperaturze około 20°C), materiał nasycony wodą.

Po zakończeniu prac przygotowawczych próbki wszystkich materiałów umieszczono na rusztach w szczelnych pojemnikach z ustaloną wilgotnością względną powietrza. Podczas kondycjonowania próbek dokonywano okresowych odczytów zmiany masy. Odstępy pomiędzy pomiarami wynosiły 1 miesiąc. Zdecydowano się na tak duży interwał czasowy z uwagi na duże wymiary próbek oraz na długi czas stabilizacji wilgotności we wnętrzu skrzyń po uprzednim ich otworzeniu. Wilgotność względną powietrza w szczelnych skrzyniach uzyskiwano dzięki nasyconym roztworom odpowiednich soli, umieszczając po około 12 litrów każdego roztworu w każdej skrzyni. Do badań współczynnika przewodzenia ciepła przystąpiono po rocznym kondycjonowaniu próbek w przyjętych warunkach wilgotnościowych. Oprócz próbek o pośrednim poziomie wilgotności badaniom poddano też materiały wysuszone do stałej masy w temperaturze 40°C oraz 105°C, a także nasycone wodą po obu cyklach suszenia.

W związku z tym, że badaniom poddawano materiały o różnym stopniu zawilgocenia, próbki do badań zostały szczelnie zaizolowane folią aluminiową. Umieszczenie próbek w powłoce paroszczelnej miało zapobiec przemieszczaniu wilgoci do próbki i z próbki.

3. PRZEBIEG BADAŃ TECHNIKĄ STACJONARNĄ

Badania wykonano na aparacie płytowym z osłoniętą płytą grzejącą GHP8302.3 widocznym na Rys. 1. Aparat GHP8302.3 jest instrumentem pomiarowym służącym do określenia właściwości związanych z przewodzeniem ciepła w warunkach ustalonych – stabilizowanych w płaskich próbkach płytowych [3, 4]. Przygotowane do badań próbki umieszczano w aparacie pomiędzy płytą grzejącą i chłodzącą. Badanie każdej próbki odbywało się w zakresie temperatur od około 10°C do około 30°C. Różnica temperatur

między płytą grzejącą i chłodzącą wynosiła w przybliżeniu 20°C. Pomiar grubości próbki dokonywany był w aparacie po przyłożeniu na nią nacisku około 2500 Pa.



Rys. 1. Aparat płytowy GHP8302.3

Fig. 1. plate apparatus ghp8302.3

Pomiary trwały do momentu osiągnięcia ustalonego przepływu ciepła. Warunki te założono przed rozpoczęciem pomiaru. Wymagania w odniesieniu do mierzonych wielkości sprecyzowano następująco: współczynnik przewodzenia ciepła 1%, temperatura płyty grzejnej 0,5%, temperatura płyty chłodzącej 0,5%, równowaga osłony 0,5 K. Pomiar na aparacie GHP8302.3 trwał do momentu, gdy następujące po sobie zestawy obserwacji dawały odczyty, które nie różniły się więcej niż o wymienione powyżej wartości.

Dysponując zmierzonymi parametrami λ wyznaczono zależności $\lambda(w)$ dla każdego z sześciu testowanych materiałów przy różnych poziomach wilgotności: materiał suchy, materiał o pośrednich poziomach wilgotności sorpcyjnej stymulowanych nad sześcioma roztworami higrostatycznymi, materiał nasycony. W celu porównania wyników uzyskanych dla dwóch skrajnych przypadków (dla materiałów wysuszonych do stałej masy oraz nasączonych) wykonano niezależne badania na materiałach wysuszonych w temperaturze 40°C oraz 105°C, a następnie nasączonych wodą.

Wyniki pochodzące bezpośrednio z badań zestawiono w Tabeli 2. Natomiast w Tabeli 3 pokazane są równania matematyczne opisujące liniowe zależności λ od zawilgocenia w poszczególnych materiałach oraz wartości R^2 [5].

4. PRZEBIEG BADAŃ TECHNIKĄ NIESTACJONARNĄ

Do badań wykorzystano próbki wcześniej przygotowane do pomiarów na aparacie płytowym. W związku z tym nie wymagały one dodatkowego przygotowania i obróbki. Pomiary wykonano bezpośrednio po zakończeniu pomiarów na aparacie płytowym GHP8302.3 wykorzystując do tego celu aparat ISOMET2104 przedstawiony na Rys 2.

Badania wykonywano za każdym razem w jednym punkcie pomiarowym na każdej próbce, a mianowicie w części centralnej. W każdym miejscu pomiarowym wykonano po trzy odczyty.

Zastosowana w przyrządzie dynamiczna metoda pomiaru zmniejsza czas pomiaru przewodnictwa ciepła do 10÷16 minut. ISOMET2104 jest wielofunkcyjnym instrumentem

do pomiaru współczynnika przewodzenia ciepła λ [W/(mK)], dyfuzyjności cieplnej a [m²/s], pojemności cieplnej $c\rho$ [J/(m³K)] oraz temperatury T [°C].



Rys.2. Aparat ISOMET2104
Fig. 2. Apparatus ISOMET2104

Pomiar aparatem oparty jest na analizie temperaturowej odpowiedzi badanego materiału. Strumień ciepła jest wytwarzany przez elektryczne ogrzewanie przy użyciu grzejnika opornika umieszczonego w sondzie i mającego bezpośredni kontakt cieplny z powierzchnią próbki. Ocena przewodnictwa cieplnego i pojemności cieplnej oparta jest na okresowych zapisach temperatury w funkcji czasu – pod warunkiem, że propagacja ciepła występuje w nieograniczonym ośrodku.

Na dokładność pomiaru mogą wpływać warunki pomiaru, takie jak: jakość cieplnego kontaktu sondy i badanej próbki oraz jej wymiary, niejednorodność, anizotropia i zawilgocenie, a także wahania temperatury i prądu.

Wyniki badań zrealizowanych techniką niestacjonarną zestawiono w Tabeli 2 [5]. Analogicznie, jak przy zastosowaniu techniki stacjonarnej, wyznaczono zależności $\lambda(w)$ dla sześciu testowanych materiałów i zamieszczono je w Tabeli 3.

5. PORÓWNANIE ZASTOSOWANYCH TECHNIK

Zastosowanie dwóch technik pomiarowych pozwoliło ocenić ich kompatybilność w zależności od testowanego materiału oraz stopnia jego zawilgocenia. Oceny zgodności obu metod dokonano w oparciu o średnie wyniki zestawione w Tabeli 2 oraz dane zebrane w Tabeli 3, a przedstawiające zależność współczynnika przewodzenia ciepła λ od zawilgocenia materiału w oraz wartości R^2 [5].

Wyniki badań zrealizowanych przy zastosowaniu dwóch technik pomiarowych wykazały rozbieżności sięgające od kilku do kilkudziesięciu procent. Najmniejsze różnice w wynikach zaobserwowano w przypadku betonu komórkowego i cegły ceramicznej, czyli dla próbek wykonanych z materiałów o najmniejszych współczynnikach przewodzenia ciepła spośród przyjętych do badań. Zanotowane różnice wynosiły od 1% do 22%. Zaobserwowano, że w przypadku betonu komórkowego badanego w stanie suchym i stanie zawilgocenia sorpcyjnego współczynniki λ uzyskiwane przy zastosowaniu techniki niestacjonarnej były mniejsze niż otrzymane metodą stacjonarną. Z kolei próbki betonu komórkowego badanego w stanie nasyconym dawały wyższe wartości współczynnika λ w pomiarach niestacjonarnych.

Zbliżona tendencja wystąpiła w przypadku cegły ceramicznej – technika stacjonarna dawała wyższe wartości λ w stanach niskich wilgotności, natomiast niższe przy próbkach silniej zawilgoconych.

Analizując relacje uzyskane w przypadku zapraw i cegły silikatowej można jednoznacznie stwierdzić, że wyniki uzyskiwane na aparacie GHP były znacznie niższe od uzyskiwanych przy pomocy aparatu ISOMET. Różnice były dość znaczne i wynosiły od 6% do 47%.

Tabela 2. Porównanie wyników

Table 2. Comparison of results

Materiał/ Metoda	Materiał suchy (105°C)	Materiał suchy (40°C)	Materiał o pośrednim poziomie zawilgocenia						Materiał nasycony wodą (40°C)	Materiał nasycony wodą (105°C)
			φ_1	φ_2	φ_3	φ_4	φ_5	φ_6		
CC/GHP	0,5384	0,5751	0,5381	0,5136	0,6199	0,3647	0,5509	0,5103	1,1934	1,2418
CC/ISOMET	0,5025	0,5256	0,5185	0,4910	0,5630	0,5330	0,5655	0,6415	1,3643	1,3658
porównanie	1,07	1,09	1,04	1,05	1,10	0,68	0,97	0,80	0,87	0,91
CS/GHP	0,7875	0,7593	0,8363	0,854	0,6588	0,7985	0,883	1,0158	1,3661	1,6087
CS/ISOMET	1,0076	1,0483	0,8905	1,0415	1,0250	1,1400	1,1500	1,3650	2,1265	2,0725
porównanie	0,78	0,72	0,94	0,82	0,64	0,70	0,77	0,74	0,64	0,78
BK/GHP	0,1547	0,1604	0,1547	0,1572	0,1502	0,1631	0,152	0,2033	0,5133	0,5290
BK/ISOMET	0,1395	0,1495	0,1480	0,1490	0,1430	0,1480	0,1510	0,1850	0,6130	0,6745
porównanie	1,11	1,07	1,05	1,06	1,05	1,10	1,01	1,10	0,84	0,78
ZC/GHP	1,3079	1,2799	1,3787	1,269	1,3585	1,1467	1,0694	1,3192	1,8745	1,8492
ZC/ISOMET	1,6500	1,9217	1,7370	1,7270	1,9370	2,0870	1,8570	2,0820	2,3535	2,4835
porównanie	0,79	0,67	0,79	0,73	0,70	0,55	0,58	0,63	0,80	0,74
ZM/GHP	1,1954	1,4067	1,3804	1,5521	1,0443	1,1473	1,1735	1,2406	1,9086	1,7871
ZM/ISOMET	1,7584	1,8584	1,9900	1,8130	1,7170	1,8700	2,2100	2,2230	2,3900	2,2900
porównanie	0,68	0,76	0,69	0,86	0,61	0,61	0,53	0,56	0,80	0,78
ZCW/GHP	0,6786	0,7366	0,7134	0,6348	0,7196	0,6728	0,8093	0,9526	1,2019	1,4139
ZCW/ISOMET	0,8415	0,7366	0,8640	0,9840	0,9770	1,0930	1,1000	1,3270	1,9100	1,7737
porównanie	0,81	0,74	0,83	0,65	0,74	0,62	0,74	0,72	0,63	0,80

Zebrane w Tabeli 2 dane posłużyły do wyznaczenia funkcji opisujących współczynnik przewodzenia ciepła danego materiału w zależności od jego zawilgocenia. W Tabeli 3 zestawiono matematyczne opisy zmienności współczynników przewodności cieplnej λ poszczególnych materiałów w funkcji ich wilgotności w – zaproponowanych na podstawie wyników badań przeprowadzonych metodą stacjonarną i niestacjonarną. Dla pełniejszej oceny zamieszczono dodatkowo dane odnoszące się do kwadratu współczynnika korelacji R^2 . Analiza uzyskanych wartości R^2 pozwoliła stwierdzić, że lepsze dopasowania modeli do danych eksperymentalnych uzyskano dla wyników badań przeprowadzonych techniką niestacjonarną.

Tabela 3. Porównanie funkcji $\lambda(w)$
Table 3. Comparison of functions $\lambda(w)$

Materiał	Aparat GHP		IZOMET	
	$\lambda(w)$	R^2	$\lambda(w)$	R^2
CC	$0,0255w + 0,5486$	0,9810	$0,0317w + 0,5332$	0,9832
CS	$0,0516w + 0,7617$	0,8718	$0,0783w + 0,9948$	0,9487
BK	$0,0052w + 0,1566$	0,9925	$0,0071w + 0,1441$	0,9932
ZC	$0,0806w + 1,2213$	0,6226	$0,0779w + 1,7973$	0,8114
ZM	$0,0765w + 1,2259$	0,7061	$0,0619w + 1,8489$	0,7435
ZCW	$0,0394w + 0,6947$	0,9044	$0,0550w + 0,9584$	0,9102

Współczynniki kierunkowe zależności $\lambda(w)$ uzyskanych metodą stacjonarną i niestacjonarną wykazywały zróżnicowanie. Najmniejsze różnice w tempie zmian współczynnika λ od zawilgocenia w zaobserwowano dla zaprawy cementowej. Jednak dla tego materiału wystąpiło jednocześnie duże zróżnicowanie z uwagi na wyraz wolny w równaniu $\lambda(w)$. Analogiczną zmianę zanotowano dla zaprawy modyfikowanej. Najmniejsze zróżnicowanie wartości λ materiału suchego (wyrazu wolnego w równaniu) odnotowano w przypadku betonu komórkowego i cegły ceramicznej. Za to różnice we współczynnikach kierunkowych równań uzyskanych dla obydwu materiałów zastosowanymi technikami pomiarowymi sięgały 30 %. Otrzymane dwoma technikami pomiarowymi zależności $\lambda(w)$ dla cegły silikatowej i cementowo-wapiennej oprócz różnic w tempie zmian parametru λ względem zawilgocenia w , wykazywały także znaczne różnice w wartościach początkowych, przekraczające 20 %.

6. PODSUMOWANIE

Dwie niezależne techniki pomiarowe, stacjonarna (aparat GHP) i niestacjonarna (ISOMET), potwierdziły zdecydowanie negatywne oddziaływanie zawilgocenia na przewodność cieplną testowanych materiałów budowlanych (por. [1]).

Przy ocenie zgodności obu metod stwierdzono występowanie zróżnicowanych rozbieżności w pomierzonych współczynnikach λ w zależności od rodzaju materiału i jego stanu wilgotnościowego. Przy czym analiza porównawcza odnosiła się każdorazowo do wyników badań uzyskanych na tych samych próbkach, badanych najpierw aparatem płytowym GHP, a bezpośrednio po ich zakończeniu przyrządem ISOMET. Najmniejsze różnice w wynikach wystąpiły w przypadku betonu komórkowego i cegły ceramicznej, a zawierały się w przedziale od 1% do 22%. W przypadku zapraw i cegły silikatowej można jednoznacznie stwierdzić, że wyniki uzyskiwane na aparacie GHP były wyraźnie niższe od uzyskiwanych przy pomocy aparatu ISOMET, a różnice wynosiły od 6% do 47%. Powyższe dowodzi, że również sama technika badawcza, zastosowana do identycznie przygotowanych próbek, może być źródłem niekiedy znacznych rozbieżności w wynikach pomiarów przewodności cieplnej danego tworzywa, badanego przy tych samych warunkowaniach materiałowych oraz cieplno-wilgotnościowych.

7. LITERATURA

- [1] Garbalińska H., Siwińska A.: Wpływ zawilgocenia na przewodność cieplną materiałów budowlanych. Naukowe seminarium polsko-niemieckie, Interreg IIIA, Szczecin 2006, s. 121-129
- [2] Ickiewicz I., Sarosiek W., Ickiewicz J.: Fizyka budowli. Wybrane zagadnienia. Politechnika Białostocka, Białystok 2000
- [3] PN-EN 12664:2002 Właściwości cieplne materiałów i wyrobów budowlanych. Określanie oporu cieplnego metodami osłoniętej płyty grzejnej i czujnika strumienia cieplnego. Suche i wilgotne wyroby o średnim i małym oporze cieplnym
- [4] PN-ISO 8302:1999 Izolacja cieplna. Określanie oporu cieplnego i właściwości z nim związanych w stanie ustalonym. Aparat płytowy z osłoniętą płytą grzejącą
- [5] Siwińska A.: Związek między izotermą sorpcji a współczynnikiem przewodzenia ciepła porowatego materiału budowlanego. Rozprawa doktorska, Szczecin 2008

COMPARATIVE ASSESSMENT OF STATIONARY AND NON-STATIONARY METHODS OF THERMAL CONDUCTIVITY MEASUREMENTS

SUMMARY

This paper describes efforts to establish thermal conductivity coefficient of building materials by two methods: stationary and non-stationary. Materials of various level of moisture saturation, from dry to saturated state, were tested. In measurements by the stationary method a guarded hot plate apparatus GHP8302.3 was used, while the non-stationary measurements were taken by means of ISOMET2104 instrument. Compatibility of the applied measurement methods was assessed.

II Konferencja SOLINA 2008

ENERGIA ODNAWIALNA
Innowacyjne Rozwiązania
Materiały i Technologie dla Budownictwa



Halina GARBALIŃSKA, dr hab. inż., prof. PS

Agata WYGOCKA, mgr inż., doktorantka w KDMiMB PS

Dagmara KORCZAK, dyplomantka w KDMiMB PS w roku ak. 2007/2008

Aleksandra PINKASIEWICZ, dyplomantka w KDMiMB PS w roku ak. 2007/2008

Politechnika Szczecińska
Wydział Budownictwa i Architektury
Katedra Dróg, Mostów i Materiałów Budowlanych
Al. Piastów 50, 70-311 Szczecin
e-mail: Halina.Garbalinska@ps.pl, wygocka@ps.pl

ODDZIAŁYWANIE WŁÓKIEN POLIPROPYLENOWYCH NA WYTRZYMAŁOŚĆ NA ZGINANIE ZAPRAW CEMENTOWYCH O CZYSTYCH I MODYFIKOWANYCH MATRYCACH

STRESZCZENIE

W ostatnich latach podejmuje się wiele badań służących poprawie trwałości kompozytów cementowych. W literaturze przedmiotu wskazuje się na korzystne oddziaływanie w tym względzie włókien polipropylenowych, ograniczających propagację mikrorys w tężącym materiale betonopodobnym. Nie wspomina się jednak o niebezpieczeństwie spadku wytrzymałości końcowej z tytułu obecności tych włókien. Badania przedstawione w referacie obejmują szerokie spektrum materiałów (24 receptury) i stanowią próbę oszacowania stopnia oddziaływania włókien PP na wytrzymałość na zginanie dojrzałych kompozytów cementowych o różnie wymodelowanych matrycach.

1. WPROWADZENIE

W ostatnich latach obserwuje się dynamiczny rozwój betonopodobnych kompozytów cementowych. Szeroka gama dostępnych składników, jak również specjalistyczne zabiegi technologiczne stwarzają możliwość doraźnego kształtowania właściwości materiałów w dostosowaniu do specyficznych wymogów związanych z warunkami ich

eksploatacji. Oprócz tradycyjnych składników: cementu, kruszywa i wody wprowadza się do mieszanki betonowej rozmaite dodatki i domieszki, których zadaniem jest zamierzone modyfikowanie struktury gotowego materiału, głównie w celu poprawy jego parametrów mechanicznych, ale również zwiększenia trwałości, poprzez wzrost odporności na działanie czynników środowiskowych.

Aktualnie uzyskuje się już tak zwarte struktury kompozytów na bazie cementu, np. DSP (densified with small particles), że nie jest problemem zapewnienie wytrzymałości na ściskanie przekraczającej i to znacznie 100 MPa. Czyni to z nich wartościowy materiał konstrukcyjny mogący konkurować zarówno pod względem technicznym, jak również ekologicznym z wyrobami o wysokich kosztach energetycznych, takich jak np. stal czy aluminium. Jak wskazują na to dostępne dane metale w stosunku do cementu wymagają kilkudziesięciokrotnie większych nakładów energii potrzebnej do ich wyprodukowania. Relacje związane z udziałem energii przeznaczonej na wytworzenie wybranych materiałów budowlanych kształtują się j.n., [1]:

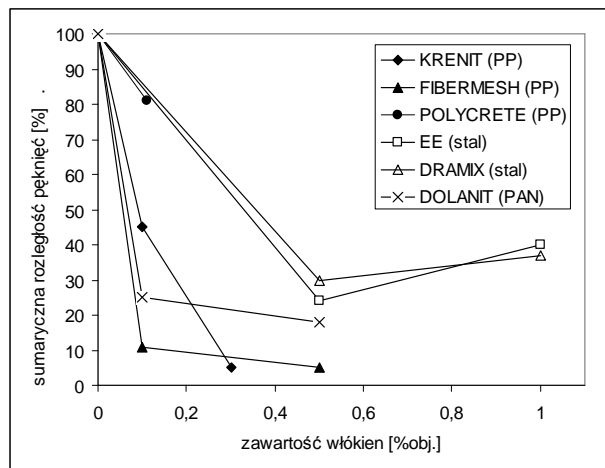
- cement portlandzki	1,0
- szkło okienne	3,0
- polistyren	6,0
- stal	19,2
- aluminium	31,8.

Jak zauważono w [2] nie tylko niższy udział energii w produkcji materiałów cementowych jest ich jedynym walorem. Korzyści energetyczne wiążą się również z tym, że cementy tworzą zaczyny i mieszanki betonowe dające się łatwo formować i utwardzać w zwykłej temperaturze. Niestety, materiały wykonywane na spoiwie cementowym mają wiele wad, jeśli chodzi o pewne właściwości mechaniczne. Do głównych wad zalicza się małą wytrzymałość na rozciąganie i małą odporność na pękanie, co wyklucza ich stosowanie w obszarach zdominowanych przez metale i polimery syntetyczne [2].

W ostatnich latach podejmuje się rozmaite próby służące choć częściowej poprawie tych parametrów poprzez rozmaicie prowadzoną modyfikację mikrostruktury kruchych kompozytów. Jednym ze sposobów jest wprowadzenie do mieszanki zbrojenia rozproszonego w postaci włókien. Do stosowanych najczęściej należą włókna stalowe, szklane i polimerowe.

Spośród włókien polimerowych najbardziej popularne są włókna polipropylenowe (PP), poliakrylonitrylowe (PAN) oraz polialkoholowinyłowe (PVA). Dużą popularnością w ostatnich latach cieszą się włókna PP, które są względnie tanie oraz stosunkowo łatwo i szybko rozpraszają się w mieszance dzięki chemicznej modyfikacji, polegającej na pokryciu powierzchni włókien specjalną apreturą. Obecność włókien podnosi zdolność do przenoszenia obciążeń i ogranicza powstawianie i propagację mikrospeknięć. Korzyści pojawiają się już przy stosunkowo niewielkim dodatku włókien, por. rys. 1.

Na przykład w przypadku włókien Fibermesh (PP) znaczące efekty uzyskuje się przy ilości ok. 0,1% objętości, co wymaga wprowadzenia ok. 1 kg włókien na 1m³ betonu [4]. Wprawdzie w [4] podkreśla się, że dodatek włókien o niższym module Younga niż dojrzały beton nie poprawia jego wytrzymałości, ale korzystnie wpływa na wiele innych właściwości takich jak: mrozoodporność, ścieralność, nasiąkliwość, migrację wody pod podwyższonym ciśnieniem, odporność na tworzenie się rys i spękań.



Rys. 1. Redukcja mikropęknięć wewnętrznych jako funkcja udziału objętościowego włókien w betonie

Fig. 1. Reduction of micro-scratches as a function of fibres volumetric fraction in concrete

Badania przedstawione w niniejszym referacie były próbą oszacowania stopnia oddziaływania włókien polipropylenowych na wytrzymałość na zginanie dojrzałych kompozytów cementowych – o czystych matrycach oraz matrycach zmodyfikowanych przy pomocy innego rodzaju dodatków oraz domieszek chemicznych. Badaniami objęto szerokie spektrum materiałów (24 receptury) poddając je próbom wytrzymałościowym po 28 dniach twardnienia. Przeprowadzony eksperyment był kontynuacją wcześniejszych pomiarów wytrzymałościowych [5, 6], prowadzonych na zaprawach o różnym stopniu dojrzałości, które z jednej strony dowodziły korzystnego oddziaływania włókien w przypadku wczesnych wytrzymałości, lecz równocześnie wskazywały na niebezpieczeństwo uzyskania gorszych parametrów wytrzymałościowych dojrzałych zapraw dozbrajanych włóknami w stosunku do zapraw ich pozbawionych.

2. OPIS SKŁADNIKÓW I RECEPTUR

Eksperyment obejmował w sumie 24 różnego rodzaju zaprawy cementowe. Różniły się one między sobą obecnością włókien polipropylenowych, ich rodzajem i długością, jak również wprowadzonymi do mieszanki innymi dodatkami (w postaci pyłów krzemionkowych) oraz domieszkami (upłynniającą oraz napowietrzającą).

Informacje dotyczące zastosowanych włókien PP, w odniesieniu do poszczególnych typów zapraw, zamieszczono w tablicy 1. Natomiast w tablicy 2 podano poszczególne receptury, w przeliczeniu na 1 dm³ zagęszczonych mieszanek.

Do wykonania wszystkich zapraw użyto jeden rodzaj cementu – mianowicie cement czysty CEM I 42,5 R z cementowni GóraŹdże oraz zwykłą wodę wodociągową, którą dozowano zawsze o zbliżonej temperaturze (ok. 20°C) stabilizowanej w laboratorium. Wykorzystano piasek kwarcowy z Bielinka o uziarnieniu 0–2 mm. Kruszywo zostało wysuszone do stałej masy w temperaturze ok. 105°C oraz pozbawione nadziarna poprzez odsianie frakcji > 2mm.

Tabela 1. Oznaczenia zapraw testowanych typów (A, B, C, D), w zależności od dodatku włókien polipropylenowych

Table 1. Marks of tested mortars (A, B, C, D-types), depending on polypropylene fibres addition

Rodzaj i długość włókien PP	Typ zaprawy			
	A	B	C	D
BRAK	1A	1B	1C	1D
FIBERMESH 19 mm	2A	2B	2C	2D
FIBERMIX 3 mm	3A	3B	3C	3D
HARBOURITE 6 mm	4A	4B	4C	4D
HARBOURITE 12 mm	5A	5B	5C	5D
HARBOURITE 38 mm	6A	6B	6C	6D

Tabela 2. Receptury dotyczące poszczególnych typów testowanych zapraw (A, B, C, D) – na 1 dm³ zagęszczonej mieszanki

Table 2. Compositions of tested mortars types (A, B, C, D) – in 1 dm³ of consolidated mixture

Typ zaprawy	A	B	C	D
w/c lub w/s [-]	0,55	0,41	0,41	0,55
CEM I 42,5 R [g]	490	525	499	490
woda [g]	270	216	216	270
woda (ilość zredukowana) [g]	270	210,2	210,2	268,5
piasek 0–2 mm [g]	1519	1629	1629	1519
włókna PP [g]	0,9	0,9	0,9	0,9
domieszka upłynniająca [g]	-	5,78	5,78	-
pyły krzemionkowe [g]	-	-	26,25	-
domieszka napowietrzająca [g]	-	-	-	1,47

W rezultacie w każdej grupie zapraw (A, B, C, D) wykonywano sześć różnych mieszanek, zróżnicowanych z uwagi na włókna polipropylenowe: wzorcową (1) – bez włókien oraz pięć mieszanek zbrojonych włóknami polipropylenowymi różnego rodzaju i długości (2 – 6). Włókna dozowane były każdorazowo w ilości 0,9 g/dm³.

W zaprawach typu A nie zastosowano poza włóknami żadnego innego rodzaju dodatków, ani domieszek. Natomiast w przypadku pozostałych typów zapraw (B, C, D) wprowadzono do mieszanek alternatywnie pyły krzemionkowe, domieszkę upłynniającą oraz napowietrzającą.

3. TECHNOLOGIA WYKONANIA MIESZANEK I PRZYGOTOWANIA PRÓBEK

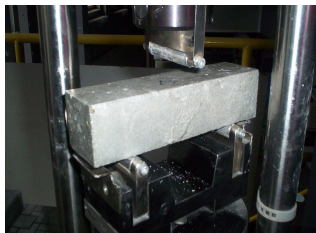
Przyjęto, że pojedynczy zarób będzie się składał z 10 litrów mieszanki. Ilość ta pozwalała na przeprowadzenie badań konsystencji oraz zawartości powietrza w świeżej mieszance oraz na wypełnienie form trójdzielnych, pozwalających wykonać 6 beleczek potrzebnych do przewidzianych badań wytrzymałościowych. Zaroby wykonywano w mieszarce przeciwbieżnej o pojemności 30 litrów. Składała się ona ze stalowego mieszalnika oraz obrotowego stalowego pojemnika na mieszankę z możliwością jej transportowania.

Podstawowe składniki każdej zaprawy (cement, piasek, woda) były odważane na wadze o dokł. ± 2 g, natomiast pozostałe na wadze o dokł. $\pm 0,001$ g. Przestrzegano ściśle wstępnie założonych czasów i techniki dozowania oraz mieszania składników – tak, aby technologia wykonania nie wpływała w sposób niekontrolowany na jej właściwości.

Bezpośrednio po zakończeniu procesu mieszania przeprowadzano badania konsystencji oraz zawartości powietrza, jak również wypełniano mieszanką przygotowane wcześniej formy trójdzielne przeznaczone do wykonywania beleczek o wymiarach 4x4x16 cm. Mieszankę układano w dwóch warstwach, każdą z nich zagęszczając na normowej wstrząsarce laboratoryjnej – poprzez 40 uderzeń. Po zatarciu górnej powierzchni próbek, formy lokowano w szczelnych pojemnikach na stelażach umieszczonych nad wodą, co miało zapewnić odpowiednią wilgotność przekraczającą 90%. Po 24-godzinnym okresie dojrzewania próbki rozformowywano i przechowywano przez kolejnych 27 dni w kąpieli wodnej. Po tym okresie próbki wyjmowano i poddawano badaniom wytrzymałościowym.

4. PRZEBIEG BADAŃ WYTRZYMAŁOŚCI NA ZGINANIE

Badanie to polegało na zniszczeniu beleczek o wym. 4x4x16 cm przy zginaniu, w wyniku obciążenia poszczególnych próbek siłą skupioną przyłożoną w środku rozpiętości, przy zachowaniu stałego rozstawu podpór wynoszącego 10 cm. Wartość wytrzymałości na zginanie wyrażoną w MPa oraz siły łamiącej w kN odczytywano bezpośrednio z ekranu prasy. Pomiar wytrzymałości na zginanie obejmowały każdorazowo 6 próbek danej zaprawy, a przeprowadzane były po osiągnięciu przez każdą z nich 28-dniowej dojrzałości. W sumie badaniom wytrzymałościowym poddano 144 beleczki.



Rys. 2a. Belecza przed zniszczeniem
Fig. 2a. The sample before destruction

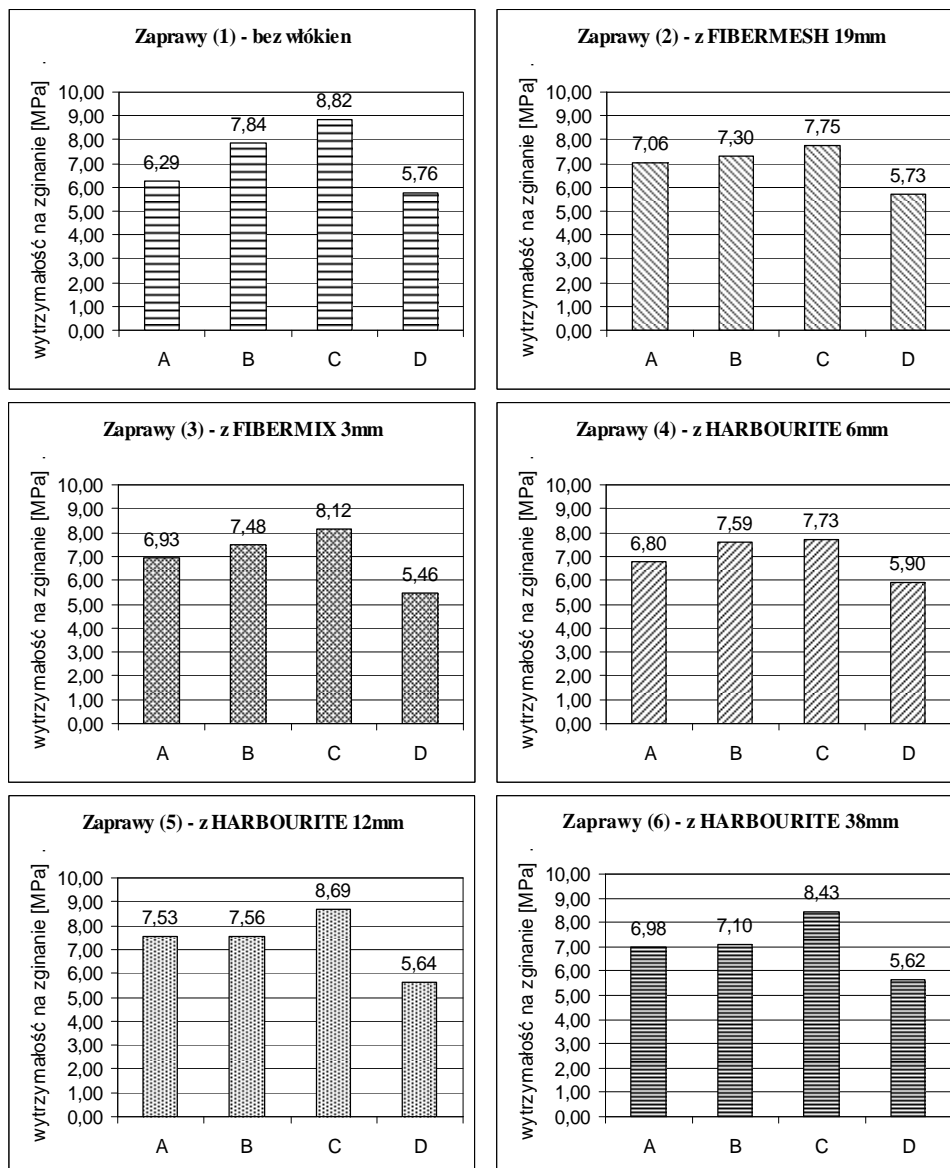


Rys. 2b. Belecza po zniszczeniu
Fig. 2b. The sample after destruction

5. WYNIKI BADAŃ WYTRZYMAŁOŚCI NA ZGINANIE

Wyniki badań wytrzymałości na zginanie w odniesieniu do 24 badanych zapraw cementowych przedstawiono na wykresach słupkowych zamieszczonych poniżej. Zestawienia opracowano w odniesieniu do sześciu grup zapraw (1 – 6) każdorazowo zestawiając ze sobą poszczególne ich typy (a, b, c, d).

Zamieszczone na wykresach dane stanowią średnią arytmetyczną, wyznaczoną na podstawie wyników składowych pochodzących z badań wytrzymałości prowadzonych na sześciu beleczkach. w przypadku, gdy któryś z wyników odbiegał od średniej wytrzymałości na zginanie o więcej niż 10% był odrzucany i nie wliczany do wypadkowej. dotyczyło to tylko 7 wyników składowych na 144 przeprowadzone pomiary, co świadczy o bardzo dobrej zgodności uzyskanych wyników i dowodzi dużej staranności w przygotowaniu próbek, skutkującej ich wysoką jednorodnością.



Rys 3. Zestawienie wypadkowych wytrzymałości na zginanie, w rozbiciu na poszczególne rodzaje badanych zapraw

Fig. 3. Comparison of average values of bending strength, in division of particular types of tested mortars

Aby ułatwić przeprowadzenie analiz porównawczych dotyczących wpływu zastosowanych dodatków i domieszek na wytrzymałość na zginanie testowanych zapraw, sporządzono Tabelę 3 przedstawiającą ilościowe relacje między średnimi wartościami wytrzymałości na zginanie poszczególnych zapraw.

Tabela 3. Relacje dotyczące wytrzymałości na zginanie danej zaprawy f_i względem wytrzymałości na zginanie f_1 danego typu zapraw – bez włókien

Table 3. Relations between bending strength of particular mortar f_i and bending strength of the same type mortar f_1 – without fibres

f_i/f_1	A	B	C	D
f_1/f_1	1,00	1,00	1,00	1,00
f_2/f_1	1,12	0,93	0,88	0,99
f_3/f_1	1,10	0,95	0,92	0,95
f_4/f_1	1,08	0,97	0,88	1,02
f_5/f_1	1,20	0,96	0,99	0,98
f_6/f_1	1,11	0,91	0,96	0,98

6. PODSUMOWANIE

Dane zawarte w Tabeli 3 pozwalają ocenić wpływ włókien na wytrzymałość na zginanie w obrębie danego typu zapraw.

Zebrane wyniki wskazują, że jedynie w przypadku zapraw typu A (o czystych matrycach) obecność włókien przełożyła się korzystnie na 28-dniową wytrzymałość na zginanie. Wzrost wytrzymałości zapraw zbrojonych włóknami w stosunku do czystej zaprawy sięgał od 8% do 20%. W przypadku zapraw typu B (z domieszką upłynniającą i zredukowanym w/c) wystąpiło jednoznaczne obniżenie badanej wytrzymałości zapraw zbrojonych włóknami PP, w stosunku do zaprawy ich pozbawionej. Spadek wytrzymałości sięgał od 3% do 9%. Jeszcze wyraźniej niekorzystny wpływ włókien PP ujawnił się w zaprawach typu C, w których oprócz superplastyfikatora zastosowano dodatek pyłów krzemionkowych. Obniżenie wytrzymałości na zginanie w tego typu kompozytach z tytułu zastosowania włókien PP przekroczyło w dwóch przypadkach 10%. W zdecydowanie mniejszym stopniu swój wpływ zaznaczyła obecność włókien w zaprawach typu D (z domieszką napowietrzającą). Uzyskane wyniki wytrzymałości na zginanie dla zapraw tego typu zbrojonych włóknami oscylowały wokół wartości uzyskanych dla zaprawy napowietrzanej, pozbawionej włókien.

Przeprowadzone badania dowodzą, że jedynie w przypadku zapraw o czystej matrycy uzasadnione jest stosowanie włókien PP, których obecność korzystnie przekłada się na podniesienie 28-dniowej wytrzymałości na zginanie. W przypadku pozostałych zapraw modyfikowanych przy użyciu innych dodatków i domieszek, ze względów technicznych i ekonomicznych, zastosowanie włókien PP jest nieuzasadnione.

7. LITERATURA

- [1] Birchall J. D.: Cement in the contest of new materials an energy-expensive future. Phil. Trans. R. Soc. London, A 310, 1988
- [2] Grzeszczyk S.: Wybrane materiały kompozytowe stosowane w budownictwie. Inżynieria i Budownictwo 10/2002, s. 544-550
- [3] Petri M., Spisak W., Idzik J.: Ograniczenie spękań w konstrukcjach betonowych. Materiały Budowlane 4/1996, s. 114
- [4] Petri M., Spisak W.: Posadzki z betonu zbrojone włóknami polipropylenowymi. Materiały Budowlane 9/1998, s. 20, s. 137
- [5] Kuczyńska I., Orłowska M.: Wpływ włókien polipropylenowych na rozwój wytrzymałości zapraw cementowych z mikrokrzemionką. Praca dyplomowa, Politechnika Szczecińska, Szczecin 2006
- [6] Garbalińska H., Kuczyńska I., Orłowska M.: Kształtowanie wytrzymałości na zginanie materiałów kompozytowych na spoiwie cementowym. Polsko-Niemieckie Seminarium Naukowe Katedry Dróg, Mostów i Materiałów Budowlanych oraz Hochschule Neubrandenburg, Szczecin 2006, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Szczecińskiej, s. 15-24

EFFECTS OF POLYPROPYLENE FIBERS ON BENDING STRENGTH OF CEMENT MORTARS OF BASIC AND MODIFIED MATRICES

SUMMARY

In recent years much research has been done to improve durability of cement composites. In literature on the subject, beneficial effects of polypropylene fibers, which limit micro-scratches propagation in solidifying concrete-like material, are indicated in this respect. The risk of decreased final strength due to fiber presence is not mentioned however. The research presented in the paper includes a wide variety of materials (24 mortars) and is an attempt to estimate the level of effects of PP fibers on bending strength of cured cement composites with differently modeled matrices.

II Konferencja SOLINA 2008

ENERGIA ODNAWIALNA
Innowacyjne Rozwiązania
Materiały i Technologie dla Budownictwa



Sławomir GRABARCZYK, dr inż.

Politechnika Warszawska
Instytut Budownictwa
Zakład Instalacji Budowlanych i Fizyki Budowli
ul. Łukasiewicza 17, 09-400 Płock
e-mail: slawekg@pw.plock.pl

PRZEBIEGI ZMIENNOŚCI TEMPERATUR W PODŁOŻU SZKLARNI

STRESZCZENIE

We współczesnych obiektach szklarniowych, wyposażonych w dodatkowe osłony energooszczędne, zmienia się znaczenie poszczególnych strumieni ciepłych w ogólnym bilansie. Większego znaczenia nabiera strumień ciepły w podłożu szklarni, zwłaszcza ze względu, że stanowi ono właściwie jedyny element obiektu szklarniowego w którym może występować akumulacja ciepła.

W artykule przedstawiono wstępne wyniki pomiarów mających na celu ustalenie rozkładu temperatury w podłożu całorocznie ogrzewanego obiektu szklarniowego.

1. WPROWADZENIE

W pracy przedstawiono wyniki badań własnych dotyczących rozkładu temperatury w podłożu eksploatowanej całorocznie szklarni. Ekrany termoizolacyjne w szklarni w znaczący sposób wpływają na obniżenie zużycia energii cieplnej oraz utrzymanie właściwych parametrów mikroklimatu w szklarni. Jednocześnie zmienia się znaczenie poszczególnych składników bilansu cieplnego, stąd wynika potrzeba uzupełnienia dotychczasowych badań o element obiektu szklarniowego, w którym w zasadzie jako jedynym może występować akumulacja ciepła. Według założeń pomiary te miały na celu określenie zmienności występowania temperatur w podłożu szklarni, tak aby ustalić docelowo strumień ciepły w podłożu i jego zwrot. W pracy zaprezentowano przykładowe

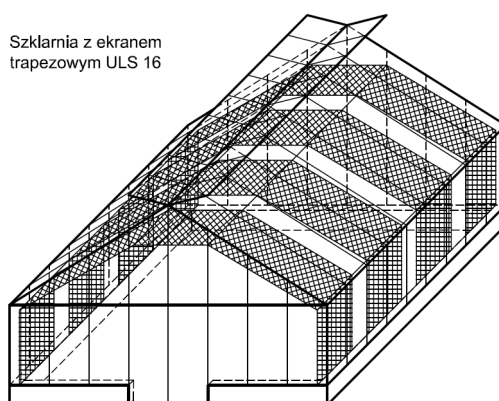
wyniki pomiarów temperatury podłoża w dwóch charakterystycznych strefach szklarni i dwóch charakterystycznych okresach: zimowym i przejściowym.

2. OPIS OBIEKTU I ZAŁOŻENIA DO ANALIZ

Badania wykonano w szklarni, stanowiącej obiekt dużego kompleksu przystosowanego do prowadzenia upraw kwiatowych w doniczkach. W badanej szklarni (rys. 1) zainstalowano równoległe wzdłuż połaci dachowej i ścian bocznych ekran termoizolacyjny ULS 16. Ekran ten to tkanina pasków poliestru i aluminium. otwieranie i zamykanie ekranu termoizolacyjnego w szklarni jest sterowane automatyką pogodową. Ekran jest zamykany nocą podczas niskich temperatur i stanowi wtedy drugą wewnętrzną osłonę szklarni. W ciągu dnia ekran jest otwierany tak, aby nie ograniczał dostępu światła do wnętrza szklarni, przy czym nadmierna intensywność promieniowania słonecznego jest ograniczana przez częściowe przemykanie ekranu. Podstawowe właściwości materiałów z których wykonane są przegrody zewnętrzne podano w tab. 1. Kubatura szklarni z ekranem termoizolacyjnym, ograniczona przez jego powierzchnię oraz powierzchnię pozostałych przegród, nieznacznie różni się od kubatury szklarni bez dodatkowych osłon (rys. 1).

Tabela 1. Rodzaj i właściwości pokrycia szklarni. Oznaczenia w tabeli: GL – pojedyncze szkło, TS – ekran termoizolacyjny, ABF - gruba folia pęcherzykowa
Table 1. Description and properties to cover of greenhouse. Symbol in table: GL – single glass, TS – thermal screen, ABF – air bubble film

Przepuszczalność promieniowania słonecznego	Materiał pokrycia szklarni		
	GL szkło (4mm)	TS ekran ULS 16	Folia ABF
bezpośredniego	zmienna wg [1]	0.36	0.84
rozproszonego	0.79	0.34	0.84



Rys. 1. Szklarnia pojedyncza z ekranem termoizolacyjnym ULS 16
Fig. 1. Free-standing greenhouse with thermal screen ULS 16

Podłoże szklarni jest przystosowane do prowadzenia upraw doniczkowych. Grunt rodzimy jest przykryty warstwą piasku o grubości ok. 20 cm. Wierzchnią warstwę podłoża

stanowi 2 cm izolacja termiczna (styropian) pokryta tkaniną z tworzywa sztucznego typu LS Hortiweef Black o grubości 2 mm.

Pomiar temperatury podłoża wykonano wielokanałowym miernikiem do pomiaru temperatury z automatyczną rejestracją danych. Rozmieszczenie punktów pomiaru na głębokości przedstawiono w tab. 2. Analogiczne pomiary temperatury, jak w strefie centralnej szklarni, wykonano również na zewnątrz budynku w gruncie. Wyniki tych badań zostaną przedstawione w kolejnych publikacjach autora.

Tabela 2. Punkty pomiaru temperatury w podłożu szklarni
Table 2. Measurement point temperature of soil in greenhouse

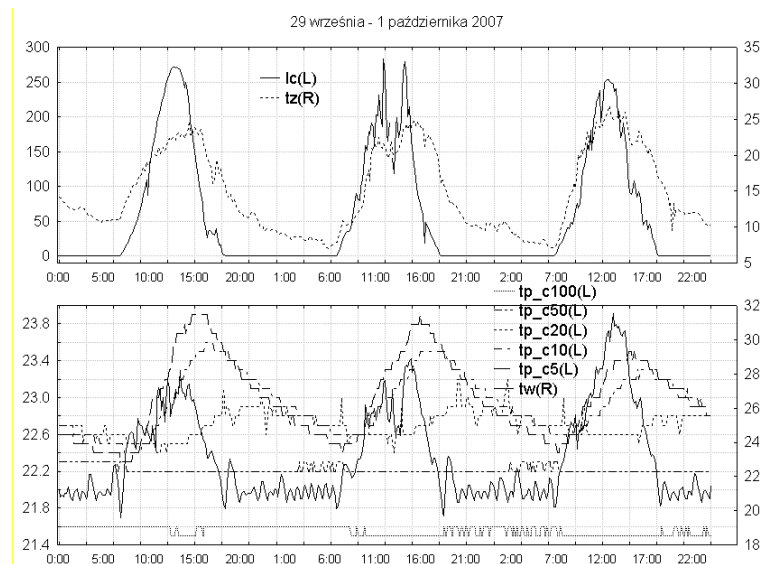
Grunt na zewnątrz szklarni	Podłoże szklarni	
	Strefa przyścienna	Strefa centralna
-0.05 m		-0.05 m
-0.1 m		-0.1 m
-0.2 m	-0.2 m	-0.2 m
-0.5 m	-0.5 m	-0.5 m
-1.0 m	-1.0 m	-1.0 m

Wszystkie punkty usytuowane są w tym samym przekroju prostopadłym do osi szklarni. Punkty pomiaru temperatur podłoża w strefie centralnej szklarni są usytuowane 6 m od przegrody zewnętrznej szklarni; natomiast w strefie przyściennej w odległości 1 m od przegrody. W strefie przyściennej nie ma punktów pomiaru temperatury na głębokości -0.05 i -0.1 m poniżej poziomu podłoża. Uzupełnieniem powyższych badań są pomiary temperatury powietrza wewnętrznego w szklarni oraz temperatury powietrza zewnętrznego. Ponadto w okresie przeprowadzania pomiarów rejestrowano szereg innych parametrów, które mogą mieć wpływ na rozkład temperatury w podłożu szklarni czy też w gruncie na zewnątrz. Są to min.: natężenie promieniowania słonecznego na płaszczyznę poziomą, stan zamknięcia ekranu termoizolacyjnego, stan otwarcia wietrzników, wilgotność względna powietrza wewnętrznego, zużycie energii cieplnej oraz temperatury zasilania górnego i dolnego systemu ogrzewczego szklarni. Pomiary ww. wielkości są realizowane przez system kontroli mikroklimatu szklarni zintegrowany ze stacją pogodową, uzupełniony o zestaw do pomiaru i rejestracji zużycia energii cieplnej.

3. WYNIKI OBLICZEŃ

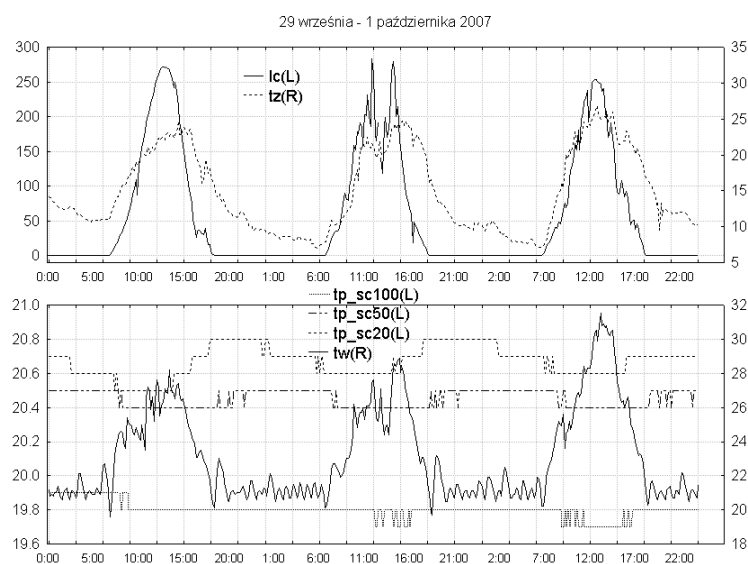
Przykładowe wyniki zaprezentowano dla dwóch okresów pomiarowych: 10 – 12 lutego 2007r. (rys. 2 i 3) oraz 29 września – 1 października 2007r. (rys. 4 i 5). Opis poszczególnych przebiegów temperatur podłoża t_p szklarni zawiera informację dotyczącą głębokości usytuowania czujnika pomiaru temperatury w podłożu oraz jego miejsca usytuowania: w strefie centralnej szklarni (c) lub przy ścianie bocznej (sc).

Na wykresach zamieszczono również dodatkowe wielkości, które mają istotny wpływ na kształtowanie zmian temperatury podłoża ogrzewanej szklarni: temperatury wewnątrz szklarni – t_w , natężenia promieniowania słonecznego na powierzchnię poziomą – I_c oraz temperatury powietrza zewnętrznego – t_z .



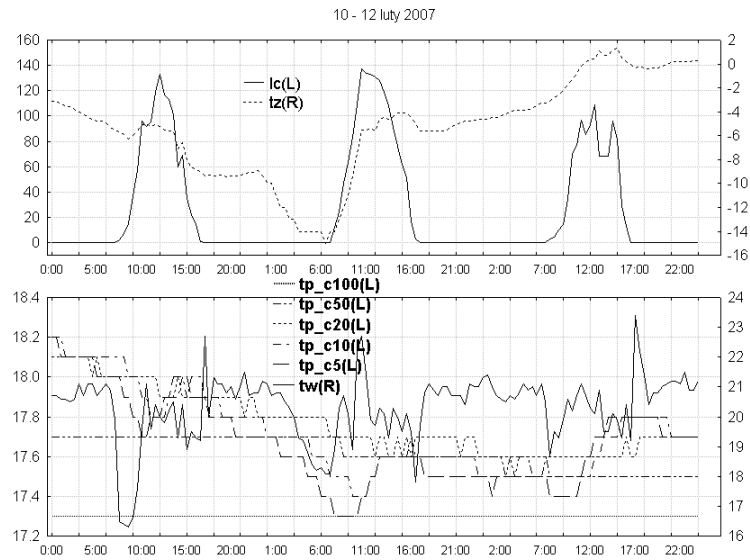
Rys. 2. Przebiegi zmienności temperatur w podłożu szklarni w strefie centralnej szklarni w dniach 29 września – 1 października 2007r.

Fig. 2. Course of variability temperature of soil in greenhouse – central zone; 29 September – 1 October 2007



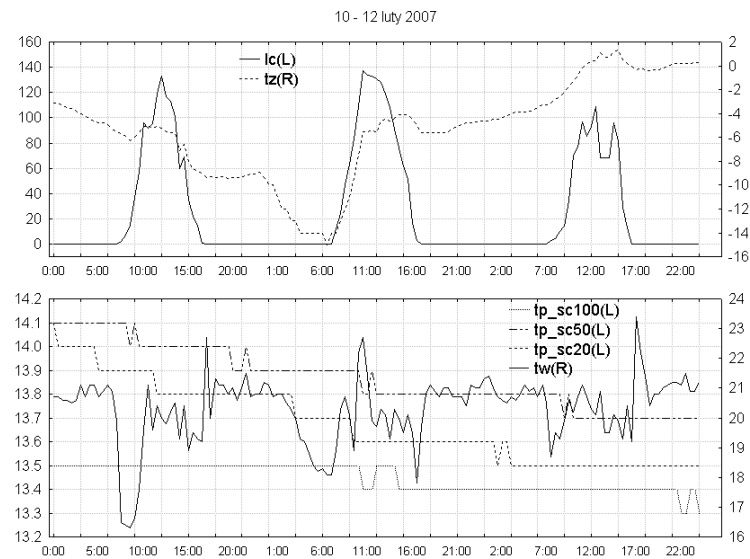
Rys. 3. Przebiegi zmienności temperatur w podłożu szklarni w strefie przyściennej szklarni w dniach 29 września – 1 października 2007r.

Fig. 3. Course of variability temperature of soil in greenhouse – near external wall; 29 September – 1 October 2007



Rys. 4. Przebiegi zmienności temperatur w podłożu szklarni w strefie centralnej szklarni w dniach 10 – 12 luty 2007r.

Fig. 4. Course of variability temperature of soil in greenhouse – central zone; 10 – 12 February 2007



Rys. 5. Przebiegi zmienności temperatur w podłożu szklarni w strefie przyściennej szklarni w dniach 10 – 12 luty 2007r.

Fig. 5. Course of variability temperature of soil in greenhouse – near external wall; 10 – 12 February 2007

Zaprezentowane przebiegi zmian temperatury podłoża w szklarni w strefie centralnej (rys. 2 i 4) wskazują na istotny wpływ promieniowania słonecznego zarówno na temperaturę wewnątrz szklarni jak i temperaturę podłoża. Temperatura powietrza zewnętrznego ma znaczenie na kształtowanie temperatury podłoża w strefie centralnej szklarni (rys. 4), ale tylko w warunkach okresu zimowego. Pierwsze pomiary wskazują, że w szklarni ogrzewanej temperatura zewnętrzna wpływa na temperaturę podłoża na głębokościach 0.5m i 1.0m poniżej poziomu. W płytszych warstwach o temperaturze podłoża decyduje głównie temperatura powietrza wewnętrznego w szklarni.

Znaczenie temperatury zewnętrznej jest większe w strefie przyściennej (rys. 3 i 5). Obserwuje się, że temperatura wewnętrzna ma mniejsze znaczenie w kształtowaniu temperatury podłoża – im głębiej tym znaczenie mniejsze, wzrasta natomiast wpływ gradientu geotermicznego w gruncie. Jednocześnie z przedstawionych przebiegów widać jednoznacznie, że im niżej położony punkt pomiaru, tym mniejsze wahania a zarazem większe przesunięcia w czasie między przyczyną a wywołaną tym zmianą temperatury podłoża.

4. PODSUMOWANIE

Wstępne analizy zbieranego materiału wskazują na prawidłowy wybór rozmieszczenia punktów pomiarowych w podłożu szklarni z ekranem termoizolacyjnym. Wyniki pomiarów w kompleksowym ujęciu pozwolą na ustalenie wielkości strumienia cieplnego i jego zwrotu w podłożu szklarni, określenia strumienia cieplnego na powierzchni podłoża, tak aby uwzględnić go w bilansie strumieni cieplnych i określić jego znaczenie w tego typu obiekcie.

5. LITERATURA

- [1] ASHRAE Handbook Fundamental, ASHRAE, Atlanta 2005
- [2] Praca zbiorowa; Budownictwo ogólne. T 2. Fizyka budowli, Warszawa, 2005
- [3] Zabeltitz Ch.; Szklarnie – projektowanie i budowa, PWRiL, 1991

COURSES OF VARIABILITY OF SOIL TEMPERATURE IN GREENHOUSE

SUMMARY

Modern greenhouse structures are equipped with movable thermal screens with shadow and energy-saving properties, which change a thermal profile of a structure. It demand special attention to heat transfer in soil, which part in general balance will grow up. This paper presents the result investigation of temperature distribution in subsoil of greenhouse with thermal screens.



Sławomir GRABARCZYK, dr inż.

Politechnika Warszawska
Instytut Budownictwa
Zakład Instalacji Budowlanych i Fizyki Budowli
ul. Łukasiewicza 17, 09-400 Płock
e-mail: slawekg@pw.plock.pl

ZYSKI CIEPŁA OD PROMIENIOWANIA SŁONECZNEGO W SZKLARNI Z EKRANEM TERMOIZOLACYJNYM

STRESZCZENIE

W referacie przedstawiono wyniki analiz dotyczących ustalenia wielkości zysków ciepła od promieniowania słonecznego w szklarni z ekranami termoizolacyjnymi. Analizy wykonano dla szklarni wolnostojących z różnymi właściwościami dodatkowej osłony.

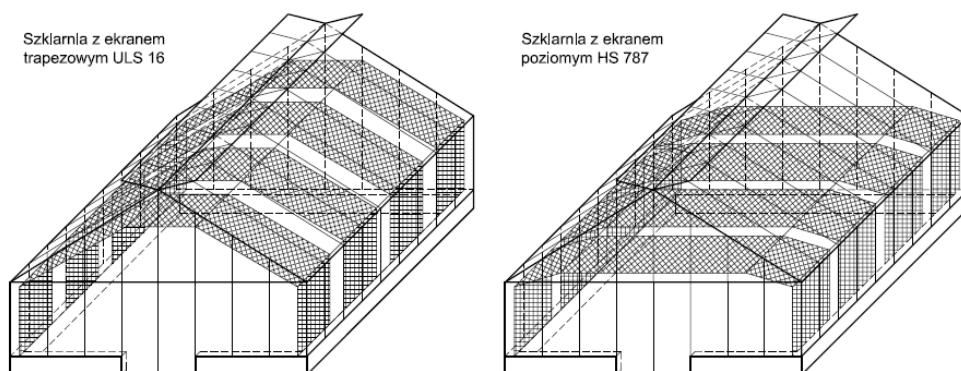
1. WPROWADZENIE

Przegrody szklarni są przyczyną nadmiernego przegrzewania jej wnętrza w wyniku intensywnej penetracji promieniowania słonecznego. Znajomość występowania zysków ciepła, powodujących znaczący przyrost temperatury wewnętrznej i w efekcie możliwość wystąpienia szkód w prowadzonej uprawie, pozwala na przeciwdziałanie tym niekorzystnym zjawiskom poprzez stosowanie rozwiązań technicznych cieniujących powierzchnię uprawną. Użycie materiałów na pokrycia przegród oraz ekranów termoizolacyjnych o odpowiednich właściwościach przyczynia się do istotnego ograniczenia wpływu zysków ciepła na przyrost temperatury w szklarni. Szczególnie ekrany termoizolacyjne o właściwościach cieniujących są często stosowane z uwagi na ich aktywne funkcjonowanie, zależnie od zewnętrznych warunków klimatycznych.

2. ZAŁOŻENIA DO ANALIZ I OPIS OBIEKTÓW

Analizę wielkości zysków ciepła w szklarni przeprowadzono biorąc pod uwagę zarówno: promieniowanie słoneczne bezpośrednie – od tarczy słonecznej oraz promieniowanie rozproszone, powstające na skutek częściowej przezroczystości atmosfery. W obliczeniach uwzględniono przepuszczalność promieniowania słonecznego przez przegrody szklane, przepuszczalność dodatkowych osłon czyli ekranów termoizolacyjnych o właściwościach cieniująco–energooszczędnych a także stan ich zamknięcia w pozycji cieniowanie podczas występowania intensywnego promieniowania słonecznego. W obliczeniach uwzględniono: wysokość wzniesienia Słońca, zależną od danego dnia i godziny, azymuty słoneczne przegród zewnętrznych szklarni oraz nachylenie przegród połaci dachowych. W obliczeniach uwzględniono również występowanie na ścianach pionowych analizowanych szklarni dodatkowej osłony - przytwierdzonej od strony zewnętrznej grubej folii pęcherzykowej (ABF).

Obliczenia wykonano przy założeniu, że osie podłużne szklarni są usytuowane na kierunku E-W, zatem większe powierzchnie szklarni (boczne i połacie dachowe) są zorientowane na kierunki S i N. Szklarnie pojedyncze mają powierzchnię zabudowy 1250 m² każda (rys. 1). Informację dotyczącą wielkości poszczególnych przegród przedstawiono w tabeli 1.



Rys. 1. Szklarnie pojedyncze z ekranami termoizolacyjnymi

Fig. 2. Free-standing greenhouses with thermal screen

Tabela 1. Pole powierzchni przegród zewnętrznych szklarni

Table 1. Surface area of external wall greenhouse

Pole powierzchni osłony szklarni	1876.4 m ²
Pole powierzchni ściany bocznej	137.5 m ²
Pole powierzchni ściany szczytowej	96.1 m ²
Pole powierzchni połaci dachowej	704.6 m ²

Przyjęto, że ekrany cieniujące oraz materiały, z których wykonane są przegrody zewnętrzne szklarni mają przepuszczalność promieniowania słonecznego jak podano w tabeli 2. W obliczeniach pominięto pochłanianie energii promieniowania słonecznego przez szkło pokrycia zewnętrznego szklarni, ponieważ większość tego strumienia ciepłego na drodze

konwekcji i tak jest przekazywana do otoczenia zewnętrznego – stąd jego wpływ na powiększenie zysków ciepła wewnątrz szklarni jest nieistotny.

Tabela 2. Rodzaj i właściwości pokrycia szklarni. Oznaczenia w tabeli: GL – pojedyncze szkło, TS – ekran termoizolacyjny, ABF - gruba folia pęcherzykowa
Table 2. Description and properties to cover of greenhouse. Symbol in table: GL – single glass, TS – thermal screen, ABF – air bubble film

Materiał pokrycia Właściwości	GL (4 mm)	TS (ULS 16)	TS (HS 787)	ABF
przepuszczalność promieniowania bezpośredniego	zmienna wg ASHRAE [1]	0.36	0.31	0.84
przepuszczalność promieniowania rozproszonego	0.79	0.34	0.29	0.84

Przepuszczalność promieniowania słonecznego bezpośredniego przez przegrody szklane badanych obiektów była określana, zgodnie z zależnością, od kąta padania promieni słonecznych, określaną wg [1].

3. WYNIKI OBLICZEŃ

Wyniki obliczeń zysków ciepła od promieniowania słonecznego przedstawiono tabelarycznie i graficznie dla dwóch analizowanych obiektów. W tabeli 3 zaprezentowano przykładowe zestawienie miesięcznych sum zysków ciepła od promieniowania bezpośredniego w szklarni 6B z ekranem termoizolacyjnym HS 787.

Tabela 3. Miesięczne sumy zysków ciepła w przeliczeniu na 1 m² powierzchni szklarni 6B z ekranem HS 787 – dane tylko od promieniowania bezpośredniego
Table 3. Monthly sums of solar heat gain calculated on square metre surface greenhouse 6B with thermal screen HS 787 – data only from direct solar radiation

m-c	Q _{1bE}	Q _{1bS}	Q _{1bW}	Q _{1bN}	Q _{1bS\}	Q _{1bN\}	Q _{2bE}	Q _{2bS}	Q _{2bW}	Q _{2bN}	Q _{2bS\}	Q _{2bN\}
	kWh/m ²											
1	0.7	2.9	0.1	0.0	10.1	0.0	0.7	2.9	0.1	0.0	10.1	0.0
2	0.5	2.2	0.2	0.0	10.8	0.0	0.5	1.5	0.2	0.0	7.1	0.0
3	1.3	3.1	0.7	0.0	21.8	2.1	1.3	1.6	0.7	0.0	11.3	0.9
4	1.5	2.5	0.8	0.0	26.7	9.0	1.5	1.1	0.8	0.0	11.9	3.7
5	1.7	2.3	0.8	0.0	37.4	20.1	1.7	1.0	0.8	0.0	16.6	8.3
6	1.2	1.9	0.8	0.0	37.2	22.9	1.2	0.8	0.8	0.0	15.8	9.5
7	1.1	1.8	0.8	0.0	33.2	19.7	1.1	0.8	0.8	0.0	14.3	8.2
8	1.9	2.5	1.0	0.0	33.3	14.9	1.9	1.1	1.0	0.0	15.0	6.1
9	1.9	4.0	0.8	0.0	30.8	4.6	1.9	2.0	0.8	0.0	15.3	1.9
10	1.7	3.3	0.3	0.0	17.7	0.1	1.7	2.2	0.3	0.0	11.2	0.1
11	0.4	1.6	0.1	0.0	6.6	0.0	0.4	1.6	0.1	0.0	6.6	0.0
12	0.2	1.4	0.1	0.0	5.6	0.0	0.2	1.4	0.1	0.0	5.6	0.0

Indeksy użyte w tabeli 3 do opisu poszczególnych wielkości zysków ciepła oznaczają:

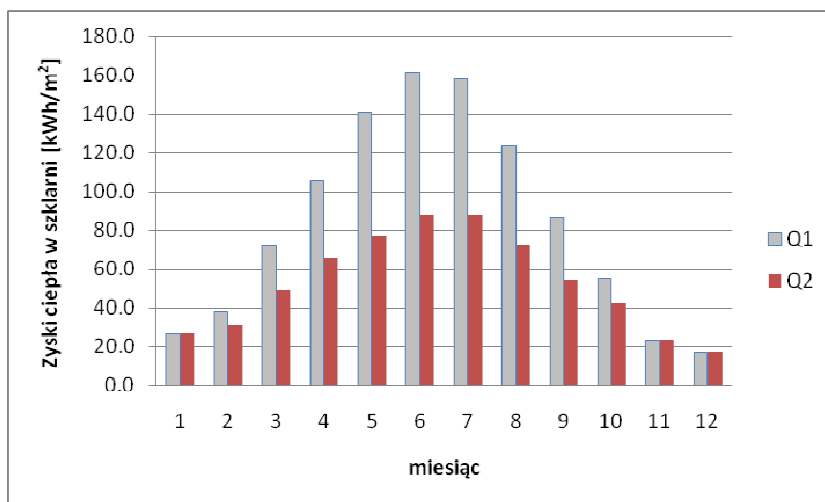
r, b – odpowiednio: promieniowanie rozproszone i promieniowanie bezpośrednie,

E, S, W, N – orientację przegrody względem stron świata,

1, 2 – odpowiednio: przegroda stała (1) lub z dodatkową osłoną – ekranem (2),

/ - przegroda nachylona względem poziomu – połącz dachowa szklarni.

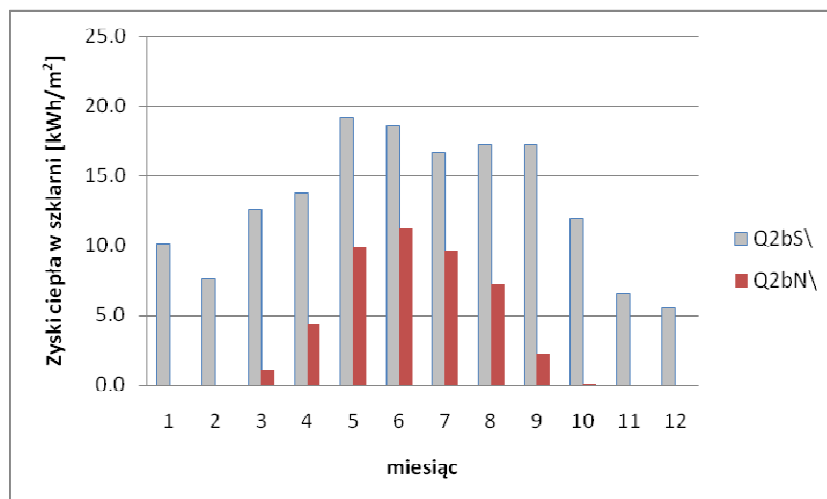
Przedstawione w tab. 2 wyniki obliczeń opracowano dla obiektu bez (1) i z ekranem (2), tak aby można było porównać wpływ ekranu cieniującego na wielkość zysków ciepła. Wielkości zysków ciepła w szklarni 6B zaprezentowano na rys. 2. Miesięczne sumy zysków ciepła w miesiącach styczniu oraz listopadzie i grudniu są najczęściej sobie równe lub zbliżone, niezależnie od tego czy w szklarni jest wyposażona czy też nie w ekran cieniujący. W warunkach eksploatacyjnych w w/w miesiącach tych występuje znaczący deficyt zapotrzebowania na ciepło, natomiast słoneczne zyski ciepła w porze dziennej nie powodują przegrzewania wnętrza szklarni – stąd nie ma konieczności cieniowania powierzchni szklarni.



Rys. 2. Miesięczne sumy zysków ciepła w przeliczeniu na $1m^2$ szklarni 6B bez ekranu (Q_1) i z ekranem termoizolacyjnym HS 787(Q_2)

Fig. 2. Monthly sums of solar heat gain calculated on square metre surface greenhouse 6B without thermal screen (Q_1) and with thermal screen HS 787(Q_2)

Z powyższych obliczeń wynika, że całkowite zyski ciepła od promieniowania słonecznego zostają znacząco ograniczone przez dodatkowy ekran cieniujący. Zmniejszenie zysków ciepła w wyniku funkcjonowania ekranu to ok. 18% w miesiącu lutym do ponad 45% w miesiącu czerwcu. Analiza wyników obliczeń zysków ciepła wskazuje, że największy udział ma w ogólnym bilansie mają zyski ciepła przez połącz dachową, nachyloną w kierunku południowym. Porównanie zysków ciepła od promieniowania bezpośredniego, które ma określony kierunek oraz wielkość zysków jest tu zależna od kąta padania promieni słonecznych na przegrodę przezroczystą, przedstawiono na przykładzie różnie zorientowanych połączy dachowych (rys. 3).



Rys. 3. Miesięczne sumy zysków ciepła od promieniowania słonecznego bezpośredniego przez różnie zorientowane połacie dachowe w szklarni 6A z ekranem ULS 16
 Fig. 3. Monthly sums of solar heat gain through different orientate roof area greenhouse 6A with thermal screen ULS 16 - data only from direct solar radiation

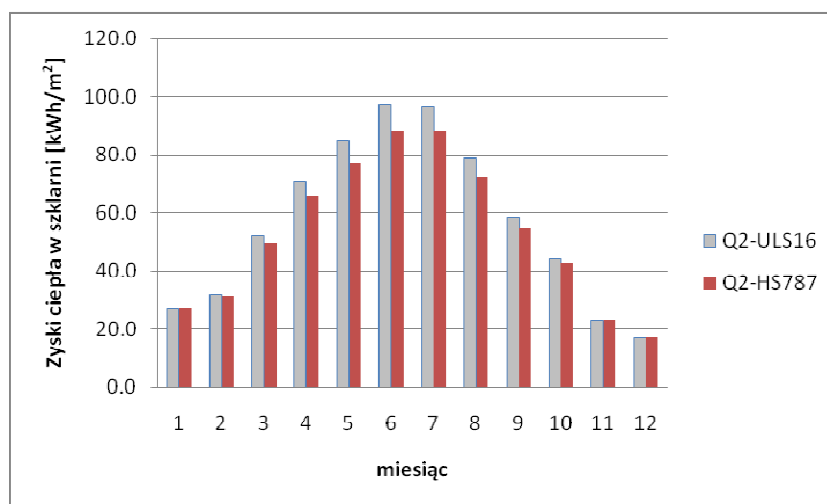
Przebieg zmian miesięcznych zysków ciepła od promieniowania słonecznego bezpośredniego na połaci dachowej nachylonej w kierunku północnym nie obejmuje okresu od listopada do lutego. W miesiącach tych promieniowanie słoneczne bezpośrednie nie pada na tak zorientowaną i nachyloną połac dachową analizowanych szklarni. Zyski ciepła przez połac dachową zorientowaną na południe w miesiącach styczeń, listopad i grudzień nie są ograniczane przez ekran cieniujący, w pozostałych miesiącach widać różnice w obciążeniu zyskami ciepła z uwagi na zmienne położenie słońca nad horyzontem, ale także również zmienny współczynnik przepuszczalności bezpośredniego promieniowania słonecznego przez szkło.

Porównując dwa analizowane obiekty szklarniowe z różnymi ekranami termoizolacyjnymi (rys. 4) uzyskano wyniki wskazujące, na to że większe ograniczenie zysków ciepła uzyskuje się stosując ekran HS 787. Wynika to zarazem z właściwości ekranu, ale także z funkcjonowania tego ekranu jako dodatkowej ruchomej osłony.

4. PODSUMOWANIE

Wyniki wskazują na znaczące wielkości strumieni ciepłych od promieniowania słonecznego w szklarniach. Należy tu jednak zaznaczyć, że otrzymane wyniki uwzględniają również tą część zysków ciepła, która jest odprowadzana wraz z powietrzem wentylacyjnym podczas intensywnego wietrzenia szklarni. Otrzymane wyniki wskazują na dużą dysproporcję w wielkości zysków ciepła od różnie zorientowanych przegród. Zwraca uwagę również znaczące ograniczenie wielkości zysków ciepła w szklarni z funkcjonującym ekranem cieniującym. Wiedza z tego zakresu może zostać wykorzystana do modelowania i oszacowania obciążenia cieplnego zyskami od nasłonecznienia przy użyciu materiałów cieniujących o innych współczynnikach przepuszczalności promieniowania

słonecznego. Pozwala to również na analizę usytuowania szklarni względem stron świata, tak aby maksymalizować zyski ciepła od nasłonecznienia w okresach przejściowych i zimowym i minimalizować straty ciepła na zewnątrz obiektu oraz dodatkowo ograniczać nadmierne nasłonecznienie szklarni w okresie letnim.



Rys. 4. Miesięczne sumy zysków ciepła w przeliczeniu na $1m^2$ badanych szklarni z ekranami termoizolacyjnymi

Fig. 4. Monthly sums of solar heat gain calculated on square metre surface investigated greenhouses with thermal screens

5. LITERATURA

- [1] ASHRAE Handbook Fundamentals, ASHRAE, Atlanta 2005
- [2] Duffie J.A., Beckmann W.A.; Solar Engineering of Thermal Processes, John Wiley & Sons, Inc., New York 1991
- [3] Wolski L., Grabarczyk S.; Wpływ wybranych czynników na zużycie energii cieplnej w szklarni pojedynczej i zblokowanej, XLVIII Konferencja Naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN i Komitetu Nauki PZITB, Opole-Krynica 2002, s. 145-152
- [4] Zabeltitz Ch.; Szklarnie – projektowanie i budowa, PWRiL, 1991

SOLAR HEAT GAIN IN GREENHOUSE WITH THERMAL SCREEN

SUMMARY

The paper present the research result of calculation of solar heat gain in greenhouses with thermal screen. Calculations were made for free-standing greenhouses with different properties of additional screen.

II Konferencja SOLINA 2008

ENERGIA ODNAWIALNA
Innowacyjne Rozwiązania
Materiały i Technologie dla Budownictwa



Marek HAJTO, mgr inż.
Wojciech GÓRECKI, prof. dr hab. inż.
Akademia Górniczo-Hutnicza
Katedra Surowców Energetycznych
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
e-mail: mhajto@agh.edu.pl

PERSPEKTYWY NOWYCH PROJEKTÓW GEOTERMALNYCH NA TLE ROZMIESZCZENIA ZASOBÓW WÓD TERMALNYCH NA NIŻU POLSKIM

STRESZCZENIE

W referacie wskazano perspektywiczne lokalizacje nowych ujęć wód termalnych na obszarze Polski niżowej. Wybrane miejsca charakteryzują się optymalnymi parametrami hydrogeologicznymi oraz geotermalnymi w obrębie wytypowanych zbiorników wodonośnych na Niżu Polskim. Analiza podstawowych parametrów hydrogeologicznych i termicznych oraz wstępna, wskaźnikowa analiza ekonomicznej opłacalności pozyskania ciepła z wód termalnych w wyszczególnionych rejonach, wskazuje, że wykorzystanie wód geotermalnych w celach grzewczych może przynieść wymierne korzyści ekonomiczne, społeczne i środowiskowe.

1. WPROWADZENIE

Elektrownie oraz zakłady ciepłownicze, oparte na wodach geotermalnych funkcjonują w 33 państwach europejskich. Sześć państw, w tym: Włochy, Islandia, Turcja, Rosja (na Kamczatce), Francja (na Gwadelupie), Portugalia (na Azorach) wykorzystują przegrzane pary do produkcji energii elektrycznej. Austria i Niemcy produkują energię przy wykorzystaniu instalacji binarnych. Sumaryczna produkcja energii elektrycznej w Europie wynosi ponad 7 TWh/rok [1], [28].

Równolegle w 2005 roku, wykorzystanie wód geotermalnych w celach ciepłowniczych deklarowało 28 państw europejskich, które łącznie produkują ok. 140 PJ/rok energii [29].

W Polsce praktyczne wykorzystanie ciepła wód geotermalnych można podzielić na trzy zasadnicze grupy. Grupa I obejmuje instalacje ciepłownicze wykorzystujące wody o temperaturach powyżej 25°C, grupa II - instalacje pracujące w uzdrowiskach do celów balneoterapeutycznych, natomiast instalacje z grupy III obejmują systemy pomp ciepła, które wykorzystują ciepło gruntu i płytkich wód podziemnych o temperaturach poniżej 25°C (maksymalna temperatura dolnego źródła dla efektywnej pracy sprężarkowych pomp ciepła). Zainstalowana moc cieplna instalacji produkujących ciepło wyłącznie ze źródeł geotermalnych, w tym instalacje pomp ciepła, wynosiła w Polsce około 102 MWt. Całkowitą, zainstalowaną moc w ciepłowniach geotermalnych, włącznie z instalacjami pomp ciepła oszacowano na około 210 MWt, przy rocznej produkcji ciepła na poziomie 1,1 PJ/rok [20].

Ponad połowa produkcji energii cieplnej, tj. ok. 580 TJ/rok, przypada na 5 funkcjonujących obecnie Zakładów Geotermalnych (Rys. 2). Cztery z nich zlokalizowane są na obszarze polski niżowej: Pyrzyce (1977), Mszczonów (1999), Uniejów (2001), Stargard Szczeciński (2005). Piąty, najbardziej rozbudowany projekt geotermalny, funkcjonuje od 1993 r. w rejonie Niecki Podhalańskiej i zaopatruje w ciepło odbiorców w Zakopanem, Bańskiej, Białym Dunajcu i Poroninie.

2. POTENCJAŁ GEOTERMALNY W POLSCE

Na obszarze Polski zlokalizowane są naturalne baseny sedymentacyjno-strukturalne, wypełnione wodami geotermalnymi o zróżnicowanych temperaturach od 20° do 80-90°C. Lokalnie, w głębokich strukturach geologicznych stwierdzono występowanie wód o wyższych temperaturach, do stu kilkudziesięciu stopni. Wody w szerokim zakresie temperatur mogą być wykorzystane do celów grzewczych w budownictwie indywidualnym i komunalnym, do przygotowania ciepłej wody użytkowej, do ogrzewania pomieszczeń gospodarczych, szklarni, upraw w gruncie, a także do celów balneoterapeutycznych i rekreacyjnych.

Dotychczasowa ocena krajowych zasobów złóż geotermalnych spotykana w literaturze jest niejednoznaczna. Wydobywalne zasoby energii geotermalnej w Polsce zostały wstępnie, w roku 1987, ocenione na ok. $7,0 \cdot 10^9$ tpu, co odpowiada $4,9 \cdot 10^9$ TOE [30]. W roku 1990 Szargut przeliczył zasoby geotermalne Polski, zakładając, że będą one wykorzystywane jedynie do celów ciepłowniczych [32]. Kalkulacje wskazały na wielkość rzędu $2,6 \cdot 10^6$ tpu ($1,8 \cdot 10^6$ TOE). Jak wskazują przytoczone powyżej wartości różnice są znaczne i wynikają głównie z zastosowania różnej metodyki obliczeń oraz różnej oceny możliwości pozyskania i wykorzystania geotermalnych źródeł ciepła.

Próbie unifikacji nazewnictwa oraz zastosowania ujednoliconych kryteriów i metodyki oceny zasobów dla obszaru Polski Niżowej podjęto w ramach realizacji projektu pt.: „Atlasy geotermalne formacji mezozoicznej i paleozoicznej analiza geologiczna, hydrogeologiczna i geotermiczna oraz zasobowa wód i energii geotermalnej na Niżu Polskim”, wykonanym przez Zespół pracowników Katedry Surowców Energetycznych Akademii Górniczo-Hutniczej, na zlecenie Ministra Środowiska w latach 2004-2006.

Rozpoznanie parametrów hydrogeologicznych i termalnych w Polsce, wskazuje, że zasoby energii geotermalnej w naszym kraju związane są z wodami podziemnymi różnych pięter stratygraficznych występujących na różnej głębokości, zwykle od 1,5-4 km, w obrębie jednostek geologicznych w Karpatach, w Sudetach i na Niżu Polskim.

2.1. Potencjał energii geotermalnej Karpat i zapadliska przedkarpackiego

Najkorzystniejsze warunki eksploatacji wód geotermalnych do celów energetycznych w rejonie Karpat istnieją, wg Ney'a w karpackim subbasenie podhalańskim [31]. Występują tam wody geotermalne o temperaturze od 35 do 120°C, o niskiej mineralizacji i ciśnieniu artezyjskim. Objętość tych wód Sokołowski szacuje na ponad 10 km³, a zasoby statyczne energii w nich zawartej są równoważne 40•10⁶ TOE [4].

W basenach zapadliska przedkarpackiego ten sam autor ocenia objętość wód geotermalnych na 362 km³, o temperaturze od 30 do 120°C i zawierających zasoby energii cieplnej odpowiadające ponad 1•10⁹ TOE.

W basenach Karpat Polskich znajduje się wg Sokołowskiego około 100 km³ wód geotermalnych zawierających zasoby energii równoważne 180•10⁶ TOE.

2.2. Potencjał energii geotermalnej Sudetów

W Sudetach naturalne źródła powierzchniowe wód ciepłych skupiają się w dolinach śródgórskich, w strefach krzyżowania się dyslokacji [5], [6]. W Cieplicach, położonych w kotlinie jeleniogórskiej, występuje 6 głównych źródeł o sumarycznej wydajności ok. 18 m³/h i średniej temperaturze wody 32,5°C. Są to wody o mineralizacji 0,64-1,0 g/dm³, pochodzące z karbońskich granitów Karkonoszy. W Łądku-Zdroju, w Dolinie Łądeckiej, sumaryczna wydajność źródeł wynosi 28 m³/h. Są to wody o mineralizacji nie przekraczającej 0,12 g/dm³ i średniej temperaturze 27,5°C, pochodzące z gnejsów prekambryjskich. Zdaniem Dowgiałły [5] Sudety stanowią obszar perspektywiczny dla poszukiwań wód termalnych. Istnieje możliwość uzyskania dalszych samowypływów wód ciepłych w rejonie Cieplic, Łądku-Zdroju i Dusznik-Szczawy.

2.3. Potencjał energii geotermalnej na Nizinie Polskiej

Podstawowe zasoby wód geotermalnych na Nizinie Polskiej związane są z warstwami wodonośnymi ery mezozoicznej. Wody geotermalne zakumulowane są w formacjach piaszczystych dolnej kredy i dolnej jury [7], [8], [20], [30], [33]. Znaczne zasoby energii geotermalnej zakumulowane są również w wodach zbiorników: górnopaleozoicznego, środkopaleozoicznego, górnopaleozoicznego i dolnopaleozoicznego [11], [20]. Prace badawcze przeprowadzone w ostatnich latach przez Zespół Katedry Surowców Energetycznych AGH pozwoliły na rozpoznanie potencjału geotermalnego, zgromadzonego w wodonośnych utworach formacji paleozoicznej od kambru do permu [14], [21]. Identyfikacja warunków geotermalnych skał wieku paleozoicznego stanowi istotne uzupełnienie wiedzy na temat krajowych zasobów energii geotermalnej na Nizinie Polskiej. Uzyskane wyniki dają nowe możliwości rozwoju geotermii i dziedzin pokrewnych (balneologia, rekreacja etc.) w rejonach leżących poza obszarami występowania ciepłych wód podziemnych formacji mezozoicznych.

W latach 2004-2006, w ramach realizacji wspomnianych w Roz. 2 „Atlasów geotermalnych formacji mezozoicznej i paleozoicznej...”, dokonano weryfikacji obliczeń zasobów energii geotermalnej zgromadzonej w głównych zbiornikach wodonośnych na Nizinie Polskiej. Obszar kalkulacji zasobów obejmował ponad 270 tys. km², co stanowi ok. 87% powierzchni kraju. Zdefiniowano poszczególne klasy zasobowe, ujednolicono nomenklaturę, a do obliczeń zasobów wykorzystano metodykę stosowaną w krajach Unii Europejskiej [25], [26], [27].

Jak wskazują wyniki kalkulacji zasobów energii geotermalnej, geologiczne zasoby energii geotermalnej zakumulowane w 9-ciu, głównych zbiornikach Polski niżowej wynoszą $1,45 \cdot 10^{22} \text{ J}$ ($3,47 \cdot 10^{11} \text{ TOE}$). Powyższa wartość wskazuje na całkowitą wielkość energii jaka jest zakumulowana w skałach i wodach wyszczególnionych poziomów profilu geologicznego.

Zasoby statyczne (geologiczne) energii geotermalnej mają tylko znaczenie poznawcze. Praktyczne znaczenie mają zasoby dyspozycyjne, a w szczególności zasoby eksploatacyjne. Dlatego podawane w różnego rodzaju publikacjach, ekspertyzach i opracowaniach zasoby energii geotermalnej w Polsce, będące zdaniem różnych autorów ekwiwalentem kilku, kilkudziesięciu miliardów lub nawet przekraczające 100 mld. tpu., są wielkościami teoretycznymi ciepła zakumulowanego w skałach i wodach podziemnych i nie mają nic wspólnego z możliwościami praktycznego wykorzystania wód i energii geotermalnej dla celów komercyjnych.

3. ZASOBY DYSPOZYCYJNE I EKSPLOATACYJNE ENERGII GEOTERMALNEJ MOŻLIWE DO WYKORZYSTANIA W REJONIE NIŻU POLSKIEGO

Zasoby dyspozycyjne energii geotermalnej danego zbiornika hydrogeotermalnego stanowią udokumentowaną część zasobów statycznych-wydobywalnych, których wykorzystanie jest ekonomicznie uzasadnione. Oszacowanie zasobów dyspozycyjnych wymaga dokonania oceny opłacalności wykorzystania energii geotermalnej wód danego zbiornika, poprzez porównanie wysokości niezbędnych do poniesienia nakładów kapitałowych na wybudowanie ujęcia geotermalnego, do ilości ciepła możliwej do uzyskania (sprzedania) w jednostce czasu przy alternatywnym sposobie wykorzystania środków finansowych. Nakłady kapitałowe dotyczą m.in.: instalacji wymienników ciepła, pomp, rurociągu przesyłowego oraz budynków i związanych z tym prac inżynierskich. Uwzględnia się również nakłady kapitałowe fazy przedprodukcyjnej oraz nakłady nieprzewidziane i koszty eksploatacji instalacji geotermalnej w fazie produkcyjnej.

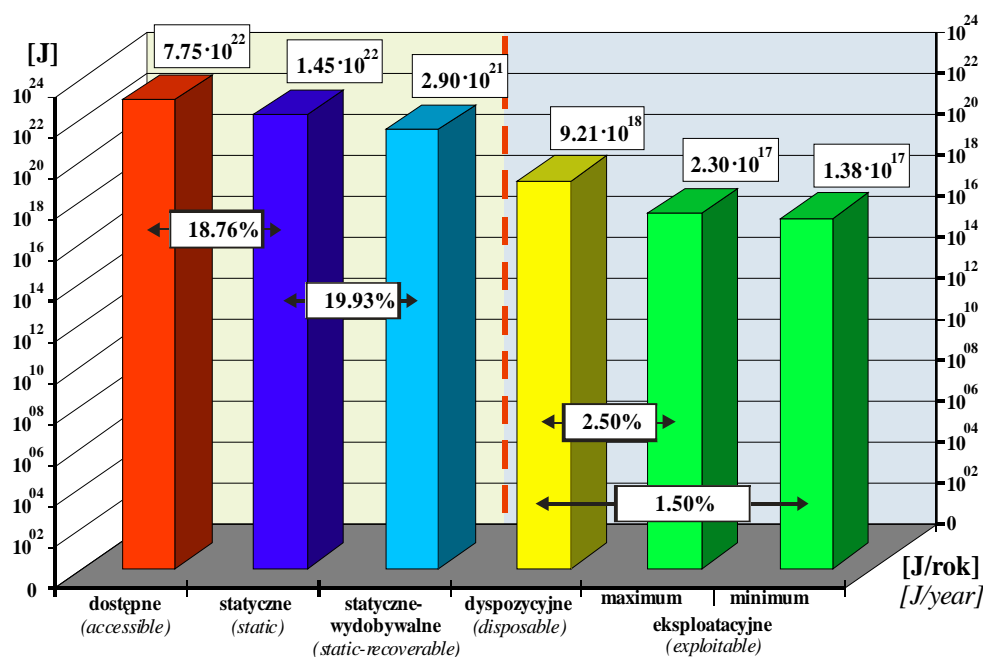
Dokonanie powyższych analiz umożliwia wskazanie obszarów zbiornika wód geotermalnych, gdzie potencjalnie możliwa jest efektywna ekonomicznie eksploatacja zgromadzonej energii cieplnej.

Należy podkreślić, że choć kryteria finansowe mają zasadnicze znaczenie przy podejmowaniu decyzji inwestycyjnych, to jednak nie zawsze są jedynymi miernikami uwzględnianymi w ocenach. W szczególności dotyczy to inwestycji infrastrukturalnych, w tym takich, których realizacja stymuluje rozwój szeregu istniejących oraz nowych dziedzin, bez negatywnego oddziaływania na środowisko naturalne. Jednakże dodatkowe korzyści o charakterze społecznym i gospodarczym można szczegółowo określić dopiero na etapie analizy sprecyzowanego projektu inwestycyjnego. Analizy regionalne dostarczają informacji o potencjalnie najbardziej korzystnych, z geologicznego i finansowego punktu widzenia, lokalizacjach przyszłych inwestycji.

Sumaryczne zasoby dyspozycyjne energii geotermalnej na Niziu Polskim, obejmujące energię zakumulowaną w 9-ciu zbiornikach geotermalnych, wynoszą $9,21 \cdot 10^{18} \text{ J/rok}$, co odpowiada $2,2 \cdot 10^8 \text{ TOE}$ (Rys. 1).

Wielkość obliczonych zasobów dyspozycyjnych energii geotermalnej na Niziu Polskim można korelować z wartością zasobów energii geotermalnej obliczoną dla obszaru Europy

przez Cataldiego [2], [3]. Szacuje on wielkość zasobów energii geotermalnej (geothermal reserves) na $6,0 \cdot 10^{19}$ J/rok..



Rys. 1. Relacje wielkości zasobów w poszczególnych klasach zasobowych na Niżu Polskim
Fig. 1. Relationship between resources within particular resource classes in the Polish Lowlands

Cataldi uważa, że energię geotermalną można w Europie wykorzystać na stosunkowo niewielkim obszarze, obejmującym w sumie kilka tysięcy kilometrów kwadratowych, gdzie znajduje się 5-10% wymienionych zasobów. Na obszarach tych własności parametrów hydrogeotermalnych są szczególnie korzystne, a równocześnie warunki rynku ciepłowniczego są na tyle atrakcyjne, że mogą przyciągnąć kapitał inwestycyjny.

Przy założeniu, że wykorzystane zostanie 1,5-2,5% zasobów dyspozycyjnych (Rys. 1), wielkość zasobów eksploatacyjnych wyniosłaby $1,38 \cdot 10^{17}$ - $2,30 \cdot 10^{17}$ J/rok ($3,3$ - $5,5 \cdot 10^6$ TOE/rok).

Potencjał energetyczny zgromadzony w wodach geotermalnych na Niżu Polskim, wyrażony wielkością zasobów eksploatacyjnych, stanowi równowartość 300-500 instalacji geotermalnych, z których każda uzyskuje rocznie około 500 TJ ciepła.

4. PERSPEKTYWICZNE LOKALIZACJE DLA ZAGOSPODAROWANIA ENERGII GEOTERMALNEJ NA NIŻU POLSKIM

W latach 1995-2007 z inicjatywy Zakładu Surowców Energetycznych (obecnie: Katedra Surowców Energetycznych) Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie przeprowadzono prace badawcze dotyczące możliwości budowy instalacji geotermalnych w blisko 200 miastach na Niżu Polskim. Na drodze trójetapowej selekcji dokonano wyboru

kilkudziesięciu miast, dla których opracowano koncepcje zagospodarowania ciepła wód geotermalnych. Projekty były finansowane z inicjatywy Ministerstwa Środowiska przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej oraz z inicjatywy urzędów marszałkowskich i urzędów miast zainteresowanych wykorzystaniem energii i wód geotermalnych na ich terenie.

Miasta poddane szczegółowej analizie charakteryzowały się dostatecznie dobrymi warunkami hydrogeotermalnymi, posiadały odpowiednich odbiorców ciepła oraz wyrażały zainteresowanie realizacją przedsięwzięć geotermalnych obecnie lub w przyszłości, a obliczony jednostkowy koszt pozyskania ciepła geotermalnego na poziomie ujęcia był niższy od obowiązującej ceny urzędowej na energię cieplną.

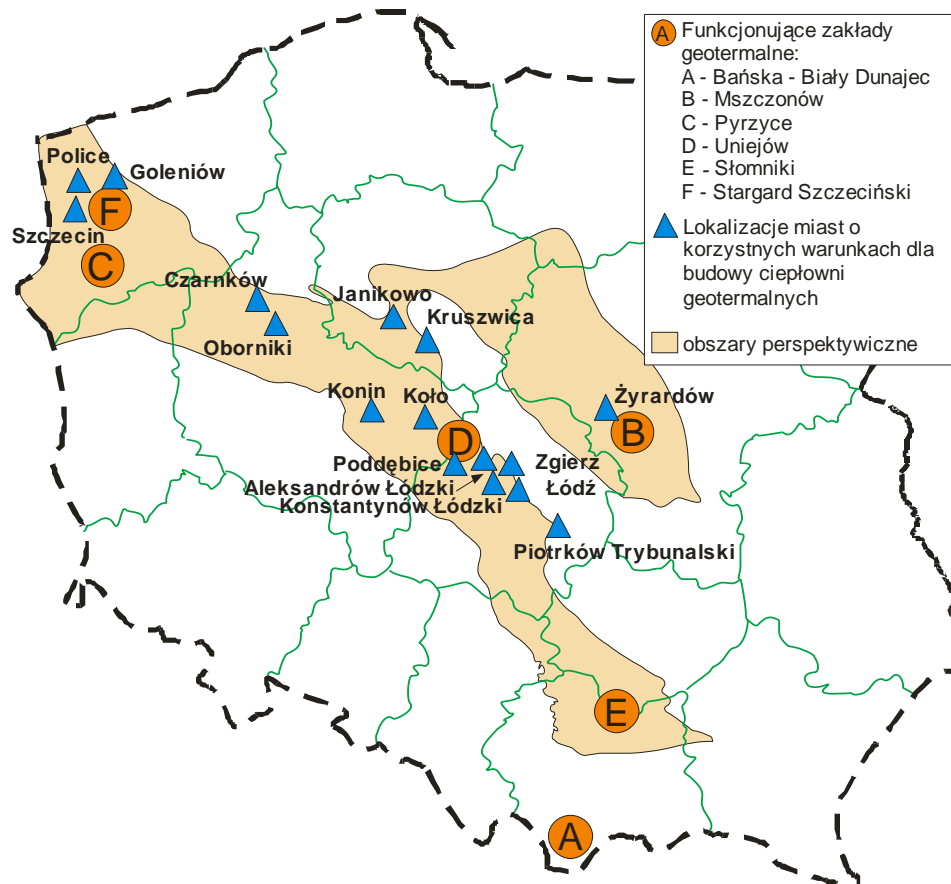
Dla większości miast zaproponowano koncepcje zagospodarowania ciepła geotermalnego na rzecz odbiorców w sektorze komunalno-bytowo. Sektor ten pochłania ok. 40% krajowego zużycia energii i jest on obiektem szczególnej uwagi władz samorządowych, będących inicjatorami przedsięwzięć w dziedzinie gospodarki cieplnej. Proponowane koncepcje zagospodarowania ciepła geotermalnego uwzględniały specyfikę lokalnego rynku odbiorców oraz charakter funkcjonujących systemów ciepłowniczych. Na podstawie analiz dokonanych w niecce mogileńsko-łódzkiej [9], niecce warszawskiej [10] i szczecińskiej wytypowano kilkanaście miast o najkorzystniejszych warunkach geologicznych, hydrogeologicznych, geotermalnych oraz odpowiednim rynku odbiorców ciepła i zadowalającym otoczeniu inwestycyjno-ekonomicznym dla budowy instalacji geotermalnych (Rys. 2).

W obrębie niecki mogileńsko-łódzkiej wytypowano następujące miasta: Czarńków, Oborniki, Konin, Koło, Poddębice, Aleksandrów Łódzki, Konstantynów Łódzki, Zgierz, Łódź, Piotrków Trybunalski. W obrębie niecki warszawskiej optymalne warunki do wykorzystania wód geotermalnych występują w Żyrardowie. W rejonie niecki szczecińskiej, obejmującej obszar północno-zachodniej Polski, korzystne warunki dla budowy instalacji ciepłowniczych posiadają miasta: Police, Goleniów oraz Szczecin.

W latach 2002-2007, z inicjatywy władz lokalnych, bądź inwestorów prywatnych wykonano szereg ekspertyz oraz opracowań typu *prefeasibility study*, dla szeregu kolejnych miast z rejonu Polski niżowej [12], [13], [15], [16], [17], [18], [19], [22], [23], [24]. Można do nich zaliczyć: Poznań, Bydgoszcz, Grudziądz, Włocławek, Inowrocław, Gostynin, Kościan, Pionki, Pułtusk, Radzymin Konin.

Dla kilku miast dokonano weryfikacji i uaktualnienia projektów zagospodarowania wód geotermalnych, wykonanych w latach 1995-2000. Weryfikacja dotyczyła projektów dla Czarńkowa, Koła, Konina, Poddębic i Łodzi.

Spośród ww. miast w zaawansowanym stopniu realizacji są projekty w Toruniu oraz w Poddębicach. Geotermia Poddębice sp. z o.o., w marcu 2007, uzyskała koncesję na poszukiwanie i rozpoznanie złożeń wód termalnych w rejonie miasta i gminy. Projekt zakłada wykorzystanie wód termalnych zbiornika dolnej kredy w celach grzewczych oraz m.in. budowę parku wodnego i ośrodka rehabilitacji. W stadium intensywnego rozwoju są projekty wykorzystujące wody termalne w Mszczonowie i Uniejowie. W obu miastach realizowane są inwestycje związane z budową ośrodków rekreacyjnych. Miejmy nadzieję, że zapał i konsekwentne działania podjęte przez władze lokalne doprowadzą do realizacji tych projektów i dadzą przykład i motywację dla kolejnych gmin centralnej części Polski.



Rys. 2. Przykłady miast o korzystnych warunkach dla budowy instalacji geotermalnych na Nizinie Polskiej oraz istniejące zakłady geotermalne w Polsce

Fig. 2. Location of towns with favourable conditions for construction of geothermal installations in the Polish Lowlands and existing geothermal heating plants in Poland

5. PODSUMOWANIE

Wykorzystanie czystej ekologicznie energii geotermalnej jest realne i ekonomicznie uzasadnione na dużym obszarze Niziny Polskiej, w Karpatach i Sudetach. Regionalna analiza zbiorników wód termalnych na Nizinie Polskiej wskazuje, że wykorzystanie energii do celów grzewczych winno, w pierwszej kolejności, opierać się na zasobach dolnojurajskiego zbiornika hydrogeotermalnego. Z powyższym poziomem wodnośnym należy wiązać również potencjalne możliwości kompleksowego wykorzystania zasobów geotermalnych w zasięgu poszczególnych województw i miast centralnej Polski. Wstępne analizy ekonomiczne wykazały opłacalność wielu z wykonanych projektów. Szczególnie korzystnie prezentują się projekty dla miast zlokalizowanych w obrębie niecki mogileńsko-łódzkiej, a w mniejszym stopniu również w obrębie niecki warszawskiej

i szczecińskiej. Koncepcje zagospodarowania energii i wód geotermalnych analizowanych miast dały pozytywne wyniki finansowe.

Potencjał energetyczny związany z wodami termalnymi występującymi na Niżu Polskim daje znacznie większe techniczne możliwości rozwoju, zarówno w zakresie ciepłownictwa, jak i balneoterapii i rekreacji, a wykorzystanie wód termalnych może w wielu miejscach przynieść wymierne efekty ekonomiczno-społeczne.

Teoretyczny, niewykorzystany potencjał zasobów geotermalnych na Niżu Polskim jest znaczny i stanowi równowartość 300-500 instalacji geotermalnych, z których każda uzyskuje rocznie około 500 TJ ciepła

6. LITERATURA

- [1] Bertani R., World geothermal generation 2001-2005: State of the art. Proceedings of the World Geothermal Congress, Turkey, Paper No. 0008 (CD), 2005,
- [2] Cataldi R., Problemy środowiska i kosztów zagospodarowania energii geotermalnej. Techn. Poszuk. Geol. Geosynoptyka i Geotermia nr 5-6, 1993,
- [3] Cataldi R., Outline of General Problems and Costs of Geothermal Development, with Particular Reference to Europe. Conference held at the University of Mining and Metallurgy in Cracow, 9 June 1994,
- [4] Courdert J.M., Jaudin F., Sokołowski J., Geotermia, od gejzera do grzejnika. PAN Kraków, 1996,
- [5] Dowgiałło J., Występowanie i perspektywy dalszego występowania wód geotermalnych w Polsce. Balneologia t.17, 1972,
- [6] Dowgiałło J., Problematyka hydrogeotermiczna regionu sudeckiego. Przegląd Geol. Nr 6, 1987,
- [7] Górecki W. (red.), Atlas wód geotermalnych Niżu Polskiego. Objąsnienia tekstowe. ISE AGH, Kraków: 369, 1990,
- [8] Górecki W. (red.), Atlas zasobów energii geotermalnej na Niżu Polskim. ZSE AGH, Towarzystwo Geosynoptyków „GEOS”, Kraków, 1995,
- [9] Górecki W. i in., Studium możliwości inwestycyjnych nad wykorzystaniem energii geotermalnej w zbiornikach dolnojurajskim i dolnokredowym w synklinorium mogileńsko-łódzkim na Niżu Polskim. Arch. ZSE AGH, Kraków, 1996,
- [10] Górecki W. i in., Modele geotermalne formacji mezozoicznej na obszarze niecki warszawskiej, konstruowane z wykorzystaniem systemu Landmark i studium techniczno-ekonomiczne. Arch. ZSE AGH, Kraków, 1999,
- [11] Górecki W. i in., Analiza geologiczna i ocena zasobów wód i energii geotermalnej w formacjach jury środkowej i górnej oraz triasu na Niżu Polskim. Projekt KBN. Arch. Zakładu Surowców Energetycznych, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków, 2000,
- [12] Górecki W., i in.. Projekt prac geologicznych dla rozpoznania złożeń wód geotermalnych w Łodzi. ZSTG "GEOS", Kraków, 2002,
- [13] Górecki W., Hajto. M., Ekspertyza dotycząca możliwości zagospodarowania wód geotermalnych w rejonie Radzimina. Arch. ZSE AGH, Kraków, 2003,
- [14] Górecki W., Kozdra T., Hajto M., i.in., Analiza geologiczna i ocena zasobów wód i energii geotermalnej w wytypowanych zbiornikach geotermalnych dewonu, karbonu i permu na Niżu Polskim. Projekt badawczy KBN nr 9 T12B00519. ZSE AGH, Kraków, 2003,

- [15] Górecki W., Hajto. M., Ekspertyza dotycząca możliwości zagospodarowania ciepła wód geotermalnych w rejonie miasta i gminy Gostynin. Arch. ZSE AGH, Kraków, 2004,
- [16] Górecki W., Hajto. M., Ekspertyza dotycząca możliwości zagospodarowania ciepła wód geotermalnych w rejonie miasta Czarnkowa. Arch. ZSE AGH, Kraków, 2004,
- [17] Górecki W., Hajto. M., Ekspertyza. Koncepcja zagospodarowania wód geotermalnych w rejonie Pułtusza. Arch. ZSE AGH, Kraków, 2004,
- [18] Górecki W., Krysiński J., Klonowicz W., Hajto M., Nagy S., Ekspertyza. Geothermal conditions for a prospective geothermal CHP plant in Łódź. Współpracy naukowo-badawcza w ramach projektu EO1.FP6.SES-ML. 2003 Sustainable Energy Systems. Kraków, Arch. ZSE AGH, 2004,
- [19] Górecki W., Hajto M. Wody geotermalne województwa kujawsko-pomorskiego, ze szczególnym uwzględnieniem dla potrzeb gospodarczych miast: Bydgoszczy, Torunia, Włocławka i Grudziądz. ZSTG "GEOS", Kraków, 2004.
- [20] Górecki W. (red.), Atlas zasobów geotermalnych na Niżu Poskim – formacje mezozoiku – Ministerstwo Środowiska. ZSE AGH, Kraków, 2006,
- [21] Górecki W. (red.), Atlas zasobów geotermalnych na Niżu Poskim – formacje paleozoiku – Ministerstwo Środowiska. ZSE AGH, Kraków, 2006,
- [22] Górecki W., Hajto. M. i in., Projekt prac geologicznych dla rozpoznania złoża wód termalnych w rejonie miasta Poddębice. ZSTG "GEOS", Kraków, 2007,
- [23] Górecki W., Hajto M., Wstępne studium opłacalności ekonomicznej wykorzystania źródeł geotermalnych zlokalizowanych w okolicy Inowrocławia do celów przemysłowych. ZSTG "GEOS", Kraków, 2007,
- [24] Górecki W., Hajto. M., Koncepcja zagospodarowania wód geotermalnych w rejonie miasta Pionki (wstępna analiza podstawowych parametrów hydrogeotermalnych). Arch. ZSE AGH, Kraków, 2007,
- [25] Haenel R., Geothermal Resource and Reserve Assessment. Report NLFb, Hannover, Archive No 95 100, 1982,
- [26] Haenel R., Staroste E., Atlas of geothermal resources in the European Community. Austria and Switzerland, Th Schafer, Hannover, Germany, 1988,
- [27] Haenel, R., Staroste, E., Atlas of geothermal resources in Europe. Hannover, Germany, 2002,
- [28] Kępińska B., W: Górecki W. (red.), Atlas zasobów geotermalnych na Niżu Polskim - formacje mezozoiku - Ministerstwo Środowiska. ZSE AGH, Kraków, 2006,
- [29] Lund J., Freeston D. H., Boyd T., World - wide direct uses of geothermal energy 2005. Proceedings of the World Geothermal Congress, Turkey, 2005. Paper No. 0007 (CD), 2005,
- [30] Ney R., Sokołowski J., Wody geotermalne Polski i możliwości ich wykorzystania, Nauka Polska. Nr 6. 1987,
- [31] Ney R., Perspektywy wykorzystania energii geotermalnej. Mat. Konf., Zakopane, 1985,
- [32] Szargut J., Zasoby energii geotermalnej w Polsce. Gospodarka paliwami i energią, nr 7, Warszawa, 1990,
- [33] Sokołowski J., Możliwości wykorzystania wód geotermalnych dla uzupełnienia bilansu energetycznego Polski. Mat. Konf. Wołomin, 1987,

PROSPECTIVE LOCALIZATIONS OF NEW GEOTHERMAL PROJECTS IN THE BACKGROUND OF GEOTHERMAL ENERGY RESOURCES DISTRIBUTION IN THE POLISH LOWLANDS

SUMMARY

The paper presents results of studies which submit proposals of geothermal investment projects in selected towns of central Poland. Potential localizations of the new geothermal projects were determined. Localization of towns with the most favourable geological and hydrogeological conditions and appropriate market of heat consumers for a geothermal plant construction were presented.

The paper also presents results of calculation of geothermal energy resources accumulated within nine major aquifers in the Polish Lowlands (Fig. 1), made in the framework of realization of the project entitled “Geothermal atlases of the Mesozoic and Paleozoic formations – geological analysis and geothermal water and energy resources in the Polish Lowlands”, carried out in the years 2004-2006. The calculation area measured approximately 270 000 km² that represents more than 87 % of the territory of Poland.

As regards the amount of accumulated energy, the most interesting and promising areas of the Polish Lowlands occur in the Warsaw Trough, Mogilno – Łódź Trough (in the central part of Poland) and Szczecin Trough (in the northwestern part of the Polish Lowlands) (Fig. 2). Possibilities of geothermal energy utilization in remaining areas are rather low and related to limited areas.

Geothermal energy should be taken into account in plans of spatial management, and when planning and organizing the heat supply at the town or town district levels for selected localization (Fig. 2).

Jednostki (units):

1 tce = 1 tpu = $7 \cdot 10^6$ kcal = 0,7 TOE = 29,308 GJ

II Konferencja SOLINA 2008
ENERGIA ODNAWIALNA
Innowacyjne Rozwiązania
Materiały i Technologie dla Budownictwa



Dariusz HEIM*, dr inż.
Ernest BŁASZCZYK**, mgr inż.

* Politechnika Łódzka, Katedra Fizyki Budowli i Materiałów Budowlanych
Al. Politechniki 6, 90-924 Łódź, e-mail: dariusz.heim@p.lodz.pl

** Syracuse University, Department of Mechanical and Aerospace Engineering
Syracuse, NY 13244, USA, e-mail: ejblaszc@syr.edu

**OCENA MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA ENERGII
ODNAWIALNEJ W OPARCIU O ANALIZY STATYSTYCZNE
I SYMULACJE KOMPUTEROWE**

STRESZCZENIE

W pracy omówiono wyniki komputerowej analizy wykorzystania odnawialnych źródeł energii dla pokrycia zapotrzebowania na energię elektryczną różnego typu budynków. Symulacje przeprowadzono w cyklu pełnego roku kalendarzowego dla wybranych budynków o różnej funkcji i teoretycznym profilu zapotrzebowania na energię (dom mieszkalny, biuro, szpital, szkoła). Dodatkowo każdy rodzaj obiektu zróżnicowano ze względu na wielkość potrzebnej energii. Jako źródła energii odnawialnej zaproponowano ogniwa fotowoltaiczne i turbin wiatrowe. Sprawdzono zasadność stosowania tego typu rozwiązań w różnych okresach zapotrzebowania na energię (zima, lato) w warunkach klimatu Polski. Oceny wykorzystania energii ze źródeł odnawialnych dokonano na podstawie: dopasowania źródła zasilania i odbiornika (podaż/popyt) oraz współczynników zbieżności i korelacji dla profili zapotrzebowania i wytwarzania energii.

1. WPROWADZENIE

Prawidłowe projektowanie systemów energii odnawialnej zintegrowanych z siecią energetyczną budynku wymaga użycia zaawansowanych technik obliczeniowych opartych na analizach statystycznych i modelach matematycznych. W szczególności dotyczą one parametrów środowiska zewnętrznego (warunki brzegowe dla systemów energii

odnawialnej) oraz opisu charakterystyki obiektu (profile zapotrzebowania). Najkorzystniejszą pod względem „ekologicznym” formą pokrycia zapotrzebowania na energię są źródła odnawialne (np. słońce i wiatr). Ze względu na zmienny charakter generowanej przez nie energii uzasadnione jest łączenie ich w systemy hybrydowe w celu zapewnienia ciągłości dostarczania energii [1]. Dlatego też, podstawowym kierunkiem rozwoju energetyki odnawialnej są systemy zintegrowane w ujęciu globalnym. Na dzień dzisiejszy są one najwydajniejszą formą niezakłóconego pozyskiwania energii zapewniając w ten sposób ciągłe pokrycie jej zapotrzebowania.

Kompleksowość i złożoność zagadnień oceny doboru systemu energii odnawialnej wymaga skorzystania z zaawansowanych metod symulacyjnych i opartych na nich programach komputerowych, wykorzystujących zintegrowane modele obliczeniowe. Potrzeba stosowania takiego podejścia wynika z konieczności oceny rzeczywistego charakteru zachowania się budynku wraz z systemami jako całości.

2. SYMULACJE ENERGETYCZNE

Wpływ budownictwa na środowisko widoczny jest na każdym etapie istnienia budynku, od momentu pozyskania surowców do jego wytworzenia aż po etap utylizacji. Rosnące zapotrzebowanie na ekonomicznie uzasadnione i ekologicznie przyjazne budownictwo jest motorem wzmożonej aktywności dla wielu branż, lecz wymaga ogromnych nakładów. Aby procesy inwestycyjne przebiegały z jak największą efektywnością niezbędne jest wprowadzenie nowoczesnych technologii już na etapie projektowania. Używanie do tego celu programów symulacyjnych pozwala na wariantowanie, przewidywanie racjonalności zastosowanych rozwiązań oraz konsekwencji z nich wynikających. Pomimo, iż każda symulacja obciążona jest błędem wynikającym z założeń, otrzymywane w ten sposób informacje są pomocne dla projektantów w momencie podejmowania decyzji o wyborze danego rozwiązania.

Rozważając zastosowanie odnawialnych źródeł energii, podstawową decyzję jaką podejmuje projektant jest ustalenie jaki rodzaj zasilania brany będzie pod uwagę oraz określenie na podstawie badań, czy istnieją potencjalne możliwości jego wykorzystania w kontekście istniejących na danym obszarze warunków, w tym warunków klimatycznych. Chcąc wykorzystać nowoczesne narzędzia przy analizie wykorzystania odnawialnych źródeł energii konieczne jest posiadanie danych dotyczących zapotrzebowania energetycznego rozpatrywanego obiektu oraz danymi na podstawie, których można określić potencjał energetyczny i wydajność zastosowanych urządzeń. Z dostarczonych informacji można stworzyć dwa podstawowe profile: profil zasilania i profil zapotrzebowania na energię. Relacje pomiędzy tymi profilami nazwano umownie „połączeniem”. Na podstawie wprowadzonych parametrów program ocenia jakość danego zestawu urządzeń (źródło-odbiornik) i „wydaje opinie”, które z zadanych przez użytkownika systemów zasilania jest najlepsze dla założonego profilu zapotrzebowania.

3. PROFILE ZAPOTRZEBOWANIA I ZASILANIA

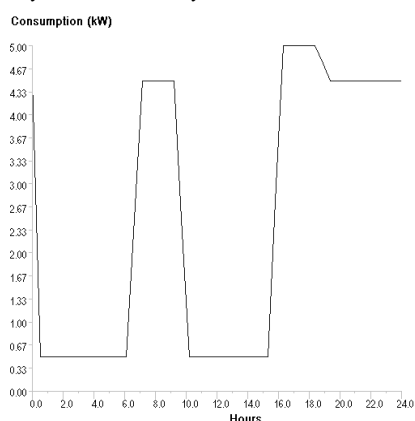
Profile zapotrzebowania określają okresowe zachowanie się obiektu pod kątem jego potrzeb energetycznych i stanowią podstawowe kryterium przy doborze sposobu zasilania. Profile zapotrzebowania tworzone są w sposób bezpośredni, na podstawie danych pomiarowych bądź teoretyczny, za pomocą symulacji komputerowych.

Dokładny opis sposobu statystycznej oceny połączenia pomiędzy profilami zapotrzebowania a profilami zaopatrzenia w energię opisany został przez Born [2]. Przy omawianiu zasad działania programu zamieszczonych w niniejszej pracy powołano się na przykłady zaprezentowane przez jego autora.

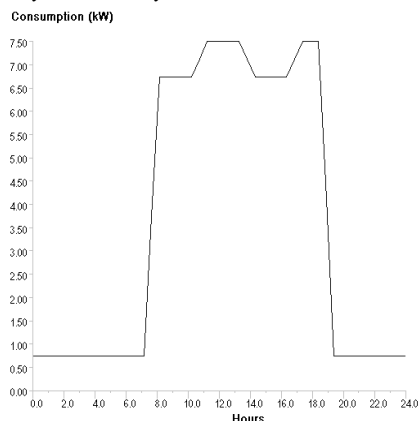
Dla potrzeb niniejszego opracowania wprowadzono pojęcia o umownym znaczeniu. Jako „połączenie” rozumie się relacje potencjał źródła a zapotrzebowanie budynku. Przez źródło rozumie się technologie odnawialne oraz systemy wspomagające użyte w analizie, zaś odbiornikiem jest konkretny budynek. Profil źródła i profil zapotrzebowanie to określona charakterystyka mocy urządzeń i odbiorników adekwatna dla rozważanego przypadku. Do oceny „połączenia” pomiędzy profilem źródła a profilem odbiornika wykorzystuje się zaawansowane modele matematyczne i statystyczne.

Na rysunku 1 przedstawiono zebrane przykładowe profile zapotrzebowania na energię dla wybranych rodzajów/typów budynków przyjętych do analizy z podziałem ze względu na ich funkcję.

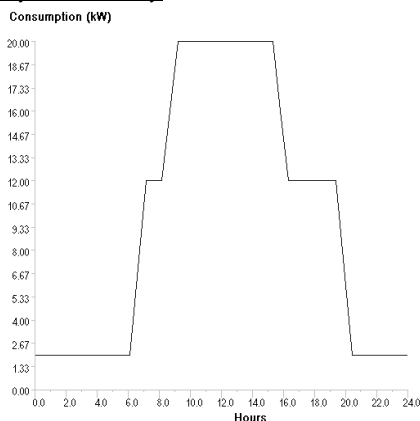
Budynek mieszkalny



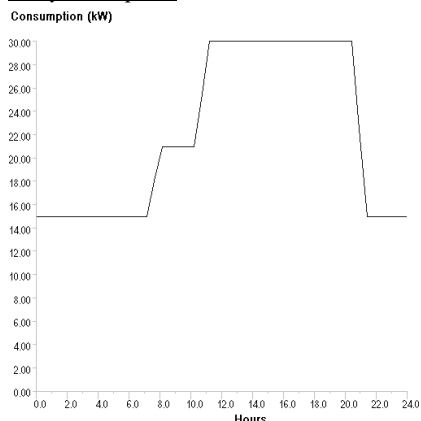
Budynek szkolny



Budynek biurowy



Budynek szpital



Rys. 1. Profile zapotrzebowania dla czterech typów budynków.
Fig. 1. Demand profiles for four building types.

4. NARZĘDZIE OCENY WYBRANEGO ŹRÓDŁA ENERGII

System *Merit* jest uniwersalnym narzędziem do oceny dynamicznego zachowania się systemu(ów) energii odnawialnej zintegrowanej z systemem zapotrzebowania budynku. Zastosowanie programu w analizach odnawialnych źródeł energii jest bardzo szerokie i uniwersalne. Program został stworzony głównie w celu wspomagania procesu optymalizacji doboru urządzeń i systemów, aczkolwiek jego szerokie zastosowanie dotyczy także następujących zagadnień:

- wymiarowania systemów odnawialnych źródeł energii,
- wymiarowania systemów pomocniczych,
- analizy usytuowania urządzeń pozyskujących energię odnawialną,
- identyfikacji potencjalnych rynków zbytu dla technologii odnawialnych,
- analizy obciążenia i odciążenia sieci elektroenergetycznych,
- dyskontowania taryf energetycznych.

5. ANALIZOWANE PRZYPADKI

Analizę przeprowadzono dla 12 budynków o teoretycznym zapotrzebowaniu na moc oraz czterech profilach zapotrzebowania (przykładowe dobowe profile zamieszczono na rys. 1). Jako źródła energii odnawialnej dla analizowanych obiektów rozważano turbiny wiatrowe małych mocy (od 3 do 10 kW) w liczbie kilku sztuk, turbiny dużych mocy od 150 do 300kW oraz ogniwa fotowoltaiczne. Ponadto założono także uzupełniające źródło energii elektrycznej w postaci akumulatorów (dla budynków o niewielkim zapotrzebowaniu) bądź generatora prądu w przypadku budynku o dużym zapotrzebowaniu na energię. Założone, maksymalne moce dla poszczególnych typów budynków zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Zapotrzebowanie na moc maksymalną dla analizowanych przypadków.
Table 1. Power requirement for analyzed cases.

Typ / wielkość budynku	Mały	Średni	Duży
Mieszkanie	20 kW	40 kW	60 kW
Szkoła	5 kW	50 kW	500 kW
Biuro	7,5 kW	15 kW	30 kW
Szpital	30 kW	90 kW	270 kW

Podczas oceny możliwości zastosowania odnawialnych źródeł energii niezbędne jest właściwe określenie parametrów klimatu, dla którego mają być prowadzone obliczenia. W przypadku tak dobranych systemów najistotniejszymi są promieniowanie słoneczne oraz prędkość wiatru. W omawianym przypadku posłużono się plikiem klimatycznym TMY (ang. *Typical Meteorological Year*) dla Warszawy [5].

6. WYNIKI ANALIZ

Na rysunkach 2-5 zamieszczono raporty wynikowe dla czterech budynków o średnim zapotrzebowaniu na moc.

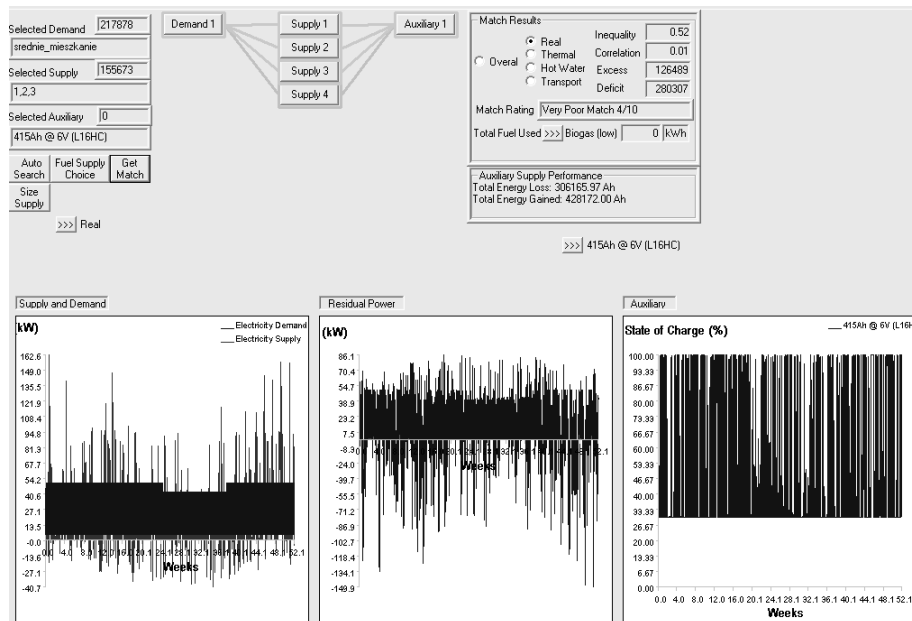
Pierwszy z analizowanych budynków to obiekt mieszkalny. W obiekcie małym udało się uzyskać dopasowanie 5/10 co jest wynikiem przeciętnym, natomiast w dwóch pozostałych przypadkach 4/10 co jest średnio zadawalające. Powodem tak słabych

wyników w tego typu budynkach są duże dobowe zmiany poboru energii. Wynika to z faktu, że w czasie kiedy nie ma domowników pobór prądu jest minimalnym, zaś właśnie wtedy duża ilość energii produkowana jest przez ogniwa fotowoltaiczne. Natomiast w godzinach popołudniowych pobór mocy wzrasta praktycznie do maksimum, zaś produkcja energii przy niesprzyjających warunkach wietrznych może radykalnie spadać. W obiekcie małym zastosowano ogniwa PV, turbiny o mocy 10 kW oraz akumulatory. Ze względu na stosunkowo niewielkie zapotrzebowanie akumulatory są w stanie zmagazynować wystarczającą ilość energii a następnie zrekompensować nią duże wahania poboru mocy. W obiekcie średnim i dużym takie rozwiązanie jest nierealne ponieważ należało by zastosować akumulatory o olbrzymich pojemnościach. Dla uzyskania mało zadowalającego wyniku w obiekcie średnim użyto paneli, turbin 3 kW i 10 kW oraz baterii. Natomiast w obiekcie dużym panele, turbiny 300 kW oraz dodatkowy generator o mocy 77,5 kW zasilany biopaliwem. Przy tak dużym zapotrzebowaniu na energię jest on niezbędny, żeby w każdej chwili niezależnie od innych systemów zabezpieczyć minimalne zapotrzebowanie na energię elektryczną.

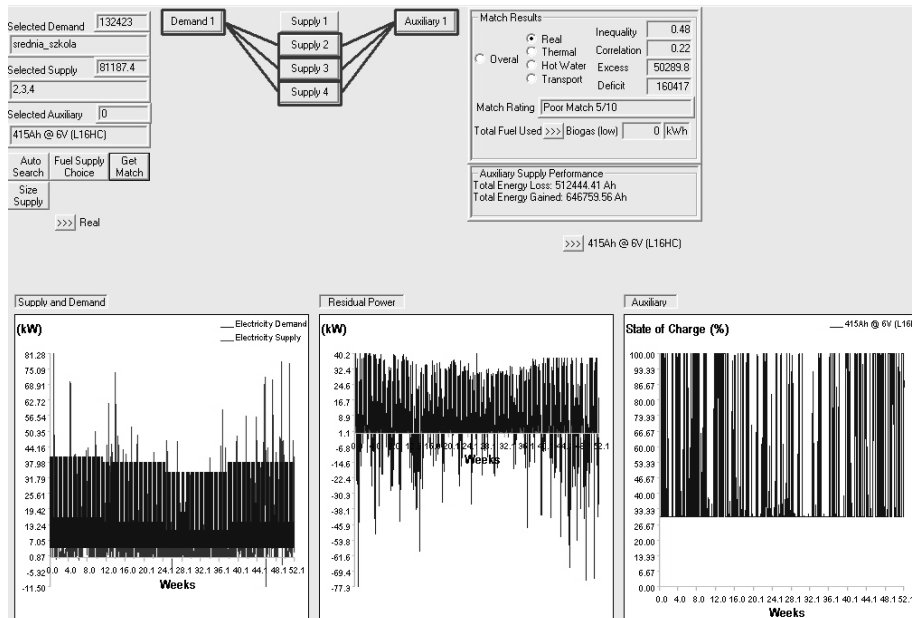
Kolejnym analizowanym budynkiem był budynek szkoły. We wszystkich trzech przypadkach osiągnięto współczynnik dopasowania 5/10. Jest to wynik średni, jednak nie dyskwalifikujący takie rozwiązanie. W każdym z trzech przypadków zastosowano ogniwa PV, turbiny wiatrowe o mocy 10 kW i 3 kW oraz akumulatory o pojemności 415 Ah. W zależności od wielkości budynku dobrano ilość urządzeń dla uzyskania zadowalającego wyniku. Zastosowanie kilku turbin może wydawać się nielogiczne ponieważ mogły by one być zastąpione przez jedną o większej mocy. Jednak ze względu na charakterystykę energetyczną okazały się one lepszym rozwiązaniem (możliwość korzystania z mniejszej liczby urządzeń).

W niewielkim obiekcie biurowym udało się uzyskać dopasowanie 6/10 co jest wynikiem całkiem dobrym, natomiast w dwóch pozostałych przypadkach 5/10. W pierwszym przypadku wynik taki uzyskano poprzez zastosowanie 80 paneli PV, 5 turbin o mocy 3 kW oraz 10 akumulatorów. Próby zastąpienia tego układu mniejszą ilością turbin powodowały znaczne pogorszenie wyników (otrzymywano znaczne nadmiary lub niedobory energii w poszczególnych okresach). W pozostałych przypadkach ze względu na podobne zapotrzebowanie energetyczne jak w przypadku szkoły zastosowano kombinację paneli PV, turbin o mocy 3 kW i 10 kW oraz akumulatora o pojemności 415 Ah. Takie zestawienie dawało zdecydowanie najlepsze wyniki w okresie pełnego roku.

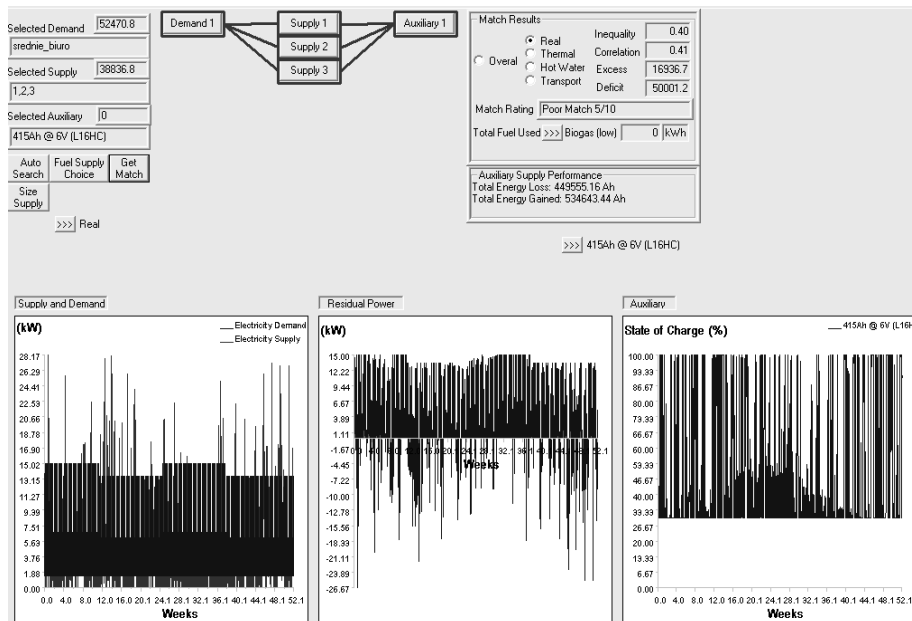
Ostatnim z analizowanych obiektów był szpital. W obiekcie małym i dużym udało się uzyskać dopasowanie 5/10 co jest wynikiem średnim, natomiast w średnim 6/10 co jest wynikiem zadowalającym. Szpital jest specyficznym obiektem ze względu na to, że minimalny pobór mocy został ustalony na poziomie około 50% maksymalnego. Wynika stąd konieczność zapewnienia przez całą dobę ciągłych dostaw energii, co w przypadku energii produkowanej ze słońca lub wiatru nie jest łatwe do spełnienia. W małej placówce zastosowano panele, turbiny 10 kW i 3 kW oraz akumulatory. Przy obiektach tego rozmiaru takie rozwiązanie spełnia swoją rolę ze względu na to, że w akumulatorach można zmagazynować dostateczną ilość energii do podtrzymania ciągłości zasilania. W obiektach większych zastosowano zamiennie generatory 77,5 kW biopaliwo, które lepiej sprawdzają się w obiektach o dużych mocach.



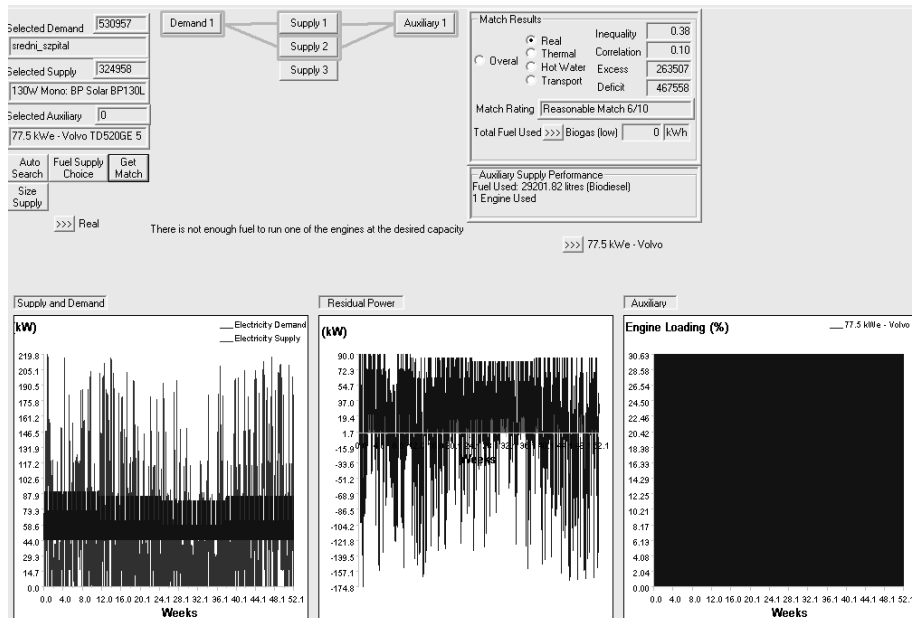
Rys. 2. Raport końcowy dla budynku mieszkalnego o średnim zapotrzebowaniu na moc.
 Fig. 2. Final report for residential building with average power requirement.



Rys. 3. Raport końcowy dla budynku szkoły o średnim zapotrzebowaniu na moc.
 Fig. 3. Final report for educational building with average power requirement.



Rys. 4. Raport końcowy dla biura o średnim zapotrzebowaniu na moc.
 Fig. 4. Final report for office building with average power requirement.



Rys. 5. Raport końcowy dla szpitala o średnim zapotrzebowaniu na moc.
 Fig. 5. Final report for hospital with average power requirement.

7. PODSUMOWANIE

W pracy przeanalizowano dwa systemy pozyskiwania energii odnawialnej: ogniwa fotowoltaiczne i turbiny wiatrowe. Są to systemy w pewnym zakresie wzajemnie się uzupełniające. Ogniwa najwyższą wydajność uzyskują w miesiącach letnich, podczas gdy w okresie zimowym ich wydajność spada kilkakrotnie. Natomiast turbiny uzyskują największą wydajność na początku i na końcu okresu zimowego i na końcu jesieni. W tym właśnie czasie turbiny w przeciwieństwie do ogniw pracują ze swoją optymalną mocą i obciążeniem. W przypadku elektrowni wiatrowych najgorszym okresem jest lato.

Dopasowanie źródeł energii odnawialnej nie zależy tylko od położenia geograficznego. Duży wpływ na odpowiednie zestrojenie tego typu systemu i jego optymalnego wykorzystania ma typ budynku i sposób jego użytkowania. Najlepsze wykorzystanie energii mamy w przypadku kiedy pobór mocy jest w miarę ustabilizowany w ciągu dnia a nawet w ciągu tygodnia. Energia elektryczna jest w danych okresach wytwarzana w sposób ciągły, więc jeśli nie zostanie wykorzystana musi zostać zmagazynowana co nie zawsze jest możliwe. Najkorzystniejszym rozwiązaniem byłoby podłączenie takiego systemu do sieci energetycznej. W takim wypadku niedobory mocy mogły by być na bieżąco uzupełniane natomiast nadwyżki produkcji sprzedawane innym odbiorcom.

8. LITERATURA

- [1] Heim D., Zintegrowany system energii odnawialnej dla potrzeb budownictwa ekologicznego, *Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym*, s. 119-125, Częstochowa, 2004.
- [2] Born F.J. „Aiding Renewable Energy Integration through Complimentary Demand-SupplyMatching” – 2001.
- [3] Błaszczuk E., Heim D., Merit – for integration analysis of renewable energy systems in Polish conditions, Book of Proceedings, The Fifth International Youth Environmental Forum “Ecobaltica 2004”, St. Petersburg, Russia, June 16-18, 2004, s. 86-90, 2005.
- [4] Heim D., Błaszczuk E., Analizy symulacyjne zintegrowanych systemów energii odnawialnej, *Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce*, nr 1, s. 118-125, 2005.
- [5] Gawin D., Kossecka E., Typowy rok meteorologiczny do symulacji wymiany ciepła i masy w budynkach, Politechnika Łódzka, 2002.

ASSESSMENT OF POSSIBILITY APPLICATION OF RENEWABLE ENERGY USING STATISTICAL METHODS AND SIMULATIONS

SUMMARY

The practical application of computational tool for renewable systems is outlined in this paper. The results for four cases are presented and discussed. Supply profiles are defined in terms of Polish climate and local resources base. Demand profiles comes from hypothetical data for selected building types and size. As the best solution for particular cases the hybrid system consists of PV panels and wind turbines was analysed and described.

II Konferencja SOLINA 2008
ENERGIA ODNAWIALNA
Innowacyjne Rozwiązania
Materiały i Technologie dla Budownictwa



Dariusz HEIM, dr inż.
Artur SIPAK, mgr inż.

Politechnika Łódzka
Katedra Fizyki Budowli i Materiałów Budowlanych
Al. Politechniki 6, 90-924 Łódź
e-mail: dariusz.heim@p.lodz.pl

**STÓŁ SŁONECZNY –
PROJEKT, BUDOWA I WALIDACJA METODY POMIAROWEJ**

STRESZCZENIE

W artykule opisano zasadę działania, projekt oraz budowę stołu słonecznego zrealizowanego na Politechnice Łódzkiej w ramach pracy dyplomowej. Dokonano przeglądu istniejących rozwiązań stołów słonecznych oraz omówiono wady i zalety ich wykorzystania dla potrzeb wyznaczania oddziaływania promieniowania bezpośredniego na obiekty architektoniczne. Określono przyjęte założenia oraz sposób walidacji urządzenia i metody pomiarowej dla potrzeb działalności naukowo-dydaktycznej. Na koniec zaprezentowano przykłady aplikacji i symulacji światła słonecznego przy pomocy omawianego urządzenia.

1. WPROWADZENIE

Stół słoneczny jest to urządzenie umożliwiające odtwarzanie na modelach warunków nasłonecznienia w ciągu całego dnia, o każdej porze roku i dla dowolnej szerokości geograficznej. Stoły takie pomagają przeprowadzać badania, symulacje i kontrolę modeli w zakresie nasłonecznienia i plastyki słonecznej. Urządzenia tego typu powinno używać się w pracowniach architektonicznych, rzeźbiarskich a także na wyższych uczelniach. Pozwalają one np.: na prezentacje, wizualizacje modeli architektonicznych pod względem walorów estetycznych, zdrowotnych jak również komfortu osób użytkujących dane pomieszczenia. Należy pamiętać, że w zależności od tego, z jakim mamy do czynienia

obiektem (szkoła, szpital, biurowiec, dom jednorodzinny, itd.), czy pomieszczeniem (kuchnia, salon, sypialnia, biuro itd.) występują różne wielkości zapotrzebowania na światło słoneczne. W budownictwie powinno się uwzględniać bezpośredni wpływ promieniowania słonecznego na człowieka i jego otoczenie, w maksymalny sposób umożliwić wykorzystanie wpływu promieni słonecznych na poprawę warunków zdrowotnych wnętrz jak również terenów międzyblokowych nowo wznoszonych osiedli mieszkaniowych, arterii komunikacyjnych, obiektów sportowych, placów zabaw czy terenów rekreacyjnych. Niestety jest to sfera bardzo często bagatelizowana przez architektów, a przede wszystkim inżynierów budownictwa. Elementy kompozycji architektonicznych takie jak: forma i barwa budynku, rozkład mieszkań, wielkość i rozmieszczenie okien, odległości między budynkami czy forma i układ zieleni stanowią elementy składowe tak zwanej kompozycji klimatycznej, bardzo często pomijanej na etapie projektowania, bądź to z braku wiedzy lub urządzeń umożliwiających ich analizę. Każdy z w/w elementów wpływa na kompozycje nie tylko pod względem wartości plastycznych czy zdrowotnych, ale również, a może i przede wszystkim ze względu na warunki psychofizyczne. Należy pamiętać, że pomieszczenia i nasze otoczenie powinno nam sprzyjać. Pomagać w wypoczynku, nie męczyć, podnosić efektywność pracy. Zbyt duże, bądź niedostateczne nasłonecznienie zmniejsza wydajność pracy, rozprasza, oślepia, nie pozwala należycie wypocząć, obniży sprawność fizyczną i psychiczną. Z przeprowadzanych badań wynika, że pomieszczenia przeznaczone na pobyt osób w okresach wiosny, lata i jesieni powinny mieć bezpośredni dostęp do promieni słonecznych przez minimum 4 godziny w ciągu doby.

Należy tu również zauważyć, że promieniowanie słoneczne ogranicza rozwój bakterii. O ile krótkotrwałe naświetlanie przyspiesza ich rozwój o tyle długie działa bakteriostatycznie, a nawet bakteriobójczo. Podczas projektowania należy zwrócić uwagę przede wszystkim na takie czynniki, które nie zwiększają kosztów inwestycji, a w znacznym stopniu podnoszą wartości estetyczne i zdrowotne. Jednym z tych czynników jest właśnie słońce. W wielu przypadkach pominięcie tego zagadnienia na etapie projektu spowodowało zbyt dużą albo zbyt małą penetrację promieni słonecznych do wnętrza pomieszczeń. Wszystkie formy plastyczne, kompozycje architektoniczne lub urbanistyczne nabierają wyrazu dopiero po zrealizowaniu, w momencie, kiedy dostają się pod wpływ działania promieni słonecznych. Wtedy dopiero okazuje się, jakie błędy popełnił projektant. Stół słoneczny umożliwia właśnie uniknięcia niemiłych niespodzianek. Pozwala już na etapie projektu zbadać obiekt, wydobyć wszystkie efekty, grę światła i cienia oraz barwy, wzbogacić plastykę zarówno elewacji jak i wnętrza. Zwracając uwagę na starą architekturę jesteśmy w stanie zauważyć wpływ promieniowania słonecznego na jej formę. Bryłę obiektów, ich usytuowanie względem stron świata czy ukształtowania terenu. Należy korzystać z wielowiekowych doświadczeń i wiedzy zdobywanej przez pokolenia odnośnie słońca w architekturze, a stół słoneczny pozwoli nam tę wiedzę wykorzystać w praktyce już na etapie projektu i uchroni projektantów przed nie zawsze trafnymi pomysłami na obiekty, z którymi prędzej czy później wszyscy będziemy mieć do czynienia. Należy również pamiętać, że promieniowanie słoneczne można wykorzystać na częściowe lub całkowite pokrycie zapotrzebowania budynku na energię. Mamy tu na myśli między innymi podgrzewanie ciepłej wody użytkowej przy użyciu kolektorów słonecznych czy wymienników ciepła, wentylacji, biernego wykorzystywania promieniowania do

ogrzewania, przy pomocy formy obiektu, materiałów wykorzystanych podczas budowy, konstrukcji no i oczywiście usytuowania budynku względem stron świata [1].

2. ZALETY STOSOWANIA STOŁÓW SŁONECZNYCH

Stół słoneczny pozwala na szybkie zbadanie i przeanalizowanie modeli architektonicznych i urbanistycznych z punktu widzenia walorów zdrowotnych, ilości promieni słonecznych docierających do wnętrz budynków. Stół słoneczny jest najbardziej pogładową i jedną z najmniej praco- i czasochłonnych metod pozwalającą na wykrywanie wad i zalet obiektów jeszcze na etapie projektu.

Przy pomocy stołu słonecznego możemy obejrzeć i zbadać plastykę kompozycji urbanistycznej bądź ogrodowej, jaką obiekt będzie wytwarzał w momencie, kiedy zostanie pod działanie promieni słonecznych w różnych porach dnia i roku. Stół słoneczny pozwala na poprawienie, a nawet na całkowite wyeliminowanie niewłaściwych a czasami wręcz zupełnie przypadkowych efektów i wrażeń kompozycji, które ujawniłyby się dopiero po zrealizowaniu obiektu.

Dzięki stołom słonecznym projektant jest w stanie przestudiować model kompozycji architektonicznej, urbanistycznej bądź ogrodowej poddanej działaniu promieni słonecznych, określić jego optymalną formę i położenie w terenie względem stron świata. Jeden obiekt w zależności od jego usytuowania wytwarza wiele kompozycji związanych z promieniowaniem słonecznym. Każdy budynek w zależności od jego przeznaczenia posiada różne zapotrzebowanie na światło dzienne w okresie całego dnia jak również w określonych porach dnia czy roku.

Stół słoneczny umożliwia badanie istniejących realizacji architektonicznych i urbanistycznych, architektury regionalnej, charakterystycznej dla danych społeczności. Dzięki temu urzędzeniu jesteśmy w stanie porównać i sprawdzić wpływ działania oświetlenia dziennego na chatę góralską z regionu Tatr, którą możemy „umieścić” w innej szerokości geograficznej np. włoskie Apeniny i odwrotnie, śródziemnomorskiej zabudowy w okolicy np. Bałtyku. Stół słoneczny w prosty i tani sposób pokazuje, dlaczego na danym terenie dawne budownictwo tradycyjne poszło akurat właśnie w tym a nie w innym kierunku, dlaczego zabudowa nadmorska w zależności od szerokości geograficznej różni się od siebie nie tylko ze względów kulturowych, ale również a może przede wszystkim ze względu na różny poziom promieniowania słonecznego docierającego do ziemi. Stół słoneczny pozwala na prezentację np. inwestorom czy studentom wpływu promieniowania słonecznego na różnego rodzaju projekty obiektów, niejednokrotnie pierwotnie pochodzących z innych szerokości geograficznych niż planowe ich usytuowanie i ukazanie wad związanych ze zmianą położenia geograficznego. Stół słoneczny pozwala na kształtowanie wrażliwości, wycucia, wpajania dobrych nawyków i unikania często powielanych błędów.

3. RODZAJE STOŁÓW SŁONECZNYCH

Istnieją trzy grupy stołów słonecznych różniących się zasadniczo konstrukcją i rozwiązaniami technicznymi.

Pierwsza grupa charakteryzuje się płytą stołu obracaną w płaszczyźnie poziomej i pionowej. Azymuty i kąty padania promieni słonecznych ustawia się poprzez odpowiednie obracanie i pochylanie stołu. Światło pozostaje nieruchome, umieszczone wysoko i skierowane na środek stołu. Stoły tego typu są mało praktyczne i niewygodne w użyciu, ponieważ badany model musi zostać przymocowany do stołu a zmienna linia horyzontu utrudnia obserwacje.

Druga grupa stołów posiada obrotową płytę w płaszczyźnie poziomej, dzięki czemu można ustawić azymut oraz źródło światła umieszczone na ramieniu poruszającym się po łuku w płaszczyźnie pionowej i skierowanym centralnie na środek stołu. Jest to bardzo trafne i praktyczne rozwiązanie. Stanowisko badawcze zajmuje stosunkowo mało miejsca i jest mobilne, można je bez większych problemów przenosić w dowolne miejsce a co najważniejsze pozwala na odtwarzanie warunków słonecznych na dowolnych szerokościach geograficznych. Warunki oświetlenia są zbliżone do naturalnych. Jedną rzecz, do której trzeba się przyzwyczaić to fakt, że obracany jest model, a nie źródło światła. Istnieje również druga odmiana tej grupy stołów, w której źródłem światła jest zespół punktów świetlnych zestawionych w rodzaj łuku pionowego. Jednak ta odmiana tej grup stołów jest mało dokładna, nie praktyczna i posiada dość skomplikowaną budowę.

Trzecia grupa stołów charakteryzuje się nieruchomą płytą. Azymuty i kąty padania promieni słonecznych ustawiamy za pomocą ruchomego źródła światła umieszczonego na wysięgniku i poruszającego się wokół stołu zarówno w płaszczyźnie pionowej jak i poziomej. Ten rodzaj stołów daje najlepsze warunki obserwacji, a zarazem najbardziej zbliżone do warunków naturalnych. Wadą tego rozwiązania jest to, że taka konstrukcja wymaga znacznej ilości miejsca wokół stołu. W tej grupie stołów tak jak w poprzedniej występuje również druga odmiana z nieruchomą baterią lamp zapalanych po kolei, umocowaną na stałe do sufitu i ścian. Jednak tak jak poprzednio jest to gorsze rozwiązanie, zaś do celów pomiarowych niezbędne jest oddzielne pomieszczenie.

4. RODZAJE OŚWIETLENIA

4.1. Oświetlenie równoległe

Źródło światła generujące wiązkę promieni równoległych jest oświetleniem najlepszym i najtrafniej oddającym rzeczywiste warunki nasłonecznienia. Kąty padania wszystkich promieni na płaszczyznę stołu są jednakowe. Argumenty te przemawiają za stosowaniem tego typu oświetlenia jednak, jeśli przyjrzeć się temu zagadnieniu bliżej okazuje się, że jest to bardzo kłopotliwe. Mianowicie najczęściej wykonanie takiego rodzaju źródła światła bez poniesienia dużych nakładów finansowych jest wręcz niemożliwe. Reflektory rzucające promienie równoległe są bardzo kosztowne. Reflektor taki musi być wyposażony w tzw. zwierciadło paraboliczne, które pozwoli na objęcie promieniami całą płaszczyznę stołu oraz wysokość modelu. Dla potrzeb dydaktycznych oraz tworzenia wizualizacji w małych pracowniach architektonicznych wystarczającym wydaje się zastosowanie oświetlenia punktowego.

4.2. Oświetlenie punktowe

Oświetlenie punktowe w stosunku do oświetlenia promieniami równoległymi jest tanie, łatwe w budowie i konstrukcji całego urządzenia. Posiada jednak poważną wadę, a mianowicie przy zastosowaniu tego typu oświetlenia występuje tzw. zjawisko uplastycznienia modelu. O ile dla wiązki równoległej odległość źródła światła nie ma znaczenia (warunkiem jest tylko objęcie promieniami całej płaszczyzny stołu i wysokości modelu) o tyle dla oświetlenia punktowego przy małych odległościach źródła światła od stołu i dużymi rozmiarami modelu powstają istotne różnice katowe. Nie dyskwalifikuje to jednak tego rodzaju oświetlenia a wymaga jedynie spełnienia kilku warunków:

- 1 - źródło światła należy umieścić w jak największej odległości od stołu,

2 - oś obrotu reflektora powinna być usytuowana na wysokości stołu w osi jego obrotu co zapewni, że promienie zawsze będą skierowane centralnie na blat,

3 - badane modele należy starać się wykonywać w jak najmniejszej skali.

W danych literaturowych znaleźć można odpowiednie wytyczne i zalecenia a także metody sprawdzenia stopnia uplastycznienia modelu w wyniku stosowania oświetlenia punktowego.

5. BUDOWA STOŁU I SPRAWDZENIE DOKŁADNOŚCI POMIARÓW

Omawiany stół słoneczny wykonany został tzw. metodą „warsztatową” na podstawie projektu autorskiego. Przyjęto, że azymut ustawiany będzie poprzez obrót w płaszczyźnie poziomej blatem stołu, zaś wysokość kątową poprzez poruszające się w płaszczyźnie pionowej ramię. Zakładając zastosowanie punktowego źródła światła oraz korzystając z danych literaturowych wyznaczono minimalną odległość źródła od blatu stołu równą trzem jego średnicą ($L=3a$). Przyjmując średnicę równą 1m założono długość ramienia 3m. Efekt końcowy pokazano na rysunku 1.



Rys. 1. Stół słoneczny i przykładowa analiza na modelu.

Fig. 1. Artificial Sun and exemplar model analysis.

6. WALIDACJA METODY

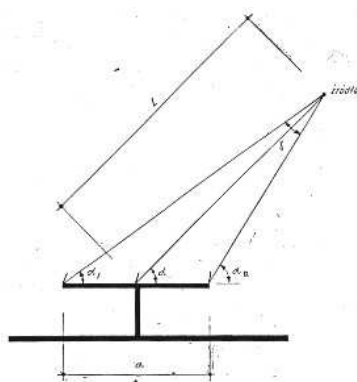
6.1. Analiza kątów padania promieni słonecznych w przekroju pionowym

Źródło światła znajduje się w odległość 3,75 szerokości blatu od środka stołu. Badanie zostało przeprowadzone dla kąta padania promieni słonecznych wynoszącego 30° . Badany model (śruba wysokości 6,5cm) został ustawiony w 3 miejscach. Na środku blatu i na skraju w osi lampy 13cm od krawędzi.

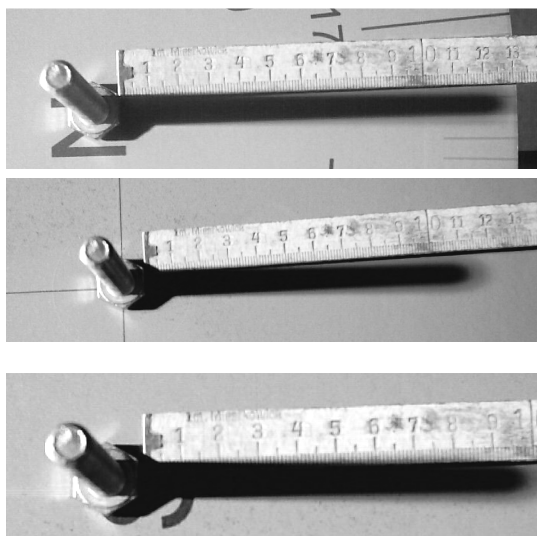
Na środku stołu długość cienia wyniósł ok. 11cm. Na skraju stołu od strony źródła światła długość cienia wyniósł ok. 9,5cm. Na drugim krańcu stołu długość cienia wyniósł ok. 12,5cm.

Otrzymane wyniki pomiarów są w pełni zadowalające. Przy odległości źródła światła od środka stołu wynoszącej 3,75 średnic blatu i zastosowaniu wcześniej wspomnianego oświetlenia uzyskane wyniki, w porównaniu do badań Twarowskiego [1], są lepsze niż dla odległości czterech średnic. Według Twarowskiego różnica kątowa dla czterech średnic wynosi $7,2^\circ$, podczas gdy w prezentowanym przypadku udało się uzyskać różnicę kątową na poziomie $6,5^\circ$. Wynik ten spowodowany jest zastosowaniem odpowiedniego źródła światła o jak najmniejszym rozsyśle promieni.

$$\frac{6,5}{12,5} = 0,52 \Rightarrow \arctg 0,52 \approx 27,5^\circ$$



$$\frac{6,5}{9,5} = 0,68 \Rightarrow \arctg 0,68 \approx 34^\circ$$



Rys. 2. Analiza kątów padania w przekroju poziomym.
Fig. 2. Analysis of Sun bearing angle on horizontal plane.

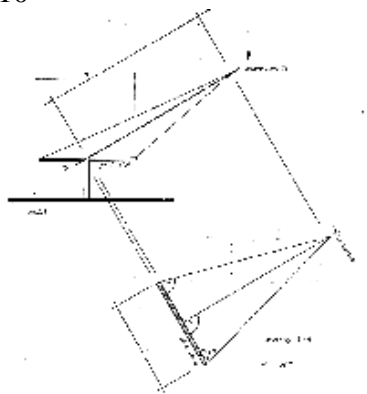
6.2. Analiza kątów padania promieni słonecznych w przekroju poziomym

Zasadniczy kąt padania promieni słonecznych na środek stołu wynosi 90° . Zbadano różnice kątowe na jego brzegach, tzn. odchyłkę od 90° na skraju blatu. Badanie przeprowadzono dwa razy. Pierwszy raz z „tubą” zamocowaną na reflektorze i drugi raz samym reflektorem. Wyniki okazały się bardzo zaskakujące.

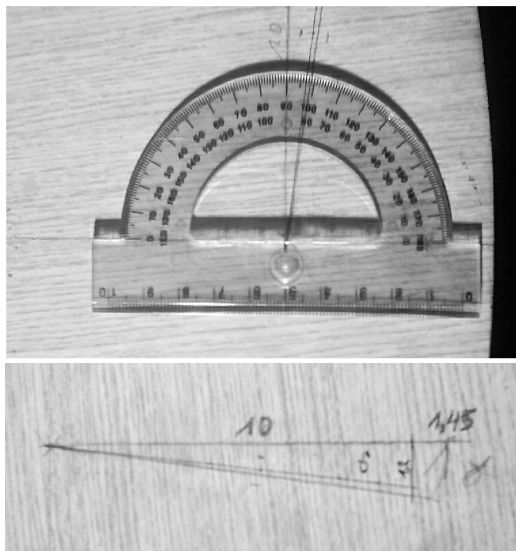
Przy zamontowanej na reflektor „tuby” różnica kątowa między środkiem stołu, a brzegiem wyniosła $8,2^\circ$. Podczas, gdy badanie przeprowadzane było bez tuby różnica kątowa wyniosła zaledwie $6,8^\circ$. Wynik badania okazał się odwrotny od przewidywanego. Zastosowanie „tuby” miało na celu jeszcze większe skupienie promieni, jednak wypolerowane wnętrze spowodowało wielokrotne odbicie promieni a w ten sposób efekt przeciwny do zamierzonego.

Ostateczny różnica kątowa, jaką dało się uzyskać wyniosła $6,8^\circ$. Tak jak podczas poprzedniego badania (w przekroju pionowym) tak i tutaj otrzymany wynik jest bardzo dobry w porównaniu do wyników uzyskanych przez Twarowskiego. Według Twarowskiego [1] różnica kątowa dla czterech średnic blatu powinna wynosić $7,1^\circ$, podczas gdy w omawianym przypadku uzyskano $6,8^\circ$.

$$\frac{1,45}{10} = 0,145 \Rightarrow \arctg 0,145 \approx 8,2^\circ$$

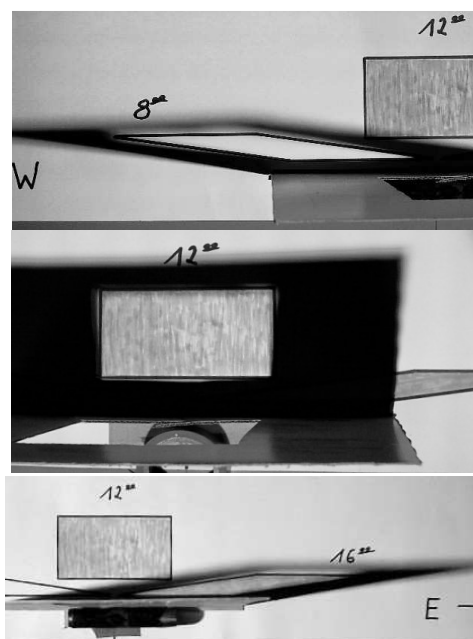
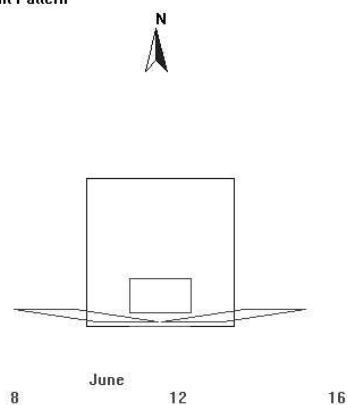


$$\frac{1,2}{10} = 0,12 \Rightarrow \arctg 0,12 \approx 6,8^\circ$$



Rys. 3. Analiza kątów padania w przekroju poziomym.
Fig. 3. Analysis of Sun bearing angle on vertical plane.

Sunlight Pattern



Rys. 4. Porównanie z wynikami obliczeń programem Solar-2.
Fig. 4. Comparison with results from computer program Solar-2.

6.3. Porównanie rozkładów z wynikami programu komputerowego

Sprawdzenie poprawności działania stołu słonecznego dokonano również przy pomocy programu komputerowego „Solar-2”. Wycięto model ściany w skali 1:100 o wymiarach 24 cm na 18 cm z oknem umieszczonym centralnie o wymiarach 10 cm na 10 cm. W rzeczywistości odpowiadałoby to ścianie 24 m na 18 m z oknem 10 m na 10 m. Program „Solar-2” nie podaje warunków słonecznych dla indywidualnego dnia a jedynie przyjmuje średnie warunki dla całego miesiąca. Symulację przeprowadzono dla miesiąca czerwca (w trzech porach dnia). Dla godziny 8⁰⁰, 12⁰⁰ i 16⁰⁰. Otrzymane rozkłady nasłonecznienia zostały one opracowane graficznie i przeskalowane. Model ściany został zorientowany otworem okiennym centralnie na południe. Plansze ułożono zgodnie z kierunkami geograficznymi na stole słonecznym a na niej ustawiono model ściany. Ze względu na to, iż program „Solar-2” podaje średnią z całego miesiąca dla porównania wyników symulacji na stole słonecznym przeprowadzono dla 15 czerwca. Także tym razem stwierdzono poprawność działania stołu słonecznego. Biorąc pod uwagę niedoskonałość modelu ściany, trudności w jego zrobieniu i ustawieniu, otrzymane wyniki były zgodne aż w ok. 98% z wynikami uzyskanymi programem komputerowym (rys. 4).

7. PODSUMOWANIE

Prezentowany stół słoneczny został wykonany w całości przez studenta Budownictwa Ekologicznego - Artura Sipaka metodą „warsztatową” a jedynie niektóre elementy wymagające dużej precyzji były dorabiane w warsztacie ślusarskim. Konstrukcja stołu jest własnym, autorskim pomysłem. Wszystkie rozwiązania techniczne zostały całkowicie samodzielnie opracowane przez autora, zaś elementy wykonane własnoręcznie. Budowa stołu niosła ze sobą wiele problemów konstrukcyjnych, należało je rozwiązać w jak najprostszy sposób. Wszystkie działania wymagały dokładnego przemyślenia i zaplanowania w konstruowaniu urządzenia. Efekt końcowy – stół słoneczny wg klasyfikacji Twarowskiego należy do drugiej grupy stołów. Posiada obrotową płytę stołu i ruchome źródło światła poruszające się w płaszczyźnie pionowej. Są to jedyny podobieństwa ze stołami Twarowskiego. Do obsługi stołu słonecznego został stworzony arkusz kalkulacyjny do wyznaczania położenia słońca za pomocą azymutu i wysokości katowej. Wyniki obowiązują dla szerokości geograficznych z zakresu 23°-66° czyli od zwrotnika do koła podbiegunowego.

8. LITERATURA

[1] Twarowski M., *Słońce w architekturze*, Arkady, Warszawa, 1996.

ARTIFICIAL SUN – CONSTRUCTION, REALIZATION AND VALIDATION OF MEASUREMENTS METHOD

SUMMARY

This paper described original project of Artificial Sun developed at Technical University of Lodz. The construction type, realisation process as well as validation method was presented and discussed. This laboratory stand was realized individually by Artur Sipak MSc student.

II Konferencja SOLINA 2008

ENERGIA ODNAWIALNA
Innowacyjne Rozwiązania
Materiały i Technologie dla Budownictwa



Maria JAWORSKA-MICHAŁOWSKA, dr inż. arch.

Politechnika Krakowska
Zakład Budownictwa Ogólnego i Przemysłowego
ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków
e-mail: mjmichalowska@op.pl

ADDYCJA AKTYWNYCH ENERGETYCZNIE ELEMENTÓW W BUDYNKACH HISTORYCZNYCH – ASPEKT ARCHITEKTONICZNY

STRESZCZENIE

W referacie przedstawiono wybrane rozwiązania materiałowe i technologiczne, stosowane w przeszklonych przegrodach zewnętrznych. Ze względu na swoje zalety i estetyczną neutralność, szkło wykorzystywane jest również w odnowie obiektów istniejących. Nowowznoszone struktury i elementy o tzw. inteligentnych przegrodach zewnętrznych tworzą współcześnie udany dialog z masywnymi, rzeźbiarsko potraktowanymi historycznymi elewacjami oraz z zastanym, urbanistycznym organizmem.

1. WSTĘP

Założony plan miasta służył wiele lat mieszkańcom, jednocześnie poddając się nowym potrzebom. Przeobrażenia dokonywały się na przestrzeni wieków. Obok miasta starego, wyrastało nowe, dawne przedmieścia stawały się dzielnicami. Miasto wchłaniało okoliczne wsie. Na historyczny układ ulic i rynku nakładał się nowy plan komunikacyjny, spajając nowe ze starym. Wartość historyczna, estetyczna i humanistyczna tak tworzonej przestrzeni jest nie do przecenienia. Strategia zrównoważonego rozwoju, wprowadzana współcześnie do idei miast europejskich, oznacza głównie zatrzymanie gwałtownej ekspansji budowlanej na zewnątrz i rozpoczęcie procesu implozji, czyli wykorzystania terenów i obiektów istniejących. Pałace i wille miejskie wykorzystywane są coraz częściej przez firmy Nowej Ekonomii. Budynki poprzemysłowe przeobrażają się w powierzchnie

muzealne i wystawiennicze, koszary zamieniają się w szkoły wyższe, a więzienia w archiwa. Obecna skala adaptacji oraz nowoczesnych realizacji, które uzupełniają „puste miejsca” w tkance miejskiej, jest szczególnym wyzwaniem. Zmiany w sposobie użytkowania i przekształcenia miast nie są już dzisiaj rozumiane jako procesy peryferyjne, lecz jako rodzaj związania z tym co zastane.

W warunkach pluralizmu kulturowego, wartość znanych z historii cytatów i wzorów tożsamości docenia współcześnie wielu projektantów. Tak myślą dzisiaj nie tylko neoklasycyści tworzący idee Nowego Urbanizmu, wrażliwego na problemy ekologiczne i wspólnotowościowe. W proces ten włączają się również architekci, którzy znajdują się w opozycji do ruchów odwołujących się do przeszłości. Współczesna architektura coraz częściej wyraża się poprzez adaptację i zmianę sposobu użytkowania wielu starych obiektów, toteż projektanci nabywają nowe umiejętności. Polegają one na pracy nad h y b r y d o w y m i s t r u k t u r a m i, łączeniu w rozmaitych koncepcjach przestrzennych starego z nowym. W nowych realizacjach ważną rolę dla wielu architektów odgrywa również podkreślenie różnicy pomiędzy na nowo projektowanym wnętrzem i istniejącym zewnętrzem budynku. Dopiero po dokonaniu ulepszeń adaptacyjnych, budynek zyskuje dla nich jako całość wartość i pożądaną jakość.

2. NOWOCZESNE ROZWIĄZANIA MATERIAŁOWE

Projektowane obecnie przekryte wnętrza urbanistyczne wywodzą się z przeszklonych XIX wiecznych pasaży, które pojawiły się w Berlinie, Londynie, Mediolanie (np. Galeria Wiktora Emanuela II, zaprojektowana przez Giuseppe Mengoni). Łączyły w sobie cechy pasaży z koncepcją tworzenia dużych przestrzeni przeznaczonych dla publicznego użytku, takich jak hale targowe, wystawowe. Współcześnie, obficie przeszklone atria i pasaże przejęły w pełni rolę, jaką uprzednio pełniły ulice i place. Towarzyszą budynkom biur, hoteli, a także kompleksom handlowym. Stały się częścią tych obiektów lub elementem łączącym kilka budynków. Kryta promenada, zwana po angielsku *mall*, jest wewnętrznym deptakiem, ulicą łączącą atria w zespole handlowym. Gdy atrium jest umownym placem, *mall* ma charakter drogi, osi obudowanej sklepami. Współcześnie, koncepcje te mogą być realizowane na szeroką skalę dzięki rozwojowi technologii i właściwości materiału szklanego.

Podstawowymi cechami technicznymi współcześnie produkowanego szkła budowlanego są: zdolność do pozyskiwania ciepła z promieniowania słonecznego, ograniczenie ilości promieniowania cieplnego oraz izolacyjność cieplna, redukująca wielkość strat termicznych z ogrzewanego wnętrza. Dzięki szybom o dobrej termoizolacyjności, określanej współczynnikiem U, oraz przepuszczalności promieniowania słonecznego, charakteryzującej się współczynnikiem TR (g), możliwe jest wykonanie elewacji o dużych powierzchniach przeszklonych. Współcześnie, dąży się do osiągnięcia pełnej kontroli czynników środowiska zewnętrznego oraz przetworzenia ich w najbardziej racjonalny energetycznie sposób, tak, aby wspólnie z instalacjami budynku tworzyły dostosowany do potrzeb użytkowników mikroklimat we wnętrzu. W procesie tym uczestniczy fasada, której istotą jest uzależnienie działania od warunków pogodowych i potrzeb użytkownika. Wytworzona reakcja na bodźce może zmieniać jej cechy zewnętrzne. Problematyka dotyczy tzw. elewacji interaktywnej, która powinna być filtrem, przepuszczającym do pomieszczeń korzystne czynniki środowiska naturalnego, a zatrzymującym niepożądane wpływy przyrody. Pojawiają się nowatorskie technologie, przybliżające przeszklone fasady

do idei sztucznej skóry. Współczesne technologie wytwarzania tafli pozwalają na uzupełnienie jej pierwotnej struktury cienkimi warstwami, które mogą zmienić właściwości fizyczne, tym samym adaptują powłokę do warunków zewnętrznych. Aktywnie reagujące szklenie ma być alternatywą dla skomplikowanych systemów przestrzennych zacinających lub stanowić uzupełnienie tych rozwiązań.

Redukcję zysków ciepła można uzyskać stosując materiały o nieziennej przepuszczalności promieniowania słonecznego, wykorzystując w tym celu np. barwienie szkła, nadruki, powłoki i folie specjalne, struktury i faktury rozpraszająco — odbijające, ogniwa fotowoltaiczne zintegrowane ze szkłem, produkowane jako moduły 10x10 cm lub 15x15 cm, następnie zestawiane w zespoły [1].

Materiały o zmiennej przepuszczalności promieniowania słonecznego posiadają możliwość regulacji funkcji w sposób samoczynny (np. szkło fotochromowe, termochromowe, termotropowe) lub sterowany (np. szkło z żaluzjami ciekłokrystalicznymi, szkło elektrochromowe i gazochromowe, SPD). Są to bardziej zaawansowane rozwiązania, ponieważ wykorzystują w strukturze warstwy, które mogą działać interaktywnie [1]. Szklenie np. elektrochromowe (ang. *electrochromic glazing*) uważane jest za najbardziej złożone spośród technologii szklenia o zmiennych właściwościach. Materiały elektrochromowe tworzące powłokę, zmieniają optyczne właściwości na skutek działania pola elektrycznego. Mają zdolność do pozyskiwania i oddawania jonów, co decyduje o ich przepuszczalności. Szklenie zmienia stopień przejrzystości dzięki oddziaływaniu prądu elektrycznego. Uruchamianie systemu może być ręczne lub automatyczne w zależności od stopnia nasłonecznienia lub temperatury panującej w pomieszczeniu.

Innowacyjną metodą kontroli dostępu promieniowania słonecznego są systemy holograficzne - dyfrakcyjne tzw. HDS (ang. *Holographic Diffractive Structures*). Rozwiązanie to polega na naniesieniu trójwymiarowych obrazów za pomocą lasera na błonę fotograficzną, która jest wklejona między dwie warstwy szkła. Graficzny motyw (logo, rysunek, wzór, faktura) jest „zapamiętany” w folii, jakby „zaklęty” w szkło. Jest to rodzaj hologramu powodującego zmianę kierunku promieniowania słonecznego padającego na jego powierzchnię. Technologia ta wykorzystuje zjawisko fizyczne, zwane dyfrakcją. Promieniowanie podczerwone zostaje odbite na zewnątrz, a światło słoneczne w sposób rozproszony dostaje się do wnętrza. Efekt wizualny polega na pokazywaniu różnych obrazów w zależności od kąta patrzenia i padania światła. Elewacje tego rodzaju wykorzystywane są np. do wyświetlania reklam.

3. STANDARDOWE IDEE KONCEPCYJNE

„Światło, powietrze, słońce” — to jeden z najważniejszych postulatów architektów stylu modernistycznego. Idee okresu międzywojennego wieku XX wyprzedzały znacznie techniczne możliwości realizacyjne. Tę niespójność odczuł boleśnie Le Corbusier w trakcie realizacji schroniska Armii Zbawienia dla bezdomnych w Paryżu. Obiekt ten, w związku z licznymi problemami związanymi z osiągnięciem odpowiedniego mikroklimatu wewnątrz, stał się porażką architekta. Współcześnie, wiele problemów zostało opanowanych i opracowanych przez naukę. Rozwijająca się od ponad 30 lat architektura solarna kojarzona jest głównie z pasywnym lub aktywnym pozyskiwaniem energii z promieniowania słonecznego i sposobami jej magazynowania. Przemysł dostarcza nowe materiały i technologie, które pozwalają na wykorzystanie niekonwencjonalnej energii. Wielu architektów uwzględnia również medyczne, psychologiczne i higieniczne właściwości

światła słonecznego, które przenika do wnętrza dzięki przeszklonym przegrodom zewnętrznym [2]. Projektując powłokę formy architektonicznej, projektanci biorą pod uwagę następujące złożone problemy:

- ekologiczne, mające na celu między innymi zmniejszenie zanieczyszczeń powodowanych wytwarzaniem energii z nośników kopalnych, redukcję emisji CO₂ itd.,
- energetyczne, związane z możliwościami pasywnego i aktywnego pozyskiwania energii cieplnej i elektrycznej itd.,
- estetyczne, uwzględniające grę światła i cieni, oddziaływanie kolorów w zależności od źródła światła, zmienność oświetlenia, detale budujące nastrój wnętrza itd.,
- fizjologiczne, biorące pod uwagę pozytywne oddziaływanie słońca na organizm człowieka, przeciwdziałające chorobom tzw. SBS (ang. *Sick Building Syndrom*), uwzględniające konieczność odpowiedniego oświetlenia pomieszczeń, przewietrzania itd.,
- psychologiczne, mającą na uwadze wpływ światła na samopoczucie człowieka i jego komfort psychiczny, rytm dnia i nocy, przeciwdziałanie depresji sezonowej tzw. SAD (ang. *Seasonal Affective Disorder*) itd.,
- higieniczne, które podkreślają skuteczność światła słonecznego w niszczeniu drobnoustrojów, właściwości bakteriobójcze itd.,
- prawne, normatywnie gwarantujące zapewnienie minimalnych powierzchni okien, przeciwdziałające zacienianiu budynków poprzez określenie wymaganych odległości pomiędzy obiektami itd.,
- ekonomiczne, ponieważ ograniczenie energii zmniejsza koszty eksploatacji budynku, pozytywny wpływ słońca na zdrowie ludzi redukuje wydatki na służbę zdrowia itd.

Przekształcenia starej struktury dokonywane są nie tylko ze względu na różnorodne koncepcje ideowe, ale również ze względów użytkowych. Wówczas decyduje o nich strategia energooszczędności, czyli kryterium termiczne. W obiektach istniejących przeprowadza się coraz częściej prace termomodernizacyjne, pozwalające na obniżenie opłat za ogrzewanie budynków. W projektowaniu modernizacji takich obiektów wykorzystuje się świadomość, poza możliwością zwiększenia ochrony cieplnej przegród zewnętrznych, również rozwiązania związane z biernym wykorzystaniem energii słonecznej. Projektant zmierzając w kierunku dopasowania struktury i bryły budynku do otoczenia i wykorzystania energii zawartej w środowisku, posiada możliwość uwzględnienia w projekcie rozwiązań z grupy elementów pozyskujących promieniowanie słoneczne. Propozycje takie wpływają na zainteresowanie inwestorów ideą przeszklonych powierzchni. Doprojektowane powierzchnie są przejawem ożywienia starej zabudowy, uczestniczą w wyrafinowanym dialogu z pierwotnym założeniem stylistycznym, a jednocześnie wpływają na znaczne oszczędności powierzchni handlowo-usługowej. Nowo-wznoszone przeszklone powierzchnie w obiektach historycznych projektowane są w postaci struktur otaczających obiekt lub przylegających do nich. Do ich lokalizacji często wykorzystywane są podwórka we wnętrzu zabudowy. Konstrukcje tzw. oranżerii stanowią odpowiedź na oczekiwania stawiane projektantom w obecnych czasach, ponieważ tworzą architekturę energooszczędną i kształtują wnętrza przyjazne człowiekowi. Są wielofunkcyjnym elementem kompozycyjnym. Zapewniają dostęp światła naturalnego i promieni słonecznych do wnętrza oraz ochronę przed negatywnymi czynnikami środowiska zewnętrznego. Jeżeli są zacienione przez istniejącą zabudowę lub nie są usytuowane od strony gwarantującej zyski ciepła (np. południowej), pełnią funkcję bufora klimatycznego.

Architekci stosują współczesne technologie, które pozwalają na dobudowanie przeszklonych struktur o funkcji ogrodów zimowych, również w budynkach wielopiętrowych. Komunikują one wówczas wszystkie kondygnacje. Przebudowane stare obiekty, dzięki addycji różnych form ze szkła (również dobudowanych, użytkowych poddaszy), zyskują interesujący wygląd i łączą się przyjaźnie ze środowiskiem naturalnym.

W pracach adaptacyjnych stosuje się również rozwiązania z grupy przeszkleń całoszkłanych, dzięki którym można stworzyć neutralne, eteryczne we wrażeniu obudowy dla starych obiektów. Złożone z szyb zespolonych, mogą być przegrodami zewnętrznymi o dobrych właściwościach termoizolacyjnych. Formy przeszklonych struktur są różne w zależności od przyjętej koncepcji i idei do której nawiązują. Ratują często zabytkowe mury przed degradacją i umożliwiają ich ekspozycję bez względu na porę roku. Nowe technologie z punktowym, mechanicznym mocowaniem szyb i przeszkleń z zastosowaniem żeber szklanych, pozbawione widocznej konstrukcji metalowej nie stanowią przeszkody w odbiorze tektoniki obiektu. Przykładem takiego „energetycznego kamuflażu” jest szklany dach wykonany w zamku w Juval, w Południowym Tyrolu. Dla części zabytku, pozostawionej w postaci trwałej ruiny, zaprojektowano dach o stalowej konstrukcji nośnej. Są to kratownice z dolnymi cięgnami prętowymi. Przeszklenie dachu, mocowane punktowo, złożone jest z dwóch szyb hartowanych ESG o grubości 8 mm, sklejonych na folii PVB o grubości 1,56 mm [3].

4. NOWATORSKIE ROZWIĄZANIA STRUKTUR HYBRYDOWYCH

Przykładem zastosowania śmiałej koncepcji w procesie adaptacji jest czterdziesto-dwukondygnacyjny obiekt *Hearst Tower* w Nowym Jorku, zaprojektowany przez pracownię Foster and Partners i wybudowany w roku 2006. W roku 1928, przy nowojorskiej Ósmej Alei zrealizowano sześciokondygnacyjną siedzibę wydawnictwa Williama Randolpha Hearsta. Inwestor miał nadzieję, że stanie się ona podstawą dla wysokiego budynku, który będzie w przyszłości akcentem w panoramie miasta. Wizję Hearsta zrealizowano dopiero po siedemdziesięciu latach. Nowy wieżowiec wznosi się nad budynkiem starej siedziby Hearst Corporation, w której po „opróżnieniu” wnętrza zaprojektowano atrium, obficie doświetlone przez przeszklone elewacje. Charakterystyczne ścięte narożniki potęgują wertykalizm budynku i tworzą rozpoznawalny detal elewacji. Jednocześnie umożliwiły powstanie wewnątrz narożnych o geometrii niespotykanej w tradycyjnym budownictwie. Trójkątna rama (diagrid) zapewnia przestrzenną sztywność w sytuacji silnego parcia wiatru i wstrząsów sejsmicznych. Oprócz różnorodnych koncepcji artystycznych, architekt uwzględnił w swoim projekcie również zasady strategii zrównoważonego rozwoju. 86% materiałów z rozebranego wnętrza istniejącego budynku (głównie stal) wykorzystano ponownie do budowy nowej części. Ponieważ zużycie energii wynosi o 26% mniej niż minimum dopuszczone przepisami, obiekt otrzymał złotą kategorię w amerykańskim systemie certyfikacji LEED [4]. Zastosowane w elewacjach szkło o małym współczynniku transmisji ciepła pozwala dobrze doświetlić wnętrze. Jednocześnie, zatrzymując nadmierne ciepło z promieniowania słonecznego, chroni wnętrza przed przegrzaniem. Dach zaprojektowano w ten sposób, że posiada możliwość zbierania deszczówki. Woda jest gromadzona w zbiornikach o pojemności 53000 l w piwnicy. Wykorzystuje się ją do uzupełnienia wody zużytej w systemie klimatyzacji oraz do nawadniania roślin. Tworzy również kaskadę wodną w atrium, umożliwiając nawilżenie i schłodzenie powietrza we wnętrzu.

Miastem, które zainspirowało wielu projektantów do dyskusji na temat architektonicznego kontekstu był Berlin. Główne wydarzenia XX stulecia ukształtowały jego wyraz. Druga wojna światowa, powojenna gospodarka i powstanie muru berlińskiego, to klęski, które stały się powodem zaistnienia wielu pustych terenów w centrum miasta.

Realizacją, która zaoferowała nową koncepcję przestrzeni publicznej jest *Centrum Sony* przy Potsdamerplatz w Berlinie (1996-1998). Wytyczne urzędowe berlińskich władz przewidywały odtworzenie powierzchni historycznych placów, jednocześnie dopuszczając otoczenie ich nowoczesną architekturą. Laureatem ogłoszonego konkursu został Helmut Jahn z USA, projektant wielu wieżowców w stylu high-tech. Centrum koncernu elektronicznego Sony, inwestora przedsięwzięcia, w założeniu miało zostać symbolem supernowoczesności w architekturze oraz hiperdominantą w skali całego miasta. Wytyczne określiły konieczność zaprojektowania równie znaczącej strefy publicznej. Dzięki temu powstało nowoczesne forum, chroniące użytkowników przed niekorzystnymi wpływami środowiska zewnętrznego. Jest nim eliptyczne wnętrze otoczone budynkami, przekryte stożkowym, stalowo - szklanym dachem, który pozwala na naturalne przewietrzanie wewnętrznej przestrzeni. Dłuższa oś elipsy ma wymiar około stu metrów, krótsza - około sześćdziesięciu metrów. Do wnętrza wprowadzono elementy imitujące naturę np. drzewa i elementy z wodą. Z tego również powodu, przeszklona przestrzeń w kompleksie Sony Center ma charakter miejskiego placu.



Rys. 1. Szklana obudowa dziedzina barokowego budynku (projekt: Libeskind D., 2007).

Fig. 1. Glass fasade of baroque courtyard (design: Libeskind D., 2007).

Dla Daniela Libeskinda, pustka charakteryzująca Berlin jest doświadczeniem nie tylko fizycznym. Przestrzenie pozostawione przez wojnę, takie jak Potsdamer Platz, fragmenty dzielnicy dyplomatycznej i zakola Szprewy, są dla niego widzialnymi symbolami utraty, wyłomu w historii Żydów i totalnej destrukcji. Projekt Muzeum Żydowskiego, zrealizowany w roku 1999, świadomie transformuje istniejące urbanistyczne

pustki w centrum struktury budynku. Fragmentaryczna pustka, przerywana w wielu miejscach zygzakowatej bryły, tworzy główny element obiektu. Drugim założeniem autora projektu było odzwierciedlenie w złożonej geometrycznej formie heterogenicznych elementów otoczenia (np. barokowego pałacu z roku 1735, wieżowców z lat 60., willi z lat 80.) i włączenie ich w strukturę przestrzenną. W roku 2007 architekt dokonał rozbudowy muzeum poprzez wprowadzenie szklanego zamknięcia i zadaszenia dziedzińca barokowego budynku (na rzucie litery „U”) (*Rys. 1.*). Powstało całkowicie przeszklone pomieszczenie o powierzchni około siedmiuset metrów kwadratowych, wysokie na trzynaście metrów. Przestrzeń przeznaczona została na koncerty, wykłady, a w przyszłości na rozszerzenie strefy wejściowej. Cztery rozgałęzione słupy, przenoszące całkowicie obciążenia konstrukcji przeszklonego zadaszenia (tak, aby nie obciążać ścian zabytku), symbolizują, według architekta, drzewa. Idea nawiązuje do żydowskiego Sukkot — Święta Szafasów, które upamiętnia tymczasowe domy z gałęzi budowane podczas wędrówki Izraelitów przez pustynię, po wyjściu z Egiptu. Z „pni” wyrastają „korony drzew”, czyli dach zaprojektowany z asymetrycznej sieci krzyżujących się belek stalowych, wyraźnie oddzielony od ścian zabytku szklanym pasem taflí [5]. Przeszkloną zewnętrzną ścianę sali, która znajduje się od strony muzealnego ogrodu, można otwierać w jej dolnej części. Na przegrodzie z harmonijkowo ustawionych taflí szkła odbija się roślinność ogrodu oraz stojący z boku budynek muzeum. Stalowe „drzewa” wydają się lekkie, a zastosowanie wysokoprzezroczystego szkła pozwala na dostęp światła do wnętrza, które w zależności od położenia słońca, wzbogacone zostaje o nastrojowy światłocień. Szklany dziedziniec jest kolejną próbą połączenia w plastyczny, równocześnie nie dominujący sposób nowego ze starym. Ukryta szklana forma na dziedzińcu barokowego budynku, wpisanego do rejestru zabytków, nawiązuje formalny i symboliczny dialog z otoczeniem.

Korelację funkcji estetycznej oraz użytkitarnej, związaną ze strategią energooszczędności, można zauważyć w projekcie nadbudowy obiektu w Wiedniu, opracowanym przez pracownię COOP Himmelb(l)au. W narożnie usytuowanym obiekcie przy Falkestrasse, w latach 1984-89 zrealizowano przeszklone poddasze o formie dekonstruivistycznej. Z uwagi na zastosowane szkło w elewacji można uznać, że nadbudowa posiada cechy architektury helioaktywnej, pozyskującej energię słoneczną. Pomimo, że kształt „poddasza” prowokuje do konfrontacji z istniejącym budynkiem, w dużej mierze podkreśla jego typologiczną i estetyczną niezależność, „płonie” w miejscu spotkania przeciwieństw. Architektura COOP Himmelb(l)au to zderzenie antynomii: lekkości i ciężaru, masy i transparentności, odsłonięcia i zakrycia, po konfrontację form zaczerpniętych z natury z technologiczną doskonałością, uchwyceniem ruchu w statycznej formie. Projektanci uznają architekturę za medium nowej filozofii przestrzeni, a budynki za figury w nowej grze w urbanistyczne szachy. To do figur - budynków należy, według COOP Himmelb(l)au, nowe definiowanie „białego hałasu” miasta [6].

5. REFLEKSJA

Przeszklone przegrody zewnętrzne projektowane od strony nasłonecznionej wymagają ochrony przed nadmiarem promieni słonecznych. Tradycyjna technologia szkła przeciwsłonecznego (o stałych parametrach optycznych), niesie zagrożenia pogorszenia jakości wizualnej, a także obniżenia wartości zysków cieplnych zimą. Z kolei przestrzenne systemy zacieniające, tworzące wielowarstwowe elewacje, z jednej strony pozwalają na dostosowaną do potrzeb użytkownika regulację przenikania ciepła i światła, z drugiej –

ruchome części np. żaluzji, markiz itd., wymagają kosztownego utrzymania i konserwacji. Możliwość zmniejszenia opisanych wad upatruje się w technologiach szklenia interaktywnego, tj. szklenia o zmiennych parametrach optycznych.

Przyglądając się miastom można zauważyć, że współczesne realizacje, aplikujące coraz bardziej nowatorskie rozwiązania technologiczne w przeszklonych przegrodach, budują w tkance istniejącej zabudowy nowe relacje. Idea kontekstualizmu akceptuje różnorodną typologię, transformuje fragmenty różnych stylów w jedną całościową koncepcję i wykorzystuje możliwość uzupełnień przestrzennych dla wzmocnienia wartości istniejącego tła. Nie wymaga zachowania przestrzennego *status quo*, nie rekonstruuje również stylu minionych epok. Stan istniejący rozwija przy użyciu współczesnych środków wyrazu, symboli, i potrzeb. Przekształcenia w kategoriach estetycznych i technologicznych są możliwe dzięki „inteligentnym” elewacjom, o założonej aktywności energetycznej, które doskonale realizują ideał dialogicznego paradygmatu: stare - nowe.

6. LITERATURA

- [1] Celadyn W.; Przegrody przeszklone w architekturze energooszczędnej, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, 2004.
- [2] Kuczia P.; Architektura pomiędzy „Sun Block” i „Summer Look”, V symposium Architektura i technika a zdrowie, Politechnika Śląska, Gliwice, 2007.
- [3] Bojęś A.; Konserwacja budynków zabytkowych z zastosowaniem przeszkleń całoszklanych, V Międzynarodowa Konferencja Naukowo – Techniczna WA PK, Problemy projektowe w kontekście nowych technologii budowlanych, Kraków, 2003.
- [4] ML; Hearst Tower w Nowym Jorku, Architektura-murator, nr 3/2007.
- [5] Pleszko A.; Nowoczesny szalas, Architektura&Biznes, nr 01/2008.
- [6] Leśniak D.; Wolf Prix w centrum Manggha, strona internetowa: www.w-a.pl/www.wydzial-architektury.com, 2007-04-08.

ADDITION OF ENERGETICALLY ACTIVE ELEMENTS IN MONUMENTAL BUILDINGS – ARCHITECTURAL ASPECT

SUMMARY

In the article, there were presented chosen material and technological solutions, mostly used in the glazed exterior partitions. Because of its advantages and aesthetic neutrality, glass is used in the modernization of existing buildings. Newly erected structures and elements with such intelligent exterior partitions create today successful dialog with massive, sculpturally treated historical elevations and with previously created, urban organism.



Janusz KONKOL, dr inż.

Politechnika Rzeszowska
Zakład Inżynierii Materiałowej i Technologii Budownictwa
ul. Wincentego Pola 2, 35-959 Rzeszów
e-mail: jk7@prz.edu.pl

ANALIZA STEREOLOGICZNA KRUSZYWA W BETONIE – SPOSÓB UZYSKANIA KRZYWEJ UZIARNIENIA

STRESZCZENIE

W referacie wykazano przydatność metod stereologicznych do opisu morfologii ziaren kruszywa grubego w betonie. Opisano kolejne etapy przygotowania obrazu do analizy oraz przedstawiono sposób uzyskania krzywej uziarnienia kruszywa grubego w betonie na kruszywie bazaltowym.

1. WPROWADZENIE

Stereologia to nauka, której metody pozwalają na ilościowy opis trójwymiarowych zbiorów brył za pomocą pomiarów lub zliczeń prowadzonych na dwuwymiarowych przekrojach tych zbiorów. Wykorzystanie badań stereologicznych w przypadku kruszywa umożliwia określenie jego objętości względnej w betonie, powierzchni względnej, jak również składu granulometrycznego.

Informacje uzyskane na podstawie badań stereologicznych mogą posłużyć do sprawdzenia prawidłowości i zgodności składu rzeczywistego z projektowanym oraz oceny trwałości betonu poddanego działaniu środowiska agresywnego (oceny składu betonu). Aspekt trwałości w projektowaniu betonu nabiera ostatnimi czasy coraz większego znaczenia, zatem zastosowanie znajduje tu ocena składu betonu metodami stereologicznymi, dającymi możliwości uzyskania informacji o zachodzących w czasie zmianach struktury betonu w konstrukcji.

Metodę określania składu betonu, w celu sprawdzenia zgodności składu rzeczywistego z projektowanym, opisano w pracy [1]. Zastosowano metodę trawersu liniowego, a otrzymane wyniki objętości względnej kruszywa były zaniżone, w stosunku do objętości rzeczywistych kruszywa w betonie, o około 0,5 do 2 %. Podobne badania przeprowadziły autorki pracy [2]. Poddając analizie obrazy betonu na kruszywie żwirowym i wapiennym, najlepszą zgodność z zawartością rzeczywistą kruszywa w betonie otrzymały w przypadku kruszywa znacznie różniącego się pod względem stopnia szarości od zaczynu (wapień zbity), w przypadku żwiru, o ziarnach o zbliżonym stopniu szarości do zaczynu, otrzymały różnice poniżej 4%. W pracy tej opisano również kompleksową metodę oznaczenia składu betonu.

Przykład zastosowania komputerowej analizy obrazu do wyznaczenia krzywej uziarnienia przedstawiono w pracy [3]. Autor na podstawie porównania otrzymanego rozkładu przekrojów ziaren z rzeczywistą krzywą uziarnienia wykazał przydatność metody. Otrzymano dużą zbieżność wyników krzywych uziarnienia jedynie do średnicy 1 mm. W pozostałym zakresie obserwuje się rozbieżności wynoszące na przykład dla frakcji kruszywa do 2 mm ponad 10 %.

Preparatykę próbek oraz możliwości wykorzystania metod stereologicznych do badania charakterystyk kruszywa grubego w betonie bazaltowym i żwirowym opisano w pracy [4]

Kwestię kształtu ziaren kruszywa oraz wykorzystania metod stereologicznych do ich analizy poruszano również w pracach [5-12].

W niniejszym artykule przedstawiono metodę wyznaczenia krzywej uziarnienia kruszywa grubego bazaltowego na podstawie badań stereologicznych płaskich przekrojów w połączeniu z komputerową analizą obrazu. Celem badań jest znalezienie odpowiedniego współczynnika uwzględniającego kształtu ziarna bazaltu, a pozwalającego na uzyskanie informacji odnośnie uziarnienia kruszywa.

2. PRZEDMIOT BADAŃ I PREPARATYKA PRÓBEK

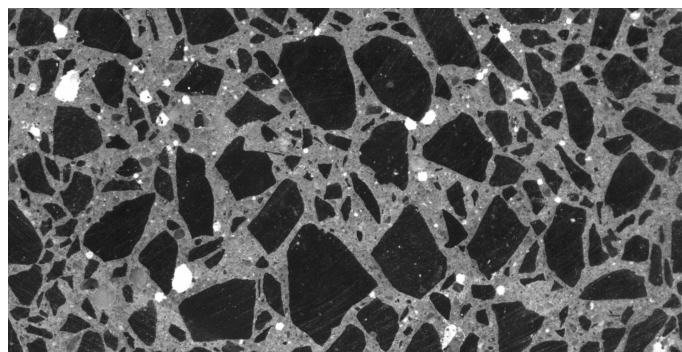
Badania przeprowadzono na 4 próbkach betonowych o wymiarach 8×15×70 cm i zróżnicowanym udziale kruszywa grubego oraz zmiennym stosunku wodno-cementowym (tabela 1). Do wykonania próbek użyto cementu CEM I 32,5 R z cementowni Chełm, piasku płukanego do 2 mm oraz kruszywa bazaltowego trzech frakcji 2 - 5, 5 - 8 i 8 - 16.

Tabela 1. Zestawienie składu poszczególnych serii betonów

Table 1. The listing of the composition of particular concrete series

Nr serii	Składniki mieszanki betonowej				Punkt piaskowy	W/C
	Cement, C	Woda, W	Piasek	Bazalt		
[-]	[kg]	[dm ³]	[kg]	[kg]	[%]	[-]
1	345	176	609	1400	29,2	0,51
2						
3	306	178	540	1508	25,5	0,58
4	405	206	714	1142	36,9	

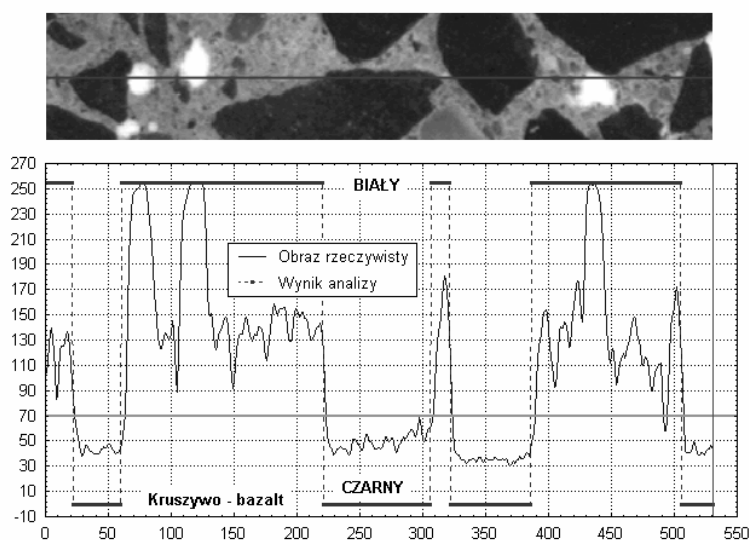
Próbki pocięto uzyskując po 12 (serie 1 i 2) ewentualnie 10 (serie 3 i 4) płaskich powierzchni do badań stereologicznych o wymiarach 8×15 cm każda. Powierzchnie próbek wyszlifowano i pokryto szkłem wodnym w celu uzyskania lepszego kontrastu. Przykładowy obraz przygotowanej powierzchni przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Rzeczywisty obraz powierzchni próbki.
Fig. 1. The real image of specimen surface

3. ILOŚCIOWA ANALIZA KRUSZYWA GRUBEGO W BETONIE

Przygotowane powierzchnie skanowano przy rozdzielczości 400 dpi., a następnie poddano obróbce w programie komputerowym *FRAKTAL_Stereolog*¹⁾. Dla fazy kruszywa grubego przyjęto zakres skali szarości od 0 do 70 (rys. 2). W celu wyeliminowania zakłóceń przeprowadzono na obrazie dwukrotnie przekształcenie morfologiczne zwane erozją w połączeniu z rekonstrukcją obrazu oraz dokonano operacji zalewania otworów [4, 8, 9]. Graficzną interpretację miejsc występowania bazaltu na długości losowo wybranej linii pomiarowej przedstawia rys. 2.



Rys. 2. Graficzna interpretacja miejsc występowania bazaltu
Fig. 2. Graphical interpretation of the locations of basalt occurrence

¹⁾ Konkol J.: *FRAKTAL_Stereolog*. Program komputerowy.

Na każdej próbce do badań stereologicznych wydzielano po cztery obszary. Łącznie analizie stereologicznej poddano po 48 (serie 1 i 2) ewentualnie 40 (serie 3 i 4) obszarów o wielkości $6,32 \times 3,25 \text{ cm}^2$ każdy. Na podstawie otrzymanych, dla każdego obszaru, wyników obliczono średnią objętość względną kruszywa grubego V_V . Uzyskane wyniki oraz różnicę między wartością rzeczywistą $V_{V \text{ RZECZ.}}$ (obliczoną na podstawie składu betonu), a wartością uzyskaną na podstawie stereologicznej analizy obrazu V_V zamieszczono w tabeli 2. Stwierdzono zaniżenie uzyskiwanej na podstawie badań stereologicznych objętości względnej bazaltu w stosunku do objętości rzeczywistej średnio o 2,91 %. Uzyskane rozbieżności wyników mogą być spowodowane niedokładnością przy określeniu składu mieszanki betonowej.

Tabela 2. Porównanie wyników objętości względnej bazaltu
Table 2. Comparison of results of basalt relative volume

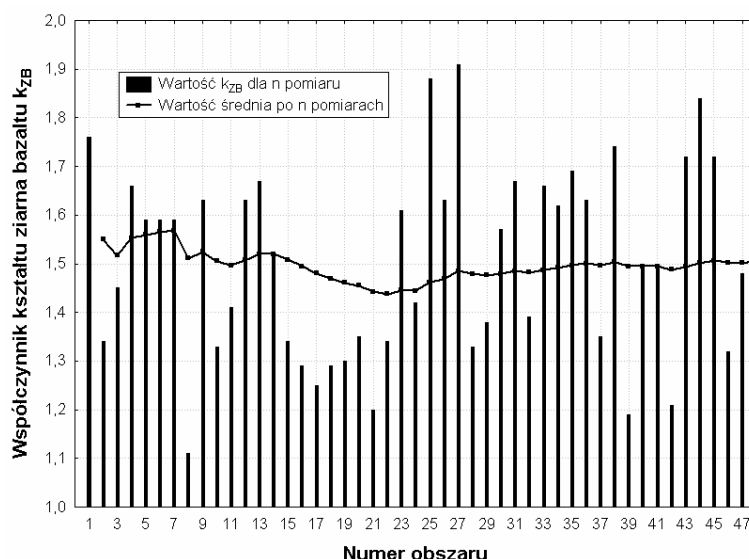
Nr serii	Liczba obrazów	Objętość względna bazaltu,		Różnic a, %
		%		
		$V_{V \text{ RZECZ.}}$	$V_V \pm S$	
1	48	48,28	$45,86 \pm 0,10$	-2,42
2	48	48,28	$45,58 \pm 0,08$	-2,70
3	40	52,00	$47,97 \pm 0,10$	-4,03
4	40	39,37	$36,87 \pm 0,11$	-2,50

Program *FRAKTAL_Stereolog* oprócz obliczenia objętość względną kruszywa grubego V_V umożliwia również określenie liczby widocznych na obrazie przekrojów ziarna bazaltu wraz z podaniem pól powierzchni każdego znalezionej przekroju ziarna. Uzyskane informacje o rozkładzie pól powierzchni przekrojów ziaren bazaltu wykorzystano do odtworzenia krzywej przesiewu tego kruszywa. Na podstawie obserwacji wizualnych stwierdzono podobieństwo kształtów ziaren bazaltu wszystkich frakcji, co umożliwiło przyjęcie jednej wartości współczynnika kształtu ziarna bazaltu k_{ZB} , dla wszystkich trzech frakcji. Współczynnik kształtu ziarna bazaltu k_{ZB} zdefiniowano jako wartość, o którą należy zwiększyć bok kwadratu o polu powierzchni równoważnym polu powierzchni przekroju ziarna bazaltu, aby uzyskać wymiar oczka sita pozwalający zakwalifikować dany przekrój ziarna do odpowiedniej frakcji. Poszukiwanie odpowiedniego współczynnika kształtu ziarna bazaltu k_{ZB} podzielono na cztery etapy:

- ✓ I etap - obliczenie współczynnika na podstawie analizy próbek betonowych serii 1 (na podstawie 48 wyników);
- ✓ II etap - obliczenie wartości średniej współczynnika;
- ✓ III etap - sprawdzenia uzyskanego wyniku współczynnika kształtu ziarna w przypadku obrazów powierzchni próbki betonu serii 2, betonu o takim samym składzie, lecz wykonanego z innego zarobu;
- ✓ IV etap - sprawdzenia uzyskanego wyniku współczynnika kształtu ziarna w przypadku betonów o innym stosunku wodno-cementowym i inny udziale kruszywa grubego w betonie (betony serii 3 i 4).

W wyniku pomiarów wykonanych na 48 obszarach próbki betonowej serii 1 uzyskano metodą przeszukiwania 48 wartości współczynnika kształtu ziarna bazaltu k_{ZB} . Warunkiem wyboru optymalnego rozwiązania była minimalizacja sumarycznego bezwzględnego błędu między kolejnymi punktami krzywej przesiewu (tj. 0; 0,5; 1; 2; 4; 8 i 16 mm) otrzymanej na podstawie analizy obrazu, a rzeczywistej krzywej przesiewu kruszywa grubego bazaltowego.

Ostatecznie uzyskano średnią wartość współczynnika k_{ZB} wynoszącą 1,507 z błędem standardowy równym 0,029. Średni błąd między wartością obliczoną a rzeczywistą, dla wszystkich punktów krzywej przesiewu, wyniósł 2,81 % (tabela 3). Na rys. 3 przedstawiono zmianę wartości współczynnika k_{ZB} w zależności od kolejnego analizowanego obszaru oraz zmianę wartości średniej tego współczynnika po uwzględnieniu n liczby wyników. Pomimo dużej zmienności wartości współczynnika kształtu ziarna bazaltu k_{ZB} w zależności od analizowanego obszaru po około 27 wynikach następuje stabilizacja wartości średniej tego współczynnika (rys. 3).



Rys. 3. Wykres zmiany współczynnika kształtu ziarna bazaltu k_{ZB} (próbka serii 1)
 Fig. 3. Graph of change of basalt shape factor k_{ZB} (specimen of series 1)

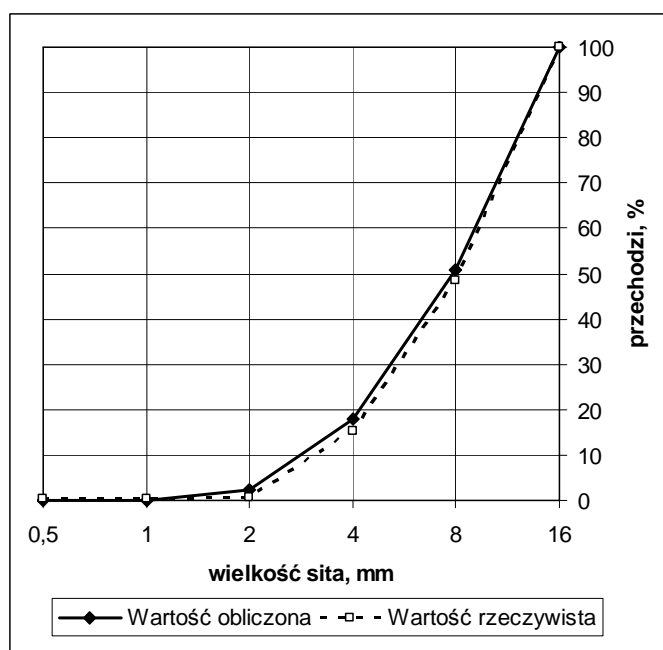
Przyjmując obliczoną wartość współczynnika kształtu ziarna bazaltu k_{ZB} na podstawie analizy próbek serii 1 przeprowadzono obliczenia sprawdzające dla obszarów wydzielonych na próbkach serii 2, próbkach wykonanych z betonu o tym samym składzie, lecz z innego zarobu.

Dokonano wyznaczenia punktów krzywej uziarnienia, dla każdego z uzyskanych 48 obszarów. Jako ostateczny wynik obliczono wartości średnie dla każdego z punktów krzywej uziarnienia $\sum f_{i\text{obl.}}$, a uzyskane wyniki zamieszczono w tabeli 3. Wartości kolejnych współrzędnych krzywej uziarnienia uzyskane doświadczalnie porównano z war-

tościami rzeczywistymi uzyskanymi z przesiewu (tabela 3). Sumaryczny bezwzględny błąd analizy $|\sum \Delta f|$ wynosi 3,45 %.

Tabela 3. Porównania krzywych przesiewu teoretycznej i rzeczywistej
Table 3. Comparison of theoretical and real sieve curve

Frakcja f_i	Przechodzi $\sum f_{i \text{ rzec.}}$	Wartości obliczone $\sum f_{i \text{ obl.}}$ oraz różnice między tymi wartościami, a rzeczywistymi Δf , dla próbek z betonów							
		serii 1		serii 2		serii 3		serii 4	
		$\sum f_{i \text{ obl.}}$	Δf	$\sum f_{i \text{ obl.}}$	Δf	$\sum f_{i \text{ obl.}}$	Δf	$\sum f_{i \text{ obl.}}$	Δf
[mm]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
0 – 0,5	0,39	0,00	0,39	0,00	0,39	0,00	0,39	0,00	0,39
0,5 – 1	0,39	0,12	0,27	0,13	0,26	0,19	0,20	0,13	0,26
1 – 2	0,74	1,88	-1,14	2,10	-1,36	2,24	-1,51	2,17	-1,44
2 – 4	15,42	14,85	0,57	16,59	-1,17	17,13	-1,71	17,97	-2,55
4 – 8	48,62	48,18	0,44	48,36	0,27	50,64	-2,02	50,73	-2,11
8 – 16	100,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00
$ \sum \Delta f $		2,81		3,45		5,83		6,75	



Rys. 4. Porównanie między eksperymentalną krzywą przesiewu a uzyskaną z analizy obrazu (próbka serii 4)

Fig. 4. Comparison of the experimental grading curve with the curve obtained from the digital image analysis (specimen of series 4)

Ostatnim czwartym etapem poszukiwania odpowiedniego współczynnika kształtu ziarna bazaltu k_{ZB} jest sprawdzenie otrzymanej wartości w przypadku tego samego kruszywa grubego w betonie o innym stosunku wodno-cementowym i innym udziale tego kruszywa w stosie okruszowym (tabela 1, próbki z betonu serii 3 i 4). Wyniki analizy zamieszczono w tabeli 3. Uzyskano łączną różnicę między punktami krzywej przesiewu teoretycznej i rzeczywistej wynoszącą 5,83% w przypadku próbek z betonu serii 3 oraz 6,75% dla próbek betonowych serii 4.

Rysunek 4, dotyczący wyników uzyskanych na próbkach z betonu serii 4, potwierdza dużą zgodność teoretycznej i rzeczywistej krzywej przesiewu. Nie zaobserwowano wpływu zmiany składu betonu w porównaniu do betonu serii 1 na kształt krzywej uziarnienia. Zmiana składu dotyczyła stosunku wodno-cementowego, jak również udziału kruszywa grubego w stosie okruszowym (zmiana punktu piaskowego). Największą różnicę wynoszącą 2,55% uzyskano dla frakcji 0 – 4 mm.

4. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone w artykule analizy pozwoliły na znalezienie odpowiedniej wartości współczynnika kształtu ziarna bazaltu k_{ZB} wynoszącej 1,507. Iloczyn współczynnika kształtu ziarna bazaltu k_{ZB} i boku kwadratu o polu powierzchni równoważnym polu powierzchni przekroju ziarna bazaltu pozwala na zakwalifikowanie danego przekroju ziarna do odpowiedniej frakcji.

Na podstawie przeprowadzonych analiz potwierdzono przydatność metod stereologicznych do analizy kruszywa w betonie. Uzyskano również dużą zgodność krzywej uziarnienia otrzymanej na podstawie komputerowej analizy obrazu z krzywą rzeczywistą.

Przedstawiony sposób oceny krzywej uziarnienia kruszywa wraz z badaniami porównawczymi metodami stereologicznymi mogą stanowić użyteczne narzędzie służące do oceny składu betonu.

5. LITERATURA

- [1] Jarmonowicz A.; Badanie składu betonu. Cement Wapno Gips, 2, 1978, 39-41.
- [2] Jarmonowicz A., Krzywobłocka-Laurow R.; Ilościowa analiza mikroskopowa betonu. Archiwum Inżynierii Lądowej, 22/4, 1976, 641-645.
- [3] Brzezicki J.; Zastosowanie komputerowej analizy obrazu do badań struktury betonu. XXXIX Konferencja Naukowa KILiW i KN PZITB, Warszawa-Krynica-Rzeszów, 1993, 21-28.
- [4] Konkol J.; Zastosowanie analizy struktury do oceny właściwości betonów, Rozprawa Doktorska, Rzeszów 2004, niepublikowana.
- [5] Li L., Chan P., Zollinger D. G., Lytton R. L.; Quantitative analysis of aggregate shape based on fractals. ACI Materials Journal, 90/4, 1993, 357-365.
- [6] Brzezicki J., Kasperkiewicz J.; Automatic image analysis in complex macro- and meso-scale measurements on concrete composites. Archiwum Inżynierii Lądowej, 44/1, 1998, 57-78.
- [7] Yang R., Buenfeld N. R.; Binary segmentation of aggregate in SEM image analysis of concrete. Cement and Concrete Composites, 31, 2001, 437-441.
- [8] Konkol J.; Stereologia i automatyczna komputerowa analiza obrazu w badaniach betonów. Część I – Przekształcenia obrazu. Materiały konferencyjne z VII Konferencji

- Naukowej Koszycko-Lwowsko-Rzeszowskiej pt. „Aktualne problemy budownictwa i inżynierii środowiska”, Koszyce, 22-24 maja 2002, t. 13, 155-158.
- [9] Konkół J.; Stereologia i automatyczna komputerowa analiza obrazu w badaniach betonów. Część II – Analiza obrazu. Materiały konferencyjne z VII Konferencji Naukowej Koszycko-Lwowsko-Rzeszowskiej pt. „Aktualne problemy budownictwa i inżynierii środowiska”, Koszyce, 22-24 maja 2002, t. 13, 159-165.
- [10] Fernlund J.M.R.; Image analysis method for determining 3-D shape of coarse aggregate, *Cement and Concrete Research*, 35, 2005, 1629-1637.
- [11] Kalliomäki I., Vehtari A., Lampinen J.; Shape analysis of concrete aggregates for statistical quality modeling, *Machine Vision and Applications*, 16, 2005, 197-201.
- [12] Hu J., Stroeve P.; Shape characterization of concrete aggregate, *Image Anal. Stereol.*, 25, 2006, 43-53.

STEREOLOGICAL ANALYSIS OF AGGREGATE IN CONCRETE – METHOD OF GRADING CURVE OBTAINING

SUMMARY

The method of investigation of aggregate in hardened concrete with use of image analysis has been presented in the contribution. The method of surface preparation, obtaining of the grading curve and results analysis have been described. Volume of aggregate and the basalt shape factor k_{ZB} has been determined.

Obtained results confirm usefulness of the basalt shape factor k_{ZB} for receiving of information on the grading curve of aggregate in hardened concrete.

Janusz KONKOL, dr inż.
Piotr FRĄCZEK, mgr inż.

Politechnika Rzeszowska
Zakład Inżynierii Materiałowej i Technologii Budownictwa
ul. Wincentego Pola 2, 35-959 Rzeszów
e-mail: jk7@prz.edu.pl

WPLYW POROWATEJ STRUKTURY BETONU BAZALTOWEGO NA JEGO CECHY WYTRZYMAŁOŚCIOWE

STRESZCZENIE

W referacie przedstawiono wyniki badań wytrzymałościowych i stereologicznych porowatości betonów o zróżnicowanym stosunku wodno-cementowym wykonanych na kruszywie bazaltowym. Wykazano znaczący wpływ porowatości na odporność na pękanie określoną według I modelu zniszczenia. Otrzymano statystycznie istotne funkcje regresji opisujące korelację między strukturą, a cechami mechanicznymi badanych betonów.

1. WPROWADZENIE

Z uwagi na znaczący wpływ porowatości materiałów budowlanych na cechy mechaniczne i cieplno-wilgotnościowe, celowe jest prowadzenie badań zmierzających do znalezienia prostej, a jednocześnie skutecznej metody określania struktury porów. Możliwość oceny porowatości umożliwia stosowanie metod stereologicznych [1]. Zaletą pomiarów stereologicznych jest prowadzenie obserwacji na rzeczywistych obrazach wypolerowanej i specjalnie spreparowanej powierzchni betonu, na której widoczne jest rozmieszczenie, liczba, wielkość i kształt porów. Charakterystykę porów można opisać stosując metodę trawersu-liniowego PN-EN 480-11 [1] lub metodę punktową EN 480-11, ASTM C457 [2]. Jak wykazały badania obie metody mogą dawać zarówno wyniki różniące się [3, 4] jak i zbieżne [5]. Obecnie dużym ułatwieniem w prowadzeniu pomiarów jest możliwość zastosowania odpowiedniego oprogramowania komputerowego [6-10].

Ważnym zagadnieniem w komputerowej analizie obrazu pozostaje jednak odpowiednia preparatyka próbek. Można wyróżnić różne sposoby przygotowywania płaskich przekrojów. Załocha i Kasperkiewicz [4, 8] do wypełniania pustek stosowali pastę cynkową, Konkół [7], Konkół i Prokopski [9, 10], Konkół i in [6] pustki powietrzne wypełniali gipsem, natomiast Młynarczyk i Zając [11] przedstawili sposób uzyskania wiernego odwzorowania topografii powierzchni zglądu przy zastosowaniu profilometru laserowego.

Istnieje wiele publikacji potwierdzających istnienie zależności między porowatością, a właściwościami betonów, w tym wytrzymałością na ściskanie, odpornością na pękanie. Zwiększenie udziału porów powietrznych powoduje spadek tych cech wytrzymałościowych. Badając betony z dużą zawartością popiołów lotnych Jiang i Guan [12] podali, że znaczący wpływ na wytrzymałość na ściskanie mają tylko pory o promieniu powyżej 100 nm, zaś na wytrzymałość na rozciąganie wszystkie pory.

Naus i Lott [13] natomiast dowiedli, że wzrost porowatości od 2 do 8% powoduje spadek wartości krytycznego współczynnika intensywności naprężeń K_{Ic} o około 23,4%.

2. CEL I ZAKRES BADAŃ

Celem badań jest ocena porowatości betonów, o zmiennym stosunku wodno-cementowym wykonanych na kruszywie bazaltowym, metodami stereologicznymi oraz określenie wpływu porowatości na cechy wytrzymałościowe tych betonów.

W celu zrealizowania powyższych celów przeprowadzono następujące badania: konsystencji mieszanki betonowej, wytrzymałości na ściskanie, odporności na pękanie oraz badania stereologiczne.

Badaniom poddano 4 mieszanki betonowe o zróżnicowanym stosunku wodno-cementowym W/C wynoszącym: 0,4; 0,45; 0,5 i 0,55. W planie badań przyjęto następujące założenia, co do składu mieszanki betonowej: stały stosunek cementu do piasku C/P równy 0,769 i stały stosunek bazaltu do piasku B/P równy 2,308

Do wykonania betonów użyto cementu portlandzkiego CEM I 32.5R z cementowni Ożarów, kruszywa bazaltowego do 16 mm i piasku płukanego do 2 mm.

Podstawową recepturę mieszanki betonowej wykonano przy założeniu stosunku wodno-cementowego W/C = 0,45 i punktu piaskowego 31%. Pozostałe receptury o stosunku wodno-cementowym W/C równym 0,4; 0,5 i 0,55 powstały przez dodanie lub ujęcie wody. Skład mieszanek betonowych na 1 m³ zestawiono w tabeli 1.

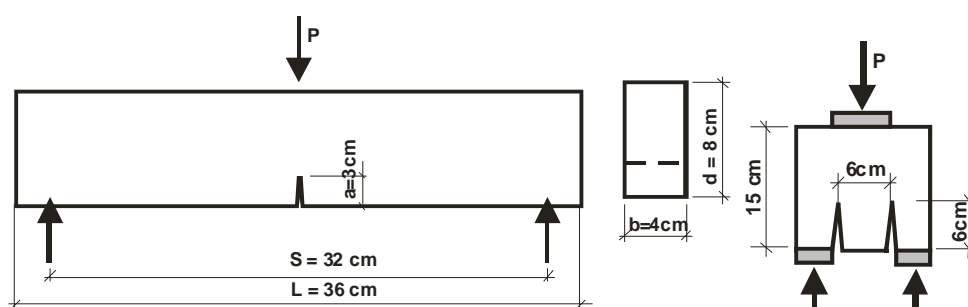
Tabela 1. Zestawienie składu poszczególnych serii betonów

Table 1. Listing of the composition of particular concrete series

W/C	Składniki mieszanki betonowej			
	Cement, C	Piasek, P	Bazalt, B	Woda, W
[-]	[kg]	[kg]	[kg]	[dm ³]
0,40	445,4	579,1	1336,3	178,2
0,45	435,7	566,5	1307,2	196,1
0,50	426,4	554,5	1279,4	213,2
0,55	417,5	542,9	1252,7	229,6

3. WYNIKI BADAŃ

Przeprowadzono badania cech fizycznych i mechanicznych betonów. Badanie konsystencji mieszanki betonowej przeprowadzono metodą Vebe (tabela 2). Badania wytrzymałościowe wykonano po 28 dniach dojrzewania. Do badania wytrzymałości na ściskanie użyto próbek sześciennych o boku 10 cm, do badania odporności na pękanie według I modelu beleczek o wymiarach 4×8×36 cm ze szczeliną pierwotną, natomiast do badania odporności na pękanie według II modelu użyto kostek o boku 15 cm z dwiema szczelinami pierwotnymi o długości 6 cm każda. Schemat próbek do badania odporności na pękanie pokazano na rys. 1.



Rys. 1. Schematy próbek do badania według I i II modelu pękania

Fig. 1. Specimen schemes for investigation according to I and II model of cracking

Wyniki badań wytrzymałościowych i konsystencji zestawiono w tabeli 2. W przypadku badań wytrzymałościowych wyniki podano wraz z odchyleniem standardowym wartości średniej $S(\bar{x})$.

Tabela 2. Zestawienie wyników parametrów wytrzymałościowych i konsystencji
Table 2. Listing of results of strength and consistence parameters

W/C	$f_c \pm S(\bar{x})$	$K_{Ic} \pm S(\bar{x})$	$K_{IIc} \pm S(\bar{x})$	Konsystencja
[-]	[MPa]	[MPa \sqrt{m}]	[MPa \sqrt{m}]	oznaczenie, czas [s]
0,40	49,4±1,5 (N = 6)	0,70±0,04 (N = 5)	7,36±0,81 (N = 3)	V2 (17 s)
0,45	40,0±0,8 (N = 8)	0,76±0,02 (N = 4)	6,90±0,40 (N = 3)	V3 (10 s)
0,50	29,9±1,3 (N = 6)	0,53±0,04 (N = 5)	6,99±0,41 (N = 4)	V4 (5 s)
0,55	28,1±0,8 (N = 5)	0,51±0,02 (N = 5)	5,65±0,19 (N = 4)	(1 s)

N – liczba próbek

W przypadku badań wytrzymałościowych przeprowadzono statystyczną analizę wyników badań polegającą na sprawdzeniu występowania błędów grubych (testem Dixona), wpływu zmiennej niezależnej na przyjęte zmienne zależne oraz sprawdzeniu jednorodności wariancji testem Bartletta. Wszystkie analizy statystyczne przeprowadzono przy założeniu poziomu istotności $\alpha = 0,05$. W wyniku przeprowadzonej analizy testem Dixona pozostawiono wszystkie wyniki badań, wykazano istotny wpływ zmiennej

niezależnej na cechy wytrzymałościowe betonu oraz stwierdzono jednorodność wariancji przy poziomie istotności 0,05.

Na wybranych losowo próbkach do badań odporności na pękanie według II modelu zniszczenia przeprowadzono badania stereologiczne mające na celu określenie porowatości betonu. Próbki do badań po przecięciu wyszlifowano i tak przygotowaną powierzchnię pokryto czarną farbą w sprayu. Analizę stereologiczną zeskanowanych przy rozdzielczości 400 dpi. obrazów przeprowadzono przy wykorzystaniu programu komputerowego *FRAKTAL_Stereolog*¹⁾. W przypadku analizy porów jako optymalny ze względu na eliminację szumów wybrano zakres skali szarości dla porów powietrznych od 100 do 255 (0 – kolor czarny, 255 – kolor biały). Badaniu poddano po dwie powierzchnie, dla każdej serii betonów. Łącznie badaniu poddano 8 powierzchni o wymiarach 14×14 cm każda. Zmniejszenie wymiarów obrazu miało na celu eliminację błędów wynikających z „efektu ściany”.

Wyniki badań stereologicznych zestawiono w tabeli 3. Metodą planimetryczną i trawersu liniowego określono objętość względną porów V_V , licznosc względną przekrojów porów N_A oraz powierzchnię względną porów S_V .

Tabela 3. Zestawienie wyników badań stereologicznych porowatości
Table 3. Listing of results of porosity stereological investigations

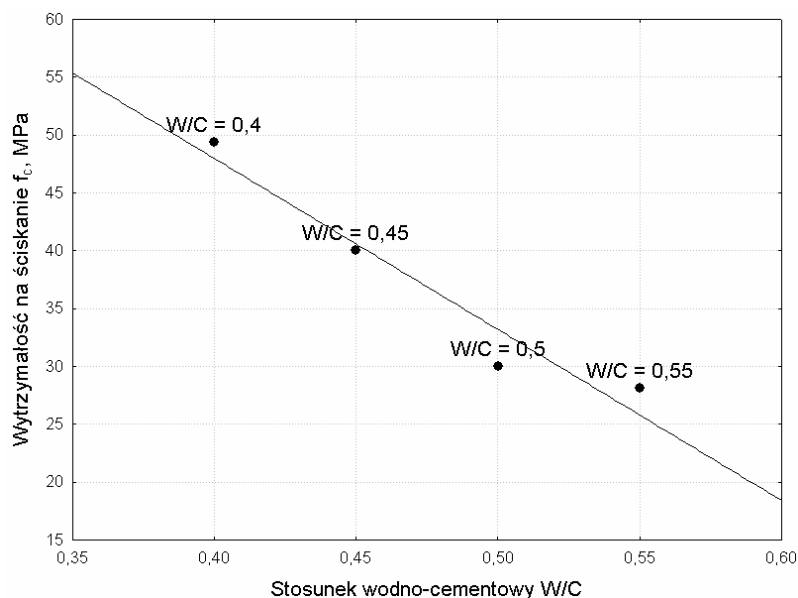
W/C	V_V	N_A	S_V
[-]	[%]	[1/cm ²]	[cm ² /cm ³]
0,40	1,8	8,48	77,0
0,45	1,4	4,10	58,1
0,50	1,8	7,41	67,4
0,55	1,1	3,20	56,1

W przewidzianym badaniem zakresie zmienności stosunku wodno-cementowego uzyskano statystycznie istotną liniową korelację między wytrzymałością na ściskanie, a stosunkiem wodno cementowym określoną wzorem:

$$f_c = -149,97 \cdot W / C + 107,94 \quad (1)$$

Współczynnik korelacji równania (1) wynosi $R = 0,929$, komputerowy poziom istotności liniowej korelacji $p = 0,0003$, a komputerowy poziom istotności współczynników równania liniowego jest równy dla współczynnika kierunkowego 0,031 i dla wyrazu wolnego 0,014. Uzyskane wartości komputerowych poziomów istotności świadczą o istnieniu zależności liniowej postaci (1) oraz o istotności współczynników równania liniowego przy założeniu poziomu istotności $\alpha = 0,05$. Współczynnik determinacji R^2 równania regresji (1) wynosi 0,863, co świadczy, że zmienność wytrzymałości na ściskanie wyjaśniona jest zmianą stosunku wodno-cementowego w 86,3 %, a 13,7 % stanowią inne czynniki, w tym czynniki losowe. Otrzymana zależność pokazuje, że wraz ze wzrostem stosunku wodno-cementowego maleje wytrzymałość na ściskanie. Największą wartość wytrzymałości na ściskanie uzyskano dla betonu o najmniejszej wartości stosunku wodno-cementowego W/C równej 0,4.

¹⁾ Konkol J.: *FRAKTAL_Stereolog*. Program komputerowy, Rzeszów 2002.



Rys. 2. Liniowa zależność między wytrzymałością na ściskanie f_c a stosunkiem wodno-cementowym W/C

Fig. 2. Linear correlation between compressive strength f_c and water-cement ratio W/C

W przypadku pozostałych cech mechanicznych, tj. krytycznego współczynnika intensywności naprężeń według I i II modelu, nie uzyskano statystycznie istotnych korelacji liniowych.

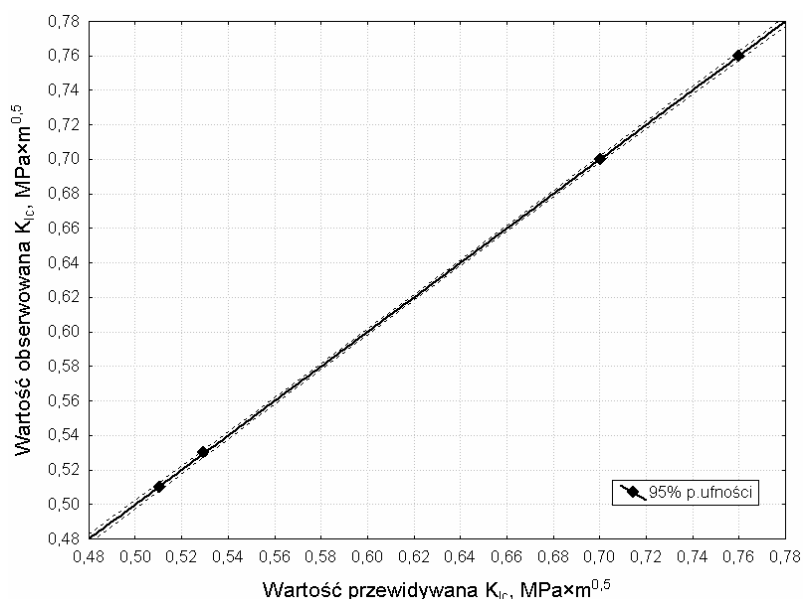
Zaobserwowano jednak spadek odporności na pękanie według I modelu zniszczenia w przypadku betonu o stosunku wodno-cementowym W/C = 0,4 w stosunku do betonu o W/C = 0,45. Uwidacznia się tu wpływ zwiększonej porowatości betonu o W/C = 0,4 wynoszącej 1,8%. Beton o stosunku wodno-cementowym W/C = 0,45 miał natomiast porowatość wynoszącą 1,4%. Wzrost porowatości betonu o stosunku wodno-cementowym W/C wynoszącym 0,4 był spowodowany gorszą urabialnością mieszanki betonowej i występowaniem większej liczby porów o większej powierzchni względnej (patrz tabela 3 wartości N_A i S_V).

W przypadku wytrzymałości na ściskanie f_c i krytycznego współczynnika intensywności naprężeń według II modelu K_{IIc} wzrost porowatości betonu o W/C = 0,4 nie skutkował spadkiem cech mechanicznych (tabela 2). Spadek wartości krytycznego współczynnika intensywności naprężeń według I modelu K_{Ic} należy tłumaczyć zmniejszeniem się powierzchni przekroju pracującego przy rozciąganiu. Wzrost porowatości o 0,4% powoduje zmniejszenie się również o 0,4% powierzchni przekroju pracującego.

Parametrem związanym zarówno z porowatością, licznnością, jak i kształtem porów jest powierzchnia względna porów S_V , opisująca powierzchnię porów w centymetrach kwadratowych przypadającą na jeden centymetr sześcienny próbki betonowej. Parametr ten wraz z stosunkiem wodno-cementowym W/C może posłużyć do wyznaczenia wartości

krytycznego współczynnika intensywności naprężeń według I modelu zniszczenia K_{Ic} . Na podstawie uzyskanych wyników otrzymano równanie regresji wielokrotnej postaci (rys. 3):

$$K_{Ic} = 2,573 - 2,698 \cdot W/C - 0,0103 \cdot S_v \quad (2)$$



Rys. 3. Wykres zależności wartości obserwowanej krytycznego współczynnika intensywności naprężeń K_{Ic} od wartości przewidywanej, określonej według wzoru (2)

Fig. 3. Diagram of relationship between the observed value of the critical stress intensity factor K_{Ic} and the predicted value, determined with the formula (2)

Uzyskana dla modelu regresji (2) wartość współczynnik korelacji wynosząca $R = 0,99997$ oraz komputerowy poziom istotności $p = 0,005$ potwierdzają statystyczną istotność korelacji, dla każdego przyjętego poziomu istotności α większego od p (rys. 4). Istotność wykazały również współczynniki modelu (2). Odpowiadające im wartości komputerowych poziomów istotności są dużo mniejsze od wartości poziomu istotności $\alpha = 0,05$. Otrzymana natomiast wartość współczynnika Beta dla stosunku wodno-cementowego W/C świadczy o większym relatywnym wkładzie stosunku wodno-cementowego W/C w predykcję wartości krytycznego współczynnika intensywności naprężeń według I modelu zniszczenia K_{Ic} , aniżeli powierzchni względnej porów S_v . Znaki ujemne zarówno współczynników Beta, jak i współczynników B równania regresji (rys. 4) stojące przy zmiennych niezależnych (W/C i S_v) świadczą o ujemnym wpływie tych zmiennych na wartość zmiennej zależnej K_{Ic} . Wzrost stosunku wodno-cementowego, jak również wzrost powierzchni względnej porów powoduje zatem spadek odporności na pękanie według I modelu zniszczenia opisanego wartością krytycznego współczynnika intensywności naprężeń K_{Ic} .

Podsumowanie regresji zmiennej zależnej: k_{ic} (Dane)						
$R=,99998733$ $R^2=,99997466$ Skoryg. $R^2=,99992398$						
$F(2,1)=19732$, $p<,00503$ Błąd std. estymacji: $,00108$						
N=4	BETA	Błąd st. BETA	B	Błąd st. B	t(1)	poziom p
W. wolny			2,57271	0,011758	218,803	0,002910
wc	-1,40510	0,007242	-2,69838	0,013907	-194,030	0,003281
sv	-0,79559	0,007242	-0,01030	0,000094	-109,862	0,005795

Rys. 4. Podsumowanie analizy regresji wielokrotnej

Fig. 4. The summary of multiple regression analysis

Średnia bezwzględna różnica między wartością obserwowaną K_{ic} a przewidywaną wynosi zaledwie $0,0005 \text{ MPa} \sqrt{\text{m}}$.

4. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania wykazały znaczący wpływ stosunku wodno-cementowego na wszystkie określone cechy mechaniczne betonów (wytrzymałość na ściskanie f_c , krytyczny współczynnik intensywności naprężeń określony według I modelu pęknięcia K_{Ic} oraz krytyczny współczynnik intensywności naprężeń określony według II modelu pęknięcia K_{IIc}). Wzrostowi stosunku wodno-cementowego towarzyszył spadek cech mechanicznych betonów.

Jednocześnie zaobserwowano wyraźny wpływ wzrostu porowatości betonu o stosunku wodno-cementowym $W/C = 0,4$ na odporność na pęknięcie według I modelu zniszczenia zrealizowanego jako rozciąganie przy zginaniu (rys. 1). Pomimo największej wytrzymałości na ściskanie betonu o $W/C = 0,4$ osłabienie przekroju pracującego, będące wynikiem wzrostu porowatości, skutkowało spadkiem wartości krytycznego współczynnika intensywności naprężeń K_{Ic} w stosunku do betonu o $W/C = 0,45$ (tabela 2).

5. LITERATURA

- [1] PN-EN 480-11 Domieszki do betonów, zapraw i zaczynu. Metody badań. Oznaczenie charakterystyki porów powietrznych w stwardniałym betonie. PKN, 2000.
- [2] ASTM C 457 - 98 Standard Test Method for Microscopical Determination of Parameters of the Air-Void System in Hardened Concrete, 1998, 228-241.
- [3] Aligizaki K.K., Cady P.C.: Air content size distribution of air voids in hardened cement pastes using the section-analysis method. Cement and Concrete Research, 29, 1999, 273-280.
- [4] Załocha D.: Image analysis as a tool for estimation of air-void characteristics in hardened concrete: example of application and accuracy studies. A.M.A.S. – Workshop – SIAIC'02. Structural Image Analysis in Investigation of Concrete. Conference Warsaw (edited by Kasperkiewicz J., Brandt A. M.), October 21-23, 2002, 239-257.
- [5] Elsen J.: Automated air void analysis on hardened concrete. Results of a European intercomparison testing program. Cement and Concrete Research, 31, 2001, 1027-1031.
- [6] Konkół J., Kulpiński J., Prokopski G.: Zastosowanie analizy obrazu do określania porowatości betonu na próbkach utwardzonych. Inżynieria Materiałowa, 6, 2002, 737-742.

- [7] Konkol J. Zastosowanie analizy struktury do oceny właściwości betonów. Rozprawa Doktorska. Rzeszów 2004, niepublikowana.
- [8] Kasperkiewicz J., Załocha D.: Automatyczna analiza obrazów w ocenie napowietrzenia betonu. XLVI Konferencja Naukowa KILiW i KN PZITB, Wrocław-Krynica 2000, 199-206.
- [9] Konkol J., Prokopski G.: Zastosowanie metoda analizy obrazu do oceny struktury porów w materiałach budowlanych. I Międzynarodowa Konferencja Energii Słonecznej i Budownictwa Ekologicznego „Energia Odnawialna. Innowacyjne idee i technologie dla budownictwa”, Solina, 17-20 maja 2006. W: Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, 40/229, 271-276.
- [10] Konkol J., Prokopski G.: Analysis of the fracture surface morphology of concrete by the method of vertical section. Computers and Concrete, 1/4, 2004, 389-400.
- [11] Młynarczuk M., Zając B.: Metoda oceny porowatości powierzchni betonu za pomocą profilomierza laserowego. Prace Instytutu Mechaniki Górotworu PAN, 2/3-4, 2000, 423-430.
- [12] Jiang L., Guan Y.: Pore structure and its effect on strength of high-volume fly ash paste. Cement and Concrete Research, 29, 1999, 631–633.
- [13] Fracture Mechanics of Concrete, edited by F. H. Wittman, chapter 5.1, Fracture mechanics parameters of hardened cement paste, aggregates and interfaces, by S. Ziegeldorf, Elsevier Science Publishers B. V., 1983, 371-409.

INFLUENCE OF POROUS STRUCTURE OF BASALT CONCRETE ON THE STRENGTH FEATURES

SUMMARY

Results of experimental research of concrete porosity with use of stereological parameters, obtained by means of the FRAKTAL_Stereolog program, have been presented in the contribution. The subject of research was to determine influence of the water-cement ratio and porosity on durability properties of basalt concrete in view of fracture mechanics, too. Existence of relationship between the composition, the structure and properties of the tested concrete has been proved on the basis of executed investigations.



Janusz KONKOL, dr inż.
Jerzy SZYSZKA, mgr inż.

Politechnika Rzeszowska
Zakład Inżynierii Materiałowej i Technologii Budownictwa
Zakład Budownictwa Ogólnego
ul. Wincentego Pola 2, 35-959 Rzeszów
e-mail: jk7@prz.edu.pl

WYBRANE METODY OCENY POROWATOŚCI BETONU

STRESZCZENIE

W referacie przedstawiono możliwość połączenia badań stereologicznych z badaniami sorpcji pary wodnej w celu określenia rozkładu porów w przykładowej próbce betonowej. Z uwagi na zakres stosowności obu metod ich połączenie umożliwia uzyskanie informacji o porowatości betonu w szerokim zakresie wielkości porów o promieniach od 10^{-9} m do kilku milimetrów.

1. WPROWADZENIE

Istotną informacją o materiale jest jego porowatość. Porowatość ta wpływa na wszystkie cechy danego materiału, w tym parametry wytrzymałościowe, jak i ciepło-wilgotnościowe [1, 2]. Ważną informacją jest również nie tylko całkowita porowatość, ale przede wszystkim wielkości porów i ich rozkład. Parametrami charakteryzującymi strukturę porów są, m. in.: krzywa rozkładu wielkości porów, porowatość, zastępcza średnica porów, krętność kapilar, itp. [1-5]. W przypadku metody stereologicznej analiza rozkładu porów i ich wielkości daje podstawę do wnioskowania dotyczącego oceny mrozoodporności badanego materiału.

Metodami umożliwiającymi określenie rozkładu wielkości porów w materiale są: metoda porozymetrii rтєciowej, metoda sorpcji [1] czy metoda pomiarów stereologicznych. Jak wykazały badania [1] zastosowanie metod porozymetrii rтєciowej i sorpcji w przypadku tego samego materiału może dawać odmienne wyniki. Autorzy pracy [1] stwierdzili, że

„metody sorpcyjne powinny być stosowane dla materiałów drobnoporowatych, zaś metody porozymertyczne dla materiałów o dużym udziale makroporów”. Podkreślono jednocześnie, że w przypadku materiałów o bimodalnym rozkładzie wielkości porów (dotyczy to na przykład gazobetonu) należy zastosować obie wymienione metody.

W zależności od celu przeprowadzanej analizy może zaistnieć konieczność uwzględnienia w obliczeniach również porów o większych rozmiarach, wówczas metody porozymetrii rtęciowej i sorpcji są wystarczające. Pozwalają one jedynie na określenie charakterystyk porów o niewielkich rozmiarach. W przypadku metody porozymetrii jest to zakres promienia pora od 10^{-8} do 10^{-3} m, a w dla metody sorpcji pary wodnej zakres do 10^{-9} do 10^{-7} m [2]. W takim przypadku jest uzasadnione i celowe wykorzystanie metod stereologicznych. O celowości uzupełnienia analizy porowatości o metodę opartą na pomiarach stereologicznych wspomniano w artykule [6]. Dokonując analizy rozkładu porów w materiałach cementowych Diamond [6] wykazał, że metoda porozymetrii rtęciowej nie jest wystarczająca. Autor dokonał również porównania wyników otrzymanych przy zastosowaniu metody porozymetrii rtęciowej i metody stereologicznej analizy obrazu. Różnice otrzymano w zakresie małych wielkości porów, których nie można było wyróżnić podczas komputerowej analizy obrazu. W praktyce komputerowa analiza obrazu, przeprowadzana w celu określenia charakterystyk porów, prowadzona jest przy użyciu analizatorów obrazu [6-9] lub skanera [10-13] oraz specjalistycznego oprogramowania. Pomiar stereologiczny prowadzone są na specjalnie przygotowanych powierzchniach próbek, na których widać rozmiary i rozmieszczenie porów. Komputerowa analiza obrazu polega wówczas na takim przekształceniu obrazu rzeczywistego powierzchni próbki, aby zamienić go na obraz binarny, na którym widoczne będą pory. Zamiany obrazu rzeczywistego na binarny dokonuje się przy wykorzystaniu przekształceń punktowych i morfologicznych [11, 13, 14]. Duże możliwości i wiarygodność oceny porowatości metodami stereologicznymi potwierdzone są licznymi publikacjami z tego zakresu, jak również obowiązującymi normami. Charakterystykę porów przy wykorzystaniu pomiarów stereologicznych można opisać metodą trawersu-liniowego według PN-EN 480-11 [15] lub metodą punktową według EN 480-11 lub ASTM C457 [16].

2. CEL I ZAKRES BADAŃ

Celem badań jest ocena wielkości porów oraz rozkładu tych wielkości w próbce betonowej o znanym składzie przy zastosowaniu metody pomiarów stereologicznych oraz metody sorpcji pary wodnej.

Badania przeprowadzono na próbce z betonu o stosunku wodno-cementowym $W/C = 0,6$. Beton wykonano z cementu portlandzkiego CEM I 32,5R z cementowni Ożarów, kruszywa żwirowego otoczkowego do 16 mm z Gniewczyny i piasku płukanego do 2 mm z miejscowości Strzegocice. Recepturę mieszanki betonowej przedstawiono w tabeli 1.

Przeprowadzono badania stereologiczne określając rozkład porów, całkowitą porowatość, powierzchnię właściwą porów, średnią cięciwę i licznosc porów. Badania przeprowadzono na powierzchni 15×15 cm uzyskanej z przecięcia próbki sześcienniej o boku 15 cm. W badaniach sorpcji natomiast określono krzywą sorpcji, jako wynik średni uzyskany z dwóch próbek.

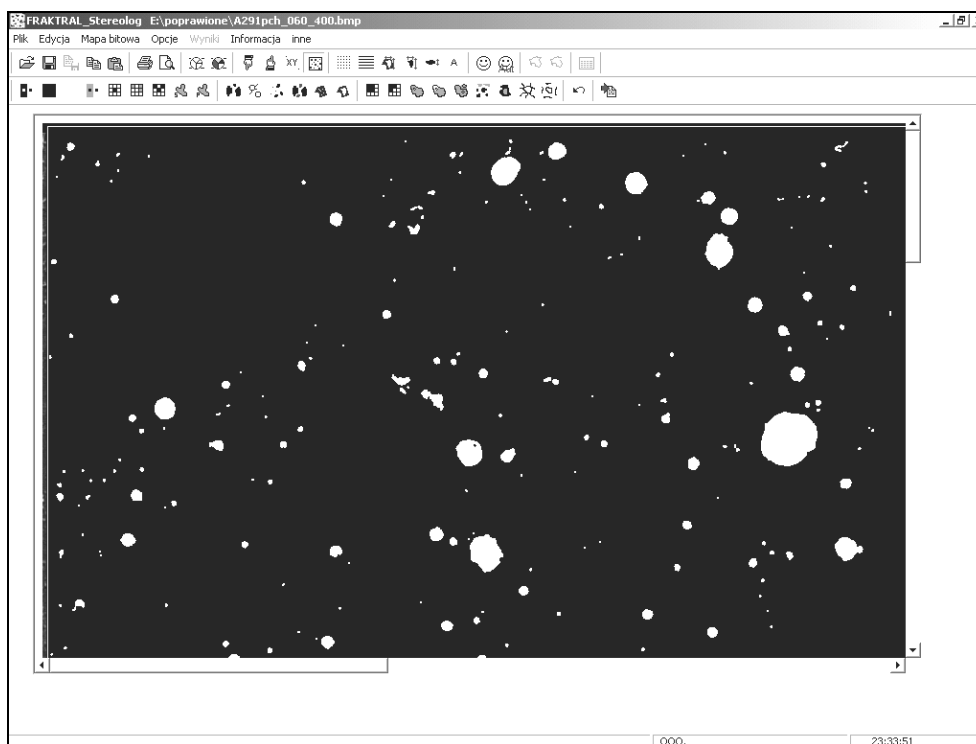
Tabela 1. Zestawienie składników mieszanki betonowej

Table 1. Listing of the composition of concrete mix

W/C	Składniki mieszanki betonowej			
	Cement	Piasek	Żwir	Woda
[-]	[kg]	[kg]	[kg]	[dm ³]
0,60	418,2	560,9	1232,9	250,9

3. BADANIA STEREOLOGICZNE

Powierzchnię próbki do badań stereologicznych wyszlifowano, a następnie zaczerniono. W miejsca występowania porów (pustki widoczne na powierzchni próbki) wypełniono pastą cynkową. Obraz rzeczywisty próbki zeskanowano przy rozdzielczości 400 dpi, a jego analizę stereologiczną przeprowadzono przy wykorzystaniu programu komputerowego *FRAKTAL_Stereolog*¹⁾ (rys. 1).



Rys. 1. Rzeczywisty obraz powierzchni próbki

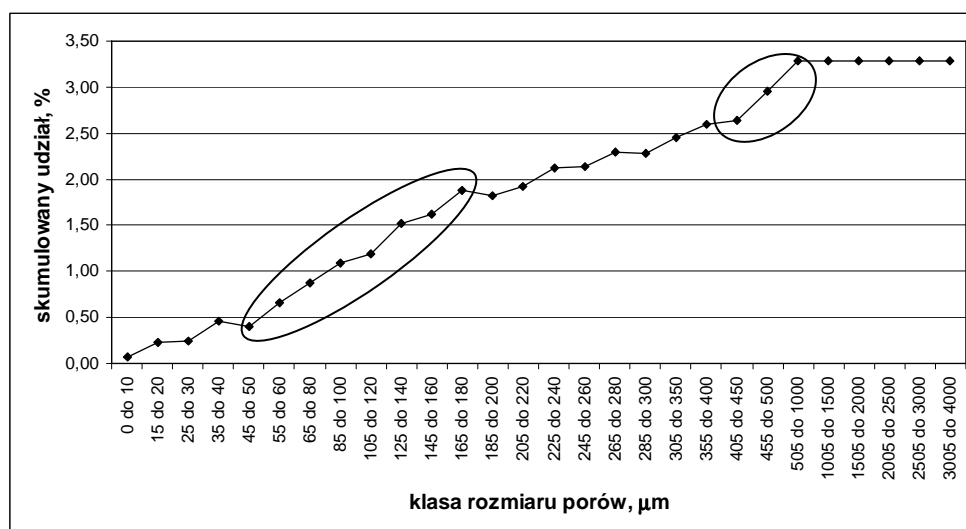
Fig. 1. The real image of specimen surface

Optymalny ze względu na eliminację szumów wybrano zakres skali szarości dla porów powietrznych od 80 do 255 (0 – kolor czarny, 255 – kolor biały). Badaniu poddano obszar

¹⁾ Konkol J.: *FRAKTAL_Stereolog*. Program komputerowy, Rzeszów 2002.

o powierzchni 190,63 cm², stanowiący powierzchnię próbki po odcięciu obrzeży o długości około 0,5 cm. Zmniejszenie wymiaru analizowanego obrazu wynikało z eliminacji ewentualnych błędów wynikających z „efektu ściany”. Minimalna wielkość pora to 6,35 μm.

Analizę stereologiczną przeprowadzono metodą palnimeetryczną oraz trawersu liniowego. Na podstawie obliczeń wykonanych metodą trawersu liniowego uzyskano zestawienie cięciw (tj. miejsc przecięcia linią pomiarową widocznych na obrazie powierzchni próbki przekrojów porów). Na podstawie wielkości cięciw dokonano ich pogrupowania na 28 klas oraz obliczono skumulowaną zawartość powietrza (zgodnie z normą PN-EN 480-11). Uzyskany wykres skumulowanej zawartości powietrza w zależności od 28 klas oraz wykres rozkładu cięciw przedstawiono odpowiednio na rysunkach 2 i 3.



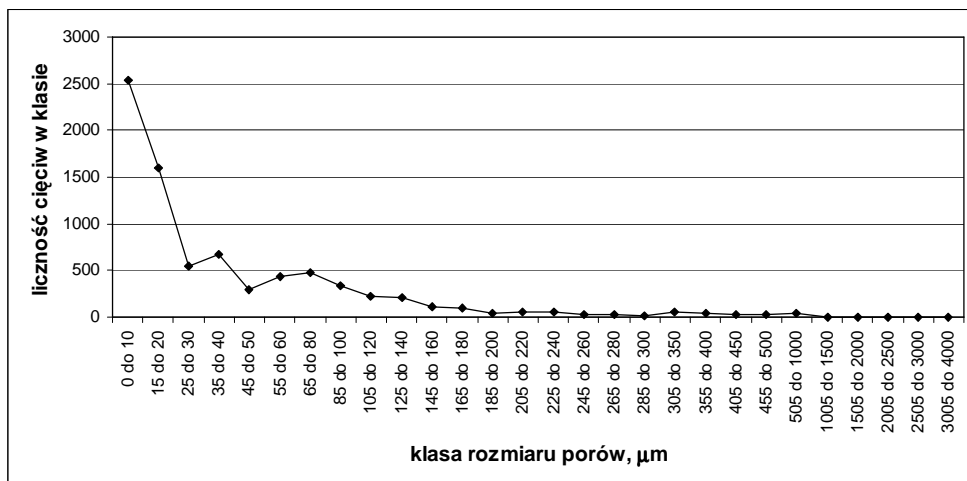
Rys. 2. Wykres skumulowanej zawartości powietrza.

Fig. 2. Graph of cumulative air content

Na podstawie pomiarów stereologicznych określono również: całkowitą zawartość powietrza wynoszącą 3,22 %, zawartość mikroporów (do 300 μm) równą 2,28 %, powierzchnię właściwą porów wynoszącą 5,85 mm⁻¹, średnią cięciwę równą 0,68 mm, licznosc porów wynoszącą 0,11 mm⁻².

Całkowita długość linii pomiarowej w metodzie trawersu liniowego wynosiła 12024,98 mm, natomiast długość cięciw przypadających na pory to 3866,13 mm.

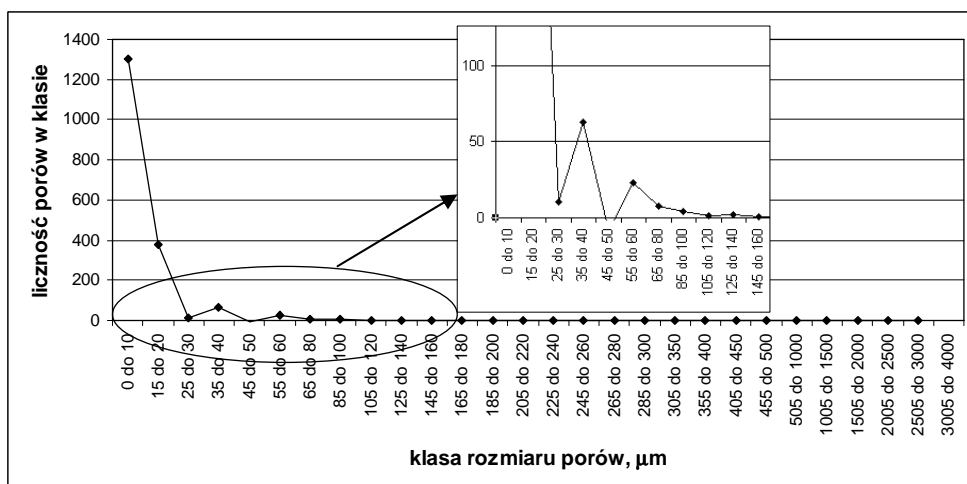
Na podstawie receptury mieszanki betonowej określono udział zaczynu wynoszący 36,30 % oraz uwzględniając otrzymany wynik powierzchni właściwej określono współczynnik rozmieszczenia porów \bar{L} , który wyniósł 1,14. Otrzymana wartość świadczy o braku odporności na działanie mrozu tego betonu. Nie jest to wynik zaskakujący, gdyż nie zastosowano w przypadku tego betonu napowietrzaczy oraz stosunek wodno-cementowy tego betonu równy 0,6 jest zbyt wysoki.



Rys. 3. Krzywa rozkładu cięciw porów

Fig. 3. Pores chord distribution curve

Dokonując przeliczeń (zgodnie z normą PN-EN 480-11) otrzymano również wykres rozkładu średnic porów w danej klasie (rys. 4).



Rys. 4. Krzywa rozkładu średnic porów

Fig. 4. Pores size distribution curve

Na podstawie uzyskanych wyników (rysunki 3 i 4) stwierdzono duży udział porów o średnicach do 20 μm , a ich udział to 0,23% (jest to około 7% całkowitej porowatości). Stwierdzono również dużą licznosc porów w klasie od 35 do μm . Objętość tych porów to 0,21% (jest to około 6,4% całkowitej porowatości).

Choć mało liczne występowały również pory o dużych rozmiarach, będące wynikiem gorszego zagęszczenia mieszanki betonowej, których wpływ na łączną porowatość był znaczący (patrz zaznaczenie na rys. 2). Są to pory w klasach od 455 do 1000 mm, których łączna objętość wynosi 0,64% (jest to około 19,5% całkowitej porowatości).

4. METODA SORPCJI PARY WODNEJ

Metoda sorpcyjna umożliwia obliczenie rozkładu wielkości porów o promieniach w zakresie 10^{-9} do 10^{-7} m. Rozkład wielkości porów przedstawia się krzywą całkową (funkcja tych efektywnych promieni, których wielkość jest większa od określonej wartości) lub krzywą różniczkową (pochodną krzywej całkowej) [2].

Promień kapilary można wyznaczyć z równania Kelvina dla punktów desorpcyjnej gałęzi histerezy sorpcji:

$$\ln \frac{p}{p_0} = - \frac{2 \cdot \sigma \cdot \cos \Phi}{r \cdot \rho_L \cdot R_v \cdot T}, \quad (1)$$

gdzie;

p – ciśnienie cząstkowe pary wodnej nad wklęsłą powierzchnią kulistą, Pa,

p_0 – ciśnienie cząstkowe pary wodnej nad powierzchnią płaską, Pa,

σ – napięcie powierzchniowe wody N/m,

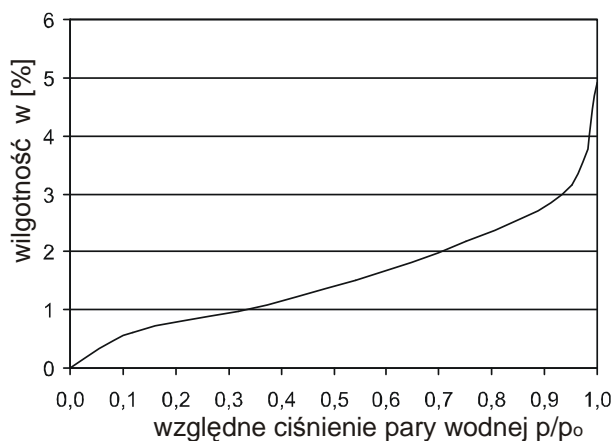
ρ_L – gęstość wody, kg/m³,

R_v – stała gazowa pary wodnej, J/(kg K),

T – temperatura, K,

r – promień kapilary, m,

Φ – kąt zwilżenia.



Rys. 5. Krzywa sorpcji betonu ($W/C = 0,6$).

Fig. 5. Sorption curve of concrete ($W/C = 0,6$)

Wyniki sorpcji badanego betonu o $W/C = 0,6$ przedstawiono na rys. 5. Według autora pracy [2] już jakościowa analiza izoterm sorpcji pozwala na wysunięcie wniosków dotyczących struktury badanego materiału porowatego. Gwałtowny wzrost adsorpcji pary

wodnej i szybko zaczynająca się pętla histerezy towarzyszące niskim względnym ciśnieniom świadczą o wąsko porowatej strukturze materiału. W przypadku zaś, gdy pętla histerezy zaczyna się przy ciśnieniach względnych bliskich jedności przy małej adsorpcji w dużym obszarze, materiał jest szeroko porowaty.

5. PODSUMOWANIE

Zaprezentowane w artykule podejście połączenia badań stereologicznych z badaniami porowatości metodą sorpcji umożliwia pełną analizę porowatości przeprowadzaną w szerokim zakresie rozmiarów porów od promienia rzędu 10^{-9} m do dużych porów technologicznych rzędu kilku milimetrów.

6. LITERATURA

- [1] Konca P., Gawin D.; Analiza struktury wewnętrznej porów wybranych materiałów budowlanych, Materiały VII Konferencji Naukowo-Technicznej „Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce”, Łódź 1999, s. 262-269.
- [2] Wyrwał J.; Ruch wilgoci w porowatych materiałach i przegrodach budowlanych., Studia i monografie WSI w Opolu, z.31, Opole 1989.
- [3] Wesołowska M.; Wpływ krętności kapilar na proces wnikania wody w materiał ceramiczny, Materiały IX Konferencji Naukowo-Technicznej „Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce”, cz. 2, Łódź 2003, s. 705-711.
- [4] Leśniewska M., Pogorzelski J.A.; Wpływ porowatej struktury materiałów budowlanych na ruch kapilarny wody, Archiwum Inżynierii Lądowej, t. 27, z. 1, 1981, s. 123-140.
- [5] Gawin D., Jabłoński M., Wojtatowicz T.W., Roźniakowski K.; Wyniki badań własności termicznych wybranych materiałów budowlanych, Materiały VII Konferencji Naukowo-Technicznej „Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce”, Łódź 1999, s. 125-135.
- [6] Diamond S.; Mercury porosimetry. An inappropriate method for the measurement of pore size distributions in cement-based materials – review, Cement and Concrete Research, Vol. 30, 2000, s. 1517-1525.
- [7] Kasperkiewicz J., Załocha D.; Automatyczna analiza obrazów w ocenie napowietrzenia betonu, XLVI Konferencja Naukowa KILiW i KN PZITB, Wrocław-Krynica, 2000, 199-206.
- [8] Załocha D., Kasperkiewicz J.; Automatyzacja wyznaczania charakterystyki napowietrzenia betonu w świetle normy PrPN-EN 480-11, XLVII Konferencja Naukowa KILiW i KN PZITB, Opole-Krynica, 2001, s. 437-444.
- [9] Aligizaki K.K., Cady P.C.; Air content size distribution of air voids in hardened cement pastes using the section-analysis method. Cement and Concrete Research, 29, 1999, 273-280.
- [10] Konkol J., Kulpiński J., Prokopski G.; Zastosowanie analizy obrazu do określania porowatości betonu na próbkach utwardzonych. Inżynieria Materiałowa, z. 6, 2002, s. 737-742.
- [11] Konkol J.; Stereologia i automatyczna komputerowa analiza obrazu w badaniach betonów, Część I – Przekształcenia obrazu. Materiały konferencyjne z VII Konferencji Naukowej Koszycko-Lwowsko-Rzeszowskiej pt. „Aktualne problemy budownictwa i inżynierii środowiska”, Koszyce, 22-24 maja 2002, t. 13, s. 155-158.

- [12] Konkol J.; Stereologia i automatyczna komputerowa analiza obrazu w badaniach betonów, Część II – Analiza obrazu. Materiały konferencyjne z VII Konferencji Naukowej Koszycko-Lwowsko-Rzeszowskiej pt. „Aktualne problemy budownictwa i inżynierii środowiska”, Koszyce, 22-24 maja 2002, t. 13, s. 159-165.
- [13] Konkol J.; Zastosowanie analizy struktury do oceny właściwości betonów. Rozprawa Doktorska. Rzeszów 2004, niepublikowana.
- [14] Wojnar L., Majorek M.; Komputerowa analiza obrazu. FOTOBIT-DESIGN, Kraków 1994.
- [15] PN-EN 480-11. Domieszki do betonu, zapraw i zaczynu. Metody badań. Oznaczenie charakterystyki porów powietrznych w stwardniałym betonie. 2000.
- [16] ASTM C 457 - 98 Standard Test Method for Microscopical Determination of Parameters of the Air-Void System in Hardened Concrete, 1998, 228-241.

THE CHOOSE METHODS OF ESTIMATION OF CONCRETE POROSITY

SUMMARY

The article presents the application and comparison two methods of assessment of concrete porosity using the stereological parameters and sorption curve. The sorption method is supplementary to stereological method.

II Konferencja SOLINA 2008
ENERGIA ODNAWIALNA
Innowacyjne Rozwiązania
Materiały i Technologie dla Budownictwa



Justyna KOSK, mgr inż.
Małgorzata MAKOWSKA, mgr inż.
Jan GODLEWSKI, prof. dr hab.

Politechnika Gdańska
Wydział Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej
Katedra Fizyki Zjawisk Elektronowych
80-952 Gdańsk, ul. Gabriela Narutowicza 11/12
e-mail: makowska@mif.pg.gda.pl

**OGNIWA FOTOWOLTAICZNE JAKO GENERATORY
ENERGII I ELEMENTY ARCHITEKTURY**

STRESZCZENIE

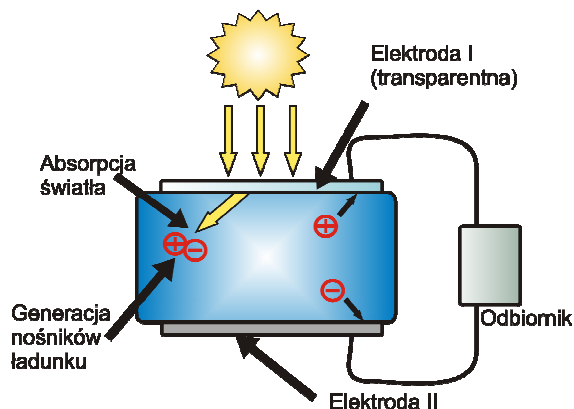
Referat zawiera opis podstawowych typów ogniw zbudowanych zarówno z materiałów organicznych, jak i nieorganicznych oraz przykłady zastosowania ich w budownictwie. Ze szczególnym uwzględnieniem zostały przedstawione zalety organicznych ogniw fotowoltaicznych, których właściwości znacznie ułatwiają ich integrację z architekturą budynków poprzez możliwość dobrania odpowiedniego kształtu i koloru.

Panele fotowoltaiczne, stanowiące integralną część budynku, stosowane są na coraz szerszą skalę w budownictwie poprzez firmy zajmujące się technologią BIPV (Building Integrated Photovoltaics). Wybrane przykłady takich zastosowań zostały przedstawione w poniższej pracy.

1. NIEORGANICZNE I ORGANICZNE OGNIWA FOTOWOLTAICZNE

Jeżeli materiał wyposażony w elektrody zostanie oświetlony i w wyniku absorpcji promieniowania w tym materiale wytworzy się różnica potencjałów, to zjawisko takie nazywamy zjawiskiem fotowoltaicznym. Materiał absorbujący stanowi warstwę aktywną, a powstała na końcach próbki różnica potencjałów nosi nazwę napięcia fotowoltaicznego (U_{ph}). Układ, w którym zachodzi efekt fotowoltaiczny nazywamy ogniwem fotowol-

taicznym. Jeżeli połączymy ze sobą obie elektrody ogniwa poprzez opór zewnętrzny, tworząc tym samym obwód zamknięty, to w obwodzie tym zaobserwujemy przepływ prądu, a dołączony opór stanie się odbiornikiem mocy. Ogniwo fotowoltaiczne jest zatem urządzeniem pozwalającym na konwersję energii świetlnej na energię elektryczną. Zasadę działania ogniwa fotowoltaicznego przedstawiono schematycznie na rys.1.



Rys. 1. Zjawisko fotowoltaiczne
Fig. 1. Photovoltaic phenomenon

Najprostsze ogniwo fotowoltaiczne stanowi pojedyncza warstwa półprzewodnika wyposażona w zestaw elektrod, jednak wydajność konwersji mocy fotowoltaicznego ogniwa jednowarstwowego jest bardzo niska. W celu jej zwiększenia, zamiast pojedynczej warstwy, wykorzystuje się najczęściej złącza dwóch materiałów o różnych właściwościach fotoelektrycznych. Podniesienie sprawności można również uzyskać poprzez zastosowanie układu wielozłączeniowego, jakim jest ogniwo tandemowe. Szczegółowy i prosty opis tych zagadnień można znaleźć w [1-4].

W zależności od rodzaju materiałów wchodzących w skład baterii fotowoltaicznych dzielimy je na ogniwa nieorganiczne, organiczne i hybrydowe (organiczno-nieorganiczne). W każdym z tych typów ogniw inny jest mechanizm powstawania nośników ładunku oraz wydajności ich separacji. Aktualnie największą popularnością cieszą się ogniwa nieorganiczne, zbudowane z polikrystalicznego i amorficznego krzemu oraz cienkowarstwowe ogniwa z CuGa(In)Se_2 (tak zwane ogniwa CIGS). Charakteryzują się one wysokimi, rzędu kilkunastu procent, sprawnościami konwersji mocy. Proces wytwarzania tych ogniw pod względem technologicznym jest bardzo skomplikowany (wytwarzane są w warunkach wysokiej próżni), co sprawia, że są one niezwykle drogie.

Obecnie wprowadzane do praktycznego użycia, ogniwa organiczne mają niższe wydajności konwersji energii (ogniwa dwuwarstwowe – ok. 4%, objętościowe – ok. 6%, barwnikowe ogniwa Graetzel – 11%), ich produkcja jest jednak względnie mało skomplikowana i stąd są zdecydowanie tańsze. Należy także zauważyć, że intensywność prac badawczych i rozwojowych nad podwyższeniem wydajności energetycznej ogniw organicznych jest tak niezwykle duża, że w ciągu najbliższych kilku lat ich wydajność powinna zbliżyć się do wydajności komercyjnych ogniw nieorganicznych.

2. ZASTOSOWANIE OGNIW FOTOWOLTAICZNYCH W BUDOWNICTWIE

Energia docierająca ze Słońca do Ziemi, może być przy pomocy kolektorów słonecznych zamieniana na ciepło (ciepła woda użytkowa lub ogrzewanie budynków) lub konwertowana na energię elektryczną przez ogniwa fotowoltaiczne. Spośród urządzeń wykorzystujących różne rodzaje źródeł energii odnawialnej, przetworniki energii słonecznej pozwalają na najlepszą możliwość zastosowania w budownictwie oraz integracji z architekturą budynku.

W ciągu ostatnich lat ogniwa słoneczne zaczęły być implementowane w budownictwie na bardzo szeroką skalę, szczególnie w krajach dobrze rozwiniętych, takich jak USA, Niemcy, Hiszpania czy Japonia. Mają one wiele zalet, są bezgłośnie, ich działanie nie powoduje emisji dwutlenku węgla, praktycznie nie wymagają obsługi i kontroli, co sprawia, że są one bardzo atrakcyjnym źródłem energii przyjaznym dla środowiska i użytkownika. W niektórych krajach, np. w Hiszpanii wprowadzone zostały regulacje prawne wymuszające instalację ogniw fotowoltaicznych na określonych obiektach. W wielu innych państwach wprowadzono projekty ułatwiające i zachęcające do tego typu inicjatyw.

Budownictwo to potężny i w zasadzie nienasycony rynek zbytu dla ogniw fotowoltaicznych. Ten fakt przyczynił się do powstania zupełnie nowej, bardzo szybko rozwijającej się technologii, znanej na całym świecie jako Building Integrated Photovoltaics (**BIPV**), czyli fotowoltaika zintegrowana z budownictwem. Przed pojawieniem się tej technologii moduły fotowoltaiczne były raczej dobierane do danego budynku już po jego wybudowaniu i nie stanowiły jego integralnej części, natomiast obecnie są one uwzględniane już w fazie projektu danej zabudowy i są one jednym z jej równoprawnych elementów.

Ogniwa słoneczne mogą być umieszczane praktycznie wszędzie, tj. na dachach, oknach, świetlikach, fasadach, balustradach i markizach. Dzięki technologii BIPV zastępują niektóre materiały budowlane (np. panele słoneczne w formie dachówek – rys. 2.). Ich kolejnym atutem jest mały ciężar przy równoczesnym zachowaniu dobrej wytrzymałości. Gwarantowana trwałość ogniw często przekracza trwałość innych materiałów budowlanych (w przypadku ogniw krzemowych wynosi ona ok. 25 lat). Dodatkowo różnorodność form, kolorów i kształtów daje architektom ogromną swobodę projektowania - w zależności od potrzeb moduły mogą być praktycznie niezauważalne lub zostać celowo uwidocznione dając ciekawy a zarazem estetyczny efekt.

Ogniwa fotowoltaiczne dostarczają, przede wszystkim, energię elektryczną, która może być wykorzystana do zasilania dowolnych urządzeń elektrycznych, obniżając tym samym koszty eksploatacji budynku. Energia ta może być wykorzystywana bezpośrednio w miejscu, w którym jest wytwarzana lub może być przekazywana do sieci elektrycznej. Dobór odpowiedniego rodzaju modułu fotowoltaicznego zależy od jego usytuowania i przeznaczenia. Na przykład w przypadku daszków i markiz zastosowanie grubo-warstwowych (np. krzemowych) paneli słonecznych eliminuje konieczność użycia jakichkolwiek innych materiałów kryjących. Jeśli natomiast całkowite zaciemnienie spowodowane przez moduł nie jest wskazane, to możliwe jest dobranie odpowiednich cienkowarstwowych ogniw, które są częściowo transparentne. Ze względu na transparentność, ten rodzaj ogniw jest implementowany także na oknach budynków. Moduły fotowoltaiczne zastępują wtedy warstwy odbiciowe, redukując ilość promieniowania

docierającego do wnętrza budynku, obniżając w ten sposób również jego temperaturę. Podobne funkcje pełnią panele słoneczne będące elementami ścian. Oprócz ograniczenia dopływu ciepła często wzmacniają one konstrukcję oraz stanowią warstwę wodoszczelną. Ogniwa fotowoltaiczne zyskują także popularność jako bezszwowe pokrycia dachowe.



Rys.2. Panele słoneczne w formie blacho-dachówek [10].

Fig.2. Integrated PV roof tiles [10].

Obecnie najpopularniejsze są panele słoneczne zbudowane z ogniw krystalicznego krzemu, które mają formę prostokątnych, sztywnych i ciężkich tablic. Takie urządzenia mogą być zainstalowane wyłącznie na płaskich i sztywnych powierzchniach, co bardzo ogranicza możliwości ich zastosowania. Coraz większym zainteresowaniem cieszą się więc panele słoneczne z krzemu amorficznego. Wyprodukowane na odpowiednim podłożu mają postać giętkich arkuszy, które można rozwinąć np. na zaokrąglonych dachach.

Panele słoneczne z ogniw nieorganicznych są jednak bardzo drogie, a ich produkcja jest szkodliwa dla środowiska. Stosowanym obecnie, a w przyszłości najlepszym rozwiązaniem będą ogniwa z materiałów organicznych. W najbliższym czasie powinna nastąpić znaczna poprawa ich parametrów, a wówczas dzięki innym zaletom staną się silną konkurencją dla konwencjonalnych ogniw fotowoltaicznych. Jak już wspomniano, procesy wytwarzania organicznych ogniw fotowoltaicznych są zdecydowanie prostsze niż w przypadku ogniw nieorganicznych (wykorzystuje się metodę nadruku - ink jet printing, nanoszenia z roztworu na wirujące podłoże - spin-coating czy technikę produkcji taśmowej - roll-to-roll), a co za tym idzie, fotowoltaiczne ogniwa organiczne są prawie 10 razy tańsze niż ogniwa nieorganiczne. Ilość materiału zużywanego przy produkcji tych ogniw jest znacznie mniejsza niż w przypadku ogniw klasycznych, co również wpływa na obniżenie ceny, a dodatkowo sprawia, że ogniwa te są bardzo lekkie. Organiczne ogniwa fotowoltaiczne nanosi się zwykle na elastyczne podłoża, co pozwala im zachować giętkość, w związku z czym dopasowują się one do dowolnego kształtu pokrywanej powierzchni. Można je także z łatwością chociażby zwinąć w rulon, co ułatwia nie tylko ich transport, ale i montaż.

Niska cena związana z prostymi procesami produkcji w połączeniu z własnościami mechanicznymi oraz wizualnymi sprawiają, że ogniwa organiczne bardzo łatwo będzie

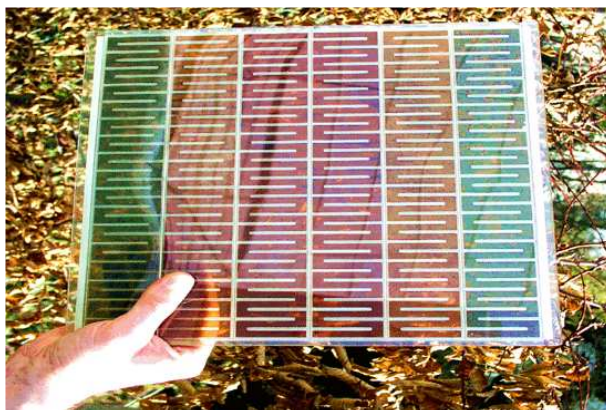
można zintegrować z architekturą. Kolor ogniw krzemowych można zmieniać w bardzo małym zakresie, co obniża możliwość integracji tych ogniw z budynkami. Natomiast panele słoneczne z organicznych ogniw fotowoltaicznych mogą przybierać niemal dowolne barwy i wzory. Przykładem mogą być ogniwa plastikowe Power Plastic® prezentowane przez firmę Konarka (rys.3).



Rys. 3. Wzory ogniw Power Plastic® [9].

Fig. 3. Photovoltaic products (Power Plastic®) with custom colours and patterns [9].

Z tego względu oraz z powodu giętkości i małej masy ogniwa organiczne można łatwo zainstalować oraz dopasować pod względem zarówno praktycznym, jak i wizualnym w zasadzie do każdego budynku. Z powodzeniem mogą imitować wszelkiego rodzaju pokrycia dachów lub namiotów, mogą służyć jako markizy czy pokrycia szyb. Ze względu na dowolność barw doskonale będą się sprawdzać także w wojsku jako pokrycie namiotów i innych urządzeń, mających dostosować się wyglądem do otoczenia (rys.3). Moduły zbudowane z ogniw organicznych mogą mieć różny stopień przepuszczalności światła, w zależności od użytych materiałów. Mogą one absorbować światło w szerokim lub bardzo wąskim zakresie widma promieniowania słonecznego (widzialnego lub w bliskiej podczerwieni). Ta cecha sprawia, że organiczne ogniwa fotowoltaiczne mogą być instalowane na szybach okien, gdyż pozwolą na kontrolę natężenia oraz barwy światła, jakie przenika do pomieszczeń. Jako pokrycie okien, oprócz ogniw polimerowych, nadają się także ogniwa barwnikowe (DSSC – Dye Sensitized Solar Cell), gdyż do ich produkcji można stosować różne barwniki, uzyskując ogniwa w różnych kolorach (rys. 4).



Rys. 4. Ogniwa barwnikowe (DSSC)
Fig. 4. Dye Sensitized Solar Cell

3. PERSPEKTYWY ROZWOJU

Im szybciej poziom cen energii elektrycznej wytwarzanej przez ogniwa fotowoltaiczne zbliży się do cen energii z sieci elektrycznej, tym szybciej wzrastać będzie realny rynek zbytu nie tylko dla modułów zintegrowanych z budownictwem ale i fotowoltaiki w ogólności. Uważa się, że największy potencjał mają fotowoltaiczne ogniwa zintegrowane pełniące rolę pokryć dachowych. Wynika to z faktu, że ogromna większość dachów w USA i znaczna ich liczba w krajach europejskich jest pokryta dachówkami, które mogą z łatwością zostać zastąpione przez te wytworzone w technologii BIPV [5].

Firma Open Energy Corporation produkuje moduły w formie płyt dachowych oraz fotowoltaicznego szkła architektonicznego marki SolarSave o różnym przeznaczeniu. Dostępne są różne rodzaje szkła fotowoltaicznego: tzw. monolityczne - skonstruowane z myślą o instalacji na ścianach lub fasadach, laminowane – do budowy daszków, markiz, lub stanowiące szkło bezpieczne oraz szkło izolowane – stosowane w oknach lub świetlikach. Firma ta oferuje także wiele rodzajów płyt dachowych, a w najbliższym czasie ma rozszerzyć swą ofertę o płyty w kolorach dopasowanych do barwy najczęściej spotykanych dachówek. Podobne produkty znajdują się także w ofercie firm Spire Solar, Solar Century, Sunpower oraz wielu innych. Również wiele przedsiębiorstw, m. in. PowerFilm czy Biohaus oferuje też panele słoneczne z krzemu amorficznego, które dzięki swej giętkości są bardzo łatwo instalowane na dachach o dużej powierzchni, gdyż są zwijane w rulon.

Korporacja MSK (Making Solar Work) produkuje płyty dachowe do pokrywania całego dachu, przeznaczone do integracji z dachówkami oraz instalacji na dachach pokrytych blachą. Panele słoneczne oferowane przez MSK dostępne są także w wersji z funkcją topienia śniegu. W nocy prąd z sieci wykorzystywany jest do topienia śniegu zalegającego na dachu, a w ciągu dnia panele mogą produkować energię elektryczną. Jest to bardzo praktyczne rozwiązanie, gdyż zaśnieżone panele nie mogą funkcjonować, a usuwanie śniegu z dachu jest bardzo kłopotliwe.

Spośród korporacji zajmujących się wdrażaniem do technologii BIPV organicznych ogniw fotowoltaicznych najpopularniejsza jest wspomniana wcześniej firma Konarka, która

wraz z firmą Air Products otrzymała w zeszłym roku dofinansowanie od instytutu NIST (National Institute of Standards and Technology) na rzecz badań nad wykorzystaniem ogniwo organicznych w technologii BIPV. Nad tym samym celem pracuje korporacja Global Photonic.

Technologią BIPV zajmują się też przedsiębiorstwa architektoniczne. Liderem wśród nich jest firma Kiss Cathart Architects, P. C., która zajmuje się tą dziedziną od 1983 roku. Przedsiębiorstwo to otrzymało już trzy granty od New York State Energy Research and Development Agency (NYSERDA) przeznaczone na realizację projektów mających na celu upowszechnianie integracji paneli słonecznych z architekturą. Architekci firmy Kiss Cathart Architects są autorami m. in. projektu największej naziemnej stacji metro w Nowym Jorku, której dach jest zbudowany ze szkła pokrytego ogniwami fotowoltaicznymi i stali (rys. 5.).



Rys. 5. Stillwell Avenue stacja metra, Nowy Jork [11].

Fig. 5. Stillwell Avenue Station, New York [11].

Projekt został wyróżniony w konkursie Top Ten Green Projects 2007 organizowanym przez The American Institute of Architects (AIA) Committee on the Environment (COTE). Firma ma też swój udział w tworzeniu jednego z najnowszych drapaczy chmur w Nowym Jorku o nazwie 4 Times Square oraz realizuje wiele dużych projektów w Europie, m. in. w Niemczech i w Holandii.

Należy przyjąć, że technologia BIPV otwiera nowe perspektywy rozwoju i jej znaczenie będzie ciągle wzrastać.

4. LITERATURA

- [1] H. Spanggaard, F. C. Krebs: A brief history of the development of organic and polymeric photovoltaics, *Solar Energy Materials & Solar Cells* 83, 2004.
- [2] R. Signerski, J. Godlewski: Organiczne ogniwa fotowoltaiczne, *Elektronika* 1, 2008.
- [3] Jenny Nelson: *The Physics of Solar Cells*. Imperial College Press, London, 2003.
- [4] H.Hoppe and N.S.Sariciftci: Organic solar cells: An overview. *Materials Research Society*, 19, 2004.
- [5] Alok Bhargava; *Building Integrated Photovoltaics (BIPV): Market Outlook 2008 and Beyond*, Greentech Media
- [7] Robert Farrington, Kiss Cathcart Anders Architects, P.C.; *Building-Integrated Photovoltaics*, NREL Subcontract Report (National Renewable Energy Laboratory Golden, CO) 1993
- [8] Gregory Kiss, Jennifer Kinkead, Kiss & Company Architects; *Optimal Building-Integrated Photovoltaic Applications*, National Renewable Energy Laboratory, 1995
- [9] Dan Engström; *PV-NORD – Paving the way for BIPV in Northern Europe*, 2005, www.pvnord.org
- [10] Tetsuo Takehara , Hidenori Hayashi; *Building Integrated Photovoltaics (BIPV) Module Design & Experience in Japan*, 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Osaka 2003
- [11] H. Maurus, M. Schmid, B. Blerch, P. Lechner, and H. Schade, RWE SCHOTT Solar GmbH; *PV for Buildings*, Refocus, Elsevier, 2004
- [12] Fabien Crassard, Johannes Rode; *The evolution of building integrated photovoltaics (BIPV) in the German and French technological innovation systems for solar cells; Master of Science Thesis in Management and Economics of Innovation*, CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY Göteborg, Sweden, 2007
- [13] B. J. de Boer, W. G. J. van Helden.; *PV MOBI – PV Modules Optimised for Building Inegration*
- [14] www.konarka.com
- [15] <http://global.kyocera.com/>
- [16] www.nrel.gov
- [17] www.kisscathcart.com

PHOTOVOLTAIC CELLS AS ENERGY GENERATORS AND ARCHITECTURAL ELEMENTS

SUMMARY

This paper comprises a description of basic types of organic and inorganic solar cells and the possibility of integration of photovoltaics in buildings (examples of such integration are given). Advantages of organic PV that enable their integration in buildings (like discretion of shape and colour, for example) and lower their price significantly are specified.

The range of applications of the integrated solar panels is increasing and so is the number of companies involved in the BIPV (Building Integrated Photovoltaics) technology across the world. Some of these companies, as well as the products they offer, are described in this paper.



Elżbieta KOSSECKA, prof. dr hab.

Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN
Zakład Problemów Eko-Budownictwa
Ul. Świętokrzyska 21, 00-049 Warszawa
e-mail: ekossec@ippt.gov.pl

OCENA WYDAJNOŚCI INSTALACJI FOTOWOLTAIICZNYCH W CENTRUM BADAWCZYM JABŁONNA

STRESZCZENIE

Przeprowadzono analizę średniej wydajności energetycznej instalacji fotowoltaicznych na dachu i okapach fasady frontowej energooszczędnego budynku hotelowego, zaprojektowanego w Centrum Badawczym Energii Odnawialnych PAN w Jabłonie. Instalacja dachowa, złożona z 6-ciu zestawów po 24 moduły monokrystaliczne SW 175, o łącznej mocy nominalnej 25.2 kW, może dostarczać do sieci średnio 64 kWh energii elektrycznej na dobę i 23.4 MWh na rok. Instalacja na okapach, składająca się z 11-tu zestawów po 15 modułów monokrystalicznych BP 790, o łącznej mocy nominalnej 14.9 kW, może dostarczać do sieci średnio 37.2 kWh energii elektrycznej na dobę i 13.6 MWh na rok.

1. WPROWADZENIE

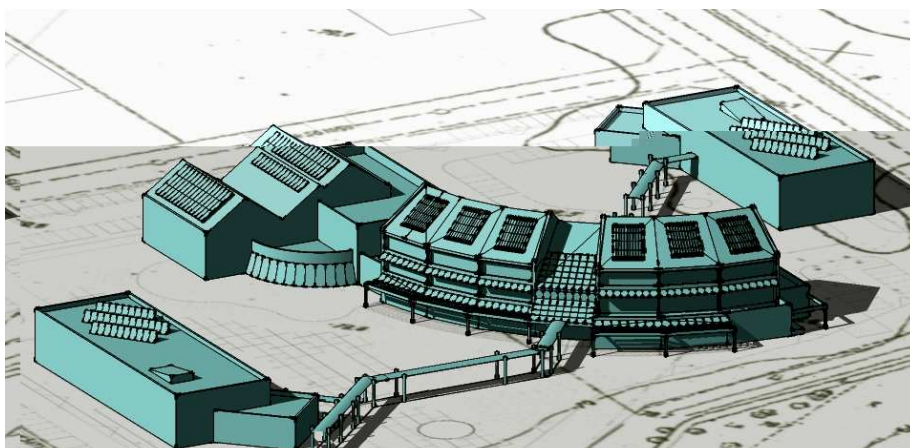
Polska Akademia Nauk wysunęła inicjatywę utworzenia na posiadanych przez nią terenach, należących do zespołu pałacowo-parkowego w gminie Jabłonna, Centrum Przedsiębiorczości i Innowacji z zakresu konwersji energii i źródeł odnawialnych. Założenia do projektu tego Centrum przedstawione są w ekspertyzie PAN [1]. Ma to być park i inkubator nowych i ekologicznych technologii konwersji energii oraz wykorzystania źródeł odnawialnych, który stanowić ma naturalne zaplecze laboratoryjne dla sieci naukowej EKO - ENERGIA, o specjalności naukowej „Czyste i bezpieczne technologie w wytwarzaniu i konwersji energii”, którą tworzy pięć instytutów PAN i trzy instytuty

resortowe o największym w kraju doświadczeniu z zakresu nowych technologii energetycznych.

Istotnym, upowszechniającym ideę Centrum, elementem składowym jego potencjału laboratoryjnego będzie Energooszczędny Dom Inteligentny, stanowiący unikalną w kraju jednostkę demonstracyjno-eksperymentalną, który pełnić też będzie funkcję hotelu i centrum konferencyjnego o wysokim standardzie. Budynek ma stanowić przykład zintegrowanego wykorzystania energii ze źródeł odnawialnych. Elementy systemu energetycznego stanowić będą: mikrosiłownia parowa, zasilana kotłami na biomasę i odpady, pompa ciepła, ogniwa fotowoltaiczne wraz z termokolektorem, siłownia wiatrowa, magazyn energii skojarzony z basenem oraz moduł inteligentnego sterowania energią elektryczną i ciepłem [1, 2].

2. WSTĘPNA KONCEPCJA ARCHITEKTONICZNA CENTRUM BADAWCZEGO PAN W JABLONNIE

Wstępna koncepcja architektoniczna Centrum Badawczego PAN w Jabłonie została opracowana na zlecenie Instytutu Podstawowych Problemów Techniki PAN, w ramach realizacji zadań sieci EKO – ENERGIA w roku 2007, przez zespół z Pracowni Architektonicznej „Graffiti” pod kierunkiem mgr inż. arch. Piotra Murza-Muchy [3].



Rys. 1 Kompleks budynków Centrum Badawczego w Jabłonie- widok od strony południowo-wschodniej

Fig. 1 Buildings of the Jabłonna Research Center – south-east view.

Kompleks budynków hotelu z basenem i dwu laboratoriów przedstawiony jest na rysunku 1. Trzykondygnacyjny budynek hotelowy, wraz z basenem i łącznikiem, w którym ulokowano jego zaplecze, jest ukształtowany w formie łuku wygiętego w kierunku południowym i stanowiącym ćwierć okręgu. Azymuty segmentów jego dachu zmieniają się co 11.25° , od 25.57° (segment 1 zorientowany najbardziej na zachód) do -41.93° (segment 7 zorientowany najbardziej na wschód); azymut środkowego segmentu 4, nad głównym wejściem, jest równy -8.18° , całość jest zatem lekko skrzywiona ku wschodowi. Główny dach

hotelu jest dwuspadowy, o nachyleniu 30° , parter jest na części wysunięty od południa i tworzy taras dla części pokoi hotelowych. Od strony nasłonecznionej przewiduje się dużą ilość przeszkleń, chronionych pergolami i odpowiednio ustawionymi żaluzjami przed nadmiernym słońcem w lecie. Od tej strony będzie zlokalizowana większość pokoi hotelowych, od strony północnej umieszczono pomieszczenia techniczne i niemieszkalne, użytkowane okresowo. Powierzchnie dachu basenu nachylone są do poziomu pod kątem 35° ; przewiduje się umieszczenie na nich kolektorów słonecznych.

Na dachu oraz na pergolach i okapach nad balkonami umieszczone będą instalacje fotowoltaiczne. Celem niniejszej pracy było oszacowanie średnich rocznych i sezonowych ilości energii, które mogą być dostarczone przez te instalacje, przy połączeniu ich z siecią energetyczną.

3. OBLICZANIE DOSTĘPNEJ ENERGII PROMIENIOWANIA SŁONECZNEGO

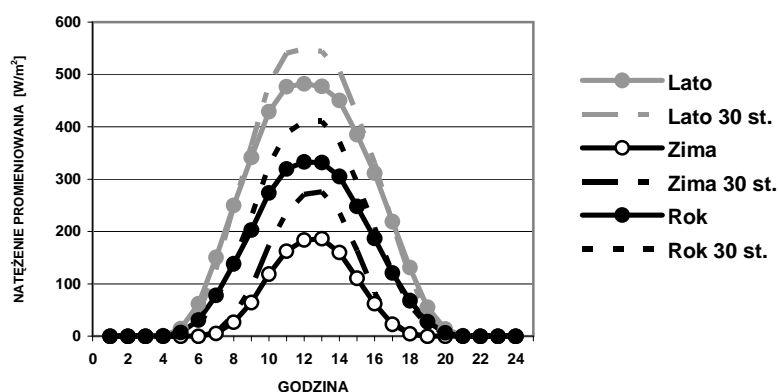
Obliczenia dostępnej dla instalacji fotowoltaicznych energii promieniowania słonecznego wykonane zostały przy wykorzystaniu godzinowych danych pogodowych Typowego Roku Meteorologicznego (TRM) dla Warszawy [4]. Przy obliczaniu natężenia bezpośredniego promieniowania słonecznego na płaszczyzny nachylone zastosowano znane wzory z zakresu geometrii słońca [5, 6, 7]; przy obliczaniu promieniowania rozproszonego zastosowano model anizotropowy, który zaproponowali Reindl, Beckman i Duffie [8], przy uwzględnieniu albedo gruntu wg. [9].

Natężenie całkowitego promieniowania słonecznego na nachylone pod kątem 30° do poziomu powierzchnie segmentów dachu hotelu oraz okapów i daszków pergoli, obliczane przy zastosowaniu przyjętego modelu anizotropowego, jest średnio 3.5% większe niż obliczane przy założeniu izotropii promieniowania rozproszonego i średnio 12% większe niż natężenie promieniowania na płaszczyznę poziomą. Na rysunku 2 pokazano średnie roczne i sezonowe przebiegi natężenia promieniowania słonecznego w ciągu doby na płaszczyznę poziomą i płaszczyznę o orientacji południowej nachyloną pod kątem 30° , obliczone przy wykorzystaniu danych TRM dla Warszawy. „Lato” obejmuje miesiące od kwietnia do września, natomiast „zima” miesiące od października do marca.

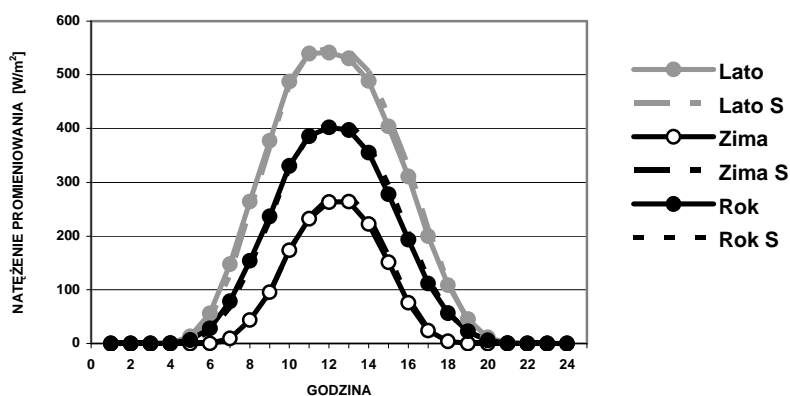
Średnie roczne dobowe sumy promieniowania na płaszczyzny o nachyleniu 30° i o azymutach odpowiadających kolejnym segmentom dachu i fasady budynku hotelu niewiele różnią się od siebie; zmieniają się od 3.0 do 3.1 [kWh/m²], osiągając maksimum dla segmentu środkowego. Maksyma średniego natężenia promieniowania w ciągu doby dla segmentów skrajnych dachu hotelu są przesunięte względem siebie o około 2 godziny, jednakże przebiegi natężenia średniego dla wszystkich segmentów nie różnią się znacząco od przebiegów natężenia na płaszczyznę południową o nachyleniu 30° (pł. S); ilustruje to rysunek 3.

W energooszczędnym budynku hotelowym przewidziane są trzy rodzaje instalacji fotowoltaicznych: prostokątne zestawy paneli na segmentach dachu 1-3 i 5-7, o łącznej wysokości do 6.6 m i szerokości do 6 m, pojedyncze szeregi paneli o wysokości do 1.2 m i łącznej szerokości 8.2 – 8.3 m na okapach segmentów fasady 1-3 i 5-7 i dachach segmentów pergoli 1-3 i 5-6, oraz instalacja na segmencie środkowym, która ma być zbudowana z paneli przepuszczających częściowo promieniowanie słoneczne, co zapewni doświetlenie głównego hallu światłem dziennym. Niniejsza praca zawiera wyniki

szacowania wydajności dwu pierwszych rodzajów instalacji, przy zastosowaniu wybranych typów paneli fotowoltaicznych, reprezentujących technologię krzemu monokrystalicznego.



Rys. 2 Średnie sezonowe przebiegi natężenia promieniowania słonecznego w ciągu doby na płaszczyznę poziomą i płaszczyznę o orientacji południowej nachyloną pod kątem 30°
Fig. 2 Mean seasonal daily profiles of solar radiation on a horizontal plane and the plane tilted 30° facing south



Rys. 3 Porównanie średnich dobowych przebiegów natężenia promieniowania słonecznego na dach hotelu w Centrum Jabłonna i na płaszczyznę południową o nachyleniu 30°
Fig. 3 Comparison of mean daily profiles of solar radiation on the roof of the hotel in the Jabłonna Centre and on the plane tilted 30° facing south

Przy projektowaniu instalacji konieczne było dopasowanie wymiarów zestawów złożonych z dostępnych na rynku prostokątnych paneli do założonych przez architekta wymiarów segmentów dachu i okapów. Należało również zapewnić dopasowanie maksymalnego napięcia prądu generowanego przez szeregi paneli do zakresów napięcia wejściowego inwerterów.

Założono, że instalacja dachowa zbudowana jest z paneli fotowoltaicznych SW 175 firmy Solar Word, o wymiarach 1.61×0.81 m. Na każdym z 6-ciu segmentów dachowych może zmieścić się zestaw 24 paneli ustawionych pionowo w układzie 6×4 , o łącznej powierzchni 31.3 m^2 . Instalacja na fasadzie frontowej budynku, składająca się z pojedynczych szeregów paneli na okapach i daszkach pergoli, zbudowana jest z paneli BP 790, o wymiarach 1.21×0.54 m. Na każdym segmencie okapu i daszku umieszczonych jest 15 takich paneli, o łącznej powierzchni 9.8 m^2 . W tabeli 1 zestawiono średnie wartości dobowych sum promieniowania pozyskiwanego przez te instalacje.

Tabela 1. Średnie sumy dobowe promieniowania pozyskiwanego przez instalacje PV
Table 1. Mean daily radiation available for the solar power plants

Okres	Dach [kWh/d]	Fasada [kWh/d]	Razem [kWh/d]
Lato	850	488	1338
Zima	293	169	462
Rok	573	329	902

4. SZACOWANIE ŚREDNIEJ WYDAJNOŚCI INSTALACJI PV

Do celów oceny wydajności instalacji fotowoltaicznych (PV) na etapie projektowania wykorzystuje się proste metody przybliżone, w których parametrami są charakterystyki elektryczne poszczególnych elementów podawane przez producentów [6, 10, 11, 12]. Uwzględnia się przy tym zależność charakterystyk prądowo – napięciowych ogniw fotowoltaicznych od ich temperatury. Zakłada się, że instalacje oddające prąd do sieci posiadają regulatory ustawiające punkt pracy tak, aby moc była maksymalna.

Charakterystyki elektryczne modułów PV obejmują parametry mierzone w tzw. standardowych warunkach badania i przy znamionowej temperaturze roboczej ogniwa. Standardowe warunki badania to natężenie promieniowania 1000 W/m^2 , spektrum AM 1.5 (air mass 1.5) i temperatura ogniw 25°C , natomiast warunki odpowiadające znamionowej temperaturze roboczej ogniwa to natężenie promieniowania 800 W/m^2 , spektrum AM 1.5, temperatura otoczenia 20°C i prędkość wiatru 1 m/s . Sprawność modułu fotowoltaicznego η , podawana w procentach, określa stosunek maksymalnej elektrycznej mocy wyjściowej do natężenia promieniowania padającego na jego powierzchnię.

Moc nominalna panelu SW 175 wynosi 175 W a napięcie otwartego obwodu 44.6 V . Moc nominalna zestawu 24 paneli wynosi 4.2 kW , a całej instalacji dachowej 25.2 kW . Założono, że każdy zestaw paneli, połączonych w układzie szeregowo

równoległym 8×2 , współpracuje z inwerterem Sunny Boy SB 4000US, o średniej sprawności 94.5% [13]. Panele BP 790 mają moc nominalną 90 W i napięcie otwartego obwodu 22.4 V. Moc nominalna zestawu połączonych w szereg 15 paneli wynosi 1.35 kW, a 11-tu takich zestawów na fasadzie 14.9 kW. Każdy zestaw współpracuje z inwerterem Sunny Boy SB 1100 U, o średniej sprawności 93% [13]. Średnia dobowa wydajność i sprawność modułów fotowoltaicznych SW 175 i BP 790, obliczone dla warunków klimatu Warszawy, przy orientacji południowej i nachyleniu 30° , pokazane są w tabeli 2.

Tabela 2. Średnia dobową wydajność modułów fotowoltaicznych SW 175 i BP 790 przy orientacji południowej i nachyleniu 30°

Table 2. Mean daily efficiency of the solar modules SW 175 and BP 790 facing south and tilted 30°

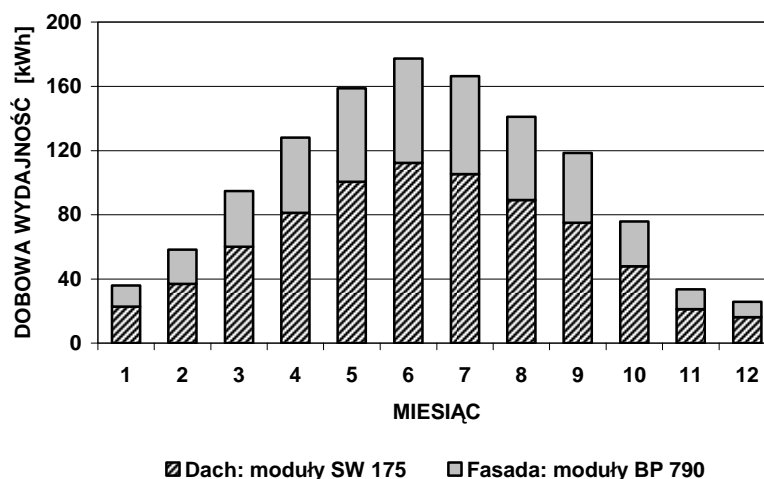
Okres	Moduł SW 175		Moduł BP 790	
	E_d [kWh/d]	η [%]	E_d [kWh/d]	η [%]
Lato	0.77	13.0	0.40	13.4
Zima	0.29	13.8	0.15	14.2
Rok	0.53	13.2	0.27	13.6

Przy obliczaniu wydajności instalacji PV przyjęto stałe sprawności inwerterów, podane przez producentów, oraz założono straty różne mocy na poziomie 10%. W Tabeli 3 zestawiono wartości mocy nominalnych instalacji PV na dachu i fasadzie budynku hotelu, obliczone szacunkowe średnie dobowe i roczne sumy dostarczanej energii elektrycznej, jej względne udziały, średnie sprawności instalacji oraz średnie dobowe wartości mocy dostarczanej do sieci, oznaczone P_{eff} . Średnie dobowe ilości energii elektrycznej, produkowanej przez instalacje w poszczególnych miesiącach pokazano na rysunku 4.

Tabela 3. Zestawienie rocznej wydajności instalacji fotowoltaicznych na dachu i na fasadzie frontowej budynku hotelu

Table 3. Predicted mean daily and annual energy production of the PV power plants on the roof and front façade of the hotel building

Instalacja PV	P_{max} [kW]	Energia wytworzona			η [%]	P_{eff} [kW]
		Doba [kWh/d]	Rok [MWh/a]	Udział [%]		
Na dachu	25.2	64.0	23.4	63.3	11.2	2.7
Na fasadzie	14.9	37.2	13.6	36.7	11.5	1.6
Razem	40.1	101.2	37.0	100.0	11.3	4.2



Rys. 4 Średnia dobowa wydajność instalacji PV w kolejnych miesiącach
 Fig. 4. Mean daily energy generated by the solar power plant in subsequent months

5. PODSUMOWANIE

Średnia roczna szacunkowa moc wyjściowa instalacji fotowoltaicznej w ciągu całej doby to w warunkach klimatu Polski około 10% jej mocy nominalnej.

Szacunkowa ilość energii elektrycznej, która może być dostarczona przez analizowaną instalację fotowoltaiczną przy uwzględnieniu strat różnych na poziomie 10%, wynosi średnio około 101 kWh na dobę i 37 MWh na rok. Udział w produkcji energii instalacji złożonej z paneli rozmieszczonych na fasadzie jest znaczny i wynosi około 37%.

Średnia dobowa wydajność modułów fotowoltaicznych jest w sezonie wiosenno-letnim, od kwietnia do września, średnio około dwu i półkrotnie wyższa niż w sezonie jesienno-zimowym, od października do marca. W sezonie letnim średnia dobowa wydajność instalacji wynosi 148 kWh, natomiast w sezonie zimowym 54 kWh.

6. LITERATURA

- [1] Włosiński Wł., Domański R., Kiciński J., Ekspertyza pt. „Badania możliwości powstania Centrum Przedsiębiorczości i Innowacji w gminie Jabłonna”. Centrum Badawcze PAN „Konwersja Energii i Źródła Odnawialne”, Warszawa, Gdańsk, grudzień 2005.
- [2] Mikieliewicz J., Kiciński J., Energooszczędny Dom Inteligentny – EDI; Załącznik nr 1 do ekspertyzy pt. „Badania możliwości powstania Centrum Przedsiębiorczości i Innowacji w gminie Jabłonna”. Centrum Badawcze PAN „Konwersja Energii i Źródła Odnawialne”, Gdańsk, grudzień 2005.
- [3] Murza-Mucha P., Murza-Mucha M., Puławski S. (Graffiti), Centrum Badawcze PAN „Konwersja Energii w zakresie Źródła Odnawialne”, Koncepcja wstępna – Architektura, Warszawa, grudzień 2007.

- [4] Gawin D., Kossecka E. [red.], Typowy Rok Meteorologiczny do symulacji procesów wymiany ciepła i masy w budynkach, Wyd. Politechniki Łódzkiej, Łódź 2002.
- [5] Duffie J. A., Beckman W. A.: Solar engineering of thermal processes, John Wiley & Sons, Inc.; third ed. 2006.
- [6] Markvart T. [Ed.]: Solar Electricity; 2nd Edition. John Wiley & Sons, 2005.
- [7] Luque A., Hegedus S. [Eds]: Handbook of Photovoltaic Science and Engineering. John Wiley & Sons, 2006.
- [8] Reindl D. T., Beckman W. A., Duffie J. A., Evaluation of Hourly Tilted surface Radiation Models, Solar Energy, 45(1), 9-17, 1990.
- [9] Podogrocki J. i inni, Opracowanie porównawczego sezonu grzewczego do oceny zapotrzebowania ciepła budynków; Cz.II: Opracowanie charakterystyk aktynometrycznych, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Zakład Klimatologii, Warszawa 1990.
- [10] Clean Energy Project Analysis: Photovoltaic Project Analysis Chapter, RETScreen® Engineering and Cases Textbook, www.etscreen.net.
- [11] Kossecka E., Walczak T., Wydajność instalacji fotowoltaicznych w warunkach klimatu Polski, Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce, Czasopismo Naukowe, t. II, 2007, 141-146.
- [12] Strony internetowe producentów modułów fotowoltaicznych: www.solarworld.de, www.bpsolarex.com
- [13] Strona internetowa SMA America, Inc.: www.sma-america.com.

PERFORMANCE ANALYSIS OF THE PV SYSTEM IN THE RESEARCH CENTRE JABŁONNA

SUMMARY

Results of the performance analysis of the on-grid PV power plant, on the roof and façade of the energy-saving hotel building in the Research Centre Jabłonna, are presented. The power plant, of total rated power of 40 kW, is composed of 144 Solar World SW 175 PV modules located on the roof and 165 BP 790 modules located on the facade. In the climatic conditions of Poland, it may deliver, in average, 101 kWh of the electric energy per day and 37 MWh per year.

Praca wykonana w ramach realizacji zadań Sieci Naukowej EKO-ENERGIA, subsydiowanej przez MNiSW

II Konferencja SOLINA 2008

ENERGIA ODNAWIALNA
Innowacyjne Rozwiązania
Materiały i Technologie dla Budownictwa



Danuta KUPIEC-HYŁA, dr inż. arch.

Politechnika Krakowska
Instytut Projektowania Urbanistycznego
Katedra Kształtowania Środowiska Mieszkaniowego
ul. Podchorążych 1, 30-084 Kraków
e-mail : dhmarczyk@poczta.fm

BLIŻEJ NATURY – ZRÓWNOWAŻONE BUDOWNICTWO MIESZKANIOWE Z GLINY NIEPALONEJ

STRESZCZENIE

W artykule omówiono autorskie doświadczenia w zakresie upowszechniania budownictwa z gliny we współczesnych warunkach rozwoju zrównoważonego budownictwa mieszkaniowego. Nisko nakładowe inwestycyjnie i eksploatacyjnie, oparte na prostych technikach i naturalnych surowcach, głęboko osadzone w kontekście harmonijnie współtęży z naturalnym środowiskiem.

Szkoda tylko, że zamiast stać się wiodącym nurtem „zielonego” budownictwa ciągle nie może przebić się przez mur społecznej dezaprobaty.

1. WPROWADZENIE – DLACZEGO GLINA?

„(...) ponadczasowa istota elementów – ziemi, wody, powietrza i ognia, ponadczasowe naturalne formy – łuków, sklepień, kopuł, zasada grawitacji i duch poszukiwania pozwolą ci budować w każdym miejscu na świecie tylko z tych materiałów, które znajdziesz koło siebie (...) [1], a jednym z naturalnych materiałów budowlanych powszechnie występującym, znanym i stosowanym od wieków na całym świecie jest glina [2].

Historia budowania z gliny to historia rozwoju cywilizacji będąca zarazem odbiciem możliwości technicznych i standardów funkcjonalnych epoki, w której powstała. Od wieków ten sam materiał, od wieków te same techniki budowania to także zapis

ciągłości kulturowej i psychologicznej więzi z naturą, zapis zróżnicowanej odrębności architektonicznej i wyraźniej tożsamości narodowej glinianej architektury.

Metody harmonijnego współżycia architektury i środowiska były powszechnie znane i kontynuowane w przeszłości. Budowane z tradycyjnych materiałów domy zabezpieczały wszystkie potrzeby człowieka. Użyte materiały pozwalały na naturalną dyfuzję powietrza, regulację wilgotności, swobodny napływ promieniowania kosmicznego do wnętrza, utrzymanie niezakłóconego rytmu biologicznego człowieka. Dom zaspakajał fizyczne, biologiczne i duchowe potrzeby jego użytkowników.

We współczesnym rozumieniu architektura powinna zaspakajać nie tylko wszystkie potrzeby człowieka, ale i kreować nowe wartości środowiska przyrodniczego i społecznego.

Nowe, zrównoważone podejście do projektowania i realizacji każe widzieć dom, jako element środowiska, rozpatrywany nie tylko w obrębie działki, lecz w szerszym kontekście zabudowy i krajobrazu, dom, jako konsumenta energii i producenta odpadów, trwale zmieniającego i kształtującego środowisko mieszkaniowe człowieka.

2. ARCHITEKTURA PRZYJAZNA CZŁOWIEKOWI I ŚRODOWISKU.

Obecnie, kiedy wartość domu zależy głównie od jego lokalizacji, rozwiązań funkcjonalno-przestrzennych, walorów eksploatacyjnych, estetyki, standardów wykończenia a nie od kosztów użytych materiałów – stosowanie naturalnych, zdrowych i tanich materiałów jak np. gliny jest jak najbardziej celowe.

Wiele autorytetów i znawców tego typu budownictwa określa glinę, jako – najlepszy, współczesny, naturalny materiał budowlany [3]. Niskotemperaturowy proces pozysku i produkcji, (ograniczenie emisji CO², wykorzystanie energii odnawialnych), redukcja transportu (ochrona środowiska), wykorzystanie odpadów z produkcji rolnej i pełny recykling materiału w znaczący sposób przyczyniają się do ochrony naturalnego środowiska.

Współczesne budownictwo z gliny to bardzo dynamicznie rozwijający się nurt alternatywnego budownictwa. Elitarne w krajach wysokorozwiniętych (m.in. Stany Zjednoczone, Francja) powszechne w ubogich (kraje trzeciego świata) w warunkach polskich nie może się przebić przez mur ignorancji i społecznej niechęci.

Zajmując się wraz z mężem problematyką budownictwa jednorodzinnego staramy się od wielu lat rozpropagować ten zdrowy i ekonomiczny typ tradycyjnego, naturalnego budownictwa. Bazując na literaturze krajowej i zagranicznej, zebranych doświadczeniach i spostrzeżeniach zrealizowaliśmy kilka obiektów, traktując każdy z nich jako swoisty poligon doświadczalny.

Opierając się na znanych i stosowanych od wieków technikach budowania z gliny, takich jak m.in. glina ubijana w szalunku „pisé” czy słomo-glina jako materiał do wypełnienia szkieletu opracowaliśmy autorskie, dostosowane do obowiązujących wymogów ochrony energii rozwiązania konstrukcyjne.

Pierwsze nasze gliniane domy powstały na początku lat 90-ych. Są to budynki o konstrukcji szkieletowej (rurki stalowe z odzysku, drobnowymiarowe elementy żelbetowe), budowane od dachu (zabezpieczenie przed wilgocią) z wypełnieniem ścian szkieletu i stropów drewnianych lekką gliną [4] zarówno w postaci bloczków jak masą wylewana w szalunkach.

Doświadczenia z pierwszych realizacji wykazały zarówno wady jak i zalety tego typu budownictwa.

Podstawową wadą jest duża pracochłonność (gospodarcza produkcja bloczków) wynikająca z braku rynku glinianych materiałów budowlanych, jak i określony czas realizacji (V-VIII) wynikający z potrzeby całkowitego wysuszenia budynku przed mrozami.

Podkreślane przez użytkowników zalety to m.in.: stabilna temperatura wnętrza, stała 60% wilgotność, doskonała izolacyjność termiczna i akustyczna ścian, niskie koszty eksploatacyjne.

Następnym krokiem w realizacji zrównoważonej glinianej architektury było przejście do techniki gliny ubijanej w szalunku (tzw. technika „pisé”). Używając gliny jako materiału do budowy ścian nośnych opracowana została technologia konstrukcyjnej ściany dwuwarstwowej ocieplonej elewacyjną wełną mineralną. Realizowany budynek wyrastał jak roślina kolejnymi warstwami z ziemi działki, z wybieranego na miejscu materiału.

Dwuwarstwowa ściana oddycha swobodnie przy zachowaniu wszystkich parametrów termoizolacyjnych, akumulacyjnych i akustycznych. W ścianie nie występuje kondensacja pary wodnej, nie ma więc zagrożenia wystąpienia szkodliwych dla zdrowia zagrożeń. Dobry mikroklimat wnętrza daje stabilna temperatura i stała 60% wilgotność.

Realizowane kolejno gliniane budynki stawały się wyznacznymi wzorcami zalet ekonomicznych i bioklimatycznych tego typu budownictwa zarówno pod kątem walorów użytkowych jak i dobrego stanu technicznego.

Uzyskane dla zrealizowanych budynków obliczenia parametrów ciepłno wilgotnościowych dla ścian zewnętrznych wykazały bardzo dobre współczynniki:

- $U_k = 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$ dla ściany z lekkiej gliny
- $U_k = 0,27 \text{ W/m}^2\text{K}$ dla ściany dwuwarstwowej z gliny konstrukcyjnej ocieplonej wełną mineralną.

Bardzo dobre okazały się również wyniki ekonomiczne na etapie realizacji:

- koszt materiału ściennego jest o 50% niższy od konwencjonalnego materiału o porównywalnych właściwościach cieplnych
- całkowity koszt wysokostandardowego budynku z gliny jest o 5-7% niższy od porównywalnego tradycyjnego budynku.

3. PODSUMOWANIE – GLINA MATERIAŁEM BUDOWLANYM XXI WIEKU

Atrakcyjność systemów budowlanych takich jak budownictwo z gliny wzrasta w miarę, jak wzrasta świadomość społeczna na temat negatywnych skutków stosowania materiałów fabrykowanych i wyczerpywania się nieodnawialnych surowców energetycznych.

Wprowadzenie w proces projektowania zrównoważonych inwestycji mieszkaniowych technik budowania z naturalnych materiałów np. gliny i maksymalnego wykorzystania energii odnawialnych pozwoli na uzyskanie nie tylko wymiernych efektów ekonomicznych, ale będzie też gwarancja ochrony naszego naturalnego środowiska. Pewnym impulsem do rozwoju glinianego budownictwa jest również systematycznie rosnące zapotrzebowanie społeczne na „zdrowe domy” jako czynnik świadomej ucieczki przed zagrożeniami cywilizacyjnymi (np. choroby nowotworowe, alergie).

Do głównych zalet budownictwa z gliny należy zaliczyć m.in.:

- powszechność występowania tego materiału
- czysty, niskotemperaturowy proces pozysku i produkcji materiału
- ograniczenie zużycia konwencjonalnych surowców (ograniczenie transportu)
- proste i łatwe techniki budowania
- nie produkowanie odpadów, pełny recykling materiału (pozbawiona zabezpieczenia przez wilgocią glina wraca z powrotem do środowiska)

Gliniane domy dają użytkownikom doskonałe warunki do zdrowego i komfortowego mieszkania bowiem m.in.:

- ściany z gliny z odpowiednimi dodatkami organicznymi zapewniają optymalną izolacyjność termiczną i akustyczną
- ściany z gliny posiadają dużą bezwładność cieplną i zapewniają dobrą stabilizację wewnętrznej temperatury
- ściany z gliny swobodnie oddychają i są naturalnym regulatorem wilgotności wnętrza, optymalna wilgotność 60%
- ściany z gliny nie emitują szkodliwych zanieczyszczeń jak i stanowią 90% ochronę przed promieniowaniem elektromagnetycznym.

Glina jest lepiszczem a nie spoiwem i potrzebną w budownictwie wytrzymałość uzyskuje przez wysychanie a nie wiązanie. Wymagając odpowiedniej ochrony wymusza niejako tradycyjną formę architektoniczną – dom z dachem, dużymi okapami, na cokole. Oparte na lokalnych surowcach uwarunkowania technologiczne procesu realizacji ogranicza lokalizację do terenów podmiejskich i wiejskich, gdzie wykorzystując lokalną tradycję kulturową gliniana architektura wtapia się w kontekst, tworząc nowe, zharmonizowane z naturą środowisko mieszkaniowe.

Jeżeli w przyszłości nastąpi rozkwit tego typu budownictwa to glina jako taka pozostanie i tak tym czym była zawsze – darmowym, lokalnym bogactwem naturalnym dającym schronienie człowiekowi, bo „(...) *Materiał nie jest interesujący za to, jaki jest, lecz za to, co może uczynić dla społeczeństwa (...).*”[5]

4. LITERATURA

- [1] Mostaedi A.; Sustainable Architecture Lowtech Houses, Carles Broto, 2003,
- [2] Normy: BN-62/6738-02. Budownictwo z gliny. Masy gliniane.
BN-62/6738-01. Masy cementowo-gliniane z wypełniaczami.
BN -62/9012-0. Cegły i bloki cementowo-gliniane z wypełniaczami.
a także Kelm T.; Architektura Ziemi Tradycja i Współczesność, Murator, 1996,
- [3] Lynne E., Adams K.; Alternative Construction, John Wiley, 2000,
a także Minke G.; Lehmbau – Handbuch, Okobuch Verlag, 1999,
Minke G.; Building with Earth, Birkhauser, 2006,
- [4] Hyła M., Kupiec-Hyła D.; Domy z lekkiej gliny – poradnik ZZJK w Krakowie, 1994,
- [5] Balluff D.; Architecture de Terre, Venezia, 1981.

CLOSER TO NATURE – SUSTAINABLE ADOBE HOUSING CONSTRUCTION.

SUMMARY

This article presents the author's experience in the popularization of clay construction in the contemporary conditions of the development of sustainable housing construction. Having a low budget of investment and operation, based upon simple techniques and natural resources, deeply placed in a context, it harmoniously coexists with the natural environment.

It is a pity, however, that instead of becoming the leading trend of “green” construction, it still cannot break through the wall of social disapproval



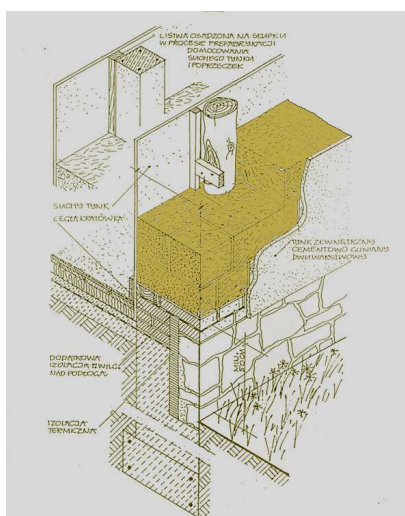
*Fot. 1. Widok fragmentu ściany
z wypełnieniem bloczkami lekkiej gliny.
Photo. 1. Fragment of wall filled with blocks
of light clay.*



*Fot. 3. Zielonki – fragment glinianej ściany
ubijanej po rozsiewaniu.
Photo. 3. Zielonki - fragment
of rammed wall.*

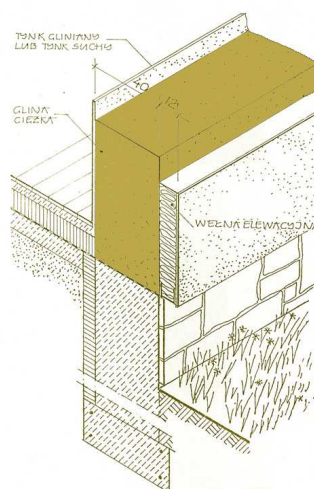


Fot. 2. Budynek jednorodzinny– glina konstrukcyjna ubijana proj. D. M. Hyla.
Photo. 2. Detached building – rammed constructional clay designed by D. M. Hyla.



Rys. 1. Przykładowe rozwiązanie ściany – ściana jednowarstwowa z gliny lekkiej w szkielecie – rys. autor.

Fig. 1. Example of wall solution – one-layer wall of light clay in framework – drawn by author.



Rys.2. Przykładowe rozwiązanie ściany – ściana dwuwarstwowa z gliny ciężkiej ocieplona wełną mineralną – rys. autor.

Fig. 2. Example of wall solution – two-layer wall of heavy clay insulated with mineral wool – drawn by author.

II Konferencja SOLINA 2008
ENERGIA ODNAWIALNA
Innowacyjne Rozwiązania
Materiały i Technologie dla Budownictwa



Elżbieta KUSIŃSKA, mgr inż. arch.

Politechnika Krakowska
Instytut Projektowania Urbanistycznego
Katedra Kształtowania Środowiska Mieszkaniowego
ul. Podchorążych 1, 30-084 Kraków
e-mail: beth@poczta.fm

**ZAŁOŻENIA WODNE W ZRÓWNOWAŻONYCH ZESPOŁACH
MIESZKANIOWYCH**

STRESZCZENIE

W referacie przedstawiono założenia wodne we współczesnych zespołach mieszkaniowych oraz ich znaczenie dla zrównoważonego charakteru wybranych realizacji. Założenia wodne w środowisku miejskim łączą nowoczesne ekologiczne technologie z walorami estetycznymi wpływając na jakość środowiska mieszkaniowego współczesnych miast. Zaprezentowano zespoły mieszkaniowe BO01 w Malmö oraz Greenwich Millenium Village w Londynie, w których sztuczne zbiorniki wodne zapewniają równowagę przyrodniczą oraz kształtują atrakcyjne przestrzenie publiczne.

Współczesne środowisko miejskie jest obszarem występowania wielu zagrożeń, które naruszają jego równowagę ekologiczną, takich jak m.in. brak bioróżnorodności i zanik ekosystemów, zanieczyszczenia, nadmierne zużycie i niewłaściwe gospodarowanie wodą, a także niekorzystne zmiany mikroklimatu w obrębie obszarów miejskich. Jedną z możliwości niwelowania tych niekorzystnych zjawisk jest wprowadzanie do przestrzeni miejskiej założeń wodnych.

Woda jako niezbędny element życia człowieka kształtuje jego otoczenie od początków ludzkości. Żywiół wody postrzegany był przez ludzi dwojako: z jednej strony niosła życie, z drugiej była śmiertelnym zagrożeniem. W miarę rozwoju cywilizacji woda zaspokajała coraz więcej potrzeb życiowych – początkowo pragnienie, następnie służyła do utrzymania

higieny, nawadniania upraw, usprawniała komunikację, aż wreszcie zaspokajała estetyczne potrzeby człowieka. To wieloaspektowe oddziaływanie wody na życie człowieka sprawiło, że od początku rozwoju architektury występują związane z nią założenia wodne. Pierwotnie naturalne, a w miarę rozwoju technicznego również sztuczne.

Założenia wodne pojawiały się w przestrzeni publicznej miast od początków ich istnienia i były elementami, które uatrakcyjniały przestrzeń miejską i służyły człowiekowi. Współczesne rozwiązania przestrzeni publicznych z elementami wodnymi czerpią inspiracje z bogatej historii architektury i urbanistyki i wiążą je z najnowszymi osiągnięciami technologicznymi. Obecnie założenia wodne łączą w sobie, na wzór historycznych elementów wodnych, funkcje rekreacyjne, kompozycyjne i estetyczne z ekologicznymi, wpływającymi na jakość środowiska w wielu przestrzeniach miejskich.

Zespoły mieszkaniowe wyodrębniają się w strukturze miejskiej, są zidentyfikowane przestrzennie, wyróżniają się formalnie oraz posiadają własne przestrzenie publiczne umożliwiające kontakty międzyludzkie¹. Przestrzenie w zespołach mieszkaniowych powinny posiadać przede wszystkim funkcje społeczne – integrować ze sobą mieszkańców, identyfikować ich z miejscem zamieszkania, zapewniać poczucie bezpieczeństwa i możliwości realizowania swoich potrzeb. Współczesne badania wykazują, że przestrzenie publiczne w zespołach mieszkaniowych kształtowane w formie niewielkich wnętrz sprzyjają utrzymaniu wszystkich funkcji społecznych wymienionych powyżej². Kształtowanie takich przestrzeni to stosowanie odpowiedniej i czytelnej struktury przestrzennej, a także zapewnienie mieszkańcom kontaktu z naturą poprzez wprowadzanie do zespołów mieszkaniowych zieleni i wody. Stosowanie różnego rodzaju form wodnych nie tylko wpływa na wyjątkowy kształt poszczególnych wnętrz zespołów mieszkaniowych. Istnieje również możliwość wykorzystania funkcji użytkowych wody, takich jak stosowanie zintegrowanych systemów zarządzania wodą opadową, naturalnych oczyszczalni itp., które wpływają na podniesienie standardu środowiska mieszkaniowego. Zindywidualizowane przestrzenie publiczne, wypełnione różnego rodzaju formami wodnymi, od drobnych akcentów po duże zbiorniki wodne, sprzyjają wytwarzaniu się relacji społecznych, co jest jednym z głównych założeń polityki projektowania zrównoważonego.

Sztuczne zbiorniki wodne projektowane w zespołach mieszkaniowych, zwłaszcza na terenach o intensywnej zabudowie, mogą pełnić funkcję zbiorników retencyjnych dla wody opadowej, a także wpływać na utrzymanie równowagi wód gruntowych³. Woda spływająca z dachów budynków nie jest bezpośrednio kierowana do kanalizacji opadowej lecz do lokalnego, otwartego zbiornika wodnego, z którego może być rozprowadzana w celach użytkowych na terenie danego zespołu mieszkaniowego⁴. Wodę gromadzoną w zbiorniku wodnym stosuje się zazwyczaj do celów takich jak np. spłukiwanie toalet, pranie w pralkach automatycznych czy zmywanie w zmywarkach, nawadnianie terenów zielonych itp. Taki obieg wody pozwala na znaczne oszczędności wody pitnej pobieranej z wodociągów, którą zazwyczaj przeznacza się do celów użytkowych. Przedstawione rozwiązanie z zastosowaniem dodatkowych otwartych kanałów burzowych jest korzystne również ze względów ekonomicznych. Podczas gwałtownych opadów nadmiar wody deszczowej jest szybko oddawany do zbiornika, co pozwala uniknąć projektowania kanałów burzowych obliczonych dla maksymalnego przepływu i dzięki temu ograniczyć koszty infrastruktury. Woda deszczowa gromadzona w zbiornikach retencyjnych może być jednocześnie w naturalny sposób oczyszczana w tzw. roślinnych oczyszczalniach, które należą do najbardziej efektywnych naturalnych metod oczyszczania wody. Działanie takiego systemu

polega na przepuszczaniu wody przez strefę filtrującą (biotop), gdzie dzięki specjalnym roślinom „odżywiającym” się składnikami znajdującymi się w zanieczyszczonej wodzie następuje rozkład niebezpiecznych substancji chemicznych. W naturalnych oczyszczalniach w strefie biotopu wykorzystuje się gatunki roślin takich jak trzcina, wierzba krzewiasta, pałka wodna lub sitowie⁵. Oczyszczalnie roślinne są tanie w obsłudze i mogą być zakładane w praktycznie każdych warunkach, a oprócz znaczenia użytkowego mają również duże walory estetyczne – takie zbiorniki wodne mogą być pięknymi, porośniętymi zielenią założeniami wodnymi, będącymi ozdobą każdego zespołu mieszkaniowego.

Założenia wodne przyczyniają się również do zwiększenia bioróżnorodności na określonym obszarze miejskim. Aktualnie jednym z negatywnych zjawisk występujących w obszarach zurbanizowanych jest niszczenie naturalnych ekosystemów, zmniejszanie się ilości terenów zielonych oraz brak ich zróżnicowania⁶. Stawy, oczka wodne, baseny czy kanały mogą być siedliskiem dla wielu roślin i tworzyć w przestrzeni miejskiej nowe ekosystemy. Warto również zwrócić uwagę na to, że woda sprzyja nie tylko rozwojowi terenów zielonych, ale również staje się siedliskiem dla wielu zwierząt takich jak ptaki wodne, płazy czy ryby. Często w takich miejscach odtwarzane są gatunki roślin czy zwierząt, które dawno zniknęły z terenów zabudowanych⁷. Tworzenie nowych ekosystemów wokół sztucznych założeń wodnych w mieście ma również znaczenie dla społeczności, kontakt z naturą oddziałuje pozytywnie na człowieka, podnosi świadomość ekologiczną i posiada wartość edukacyjną⁸.

Elementy wodne mają wpływ na samopoczucie psychiczne i fizyczne człowieka, co jest odczuwalne zwłaszcza w środowisku mieszkaniowym. W odnawianiu sił fizycznych i psychicznych bardzo ważny jest kontakt z naturą. Badania prowadzone w Szwecji⁹ wykazały, że pracownicy posiadający widok z okna na przyrodę wykazywali niższy poziom stresu niż ci patrzący na obszar zurbanizowany. Z wszystkich doświadczeń wynika jednoznacznie, że kontakt z elementami naturalnymi środowiska jest dla człowieka niezbędny dla utrzymania równowagi psychicznej i fizycznej. Dlatego wprowadzanie zarówno wody, jak i zieleni do przestrzeni miejskich, wpływa pozytywnie na zdrowie ich użytkowników. Wiąże się to także z oddziaływaniem otwartych zbiorników wodnych na mikroklimat danego wnętrza urbanistycznego. Niekorzystna jonizacja powietrza powstaje w przypadku, gdy w atmosferze dominują jony dodatnie. Zjawisko to pojawia się zarówno we wnętrzach budynków, jak i w otwartych przestrzeniach miejskich i powodowane jest przez wiele czynników, głównie związanych z rozwojem cywilizacyjnym. Urządzenia elektroniczne, zanieczyszczenia powietrza pyłami fabrycznymi, spalinami, dymem tytoniowym, stosowanie tworzyw sztucznych, cementu wzbogacanego w żużle, a nawet silne suche wiatry powodują niekorzystną, dodatnią jonizację powietrza, która jest w przyrodzie nienaturalna i źle wpływa na samopoczucie¹⁰. Ujemna jonizacja jest odczuwalna dla człowieka i objawia się poprawą nastroju, spadkiem ciśnienia krwi i wyrównaniem oddechu oraz działa pobudzająco na system nerwowy. W naturalny sposób taka jonizacja powstaje w atmosferze po burzy, gdzie duża ilość ozonu w powietrzu zazwyczaj powoduje dobre samopoczucie lub wokół otwartych zbiorników wodnych. Inne niekorzystne warunki związane z klimatem w miastach to wyższa średnia temperatura, obniżona wilgotność powietrza, mniejsza prędkość wiatru oraz wzrost dni bezwietrznych, które to czynniki również zagrażają zdrowiu mieszkańców miast. Neutralizowanie tych negatywnych zjawisk w miastach odbywa się poprzez wprowadzanie do terenów śródmiejskich naturalnych elementów przyrody, takich jak woda czy zielen. Otwarte

zbiorniki wodne w zespołach mieszkaniowych wpływają korzystnie na atmosferę najbliższego otoczenia oczyszczając i ochładzając powietrze, a ruch i dźwięk wody w kaskadach, fontannach, czy wodotryskach niweluje hałas oraz ujemnie jonizuje atmosferę, co znacznie przyczynia się do komfortu i samopoczucia ludzi przebywających w ich otoczeniu.

ZESPÓŁ MIESZKANIOWY BO01, MALMÖ, SZEWCJA (REALIZACJA 2007 R.)

Jest to przykład zrównoważonej inwestycji mieszkaniowej zlokalizowanej na terenach dawnej stoczni, w której pośród wielu różnorodnych rozwiązań ekologicznych bardzo ważną rolę spełniają zbiorniki wodne. W BO01 opracowano otwarty system ucieczki wody, aby część opadów, która od razu nie wyparuje lub wsiąknie w ziemię, była odpowiednio wykorzystana. Woda deszczowa zatrzymuje się na zaprojektowanych w tym celu zielonych dachach. W miejscach gdzie, woda nie wsiąka, sprowadzana jest za pomocą rynien i małych kanałów biegnących wzdłuż ulic do niewielkich, retencyjnych zbiorników wodnych rozmieszczonych na wewnętrznych dziedzińcach i placach zespołu. Woda opadowa jest w nich gromadzona i służy m.in. do nawadniania terenów zielonych, a jej nadmiar transportowany jest otwartymi kanałami do morza. Większość zbiorników wodnych w zespole mieszkaniowym porośnięta jest bujną roślinnością, która oczyszcza wodę w sposób naturalny. Zazielenianie przestrzeni publicznych i dziedzińców jest wśród wytycznych¹¹ dotyczących projektowania zabudowy mieszkaniowej, a niewielkie zbiorniki wodne umożliwiają wegetację roślinną i utrzymują odpowiedni stan nawodnienia.



Fot. 1. BO01, przykład jednego z wnętrz z roślinnością i zbiornikiem wodnym
Fot. 1. BO01, an example of one of courtyards with vegetation and water



Fot. 2. BO01, woda deszczowa jest transportowana otwartymi kanałami do zbiorników wodnych
Fot. 2. BO01, rainwater is transported through open canals to water basins



*Fot. 3. Tereny rekreacyjne wokół największego zbiornika wodnego
w BO01*

Fot. 3. Recreation area with water in BO01

GREENWICH MILLENIUM VILLAGE, LONDYN, WIELKA BRYTANIA (PLANOWANE ZAKOŃCZENIE REALIZACJI 2008 R.)

Greenwich Millenium Village to duży zespół mieszkaniowy zlokalizowany w jednej z największych europejskich metropolii i zrealizowany zgodnie z zasadami projektowania zrównoważonego. Zespół mieszkaniowy znajduje się na wcześniejszych terenach przemysłowych i wyróżnia się dbałością o jakość środowiska przyrodniczego przy równoczesnym zapewnieniu wysokiego komfortu zamieszkania. Zarówno podczas budowy jak i w trakcie użytkowania zespołu ograniczono jego negatywny wpływ na środowisko. Cel został osiągnięty poprzez dobór konstrukcji budynków, odpowiednich elementów budowlanych,¹² a także ograniczenie zużycia energii pierwotnej do 80%, a konsumpcji wody o 30%. W budynkach zastosowano system cyrkulacyjny szarej wody oraz odpowiedni zintegrowany system ogrzewania i energii.¹³ W ekologiczny charakter osiedla wpisuje się duży, sztuczny zbiornik wodny wraz z rekreacyjnym Parkiem Ekologicznym, który tworzy dodatkową powierzchnię terenu biologicznie czynnego w Greenwich Millenium Village. Założenie wodne posiada nie tylko funkcję rekreacyjną, jezioro jest naturalną oczyszczalnią ścieków z systemem korzeniowego oczyszczania wody . Poprzez utrzymanie naturalnego charakteru parku oraz zbiornika wodnego tereny te są siedliskiem wielu rzadkich wodnych i błotnych gatunków roślin i zwierząt.



Fot. 4,5. Sztuczne jezioro z naturalną zielenią w Greenwich Millenium Village
Fot. 4,5. Artificial lake with vegetation in Greenwich Millenium Village

PODSUMOWANIE

We współczesnych zrównoważonych zespołach mieszkaniowych wykorzystuje się z sukcesem potencjał, jaki posiadają elementy wodne w przestrzeni publicznej zarówno w sferze funkcjonalnej jak i estetycznej. Założenia wodne stwarzają nowe możliwości w kształtowaniu oblicza współczesnego miasta. Tworzą atrakcyjną przestrzeń mieszkaniową, która jest przyjazna człowiekowi, pozwala na realizację jego potrzeb, zapewnia niezbędny kontakt z przyrodą, a nowoczesne rozwiązania technologiczne pozwalają na wykorzystanie założeń wodnych do utrzymania równowagi przyrodniczej.

LITERATURA

- [1] Schneider Skalska Grażyna *Kształtowanie zdrowego środowiska mieszkaniowego*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, 2004,
- [2] Szponar Adolf *Fizjografia urbanistyczna*, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2003,
- [3] Grau Dieter, Dreiseitl Herbert *New waterscapes. Planning, Building and Designing with Water*, Birkhäuser – Publishers for Architecture, 2005,
- [4] Pęski Wojciech *Zarządzanie zrównoważonym rozwojem miast*, Arkady, 1999,
- [5] Jagiełło-Kowalczyk Magdalena *Kształtowanie osiedli mieszkaniowych o charakterze ekologicznym*, praca doktorska pod kierunkiem Prof. zw. dr hab. inż. arch. Wacława Serugi, Politechnika Krakowska, Wydział Architektury, 1998,

WATER IN SUSTAINABLE HOUSING ESTATES

SUMMARY

The article shows reservoirs in contemporary housing estates and water's great importance in sustainable design of selected developments. Modern water basins connect ecological engineering with aesthetics and affect the quality of city's housing environment. In text introduced sustainable housing estates: BO01 in Malmö and Greenwich Millenium Village in London, in which artifitial reservoirs support natural balance and form attractive public space.

¹ Schneider Skalska Grażyna *Kształtowanie zdrowego środowiska mieszkaniowego*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2004, s. 97.

² Ibidem, s. 105-111.

³ W obszarach zurbanizowanych stosunki wodne ulegają zachwianiu ze względu na wzrost ilości terenów pokrytych stałą nawierzchnią, przez co podłoże staje się nieprzepuszczalne dla wody. Woda opadowa nie może swobodnie wnikać w ziemię i jest natychmiast odprowadzana z terenów zabudowanych do kanalizacji deszczowej. W takich warunkach woda nie może swobodnie i stopniowo parować do atmosfery przez co zmniejsza się wilgotność powietrza. Urbanizacja wpływa nie tylko na powierzchniową fazę obiegu wody, ale przyczynia się do obniżenia poziomu wód gruntowych. Wg Szponar Adolf *Fizjografia urbanistyczna*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003

⁴ Szerzej o stosowaniu i projektowaniu zbiorników retencyjnych pisze Kosmala Marek w artykule „Ogrody deszczowe” czyli ogrody retencjonujące wody opadowe – moda czy konieczność”, W: Woda w przestrzeni przyrodniczej i kulturowej, Prace Komisji Krajobrazu Kulturowego PTG nr 2 pod redakcją Urszuli Mygi – Piątek, Komisja Krajobrazu Kulturowego PTG, Sosnowiec 2003.

⁵ Grau Dieter, Dreiseitl Herbert *New waterscapes. Planning, Building and Designing with Water*, Birkhäuser – Publishers for Architecture, Basel 2005.

⁶ Pęski Wojciech *Zarządzanie zrównoważonym rozwojem miast*, Wydawnictwo Arkady 1999, str. 32.

⁷ Przykładem takiej realizacji jest ekosystem wokół sztucznego jeziora w Greenwich Millenium Village w Londynie, gdzie pojawiły się nowe i rzadkie gatunki ptaków. Wg <http://www.gmvonline.com/GMVCW/index.php?section=greenIss&M=0>.

⁸ Schneider – Skalska Grażyna *Kształtowanie...*, op.cit., s. 72.

⁹ W swojej monografii Grażyna Schneider – Skalska opisuje badania naukowe udowadniające, że kontakt z elementami przyrody ma korzystny wpływ na fizyczne i psychiczne zdrowie człowieka niezależnie od kręgu kulturowego. Doświadczenia prowadzone przez różnych badaczy wykazały, że ich uczestnicy po zmęczeniu fizycznym bądź intelektualnym szybciej relaksowali się w kontakcie ze środowiskiem naturalnym niż zurbanizowanym. Wg Schneider Skalska Grażyna *Kształtowanie zdrowego środowiska mieszkaniowego*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2004.

¹⁰ Jagiełło-Kowalczyk Magdalena *Kształtowanie osiedli mieszkaniowych o charakterze ekologicznym*, praca doktorska pod kierunkiem Prof. zw. dr hab. inż. arch. Wacława Serugi, Politechnika Krakowska, Wydział Architektury 1998 r., s. 76.

¹¹ Wytyczne projektowe dotyczące równowagi społecznej i przyrodniczej w zespole mieszkaniowym BO01 to: zróżnicowanie typów zabudowy mieszkaniowej o różnorodnej formie własności, elastyczne mieszkania z dostępem do zieleni, ograniczenie ruchu kołowego, ogólnodostępne, rekreacyjne przestrzenie publiczne, pozyskiwanie 100% energii cieplnej zużywanej przez zespół mieszkaniowy wyłącznie z lokalnych odnawialnych źródeł (energia ze źródeł geotermalnych (85%) oraz kolektorów (15%)), pozyskiwanie energii elektrycznej z elektrowni wiatrowej oraz ogniw fotowoltaicznych, zastosowanie ekologicznych materiałów budowlanych, segregacja śmieci i recykling (przekształcanie odpadów organicznych na biogaz, kompostowanie śmieci), rekultywacja terenu, wprowadzanie terenów zielonych z gatunkami roślinności charakterystycznej dla Szwecji, umieszczanie na domach budek dla gniazdujących ptaków oraz tworzenie siedlisk dla nietoperzy.

¹² Materiały użyte w budynkach dobrano ze względu na ich walory termiczne (użycie betonu), długą żywotność i możliwości recyklingu (aluminium) itp. Drewno cedrowe zostało pozyskane z ekologicznego wyrębu i musiało posiadać odpowiednie certyfikaty pochodzenia. Postawiono na lokalnych dostawców, użyto wiele elementów prefabrykowanych oraz elementów pochodzących z odzysku. Umożliwiło to obniżenie kosztów budowy o ok. 30%, a także ograniczenie odpadów budowlanych o 50%.

¹³ CHP – Combined Heat and Power. System CHP generuje własną energię i ciepło lokalnie poprzez system kotłów gazowych, produkujących elektryczność i ciepło, które jest magazynowane w bojlerach i rozprowadzane przez wodę.

ŹRÓDŁA:

Schneider Skalska Grażyna *Kształtowanie zdrowego środowiska mieszkaniowego*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2004

Szponar Adolf *Fizjografia urbanistyczna*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003

Kosmala Marek „Ogrody deszczowe” czyli ogrody retencjonujące wody opadowe – moda czy konieczność”, W: *Woda w przestrzeni przyrodniczej i kulturowej*, Prace Komisji Krajobrazu Kulturowego PTG nr 2 pod redakcją Urszuli Mygi-Piątek, Komisja Krajobrazu Kulturowego PTG, Sosnowiec 2003

Grau Dieter, Dreiseitl Herbert *New waterscapes. Planning, Building and Designing with Water*, Birkhäuser – Publishers for Architecture, Basel 2005

Jagiello-Kowalczyk Magdalena *Kształtowanie osiedli mieszkaniowych o charakterze ekologicznym*, praca doktorska pod kierunkiem Prof. zw. dr hab. inż. arch. Wacława Serugi, Politechnika Krakowska, Wydział Architektury 1998

<http://www.gmvonline.com/>

Fotografie 1,2,3 – Elżbieta Kusińska

Fotografie 4,5 – Grażyna Schneider-Skalska

Lech LICHOLAI, dr hab. inż., prof. PRz.

Politechnika Rzeszowska
Zakład Budownictwa Ogólnego
ul. Wincentego Pola 2, 35-959 Rzeszów
e-mail: Lech.Licholai@prz.edu.pl

OKREŚLENIE ZALEŻNOŚCI POMIĘDZY PARAMETRAMI KLIMATU ZEWNĘTRZNEGO A PRZEPŁYWEM STRUMIENIA CIEPŁA W PASYWNYCH SYSTEMACH OGRZEWANIA SŁONECZNEGO

STRESZCZENIE

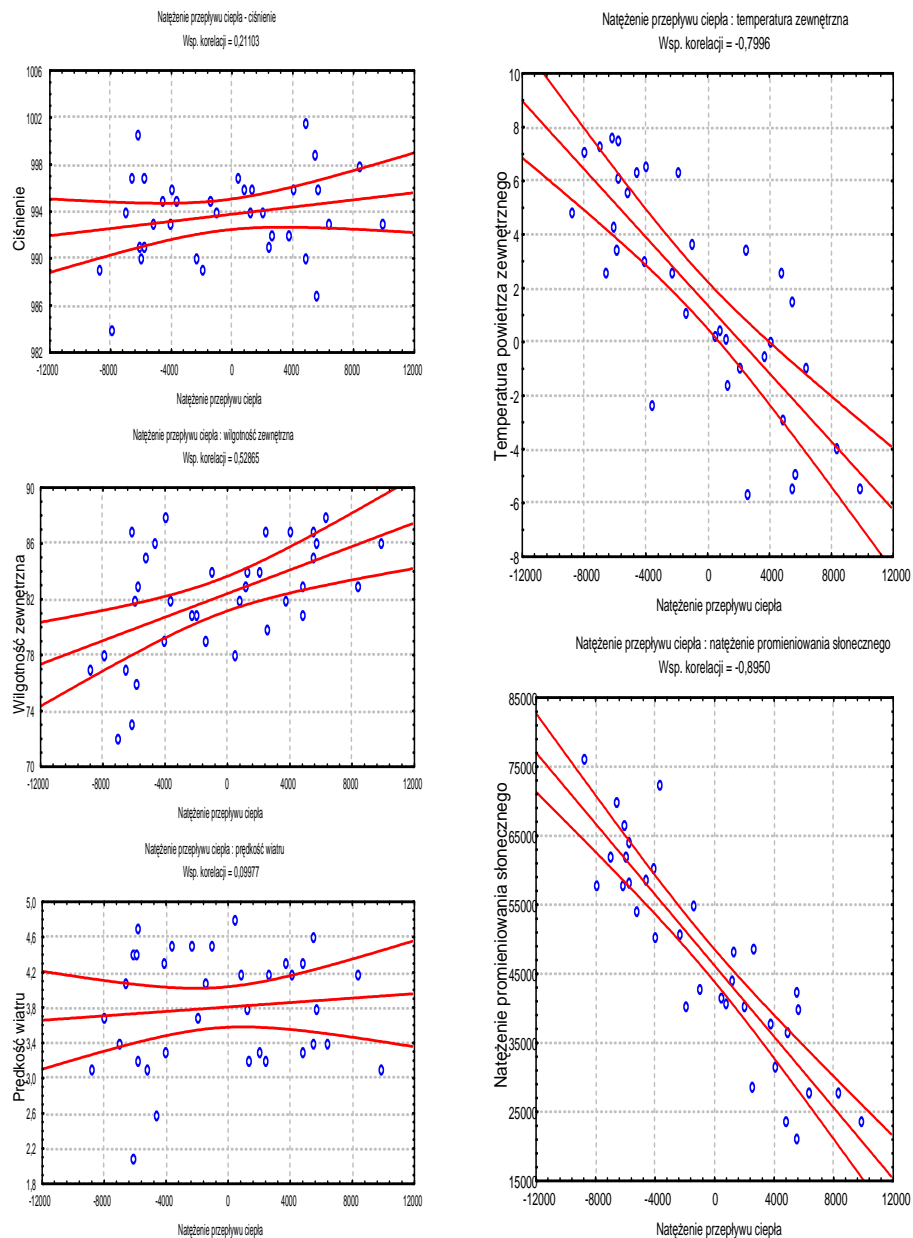
W referacie przedstawiono zależności pomiędzy parametrami klimatu zewnętrznego a natężeniem przepływu ciepła przez przegrody budowlane wyposażone w pasywne systemy ogrzewania słonecznego. Analizie poddano następujące parametry klimatu zewnętrznego: temperatura powietrza zewnętrznego, natężenie promieniowania słonecznego, prędkość wiatru oraz ciśnienie i wilgotność powietrza. Wyniki przedstawiono na podstawie badań doświadczalnych w postaci graficznej oraz jako współczynniki korelacji.

1. WPROWADZENIE

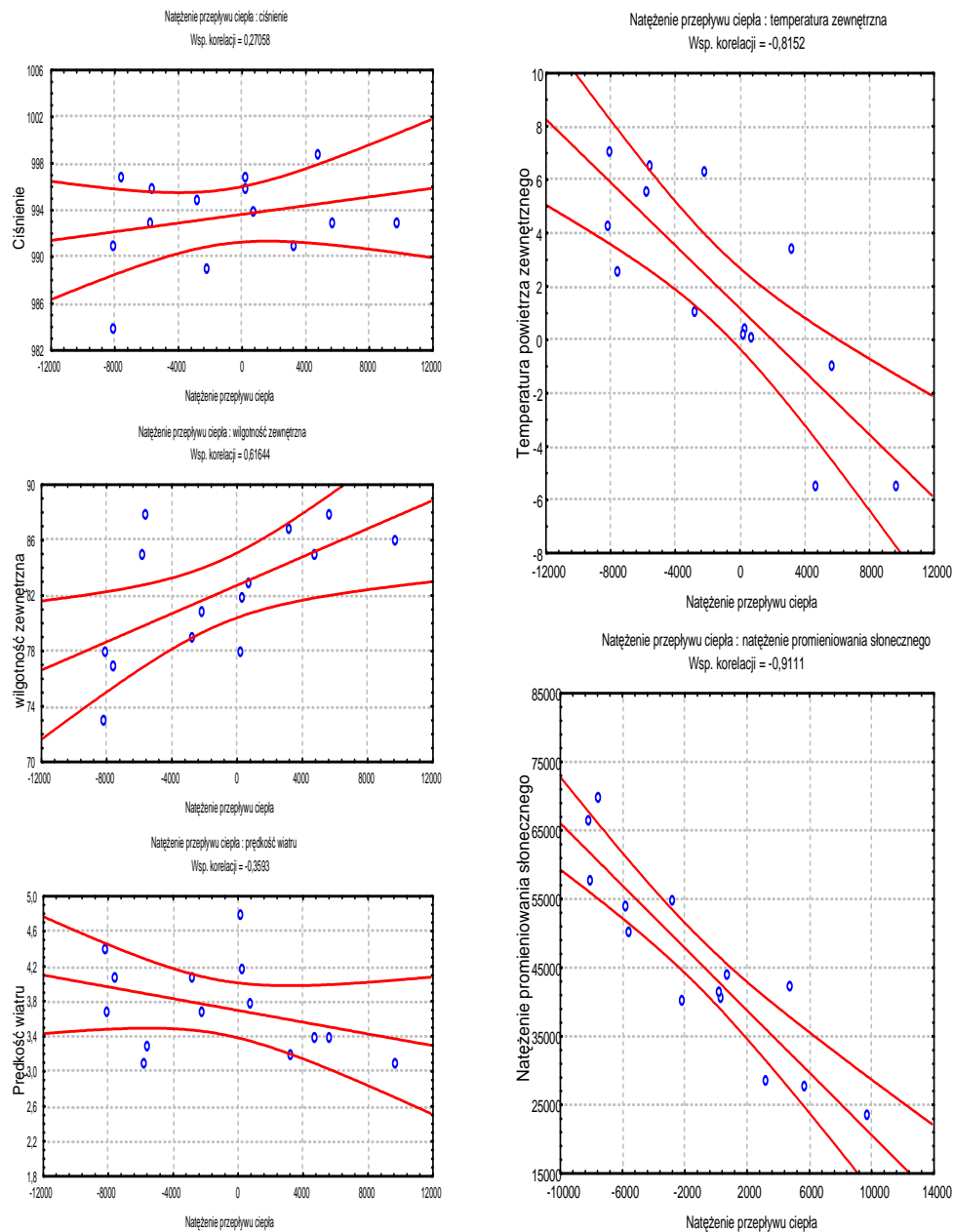
Badania prowadzono w dwóch identycznych, zewnętrznych komorach klimatycznych, różniących się południowymi przegrodami (rys. 3). Komora pierwsza wyposażona jest w przegrodę kolektorowo-akumulacyjną (PKA) natomiast do południowej elewacji drugiej komory domontowano przybudówkę szklaną (PSZ).

2. WYNIKI BADAŃ

Dla określenia zależności pomiędzy parametrami klimatycznymi a funkcjonowaniem cieplnym pasywnych systemów ogrzewania słonecznego przeprowadzono obliczenia korelacyjne wraz z podaniem współczynników korelacji. Zależności korelacyjne przedstawiono na rys. 1 i 2, a współczynniki korelacji w tabeli 1.



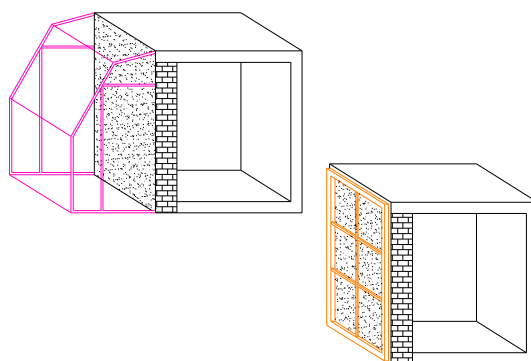
Rys.1. Korelacje: natężenie przepływu ciepła przez ścianę południową w przegrodzie kolektorowo-akumulacyjnej (PKA) - parametry klimatu zewnętrznego
Fig.1. Correlations: heat flow through the south wall in thermal storage wall - parameters of the external climate



Rys. 2. Korelacje: natężenie przepływu ciepła przez ścianę południową w przybudówce szklanej (PSZ) - parametry klimatu zewnętrznego
 Fig.2. Correlations: heat flow through the south wall in attached sunspace - parameters of the external climate

Tabela. 1. Zestawienie współczynników korelacji
Table 1. List of correlation coefficients

	PKA	PSZ
Promieniowanie słoneczne	-0.8950	-0.9111
Temperatura zewnętrzna	-0.7996	-0.8152
Wiatr	0.0998	-0.3593
Wilgotność zewnętrzna	0.5287	0.6164
Ciśnienie	0.2110	0.2706



Rys. 3. Komory badawcze do testowania pasywnych systemów ogrzewania słonecznego
Fig. 3. External chambers for testing of passive solar systems

3. PODSUMOWANIE

Z badań wynika, że spośród parametrów klimatu zewnętrznego największy wpływ na przepływ strumienia ciepła przez przegrody budowlane wyposażone w pasywne systemy ogrzewania słonecznego mają: natężenie promieniowania słonecznego i temperatura powietrza zewnętrznego. Świadczą o tym istotne wartości współczynników korelacji. Również inne parametry mają swoje udziały w cieplnej pracy pasywnych systemów ogrzewania słonecznego.

DETERMINATION OF THE CORRELATION BETWEEN PARAMETERS OF THE EXTERNAL CLIMATE AND THE FLOW OF THE HEAT STREAM IN PASSIVE SOLAR SYSTEMS

SUMMARY

The paper describes correlations between parameters of the external climate and the intensity of the heat flow, appointed experimentally for walls with passive solar systems. The analysis is made for the following parameters of the external climate: the temperature of the external air, the intensity of the solar radiation, the speed of the wind and the pressure and the atmospheric humidity. The results were showed in the graphic forms and as the coefficients of correlation.

