

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

Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, Oddział Poznań  
m.gedymmin@itep.edu.pl

## MOŻLIWOŚCI ODZYSKIWANIA ENERGII CIEPLNEJ W PROCESIE DOJU KRÓW

### STRESZCZENIE

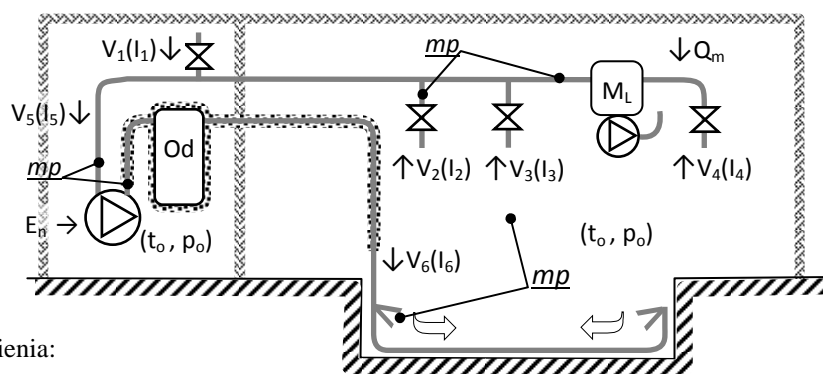
Przeprowadzono badania nad możliwością wykorzystania energii cieplnej zawartej w wydmuchiwanym powietrzu z pompy próżniowej dojarki do ogrzewania hali udojowej. Ze względu na małą moc cieplną (1,8 kW) ograniczono nadmuchiwanie tylko do kanału dla obsługi dojarni. Dzięki dodatkowym filtrom w dostarczonym powietrzu nie stwierdzono śladów oleju.

### 1. WSTĘP

Celem niniejszego opracowania jest wskazanie możliwości wykorzystania odpadowego ciepła wytwarzanego w pompie próżniowej podczas doju krów. Ze względu na instalację wodociągową dojarki mechaniczne powinny znajdować się w odrębnych pomieszczeniach w których temperatura nie powinna spadać poniżej 0°C. Także w pomieszczeniu dla pomp próżniowych ze względu na gęstnienie oleju do smarowania i pogorszenie warunków rozruchu powinno być możliwie ciepło. W zależności od rodzaju materiałów budowlanych użytych do budowy tych pomieszczeń oraz od usytuowania, ogrzewanie tych pomieszczeń ciepłem emitowanym z obory może być nie wystarczające, a więc może być potrzebna dodatkowa instalacja grzewcza zapewniająca temperaturę powyżej 0°C. Ponadto aby zapewnić odpowiednie warunki pracy dojarzom temperatura w miejscu ich pracy w czasie doju nie powinna być mniejsza niż 15°C. Wynika stąd zalecenie, żeby w okresie chłódów w halach udojowych zastosować dodatkowe ogrzewanie – najlepiej w formie nadmuchu ciepłego powietrza na kanał, co ograniczy maksymalnie jego koszty. Dobrym źródłem ciepła, dotychczas niedocenianym, jest pompa próżniowa, która sprężając politropowo powietrze podgrzewa je. Próby rolniczego wykorzystania tego ciepła (ogrzewanie szklarni) podjęto w Czechosłowacji, ale w tym wypadku ciepło pochodziło od sprężarek przetłaczających gaz ziemny w gazociągach [1]. Należy tu wyraźnie zaznaczyć, że wyżej wymienione urządzenia zasadniczo różnią się od coraz powszechniejszych pomp ciepła w których

to dodatkowo występuje skraplanie i odparowywanie czynnika radykalnie poprawiające ich sprawność [3]. Trzeba też pamiętać, że podstawowe źródło zapotrzebowania na ciepło w oborze krów mlecznych to ogrzewanie wody do mycia instalacji dojarki, przy czym ewentualnemu wykorzystaniu ciepła wydojonego mleka za pomocą wymienników musi towarzyszyć inne źródło ciepła np. grzałka elektryczna. Według Stinsona [5] ciepło zawarte w mleku wystarcza do podgrzania tą metodą przewidywanej ilości wody do mycia do temperatury  $25 \div 30^\circ\text{C}$  (przy wymaganej obecnie  $70^\circ\text{C}$  – gdy stosuje się środki dezynfekcyjno-myjące lub  $85^\circ\text{C}$  – bez stosowania tych środków) tzn. można w ten sposób dostarczyć nie więcej niż 40 - 50% wymaganej ilości ciepła.

## 2. OBIEKT BADAŃ I METODYKA



objaśnienia:

✕ dławienie strumienia powietrza    ⦿ pompa    [---] izolacja cieplna

Od – oddzielacz,  $M_L$  – oddzielnik mleka, mp - miejsca pomiarów

$t_o$  - temp. otoczenia,  $p_o$  - ciśnienie atm., V - strumienie powietrza wpływające przez:  $V_1$  - regulator podciśnienia,  $V_2$  - pulsatory,  $V_3$  - siłowniki,  $V_4$  - kolektory i kubki udojowe;  $V_5$ ,  $V_6$  - łączny strumień przepływający przez pompy; I - entalpie poszczególnych strumieni powietrza;  $E_n$  - moc elektryczna,  $Q_m$  - strumień ciepła od wydojonego mleka.

*Rys.1. Schemat przepływów powietrza i ciepła w instalacji dojarki*

*Fig.1. Scheme of air and heat flows in installation of milking machine*

W przebudowanej oborze dla 50 krów mlecznych w ITP Falenty oddział Poznań wykonano doświadczalną instalację dogrzewającą kanał w hali udojowej. Schemat tej instalacji przedstawiono na rys. 1, zestawienie parametrów (nominalnych, wg założeń projektowych) w tab. 1. Przedmiotem badań były wielkości strumieni powietrza przepływających przez instalację dojarki (w czasie doju), ich temperatury i ciśnienia. Ponieważ aparaty udojowe, siłowniki pracują tylko przez pewien okres cyklu doju i wymiany stawki krów, dlatego dla uproszczenia przeliczono chwilowe strumienie powietrza na średnie w okresie całego doju. Takie uproszczenie jest uzasadnione tym bardziej, że istotna jest pojemność i przewodność cieplna rurociągów, która bardzo mocno tłumi wszelkie zmiany temperatury wynikające z okresowo zmiennej ilości rozprężanego powietrza wpuszczanego przez wspomniane elementy instalacji. Dlatego dla sporządzenia bilansu strumieni ciepła pogrupowano strumienie powietrza według podobnej entalpii. Z rys. 1 wynika, że tylko

strumień  $V_4$  w miejscu połączenia z innymi strumieniami ma większą entalpię właściwą gdyż pobiera pewną ilość ciepła  $Q_m$  zawartego w świeżo wydojonym mleku. Bilans strumieni entalpii w instalacji dojarki:

$$I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + \Delta I = I_6 \quad (1)$$

gdzie  $I_{1,2,3}$  – entalpie strumieni powietrza w rurociągu podciśnienia,  $I_4$  – entalpia strumienia powietrza w rurociągu mlecznym,  $\Delta I$  = przyrost entalpii wskutek sprężania w pompie próżniowej,  $I_6$  – entalpia strumienia powietrza wydmuchiwanego z pompy.

Strumień powietrza  $V_N$  zasysany przez pompę – odniesiony do warunków normalnych i uśredniony w ramach 1 cyklu doju (8 krów):

$$V_N = V_1 + V_2(f/F) + V_3/F + V_4(f/F) \quad (2)$$

gdzie  $f, F$  – czasy operacyjne doju,  $V_{1,2,3,4}$  strumienie powietrza (rys. 1)

Pomiary wykonano przy pomocy przepływomierza AFM 3000 z dokładnością  $\pm 10$  l/min, watomierza kl. 1,6 oraz termometrów kl. 0,5.

Tab.1. Nominalne parametry dojarni 2x4 „rybia ość” w ITP Poznań

Tab.1. Nominal parameters of milking parlour of 2x4 "fish bone" type in ITP Poznań

Nazwa parametru	wielkość	dane wg:
moc pompy	3 kW	producenta
podciśnienie robocze	42 kPa	użytkownika
wydajność pompy przy podciśnieniu 50 kPa ( $V_{N-0}$ )	1200 l/min	producenta
napływ powietrza do regulatora ( $V_1$ )	minimum 200 l/min	ISO 5707
napływ powietrza do pulsatorów ( $V_2$ )	80 l/min	ISO 5707
napływ powietrza do siłowników ( $V_3$ )	85 l/cykl	wymiarów
napływ powietrza do rurociągu mlecznego ( $V_4$ )	maksimum 122 l/min	ISO 5707

### 3. WYNIKI POMIARÓW

Wyniki pomiarów przedstawiono w tab. 2 i na wykresie rys. 2. Uzyskano podwyższenie temperatury w dojarni w stosunku do panującej na zewnątrz obory o maksymalnie 7°K. Ze względu między innymi na małą wydajność krów podgrzanie strumienia powietrza  $V_4$  było minimalne – nie więcej niż o 2°K. Zastosowany odolejacz całkowicie oczyszczał powietrze z oleju DeLaval – nie stwierdzono jakichkolwiek plam na bibule kontrolnej umieszczonej u wylotu przewodu w kanale udojowym ani innego zapachu powietrza. Korzystając ze wzorów i tablic [4, 2] na podstawie danych w tab. 2 obliczono wykładniki politropy  $n$  oraz strumień ciepła  $Q$  wdmuchiwany do kanału w hali udojowej:

$$\frac{p_1}{p_2} = \left[ \frac{T_2}{T_1} \right]^{\frac{n}{n-1}} \quad (3)$$

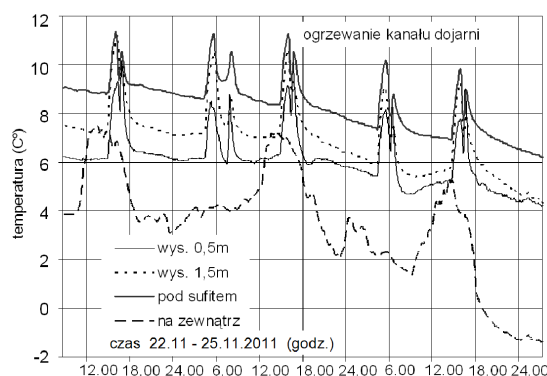
gdzie  $p_1$  i  $p_2$  – ciśnienie bezwzględne początkowe i końcowe [kPa],  $T_1$  i  $T_2$  – temperatura bezwzględna początkowa i końcowa [°K]. Po podstawieniu  $p_1 = 58$  kPa,  $p_2 = 103$  kPa,  $T_1 = 280^\circ\text{K}$ ,  $T_2 = 331^\circ\text{K}$  a następnie odpowiednio  $286^\circ\text{K}$  i  $338^\circ\text{K}$  uzyskano  $n = 1,4112$  i  $1,4102$ . Strumień ciepła dostarczany z wydmuchiwanym powietrzem obliczono ze wzoru:  $Q = V_N \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta t$  gdzie  $\rho$  – gęstość powietrza,  $c_p$  – ciepło właściwe powietrza przy stałym ciśnie-

niu,. Po podstawieniu  $\rho = 1,164 \text{ kg/m}^3$  (dla  $20^\circ\text{C}$ ),  $c_p = 1,013 \text{ kJ/kg}\cdot^\circ\text{K}$  (dla  $20^\circ\text{C}$ ), różnic temperatur  $\Delta t = 51$  i  $52^\circ\text{K}$  otrzymano  $Q = 1614$  i  $1645 \text{ W}$ . Strumień ciepła pochodzący od mleka jaki mógłby teoretycznie ogrzać powietrze w instalacji dojarki:  $Q_m = M/F \cdot \rho_m \cdot c_m \cdot \Delta t_m$

Tab.2. Wyniki pomiarów instalacji dojarki

Tab.2. Measurement results of installation milking machine

Nazwa mierzonego parametru	wielkość – po 5 min	– po 30 min.
moc czynna pobierana przez silnik pompy ( $E_n$ )	3,2 kW	3,1 kW
Wydażność pompy przy podciśnieniu 50 kPa ( $V_{N-0}$ )	1300 l/min	- po 15 min
Wydażność pompy przy podciśnieniu 42 kPa ( $V_N$ )	1610 l/min	(odrębny test)
nadciśnienie w przewodzie wyd. przed odolejaczem ( $p_6$ )	3 kPa	3 kPa
temperatura w hali ( $t_0$ )	$7^\circ\text{C}$	$13^\circ\text{C}$
temperatura powietrza w rurociągu mlecznym ( $t_4$ )	$21^\circ\text{C}$	$29^\circ\text{C}$
temperatura mleka w odbieraczu ( $t_m$ )	$27^\circ\text{C}$	$30^\circ\text{C}$
temperatura powietrza w rurociągu za pulsatorami ( $t_2$ )	$7^\circ\text{C}$	$28^\circ\text{C}$
temperatura powietrza w rurociągu przed pompą ( $t_5$ )	$7^\circ\text{C}$	$28^\circ\text{C}$
temperatura powietrza w rurociągu za pompą ( $t_6$ )	$58^\circ\text{C}$	$65^\circ\text{C}$
średni czas doju 8 krów – spływu mleka ( $f$ )	11 min	
średni czas 1 cyklu doju i wymiany 8 krów ( $F$ )	15 min	
średni udój mleka 1 cyklu ( $M$ )	60 l	
średni dobowy czas pracy pompy próżniowej	5 h	



Rys. 2. Rozkład i przebieg temperatur w dojarni przy zastosowaniu ogrzewania ciepłym powietrzem

Fig. 2. Distribution and course of the temperature in the milking parlor, using hot air heating

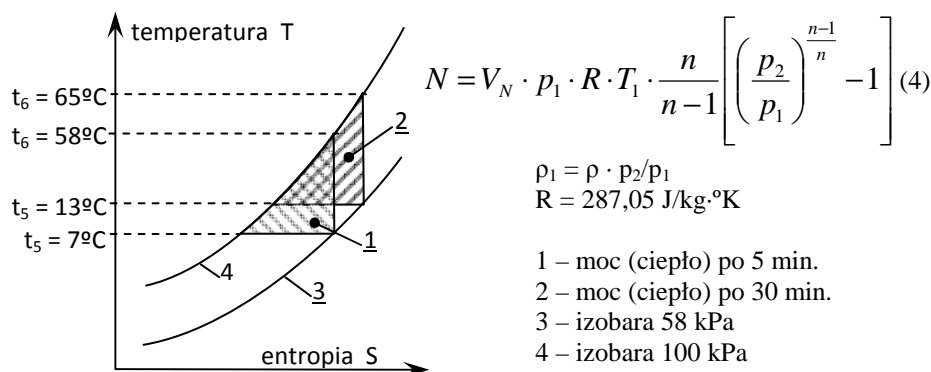
gdzie  $\rho_m$  – gęstość mleka,  $c_m$  – ciepło właściwe mleka,  $\Delta t_m = 36^\circ\text{C} - t_m$  (maksym. dostępna różnica temperatur);  $M$ ,  $F$ ,  $f$  – tab.2. Po podstawieniu  $\rho_m = 1031 \text{ kg/m}^3$ ,  $c_m = 4,19 \text{ kJ/kg}\cdot^\circ\text{K}$ ,  $\Delta t_m = 9^\circ\text{K}$  lub  $6^\circ\text{K}$  otrzymano  $Q_m = 2592 \text{ W}$  lub  $1728 \text{ W}$ . Biorąc jednak pod uwagę maksymalny strumień powietrza w rurociągu mlecznym  $V_4 \cdot (f/F)$  i zaobserwowaną różnicę temperatur  $36^\circ - t_4$  (tab.1 i 2) możliwe jest tylko pozyskanie ciepła nie większego niż  $Q_p = 24,6 \text{ W}$  lub  $28,1 \text{ W}$  (wartości fizyczne powietrza jak wyżej).

#### 4. OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

Z pomiarów temperatury powietrza wewnątrz rurociągów wynika, że nie różni się ona istotnie od otoczenia, mimo iż powietrze uległo znacznemu rozprężeniu. Tę przemianę bardzo zbliżoną do izotermicznej należy tłumaczyć tym, że prawie cała energia kinetyczna



jaka wyzwoliła się w gazie podczas rozprężania zamieniła się w ciepło tarcia wewnętrznego (zjawisko Joule - Thomsona). Zarówno teoretyczne obliczenia jak i pomiary wykazały bardzo znikomy wpływ ciepła świeżo wydojonego mleka na temperaturę powietrza wewnątrz instalacji dojarki. Można więc pomijać w obliczeniach ten strumień ciepła – błąd tego przybliżenia będzie mniejszy niż 2%. Znacznie większy strumień ciepła ucieka przez ścianki aparatów udojowych oraz rurociągów mlecznych wpływając na temperaturę w hali udojowej w większym stopniu niż nadmuch gorącego powietrza z pompy próżniowej. Obliczenia wartości wykładnika politropy wskazały, że jest on większy o 0,0112 do 0,0102 od wykładnika adiabaty (1,40) co wskazuje na niewielki dodatkowy dopływ ciepła podczas sprężania w pompie próżniowej. Jest łatwe do wytłumaczenia, jeśli weźmie się pod uwagę tarcie łopatek wirnika o korpus pompy o raz niewątpliwe silne turbulencje występujące wewnątrz pompy wskutek nadmiernego sprężu (układ otworów wlotowego i wylotowego w korpusie pompy został zaprojektowany dla różnicy ciśnień 50 kPa). Porównanie wyników pomiaru mocy czynnej pobieranej przez silnik elektryczny pompy z obliczeniami strumienia ciepła w wydmuchiwym powietrzu ukazały małą sprawność cieplną pompy próżniowej (COP), która wyniosła 55 - 58% pobranej mocy. Na schematycznym wykresie (rys.3) zobrazowano przemiany termodynamiczne powietrza w instalacji badanej dojarki.



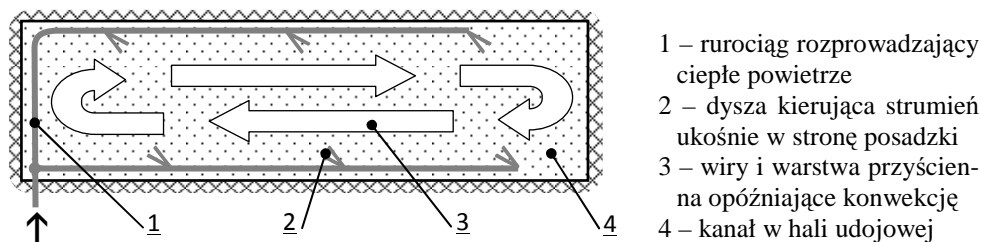
Rys.3. Przemiany termodynamiczne w instalacji dojarki

Fig.3. Thermodynamical conversions in installation of milking machine

Moc obiegu sprężania - pole 1 i 2 (rys.3) wyznaczona jest linią napływu powietrza do instalacji dojarki - izentalpą rozprężania poprzez dławienie (w praktyce izotermą) odbywającego się poza pompą próżniową, linią sprężania izentropowego (w praktyce adiabatą) i linią chłodzenia izobarycznego. Dla porównania w typowym obiegu pompy ciepłej występuje dodatkowo skraplanie czynnika podczas izobarycznego chłodzenia (co daje dodatkowe ciepło przemiany fazowej), izochoryczne obniżenie ciśnienia cieczy, a następnie izobaryczne odparowanie i dalej sprężanie. Po zsumowaniu ciepła sprężania politropowego i przemiany stanu skupienia ciecz-gaz widzimy, dlaczego pompa ciepła dostarcza więcej ciepła niż zużywa energii jej silnik (różnica to oczywiście ciepło pobrane ze źródła dolnego).

Aby lepiej wykorzystać zbyt mały, w porównaniu z zapotrzebowaniem, strumień ciepłego powietrza do ogrzewania hali udojowej, przygotowano skośny nadmuch na posadzkę ka-

nału, to jest tam gdzie przebywa obsługa (rys.4). Powstające wiry i warstwa przyścienna powinny hamować konwekcyjne unoszenie się ciepłego powietrza w kierunku sufitu i wentylatorów. Jednak w praktyce pionowej konwekcji nie da się uniknąć i różnice temperatur będą zawsze występowały (rys. 2).



Rys.4. Zalecany sposób rozprowadzenia ciepłego powietrza w kanale hali udojowej

Fig.4. Recommended way of warm air distributing in pit of milking parlour

## 5. WNIOSKI

1. Ogrzane powietrze do temperatury 60 - 70°C jest bardzo dobrym i wygodnym czynnikiem grzewczym, daje się łatwo rozprowadzić do wybranych miejsc;
2. Pompa próżniowa jest bardzo niedoskonałą pompą ciepła, ma za małą moc aby skutecznie ogrzać halę udojową w okresie mrozów, możliwe jest jednak ogrzewanie samego kanału w którym pracują dojarze,
3. Firmy produkujące oleje do smarowania pomp nie atestują ich pod kątem nieszkodliwości par oleju dla ludzi i zwierząt – konieczne są dalsze badania lub zastosowanie wymienników ciepła, które na pewno podniosą koszty instalacji.

## 6. LITERATURA

- [1] Adamovski R.; Nove technologie vyuziti odpadního tepla z kompresních stanic tranzitního plynovodu. Zemedelska Technika, 1987 nr 6 (33), s.381-384,
- [2] Hobler T.; Ruch ciepła i wymienniki, PWN Warszawa 1986
- [3] Górski J. Rabczak S.; Ocena sprawności egzergetycznej wybranych czynników chłodniczych pod kątem zastosowania w pompach ciepła. Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej 2006 z.40(229), s.173-184
- [4] Ochęduszek S. Szargut J. Górniak H. Guzik A. Wilk S.; Zbiór zadań z termodynamiki technicznej, PWN Warszawa 1970
- [5] Stinson G.E., Studman C.J., Warburton D.J.; A dairy refrigeration heat recovery unit and its effects on refrigeration operation. Journal Agricultural Engineering Research. 1987. Vol.36, nr 4, s.275-285,

## THE HEAT ENERGY REGAINING IN MILKING COWS PROCESS

### SUMMARY

The investigation into possibility of utilization the thermal energy contained in the air blowing from milker vacuum pump to heat milking hall, was executed. Because of the low thermal power (1,6 kW) demister was only reduced to pit for milker operators. Thanks to additional filters there was no traces of oil found in delivered air.

Iwona GIL, dr inż.  
Marek BIENIECKI, mgr inż.  
Piotr A. MOCEK, dr inż.

Główny Instytut Górnictwa  
Zakład Oszczędności Energii i Ochrony Powietrza  
Plac Gwarków1, 40-166 Katowice  
e-mail: igil@gig.eu

## **METODA GODZINOWEGO PODZIAŁU ROCZNEGO ZAPOTRZEBOWANIA NA CIEPŁO GRZEWcze W CELU EFEKTYWNEGO WYKORZYSTANIA ENERGII SŁONECZNEJ**

### **STRESZCZENIE**

Celem publikacji jest zaprezentowanie własnej metody rozdziału rocznego zapotrzebowania na ciepło grzewcze w układzie godzinowym. W artykule przedstawiono opis stosowanej metody, główne założenia oraz możliwości jej wykorzystania w systemach grzewczych zintegrowanych z kolektorami słonecznymi. Przedstawiono wyniki obliczeń dla referencyjnego budynku jednorodzinnego o kubaturze ogrzewalnej 436 m<sup>3</sup>. Rezultaty obliczeń godzinowego zapotrzebowania na ciepło grzewcze zestawiono z godzinowym uzyskiem energii słonecznej. Opisana metoda może znaleźć zastosowanie w „szybkich” aplikacjach do współpracy z lokalnymi danymi meteorologicznymi lub instalacją automatyki budynkowej.

### **1. WPROWADZENIE**

Przedstawiona metoda obliczania godzinowego zapotrzebowania na ciepło charakteryzuje się krótkim czasem oczekiwania na wynik. Stanowi ona przeciwieństwo wielu metod dynamicznego bilansowania budynków [1] - [3], które cechują się znaczną złożonością obliczeniową i stosunkowo długim czasem oczekiwania na uzyskane rezultaty obliczeń. Konieczność numerycznego całkowania równań różniczkowych w tych metodach znacznie ogranicza zastosowanie ich w popularnych aplikacjach symulujących dobowe zmiany zapotrzebowania na ciepło.

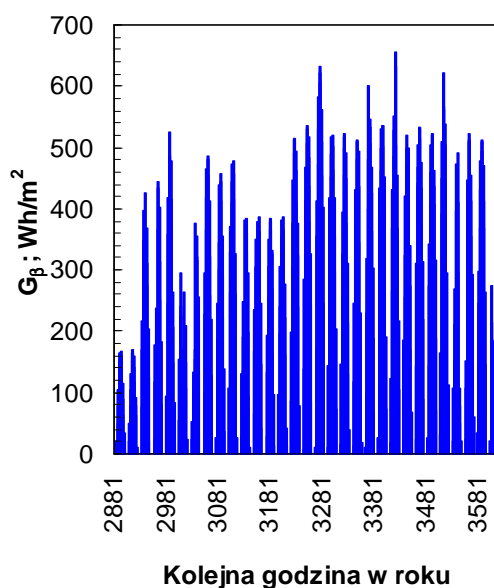
Stosowanie analizy godzinowej umożliwia wyznaczenie zapotrzebowania na ciepło grzewcze dla rzeczywistych warunków pogodowych i maksymalizowane wykorzystanie energii ze źródeł odnawialnych.

Metoda godzinowa znajduje zastosowanie w analizie możliwości wykorzystania odnawialnych źródeł energii w systemach grzewczych. W tym zarówno dla odbiorcy indywidualnego jak i grupy odbiorców w charakterystycznych warunkach terenowych i pogodowych (usytuowanie względem stron świata i stacji meteorologicznej). W publikacji przedstawione zostały rezultaty jej stosowania na przykładzie budynku jednorodzinnego.

## 2. PROCEDURA DOBORU OZE W WARUNKACH GODZINOWEJ ZMIENNOŚCI PARAMETRÓW POGODOWYCH

Prawidłowy dobór urządzeń odnawialnych źródeł energii (OZE) powinien opierać się o bilans energii budynku. Niezbędne jest, zatem zestawienie zapotrzebowania na ciepło grzewcze z energią pozyskaną z danego źródła odnawialnego. Jedną z metod opiera się na bilansie godzinowym i taką opisano w publikacji. Zmienność czasowa nasłonecznienia czy strumienia powietrznego narzuca konieczność uwzględniania ich niestabilności w metodologii obliczeniowej. Przykładowy przebieg gęstości strumienia promieniowania słonecznego dla Katowic widoczny jest na rys. 1.

Przez *preferencje użytkownika* rozumie się wartości temperatur wewnętrznych zapewniających obok wilgotności powietrza wewnętrznego, komfort cieplny. Zestawienie godzinowego zapotrzebowania na ciepło grzewcze i np.: natężenia promieniowania słonecznego obrazuje potencjał (tego) odnawialnego źródła energii dla uzyskania komfortu cieplnego użytkownika (w budynku jednorodzinnym lub wielorodzinnym).



Rys. 1. Całkowita gęstość strumienia promieniowania słonecznego  $G_{\beta}$  w Katowicach w maju

Fig. 1. The total solar radiation flux density  $G_{\beta}$  in Katowice in May

Procedura obliczania godzinowego zapotrzebowania na ciepło grzewcze opisana jest w normie PN-EN ISO 13790 [1]. Norma podaje tok obliczeń przy użyciu godzinowych rozkładów m.in.: zadanej temperatury, trybu wentylacji, rozkładów użytkowania ruchomych zasłon słonecznych, itd. Należy jednak pamiętać o jej słabych stronach. Wyniki uzyskane tą metodą [1] dla poszczególnych godzin nie były walidowane w warunkach krajowych, a poszczególne, uzyskane wartości godzinowe charakteryzują się znacznym błędem względnym [1]. Błędy są popełniane również w trakcie obliczeń przenoszenia ciepła przez przenikanie (wymaga to skorzystania z normy ISO 13789 [5]) i współczynnika przenikania ciepła przez grunt wg normy ISO 13370 [6], które uwzględniają miesięczne dane meteorologiczne. Dodatkowo zależności pozwalające określić współczynniki wnikania ciepła obarczone są błędem względnym wynoszącym 10÷25 %. Norma PN-EN ISO 13790 [1] podaje, że wyniki uzyskane w oparciu o godzinową metodę w niej opisaną, mogą być traktowane tylko jako ilustracyjne. Aby ją wykorzystać oprócz danych geometrycznych i fizykochemicznych o budynkach, należy posiadać również szczegółowe informacje m.in. na temat: urządzeń AGD RTV i oświetlenia, ich mocy, rozmieszczenia i czasu ich użytkowania. Nie zawsze istnieje dostęp do tak szczegółowych informacji. Z tego powodu metoda przedstawiona w publikacji jest alternatywą określania godzinowego zapotrzebowania na ciepło do celów grzewczych. W metodzie tej wykorzystywane są następujące dane wejściowe:

- a) dane pomiarowe dotyczące zużycia energii w poprzednich sezonach grzewczych (jeżeli istnieją), lub obliczeniowe zapotrzebowanie na ogrzewanie,  $Q_{K,H,cal}$ , liczone dla całego roku [7],
- b) położenie geograficzne budynku, potrzebne, by ustalić najbliższą stację meteorologiczną i przypisać wartości temperatury zewnętrznej termometru suchego w °C dla każdej godziny roku,
- c) kubatura części ogrzewanej,  $V_{ogr, cal}$ , m<sup>3</sup>,
- d) kubatury pomieszczeń o różnych przyjętych temperaturach projektowych,  $V_{ogr,i}$ , m<sup>3</sup>
- e) temperatury wewnętrzne określone preferencjami użytkownika dla wszystkich rodzajów pomieszczeń, dla dni świątecznych i roboczych,
- f) czas utrzymywania wybranych temperatur w poszczególnych pomieszczeniach (opisanych w pkt. e),
- g) wartość „granicznej” temperatury zewnętrznej poniżej której należy włączyć ogrzewanie.

Temperatura graniczna jest bezpośrednio związana z klasą energochłonności budynku. Można przyjąć, iż jest ona odwrotnie proporcjonalna do jego energochłonności. Temperatury wewnętrzne, o których mowa w pkt. e) i f) są odzwierciedleniem preferencji użytkownika i tworzą tzw. *krzywą komfortu cieplnego*.

W celu omówienia procedury godzinowego zapotrzebowania na ciepło proponuje się wprowadzenie następujących parametrów:

- a) udziały objętościowe k- tych kubatur ogrzewanych o jednakowej temperaturze projektowej

$$z_k = \frac{V_{k,Tk}}{V_{ogr,cal}}, \quad (1)$$

gdzie:

k – kolejna kubatura o jednakowej wymaganej temperaturze wewnętrznej,

- b) liczba stopniogodzin  $S_{gi}$  dla każdego pomieszczenia o różnej wymaganej temperaturze wewnętrznej. Z uwzględnieniem preferencji użytkownika dla sezonu grzewczego trwającego od 15 września do 15 maja, (liczone dla celów porównawczych),
- c) liczba stopniogodzin  $S_{gi}$  każdego pomieszczenia o różnej wymaganej temperaturze wewnętrznej, uwzględniając preferencje użytkownika dla sezonu grzewczego liczonego dla dni o temperaturze niższej od temperatury granicznej  $\theta_{gr}$ ,
- d) liczba stopniogodzin dla całego roku, dla każdego z pomieszczeń o k-tej temperaturze wewnętrznej

$$S_{gk,cal} = \sum_{i=1}^{8760} S_{gki}, \quad (2)$$

gdzie:

i – kolejna godzina roku,

- e) stopniogodziny ogrzewania dla całego budynku, po pomieszczeniach

$$S_g = \sum_k z_k \cdot S_{gk,cal}, \quad (3)$$

- f) zapotrzebowanie na energię końcową do celów grzewczych dla każdej godziny roku dla k-tej kubatury ogrzewanej

$$Q_{K,H,i} = \frac{Q_{K,H,cal}}{S_g}, \quad (4)$$

- g) zapotrzebowanie na energię użyteczną do celów grzewczych dla każdej godziny roku, dla k-tej kubatury ogrzewanej

$$Q_{H,nd,i} = \frac{Q_{K,H,cal} \cdot \eta_{tot}}{S_g}. \quad (5)$$

gdzie:

$\eta_{tot}$  – średnia sezonowa sprawność całkowita systemu grzewczego liczona zgodnie z Rozporządzeniem [7] jako:

$$\eta_{tot} = \eta_g \cdot \eta_s \cdot \eta_e \cdot \eta_d \quad (6)$$

gdzie:

$\eta_g$  – średnia sezonowa sprawność wytwarzania nośnika ciepła z energii dostarczonej do granicy bilansowej budynku,

$\eta_s$  – średnia sezonowa sprawność akumulacji w elementach pojemnościowych systemu grzewczego budynku,

$\eta_e$  – średnia sezonowa sprawność regulacji i wykorzystania ciepła w budynku,

$\eta_d$  – średnia sezonowa sprawność transportu nośnika ciepła w obrębie budynku.

Opisana procedura stosuje jako dane wejściowe rezultaty pomiarów meteorologicznych dla lokalizacji budynku oraz wyniki obliczeń (pomiarów) zapotrzebowania na energię końcową do celów grzewczych ( $Q_{K,H}$ ). Jako wartość zadaną przyjmuje się wymagania komfortu cieplnego w poszczególnych pomieszczeniach budynku. Zamiast danych meteorologicznych możliwe jest również uwzględnianie danych pomiarowych pochodzących z systemu monitorowania danych pogodowych w budynku.

### 3. METODYKA OKREŚLANIA TEMPERATURY GRANICZNEJ $\theta_{GR}$

Temperatura graniczna wspomniana w powyższej procedurze może być wyznaczona w oparciu o bilans energii dla budynku, dla kroku czasowego równego 1 h. Bilans zgodnie z metodologią opisaną w Rozporządzeniu [7] uwzględnia zyski solarne i wewnętrzne

$$Q_{K,H} + \eta \cdot (Q_{int} + Q_{sol}) = Q_{tr} + Q_{ve}, \quad Wh \quad (7)$$

gdzie:

$Q_{sol}$  – zyski solarne od promieniowania słonecznego przenikającego do przestrzeni ogrzewanej budynku przez przegrody przezroczyste dla analizowanego przedziału czasowego  $\Delta t$ , Wh,

$Q_{int}$  – wewnętrzne zyski ciepła dla analizowanego przedziału czasowego  $\Delta t$ , Wh,

$\eta$  – sezonowy współczynnik efektywności wykorzystania zysków w trybie ogrzewania, (przyjęta wartość  $\eta = 0,95$ ).

Zakładany jest stan równowagi, w którym straty ciepła przez przenikanie i wentylację są pokrywane przez wewnętrzne i solarne zyski ciepła.

$$Q_{K,H} = 0 \quad (8)$$

Od temperatury zewnętrznej uzależnione są  $Q_{tr}$  i  $Q_{ve}$ :

$$Q_{tr} = H_{tr} \cdot \Delta t \cdot (\theta_{set,H} - \theta_e), \quad Wh \quad (9)$$

$$Q_{ve} = H_{ve} \cdot \Delta t \cdot (\theta_{set,H} - \theta_e), \quad Wh \quad (10)$$

gdzie:

$\Delta t$  – krok czasowy, h,

$H_{tr}$  – współczynnik strat ciepła na przenikanie, W/K,

$H_{ve}$  – współczynnik strat ciepła na wentylację, W/K,

$\theta_{set,H}$  – temperatura wewnętrzna dla okresu ogrzewania, pozwalająca zapewnić komfort termiczny w pomieszczeniu, K,

$\theta_e$  – średnia temperatura zewnętrzna w analizowanym okresie czasowym, wg danych dla najbliższej stacji meteorologicznej, K.

Po wprowadzeniu zależności (9) i (10) do (7) i przekształceniu można obliczyć wartość temperatury zewnętrznej, dla której zachodzi równowaga

$$\theta_e \cong \theta_{gr} = \theta_{set,H} - \frac{(Q_{int} + Q_{sol})}{(H_{tr} + H_{ve}) \cdot \Delta t} \cdot \eta, \quad K \quad (11)$$

Jeżeli temperatura zewnętrzna jest niższa od tej wyznaczonej z zależności (11), zapewnienie komfortu cieplnego wiąże się z doprowadzeniem ciepła (ze źródła ciepła), dlatego temperaturę tę określa się jako temperaturę graniczną i oznacza  $\theta_{gr}$ .

#### 4. REZULTATY OBLICZEŃ

Przykładowe obliczenia wykonano dla budynku jednorodzinnego, którego kubaturę i temperatury projektowe pomieszczeń zamieszczono w tablicy 1, a temperatury zapewniające komfort cieplny użytkownika zestawiono w tablicy 2.

*Tabela 1. Dane geometryczne i temperatury w budynku jednorodzinnym*  
*Table 1. Geometrical data and temperatures for the detached house*

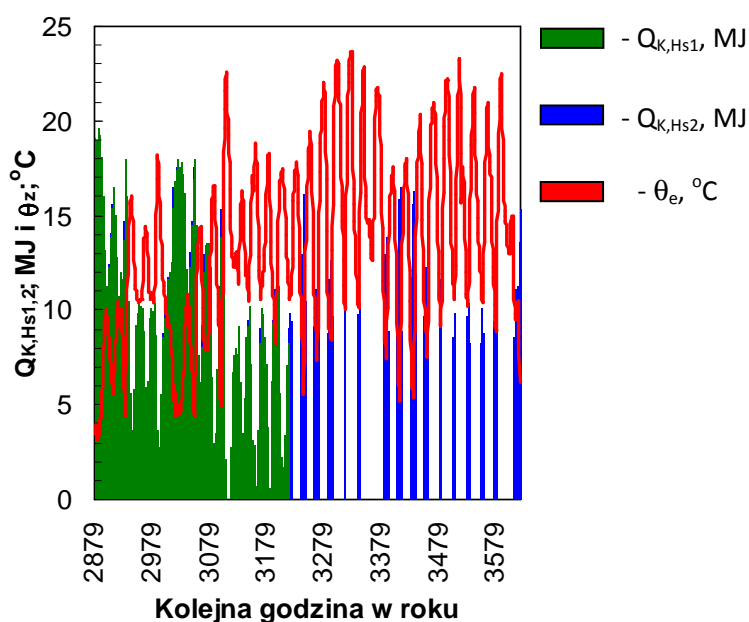
Parametr	Wartość	Temperatura projektowa, °C	Udział kubatury w objętości budynku
Powierzchnia całkowita, m <sup>2</sup>	215,02	-	-
Powierzchnia ogrzewana, m <sup>2</sup>	174,41	-	-
Kubatura całkowita, m <sup>3</sup>	623,64	-	-
Kubatura 1, m <sup>3</sup>	316,45	20	0,73
Kubatura 2, m <sup>3</sup>	44,025	16	0,10
Kubatura 3, m <sup>3</sup>	26,825	25	0,06
Kubatura 4, m <sup>3</sup>	48,725	8	0,11
Całkowita kubatura ogrzewana, m <sup>3</sup>	436,025	18,6	1,00

*Tabela 2. Preferowane przez użytkownika temperatury pomieszczeń w budynku*  
*Table 2. Consumer preferences of the rooms temperatures in the building*

Lp.	Czas trwania żądanej temperatury, h		Temperatura dla dni roboczych, °C	Temperatura dla dni wolnych, °C
	od	do		
Powierzchnia pomieszczeń o temperaturze projektowej 20°C				
1	22	6	18	18
2	6	8	20	20
3	8	17	18	20
4	17	22	20	20
Powierzchnia pomieszczeń o temperaturze projektowej 16°C				
1	22	6	15	15
2	6	8	16	16
3	8	17	15	16
4	17	22	16	16
Powierzchnia pomieszczeń o temperaturze projektowej 25°C				
1	22	6	20	20
2	6	8	25	25
3	8	17	20	20
4	17	22	25	25



W obliczeniach stosowano wartość temperatury granicznej  $\theta_{gr}=12^{\circ}\text{C}$ , którą obliczono na podstawie zależności (11). Zapotrzebowanie na ciepło grzewcze dla całego budynku obliczono w oparciu o [7]. Obliczenia prowadzono dla sezonu grzewczego liczonego od 15 września do 15 maja oraz dla całego roku dla każdej godziny, w której temperatura nie przekraczała  $12^{\circ}\text{C}$ . Wyniki obliczeń godzinowego zapotrzebowania na energię końcową do celów grzewczych dla sezonu grzewczego liczonego od 15 września do 15 maja -  $Q_{K,Hs1}$  i godzinowego zapotrzebowania na energię końcową do celów grzewczych liczonego dla każdej godziny, w której zachodzi  $\theta_{gr} > \theta_e - Q_{K,Hs2}$  - dla miesiąca maja przedstawiono na rys. 2.



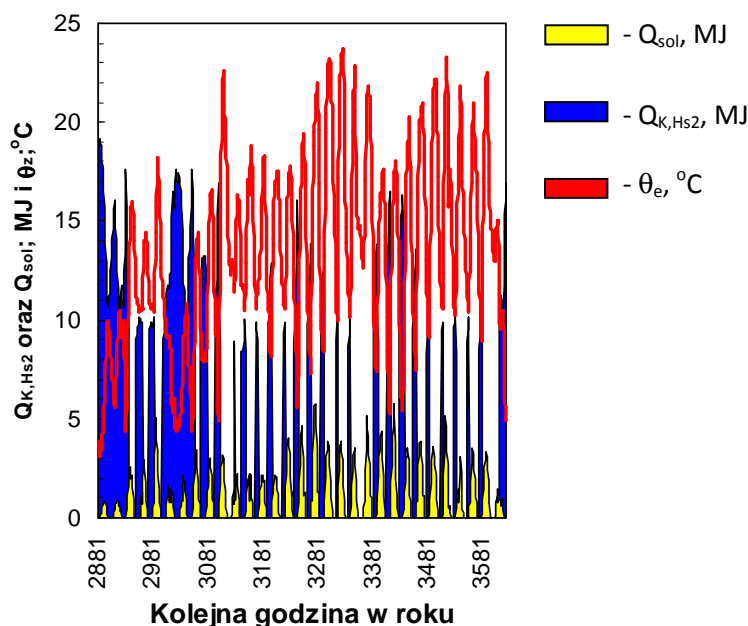
Rys. 2. Porównanie  $Q_{K,Hs1}$  z  $Q_{K,Hs2}$  i temperaturą zewnętrzną dla Katowic w maju  
Fig. 2. Comparison of  $Q_{K,Hs1}$  with  $Q_{K,Hs2}$  and the outside temperature, in Katowice in May

Porównując wykresy  $Q_{K,Hs1}$  i  $Q_{K,Hs2}$ , można zauważyć, że opisanie sezonu grzewczego funkcją temperatury zewnętrznej odpowiada na bezpośrednie potrzeby grzewcze użytkownika, zapewniając mu tym samym komfort cieplny (rys. 2, piki odpowiadające za zapotrzebowanie na ciepło do celów grzewczych pokrywają się z „doliną” na wykresie temperatury zewnętrznej). Użytkownik płaci wówczas za faktyczne zapotrzebowanie na ciepło grzewcze. Uwzględnienie dodatkowo obniżenia temperatury wewnętrznej, opisanego krzywą komfortu cieplnego użytkownika, zmniejsza zużycie energii do celów grzewczych. Dobierając źródło ciepła, należy uwzględnić naddatek mocy potrzebny do wyrównania temperatury wewnętrznej do wartości projektowej po jej czasowym obniżeniu. Wartość nadwyżki mocy cieplnej wymaganej do skompensowania skutków osłabienia ogrzewania

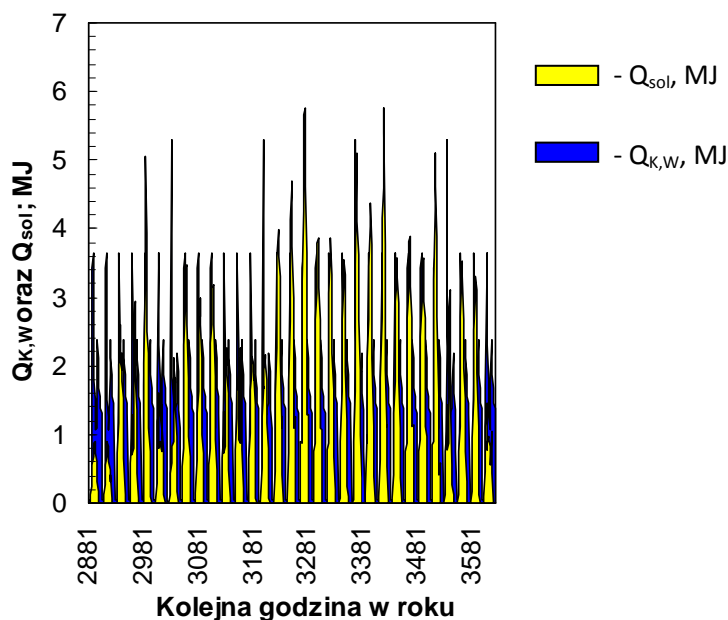
strefy ogrzewanej zależy od czasu nagrzewania (stałej czasowej budynku) i dobierany jest zgodnie z normą PN-EN 12831:2006 [8].

Porównanie godzinowego zapotrzebowania na ciepło grzewcze z uwzględnieniem preferencji cieplnych użytkownika  $Q_{K,Hs2}$  (krzywa komfortu cieplnego) oraz energii pozyskanej z promieniowania słonecznego z zestawu kolektorów o powierzchni czynnej  $3,64 \text{ m}^2$  i sprawności całkowitej instalacji  $\eta_c=0,40$  -  $Q_{sol}$ , przedstawia rys. 3. Z wykresu wynika, że ciepło pozyskane z kolektora jest niewystarczające i może być stosowane jedynie do wspomagania systemu ogrzewania w okresie wiosennym i jesiennym. Natomiast przez cały rok ciepło to może być wykorzystywane do wytwarzania ciepłej wody użytkowej. Porównanie godzinowego zapotrzebowania na energię końcową do celów przygotowania ciepłej wody użytkowej  $Q_{K,w}$  z energią promieniowania słonecznego pozyskaną z zestawu kolektorów słonecznych skierowanych na południe i ustawionych pod kątem  $45^\circ$  -  $Q_{sol}$  - przedstawiono na rys. 4. System wytwarzania ciepłej wody użytkowej wymaga zastosowania zbiornika akumulacyjnego.

Powyższe rozważania odnoszą się zarówno do budynku jedno- jak i wielorodzinnego.



Rys. 3. Porównanie  $Q_{K,Hs2}$  z temperaturą zewnętrzną i  $Q_{sol}$  w Katowicach w maju  
Fig. 3. Comparison of  $Q_{K,Hs2}$  with the outside temperature and  $Q_{sol}$  in Katowice in May



Rys. 4. Porównanie  $Q_{K,W}$  z  $Q_{sol}$  w Katowicach w maju  
 Fig. 4. Comparison of  $Q_{K,W}$  with  $Q_{sol}$  in Katowice in May

## 5. PODSUMOWANIE

Zastosowanie przedstawionej metody rozdziału rocznego zapotrzebowania na ciepło grzewcze na potrzeby godzinowe z wykorzystaniem stopniogodzin, nie wymaga znajomości tak wielu szczegółowych informacji, jakie są niezbędne w prostej metodzie godzinowej opisanej w normie ISO 13790 [1]. Stosowanie danych zawartych w normie w warunkach lokalnych może prowadzić do błędów powodując, w wyniku nieodpowiednich wytycznych regulacji, straty ciepła lub obniżony komfort grzewczy w pomieszczeniach. Opisanie potrzeb grzewczych funkcją różnicy temperatur: zewnętrznej i wewnętrznej minimalizuje bezpośrednie potrzeby grzewcze użytkownika, zapewniając mu komfort cieplny.

Wykorzystanie opisanej alternatywnej metody pozwala na szybkie i jednocześnie odpowiadające rzeczywistym potrzebom określenie możliwości wykorzystania zasobów energii odnawialnej, których występowanie ma charakter okresowy (energii słonecznej czy energii wiatru) do wspomagania ogrzewania lub wytwarzania ciepłej wody użytkowej dla konkretnej lokalizacji budynku.

Wyniki obliczeń dla budynku jednorodzinnego pokazują, że przedstawienie w funkcji temperatury zewnętrznej oraz wewnętrznej (wynikającej z zakładanego komfortu cieplnego), potrzeb grzewczych użytkownika (użytkowników), w układzie godzinowym pozwala wytyczyć rzeczywisty ich rozkład. Takie podejście umożliwia również określić, jaki procent tych potrzeb może zostać zaspokojony energią pozyskaną ze źródeł odnawialnych.

Najszerze zastosowanie metody przewiduje się w budynkach wyposażonych w indywidualne zintegrowane z OZE źródła ciepła.

*Artykuł został przygotowany w ramach projektu badawczego nr 3 „Zwiększenie wykorzystania energii z odnawialnych źródeł energii w budownictwie”, realizowanego dzięki wsparciu Narodowego Centrum Badań i Rozwoju.*



## 6. LITERATURA

- [1] PN-EN ISO 13790:2008, Energetyczne właściwości użytkowe budynków. Obliczanie zużycia energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia. PKN, 2009
- [2] Narowski P.: Uproszczona metoda godzinowa obliczania ilości ciepła do ogrzewania i chłodzenia budynków, Ciepłownictwo, ogrzewnictwo, wentylacja. 2009, 1, 27-32
- [3] Narowski P., Sowa J., Mijakowski M.: Godzinowy model 6R1C dynamiki cieplnej budynku. Building Physics in Theory and Practise, ISSN 1734-4891
- [4] dane z <http://www.transport.gov.pl/> - typowe lata meteorologiczne i statystyczne dane klimatyczne dla obszaru Polski do obliczeń energetycznych budynków
- [5] PN-EN ISO 13789:2008, Ciepłne właściwości użytkowe budynków. Współczynniki przenoszenia ciepła przez przenikanie i wentylację. Metoda obliczania. PKN, 2008
- [6] PN-EN ISO 13370:2008, Ciepłne właściwości użytkowe budynków. Przenoszenie ciepła przez grunt. Metoda obliczania. PKN, 2008
- [7] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw ich charakterystyki energetycznej (Dz.U. Nr 201, Poz. 1240)
- [8] PN-EN 12831:2006, Instalacje ogrzewcze w budynkach. Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego. PKN, 2006

## METHOD OF DIVISION OF ANNUAL HEATING SYSTEM ENERGY REQUIREMENTS FOR EFFECTIVE SOLAR ENERGY UTILIZATION

### SUMMARY

The aim of this paper is to present the method of division of annual heating system energy requirement on hourly periods. In this paper the elaborated method as well as the main assumptions and its possibility of using in the heating systems integrated with the solar collectors, was described. Calculation results for the 436 m<sup>3</sup> heating volume of detached house were made. Comparison of the hourly heating system energy requirement with hourly solar energy yield was presented. This method can be used to “fast” applications which collaborate with the local meteorological data or the automatic system in the building.

**Stanisław GIL, dr inż.**  
**Bogusław GRADOŃ, dr hab. inż.**  
**Wojciech BIALIK, dr inż.**  
**Józef OCHMAN, dr inż.**  
**Maciej ROZPONDEK, doc. dr inż.**

Politechnika Śląska  
Zespół Energetyki Procesowej Katedry Metalurgii  
ul. Krasińskiego 8, 40-019 Katowice  
e-mail: stanislaw.gil@polsl.pl,

## **MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA ENERGII SŁONECZNEJ DLA POZYSKIWANIA CIEPŁA I CHŁODU W WARUNKACH KLIMATYCZNYCH POLSKI**

### **STRESZCZENIE**

W artykule przedstawiono wyniki analizy wspomagania energią słoneczną hybrydowego systemu ogrzewania i chłodzenia budynków w umiarkowanych warunkach klimatycznych, charakterystycznych dla zachodniej i środkowej Europy. Układ jest złożony z próżniowych kolektorów słonecznych oraz jednostopniowego agregatu absorpcyjnego  $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ . Dodatkowo przewidziany jest kocioł na paliwa konwencjonalne. Wpływ głównych parametrów systemu na jego sprawność była analizowana na podstawie bilansów energii i substancji.

### **1. WPROWADZENIE**

Budynki zużywają energię głównie w celu zapewnienia wymaganych standardów jakości środowiska wewnętrznego: odpowiedniego komfortu termicznego i jakości powietrza. Szacuje się, że około 60% zużycia energii końcowej w przeciętnym budynku użyteczności publicznej przypada na ogrzewanie, chłodzenie, wentylację i przygotowanie ciepłej wody użytkowej [1,2]. Obecnie energia ta pozyskiwana jest głównie w procesach konwersji paliw kopalnych, którym towarzyszą często znaczne emisje zanieczyszczeń. Konieczność ograniczenia tych emisji, jak również kurczące się zasoby paliw kopalnych, skłaniają do podejmowania wysiłków w kierunku szerszego wykorzystania między innymi alternatywnych, odnawialnych źródeł energii.

Prognozowane globalne ocieplenie [3], jak również istniejące w architekturze tendencje, objawiające się stosowaniem dużych przeszklonych powierzchni fasad budynków, pozwalają przypuszczać, że w najbliższej przyszłości wzrastać będzie w budownictwie zapotrzebowanie nie tylko na ciepło, ale również na chłód. Najczęściej stosowane obecnie systemy pozyskiwania chłodu działają w oparciu o dostawy energii elektrycznej. Szacuje się, że w zależności od warunków klimatycznych, od 30 do 50% światowej produkcji energii elektrycznej zużywa się dla celów kondycjonowania powietrza i chłodnictwa [4]. Alternatywę stanowią technologie termiczne. Ich zaletą jest możliwość wykorzystania źródeł ciepła odpadowego oraz ciepła z energii promieniowania słonecznego. Zwłaszcza ta ostatnia koncepcja jest w ostatnich latach szczególnie intensywnie analizowana i rozwijana.

## 2. TECHNOLOGIE TERMICZNE POZYSKIWANIA CHŁODU

Ogólnie wśród stosowanych obecnie technologii termicznych pozyskiwania chłodu można wyróżnić dwa podstawowe typy technologii [5-11]:

- technologie z obiegiem zamkniętym,
- tzw. obiegi otwarte.

W obiegach zamkniętych ciepło transportowane jest przez agregaty chłodnicze. Zwykle schładzana jest woda, która służy w dalszych częściach instalacji do kondycjonowania powietrza wentylacyjnego. Zastosowanie znajdują głównie dwa rodzaje agregatów chłodniczych:

- agregaty z ciekłymi sorbentami działające na zasadzie rozpuszczania i absorpcji,
- agregaty z sorbentami w fazie stałej wykorzystujące zjawiska adsorpcji.

W obydwu przypadkach czynnik roboczy podlega kolejnym przemianom skraplania i parowania, podobnie jak to ma miejsce w konwencjonalnych systemach sprężarkowych z napędem elektrycznym. Powstająca w parowniku para czynnika roboczego płynie do absorbera lub adsorbera. Czynnik roboczy jest oddzielany od sorbentu w desorberze pod wpływem ciepła dostarczanego od płynu ogrzewanego w kolektorze słonecznym lub generowanego w innym źródle ciepła „napędowego”. W agregatach absorpcyjnych najczęściej stosowane są dwie pary czynnik roboczy/sorbent:  $H_2O/LiBr$  oraz  $NH_3/H_2O$ . Współczynnik efektywności procesu zależy od temperatury źródła ciepła „napędowego” i osiąga wartości do ok. 0,7 w przypadku obiegów jednostopniowych (z jednym desorberem) i do ok. 1,3 w przypadku obiegów dwustopniowych (z dwoma desorberami) [9]. W agregatach adsorpcyjnych najczęściej stosowanym sorbentem jest silica gel.

Obiegi otwarte bywają określane również jako osuszające systemy chłodzące i stanowią kombinację procesu chłodzenia zachodzącego podczas parowania wilgoci z osuszaniem powietrza w kontakcie z materiałem higroskopijnym. Najczęściej stosuje się w tym celu desykanty w stałym stanie skupienia (silica gel, chlorek litu) umieszczone w bębnie obrotowym. Desykant jest regenerowany w wyniku kontaktu z powietrzem wentylacyjnym wydmuchiwym z instalacji oraz ogrzanym strumieniem ciepła z kolektora słonecznego lub innego źródła ciepła „napędowego”. Prowadzone są również prace z ciekłymi desykantami ze wskazaniem na niektóre korzyści płynące z ich zastosowania, a mianowicie: możliwość głębszego osuszania powietrza przy niższej temperaturze regeneracji oraz wykorzystanie materiału sorpcyjnego do magazynowania ciepła [9]. Brane są pod uwagę następujące związki: chlorek litu ( $LiCl$ ), chlorek wapnia ( $CaCl_2$ ), bromek litu ( $LiBr$ )

oraz glikol trójetylenowy [12]. Wartości współczynnika efektywności obiegów otwartych wahają się w granicach od 0,6 do 1,2 [13].

W fazie badań znajdują się dwie następujące koncepcje [12]:

- ziębiarki termo-mechaniczne,
- parowe ziębiarki strumieniowe.

Podstawowym elementem ziębiarki termo-mechanicznej jest tradycyjna pompa ciepła. Energia mechaniczna do napędu sprężarki w obiegu pompy pozyskiwana jest w wyniku konwersji ciepła z kolektora słonecznego. W koncepcji parowej ziębiarki strumieniowej czynnik roboczy w obiegu ziębiarki jest sprężany w ejektorze przez strumień pary wodnej wytwarzanej z wykorzystaniem energii słonecznej.

Według danych z roku 2006, w połowie ubiegłego dziesięciolecia w Europie zainstalowanych było ok. 70 systemów z zastosowaniem kolektorów słonecznych, najwięcej w Niemczech (ok. 27) i Hiszpanii (ok. 19) [6,9]. Całkowita moc chłodzenia wynosiła 6,3 MW, a całkowita powierzchnia kolektorów ok. 17500 m<sup>2</sup>.

Najwięcej, ok. 59% instalacji, działa w oparciu o zamknięte obiegi absorpcyjne, a ponadto [9]:

- 11% w oparciu o zamknięte obiegi adsorpcyjne,
- 23% w oparciu o otwarte obiegi z osuszaczem w fazie stałej,
- 7% w oparciu o obiegi z zastosowaniem desykantów ciekłych.

W większości są to niewielkie, często produkowane seryjnie instalacje przeznaczone dla małych budynków mieszkalnych lub wybranych pomieszczeń w budynkach komercyjnych. Znacznie mniej jest natomiast dużych instalacji wymagających specyficznego opracowania indywidualnego projektu [9,14].

Kompleksowa instalacja, działająca w warunkach klimatu umiarkowanego, powinna zapewniać sterowane dostawy strumieni ciepła dla celów przygotowania ciepłej wody użytkowej przez cały rok, ogrzewania w okresie grzewczym oraz pozyskiwania chłodu w najbardziej gorące miesiące lata. Na terenach Polski wykorzystanie ciepła pozyskiwanego z energii promieniowania słonecznego przy sensownych rozmiarach powierzchni kolektorów jest praktycznie ograniczone tylko do podgrzewania wody użytkowej. Chociaż i w tym przypadku tzw. solarny współczynnik pokrycia wynosi ok. (50-60)% dla małych instalacji i ok. (25-30)% dla dużych instalacji. Analogiczny współczynnik dla instalacji centralnego ogrzewania kształtuje się na poziomie (10-15)% [15]. Wynika to ze zbyt małych wartości strumieni energii promieniowania słonecznego w okresie jesieni, zimy i wiosny. Analizy wymaga również możliwość pokrycia zapotrzebowania na ciepło dla termicznej instalacji pozyskiwania chłodu w miesiącach letnich. Rozwiązaniem jest układ hybrydowy, w którym ciepło pozyskiwane jest częściowo z energii promieniowania słonecznego, a częściowo z tradycyjnego źródła ciepła, na przykład z procesu spalania paliw kopalnych lub biomasy.

W artykule przedstawiono projekt oraz wyniki wstępnej analizy energetycznej instalacji doświadczalnej z kolektorem słonecznym oraz jednostopniową ziębiarką absorpcyjną.

### 3. OPIS INSTALACJI

Schemat instalacji pokazano na rys. 1. Strumień energii słonecznej padający na kolektor (1) ulega konwersji na ciepło, które przekazywane jest za pośrednictwem medium

obiegowego do wężownicy absorpcyjnej układu ziębniczego (23) lub do zasobnika ciepłej wody użytkowej (19). O wyborze odbiornika ciepła decyduje ustawienie trójdrogowego zaworu rozdzielającego (18). Przepływ czynnika obiegowego jest wymuszany przez zespół pompowy sterowany regulatorem (16). Regulacja dokonywana jest w oparciu o pomiary temperatury w kolektorze i odbiornikach ciepła oraz odpowiednio dobrany algorytm. Zasilacz UPS (17) dostarcza energię elektryczną do napędu pompy wraz z układem automatyki. Akumulator (27) zasilacza UPS ładowany jest za pośrednictwem fotoogniwa (26). Nad przebiegiem procesu ładowania akumulatora czuwa regulator ładowania (28).

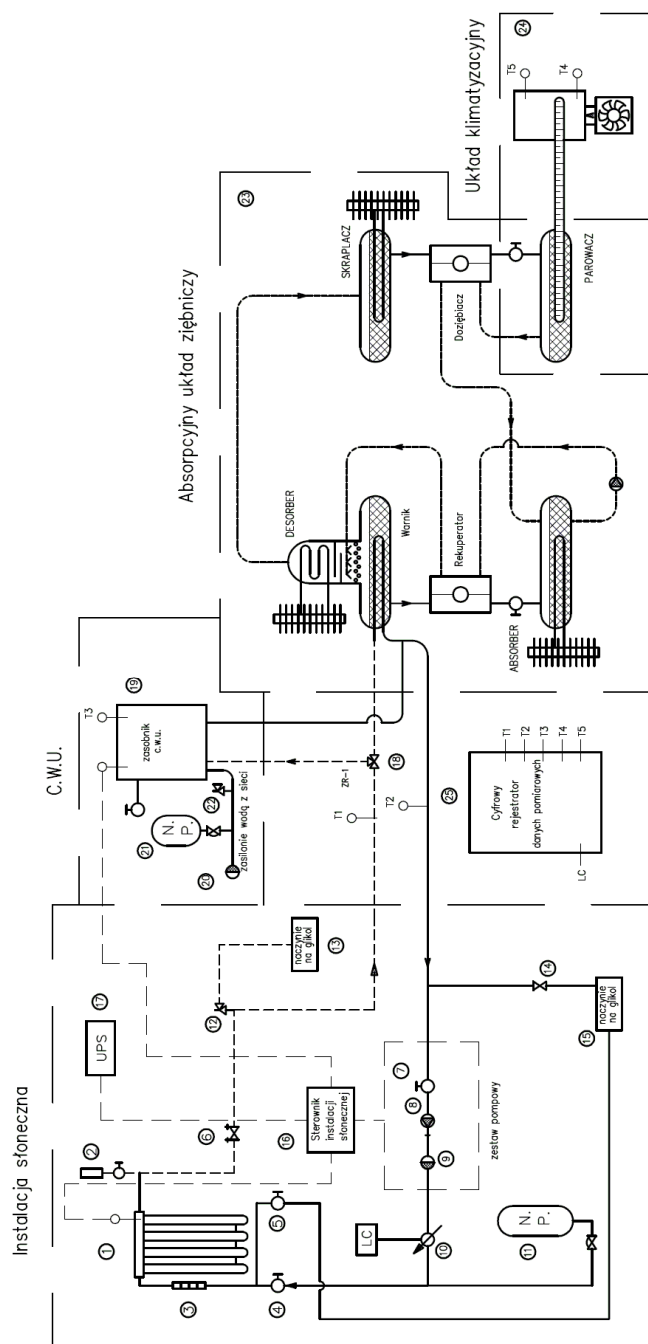
Instalacja wyposażona jest w system zaworów odcinających (4) i (5) oraz wskaźnik przepływu (3). Usuwanie powietrza z układu przepływowego odbywa się za pomocą odpowietrznika (2) umieszczonego na wypływie z kolektora słonecznego (1). Dodatkowe możliwości regulacji układu przepływowego zapewnia zawór regulacyjny (6). Instalacja została także wyposażona w zbiorniki na ciecz obiegową po stronie czynnika gorącego jak i na rurociągu powrotnym. Zadaniem naczynia (13) umieszczonego po stronie czynnika gorącego jest zakumulowanie ewentualnych upustów medium gorącego wywołanych otwarciem zaworu bezpieczeństwa (12). Zabezpiecza on instalację przed przekroczeniem dopuszczalnego ciśnienia w układzie. Zjawisko takie może być wywołane niekontrolowanym przekroczeniem dopuszczalnej temperatury czynnika obiegowego. Zbiornik (15) czynnika obiegowego podłączony jest poprzez zawór spustowy (14) z rurociągiem powrotnym czynnika schłodzonego w odbiornikach ciepła. Zbiornik ten wyposażony jest w ręczną pompkę służącą do napełniania i uzupełniania ewentualnych ubytków czynnika roboczego. Zwiększenie objętości medium obiegowego wraz ze wzrostem jego temperatury akumuluje naczynie przeponowe (11).

Jednym z odbiorników ciepła pozyskiwanego w kolektorze słonecznym jest zasobnik ciepłej wody użytkowej (19) zasilany w zimną wodę z sieci hydraulicznej poprzez elastyczne przyłącze zakończone szybkozłączką. Układ podłączenia wyposażony jest w zawór zwrotny (20), zawór bezpieczeństwa (22) oraz naczynie przeponowe (21) niwelujące wzrosty ciśnienia wywołane rozszerzalnością termiczną wody. Drugim odbiornikiem ciepła jest absorpcyjny układ ziębniczy (23). Ciepło doprowadzane jest do wężownicy. Schładzane jest powietrze w wymienniku parowacza sprzężonego z układem klimatyzacyjnym (24).

Stanowisko wyposażono w układy pomiarowe i rejestrujące (25) wartości temperatury i przepływów oraz licznik ciepła (10). Dobór oraz umiejscowienie punktów pomiarowych ma na celu umożliwienie sporządzenia bilansu energii całości układu.

Dla ułatwienia prowadzenia eksperymentów oraz ze względów logistycznych stanowisko zaprojektowano w wersji kompaktowej wyposażonej w układ jezdny, stwarzający możliwość łatwego przemieszczania całości. Przewidziano także możliwość podłączenia dodatkowego źródła ciepła ze spalania paliw konwencjonalnych.



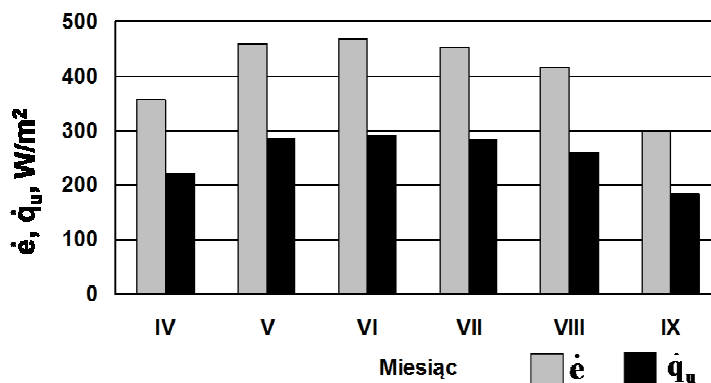


Rys. 1. Schemat instalacji doświadczalnej  
Fig. 1. Drawing of the research installation

#### 4. ANALIZA ENERGIJNA

Instalacja zawiera trzy podstawowe moduły: moduł pozyskiwania ciepła, moduł podgrzewania wody oraz chłodziarkę absorpcyjną. Głównym elementem modułu pozyskiwania ciepła jest kolektor próżniowy typu Vaciosol CPC12/CPC6. Kolektor składa się z dziesięciu rur o całkowitej powierzchni czynnej  $0,91 \text{ m}^2$ . Nośnikiem ciepła jest 33% (wag.) roztwór niebieski glikolu etylowego. Strumień objętości glikolu wynosi  $1,67 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ . Oszacowana na podstawie wstępnych eksperymentów sprawność konwersji energii promieniowania słonecznego na ciepło w układzie kolektora kształtuje się na poziomie 62%. Odpowiedni układ zaworów umożliwia doprowadzanie ciepła w całości do jednego z wybranych pozostałych modułów instalacji lub dowolny jego podział. Moduł pozyskiwania ciepłej wody użytkowej zawiera zbiornik o objętości  $0,02 \text{ m}^3$  z zanurzonym wymiennikiem ciepła. Czynnikiem obiegowym w układzie ziębiarki jest 35% (wag.) roztwór  $\text{NH}_3$  w  $\text{H}_2\text{O}$ . Efektem działania ziębiarki jest schładzanie strumienia powietrza o przepływie wymuszonym przez wentylator.

Wstępną analizę energijną procesu przeprowadzono w oparciu o bilanse energii i substancji w warunkach charakterystycznych dla klimatu umiarkowanego w sześciu kolejnych miesiącach: kwiecień, maj, czerwiec, lipiec, sierpień i wrzesień. W tym okresie kalendarzowym przewiduje się wykonanie pełnych badań eksperymentalnych. Wartości temperatury otoczenia oraz natężenia promieniowania słonecznego przyjęto według danych statystycznych dla miasta Katowice [16,17]. Na rys. 2 przedstawiono wartości jednostkowych strumieni ciepła pozyskiwanego z jednostki powierzchni kolektora ( $\dot{q}_u$ ) w wybranych miesiącach roku na tle jednostkowych strumieni energii promieniowania słonecznego padającego na kolektor ( $\dot{e}$ ). W Tablicy 1 zamieszczono wybrane wyniki obliczeń dla układu chłodzenia.



Rys. 2. Jednostkowe strumienie energii słonecznej ( $\dot{e}$ ) oraz ciepła z kolektora ( $\dot{q}_u$ )

Fig. 2. Specific stream of solar energy ( $\dot{e}$ ) and heat from collector ( $\dot{q}_u$ )

Tablica 1. Wyniki obliczeń głównych parametrów układu chłodzenia

Table 1. Results of calculations of the main parameters of the cooling system

Wielkość	Jedn.	Miesiąc					
		IV	V	VI	VII	VIII	IX
Temperatura powietrza na dopływie do układu chłodzenia	°C	12	18	20	22	22	19
Temperatura powietrza na wypływie z układu chłodzenia	°C	5	9	11	12	12	9
Strumień ciepła dostarczonego do ziębiarki z kolektora	W	100	130	132	129	119	84
Strumień ciepła odbierany od chłodzonego powietrza	W	37,4	47,9	51,7	54,6	54,6	47,9
Współczynnik efektywności procesu pozyskiwania chłodu	-	0,37	0,37	0,39	0,42	0,46	0,57

Zamieszczone w Tablicy 1 wartości dotyczą przypadku, kiedy do układu chłodzenia kierowana jest połowa strumienia ciepła pozyskiwanego w kolektorze słonecznym. W obliczeniach przyjęto strumień schładzanego powietrza równy 0,0057 kg/s. Powietrze przepływa wzdłuż chłodzącej powierzchni parownika o powierzchni 0,161 m<sup>2</sup> z prędkością 0,7 m/s. Zmierzona podczas wstępnych eksperymentów temperatura powierzchni parownika wynosiła -10°C.

## 5. PODSUMOWANIE

Zaprojektowano i zbudowano instalację laboratoryjną pozyskiwania ciepła i chłodu działającą w oparciu o technologię termiczną pozyskiwania chłodu sprzężoną z kolektorem słonecznym. Przeprowadzono eksperymenty wstępne oraz analizę energijną procesu na podstawie bilansów masy i substancji poszczególnych elementów układu. Oszacowany na tej podstawie współczynnik efektywności procesu pozyskiwania chłodu kształtował się na poziomie 0,45. Przewiduje się wykonanie dalszych systematycznych badań eksperymentalnych.

**Instalacja została zaprojektowana i zbudowana w ramach projektu badawczego PBS 5/RM1/2010 na zlecenie Narodowego Centrum Badań i Rozwoju.**

## 6. LITERATURA

- [1] European Commission: Green Paper - Towards a European Strategy for the Security of Energy Supply, Technical Document, 2001, ec.europa.eu.
- [2] Harvey D.L.D.: Energy and the New Reality 1. Energy Efficiency and the Demand for Energy Services. Earthscan Ltd. Dunstan House, London 2010.
- [3] Fourth Assessment Report. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007.
- [4] Fong K.F., Chow T.T., Lee C.K. Lin Z., Chan L.S.: Comparative study of different solar cooling systems for buildings in subtropical city. *Solar Energy*, 84, (2010), 227-244.

- [5] Balaras C.A., Grossman G., Henning H.M., Infante Ferreira C.A, Podesser E., Wang L., Wiemken E.: Solar air conditioning in Europe – an overview. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 11, (2007), 299-314.
- [6] Desideri U., Proietti S., Stringola P.: Solar-powered cooling systems: Technical and economic analysis on industrial refrigeration and air-conditioning applications. *Applied Energy*, 86, (2009), 1376-1386.
- [7] Murphy P. (editor): IEA Solar Heating and Cooling Programme, 2010 Annual Report, April 2011.
- [8] Eicker U.: *Solar Technologies for Buildings*. Wiley 2003.
- [9] Henning H.M.: Solar assisted air conditioning of buildings – an overview. *Applied Thermal Engineering*, 27, (2007), 1734-1749.
- [10] Qu M., Yin H., Archer D.A.: A solar thermal cooling and heating system for a building: Experimental and model based performance analysis and design. *Solar Energy*, 84, (2010), 166-182.
- [11] Venegas M., Rodriguez-Hidalgo M.C., Salgado R., Lecuona A., Rodriguez P., Gutiérrez G.: Experimental diagnosis of the influence of operational variables on the performance of a solar absorption cooling system. *Applied Energy*, 88, (2011), 1447-1454.
- [12] IEA, Solar Heating and Cooling Programme, Task 38: Solar Air-Conditioning and Refrigeration, C1: State of the art – Survey on new solar cooling developments, technical report, 31 October 2010.
- [13] Núñez T.: Technology and Literature Review. PolySMART Project, Work Package 1, final report 2010.
- [14] Henning H.M.: Solar Air-Conditioning and Refrigeration. Feature Article in: Murphy P. (editor): IEA Solar Heating and Cooling Programme, 2010 Annual Report, April 2011.
- [15] Lewandowski W.M.: *Proekologiczne źródła energii odnawialnej*. WNT, Warszawa 2001,2002.
- [16] RETScreen International, Clean Energy Decision Support Centre, [www.etscreen.net](http://www.etscreen.net).
- [17] Pluta Z.: *Podstawy teoretyczne fototermicznej konwersji energii słonecznej*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2006.

## **POSSIBILITIES OF USE THE SOLAR ENERGY FOR HEATING AND COOLING ACQUISITION IN CLIMATE OF POLAND**

### **SUMMARY**

The paper presents results of analysis of the hybrid solar-assisted heating and cooling system for buildings in the temperate climate conditions characteristic for Poland. The system is coupling of evacuated solar collectors with a single-stage NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O absorption chiller. Impact of the main system parameters on its effectiveness was analysed on the basis of energy balances. Obtained numerical results were compared with the measurements performed on the experimental set-up.

**Renata GNATOWSKA, dr inż.**

Politechnika Częstochowska  
Instytut Maszyn Ciepłych  
ul. Armii Krajowej 21, 42-201 Częstochowa  
e-mail: gnatowska@imc.pcz.czyst.pl

## **ZASTOSOWANIE METOD MODELOWYCH W OCENIE KOMFORTU WIATROWEGO I BEZPIECZEŃSTWA LUDZI PRZEBYWAJĄCYCH W SĄSIEDZTWIE STRUKTUR ARCHITEKTONICZNYCH**

### **STRESZCZENIE**

Komfort wiatrowy i bezpieczeństwo ludzi w obszarach zabudowanych oraz jego wszelkie implikacje inżynierskie stanowią ważny przedmiot zainteresowania urbanistów, projektantów, wykonawców budowlanych. Dlatego też, w ostatnich kilku latach analiza aerodynamiczna obszarów zurbanizowanych w odniesieniu do komfortu pieszych nabiera coraz większego znaczenia. Struktura pola wiatru w strefie przyziemnej jest bowiem czynnikiem o istotnym znaczeniu, wpływającym na warunki klimatyczne i zdrowotne obszarów zabudowanych, determinującym wymaganą wytrzymałość konstrukcji budowlanych, wspomagającym naturalną wentylację oraz rzutującym na straty ciepła. Wiedza z tego zakresu pozwala bowiem właściwie kształtować otoczenie wiatrowe obiektów komunalnych w celu zapewnienia ich użytkownikom odpowiedniego komfortu [1].

Analiza przedstawiona w niniejszym artykule dotyczy zastosowania metod modelowych (eksperymentach i numerycznych) w zagadnieniach planowania przestrzennego obszarów zabudowanych z uwzględnieniem kryteriów komfortu wiatrowego i bezpieczeństwa ludzi w przestrzeni między budynkami w strefie zabudowanej. Przedmiotem prezentowanych badań była konfiguracja typu tandem dwóch modeli budynków o różnych wysokościach charakteryzująca się występowaniem efektu „down-wash”.

### **1. WPROWADZENIE**

W dzisiejszym świecie coraz większą uwagę zwraca się na oddziaływanie budynków na najbliższe otoczenie. Prawidłowe rozmieszczenie obiektów w aerodynamicznej warstwie przyziemnej ma kluczowe znaczenie dla komfortu oraz bezpieczeństwa osób przebywających w bliskim sąsiedztwie struktur architektonicznych. W nowoczesnych spo-

leczeństwach ujawnia się coraz większe zainteresowanie funkcjonalnością budynków przy jednoczesnej chęci zachowania dużego poziomu bezpieczeństwa, wzrostem złożoności samych konstrukcji budowlanych i form architektonicznych. Dlatego też przed nowoczesną inżynierią stawiane są wyzwania mające na celu poprawę wiedzy z tej tematyki. Zagadnienia dotyczące wpływu struktur urbanistycznych na otoczenie badane jest przez wiele ośrodków naukowych na całym świecie. Jest to także przedmiot uwagi w ogóle zagadnień podejmowanych przez pracowników Instytutu Maszyn Ciepłych Politechniki Częstochowskiej [2].

Przepływ mas powietrza wpływa nie tylko na same struktury budynków, ale oddziałuje także na ludzi przebywających w ich otoczeniu. Niekorzystne zjawiska akustyczne, tak uciążliwe dla człowieka, wywołane są poprzez sytuacje, w których dochodzi do znacznego przyspieszenia przepływającego powietrza w obszarach między budynkami. Natomiast okoliczność, w której płyn ulega spowolnieniu lub nawet stagnacji, mamy do czynienia ze zwiększonym poziomem gromadzenia się zanieczyszczeń. Dlatego też celem osób zajmujących się projektowaniem samych budynków jak i planowaniem ich rozmieszczenia jest uniknięcie powstawania stref, w których płyn zachowuje się skrajnie różnie, gdyż oba przypadki są niekorzystne z punktu widzenia człowieka.

Należy także zwrócić uwagę na obciążenie konstrukcji wywołane wiatrem. Ze względu na złożoność struktury przepływu wokół konstrukcji budowlanych i powstawania wirów o charakterze losowym, dochodzi do nierównomiernego i nieokresowego obciążenia budowli. Taki stan rzeczy wymaga od projektującego przyłożenia szczególnej wagi do wpływu obciążenia na stan konstrukcji i przewidzenie jej zachowania w czasie kiedy obciążenia są znaczące. Ma to bowiem znaczący wpływ na poziom bezpieczeństwa.

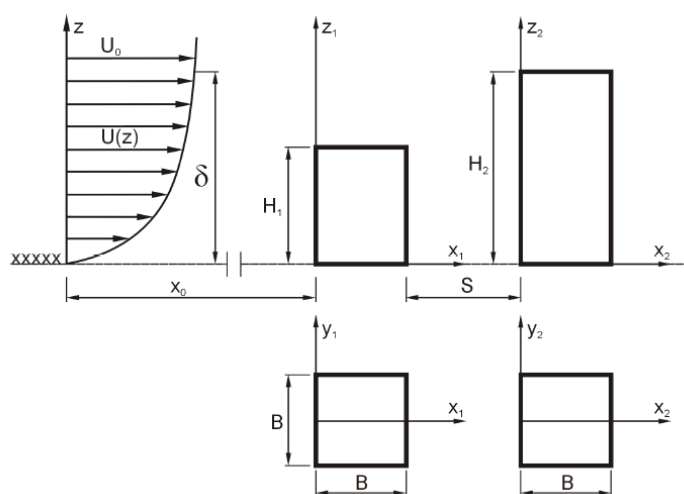
Z pomocą przychodzą tutaj badania w tunelach aerodynamicznych, ale również coraz częściej stosowane analizy przeprowadzane przy użyciu nowoczesnych metod numerycznych stosowanych w mechanice płynów (Computational Fluid Dynamics) [3].

## 2. PRZYKŁADY ZASTOSOWANIA METOD MODELOWYCH

Dzięki zastosowaniu eksperymentalnych i numerycznej analiz modelowych przepływu powietrza możemy określić warunki wiatrowe w istniejącym układzie zabudowy jak również przewidzieć zmiany wywołane wprowadzeniem nowych obiektów w istniejący układ osiedli mieszkaniowych. Przepływ powietrza w skali osiedla czy prostych struktur zabudowy jest zjawiskiem niezwykle złożonym. Na kierunek i prędkość strug powietrza wpływa bowiem zarówno sama zabudowa, jej wielkość, układ, jak również cechy podłoża czy turbulencja. Układ budynków może wywoływać wzrost prędkości i burzliwości przepływu powietrza prowadząc do niekorzystnych zjawisk takich jak: dyskomfort wiatrowy, rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń czy straty ciepłe w budynkach. Jednocześnie budynki stanowią w pewnych sytuacjach barierę dla przepływającego powietrza, powodując problemy związane z przewietrzaniem obszarów zabudowanych. Zastosowanie technik modelowych pozwoliło uzyskać obrazy struktury przepływu wokół elementów zabudowy, które dostarczają cennych informacji na temat lokalizacji stref stagnacji powietrza oraz rejonów charakteryzujących się wyraźnym wzrostem gradientów prędkości.

Konfigurację obiektów będącą przedmiotem niniejszej analizy charakteryzuje schemat zaprezentowany na rysunku 1. Ilustracja ta pokazuje podstawowe zależności po-

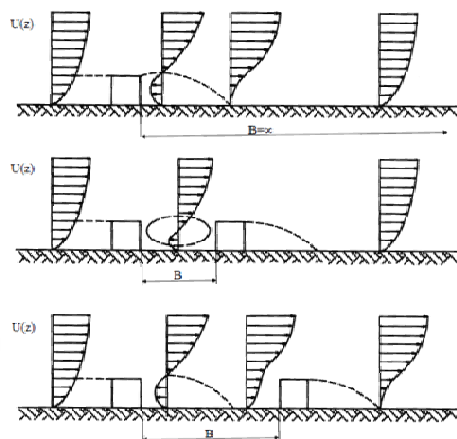
między parametrami geometrycznymi poszczególnych obiektów oraz definiuje układ współrzędnych wykorzystany w pracy. Wymiar  $S$  oznacza odległość między elementami. Zakres tego parametru ulega podczas przeprowadzonych badań zmianie w przedziale  $S/B = 1.5 - 2.5$  z krokiem  $0.5B$  ( $B$  - długość krawędzi podstawy obiektów). Zależność wysokości budynków tworzy niezmienny parametr  $H_1/H_2 = 0.6$ , który nie ulegał zmianie podczas analizy. Rozpatrywany przypadek dotyczy napływu powietrza od strony niższego obiektu, co skutkuje wystąpieniem tzw. efektu „down-wash”. Polega on na spływaniu po ścianie czołowej obiektu zawietrznego dużych mas powietrza, czego efektem jest silna cyrkulacja powietrza w przestrzeni między obiektami.



Rys. 1. Schemat rozpatrywanej konfiguracji obiektów w układzie tandem  
Fig. 1. Schematic diagram of objects configuration in tandem arrangement

Wzajemne oddziaływanie budynków skutkuje zwiększeniem poziomu niestacjonarności przepływu, w którym uwidacznia się silny udział okresowości wywodzącej się ze zjawisk generowania wirów w śladzie za obiektami. W związku z tym faktem koniecznym było uwzględnienie periodycznej składowej oscylacyjnej i wykorzystanie niestacjonarnych metod modelowania przepływu (uRANS) [4].

Odległość między sąsiadującymi budynkami jest jednym z głównych parametrów branych pod uwagę. Jak parametr ten wpływa na kształt przepływu pokazuje rysunek 2, który przedstawia zmianę profilu prędkości w momencie, gdy umieścimy w śladzie aerodynamicznym budynku pierwszego kolejny budynek. Obserwujemy wówczas, że zbyt mała odległość między obiektami powoduje powstawanie silnej strefy recyrkulacji, w przestrzeni między budynkami. W miarę zwiększania rozstawu obiektów, przepływ zaczyna się wyrównywać przy podłożu, co skutkuje częściowym powrotem profilu prędkości do sytuacji z przed budynku pierwszego.

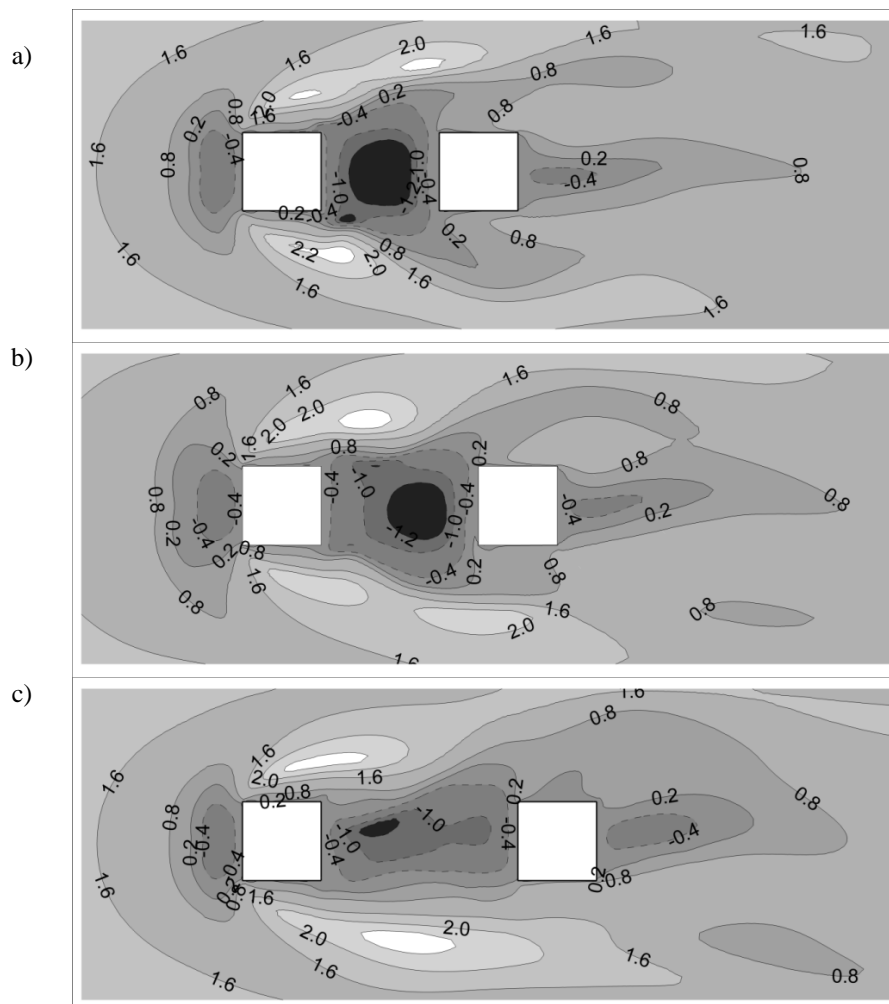


Rys. 2. Schemat profili prędkości w płaszczyźnie symetrii dwóch brył prostopadłościennych w układzie tandem w funkcji odległości między obiektami  
 Fig. 2. Schematic velocity profiles in the symmetry of objects configuration in tandem arrangement as a function of the distance between objects

Następnie przedstawiono przykładowe wyniki obliczeń numerycznych dla badanej konfiguracji obiektów w celu zobrazowania przydatności omawianej metody modelowej. Na rysunku 2 zaprezentowano rozkład prędkości w postaci  $U/U_{pp}$  (gdzie  $U/U_{pp}$  to wielkość bezwymiarowa prędkości średniej zredukowanej przez prędkość na poziomie pieszych tj.  $z/B = 0.05$  w przepływie bez obiektów w miejscu ich posadowienia) dla trzech konfiguracji obiektów w układzie tandem w płaszczyźnie równoległej do podłoża na wysokości  $z/B = 0.05$ . Przedstawić w ten sposób można obszary, w których przepływ ulega przyspieszeniu i zaburzeniom. Na podstawie zaprezentowanej wizualizacji rozkładu prędkości w przestrzeni między budynkami możemy potwierdzić istnienie tzw. efektu *downwash*. Powietrze w tych miejscach ulega znaczącemu przyspieszeniu i zawirowaniu oraz pojawia się przepływ zwrotny, gdyż przestrzeń ta zasilana jest w masy powietrza spływające po ścianie nawietrznej budynku zawietrznego. W przypadku większego rozstawienia budynków (Rys.2b) także widoczne jest znaczny obszar przepływu zwrotnego za obiektem nawietrznym, jednak wartość prędkości w tym przypadku jest mniejsza w porównaniu do konfiguracji pierwszej (Rys. 2a). oznacza to iż zwiększanie odległości między budynkami w sposób pozytywny wpływa na przepływ wokół obiektów. Dalsze pogłębianie przestrzeni między obiektami (Rys. 2c) uwidacznia redukcję obszaru dyskomfortu wiatrowego.

Ponadto widoczne są także miejsca, w których przepływ wiatru osiąga dwukrotnie wyższą prędkość niż w przypadku braku obecności budynków (Rys. 2a,b,c). Rozlokowane są one po obu stronach budynku pierwszego. Obszary te obecne są we wszystkich trzech badanych przypadkach niezależnie od konfiguracji.





Rys. 3. Rozkład prędkości wiatru  $U/U_{pp}$  oraz położenie obszarów dyskomfortu na poziomie pieszych  $z/B=0,05$ : a)  $s/B = 1.5$ , b)  $s/B = 2.5$ , c)  $s/B = 3.5$

Fig. 3. Distributions of wind speed ( $U/U_{pp}$ ) and location of the discomfort of pedestrian level  $z/B=0,05$ : a)  $s/B = 1.5$ , b)  $s/B = 2.5$ , c)  $s/B = 3.5$

### 3. PODSUMOWANIE

Wzmógłony przepływ powietrza w obrębie ulic, placów i innych przestrzeni miejskich staje się często przyczyną dyskomfortu i bezpieczeństwa pieszych, strat ciepłych w budynkach, czy uszkodzeń strukturalnych budowli. Niezwykle istotna staje się więc znajomość rozkładu prędkości wokół zabudowy zarówno istniejącej jak i projektowanej. Decydujące znaczenie w ocenie komfortu pieszych na podstawie analizy aerodynamicznej ma wartość prędkości i kierunek wiatru.

Badania eksperymentalne w skali rzeczywistej i w tunelach aerodynamicznych były przez długi czas dominującym narzędziem stosowanym w celu scharakteryzowania przepływu w turbulentnej warstwie przyziemnej. Dzięki dynamicznemu rozwojowi modeli matematycznych oraz postępowi technologicznemu, coraz powszechniej stosowanymi metodami są numeryczne metody modelowania przepływu wiatru w obszarach zabudowanych (dobre narzędzia dla architektów i urbanistów), przy czym celowym wydaje się połączenie symulacji numerycznych z metodami modelowania eksperymentalnego [3]. W celu znalezienia rozwiązań optymalnych, niezbędna jest analiza dużej liczby układów przepływowych zależnych od wzajemnej konfiguracji obiektów budowlanych, ich geometrii i usytuowania względem napływu wiatru.

Dobór optymalnej konfiguracji elementów zabudowy zapewniającej właściwy komfort użytkownikom obszaru zabudowanego wymaga konieczności uwzględnienia większej liczby często sprzecznych kryteriów [5]. Wymusza to zastosowanie symulacji numerycznych w połączeniu z procedurami optymalizacyjnymi w celu stworzenia narzędzia obliczeniowego umożliwiającego modelowanie lokalnych warunków wiatrowych dla określenia położenia stref dyskomfortu oraz optymalizację warunków zabudowy.

#### 4. LITERATURA

- [1] Bottema M.; A method for optimization of wind discomfort criteria, *Building and Environment*, 35, 2000,
- [2] Gnatowska R.; Dobór kryteriów oceny komfortu wiatrowego pieszych, *Budownictwo i Architektura* 8, 5-13, 2011,
- [3] Holmes J.D.; *Wind loading of structures*, London, 2007,
- [4] Stathopoulos T.; Pedestrian level winds and outdoor human comfort, *J. of Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, 94, 2006,
- [5] Sosnowski M., Gnatowska R.; Zastosowanie symulacji numerycznych w zagadnieniach przepływu wiatru w obszarach zabudowanych. The numerical simulation of wind flow in urban areas. *Edukacja Techniczna i Informatyczna* 5, 39-45, 2010,

### WIND COMFORT AND SAFETY PROBLEMS IN BUILT-UP AREAS

#### SUMMARY

Wind comfort and safety of people in urban areas and all of its engineering implications are an important subject of interest urban planners, designers, building contractors. Therefore the aerodynamic analysis of urban areas for pedestrian comfort is becoming increasingly important.

The analysis presented in this article concerns the application of modeling methods (experimental and numerical) on spatial planning the built environment with the wind comfort and safety of pedestrian in the space between the buildings. The object of this study was a tandem configuration of two building models characterized by the occurrence of the "down-wash" effect.

**Renata GNATOWSKA, dr inż.****Adam GNATOWSKI, dr inż.**

Politechnika Częstochowska

Wydział Inżynierii Mechanicznej i Informatyki

ul. Armii Krajowej 21, 42-201 Częstochowa

e-mail: gnatowska@imc.pcz.czyst.pl

## **WPŁYW PROMIENIOWANIA UV NA WŁAŚCIWOŚCI WYBRANYCH MATERIAŁÓW POLIMEROWYCH STOSOWANYCH W BUDOWNICTWIE**

### **STRESZCZENIE**

W pracy przedstawiono wyniki badań zmiany właściwości użytkowych po procesie oddziaływania promieniowania UV na wybrane polimery termoplastyczne stosowane w budownictwie. Badania przeprowadzono na próbkach wytworzonych metodą wtryskiwania przy optymalnych parametrach przetwórczych. Jako materiał do badań wybrano polimery różniące się strukturą i właściwościami: kompozyt poliamidu 6.6 z włóknem szklanym – materiał polimerowy konstrukcyjny charakteryzujący się dobrymi właściwościami mechanicznymi, polipropylen o gorszych właściwościach mechanicznych, ale małej chłonności wody oraz amorficzny ABS. Analiza przedstawiona w niniejszym artykule pozwoliła na określenie wpływu promieniowania UV na konstrukcyjne materiały polimerowe wzmocnione napełniaczem o szerokim zastosowaniu w budownictwie. W badaniach właściwości mechanicznych zarejestrowano istotne zmiany dla polipropylenu i akrylonitryl-butadien-styrenu. Uzyskano wzrost wartości jasności po procesie starzenia UV polipropylenu i kompozytu poliamidu 6.6 z włóknem szklanym oraz wskazano na istotny wpływ promieniowania UV na zmianę barwy badanych materiałów.

### **1. WPROWADZENIE**

Tworzywa polimerowe zastępują w coraz większym stopniu tradycyjne materiały ze względu na możliwość wykonywania lżejszych konstrukcji, łatwość montażu, eliminację zabezpieczeń antykorozyjnych i malowania oraz zmniejszenie pracochłonności, co przekłada się na niższe koszty. Do tworzyw stosowanych w budownictwie zaliczyć można

zarówno polimery o przeznaczeniu konstrukcyjnym – głównie kompozyty np. poliamid z włóknem szklanym, czy polimery o wysokich parametrach wytrzymałościowych np. ABS stosowanymi na obudowy, skrzynki montażowe urządzeń, poręcze, balustrady z kompozytów, płyty i laminaty, elementy łączące i wzmacniające różne konstrukcje. Stosowane są również materiały polimerowe o niższych parametrach wytrzymałościowych, ale o właściwościach wymaganych na konkretne zastosowania np. polipropylen - na izolacje, wykładziny, przewody gazowe i centralnego ogrzewania oraz klimatyzacji.

W wyniku eksploataowania wyrobów z materiałów polimerowych czynniki środowiska takie jak: podwyższona temperatura, wilgoć, obecność zanieczyszczeń i rozpuszczalników, promieniowanie UV itp. wpływają negatywnie na właściwości tych tworzyw. Proces ten, określany jest jako starzenie w warunkach użytkowania [1-3]. Przez starzenie należy rozumieć samorzutne zmiany strukturalne zachodzące w całej masie tworzywa w dłuższym czasie, prowadzące przeważnie do pogorszenia jego właściwości użytkowych [1-5]. Zmiany strukturalne w polimerze mogą być wynikiem przemian fizycznych lub chemicznych zachodzących w czasie przetwórstwa, magazynowania oraz eksploatacji, powodujących zmianę właściwości, których pierwszym widocznym objawem jest np.: żółknięcie i zmatowienie. Czynniki zewnętrznymi wpływającymi na proces starzenia są: ciepło, promieniowanie UV, oddziaływanie związków chemicznych, wilgoć, mikroorganizmy. W celu zwiększenia odporności polimeru na wyżej wymienione czynniki używa się różnych sposobów modyfikacji polimerów zarówno metodami fizycznymi jak i chemicznymi. Jedną z najważniejszych metod jest modyfikacja za pomocą różnych dodatków [5-7].

Podczas starzenia w polimerze zachodzą nieodwracalne zmiany takie jak sieciowanie czy utlenianie, degradacja, destrukcja [3, 5-7]. W odniesieniu do materiałów zbudowanych z syntetycznych makromolekuł, pojęcie degradacja używane jest do określenia zmian właściwości fizycznych spowodowanych reakcjami chemicznymi, w wyniku których zachodzi rozerwanie łańcucha makromolekuły. W polimerach liniowych reakcje te powodują skrócenie łańcucha cząsteczki, czyli zmniejszenie jej masy molowej [3, 5-7].

Podczas starzenia w naturalnych warunkach klimatycznych najczęściej trudno wyodrębnić, który z czynników ma wpływ dominujący, gdyż działają one równocześnie np. w okęgach przemysłowych w powietrzu znajdują się czynniki agresywne takie jak tlenek węgla, tlenki azotu [2, 5]. Proces starzenia zachodzi powoli w długim czasie, dlatego w celu określenia stabilności polimerów stosuje się metody przyspieszenia starzenia. Przyjęto, że w warunkach naturalnych minimalny czas potrzebny na ocenę zmian właściwości tworzywa wynosi 3 do 5 lat [8, 9]. Metoda laboratoryjna przyspieszonego (krótkotrwałego) starzenia polega na odpowiednim doborze: zespołu czynników zewnętrznych (naświetlanie, nawilżanie, suszenie), zespołu mierzonych właściwości (kryteria oceny - wizualne, zmiany właściwości mechanicznych, dielektrycznych). Oprócz doboru czynników zewnętrznych i ich intensywności istotna jest również szybkość zmian [2, 5].

Aby dokładnie poznać wpływ procesu starzenia na dany materiał polimerowy wymagane jest przeprowadzenie badań starzeniowych w warunkach ich pracy. Jednak długość czasu, jaką pochłania ten proces sprawia, że stosowane są metody przyspieszonego starzenia, w których wysoka częstotliwość oddziaływania czynników na materiał polimerowy wywołuje przyspieszenie tego procesu [2, 5-7]. Metody przyspieszonego starzenia wykorzystują naturalne promieniowanie słoneczne i promieniowanie sztuczne wywołane działaniem

lamp ksenonowych. Wyniki uzyskane z przyspieszonego starzenia dają przybliżoną ocenę odporności materiału na starzenie [5, 8, 9].

Procesy starzenia zachodzą głównie dzięki promieniowaniu ultrafioletowemu. Energia fotonów światła widzialnego jak również promieniowanie o dużych długościach fal są niewystarczające by spowodować rozerwanie molekuł polimerów. Budowa polimeru w znacznym stopniu wpływa na jego odporność na promieniowanie, które może spowodować jego destrukcję fotochemiczną. Przykładem może być polipropylen dla którego promieniowanie o długości fali wynoszącej 370 nm stanowi zagrożenie [5].

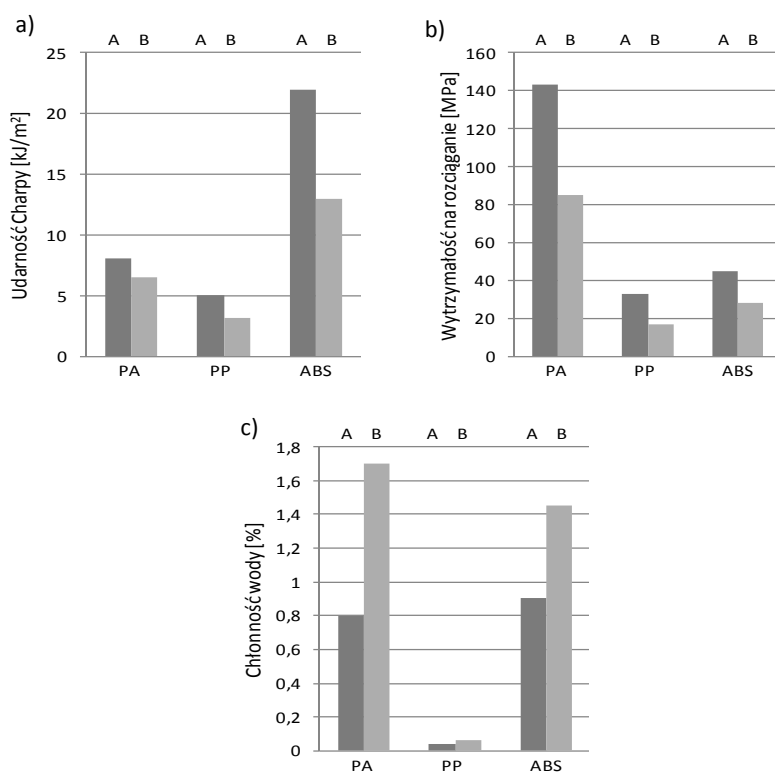
Zarówno w procesie fotodestrukcji jak i termodestrukcji można zaobserwować wielokrotny i równoczesny przebieg degradacji łańcucha polimeru, jak również reakcje sieciowania i utleniania [5-7]. Złożoność procesów fotochemicznych zachodzących w polimerach sprawia że mogą mieć one różnokierunkowy przebieg, zależny od rodzaju atmosfery. Przebieg procesów termooksydacyjnych jest bardzo zbliżony. Najważniejszą różnicą między fotodegradacją a destrukcją termooksydacyjną jest fakt, że fotodegradacja zostaje zainicjowana przez fotony promieniowania, a termooksydacja następuje pod wpływem oddziaływania tlenu w podwyższonej temperaturze [2, 5, 6].

Procesy foto i termodestrukcji zależnie od rodzaju polimerów, powodują powstanie różnych produktów rozkładu. Różne występują także efekty zmian zachodzących w wyrobach na skutek starzenia [5, 6, 10].

## **2. PRZYKŁADY ZMIAN WŁAŚCIWOŚCI UŻYTKOWYCH WYBRANYCH MATERIAŁÓW POLIMEROWYCH PO PROCESIE PRZYSPIESZONEGO STARZENIA PROMIENIAMI UV**

Jako materiał badań użyto: kompozyt poliamidu (PA 6.6) z 25% zawartością włókna szklanego o nazwie handlowej Vampamid 66 2526 V0 Naturale 30, polipropylen (PP) o nazwie firmowej Basell Moplen HP 501 H produkcji Lyondell and Basell oraz akrylonitryl-butadien-styren (ABS) o nazwie handlowej Terluran GP - 22 Natural produkcji Basf Plastics. Próbkę do badań wykonano na wtryskarce Krauss Maffei typu KM 65-1600C1. Zastosowano optymalne warunki przetwórstwa, przy których uzyskano wypraski o najlepszej jakości. Proces starzenia wytworzonych z badanych materiałów polimerowych próbek przeprowadzono w komorze do badań promieniami UV z użyciem rtęciowej wysokoprężnej lampy wyładowczej. Czas procesu starzenia wynosił 9,26 dni co przy zastosowaniu lampy wyładowczej o określonej mocy, odpowiadało 4 latom promieniowania słonecznego. Do obliczeń czasu starzenia przyjęto wartość  $1000 \text{ kWh/m}^2$  [8, 9] jako moc całkowitego promieniowania słonecznego w ciągu roku. Przeprowadzono badania właściwości mechanicznych wytworzonych próbek przed i po procesie przyspieszonego starzenia promieniowaniem UV: udarności metodą Charpy zgodnie z normą PN-EN ISO 179-1:2004 oraz wytrzymałości na rozciąganie zgodnie z normą PN-EN ISO 527-1:2012 z wykorzystaniem maszyny wytrzymałościowej Inspekt Desk 20 firmy „Hegewald & Peschke”. Chłonność wody badanych próbek wyznaczono zgodnie z normą PN-EN ISO 62:2000. Wyniki badań przedstawiono na rys. 1. Z rysunku 1a,b wynika, że starzenie promieniowaniem UV powoduje zmniejszenie udarności i wytrzymałości wyprasek na rozciąganie. Największą odporność na promieniowanie UV zarejestrowano dla kompozytu PA

6.6 z włóknem szklanym. Dodatek włókna do PA 6.6 w porównaniu do tworzyw nienapełnionych skutkuje wzrostem wartości wytrzymałości na rozciąganie. Dla kompozytu poliamidu zarejestrowano największą wartość wytrzymałości na rozciąganie zarówno próbek przed jak i po starzeniu promieniowaniem UV. Jednocześnie można zauważyć, że w przypadku ABS promieniowanie UV powoduje znaczne zmniejszenie wartości udarności, przy czym dla tego tworzywa zarejestrowano największą odporność na uderzenie. Chłonność wody po procesie starzenia promieniowaniem UV znacząco wzrasta dla wszystkich badanych materiałów polimerowych. Największą wartość chłonności wody zarejestrowano w przypadku starzonego promieniowaniem UV poliamidu 6.6 z włóknem szklanym.



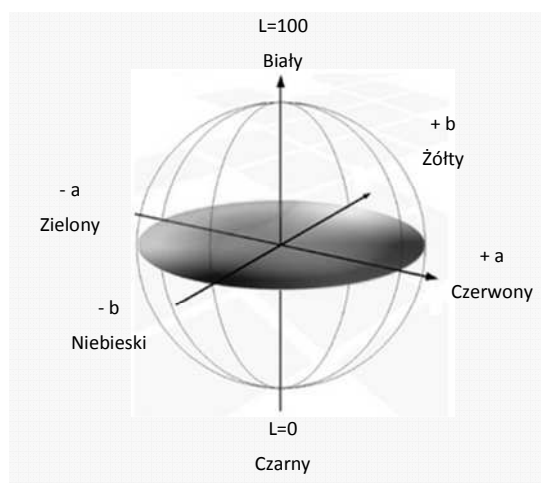
Rys. 1. a) udarność z karbem metodą Charpy, b) wytrzymałość na rozciąganie, c) chłonność wody badanych materiałów polimerowych; A - przed starzeniem, B - po starzeniu promieniowaniem UV

Fig. 1. a) Charpy notched impact strength, b) tensile strength, c) water absorption of the examined polymer materials; A - before ageing, B - after UV radiation ageing

Badanie barwy przeprowadzono z zastosowaniem kolorymetru SP60 firmy X-rite metodą CIELab. Wyniki badań przedstawiono w postaci współrzędnych chromatyczności

a, b, L. Wartość „a” określa zmianę barwy od zielonej do czerwonej, natomiast „b” od niebieskiej do żółtej. Parametr L (jasność) określa zmianę barwy od czarnej (dla  $L=0$ ) do białej (dla  $L=100$ ) (rys. 2). Na rys. 3 zestawiono zarejestrowane wartości a, b oraz L badanych materiałów polimerowych przed i po starzeniu promieniowaniem UV.

Badanie połysku przeprowadzono na urządzeniu Elcometer 406L Statistical Glossmeter. Za miarę połysku powierzchni próbki przyjęto wartość reflektometryczną, czyli wartość stosunku strumienia światła odbitego od danej powierzchni do strumienia światła padającego na tę powierzchnię.



Rys. 2. Przestrzeń CIELab

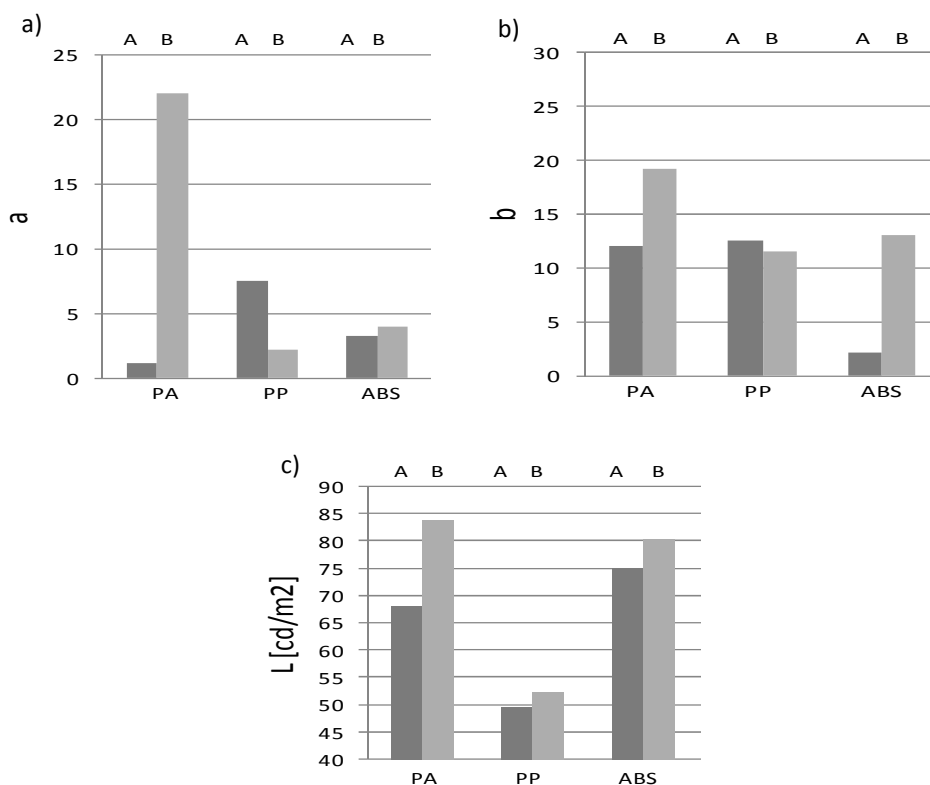
Fig. 2. CIELab space

Badanie połysku polegało na pomiarze intensywności odbitego i rozproszonego światła w wąskim zakresie kąta odbicia ( $20^\circ$ ). Intensywność światła odbitego zależy od załamania światła, absorpcji, przezroczystości i rodzaju powierzchni. Wyniki pomiarów połysku wyrażano w jednostkach połysku GU (Gloss Units).

Starzenie powoduje wzrost wartości L zarówno dla próbek akrylonitryl-butadien-styrenu, polipropylenu jak i kompozytu poliamidu 6.6 z włóknem szklanym, co oznacza że wypraski stały się bardziej jasne. Największe zmiany wartości jasności po procesie starzenia określono w przypadku kompozytu poliamidu 6.6 z włóknem szklanym. Charakter zmian wartości współrzędnych a i b badanych materiałów po procesie starzenia wskazuje na istotny wpływ promieniowania UV. Starzenie promieniowaniem UV akrylonitryl-butadien-styrenu spowodowało wzrost nasycenia odcieniem żółtym. Po starzeniu promieniami UV odnotowano spadek nasycenia odcieniem czerwonym próbek z polipropylenu. Zarejestrowano duże zmiany wartości współrzędnych a i b po procesie starzenia kompozytu poliamidu 6.6 z włóknem szklanym. Starzenie promieniowaniem UV próbek kompozytu poliamidu 6.6 spowodowało wzrost nasycenia odcieniem czerwonym.

Wyniki badań połysku materiałów polimerowych przed i po procesie starzenia przedstawiono na rys. 4.

Najmniejsze wartości połysku odnotowano dla próbek po starzeniu promieniowaniem UV. Z przeprowadzonych badań wynika, iż największy połysk występuje dla próbek z akrylonitryl-butadien-styrenu. Małe wartości połysku zarejestrowano w przypadku próbek kompozytu poliamidu 6.6 z włóknem szklanym. Dla tego materiału polimerowego występują niewielkie zmiany połysku po procesie starzenia. Najbardziej podatny na zmniejszenie połysku jest starzony promieniowaniem UV polipropylen.



Rys. 3. a) współrzędna „a” badanych materiałów polimerowych, b) współrzędna „b” badanych materiałów polimerowych c) jasność L badanych materiałów polimerowych;

A - przed starzeniem, B - po starzeniu promieniowaniem UV

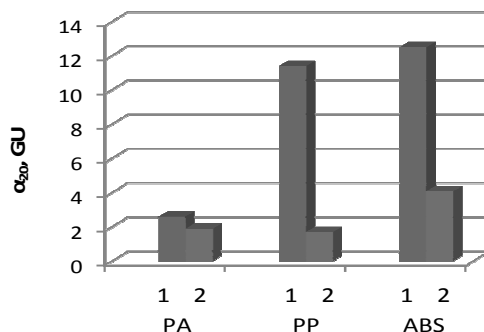
Fig. 3. a) the value of „a” coordinate for the examined polymer materials b) the value of „b” coordinate for the examined polymer materials c) the lightness L of the examined polymer materials; A - before ageing, B - after UV radiation ageing

### 3. PODSUMOWANIE

Pomiar właściwości użytkowych takich jak: wytrzymałość na rozciąganie, uderność, chłonność wody, barwa i połysk materiałów polimerowych po procesach przyspieszonego starzenia stanowi uniwersalną metodę badań zachowania się tworzyw



w naturalnych warunkach użytkowania. Próbki badanych materiałów po procesie starzenia odznaczały się mniejszą udarnością, wytrzymałością na rozciąganie, połyskiem, większą chłonnością wody i inną barwą. Zarejestrowano różnice w zmianie barwy i połysku w zależności od rodzaju badanego materiału. Zmiany wartości współrzędnych a, b oraz jasności L, a także wartość połysku można tłumaczyć różną budową strukturalną badanych materiałów (krystaliczność, amorficzność), budową chemiczną oraz właściwościami termomechanicznymi [1-5, 7, 10, 11]. Największy wpływ procesu starzenia na barwę zarejestrowano w przypadku kompozytu poliamidu 6.6 z włóknem szklanym oraz akrylonitryl-butadien-styrenu. Natomiast połysk wyprasek z ABS i PP zmienia się w największym stopniu po starzeniu promieniowaniem UV.



Rys. 4. Połysk badanych materiałów polimerowych: 1 - przed starzeniem, 2 - po starzeniu promieniowaniem UV

Fig. 4. Gloss of the examined polymer materials: 1 - before ageing, 2 - after UV radiation ageing

#### 4. LITERATURA

- [1] Czaja K.; Poliolefiny, Warszawa, 2005,
- [2] Kaczmarek H.; Polimery a środowisko, Polimery, 42, 521, 1997,
- [3] Nowakowska M.; Poliolefiny, Chemia polimerów, Warszawa, 2002,
- [4] Żuchowska D.; Polimery konstrukcyjne, Warszawa, 2000,
- [5] Sobków D., Sudoł M., Czaja K.; Fotooksydacyjne starzenie stabilizowanego polipropylenu w warunkach laboratoryjnych i poligonowych, Przemysł Chemiczny, 86, 985-988, 2007,
- [6] Maity M., Khatua B. B., Das C. K.; Effect of processing on the thermal stability of the blends based on polyurethane. Part IV, Polymer Degradation and Stability, 72, 499-503, 2001,
- [7] Kelar. K.; Modyfikacja polimerów, Poznań 1992,
- [8] El-Nouby M., El Shazly M.; Attenuation of UV-B radiation in the atmosphere: Clouds effect, at Qena (Egypt), Atmospheric Environment, 41, 4856-4864, 2007,
- [9] Medhaug I., Olseth J., Reuder J.; UV radiation and skin cancer in Norway, Journal

- of Photochemistry and Photobiology. B: Biology, 96, 232-241, 2009,
- [10] Gnatowski A.; Badania wpływu wygrzewania i starzenia promieniami UV na strukturę kompatybilizowanych mieszanin PP/PA 6, *Polimery*, 2, 121-128, 2011,
- [11] Broniewski T. i inni; *Metody badań i ocena właściwości tworzyw sztucznych*, Warszawa, 2000.

## **INFLUENCE OF UV RADIATION ON THE PROPERTIES OF SELECTED POLYMER MATERIALS USED IN BUILDINGS**

### **SUMMARY**

In this work the results of investigation of the change in usable properties after ageing process by UV radiation for some selected thermoplastic polymers were presented. The samples used for investigation have been prepared by injection moulding with optimum processing parameters. The polymers differing in structure and properties were used in the investigation: composite of polyamide 6.6, polypropylene, acrylonitrile-butadiene-styrene. Composite of polyamide 6.6 filled with glass fibre is characterized by quite good mechanical properties but its drawback is high absorptivity of water. Polypropylene is characterized by lower mechanical properties in comparison to polyamide, but it hardly absorbs the water. The analysis presented in this article allowed to determine the effect of UV radiation on the structural polymeric materials, reinforced filler with wide application in buildings. In a study of the mechanical properties observed significant changes for polypropylene and acrylonitrile-butadiene-styrene. The increase in the lightness value after ageing processes of acrylonitrile-butadiene-styrene, polypropylene and composite of polyamide 6.6 filled with glass fibre was obtained. The character of changes of a and b coordinates' value for examined materials after ageing process was evaluated what evidences the essential influence of UV radiation on the colour change.

**Zbigniew H. GONTAR, dr**

Uniwersytet Łódzki  
Katedra Informatyki  
ul. Matejki 22/26, 90-237 Łódź  
e-mail: zhgontar@uni.lodz.pl

## **CENTRUM USŁUG WSPÓLNYCH A WDRAŻANIE SYSTEMÓW SMART GRID ANALYTICS**

### **STRESZCZENIE**

W referacie przedstawiono koncepcję wykorzystania centrum usług wspólnych jako narzędzia organizacyjnego wspierającego wdrażanie rozwiązań Smart Grid Analytics. Koncepcja ta, integrująca odpowiednie usługi i technologie centrum kompetencji, centrum usług wspólnych i centrum radykalnych innowacji, została opracowana na Uniwersytecie Łódzkim przy współpracy z SAS Institute Polska w celu zapewnienia prawidłowego wykorzystania analityki nowej generacji i zaoferowana spółkom obrotu energią elektryczną.

### **1. WPROWADZENIE**

Motorem napędowym rozwoju rynku energii staje się w ostatnich latach koncepcja inteligentnej sieci elektroenergetycznej (Smart Grid – SG). Termin ten został wprowadzony w 2005 roku w artykule Amin’a i Wollenberg’a [1]. Na potrzeby niniejszego referatu zdefiniowano SG jako system elektroenergetyczny pozwalający na zarządzanie przepływem energii i optymalizujący jej wykorzystanie za pośrednictwem analityki nowej generacji (SG Analytics). SG Analytics utożsamiane jest z analizą danych pomiarowych z inteligentnych liczników energii elektrycznej (Smart Meter Data Analytics) i obejmuje – według analityków z Pike Research – analizę danych na potrzeby zarządzania danymi klientów (Customer Management Data Analytics) oraz zarządzania danymi operacyjnymi sieci (Grid Operation Data Analytics) w czasie rzeczywistym. W niniejszym artykule zaprezentowano zagadnienia związane z wdrażaniem systemów SG Analytics. Punktem wyjścia dla prezentowanych analiz jest konstatacja, że systemy SG Analytics są rozwiązaniami typu Business Intelligence (BI). Termin ten wprowadził Luhn w roku 1958 w artykule [2]. Według Luhn’a, system BI dzięki wykorzystaniu automatycznego indeksowania dokumentów tekstowych

(Keyword-in-Context Index – KWIC), rozprowadza dokumenty w czasie rzeczywistym w sposób wybiórczy do miejsc, w których z jednej strony wartość indeksu jest zgodna z profilem zainteresowań przypisanym do tego miejsca, a z drugiej strony, w którym podejmowane są określone działania na podstawie tych informacji. W tym sensie, samo gromadzenie danych z sieci inteligentnych liczników energii elektrycznej i ich porządkowanie w tabelach baz danych, to jedynie punkt wyjścia do działań zmierzających do wybiórczej dystrybucji tych danych w czasie rzeczywistym do właściwych aplikacji wspomagających zarządzanie danymi klientów lub zarządzanie danymi operacyjnymi sieci SG. Współcześnie, pojęcie BI najczęściej używane jest w odniesieniu do technologii informatycznych związanych z zaawansowaną analizą danych.

Wykorzystując metodę analogii, w referacie przedstawiono pogląd, że wdrażaniu systemów SG Analytics, w spółkach obrotu energią elektryczną, powinny towarzyszyć innowacje organizacyjne i procesowe powodujące zmiany sposobu zorganizowania i funkcjonowania tych spółek. W roku 2002, w raporcie [3], Gartner Inc. zaproponował utworzenie „Centrum Kompetencji BI” (Business Intelligence Competency Center – BICC) na potrzeby wdrażania rozwiązań BI. SAS Inc., jeden z czołowych dostawców oprogramowania typu BI, definiuje BICC jako interdyscyplinarny zespół o trwałej, formalnej strukturze organizacyjnej, będący własnością organizacji, z której rekrutują się jego pracownicy, przed którym stawia się określone zadania, definiuje role, obowiązki i procesy, mające na celu wspomaganie i propagowanie efektywnego wykorzystania BI w całej organizacji.

W odniesieniu do rozwiązań SG Analytics, w artykule zaproponowano wprowadzenie nazwy inteligentne laboratorium analityczne (SG Analytical Lab – SGAL). Koncepcja SGAL opiera się na założeniach funkcjonowania zarówno BICC, jak i centrum usług wspólnych, wprowadzonego do nauk o zarządzaniu w 1993 w pracy [4] oraz „Centrum Radykalnych Innowacji”, nad którą to koncepcją autor artykułu pracował będąc jednym z dyrektorów w Centrum Innowacji UŁ. Korzyścią dla spółek obrotu energią elektryczną z wprowadzenia SGAL będzie spójna strategia w zakresie wdrożenia zaawansowanej analizy danych dla obsługi infrastruktury inteligentnych liczników, która umożliwi konkurowanie na bazie zaawansowanej działalności analitycznej.

## **2. SMART GRID ANALYTICS**

Źródła koncepcji SG Analytics należy szukać w rozwiązaniach BI. W latach 90-tych ubiegłego wieku wydawało się, podobnie jak ma to obecnie miejsce z technologiami SG, że technologie BI będą głównym motorem napędowym rozwoju przedsiębiorstw oraz źródłem przewagi konkurencyjnej. Okazało się jednak, że brak kompetencji oraz wizji zastosowania technologii BI w praktyce biznesowej spowodował, że wiele wdrożeń systemów BI kończyło się niepowodzeniem.

### **2.1. Business Intelligence**

Współczesne rozumienia pojęcia BI jest zgodne z definicją zaproponowaną przez Howard’a Dresner’a i Gartner Inc. W 1989 roku, pracując jeszcze w firmie informatycznej Digital Equipment Corporation (DEC), Dresner przedstawił koncepcję BI jako systemu skupionego wokół zarządzania efektywnością organizacji, generujący standardowe raporty i obliczającego kluczowe wskaźniki efektywności (KPI) działania organizacji. W tym sen-

sie, sieć inteligentnych liczników energii elektrycznej umożliwiałaby gromadzenie i przetwarzanie danych na potrzeby obliczania i analizy kluczowych wskaźników efektywności wspierających zarządzanie danymi klientów i zarządzanie danymi operacyjnymi sieci. Obliczanie kluczowych wskaźników efektywności jest warunkiem koniecznym, ale nie wystarczającym do tego, aby system zaklasyfikować do typu BI. W energetyce funkcjonują systemy obliczające kluczowe wskaźniki efektywności, takie jak np.: średni indeks czasu trwania zakłócenia w systemie (SAIDI), czy średni indeks częstotliwości występowania uszkodzeń (SAIFI), odwołujące się do raportowania i kokpitów menedżerskich, umożliwiające monitorowanie, sterowanie i optymalizację działalności w czasie rzeczywistym. Systemy BI umożliwiają dodatkowo realizację zaawansowanej analizy danych (Business Analytics – BA) w zakresie: symulacji i metod scenariuszowych, analityki procesów biznesowych, analizy regresji, modelowania wyborów dyskretnych, optymalizacji, analizy trendu i prognozowania oraz analizy skupień i segmentacji [5].

Pierwotnie systemy BI realizowały analizę danych w trybie off-line. Od połowy lat 2000 pojawiła się koncepcja BI 2.0 sterowanego zdarzeniami odwołująca się do zasad ciągłego doskonalenia procesów, obecnych w naukach o zarządzaniu od lat 90 ubiegłego wieku i metod zarządzania jakością oraz do paradygmatu Web 2.0. Przedmiotem analizy są tu strumienie zdarzeń, co wymaga zbierania, analizowania i interpretowania danych o zdarzeniach w czasie rzeczywistym. W ostatnich latach pojawiła się koncepcja sieci rozwiązań BI 3.0 odwołująca się do paradygmatu Web 3.0 i sieci semantycznych. Przedmiotem analizy są tu procesy obejmujące relacje pomiędzy przedsiębiorstwami, klientami, dostawcami, akcjonariuszami, etc., którzy razem tworzą sieć semantyczną zbudowaną na zasadzie sieci społecznych. W rozwiązaniach BI 2.0 konieczne jest opomiarowanie procesów za pomocą aparatury kontrolno-pomiarowej, w BI 3.0 wymagane jest dodatkowo stosowanie autonomicznych agentów programowych.

## 2.2. Smart Grid Analytics

Systemy SG Analytics to systemy BI 2.0/3.0 (realizujące analizy a czasie rzeczywistym) wymagające rozbudowanej sieci inteligentnych liczników energii elektrycznej oraz sieci inteligentnych agentów programowych. Według analityków z Pike Research, obejmuje systemy wspomagające zarządzanie danymi klientów oraz zarządzanie danymi operacyjnymi sieci w czasie rzeczywistym.

Zaawansowana analiza danych w zakresie Customer Management Data Analytics może być wykorzystana do tworzenia, m.in.: złożonych planów taryfowych, inteligentnego zarządzania ceną, zarządzanie popytem w sensie zarządzania urządzeniami odbiorcy i zarządzania preferencjami popytowymi, natomiast w zakresie Grid Operation Data Analytics, m.in.: do zarządzania dostępnością usług i optymalizacji kosztów dystrybucji energii, zarządzania aktywami i zarządzania energią. Rozwiązania w tym zakresie są opracowywane zarówno przez głównych graczy w rynku BI, w tym Oracle, SAP, IBM, jak i przez nowe firmy. Tabela 1. pokazuje przegląd wybranych rozwiązań z tego zakresu.

*Tabela 1. Przegląd rozwiązań Smart Grid Analytics*  
*Table 1. Smart Grid Analytics Survey*

Oprogramowanie typu Smart Grid Analytics	Nazwa firmy
Digi X-Grid™	AT&T
Smart Energy Services Platform	Capgemini
Meter Data Management System	Ecologic Analytics
EnergyIP 7.5	eMeter
OpenWay®	Itron
Green Energy's GreenBus®	KEMA
Smart Energy Reference Architecture (SERA)	Microsoft
MeterSense	NorthStar Utilities
Advanced Customer Engagement (ACE)	OPOWER
PI System	OSIsoft
Distribution Monitoring System	Scientific Applications International (SAIC)
Advanced Metering Infrastructure	SAP
Smart Grid Solutions Suite: Smart Operations, Smart Networks, Smart Metering	Telvent
Active Smart Grid Analytics™ Active Smart Grid Data Warehouse™	Itron – Teradata

### 3. MODEL INTELIGENTNEGO LABORATORIUM ANALITYCZNEGO

Najnowsze rozwiązania technologiczne wspierające SG Analytics mają charakter innowacji radykalnych. Dokonują rewolucyjnych przemian w sposobie zarządzania, dostarczania i sprzedaży energii, których celem jest zmiana dotychczasowych biernych odbiorców na aktywnych uczestników rynku energii. Dotyczą wprowadzenia inteligentnych liczników energii elektrycznej (Smart Meters), które z kolei wymuszają stosowanie inteligentnych urządzeń domowych (Smart Appliances), budowę efektywnych energetycznie budynków (Smart Buildings), zmianę koncepcji wizji funkcjonowania miast (Smart City), etc. Radykalnym innowacjom technicznym towarzyszyć powinny radykalne innowacje organizacyjne i procesowe. W niniejszym referacie zaprezentowano hipotezę, że wprowadzenie systemów informatycznych SG Analytics zmieni sposób zorganizowania spółek energetycznych, wymuszając utworzenie inteligentnego laboratorium analitycznego dla obsługi analityki nowej generacji. Koncepcja SGAL opiera się na trzech filarach: centrum kompetencji, centrum usług wspólnych i centrum radykalnych innowacji.

Dyrektorzy działów informatyki w spółkach obrotu energią elektryczną, poszukujący rozwiązań w zakresie zaawansowanej działalności analitycznej, muszą wziąć pod uwagę aktualne trendy technologiczne. Podczas sympozjum ITXPO, które odbyło się w USA w Orlando, w dniach 16-20 października 2011 roku, Gartner Inc. zaprezentował listę najważniejszych technologii korporacyjnych z dziedziny ICT, które będą miały istotny

wpływ na funkcjonowanie korporacji w najbliższych trzech latach. O strategicznym znaczeniu tych technologii zdecydowały następujące czynniki: potencjalne zakłócenie dla dotychczasowego funkcjonowania IT oraz biznesu, konieczność ponoszenia poważnych kosztów inwestycyjnych, ryzyko związane ze spóźnionym wdrożeniem. Większość z tych technologii może mieć bezpośredni lub pośredni związek z SG Analytics. Gartner Inc. przewiduje, m.in., że:

1. zaawansowana działalność analityczna (analitika nowej generacji) rozwijać się będzie w trzech formach:
  - a. analiza czasu rzeczywistego w systemach wbudowanych,
  - b. analiza predykcyjna i symulacyjna wykorzystująca dane z systemów rozproszonych,
  - c. analiza danych współdzielonych pomiędzy wszystkimi partnerami zaangażowanymi w podejmowanie decyzji umożliwiającą wspólne podejmowanie decyzji,
2. dynamiczny przyrost ilości danych spowoduje, że możliwości dotychczasowych technologii zarządzania danymi nie pozwolą na efektywne wykorzystanie posiadanych zbiorów danych (big data),
3. korporacje będą borykać się z problemem dużego zróżnicowania mobilnych komputerów,
4. w elektronicznych urządzeniach użytkowych przetwarzanie danych – niezależnie od ich źródła – będzie realizowane w pamięci poprzez systemy wbudowane.

Centrum kompetencji, w zakresie inteligentnych sieci elektroenergetycznych, powinno dysponować metodami oceny potencjału komercyjnego nowych technologii, aby dokonywać właściwego wyboru nowych rozwiązań SG. W artykule zaproponowano wykorzystanie metod QuickLook™ oraz In-Depth opracowanych przez Instytut Innovation, Creativity, Community (IC2) i przekazanych przez University of Texas, Austin do Uniwersytetu Łódzkiego i Fundacji FIRE w ramach nieodpłatnego transferu know-how jako element zobowiązania offsetowego wynikający z umowy z Lockheed Martin Corporation (LMC) z dnia 18 kwietnia 2003 r. w związku z realizowanym przez LMC kontraktu na dostawę 48 samolotów wielozadaniowych F-16 na potrzeby Sił Zbrojnych RP.

Metoda QuickLook™ została opracowana przez Bretta Cornwella w NASA Mid-Continent Technology Transfer Center i rozwinięta przez jej autora na the University of Texas, Austin, USA. Pozwala ona stosunkowo szybko (od 50 do 60 godzin) ocenić potencjał komercyjny nowej technologii w sensie kwantytatywnym (decyzji na tak/nie). Jeśli decyzja jest na tak, wówczas podejmowana jest dogłębna analiza (In-Depth) – wymagająca od 200 do 250 godzin, która ma ocenić rentowność nowej technologii w sensie kwalitatywnym. Metoda In-Depth została opracowana na University of Texas, Austin, USA.

### 3.1. Projekt pilotażowy

W odpowiedzi na konkurs do działania 4.5. „Wsparcie inwestycji o dużym znaczeniu dla gospodarki”, ogłoszony w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka, 2007—2013, Uniwersytet Łódzki wspólnie z SAS Institute Polska zgłosił propozycję wspólnej realizacji projektu „SMART GRID. Centrum usług wspólnych – obsługa klastrów inteligentnych domów w Smart Grid”. Projekt został skierowany do spółek obrotu energią elektryczną i przewidywał przeprowadzenie następujących zadań:

- ocena potencjału komercyjnego rozwiązań związanych z powstawaniem klastrów budynków inteligentnych,
- analiza wpływu klastra budynków inteligentnych na inteligentną sieć rozdzielczą,
- zorganizowanie systemu wykorzystującego w pełni możliwości stwarzane przez zainstalowane liczniki cyfrowe celem zmiany dotychczasowych biernych odbiorców na aktywnych uczestników rynku energii,
- ustalenie zasad projektowania klastrów inteligentnych budynków i przyłączania ich do sieci rozdzielczej (izolowane lub zorganizowane w mikrosieć),
- opracowanie koncepcji nowego rynku energii zapewniającego rozwój i działanie rozdzielczych sieci inteligentnych.

Realizacja projektu miała na celu wypracowanie rozwiązań ICT opartych na technologii BI do zapewnienia współpracy sieci inteligentnych budynków z inteligentną siecią elektroenergetyczną. Projekt pilotażowy polegać miał na wybudowaniu i wyposażeniu siedziby centrum usług wspólnych w system inteligentnego budynku oraz zbudowanie rozwiązań BI do zapewnienia jego współpracy z inteligentną siecią elektroenergetyczną. Po okresie pilotażowym, zbudowane rozwiązania BI miały być wykorzystywane do obsługi inteligentnych budynków, przez agregatorów i/lub operatorów oraz do integracji aplikacji. Źródłem samofinansowania projektu miały być wówczas opłaty za użytkowanie aplikacji BI oraz usługi doradcze z zakresu SG. Istniałaby także możliwość sprzedaży opracowanych rozwiązań BI oraz osiągania dochodów z komercjalizacji technologii w zakresie SG. Korzyścią dla spółek obrotu energią elektryczną byłoby również zmniejszenia całkowitego zapotrzebowania na energię.

Przewidywano następujące podstawowe efekty utworzenia centrum kompetencji w zakresie inteligentnych sieci elektroenergetycznych:

- wybudowanie obiektu demonstracyjnego i/lub demonstracyjno-szkoleniowego w zakresie SG, co umożliwiłoby propagowanie wiedzy i świadomości korzyści z rozwiązań SG oraz realizację działań edukacyjnych i szkoleń w zakresie rozwiązań SG,
- opracowanie aplikacji BI, która umożliwiłaby zarządzanie siecią inteligentnych budynków oraz ich integrację z inteligentną siecią elektroenergetyczną,
- zapewnienie centralizacji kompetencji w zakresie SG,
- zbudowanie interdyscyplinarnego zespołu o trwałej, formalnej strukturze organizacyjnej, włączonego w strukturę spółki obrotu energią elektryczną, który specjalizowałby się we wprowadzaniu rozwiązań SG,
- wypracowanie wzorców biznesowych w zakresie rozwiązań SG,
- wypracowanie najlepszych praktyk w zakresie rozwiązań SG oraz zarządzania projektami SG.

Rozwiązania ICT budowane w centrum usług wspólnych byłyby tworzone wokół hurtowni danych, zawierającej dane pochodzące z czujników, sterowników i systemów pomiarowych zainstalowanych w budynkach inteligentnych. Oprócz tradycyjnej hurtowni danych, stworzona zostałaby procesowa hurtownia danych na potrzeby systemu ICT obsługującego zdarzenia. W centrum zainteresowania tej hurtowni znalazłyby się procesy biznesowe, obsługa zdarzeń, komunikaty XML. System ICT zostałby wbudowany w narzędzia



wspierające zarządzanie procesowe (BPM). Wymagałoby to zbierania, analizowania i interpretowania danych w czasie rzeczywistym. Przedmiotem analizy byłyby procesy obejmujące relacje pomiędzy budynkami inteligentnymi, a środowiskiem zewnętrznym, obejmującym np. mikrosieci. Te procesy musiałyby być monitorowane przez autonomicznych agentów programowych. Rozwiązania BA/BPM umożliwiłyby zarządzanie energią na poziomie inteligentnego domu, integrację inteligentnych domów do poziomu klastra tworzącego mikrosieć oraz integrację klastrów z systemami spółek obrotu energią elektryczną.

Analiza i ocena nowych technologii i przygotowanie wizji rozwoju spółek obrotu energią elektryczną w zakresie SG obejmowałaby wypracowanie najlepszych praktyk i gotowych rozwiązań w zakresie oceny nowych technologii SG. Ocena nowych technologii SG realizowana byłaby na rzecz przedsięwzięć realizowanych w spółce oraz oferowana jako usługa doradcza. Mogłaby też wiązać się z działalnością w zakresie komercjalizacji nowych technologii i uzyskiwania korzyści z patentów.

#### 4. PODSUMOWANIE

W ostatnich latach dostępność technologii ICT generujących ogromne ilości danych (ang. big data) oraz rozwój nowych metod obliczeniowych (ang. Smart Grid Analytics) stwarzają okazję do zaawansowanych badań związanych z inteligentnym rynkiem energii elektrycznej. Spółki obrotu energią elektryczną zamierzające wyzyskać maksimum korzyści z sieci inteligentnych liczników potrzebują strategii w zakresie wykorzystania zaawansowanej analizy danych. Na przeszkodzie do osiągnięcia tego celu stoi brak wizji i kompetencji w tym zakresie. Postulowane utworzenie centrum kompetencji w zakresie inteligentnych sieci elektroenergetycznych stwarza możliwość konsolidacji informacji, umiejętności i wiedzy na ten temat i umożliwia wykorzystanie systemów typu Smart Grid Analytics, jako czynnika determinującego strategię rozwoju spółek obrotu energią elektryczną.

Podstawowe korzyści z utworzenia centrum kompetencji w zakresie inteligentnych sieci elektroenergetycznych są następujące:

- utworzenie zespołu doradczo-opiniującego, w ramach którego będą opracowywane, m.in., analizy oraz oceny przyszłych uwarunkowań związanych z nowymi, środowiskowymi i technologicznymi wyzwaniami związanymi z aktywnym sterowaniem popytem w warunkach SG,
- koncentracja wiedzy, narzędzi, ludzi o odpowiednich umiejętnościach i kwalifikacjach poprzez utworzenie zespołu złożonego z dobrze przygotowanej odpowiednio przeszkolonej grupy kandydatów i zatrudnienie wysokiej klasy specjalistów,
- stworzenie obiektu (smart building) i modeli demonstracyjno-szkoleniowych (modeli smart grid analytics),
- ograniczenie kosztów związanych z opracowaniem nowych rozwiązań Demand Side Management (DSM) oraz obsługi klastrów inteligentnych budynków w smart grid poprzez zintegrowanie funkcji wykonywanych niezależnie w podmiotach należących do spółki i unikanie dublowania procesów w poszczególnych jednostkach,

- utworzenie ujednoliconego rozwiązania komercyjnego typu SG Analytics w zakresie DSM w tym aplikacji do: obsługi inteligentnego domu, klastrów inteligentnych domów, dla agregatorów i pośredników handlu energią, dla operatorów, integracji z innymi aplikacjami.
- zapewnienie obsługi, m.in., w zakresie usług: opracowywania rozwiązań dla inteligentnych budynków, budowania odpowiednich systemów informatycznych, analiza i wyboru dostawców elementów infrastruktury, wprowadzanie standaryzacji i optymalizacji procesów w zakresie DSM, architektury SG i funkcjonowania inteligentnych budynków, budowa najlepszych praktyk w tym zakresie, opracowanie systemu promowania oraz programów edukacji z zakresu DSM i SG, badanie rynku odbiorców energii i usług dodatkowych w celu wyboru optymalnego programu DSM i rozwiązania technologicznego, opracowanie i prowadzenie systemu sprzedaży opracowanych rozwiązań (osiąganie zysków np. poprzez sprzedaż licencji lub usług dostępu do programów), utworzenie call centre w zakresie obsługi utworzonych aplikacji oraz rozwiązań DSM.

## 5. LITERATURA

- [1] Amin S.M., Wollenberg B.F.; Toward A Smart Grid, IEEE P & E Magazine, vol. 3, nr 5, str. 34-41, 2005,
- [2] Luhn H.P.; A Business Intelligence System, IBM Journal, vol. 2, nr 4, str. 314, 1958,
- [3] Dresner H.J., Linden A., Buytendijk F., Friedman T., Strange K., Knox M., Camm M.; The Business Intelligence Competency Center: An Essential Business Strategy, Gartner Research. Strategic Analysis Report, 29 May 2002,
- [4] Gunn R.W., Carberry D.P., Frigo R., Behrens S.; Shared Services: Major Companies are Reengineering Their Accounting Functions, Management Accounting, Vol.75, 1993,
- [5] IBM Institute for Business Value; A New Paradigm for Analytics: IBM's Watson and the Future of Data. w: Analytics: The New path to value. How the smartest organizations are embedding analytics to transform insight into action, IBM Global Business Services, Business Analytics and Optimization, Executive Report, 2011.

## A SHARED SERVICES CENTER AND DEPLOYMENT OF SMART GRID ANALYTICS SYSTEMS

### SUMMARY

The paper presents the concept of using a shared service center as an organizational tool to support the deployment of Smart Grid Analytics solutions. The concept, integrating the appropriate services and technologies of center of excellence, shared service center and a center of radical innovation, was developed at the University of Lodz in cooperation with the SAS Institute, Poland to ensure the correct use of the new generation of analytics, and offered to Energy Corporations.

**Marek GOSZTYŁA, dr hab. inż., prof. PRz**  
**Bogdan Witold MOTYL, mgr inż.**

Politechnika Rzeszowska  
Katedra Konserwacji Zabytków  
ul. Powstańców Warszawy 12  
35-959 Rzeszów

## **PIERWSZE REALIZACJE STYLU ZAKOPIAŃSKIEGO NA PODKARPACIU**

### **STRESZCZENIE**

Nurt zwany często stylem zakopiańskim zaczął się krystalizować u schyłku XIX wieku. W Polsce odwoływał się do motywów narodowych i rodzimych pierwiastków. Zakopane odkryte przez Tytusa Chałubińskiego stało się kolebką nowych projektów w architekturze i sztuce. Mało do tej pory znane są projekty i realizacje w stylu zakopiańskim na Podkarpaciu. W związku z tym autorzy podjęli się próby przebadania i omówienia reprezentatywnych a zarazem kilku obiektów wybudowanych w tym stylu. Do badań wybrano obiekty o różnym programie funkcjonalno - przestrzennym co daje spojrzenie na skalę współpracy architektów i mecenasów. Dokonano analiz ustrojów, form i detali architektonicznych obiektów: domu w Przemyślu ul. Tatarska 26, kościoła pw. MBŚ w Miększu Nowym, budynku Gimnazjum Żeńskiego im. Królowej Jadwigi w Jarosławiu oraz plebani w Dydni. Wskazano również i inne realizacje, które zostały objęte badaniami. Przywołani zostali architekci, którzy zafascynowali się nowym nurtem. Kolejne dzieła architektoniczne omawiane będą sukcesywnie, być może powstanie oddzielne opracowanie poświęcone tej tematyce.

### **1. WPROWADZENIE**

Geneza powstania stylu zakopiańskiego jest wielowątkowa, jego idee krystalizowały się w określonej epoce i określonym miejscu. Na podkładzie surowego drewnianego budownictwa wiejskiego, dodając elementy szlacheckie i piękne stworzono wspaniałą i rozróżbioną architekturę drewnianą oraz w mniejszym stopniu murowaną.

Zakopane było pierwszą miejscowością gdzie powstały realizacje w stylu zakopiańskim. W ślady Witkiewicza podążyli inni architekci między innymi Zygmunt Dobrowolski, Tadeusz Stryjeński, Eugeniusz Wesołowski, Julian Ochrowicz, Jerzy Warchołowski, Teodor Bursze, Kazimierz Kreczmer, Jan Witkiewicz – Koszyc, Wandalin Beringer, Tadeusz Obmiński i Franciszek Mączyński.<sup>1</sup> Z Franciszkiem Mączyńskim, Witkiewicz wiązał duże nadzieje uważał bowiem, że ten młody i zdolny architekt będzie rozwijał styl zakopiański w kierunku transformacji drewnianej konstrukcji na murowaną. Franciszek Mateusz Mączyński studiował w Wyższej Szkole Przemysłowej w Krakowie pod kierunkiem Sławomira Odrzywolskiego u którego później pracował. Następnie podjął współpracę z Tadeuszem Stryjeńskim a ten poznał go w 1898 roku z Stanisławem Witkiewiczem. Mączyński z entuzjazmem podjął studia nad stylem zakopiańskim i wkrótce bo w 1899r powstał jego pierwszy dom w tym stylu i to właśnie na Podkarpaciu w Przeworsku.<sup>2</sup>

## 2. ARCHITEKTURA STYLU ZAKOPIAŃSKIEGO NA PODKARPACIU

Pierwszym budynkiem na Podkarpaciu był dwór w Przyborowie, zbudowany w 1893r. według koncepcji Witkiewicza dla Mikołaja hr. Reya.<sup>3</sup> Na fundamentach starego dworu wybudowano nowy, murowany, częściowo podpiwniczony dwutraktowy. Jego projektantem był polecony przez Witkiewicza architekt Zygmunt Dobrowolski.<sup>4</sup> Witkiewicz przygotował koncepcje i projekty zdobień.

Główny gabaryt dworu kryty był dwuspadowym dachem o stromych połaciach wspartych na wspornikach podokapowych zdobionych motywem zakopiańskim. W płaszczyznach dachu z jednej i z drugiej strony znajdowały się po dwie lukarny w stylu zakopiańskim, korpus zakończony był od wschodu dwoma ryzalitami północnym i południowym nakrytymi dachami łączącymi się z dachem środkowym, a od zachodu jednopiętrowym pawilonem z własnym dachem. Dachy były zakończone pazdurami. W szczytach wykonano dekorowania promieniste, okna czterokwaterowe, a na piętrze pawilonu szersze sześciokwaterowe. Od strony południowej oprócz ryzalitu wschodniego był jeszcze ryzalit środkowy z werandą. Weranda posiadała duże arkadowe otwory okienne z bogato zdobionymi słupami z fryzem, a wszystko zdobione w stylu zakopiańskim. Okna korpusu były sześciopolewe. Od strony północnej okna korpusu były czteropolewe, znajdował się tam umieszczony asymetrycznie ganek z wejściem. Ganek posiadał daszek pulpitowy wsparty na drewnianych słupach, pomiędzy którymi rozpięte były arkadowe zdobienia w stylu tyrolsko - zakopiańskim. Od strony wschodniej elewacji znajdował się otwór drzwiowy u góry ograniczony łukiem odcinkowym, a z dwóch stron drzwi były okna czteropolewe. Od strony

<sup>1</sup> Moździerz Z.; Dom Pod Jedłami Pawlikowskich, Muzeum Tatrzańskie im. Tytusa Chałubińskiego, Zakopane 2003r., str. 66 - 69.

<sup>2</sup> Solewski R., Mączyński F.; Romantyk czy Modernista praca doktorska, 2000r., str. 116 - 117.

<sup>3</sup> Dom Pod Jedłami Pawlikowskich – o.c., str. 52.

<sup>4</sup> Czubińska M.; Dwór w Przyborowie. Studium historyczno - architektoniczne (w zbiorach Podkarpackiego Konserwatora Zabytków), K.M.P. "Igloopol", Dębica – Kraków, marzec 1988r., Sygn.14535, str. 1-14.

zachodniej znajdował się ganek murowany z wejściem do pawilonu, umieszczony centralnie w środku ściany zachodniej, posiadał kamienne schody, osobny dwuspadowy daszek nad arkadowym wejściem oraz dwa aneksy zadaszone daszkami jednospadowymi. Elewację dzieliły gzymsy, jeden nad cokołem i drugi podokienny. Cokół oraz elewacje ryzalitów i pawilonu były boniowane, okna obwiedzione profilowanymi opaskami zamknięte łukiem segmentowym. Szczyty ryzalitów zdobione były w tynku motywem arkadowym schodkowym. Wnętrze dworu posiadało dwa trakty, jeden dla gości drugi dla domowników. Dwór był wyposażony w ozdobne piece z gzymsami i koronami w stylu neorenesansowym, ściany wyłożone były boazerią płycinową oraz tapicerką w drewnianych ramach. Stolarka drzwiowa w modelu płycinowym z profilami i belkowymi supraportami. Na posadzkach ułożono podłogi parkietowe z klepki drewnianej, jadalnia posiadała podwieszany strop belkowy. Wyposażenie w meble było różne od neorenesansowych do manieryzmu niemieckiego, tylko sypialnia właścicieli umeblowana była meblami w stylu zakopiańskim.<sup>5</sup>

Ten stylowy dwór spłonął w latach 70 ubiegłego wieku, niezabezpieczony niszczał, pozostała po nim malownicza ruina.

Autorzy mimo prowadzonych badań terenowych nie odnaleźli domu zaprojektowanego w Przeworsku przez F. Mączyńskiego. Kolejną realizacją istniejącą do dziś jest dom w Przeworsku przy ulicy Tatarskiej 26. Projekt willi dla Państwa Kamińskich wykonał w 1910 r. młody i mało znany wtedy architekt Kazimierz Maria Osiński absolwent Politechniki Lwowskiej Wydziału Architektury, student Kovatsa. Tuż po studiach zarażony ideą zakopiańszczyzny w 1907 r. wykonuje szereg projektów w stylu zakopiańskim. Są to projekt: domu rządcy,<sup>6</sup> projekt stajni z wozownią,<sup>7</sup> projekt ekonomówki,<sup>8</sup> projekt domów robotniczych.<sup>9</sup> Dopiero kolejny projekt willi na ul. Tatarskiej 26<sup>10</sup> doczekał się realizacji. Obiekt istniejący do dziś jest budynkiem o prostokątnym rzucie fundamentów, jednopiętrowy i murowany z cegły, mający centralnie położony ryzalit w elewacji wschodniej oraz asymetrycznie wykształcony ryzalit na elewacji północnej. Elewacja zachodnia posiada okna na wysokości pierwszego piętra, południowa posiada cztery okna. Elewacja wschodnia z centralnie położonym ryzalitem posiada przypory na krawędziach wtopione częściowo w ściany. Elementy te przechodzą przez połąć dachową i są zakończone sterczynami w stylu zakopiańskim. Wykonane są z regularnie obrobionego kamienia. Ryzalit zakończony przyporami, na których powyżej pierwszego piętra spoczywa taras z kamienną balustradą.

---

<sup>5</sup> Ibidem str. 15 - 19.

<sup>6</sup> Projekt w zbiorach Muzeum Narodowego Ziemi Przemyskiej, sygn. NP. Hist. 1553.

<sup>7</sup> Projekt w zbiorach Muzeum Narodowego Ziemi Przemyskiej, sygn. NP. Hist 1551, NP. Hist 1610, NP. Hist 1612.

<sup>8</sup> Projekt w zbiorach Muzeum Narodowego Ziemi Przemyskiej, sygn. NP. Hist 1611, NP. Hist 1543, NP. Hist 1544.

<sup>9</sup> Projekt w zbiorach Muzeum Narodowego Ziemi Przemyskiej, sygn. NP. Hist 1541.

<sup>10</sup> Projekt w zbiorach Muzeum Narodowego Ziemi Przemyskiej, sygn. NP. Hist 1577, NP. Hist. 1576.



*Fot. 1. Elewacja frontowa domu przy ulicy Tatarskiej 26 w Przemyślu*

*Fot.1. Front elevation of Tatarska 26 house in Przemyśl.*

Na pierwszym piętrze po obu bokach ryzalitu znajdują się trójkwaterowe okna z podziałem na jedenaście pól, sklepione łukowo. Natomiast na ryzalicie znajdują się na poziomie pierwszego piętra dwa okna trzykwaterowe sklepione łukowo rozgraniczone wspólnym pilastrem, a na ścianach bocznych pojedyncze blendy o podobnych wymiarach. Łuki okien obramowane są układem kłieńców z wyraźnie zaznaczonym zwornikiem, pod parapetami okien przebiega ława podokienna z wykształconymi płycinami. Na parterze znajdują się okna czterokwaterowe o nadprożu w kształcie spłaszczonego łuku i są obwiedzione opaską. W ryzalicie na parterze występuje okno łączone *tz. Triforium*.<sup>11</sup> Każde z okien jest dwukwaterowe rozdzielone pilasterkiem i przykryte są wspólnym łukiem z kłieńców i zwornikiem. Na bocznych ścianach zrealizowano blendy. Okna na parterze elewacji i ryzalitu nie posiadają parapetów, pod nimi przebiega jednolity cokół w całości otynkowany. Elewacja północna posiada asymetryczny ryzalit połączony z elewacją zachodnią, na pierwszym piętrze jest dwa okna pięciokwaterowe zwieńczone spłaszczonym łukowatym nadprożem. Powyżej nałożono profilowane faliste naddasznice. Dekoracyjne zwieńczenia podparto pilastrami stojącymi na parapetach, które są niesione dwoma wspornikami. Ryzalit nakryty jest daszkiem wchodzącym w połąć dachu korpusu pod kątem prostym i posiada narożne lizeny. Na pierwszym piętrze są trzy okna czterokwaterowe, przedzielone pilastrami, na których wspierają się trzy trójkątne obdasznice. Na parterze znajduje się wejście do budynku zadaszone jednospadowym daszkiem, a na ścianie parteru zaś dwa okna jedenastopolowe o łukowatym nadprożu obwiedzione prostą opaską. Cokół jest otynkowany. Elewacja południowa posiada na

---

<sup>11</sup> Charytonow E.; Historia architektury i formy architektoniczne, PWSZ, Warszawa 1967r., str. 176.

piętrze dwa okna pięciokwaterowe zdobione jak w płaszczyźnie północnej. Okna parteru są proste czterokwaterowe. Ściany pierwszego piętra wyłożono w cegle, parter jest tynkowany. Elewacja zachodnia jest jednorodnie otynkowana z trzema oknami w szczycie dachu. Dwa okna położone niżej są prostokątne czterokwaterowe, a małe pojedyncze u samej góry. Dach typowy podhalański z świetlikami po obu stronach połaci. Świetliki nakryte są jednospadowymi daszkami, od strony wschodniej dach kończy taras częściowo zadaszony. Na taras prowadzą drzwi z nadświetłem łukowym, a po bokach są okna łukowe trój kwaterowe. Nad nimi zadaszanie na konsolach, powyżej w szczycie okno zakończone łukiem dwukwaterowe. Dom stoi na terenie o stromym pochyleniu w kierunku północnym. W wystroju domu możemy dopatrzeć się całej palety elementów obcych stylowi zakopiańskiemu, a zwłaszcza okien w elewacji północnej i południowej, jednak widać tu wpływ sposobu zakopiańskiego i historycyzmu. Dopiero w następnych zrealizowanych projektach Osińskiego ugruntowuje się wyrażanie styl zakopiański.

Następną realizacją Osińskiego w stylu zakopiańskim był kościół pod wezwaniem Matki Bożej Śnieżnej w Miększu Nowym. Projekt kościoła był gotowy w marcu 1918r. Natychmiast rozpoczęto budowę i ukończono świątynię w 1919r.



*Fot. 2. Kościół pod wezwaniem Matki Boskiej Śnieżnej w Miększu Nowym,  
widok od strony północno – zachodniej*

*Fot. 2. The Holy Virgin's Church in Miększ Nowy, north-west view.*

Jest to kościół drewniany na podmurówce z betonu, architekt zaprojektował go na planie krzyża greckiego z przedłużonym prezbiterium. Urozmaicił bryłę kościoła poprzez zróżnicowanie kształtu dachu, wykorzystując tu formę półszczytową.

Kościół posiada 21,68m długości i 13,22m szerokości całkowitej, wysokość ścian do gzymsu wynosi 5,56m, a wysokość wraz z iglicą do podstawy krzyża 17,30m. Wyso-

kość nawy głównej i prezbiterium ma 8,60m, a naw bocznych 5,20m.<sup>12</sup> Ściana frontowa kościoła od północy posiada w szczycie charakterystyczny półokrągły stożkowaty daszek zwieńczony krzyżem (zapewne ma to symbolizować gólgotę), pod którym znajduje się wielokwaterowe ostrołuczne okno, poniżej którego wyrasta półszczyt i kruchta z wejściem nakryta własnym dachem o kształcie podhalańskim z bocznymi oknami. Wysunięte skrzydła nawy bocznej zamykają elewację, w której są wielokwaterowe okna o trójkątnym zakończeniu. Elewację zachodnią stanowi część bezokienna nawy głównej i płaszczyzna nawy bocznej pokryta dachem z lukarną w kształcie półkolistym. Dach nawy bocznej związanym jest z dachem nawy głównej, a na szczycie posiada mały krzyżyk. Do nawy bocznej dostawiony jest przedsionek zakrystii pokryty jednospadowym daszkiem i zakrystia zwieńczona jest własnym podhalańskim dachem. W kierunku południowym świątynię finalizuje prezbiterium. W kruchcie jest jedno trójkwaterowe okno, w nawie bocznej zaś znajduje się duże wielokwaterowe okno o trójkątnym zwieńczeniu. W przedsionku okno jest kwadratowe sześciokwaterowe a w zakrystii czterokwaterowe kwadratowe. Duże wielokwaterowe okno znajduje się w bocznej ścianie prezbiterium. Wygląd elewacji wschodniej jest lustrzanym odbiciem w stosunku do ściany zachodniej. Elewacja południowa to przede wszystkim ściany prezbiterium z widocznymi bezokiennymi ścianami zakrystii i naw bocznych oraz powierzchniami ścian prezbiterium z wspomnianymi oknami. Okna świątyni obwiedzione są ozdobnymi opaskami, a ściany pokryte są deskowaniem poziomym z pionowymi lizenami na narożach z wyraźnie zaznaczonym cokołem odeskowanym pionowo. Dach korpusu głównego i prezbiterium wsparty jest na gzymsie biegnącym dookoła budynku. Uformowany jako wielospadowy, skrzyżowany centralnie nad nawą główną, a w miejscu skrzyżowania znajduje się kwadratowa wieżyczka na sygnaturkę zwieńczona daszkiem z iglicą zakończoną krzyżem. W wieżyczce występują blendy z żaluzjami na każdej ścianie. Dach z nawy głównej w kierunku prezbiterium przechodzi w wielospadowy. Szczyty dachów i sygnaturka jest ozdobiona licznymi ornamentami zakopiańskimi wycinanymi w drewnianych listwach. Wnętrze kościoła jest trójnawowe, nawa główna wraz z prezbiterium posiada ostrołukowe sklepienie pozorne, oszalowane deskami z ażurowym fryzem u góry ścian. Nawa główna łączy się z nawami bocznymi poprzez dwie drewniane kolumny wspierające trzy ostrołukowe arkady, które w nawach bocznych przechodzą w płaski strop. W części tylnej głównej nawy nad wejściem głównym znajduje się empora organowa. Prowadzą na nią z lewej strony nawy drewniane schody, empora wsparta jest na dwóch drewnianych kolumnach. Kolumny i łuki są zdobione motywami góralskimi. Osiński

---

<sup>12</sup>Lewosiuk J.; Inwentaryzacja kościoła w Miększu Nowym, w zbiorach Podkarpackiego Konserwatora Zabytków w Przemyślu, 2006r.



zaprojektował również ramy do obrazów co nadaje całości niepowtarzalny nastrój. Ponadto zaprojektował dzwonnice również w stylu zakopiańskim.<sup>13</sup>

Na początku wieku na terenie obecnego województwa podkarpackiego powstawały inspirowane stylem zakopiańskim w większości budynki murowane. Takim budynkiem istniejącym do dziś, choć już bez charakterystycznego dachu jest wybudowany w 1912r budynek Gimnazjum Żeńskiego im. Królowej Jadwigi przy ulicy 3-go maja 30 w Jarosławiu.



*Fot. 3. Budynek Publicznego Gimnazjum nr 1w Jarosławiu im. Św. Królowej Jadwigi przy ulicy 3 Maja 30, elewacja frontowa*

*Fot. 3. 1-st Public Grammar School building in Jarosław, 3-rd May street, front elevation.*

Autorzy mimo intensywnych badań naukowych nie znaleźli dokumentów świadczących o autorze projektu. Z zachowanych akt wiadomo tylko, że projekt budynku powstał w 1910 roku,<sup>14</sup> koszt budowy zaplanowano na 173 213,42 koron.<sup>15</sup> Głównymi wykonawcami byli Kaczmarek i Nazarkiewicz, wykonawcą dachu był Leon Wieselthier, inżynierem miejskim był wtedy Jan Sobecki.<sup>16</sup> Budynek wybudowano na rzucie dwuskrzydłowym o nierównych skrzydłach łączących się pod kątem około 67 stopni. Skrzydło północno-zachodnie o długości 26,76m i szerokości 10,30m, łączy się z skrzydłem wschodnim

---

<sup>13</sup>Piekarz T.; Karta biała, w zbiorach Podkarpackiego Konserwatora Zabytków w Przemyślu, sygn. A-800, 2002r.

<sup>14</sup>Akta Miasta Jarosławia, w zbiorach Archiwum Państwowego w Przemyślu, sygn.63 strona 241 poz.5.

<sup>15</sup>Akta Miasta Jarosławia, w zbiorach Archiwum Państwowego w Przemyślu, sygn.64 strona 26 poz.20.

<sup>16</sup>Akta Miasta Jarosławia, w zbiorach Archiwum Państwowego w Przemyślu, sygn.65.

o długości 32,47m i szerokości 10,42m. U zbiegu skrzydeł od strony głównej elewacji wybudowano łącznik w postaci ryzalitu o szerokości 4,05m z głównym wejściem. Od strony tylnej ryzalit łączący symetrycznie skrzydła ma długość 15,30m. Wysokość budynku, który ma trzy kondygnacje wynosi do gzymsu 10,50m. Elewacja północna-zachodnia i wschodnia posiada liczne zdobienia, a na końcach skrzydeł występują ryzalitty. Ryzalitty były podkreślone dachami ze szczytami, w których zamontowano po pięć arkadkowych okien. Podobnie wyglądał ryzalit środkowy, nad którym w tym miejscu dach był trójszczytowy z cofniętą wieżyczką zakończoną iglicą, w środkowym szczycie był zegar. Dwa pozostałe szczyty miały okna arkadkowe o wysokości dostosowanej do skosu płaszczyzny dachu. W pozostałej połaci dachu występowały lukarny o daszkach jednospadowych. Szczyty były zdobione promienistymi listwami. Dach ten uległ zniszczeniu i po wojnie nie odbudowano go. Obecnie jest on dwuspadowy (należało by rozważyć możliwość przywrócenia pierwotnego wyglądu dachu), elewacje rytmizują lizeny trójkątne w przekroju, pomiędzy którymi umieszczone są okna. W ryzalitach pojedyncze, w korpusie skrzydeł po dwa. Parter podkreślający pierwszą kondygnację jest boniowany. Cokół spoczywa na podmurówce piwnicy z małymi okienkami, pierwszą kondygnację od cokołu oddziela ozdobny gzyms, na ryzalitach arkadkowy, na korpusie zębaty.

Na parterze występują okna wielokwaterowe o łukowym sklepieniu obwiedzione opaską, pod oknem parapet z ozdobnym fartuszkami. Na pierwszym piętrze zastosowano tzw. okna bramantowskie<sup>17</sup> wielokwaterowe ze zdobieniem promieni słonecznych na fartuszkach podokiennych. Okna drugiej kondygnacji są wielokwaterowe prostokątne bez opasek z parapetami wspartymi na łukowym wsporniku. Elewacja zakończona jest gzymsem zębatkowo arkadkowym. Na ryzalitech wokół okien w części górnej znajdują się elementy ozdobne w kształcie szarotek. Wejście główne znajduje się w ryzalicie środkowym, drzwi są dwuskrzydłowe płycinowe z wielokwaterowym nadświetłem. Elewacja południowa szczytowa jest gładka bez okien. Elewacja tylna jest też gładka z oknami wielokwaterowymi sklepieniami łukiem odcinkowym bez opasek. W części środkowej ryzalitu okna są obniżone i powiększone ze względu na to, iż doświetlają klatkę schodową. W części centralnej ryzalitu występują płycinowe drzwi wejściowe, drzwi wejściowe znajdują się również w lewym i prawym skrzydle. Obecnie dobudowano do lewego skrzydła salę gimnastyczną. Poprzez wejście główne wchodzi się do holu, następnie schodami na poziom parteru, tu rozchodzą się dwa korytarze łączące się z salami lekcyjnymi. Wachlarzowe schody, które znajdują się w ryzalicie prowadzą na pierwsze piętro i tu znowu korytarze prowadzą do klas lekcyjnych. Powyżej powtórzone jest piętro drugie. Przy wejściu i na wyjściach z klatki schodowej sklepienia są krzyżowe, odcinki schodów przesklepione, a w koryta-

---

<sup>17</sup>Charytonow E.; Historia architektury i formy architektoniczne - o.c., str. 176.

rzach są stropy płaskie.<sup>18</sup> Szkoła była wyposażona w piony sanitarne i centralne ogrzewanie oraz elektryczny dzwonek lekcyjny. Budynek ten jako szkolny zawiera wiele elementów eklektycznego historycyzmu lecz powstawał w okresie szczególnego zapotrzebowania na treści patriotyczne, stąd liczne odwołania do gotyku i renesansu okresu świetności państwa polskiego, a jednocześnie poprzez zaakcentowanie stylu zakopiańskiego manifestował przynależność do modnego wówczas nurtu narodowego.

Kolejnym budynkiem w stylu zakopiańskim, który powstał przed końcem okresu „pierwszego zakopiańskiego”,<sup>19</sup> był obiekt plebanii w Dydni.<sup>20</sup> Zaprojektował go architekt Bogdan Treter. Budynek jest drewniany o konstrukcji zrębowej na kamiennej podmurówce. Posiada dwie przeszklone werandy. Jedną lekko cofniętą od strony południowo-zachodniej z wejściem na werandę po czterech stopniach i drugą od strony północno-wschodniej na wysokim podpiwniczeniu, a wejście na werandę prowadzi poprzez wysokie podwójne lekko łukowate schody ustawione w kształcie litery V. Dach nad częścią budynku z werandami dwuspadowy wpuszczony do nieco niższych dachów flankujących o kalenicach prostopadłych do dachu głównego. Dachy te mają z obu stron zdobione szczyty promienistymi listwami i w nich trójarkadowe okna zadaszone półszczytem. Półszczyty podokienne i dachy wsparte na konsolach. Od strony południowo-zachodniej w połaci dachu nad werandą jest lukarna z jednospadowym dachem, a od strony północno-zachodniej znajduje się ganek zadaszony daszkiem z półszczytem wchodzącym w połacie dachu flankującego. Dachy pokryto dachówką ceramiczną. Ganek posiada dwa okienka jedno nad drugim od strony zachodniej i drzwi płycinowe od strony południowej poprzedzone schodkami. Na elewacji północno-zachodniej oprócz ganku znajdują się po jego obu stronach dwa okna sześciokwaterowe. Elewacja południowa-zachodnia pod szczytami posiada po dwa okna, a w części centralnej przeszklona weranda z drzwiami wejściowymi, a elewacja północno-wschodnia ma trzy okna. Elewacja północna-wschodnia posiada rozmieszczenie okien i werandy podobnie jak południowa-zachodnia. Okna są kwadratowe z prostymi opaskami. Ściany budynku pokryto gontem, na dachach przy rynnach ozdobne są kosze z motywem roślinnym. Od strony północno-wschodniej wyrasta wysokie podpiwniczenie z wejściem do piwnicy i dużymi oknami piwnicznymi, na pozostałych elewacjach małe okienka piwniczne. Wnętrze domu jest dwutraktowe ogrzewane kaflowymi piecami, a podłogi drewniane.

---

<sup>18</sup> Kieferling K.; Karta biała, w zbiorach Podkarpackiego Konserwatora Zabytków w Przemyślu, sygn. A - 216, 2007r.

<sup>19</sup> Dom Pod Jedłami Pawlikowskich - o.c., str. 82.

<sup>20</sup> Katalog Zabytków Sztuki Polskiej tom XIII zeszyt 2, Instytut Sztuki PAN, Warszawa 1974r., str. 27.

Omówione powyżej obiekty powstały w okresie poszukiwań i krystalizowania się form stylu zakopiańskiego. Należy tu wspomnieć również o jedynej znanej realizacji zdobień o motywach zakopiańskich. Wykonane zostały w budynku PKO BP w Rzeszowie, zrealizowanym przez Jana Perosia w latach 1906 – 1908. Oprócz wielu zdobień we wnętrzach budynku na szczególną uwagę zasługuje zdobienie sali rautowej. Posiada ona fryz arkadowy ze zdobieniami w polach arkad w postaci stylizowanych kwiatów i herbów województwa kijowskiego-Rusi, Korony Polskiej i Wielkiego Księstwa Litewskiego.<sup>21</sup> W okresie tzw. drugiego stylu zakopiańskiego (1918-1939)<sup>22</sup> zgodnie z występowaniem w tym czasie nurtów modernistycznych architekci projektowali budynki bardziej stylowe i funkcjonalne z uproszczoną dekoracją.<sup>23</sup> W tym duchu powstawały budynki przeważnie o konstrukcji drewnianej, są one również reprezentowane na Podkarpaciu. W 1925r. w przemyskich Książcach powstał kościół pod wezwaniem Wniebowzięcia NMP,<sup>24</sup> fundowany przez rodzinę Pawlikowskich. W latach 1926 - 1928 w związku z utworzeniem uzdrowiska w Brzozowie z inicjatywy Biskupa Przemyskiego Anatola Nowaka<sup>25</sup> wybudowano budynki zdrojowe w stylu zakopiańskim, dom zdrojowy kaplicę i willę „Anatolówkę”,<sup>26</sup> w pobliskiej Jabłonce Bogdan Treter projektuje kościół wybudowany w 1930r. W tym też roku wybudowano zaprojektowany przez Kazimierza Osińskiego kościół w Lisznej koło Sanoka.<sup>27</sup> Osińskiemu również przypisuje się autorstwo budynku Klubu Sportowego „Czuwaj” w Przemyśle wybudowanego w latach 1932-1934.<sup>28</sup> Powstawały również budynki murowane min.: budynek dworca kolejowego w Przeworsku, Uniwersytetu Ludowego w Gaci pod Przeworskiem zaprojektowany przez Jana Koszyca -Witkiewicza zbudowany w latach 1932-1934.<sup>29</sup> Oczywiście nie jest to lista pełna powstałych wtedy na Podkarpaciu budynków w stylu zakopiańskim. Autorzy w swych badaniach natchnęli się

---

<sup>21</sup>Wajdowicz M.; Karta biała, w zbiorach Podkarpackiego Konserwatora Zabytków w Przemyśle, sygn. A - 1262, 1993r.

<sup>22</sup> Dom Pod Jedłami Pawlikowskich - o.c, str. 85.

<sup>23</sup> Ibidem str. 85.

<sup>24</sup> Łamasz R.T.; Karta biała, w zbiorach Podkarpackiego Konserwatora Zabytków w Przemyśle, bez sygn., 2008r.

<sup>25</sup>Pudłocki T.; Anatol Nowak biskup któremu zabrakło czasu, Nasz Przemyśl nr 12, 2009r., str. 41.

<sup>26</sup>Adamski J. F.; Przewodnik, Brzozów Muzeum Regionalne PTTK, Warszawa –Kraków 1985r., str. 12.

<sup>27</sup>Białkiewicz A.; Architektura sakralna na obrzeżach modernizmu, Teka Kom Arch. Urb. Stud. Krajobr., 2008, str. 35.

<sup>28</sup>Tondos B.; Karta biała, w zbiorach Podkarpackiego Konserwatora Zabytków w Przemyśle, sygn. A - 118, 2005r.

<sup>29</sup>Jurjewicz H.; Karta biała, w zbiorach Podkarpackiego Konserwatora Zabytków w Przemyśle, sygn. A - 637, 1995r.

na projekty i zdjęcia obiektów nieistniejących już, bądź niezrealizowanych. Okres drugi zamyka się rokiem 1939.

Okres 1939 - 1959 nazwano okresem stylu nowo zakopiańskiego.<sup>30</sup> W czasie wojny oczywiście wiele nie budowano lecz autorzy odnaleźli z roku 1942 projekt domu ludowego w Książkach autorstwa Stanisława Wolańskiego.<sup>31</sup> Natomiast po wojnie w latach pięćdziesiątych ubiegłego stulecia w dobie socrealizmu nastąpił intensywny rozwój budownictwa w stylu zakopiańskim, głównie w Bieszczadach, gdzie Lasy Państwowe masowo stawiały osiedla robotnicze i budynki administracyjne w tym stylu. Były to budynki proste bez zdobień tzw. typówki, a projektowało je Biuro Projektów Budownictwa Leśnego z Poznania.<sup>32</sup> Niestety do dnia dzisiejszego zachowało ich się niewiele, gdyż zastąpiono je budynkami murowanymi również o stylistyce zakopiańskiej (autorzy również prowadzą badania w tym zakresie).

Na koniec należy wspomnieć o budynkach rządowych budowanych w tym stylu w Arłamowie, Trójcy i innych ośrodkach wypoczynkowych. Należy zauważyć, że sporo jest również realizacji obiektów prywatnych zwłaszcza wokół Przemyśla i w Bieszczadach. Najnowsze realizacje przeważnie są inspirowane stylem zakopiańskim jak np. kaplica w Rokietnicy wybudowana w 2011r., ale występują też i inne przykłady jak kaplica w Młodowicach wzniesiona w 2012r.

### 3. PODSUMOWANIE

Z przeprowadzonych badań wynika, że styl zakopiański znalazł swoje miejsce na Podkarpaciu, choć w znacznym rozproszeniu (nie bez zasług jest tu rodzina Reyów, biskup przemyski pochodzący z Kańczugi Anatol Nowak oraz szczególnie rodzina Pawlikowskich tak organicznie związana z Podkarpaciem). Omówione przykłady obiektów architektury reprezentujące nurt-styl zakopiański pozwalają tylko na wycinkową analizę stosowanych rozwiązań w architekturze. Można jednak przyjąć, że wybrane reprezentatywne obiekty architektoniczne dają możliwość szerszego zakresu spojrzenia na styl zakopiański na innym obszarze. Badania z zakresu tej tematyki powinny być kontynuowane, gdyż pozwolą określić skalę zaprojektowanych i zrealizowanych obiektów w tym stylu architektury na Podkarpaciu.

### 4. LITERATURA

- [1] Peccatori S., Zuffi S., tekst: Simona Bartolena w tłumaczeniu Doroty Łąkowskiej; *Klasyki Sztuki - Degas i impresjoniści* - pod redakcją HPS, Warszawa, 2006r.,

---

<sup>30</sup> Dom Pod Jedłami Pawlikowskich - o.c, str. 95.

<sup>31</sup> Plany w zasobach Muzeum Ziemi Narodowej w Przemyśle, sygn. K 563.

<sup>32</sup> Relacja ówczesnego inspektora nadzoru L. P. Janusza Gibalewicza z Przemyśla w posiadaniu autorów.

- [2] Peccatori S., Zuffi S., tekst: Tatjana Pauli w tłumaczeniu Ewy Romanowskiej; *Klasyki Sztuki - Klimt* - pod redakcją HPS, Warszawa 2006r.,
- [3] Peccatori S., Zuffi S., tekst: Gabriela Crepaldi w tłumaczeniu Agnieszki Majewskiej; *Klasyki Sztuki - Rossetti i prerafaelici*, pod redakcją HPS, Warszawa 2006r.,
- [4] Peccatori S., Zuffi S., tekst: Gabriela Crepaldi w tłumaczeniu Doroty Łąkowskiej; *Klasyki Sztuki - Schiele i ekspresjoniści*, pod redakcją HPS, Warszawa 2006r.,
- [5] Miłobędzki A.; *Zarys Dziejów Architektury w Polsce*, Wiedza Powszechna, Warszawa 1968r.,
- [6] Peccatori S., Zuffi S., tekst: Silvia Borghesi w tłumaczeniu Doroty Łąkowskiej; *Klasyki Sztuki - Hopper*, pod redakcją HPS Warszawa 2006r.,
- [7] Witkiewicz S.; *Styl Zakopiański 1886 Zeszyt II Ciesielstwo*, Wydawnictwo H. Altenberga, Lwów 1911r.,
- [8] Broniewski T.; *Historia Architektury dla Wszystkich*, Zakład Narodowy imienia Ossolińskich, Wrocław 1980r.,
- [9] Krzysztofowicz - Kozakowska S.; *Między Giewontem a Parnasem –Inspiracje Artystyczne Sztuką Podhala*, Muzeum Narodowe w Krakowie, Kraków 1997r.,
- [10] Szybisty T.; *Rocznik Podhalański Tom 10 (za 2003 - 2006)*, artykuł - Sposób Zakopiański i jego twórca Edgar Kovats, Towarzystwo Muzeum Tatrzańskiego im. Dra T. Chałubińskiego w Zakopanem, Zakopane 2007r.,
- [11] Zubrzycki Sas J.; *Serce. Rozbiór pierwiastków sztuki ludowej i narodowej (z rysunkami)*, Wydawnictwo Piller - Neumann, księgarnia G. Gebethner Kraków – Warszawa, Lwów 1921r.,
- [12] Matlakowski W.; *Budownictwo Ludowe na Podhalu cz.1*, Kraków 1892 r.,
- [13] Leśniakowska M.; „Architekt Jan Koszczyc Witkiewicz (1881 - 1958) i budowanie w jego czasach”, Warszawa 1998r.,
- [14] Witkiewicz S.; *Styl Zakopiański 1886 Zeszyt I Pokój Jadalny*, Wydawnictwo H. Altenberga, Lwów 1911r.,
- [15] Gluzińska A.; *Dwaj zapomniani architekci Antoni Łuszczkiewicz i Edgar Kovats*, *Przegląd Wschodni Tom VII zeszyt 4(28)*, Warszawa 2001r.,
- [16] Możdzierz Z.; *Dom Pod Jedłami Pawlikowskich*, Muzeum Tatrzańskie im. Tytusa Chałubińskiego, Zakopane 2003r.,
- [17] Solewski R., Mączyński F.; *Romantyk czy Modernista praca doktorska*, 2000r.,
- [18] Czubińska M.; *Dwór w Przyborowie. Studium historyczno - architektoniczne (w zbiorach Podkarpackiego Konserwatora Zabytków)*, K.M.P. „Igloopol”, Dębica – Kraków, marzec 1988r.,
- [19] Charytonow E.; *Historia architektury i formy architektoniczne*, PWSZ, Warszawa 1967r.,
- [20] *Katalog Zabytków Sztuki Polskiej tom XIII zeszyt 2*, Instytut Sztuki PAN, Warszawa 1974r.,
- [21] Pudłocki T.; *Anatol Nowak biskup któremu zabrakło czasu*, *Nasz Przemysł nr 12*, 2009r.,
- [22] Adamski J. F.; *Przewodnik*, Brzozów Muzeum Regionalne PTTK, Warszawa – Kraków 1985r.

---

## **FIRST REALIZATIONS OF ZAKOPIANIAN STYLE IN PODKARPACIE**

### **SUMMARY**

Trend, frequently called Zakopianian style, came into being in late XIX century. In Poland, it referred to native motives. Zakopane discovered by Tytus Chałubiński became the center of new projects in architecture and art. However, we barely know projects and realizations of Zakopianian style in Podkarpacie. Therefore, authors try to research and discuss some representative structures and buildings built in that style.





Michał GÓRSKI, mgr inż. <sup>1</sup>

Karol PISAREK, mgr inż. <sup>2</sup>

Piotr GRYGIEL, dr inż. <sup>2</sup>

Stanisław REMIZOWICZ, mgr inż. <sup>3</sup>

1) Instytut Maszyn Przepływowych PAN w Gdańsku, Zakład Fizycznych Aspektów Ekoenergii, ul. Fiszer 14, 80-231 Gdańsk, mgorski@imp.gda.pl;

2) Politechnika Gdańska, Wydział Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej, ul. G. Narutowicza 11-12, 80-233 Gdańsk, pgrygiel@mif.pg.gda.pl;

3) Intel Polska Sp. z o.o., ul. Słowackiego 174, Gdańsk, remizowicz@intel.pl

## EKSPERYMENTALNE I NUMERYCZNE BADANIA AUTONOMICZNEJ INSTALACJI KOLEKTORÓW SŁONECZNYCH

### STRESZCZENIE

W pracy została przebadana autonomiczna instalacja solarna z pompą obiegową prądu stałego zasilaną bezpośrednio z ogniwa fotowoltaicznego. Opisany został model matematyczny poszczególnych części układu, który następnie został zaaplikowany do symulacji numerycznej. Badanie opisanego układu odbywało się w warunkach bez obciążenia cieplnego. Wyniki analizy numerycznej porównano z wynikami eksperymentalnymi. Zidentyfikowano dwa etapy samoczynnego wychładzania zasobnika w ciągu doby.

### 1. WPROWADZENIE

Alternatywą dla instalacji solarnych podłączonych do sieci elektrycznych, wyposażonych w układy sterowania pracą pompy są układy z pompą obiegową zasilaną bezpośrednio przez ogniwo fotowoltaiczne. Wybór takiego a nie innego źródła zasilania dla pompy jest oczywisty ze względu na fakt, że kolektor słoneczny może dostarczać energię ciepłą jedynie w czasie, gdy na jego powierzchnię pada promieniowanie słoneczne o odpowiednim natężeniu. Dzięki połączeniu pompy obiegowej z modułem PV otrzymujemy w pełni ekologiczną, autonomiczną instalację solarną z własnym źródłem zasilania. Rozwiązania takie są nowatorskie i wciąż mało popularne jednak posiadają wiele zalet, wśród których należy wymienić płynną regulację masowego natężenia przepływu, co skut-

kuje poprawieniem sprawności instalacji oraz cenę instalacji, która przy właściwym doborze elementów instalacji może okazać się korzystniejsza od kosztów eksploatacji tradycyjnych układów zasilanych z sieci elektrycznej. Autorzy prac [1], [2], [3] eksperymentalnie wykazali praktyczność stosowania ogniw fotowoltaicznych do zasilania pomp w instalacjach solarnych. Do układów zasilanych przez moduł PV należy również autonomiczna instalacja solarna będąca przedmiotem niniejszej pracy.

Cechą charakterystyczną autonomicznych instalacji solarnych jest masowe natężenie przepływu czynnika roboczego, które jest funkcją natężenia promieniowania słonecznego oraz temperatury otoczenia ogniw fotowoltaicznych. W pracy [4] zbadano wpływ obu zmiennych na przebieg charakterystyki objętościowego natężenia przepływu. Aby pompa obiegowa zaczęła działać natężenie promieniowania słonecznego musi przekroczyć pewną wartość progową, która umożliwia pompie pokonanie oporów hydraulicznych. Hydrauliczne opory statyczne, takie jak wysokość podnoszenia, powodują wzrost progowej wartości natężenia promieniowania słonecznego. Natomiast hydrauliczne opory dynamiczne związane ze średnicą, długością i zagięciami rur oraz wszelkimi urządzeniami, przez które przepływa czynnik roboczy powodują obniżenie wartości maksymalnej masowego natężenia przepływu, które może zostać osiągnięte przez pompę.

Autorzy publikacji [5] oraz pracy [4] zwracają uwagę na wpływ masowego natężenia przepływu czynnika roboczego na sprawność instalacji solarnych wyposażonych w pompy zasilane przez ogniwo fotowoltaiczne. W pracy tej badano trzy typy instalacji solarnych. Pierwszy układ nie posiadał wydzielonego obiegu kolektorowego, więc woda bezpośrednio z zasobnika przepływała przez kolektor. Drugi układ posiadał obieg kolektorowy czynnika roboczego oraz wymiennik w zasobniku, przy czym w zbiorniku zachodziła wymuszona konwekcja wody. Trzecią badaną instalacją był układ podobny do autonomicznej instalacji będącej przedmiotem niniejszej pracy, różnicę stanowił wymiennik ciepła pomiędzy wodą zgromadzoną w zasobniku a czynnikiem roboczym znajdującym się poza zbiornikiem wody użytkowej. Wymiana ciepła następowała w wyniku konwekcji swobodnej wody w zasobniku.

Na podstawie opracowanej przez autorów metody, można stworzyć funkcje pozwalające obliczyć zoptymalizowaną wartość masowego natężenia przepływu w zależności od natężenia promieniowania słonecznego, padającego na powierzchnię kolektora i modułu fotowoltaicznego. Autorzy opracowali metodologię poszukiwania optymalnej konfiguracji autonomicznych instalacji solarnych. Główną przesłanką tej metody jest podział poszukiwań na dwie fazy. W fazie pierwszej poszukuje się optymalnego przebiegu charakterystyki masowego natężenia przepływu, która pozwala zmaksymalizować sprawność układu. W fazie drugiej dobiera się taką konfigurację ogniw PV i pompy, aby otrzymać jak najlepszą zgodność rzeczywistej charakterystyki masowego natężenia przepływu z obliczoną funkcją. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że każda godzina pracy układu zasilanego przez moduł PV pozwoliła zaoszczędzić, co najmniej 3 W w porównaniu do pracy pompy zasilanej z sieci elektrycznej.

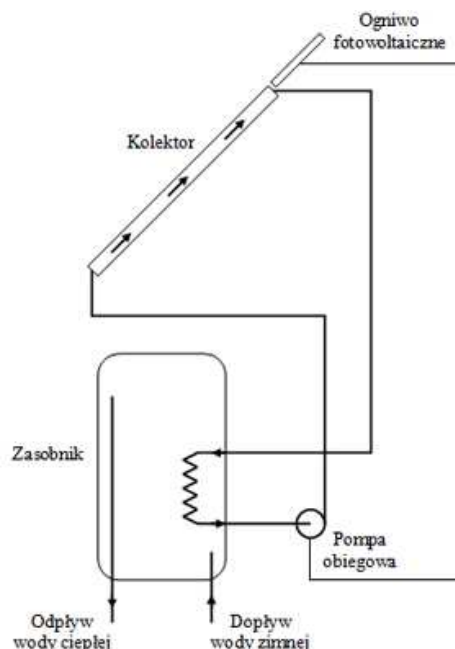
W pracy [6] możemy znaleźć informacje na temat poszukiwania numerycznego modelu pozwalającego na obliczenie temperatury wyjściowej z kolektora w instalacji solarnej z pompą bezpośrednio zasilaną ogniwem słonecznym. Rozpatrywana instalacja solarna składała się z płaskiego kolektora odpornego na niskie temperatury, w którym czynnikiem

roboczym była woda. Masowe natężenie przepływu było zmienne w zakresie małych wartości  $0,05 \div 0,1$  l/min, tak niski poziom masowego natężenia przepływu został dobrany w celu uzyskania stratyfikacji termicznej w zasobniku wody. W publikacji zwrócono uwagę na prawidłowy dobór komponentów układu mający na celu zwiększenie sprawności instalacji. Następnie przeprowadzono analizę sprawności układu w relacji do warunków pracy. Stworzono algorytm przewidujący temperaturę na wyjściu z kolektora w funkcji natężenia promieniowania słonecznego. W celu regulacji poziomu masowego natężenia przepływu zastosowano metodę częściowego przysłaniania modułu PV. Dla różnego stopnia przysłonięcia modułu PV i wartości masowego natężenia przepływu otrzymane w wyniku symulacji temperatury różniły się od wartości zmierzonych o ok.  $1 \div 3$  przy czym rozbieżność ta rosła wraz ze zwiększaniem stopnia przysłonięcia modułu PV i spadkiem masowego natężenia przepływu. Autorzy uwzględnili wpływ temperatury na lepkość wody, jednak pominieli wpływ kąta padania promieniowania słonecznego na ilość energii absorbowanej przez kolektor. Stworzony model znajduje zastosowanie jedynie dla badanej instalacji jednak po odpowiednich modyfikacjach może znaleźć zastosowanie w szerszym zakresie.

Przedmiotem badań w publikacji [7] była instalacja solarna zaopatrująca w ciepłą wodę basen miejski znajdujący się w miejscowości Marburg w Niemczech. Przystudiowano wydajność instalacji składającej się z pola płaskich kolektorów bez osłony przezroczystej o powierzchni  $800 \text{ m}^2$  oraz generatora o mocy 5 kW podłączonego do sieci elektrycznej, który był używany, jako symulator ogniwa fotowoltaicznego. Autorzy opracowali symulację numeryczną obliczającą masowe natężenie przepływu czynnika roboczego w funkcji nasłonecznienia i temperatury zewnętrznej. Na podstawie stworzonej metody zasymulowano prace ośmiu wariantów instalacji solarnych wyposażonych w pompy podłączone do ogniwa fotowoltaicznego oraz dwa warianty systemów wyposażonych w układy śledzenia punktu mocy maksymalnej ogniwa fotowoltaicznego. W wyniku przeprowadzonych obliczeń i pomiarów autorzy doszli do wniosków, że w warunkach klimatycznych Marburga wydajność instalacji z modułem fotowoltaicznym bezpośrednio podłączonym do pompy obiegowej jest znacznie mniejsza od wydajności takiego układu z systemem śledzenia punktu mocy maksymalnej, jednakże wniosek ten nie koniecznie jest prawdziwy dla szerokości geograficznych gdzie natężenie promieniowania słonecznego przyjmuje większe wartości. Wart uwagi jest również fakt, że w przypadku dużych instalacji solarnych wydajność układu z pompą podłączoną do sieci elektrycznej jest zbliżona do wydajności instalacji z systemem śledzenia punktu mocy maksymalnej ogniwa fotowoltaicznego.

## 2. STANOWISKO BADAWCZE

W rozdziale tym znajduje się szczegółowy opis techniczny każdego z elementów autonomicznej instalacji solarnej, dla której został napisany program komputerowy symulujący jej prace. Elementy instalacji słonecznej, z oznaczeniem kierunku przepływu czynnika roboczego zostały przedstawione na rysunku 3.1. Kolektor słoneczny wchodzący w skład badanego układu jest kolektorem cieczowym płaskim, serii G4+ wyprodukowanym przez Geres-Asco sp. z o.o., O wymiarach  $2,006 \text{ m} \times 1,006 \text{ m} \times 0,08 \text{ m}$ . Powierzchnia brutto kolektora wynosi  $2,03 \text{ m}^2$ , powierzchnia absorbera  $1,95 \text{ m}^2$ , powierzchnia apertury  $1,93 \text{ m}^2$ . Maksymalna temperatura pracy wynosi  $250 \text{ }^\circ\text{C}$ , minimalna  $-40 \text{ }^\circ\text{C}$ .



Rys.1. Schemat badanego systemu.

Fig.1. Scheme of examined system.

Badana instalacja solarna wyposażona jest w zasobnik ciepłej wody użytkowej o pojemności 100 litrów. Zbiornik wody jest podłączony bezpośrednio do sieci wodociągowej. Ciepła woda odbierana jest u góry zbiornika natomiast wlot uzupełniający wodę zimną znajduje się na dole. W idealnym przypadku warstwy ciepłej wody z góry nie mieszają się z zimnymi warstwami u dołu zbiornika. Oczywiście, w rzeczywistości stan taki nie jest możliwy do uzyskania chociażby ze względu na ruchy konwekcyjne oraz dopływy i odpływy wody z i do sieci wodociągowej.

Zasobnik wyposażony jest w spiralny wymiennik rurowy, który kształtem przypomina sprężynę, o powierzchni  $0,6 \text{ m}^2$ . Umieszczony jest on wewnątrz, w dolnej części zbiornika. Średnica króćców wlotowego i wylotowego wynosi  $3/4$  cala. Przepływający przez wymiennik czynnik roboczy, 37% wodny roztwór glikolu propylenowego, wymienia ciepło z wodą zgromadzoną w zbiorniku. Kształt i położenie wymiennika ciepła zwiększa jego efektywność, ponieważ przepływający przez wymiennik czynnik roboczy wymienia ciepło z chłodną częścią zgromadzonej w zasobniku wody.

W celu ograniczenia strat ciepła do otoczenia zbiornik wody posiada izolację wykonaną z pianki poliuretanowej, znajdującej się w szczelnej osłonie. Współczynnik przewodzenia ciepła tak wykonanej izolacji wynosi  $\lambda = 0,025 \text{ W/(mK)}$ .

Kolejnym, integralnym elementem opisywanego układu jest pompa obiegowa, wymuszająca przepływ czynnika roboczego pomiędzy kolektorem a zbiornikiem. Jest to pompa

prądu stałego, o mocy maksymalnej, 28 W, której źródłem zasilania jest moduł fotowoltaiczny. Zestaw pompowy posiada ręcznie nastawiany regulator przepływu, za pomocą, którego można ustawić wymagany dla instalacji strumień masy w obiegu kolektorowym.

Bateria słoneczna, będąca źródłem zasilania dla pompy obiegowej to moduł polikrystaliczny o mocy maksymalnej  $P_{max} = 40W$ . Moc generowana przez ogniwo zależy od jego temperatury; wraz ze wzrostem temperatury moc ogniwa spada. Szczegółowy opis zależności mocy ogniwa od jego temperatury znajduje się w dalszej części.

Armatura autonomicznej instalacji solarnej złożona jest z typowych elementów zazwyczaj stosowanych w instalacjach sanitarnych i centralnego ogrzewania. Kolektor z zasobnikiem połączony jest miedzianymi rurami o średnicy zewnętrznej 17 mm i średnicy wewnętrznej 15 mm. Przepływający przez nie czynnik roboczy wymienia energię cieplną z otoczeniem. Straty ciepła z połączeń rurowych obniżają użyteczną moc cieplną kolektora. W celu ograniczenia tych strat na połączeniach zastosowano izolację kauczukową o grubości 1 cm i współczynniku przewodzenia  $\lambda = 0,035 \text{ W/(mK)}$ . Połączenie rurowe pomiędzy kolektorem a zasobnikiem podzielone jest na trzy odcinki znajdujące się na dachu, na poddaszu oraz w pomieszczeniu zasobnika.

### 3. MODEL MATEMATYCZNY

Ilość energii promieniowania słonecznego, która może zostać przekonwertowana na energię elektryczną, jest zmienna w ciągu dnia. W przypadku powierzchni ograniczonej płaszczyzny, która jest ogniwo słoneczne, zorientowanej w kierunku południowym, zmienność wartości natężenia promieniowania słonecznego w ciągu dnia ma charakter sinusoidalny, a jego maksimum przypada w południe czasu słonecznego. Dodatkowo, każdego dnia roku maksymalna wartość natężenia jest różna. Maksimum natężenia promieniowania słonecznego występuje w dniu przesilenia letniego, natomiast minimum w dniu przesilenia zimowego. Moc generowana przez ogniwo fotowoltaiczne ściśle zależy od natężenia padającego na nie promieniowania słonecznego i wyraża się wzorem

$$P_{PV} = \eta_g \cdot A \cdot G \quad (1)$$

w którym  $\eta_g$  jest sprawnością chwilową ogniwa,  $A$  powierzchnia modułu,  $G$  wartością natężenia promieniowania słonecznego. Wartość mocy ogniwa jest również funkcją jego temperatury; wraz ze wzrostem temperatury ogniwa jego sprawność maleje. Z tego powodu we wzorze (1) użyto sprawności chwilowej. Zależność sprawności od temperatury można zapisać w postaci

$$\eta_g = \eta [1 - \beta_t (T_{PV} - T_r)] \quad (2)$$

gdzie  $\eta$  to sprawność nominalna ogniwa,  $\beta_t$  jest współczynnikiem wydajności temperaturowej,  $T_r$  - temperatura referencyjna,  $T_{pv}$  - temperatura modułu, która można wyrazić równaniem

$$T_{PV} = T_{a,pv} + G \left( \frac{\tau \alpha}{U_L} \right) \quad (3)$$

W równaniu tym  $T_{a,pv}$  jest temperatura otoczenia modułu,  $\tau$  - współczynnikiem transmisji,  $\alpha$  - współczynnikiem absorpcji,  $U_L$  - współczynnikiem strat ciepła. Występujący w równaniu (3) ułamek można zastąpić wyrażeniem

$$\left( \frac{\tau \alpha}{U_L} \right) = \frac{NOCT - 20}{800} \quad (4)$$

gdzie *NOCT* jest nominalna temperatura pracy ogniwa (ang. nominal operating cell temperature).

Użyteczna moc cieplna kolektora zależna jest zarówno od warunków zewnętrznych jak i konstrukcji oraz strumienia masy czynnika roboczego. Czynniki zewnętrznymi wpływającymi na moc kolektora są natężenie promieniowania słonecznego padającego na powierzchnię absorbera oraz temperatura otaczającego powietrza. W oparciu o analizę przepływu ciepła zachodzącego w kolektorze, uzyskuje się informacje o charakterze i wielkości wpływów wszystkich istotnych czynników na wielkość osiąganą przez kolektor użytecznej mocy cieplnej. Przepływający przez kolektor czynnik roboczy wymienia energię cieplną z absorberem ogrzewając się lub wychładzając. Różnica temperatury wodnego roztworu glikolu na wejściu i wyjściu z kolektora może zostać obliczona z wyrażenia na moc zapisanego w postaci

$$P_c = \dot{m}_g c_g (T_{c,out} - T_{c,in}) \quad (5)$$

gdzie  $\dot{m}_g$  oznacza masowe natężenie przepływu czynnika roboczego kg/min,  $c_g$  - ciepło właściwe czynnika roboczego J/(kgK),  $T_{c,out}$  - temperaturę czynnika roboczego na wyjściu z kolektora K,  $T_{c,in}$  - temperaturę czynnika roboczego na wejściu do kolektora K.

Moc użyteczna kolektora słonecznego może zostać również obliczona na podstawie równania

$$P_c = S [\eta_0 G - a_1 (T_c - T_{c,a}) - a_2 (T_c - T_{c,a})^2] \quad (6)$$

w którym  $S$  jest powierzchnia apertury [m<sup>2</sup>],  $\eta_0$  - sprawnością kolektora przy zerowych stratach,  $G$  - natężeniem promieniowania słonecznego W/m<sup>2</sup>,  $a_1 = 3,984$  W/(m<sup>2</sup>K) współczynnikiem strat kolektora,  $a_2 = 0,012$  W/(m<sup>2</sup>K<sup>2</sup>) współczynnikiem strat kolektora,  $T_{c,a}$  - temperatura otoczenia kolektora K,  $T_c$  - temperatura kolektora w K, którą wyznacza się ze wzoru na średnią temperaturę czynnika roboczego

$$T_c = \left( \frac{T_{c,in} + T_{c,out}}{2} \right) \quad (7)$$

Wartości współczynników  $a_1$  oraz  $a_2$  znajdują się w dokumentacji technicznej kolektora. Pozwalają one obliczyć, jak ze wzrostem temperatury kolektora w stosunku do temperatury otoczenia zmienia się jego moc oraz sprawność.

W symulacji przyjęto, że w całej objętości zbiornika woda jest całkowicie wymieszana, więc posiada tę samą temperaturę. W dalszej części pracy poprzez pojęcie temperatury wody w zasobniku  $T_{st}$  rozumie się średnią temperaturę wody. Powierzchnia, przez którą woda w zasobniku może wymieniać energię, jest spiralnym wymiennikiem rurowym. Przepływający przez wymiennik roztwór glikolu może mieć temperaturę zarówno wyższą jak i niższą od temperatury wody. Zmianę energii czynnika roboczego przepływającego przez zasobnik można wyznaczyć na podstawie zmiany temperatury na wejściu i wyjściu z wymiennika. Moc wymiany ciepła pomiędzy czynnikiem roboczym z kolektora, a wodą w zasobniku dana jest wyrażeniem:

$$P_{ex} = \dot{m}_g c_g (T_{st,out} - T_{st,in}) \quad (8)$$

w którym  $\dot{m}_g$  - jest masowym natężeniem przepływu roztworu glikolu przez węzownice,  $c_g$  - ciepłem właściwym roztworu glikolu,  $(T_{st,out} - T_{st,in})$  - różnica temperatury czynnika roboczego na wejściu i wyjściu z węzownicy. Równanie bilansu energetycznego dla zasobnika będzie miało następującą postać:

$$M_w c_w \frac{dT_w}{dt} = \dot{m}_g(t) c_g E [T_{st,in}(t) - T_{st}] - U_{st} A_{st} [T_{st} - T_{st,a}(t)] \quad (9)$$

W równaniu powyższym efektywność cieplna wymiennika  $E$  obliczana jest na podstawie wzoru:

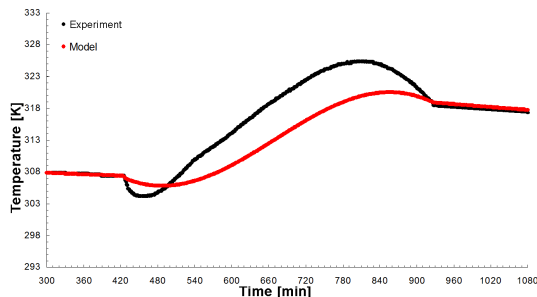
$$E = 1 - \exp \left[ - \frac{U_{st} A_{st}}{\dot{m}_g(t) c_g} \right] \quad (10)$$

#### 4. SYMULACJA NUMERYCZNA

Powyżej wyprowadzono równania pozwalające obliczyć parametry pracy każdego z elementów składowych instalacji solarnej. Na podstawie zamieszczonych rozważań stworzono symulację numeryczną pracy autonomicznej instalacji solarnej. Celem stworzonego programu jest obliczanie temperatur czynnika roboczego na wejściu i wyjściu z kolektora jak i zasobnika oraz temperatury wody w zasobniku w odstępie czasu nazywanym dalej krokiem czasowym  $\Delta t$ . Zadane temperatury obliczane są na podstawie danych wejściowych, na które składają się dane stałe oraz zmienne niezależne w trakcie symulacji. Dane stałe to parametry konfiguracyjne układu oraz wielkości charakterystyczne dla danego dnia, który jest symulowany.

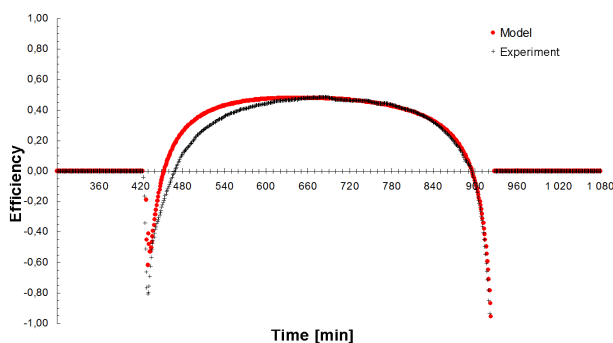
#### 5. OTRZYMANE WYNIKI

Rysunek nr 2 przedstawia przebieg mierzonej oraz symulowanej temperatury wody w zasobniku w dniu 7 marca 2011 roku. Na przedstawionych wykresach wartości mierzone i symulowane są sobie bliskie gdy pompa jest wyłączona i nie następuje wymiana ciepła pomiędzy kolektorem i zasobnikiem. Podczas pracy pompy obiegowej widać znaczne rozbieżności pomiędzy obiema krzywymi na danych wykresie. Powodem tego jest efekt stratyfikacji wody w zasobniku jak również umiejscowienie czujnika temperatury wody, który znajduje się w sąsiedztwie spiralnego wymiennika, więc podczas pracy badanej instalacji mierzy temperaturę wody ulegającej konwekcji w pobliżu ścianek węzownicy. Natomiast krzywa symulowana przedstawia wartość średniej temperatury w zasobniku. Wyraźny jest efekt wychłodzenia wody w zasobniku na początku i pod koniec czasu pracy pompy obiegowej. Należy zauważyć, że różnica pomiędzy temperaturą mierzoną w momencie włączenia pompy a osiąganą temperaturą minimalną jest znacznie mniejsza od różnicy pomiędzy maksymalną a końcową wartością mierzonej temperatury wody w zasobniku. Przyczyna tej rozbieżności jest stratyfikacja termiczna wody oraz jej ruchy konwekcyjne. Gdy pompa zaczyna pracować czujnik znajduje się w warstwach o temperaturze niższej od średniej temperatury wody w zasobniku, z czasem temperatura wody otaczającej czujnik wzrasta powyżej średniej temperatury wody w zasobniku a następnie maleje. Ruchy konwekcyjne wody w pobliżu wymiennika intensyfikują się wraz ze wzrostem różnicy pomiędzy temperaturą wpływającego do wymiennika czynnika roboczego a wodą otaczającą węzownice.



Rys.2. Symulowana i mierzona temperatura wody w zasobniku.

Fig.2. Simulated and measured tank water temperature.



Rys.3. Sprawność badanego systemu solarnego

Fig. 3. Efficiency of the examined solar system.

Sprawność w funkcji czasu przedstawiona jest na rysunku nr 3. Ujemne wartości sprawności odpowiadają warunkom wychładzania zasobnika gdy z kolektora wypływa czynnik o temperaturze niższej od czynnika wpływającego do niego. Proces ten zachodzi w początkowym i końcowym czasie pracy pompy, gdy kolektor oddaje więcej ciepła do otoczenia niż uzyskuje z konwersji padającego na jego powierzchnię promieniowania słonecznego.

Przedstawione efekty wychładzania z punktu widzenia bilansu energetycznego należy uznać za negatywne, ponieważ wpływają na obniżenie uzysku cieplnego instalacji solarnej. Z drugiej zaś strony mają dość istotne znaczenie praktyczne, gdyż są naturalnym układem zabezpieczającym system w przypadku braku odbioru ciepła.

## 6. LITERATURA

- [1] A.M. Al-Ibrahim, W. B. (1998). Design procedure for selecting an optimum photovoltaic pumping system in a solar domestic hot water system. *Solar Energy* 64 , strony 227-239.
- [2] Al-Ibrahim, A. (1997). *Optimum Selection of Direct-Coupled Photovoltaic Pumping System in Solar Domestic Hot Water Systems*. University of Wisconsin-Madison.



- [3] F.Hilmer, A. K. (1997). Investigation of a Directly Coupled Photovoltaic System Connected to a Large Absorber Field. *Solar Energy* 61 , strony 61-65.
- [4] J.T. Czarnecki, W. R. (1978). Advances in Solar Water Heating for Domestic Use in Australia. *Solar Energy* 20 , strony 75-80.
- [5] Merchant, M. (1977, November). Photovoltaics, the Basics. *Solar Engineering* , strony 30-31.
- [6] Parker, G. (1976). A Forced Circulation System for a Solar Water Heating . *Solar Energy* 18 , strony 475-479.
- [7] T. Grassie, K. T. (2002). Design of a PV driven low flow solar domestic hot water system and modeling of the system collector outlet temperature. *Energy Conversion and Management* 43 , strony 1063-1078.

## **EXPERIMENTAL AND NUMERICAL INVESTIGATION OF SOLAR THERMAL SYSTEM WITH PV-DRIVEN DC PUMP**

### **SUMMARY**

In this work solar thermal system with pv-driven DC pump were examined. Mathematical model of each component was described. The model was implemented into numerical simulation of such system. The system was examined under no-load conditions. Results obtained from numerical simulations were compared with experimental data. Two stage water tank cooling effect was observed.



**Tomasz GRZELAKOWSKI, mgr inż. arch.**

Politechnika Łódzka

Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska

Instytut Architektury i Urbanistyki

ul. Politechniki 6, 90-924 Łódź

e-mail: tomasz.grzelakowski@p.lodz.pl

## **PRZYKŁADOWE KIERUNKI ZRÓWNOWAŻONEGO PROJEKTOWANIA ARCHITEKTONICZNEGO W KONTEKŚCIE CERTYFIKACJI WIELOKRYTERIALNEJ**

### **STRESZCZENIE**

W referacie przedstawiono kierunki kształtujące ogólny obraz zrównoważonego projektowania architektonicznego. Opisano wpływ certyfikacji wielokryterialnej na metody projektowe i główne obszary zainteresowań. Wskazano te z zagadnień, które wydają się być wiodącymi w dalszym rozwoju systemów certyfikacji.

### **1. WPROWADZENIE**

Próbując opisać zagadnienia zrównoważonego projektowania architektonicznego, stajemy przed problemem o nie mniejszym stopniu trudności niż próba odpowiedzi na pytanie, czym jest w zasadzie architektura. Mierzymy się tu bowiem z podejściem projektowym, uwzględniającym wiele czynników. Podejściem z jednej strony powracającym do witruwiańskich zasad: trwałości (Firmitas), użyteczności (Utilitas) i piękna (Venustas)[1], a z drugiej uwzględniającym zdrowie użytkowników, ekonomię i szeroko rozumianą ekologię. Istotą tak widzianego procesu projektowania jest próba zbilansowania wymienionych wartości. Jednocześnie interesująca nas teoria podlega silnym wpływom współczesnych koncepcji naukowych. Takim jak podejście holistyczne, teoria gier czy teoria systemów (choć w stosunku do tej ostatniej A. Baranowski wykazuje, że właściwsze byłoby raczej mówienie o podejściu systemowym[2]). Oprócz tego w omawianym procesie istotną rolę odgrywają analizy przyjętych wariantów, co z kolei otwiera pole dla współczesnych narzędzi projektowych. Również one bazują na skomplikowanych algorytmach, wymuszających niejednokrotnie bardzo otwarte podejście oraz współudział specjalistów z wielu dziedzin. Uzyskujemy w ten sposób obraz teorii projektowania, głęboko zmieniającej tradycyjne

podejście do samego procesu, a jednocześnie bardzo silnie uwypuklające jego heurystyczny charakter. Można się zastanawiać jednak czy istnieje możliwość jakiegoś uporządkowania zjawisk? A także, jak wyglądają główne kierunki rozwoju?

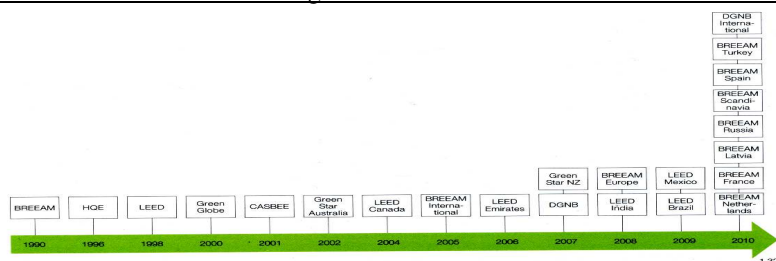
## 2. CERTYFIKACJA

Bez wątpienia jednym z istotnych zagadnień, rozwijających się wraz z projektowaniem zrównoważonym architektury, jest certyfikacja wielokryterialna. Jej historia sięga roku 1990, kiedy to został utworzony pierwszy tego typu system - brytyjski BREEAM (rys. 1). Co charakterystyczne, od początku obejmował on bardzo różnorodne obszary problemowe. Tak samo, jak jego amerykański odpowiednik LEED (1998) oraz CASBEE, HQE, Green Star czy DNGB - aby wymienić tylko te ważniejsze. Oczywiście istotą była ocena powstających budynków i umożliwienie ich ewaluacji, a co za tym idzie uporządkowanie zjawiska. Wpływ tych certyfikatów okazał się być jednak zdecydowanie głębszy.

W pewnej mierze ich zastosowanie realizuje bowiem postulat integracji zagadnień zrównoważonego rozwoju w proces projektowy (czemu w swej pracy dała wyraz m.in. W. Mikoś-Rytel[3]). W założeniu efekt finalny tego działania ma nie stanowić skorupy wyposażonej w instalacje poprawiające (z ekologicznego punktu widzenia) jej sprawność, lecz kompleksową odpowiedź na problemy projektowe, zarówno lokalne (kontekstowe, społeczne itp.), jak i o szerszym zasięgu (głównie związane z ekologią i ekonomią), łącząc się również z popularyzacją idei poprzez edukację społeczności lokalnych.

Dzisiaj po ponad dwudziestu latach istnienia certyfikacji wielokryterialnej można wyróżnić kilka głównych stref zainteresowań. Do podstawowych należy rozwój idei zrównoważonego projektowania – zarówno pod względem wyznaczania nowych celów, jak i szerzeniem wiedzy na ten temat. Równie ważny jest aspekt pomiarowy – z jednej strony umożliwiający porównanie skuteczności przyjętych rozwiązań, a z drugiej realizujący marketingowy cel certyfikacji. Znaczącym problemem jest bowiem również uzyskanie czytelnej informacji dla inwestorów o rzeczywistej wartości projektu, w ujęciu objętym certyfikacją. Jest to aspekt bardzo istotny dla funkcjonowania systemu. Trzeba przy tym pamiętać, że nie da się oderwać architektury od jej strony marketingowej. W wyniku działalności architekta powstaje produkt, mający przynieść wymierne korzyści jego nabywcy. Jak napisał U. Eco[4]: „Architektura działa w społeczeństwie towarowym. Podlega ona uwarunkowaniom rynkowym bardziej niż inne rodzaje działalności artystycznej – w tym samym natomiast stopniu, co wytwory kultury masowej.”.

Tym samym certyfikacja stała się istotnym narzędziem w walce o klienta – zarówno z punktu widzenia projektanta, jak i inwestora. Za tym założeniem idzie również próba zabezpieczenia rynku przed zjawiskiem tzw. greenwashingu - wykorzystywania niewątpliwej mody na szeroko rozumiane produkty ekologiczne do promowania swojego towaru, bez rzeczywistego zastosowania sugerowanych rozwiązań.



Rys. 1. Powstawanie kolejnych systemów certyfikacji (wg *Green building certification systems; DETAIL Green Books*)

Fig. 1. Timeline showing development of certification systems; (wg *Green building certification systems; DETAIL Green Books*)

Stawiane projektantom wymagania certyfikacyjne doprowadziły do silnej implementacji procesu w procedury projektowe. Umożliwia to wczesne rozpoznanie istotnych problemów i ułatwia przyszły sukces przy samej certyfikacji. Ewentualne docelowe progi punktacyjne uwzględniane są bowiem strukturalnie w procesie projektowym. Takie podejście realizuje więc idee kompleksowego ujęcia problematyki zrównoważonego rozwoju w działalności architektonicznej.

Jak widać certyfikacja - w ciągu dwóch dekad istnienia - silnie wpłynęła na zagadnienia projektowania zrównoważonego architektonicznego, odnosząc jednocześnie spory sukces komercyjny. Wystarczy wspomnieć chociażby obligatoryjność certyfikacji LEED dla budynków służb federalnych w Stanach czy fakt, że do tworzenia certyfikatów drugiej generacji (DGNB) włączyły się instytucje państwowe. Pomoc przejawiała się w finansowaniu prac, ale również w opracowaniu całego systemu wspierającego projektantów i inwestorów, dążących do wykonywania obiektów zgodnych z ideą zrównoważonego rozwoju. Przykładem może być Francja, konsekwentnie budująca system bazy danych o materiałach, wspierająca certyfikację niezależną (w tym HQE) oraz opracowująca bardzo ambitne założenia dotyczące wymogów stawianych nowym budynkom. Co więcej, uwzględniając je w projektowanych ustawach, jednocześnie wypracowano cały system finansowy, wspierający ten segment rynku – przyczyniając się w istotny sposób do sukcesu całego założenia.

Równocześnie certyfikacja nie stanowi ograniczenia pod względem wyróżników wizualno - ideologicznych. Jest to jedynie zespół założeń, mających na celu podniesienie poziomu projektowania zrównoważonego, przy jednoczesnym zachowaniu podstawowej cechy tego nurtu. Nie należy także zapominać o dużej otwartości formalnej, pod warunkiem zachowania rdzeniowych wartości. Certyfikacja stanowi jednocześnie pewien szkielet porównawczy, wskazując przy tym (a nawet częściowo kreując, a częściowo reagując na potrzeby rynku) przyszłe kierunki rozwoju. Trzeba się zatem zastanowić, jak wyglądają główne wytyczne.

### 3. ZWIĘKSZENIE ROLI PROJEKTOWANIA ZRÓWNOWAŻONEGO W PROCESIE BUDOWLANYM

To najbardziej oczywisty kierunek rozwoju. Wspierany jest przez legislację oraz trendy rynkowe. Zrównoważony rozwój, stanowi podstawę systemów prawnych w wielu

krajach. Zapisy o jego wprowadzaniu znajdują się między innymi w konstytucji niemieckiej czy polskiej (art.5 Konstytucji RP). Również Unia Europejska uznała go za istotny cel, wprowadzając własną strategię zrównoważonego rozwoju (2001- Strategii Zrównoważonego Rozwoju Unii Europejskiej w Göteborgu oraz w 2006 r. Odnowiona Strategia Zrównoważonego Rozwoju dla Powiększonej UE). Podobnie postąpiło wiele instytucji i organizacji rządowych i pozarządowych. Jednocześnie instytucje rządowe zaangażowane są m. in. w opracowanie wspólnych podstaw oceny budynków zrównoważonych. W założeniu będzie to międzynarodowy odpowiednik istniejących certyfikatów, bazujący jednak na ogólnych i co ważniejsze wspólnych wytycznych pomiarowych, mających na celu umożliwienie realnego porównania w skali całego kontynentu (świata) osiągniętych rezultatów. Ze strony polskiej działania te realizowane są przez ITB w ramach np. międzynarodowej organizacji Sustainable Building Alliance.

Z drugiej strony czynnikiem motywującym rozwój zrównoważony jest niewątpliwie medialność zagadnienia, co przekłada się na zainteresowania rynku. Cytując za prof. N. Juzwą: "...sukces wielu współczesnych koncepcji wydaje się, być wynikiem w znacznej mierze prezentacji innowacyjnych technologii, które osiągają rozgłos medialny jeszcze na etapie projektowym, przed realizacją"[5]. To niewątpliwie tendencja przyczyniająca się do rozwoju tzw. pre-certyfikacji. Czyli wstępnej ewaluacji, poświadczającej zgodność zamierzenia projektowego z wytycznymi zrównoważonego rozwoju. Jest to ważna z punktu widzenia marketingu cecha, umożliwiająca na wstępnym etapie wykazanie się przed ewentualnymi inwestorami posiadaniem wartości dodanej, która jednocześnie coraz częściej będzie stawała się podstawową.



Rys. 2. Green Horizon, budynek biurowy w Łodzi; pre-certyfikacja LEED gold  
([www.skanska.pl](http://www.skanska.pl))

Fig. 2. Green Horizon, office building in Łódź; LEED pre certification gold  
([www.skanska.pl](http://www.skanska.pl))

#### 4. BUDYNKI ISTNIEJĄCE, TRWAŁOŚĆ OBIEKTU

To kolejny ważny kierunek rozwoju zagadnienia – szczególnie w tej chwili podkreślany w certyfikacji BREEAM. Oczywiście jest, że proporcje w przestrzeni zurbanizowanej obiektów zbudowanych w stosunku do nowo-powstających wyraźnie wskazują na przewagę tkanki istniejącej. Tkanki, której wymiana nie jest opłacalna. Należy

zauważyć jednocześnie, że jak najdłuższe użytkowanie istniejących struktur jest również jednym z celów rozwojowych projektowania zrównoważonego. To nastawienie wynika po części z przesunięcia priorytetu, z opisywanego przez W.McDonough[6] jako „cradle to grave” na podejście typu „cradle to cradle”. Zakłada on, że postulat recyklingu materiałów ewidentnie staje się niewystarczający w świetle zagrożeń ekologicznych. Właściwym kierunkiem byłoby więc uzyskanie wykorzystania materiałów, analogicznie, jak ma to miejsce w procesie przepływu energii w dowolnym ekosystemie. Z drugiej zaś strony coraz częściej kładzie się nacisk na jak najdłuższe rozciągnięcie w czasie cyklu życia budynku. Celem jest maksymalizacja zysków, a w zasadzie minimalizacji kosztów energetycznych rozbiórki starego i budowy nowego obiektu. Takie podejście wymagać będzie zachowania jak najbardziej uniwersalnych przestrzeni, w których wymianie podlegać będą jedynie elementy infrastruktury budynku. Jednocześnie wymusi na projektantach stosowanie form „nieagresywnych”, wpisanych w kontekst, dzięki czemu mających szansę na jak najdłuższe pozostawanie atrakcyjnymi dla odbiorcy. To ostatnie założenie w dobie przyspieszającej tofflerowskiej trzeciej fali[7] i medialnej pogoni za nowinkami wydaje się szczególnie trudne do zrealizowania. W pewnym sensie wzorcowym przykładem takiego rozumowania są renesansowe miasta włoskie, w których budynki, po wyposażeniu ich w nowoczesną infrastrukturę, ciągle są wykorzystywane.

## 5. ZAGADNIENIA SPOŁECZNE

Nieustanny nacisk na zagadnienia energooszczędności i ekologii nie mogą przesłaniać ważnego aspektu budownictwa zrównoważonego – zagadnień społecznych. Jest on reprezentowany poprzez szerokie spektrum problemów. Podstawę dla większości krajów jest znalezienie w przyszłości rozwiązań zagadnień urbanistycznych (których dotyczy tworzona certyfikacja BREEAM Communities), a zwłaszcza tych, w których istotną rolę odgrywają zagadnienia tzw. projektowania współuczestniczącego. Na marginesie należy dodać, że jest to kolejny przykład, wskazujący jak silne tendencje do włączania istniejących trendów do arsenału wykorzystywanych narzędzi przejawia projektowanie zrównoważone. A przez to powiększa się ciągle złożoność problematyki. Z drugiej strony włączenie społeczności lokalnej to najprostszy (na poziomie idei, niewykonania) sposób zapewnienia sukcesu wdrażania projektowania zrównoważonego w większej niż budynek skali. A takie rozwiązanie jest niezbędne, chociażby tylko do wypełnienia podstawowego postulatu – całościowego podejścia do zagadnienia projektowego. Trzeba pamiętać, że bez dopasowania struktur miejskich trudno będzie mówić o całkowitym sukcesie zrównoważonego rozwoju. Mieści się w tym również forsowana przez Living Building Challenge możliwość zmiany zakresu. Według której projektowanie powinno obejmować nie tylko sam obiekt, ale również najbliższą okolicę. Tak, by część problemów niemożliwych do rozwiązania w skali budynku mogło być opracowywane w odpowiednio szerszej – sąsiedztwa, dzielnicy itd.

Problem o coraz większym znaczeniu będą również działania w strefach słabo rozwiniętych. Tych, w których społeczności niekiedy nawet nie weszły w tofflerowską pierwszą falę (polegającą na przejściu od koczownictwa do osiadłego trybu życia). Tu wyzwanie stanowić będzie implementacja nowoczesnych rozwiązań ekologicznego budownictwa. Natomiast celem nadrzędnym będzie zapewnienie w ogóle warunków egzystencji

(w przeciwieństwie do rejonów rozwiniętych, gdzie mówimy raczej o jej poziomie). Pamiętać należy jednocześnie, że stanowią one zdecydowaną większość populacji Ziemi. Zatem pozostawienie ich poza kręgiem zainteresowań stanowiłoby zaprzeczenie fundamentalnych założeń zrównoważonego rozwoju. Czyli zapewnienia możliwości rozwoju całej ludzkości, i to zarówno obecnych, jak i przyszłych pokoleń.



*Rys. 3. Kuyasa CDM, projekt pilotażowy wyposażenia 2300 niskobudżetowych domów w instalacje solarne podgrzewania wody, izolację termiczną dachów i energooszczędne oświetlenie, Khayelitsha, Cape Town, Republika Afryki Południowej*  
([www.kuyasacdm.co.za](http://www.kuyasacdm.co.za))

*Fig. 3. The Kuyasa CDM Pilot Project involves the retrofitting of solar water heater (SWHs), insulated ceilings and energy efficient lighting in over 2 300 low-cost homes in Khayelitsha, Cape Town, South Africa. ([www.kuyasacdm.co.za](http://www.kuyasacdm.co.za))*

## 6. BUDOWNICTWO JEDNORODZINNE

Budownictwo jednorodzinne jest niejako, paradoksalnie, „nowym”, niezagospodarowanym jeszcze segmentem. Mimo, że to właśnie ono przyczyniło się do upowszechnienia idei energooszczędności i ekologii, to do tej pory funkcjonowało w zasadzie poza kompleksowym podejściem projektowania zrównoważonego. Bez wątpienia zaś pozostawało poza systemami certyfikacji wielokryterialnej. Z jednej strony wynikało to z kosztów samej certyfikacji, ale również - czego nie należy ignorować - różnicy w kosztach budowy, które do momentu upowszechnienia się rozwiązań ekologicznych były istotnym czynnikiem hamującym. W przyszłości ciągły wzrost zainteresowania społeczeństwa tym tematem, wymogi legislacji i większa dostępność materiałów o właściwych parametrach, w połączeniu z upowszechnieniem się dobrych praktyk projektowych, powinny zwiększyć ilość realizacji takich obiektów. Tego typu prognozy skierowały uwagę instytucji certyfikujących na ten segment rynku. Przejawiła się ona w opracowaniu odpowiednich procedur do nadawania certyfikatów, również budynkom mieszkalnym jednorodzinnym (np. LEED for Homes). Skupiają się one na odpowiednich, łatwych w zastosowaniu (przekierowanie części procesu gromadzenia danych na inwestora) procedurach, generujących relatywnie niewielkie koszty dodatkowe. Jest to segment mogący wskazywać wiele nowych rozwiązań, przy jednoczesnym wykorzystywaniu tradycyjnych i sprawdzonych. Dowodem, może być fakt, że wśród czterech pierwszych (na ogólnie sześć) obiektów certyfikowanych przez jeden z najbardziej awangardowych systemów -



Living Building Challenge - zgodność z założeniami systemu przyznano budynkowi jednorodzinemu (rys. 4). I jest to bardzo duże osiągnięcie, ponieważ, w przeciwieństwie do większości innych, Living Building Challenge przywiązuje najmniejszą wagę do zagadnień komercyjnych, skupiając się raczej na opracowywaniu schematów i celów wyznaczających nowe, często trudno osiągalne horyzonty.



*Rys. 4. Eco-Sense, dom mieszkalny, certyfikacja: Petal Recognition, Victoria, BC, Kanada (ilibi.org)*

*Fig. 4. Eco-Sense, single family house, Certified Petal Recognition, Victoria, BC, Canada (ilibi.org)*

## 7. WALORY ESTETYCZNE

Dotychczasowe doświadczenia projektowania zrównoważonego skupiały się głównie na istotnych sprawach energooszczędności, ekologii itp. Przyjęcie zasady wydłużania cyklu życia budynku skierowało uwagę na aspekty estetyczne. Dotychczas kształtowanie formy podporządkowane było nieomal bezwzględnie zagadnieniom funkcjonowania obiektu. Jednak w przyszłości zagadnienia formalne będą bez wątpienia zyskiwały na znaczeniu. Silną motywacją stanowi tu postulat wyrażony m.in. przez J. Wines'a konieczność poszukiwania charakterystycznych form opisujących budynki ekologiczne[8]. Założeniem wyjściowym jest chęć wyróżnienia ruchu, którego skutki porównuje się do tych, jakie miało w XX wieku wprowadzenie modernizmu. Dodatkowo nastawienie to wpisuje się w silnie obecny prąd indywidualizmu twórców. Drugą stroną zagadnienia jest wykorzystanie jako detali architektonicznych urządzeń jak panele fotowoltaiczne, turbiny wiatrowe, etc. Obecnie coraz częściej, prócz znaczenia utylitarnego, zaczyna się przywiązywać wagę do strony estetycznej instalacji i ich miejsca w całokształcie bryły budynku. Należy pamiętać, że forma jest ważnym czynnikiem, wpływającym również na długość wykorzystania budynku – a co za tym idzie na zmniejszenie bilansu energetycznego w całym cyklu funkcjonowania. Przy tym wszystkim estetyka jest parametrem bardzo trudnym i subiektywnym. Tym bardziej interesujące wydają się próby jego określenia i zwaloryzowania w certyfikatach drugiej generacji (DGNB) i Living Building Challenge.

## 8. ZIELEŃ W MIEŚCIE

Wydaje się, że bardzo istotną rolę w rozwoju projektowania zrównoważonego będą odgrywały zagadnienia wprowadzania zieleni w obszary zurbanizowane, a nawet bezpośrednio do budynków. Aspekt ten jest bardzo widoczny i spektakularny, przez co

łatwo łączy się z zagadnieniem identyfikowania budynku, jako przynależącego do ruchu ekologicznego. Należy więc oczekiwać, że będzie odgrywał coraz istotniejszą rolę w rozwoju nurtu. Dotyka też ważkich zagadnień uzupełniania terenów rolnych zajętych przez zabudowę. Nic dziwnego, że jednym z postulatów, proponowanych przez Living Building Challenge, jest uwzględnianie, w inwestycji, powierzchni uprawnej, proporcjonalnie do intensywności zabudowy. Idea ta rozwijana jest również niezależnie jako Urban Farming.

### 9. PODSUMOWANIE

Wymienione kierunki stanowią jedynie drobny wycinek wszystkich aspektów, możliwych do zidentyfikowania nawet w ograniczonym kontekście certyfikacji wielokryterialnej. Narzędzia te bowiem nie tylko reagują na potrzeby rynku, ale również, a może przede wszystkim je tworzą. Trudno z pewnością przewidzieć, w jakim stopniu przyszłość potwierdzi słuszność ich założeń. Zwraca jednak uwagę fakt, że wszystkie systemy bazują na interdyscyplinarnych zespołach badawczych. Dodatkowo wyraźnie rysuje się tendencja wypracowania certyfikatów poza ramy krajów, w których powstały. Przechodzenie na stopień międzynarodowy rodzi potrzebę analizy całościowej procesów zachodzących na naszej planecie. Tworzy jednocześnie platformy wymiany doświadczeń i danych. Umożliwia przeprowadzenie kompleksowych analiz, które niezależnie od wszystkiego są podstawą obiektywnej oceny oddziaływań ekologicznych.

### 10. LITERATURA

- [1] Witruwiusz, O architekturze ksiąg dziesięć, Warszawa, 1999
- [2] Baranowski A., Projektowanie zrównoważone w architekturze, Gdańsk, 1998
- [3] Mikoś-Rytel W., O zrównoważonej architekturze ekologicznej i zakresie jej teorii, Gliwice, 2004
- [4] Eco U., Pejzaż semiotyczny, Warszawa, 1972
- [5] Juzwa N., Medialność i marketing nowej architektury - przykład obiektu przemysłowego, Kraków, 2010
- [6] McDonough W., Braungart M., Between Biology, Technology and Culture, Green@work, 2003
- [7] Toffler A., Trzecia fala, Warszawa, 1986
- [8] Wines J., Zielona architektura, Kolonia, 2000

## SUSTAINABLE ARCHITECTURAL DESIGN, TRENDS IN CONTEXT OF ENVIRONMENTAL ASSESSMENT AND CERTIFICATION METHODS

### SUMMARY

The paper presents the trends shaping the overall picture of sustainable architectural design. The influence of multi certification methods and the main areas of interest. Identified those issues which seem to be leading the further development of certification systems.

**Sławomir GUŁKOWSKI, dr**  
**Krystian CIEŚLAK, dr**  
**Jan M. OLCHOWIK, prof. dr hab. inż.**  
**Marcin PAPROTA\*, inż.**  
**Maciej SYROKA\***  
**Radosław GŁOWIENKA\***

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

\*Studenckie Koło Naukowe „Grupa Ogniwo”

## **BADANIE KINETYKI WZROSTU EPITAKSJALNYCH WARSTW LATERALNYCH DLA ZASTOSOWAŃ FOTOWOLTAICZNYCH**

### **STRESZCZENIE**

W artykule przedstawiono rezultaty badań dotyczących kinetyki wzrostu warstw epitaksjalnych otrzymywanych techniką ELO (Epitaxial Lateral Overgrowth – lateralny wzrost warstw epitaksjalnej). Omówiona została metoda przeprowadzenia eksperymentu. Zbadano wpływ parametrów technologicznych procesu tj. szybkości chłodzenia, rozmiarów okien Si, na kinetykę wzrostu lateralnego na podłożu krzemowym.

### **1. WPROWADZENIE**

W przyszłości poważną alternatywą dla będących na wyczerpaniu paliw kopalnych, takich jak węgiel, ropa naftowa czy gaz ziemny będą nowe, bardziej przyjazne środowisku technologie otrzymywania „czystej” energii. Bardzo obiecującym źródłem energii jest promieniowanie słoneczne, ze względu na jego wszechobecność i proekologiczność. Fotowoltaika, obok energetyki wiatrowej jest obecnie jedną z najszybciej rozwijających się technologii konwersji energii ze źródeł odnawialnych. Dynamika rozwoju produkcji modułów fotowoltaicznych często przyrównywana jest do dynamiki wzrostu przemysłu elektronicznego w początkowym okresie jego rozwoju [1]. Dodatkowo Unia Europejska wprowadziła dyrektywę, według której w każdym kraju członkowskim do 2020 roku 20 % energii całkowitej musi pochodzić z odnawialnych źródeł energii [2].

Istotnym czynnikiem hamującym powszechne wykorzystanie systemów fotowoltaicznych, jako źródła energii, są wciąż zbyt wysokie ceny modułów PV, na które składa się zarówno koszt materiałów bazowych jak i koszt technologii wytwarzania modułów. Znaczna część kosztów ogniwa, to koszt wytworzenia płytki bazowej, na który składa się (mniej więcej jednakowo) koszt oczyszczania materiału aktywnego, krystalizacji oraz cięcia. Technologie cienkowarstwowe umożliwiają uniknięcie kosztownego procesu cięcia, który prowadzi do znacznych strat materiału. Z tego względu technologie cienkowarstwowe, przy zwiększeniu sprawności konwersji fotowoltaicznej i zastosowaniu większych powierzchni cienkich warstw, mogą prowadzić do znacznego obniżenia ceny modułów i zwiększyć konkurencyjność tej formy pozyskiwania energii [3].

Aktualnie wyodrębnić można wiele metod wytwarzania cienkowarstwowych struktur elementów fotowoltaicznych. Najpopularniejszymi sposobami wytwarzania cienkich warstw monokrystalicznych są procesy epitaksji molekularnej, ciekłej i gazowej. Uwzględniając aspekt ekonomiczny procesu wytwarzania, najtańszą technologią jest epitaksja z fazy ciekłej [4].

## 2. EPITAKSJALNE WARSTWY LATERALNE

Termin epitaksja z fazy ciekłej (Liquid Phase Epitaxy - LPE) pojawił się w literaturze w latach sześćdziesiątych. Jednakże dopiero wraz z intensywnym rozwojem przemysłu półprzewodnikowego oraz urządzeń optoelektronicznych, znaczenie metody LPE gwałtownie wzrosło. Istotą tej metody jest wzrost warstwy na podłożu monokrystalicznym ze składników rozpuszczonych w niskotemperaturowym topiku metalicznym [4,5]. Metodę LPE cechuje znaczne obniżenie temperatury wzrostu kryształu w porównaniu z jego temperaturą topnienia. Warto zwrócić uwagę na korzyści, jakie niesie ze sobą obniżenie temperatury procesu wzrostu. W niższych temperaturach mniejszy jest stopień zanieczyszczenia fazy ciekłej niepożądanymi substancjami z otaczającej atmosfery i tygla. Obniża się również poziom defektów struktury krystalicznej. Mniejsze szybkości wzrostu pozwalają na dokładną kontrolę grubości warstwy krystalicznej. Bardzo ważna jest również - z punktu widzenia zastosowania do produkcji cienkich struktur lateralnych dla potrzeb fotowoltaiki - prostota urządzenia do monokrystalizacji metodą LPE, niewymagająca zwykle stosowania wyrafinowanych zabezpieczeń przed zwiększoną prężnością par składników stopu [6]. W celu minimalizacji liczby defektów zastosować można metodę epitaksjalnego wzrostu lateralnego, która polega na wytworzeniu warstwy epitaksjalnej na podłożu częściowo pokrytym cienką warstwą dielektryka [7]. Wzrost warstwy w metodzie ELO rozpoczyna się wewnątrz odsłoniętych okien krzemowych, po czym, kiedy tylko rosnąca warstwa osiągnie grubość maski, wzrost odbywa się zarówno w kierunku normalnym, tj. prostopadłym do powierzchni podłoża, jak i w kierunku lateralnym - wzdłuż maski [8,9]. Istotne jest, że przy doborze odpowiednich parametrów technologicznych procesu wzrostu, występuje duża różnica pomiędzy szybkością wzrostu w kierunku poziomym i pionowym, co jest cechą charakterystyczną wzrostu selektywnego [10].

## 3. EKSPERYMENT

Geometria oraz parametry krzemowych podłoży wzrostowych przedstawiona została w Tabeli 1. Na podłożach tych wykonano wzrost lateralny metodą standardowej epitaksji z fazy ciekłej.

Tabela 1. Parametry technologiczne procesu wzrostu

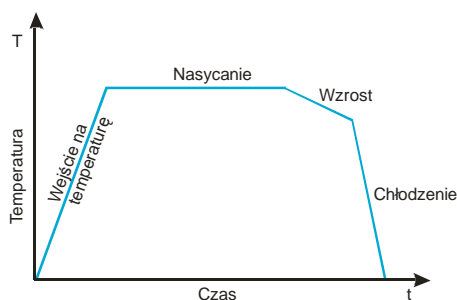
Table 1. Technological parameters of the growth process

Oznaczenie	Orientacja	Okno/Maska	Czas wzrostu
A	Si $\langle 1\bar{1}0 \rangle$	50 $\mu\text{m}$ x 150 $\mu\text{m}$	44 min
B	Si $\langle 1\bar{1}0 \rangle$	150 $\mu\text{m}$ x 150 $\mu\text{m}$	44 min
C	Si $\langle 1\bar{1}0 \rangle$	150 $\mu\text{m}$ x 150 $\mu\text{m}$	30 min

Procedura przygotowania podłoża, jak i sam proces wzrostu przedstawia się następująco:

- chemiczne czyszczenie podłoża wzrostowego i dosycającego oraz cyny i aluminium będących składnikami roztworu
- umieszczenie podłoża, topika oraz aluminium w kasecie w komorze separacyjnej w obecności gazu obojętnego – argonu
- umieszczenie reaktora kwarcowego wewnątrz bezinercyjnego pieca oporowego, dzięki któremu możliwa jest bardzo dokładna kontrola temperatury
- etap nasycania cyny krzemem, w wyniku czego tworzy się roztwór Si-Sn w temperaturze początkowej
- etap wzrostu warstwy lateralnej spowodowany obniżaniem temperatury pieca, co sprawia powstanie przesycenia w roztworze. Zgodnie z krzywą równowagi termodynamicznej, nadmiar krzemu w roztworze będzie krystalizował na podłożu wzrostowym. Wzrost warstwy rozpoczyna się w otwartych oknach na podłożu wzrostowym, a następnie postępuje na boki, tworząc tzw. skrzydła

Przykładowy przebieg eksperymentu prowadzący do powstania warstwy lateralnej przedstawiony został na rysunku 1.

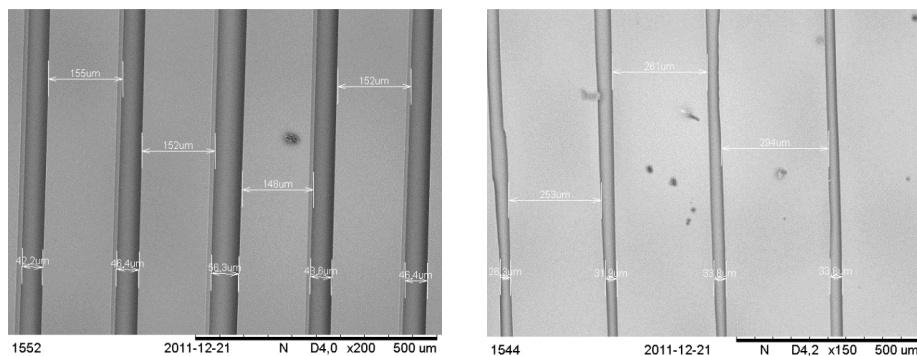


Rys. 1. Schemat przebiegu procesu eksperymentalnego

Fig. 1. Scheme of the experimental process

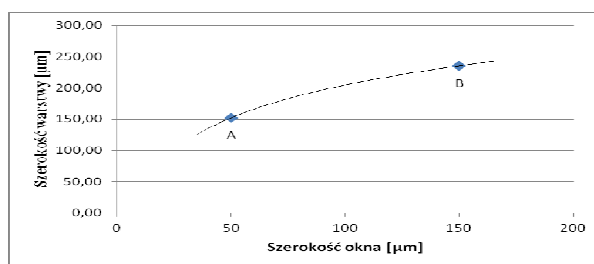
#### 4. REZULTATY

Rysunek 2 przedstawia zdjęcia warstw lateralnych otrzymanych na podłożach krzemowych o geometrii opisanej w Tabeli 1. Rysunki 3 i 4 przedstawiają zależność szerokości warstw od rozmiarów okien przy zachowaniu tej samej wartości czasu wzrostu.

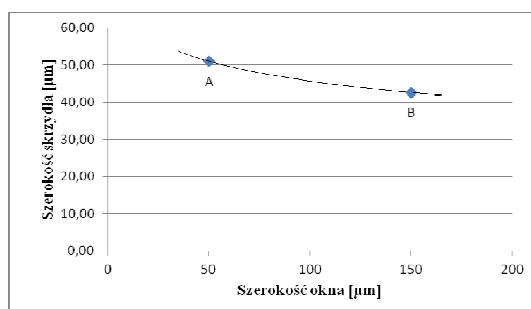


Rys. 2. Krzemowe warstwy lateralne otrzymane na podłożu Si. Geometria podłoży:  $50\mu\text{m} \times 150\mu\text{m}$  (z lewej) oraz  $150\mu\text{m} \times 150\mu\text{m}$  (z prawej)

Fig. 2. Si epitaxial layers on Si substrate. Geometry of the substrate :  $50\mu\text{m} \times 150\mu\text{m}$  (left) and  $150\mu\text{m} \times 150\mu\text{m}$  (right)



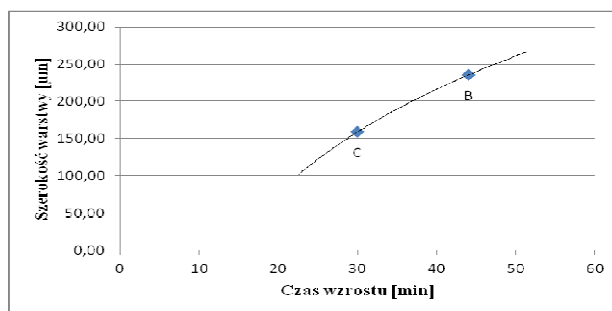
Rys. 3. Szerokość warstwy lateralnej w zależności od szerokości okna Si  
Fig. 3. Width of the epitaxial layer in dependence on width of the Si



Rys. 4. Szerokość skrzydła w zależności od szerokości okna Si  
Fig. 4. Width of the epitaxial layer in dependence on window size

Z wykresu zaprezentowanego na Rys. 3 wynika, że szerokość warstwy lateralnej rośnie wraz ze wzrostem rozmiarów okna. Dokonując jednak analizy szerokości skrzydła warstwy w funkcji szerokości okna, można wnioskować, że szybkość wzrostu w kierunku lateralnym ma większą wartość w przypadku okien o mniejszych rozmiarach, przy

zachowaniu jednakowych rozmiarów maski. Jest to spowodowane większym gradientem koncentracji składnika przemieszczającego się z obszaru maski w kierunku rosnącej warstwy.



Rys. 5. Szerokość warstwy lateralnej w funkcji czasu wzrostu  
Fig. 5. Width of the epitaxial layer in dependence on growth time

Zestawiając ze sobą rezultaty pomiarów szerokości warstwy otrzymanej na podłożach o takich samych wymiarach okien krzemowych, ale różnych czasach wzrostu zaobserwowano zwiększenie szerokości warstwy w funkcji czasu i to zarówno przypadku szerokość samej warstwy lateralnej, jak i jej skrzydła. Pozwala to na dobranie odpowiedniego czasu wzrostu dla otrzymania struktur warstw z pełną koalescencją skrzydeł, które z powodzeniem można wykorzystać do budowy fotoogniwa.

## 5. PODSUMOWANIE

W celu efektywnego wykorzystania cienkowarstwowych, krzemowych struktur lateralnych w zastosowaniach fotowoltaicznych, wymagane jest otrzymywanie możliwie cienkich warstw o jak największej szerokości. Prowadzi to bowiem do otrzymywania struktur o tym lepszej jakości, im większy obszar wykrystalizowanej warstwy epitaksjalnej będzie stanowił wolną od defektów warstwę rosnącą lateralnie. Ponadto większa prędkość wzrostu lateralnego oznacza również krótszy czas otrzymywania warstw o pełnej koalescencji, co przyczynia się do obniżenia kosztów produkcji. Technika otrzymywania warstw lateralnych metodą epitaksji z fazy ciekłej pozwala na otrzymywanie względnie tanich warstw o stosunkowo dobrej jakości, które mogą służyć do produkcji ogniwa słonecznego.

## 6. LITERATURA

- [1] S. Pietruszko.; Światowy Rynek Fotowoltaiki. Centrum Fotowoltaiki, 2009.
- [2] <http://www.elektroenergetyka.org/>
- [3] Koch W., Endros A. L. et al. ; Bulk Crystal Growth and Wafering for PV w Handbook of Photovoltaic Science and Engineering (ed. Antonio Luque, Steven Hegedus), Wiley, 2003.
- [4] Olchowik J.M.; Cienkie warstwy w strukturach baterii słonecznych, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Lubelskiej, Lublin 2004.

- [5] Herman M.A.; Krystalizacja warstw epitaksjalnych: pojęcia i problemy podstawowe (Ed. K. Sangwal), Wydawnictwo Wyższej Szkoły Pedagogicznej w Częstochowie, Częstochowa 1990.
- [6] K. Borkowski.; Epitaksja z fazy ciekłej we: Wzrost kryształów. (ed. K. Sangwal) Wyd. Wyższej Szkoły Pedagogicznej w Częstochowie, Częstochowa, 1990.
- [7] Dost S., Lent B.; Single Crystal Growth of Semiconductors from Metallic Solution. Elsevier, Amsterdam 2007.
- [8] Zytkeiwicz Z. R.; Dobosz D., Liu Y. C., Dost S. Cryst. Res. Technol. 40, No 4/5, 321 – 328 (2005).
- [9] Zytkeiwicz Z. R.; Thin Solid Films 412 (2002) 64 – 75.
- [10] Nishinaga T.; Cryst. Res. Technol. 31, 92 (1991).

## **KINETICS OF THE ELO LAYER GROWTH FOR PHOTOVOLTAICS APPLICATION**

### **SUMMARY**

Epitaxial Lateral Overgrowth (ELO) may be promising technique in photovoltaics application due to possibility of producing high quality Si epitaxial layers on silicon substrates. The advantage of this method is that density of the dislocations in new layer is less than in the substrate. The main goal of this method is to obtain as wide and as thin structures as possible. For this reason our research was concentrated on technological parameters of the growth process and its influences on width of the layer.



**Stanisław GUMUŁA, prof. zw. dr hab. inż.**

Akademia Górniczo-Hutnicza  
Katedra Systemów Energetycznych i Urządzeń Ochrony Środowiska  
al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków  
e-mail: stangum@gmail.com

**Małgorzata PIASKOWSKA-SILARSKA, dr inż.**

Uniwersytet Pedagogiczny  
Instytut Techniki  
ul. Podchorążych 2, 30-084 Kraków  
e-mail: mpiasko@up.krakow.pl

## **CZY ENERGETYKA OPARTA NA SPALANIU MA WPŁYW NA EFEKT CIEPLARNIANY?**

### **STRESZCZENIE**

Od 1973 roku, czyli od pierwszego kryzysu energetycznego, mieszkańcy Ziemi zaczęli żyć w poczuciu zagrożenia utratą dostępu do energii. Mówiono i pisano dużo o kończących się zasobach paliw kopalnych, zapowiadano też, że zanim osiągniemy dno w zasobach surowców energetycznych ich ceny będą tak wysokie, że przestaną być powszechnie dostępne. Odkrywanie nowych zasobów surowców energetycznych, energooszczędne technologie, odnawialne źródła energii znacznie to poczucie zagrożenia złagodziły. Dla odmiany w 1992 roku na konferencji w Rio de Janeiro wywołano nowe widmo grożące wyniszczeniem Ziemi i ludzkości. Jest nim dwutlenek węgla jako efekt procesów spalania.

W przedstawionym referacie zestawiono ważniejsze czynniki przemawiające za i przeciw zagrożeniom związanym z emisją dwutlenku węgla do atmosfery. W rozważaniach uwzględniono m.in. charakterystyki absorpcji promieniowania w atmosferze w zależności od stężenia i temperatury dwutlenku węgla, zmiany stężenia dwutlenku węgla w atmosferze w krótszych i dłuższych przedziałach czasu, wahania poziomu wód oceanicznych i związek odchyleń temperatury od jej wartości średniej a aktywnością Słońca.

### 1. WPROWADZENIE

Wzrost stężenia dwutlenku węgla w atmosferze, związany z pozyskiwaniem energii na drodze spalania paliw kopalnych, jest przez wielu uczonych wskazywany jako źródło globalnego zagrożenia ekologicznego Ziemi. Wzrost stężenia tego gazu wzmacnia efekt cieplarniany, co potwierdza pewna ilość faktów. Inne fakty natomiast poddają w wątpliwość powyższe stwierdzenie.

W prezentowanej pracy staramy się przedstawić wpływ dwutlenku węgla i innych gazów na powstawanie efektu cieplarnianego, wskazując równocześnie czynniki, które poddają w wątpliwość aż tak duży wpływ emisji dwutlenku węgla do atmosfery na zmiany klimatyczne na Ziemi.

### 2. PRZYCZYNY WZROSTU STĘŻENIA DWUTLENKU WĘGLA W ATMOSFERZE

Spalenie 1 kg węgla powoduje emisję do atmosfery 3,66 kg dwutlenku węgla. Tylko Polska wydobywa i zużywa rocznie około 100 mln ton węgla. Skala zjawiska jest zatem gigantyczna.

Dwutlenek węgla był w atmosferze odkąd istnieje życie na Ziemi. Jest produktem przemiany materii u ludzi i zwierząt oraz podstawowym budulcem ziemskiej flory, asymilowanym w procesie fotosyntezy. Jest tym samym dla świata roślin, co dla zwierząt i ludzi tlen, zatem w atmosferze być musi. Jeżeli jednak popatrzymy na krzywą stężenia dwutlenku węgla w atmosferze na przestrzeni ostatnich dziesięcioleci, zobaczymy, że równowaga pomiędzy produkcją dwutlenku węgla a asymilowaniem go przez świat roślin została wyraźnie zachwiana. [9] Produkuje się coraz więcej dwutlenku węgla a drzew i roślin do jego wchłaniania jest na Ziemi coraz mniej.

### 3. MECHANIZMY POWSTAWANIA EFEKTU CIEPLARNIANEGO

Z termodynamiki wiemy, że wszystkie ciała stałe, ciekłe i gazowe emitują oraz absorbują promieniowanie. Promieniowanie to jest niezależne od obecności i temperatury innych ciał znajdujących się w ich sąsiedztwie (prawo Prewosta). Intensywność promieniowania ciał stałych i ciekłych jest ciągłą funkcją długości wypromieniowywanej fali (częstotliwości promieniowania). Współczynniki emisyjności i absorpcyjności powierzchni danego ciała są sobie równe (prawo Kirchhoffa). Tym prawom, dotyczącym promieniowania, podlega również powierzchnia Ziemi.

Inaczej, z punktu widzenia absorpcyjności i emisyjności promieniowania, przedstawiają się właściwości gazów lub mieszaniny gazów z których właśnie składa się atmosfera ziemską. Przede wszystkim ogromna grupa gazów, skupiająca gazy jedno- i dwuatomowe (poza dwoma wyjątkami: CO oraz HCl), ma absorpcyjność i emisyjność równą zeru, czyli nie absorbują i nie emitują promieniowania w żadnym zakresie długości fal (częstotliwości promieniowania). Gazy trój- i więcej atomowe mają emisyjność i absorpcyjność różną od zera, ale nie jest ona ciągłą funkcją długości fali. Inaczej mówiąc jest ona selektywna, czyli w pewnych pasmach długości fali występuje, w pewnych nie występuje. Pasma absorpcyjności i emisyjności danego gazu są identyczne. i emituje promieniowanie w tych samych przedziałach długości fal. Ponadto wartości współczynników emisyjności i absorpcyjności dla danego gazu są również sobie równe (analogia do prawa

Kirchhoffa). Pasma emisyjności i absorpcyjności dla różnych gazów mogą się pokrywać, czyli na siebie nachodzić, mogą się pokrywać częściowo, mogą również na siebie nie nachodzić dla żadnej długości fali. Należy jeszcze zaznaczyć, że inaczej niż ciała stałe, które emitują i absorbują promieniowanie powierzchnią, gazy, nie mając powierzchni, czynią to całą objętością. Emisyjność i absorpcyjność gazu wyrażona współczynnikiem emisyjności, równym w przybliżeniu współczynnikiem absorpcyjności, zależy od temperatury gazu oraz ilości gazu wyrażonej iloczynem grubości warstwy tego gazu i jego ciśnienia. Jeżeli gaz jest składnikiem w mieszaninie złożonej z większej ilości gazów, emisyjność określa jego ciśnienie cząstkowe (parcjalne). Relacje te dla dwutlenku węgla przedstawiają rodziny charakterystyk przedstawione w pracach [2,7]. Parametrem rodziny krzywych jest iloczyn ciśnienia cząstkowego dwutlenku węgla i grubości warstwy tego gazu absorbującej promieniowanie.

Intensywność promieniowania Słońca, jako funkcja długości fali, jest zbliżona do ciała doskonale czarnego (prawo Plancka). Emisyjność, a tym samym absorpcyjność, podstawowych składników atmosfery: tlenu i azotu, jako gazów dwuatomowych, jest zerowa dla wszystkich długości fal. Z kolei pasma emisyjności i absorpcyjności gazów o większej ilości atomów w cząsteczce, obecnych w atmosferze ziemskiej, znajdują się poza pasmem promieniowania Słońca. W tej sytuacji intensywność promieniowania Słońca przy przejściu przez atmosferę nie ulega istotnym zmianom i w pogodny dzień przy czystej atmosferze, jej wartość na szczycie atmosfery jest zbliżona do wartości na powierzchni Ziemi. Energia promieniowania słonecznego, docierająca na powierzchnię Ziemi, ulega między innymi konwersji na ciepło i w ten sposób powierzchnia Ziemi staje się wtórnym źródłem promieniowania. Promieniowanie Ziemi odbywa się w innym zakresie długości fal niż promieniowanie Słońca i posiada oczywiście znacznie mniejszą intensywność. A co najistotniejsze w przedziale długości fal promieniowania Ziemi znajdują się pasma emisji i absorpcji gazów znajdujących się w atmosferze. Do gazów tych należą przede wszystkim para wodna, metan, ozon i właśnie dwutlenek węgla. Zatem promieniowanie Ziemi, które jest ciągłą funkcją długości fali, w pewnych zakresach tych długości będzie absorbowane, czyli zamieniane na ciepło. Zakres długości fal absorpcji promieniowania Ziemi w atmosferze to oczywiście zakres absorpcji gazów, które się w niej znajdują. Właśnie ta zamiana energii promieniowania Ziemi na ciepło w atmosferze, na skutek istnienia w niej gazów więcej niż dwuatomowych, nazywana jest efektem cieplarnianym (w języku angielskim: greenhouse effect), a gazy, które go powodują gazami cieplarnianymi.

#### **4. CZY TYLKO ZMIANY STĘŻENIA DWUTLENKU WĘGLA W ATMOSFERZE KSZTAŁTUJĄ KLIMAT NA ZIEMI?**

Interpretacja zależności przedstawionych w pracach [2,4,7,9], polegająca na wskazywaniu dwutlenku węgla jako przyczyny nasilania się efektu cieplarnianego na Ziemi, wydaje się przekonująca.

Czy istnieją jednak fakty mogące poddać w wątpliwość twierdzenie, że przyczyną nasilania się zmian klimatycznych jest pogłębianie się efektu cieplarnianego wywołane wzrostem stężenia dwutlenku węgla w atmosferze? Omówimy te fakty pokrótce.

- A. Według rodziny krzywych pokazanych w pracy [2,7], emisyjność (absorpcyjność) promieniowania przez dwutlenek węgla silnie rośnie ze wzrostem stężenia tego gazu, ale równocześnie ze wzrostem temperatury emisyjność (absorpcyjność) gwałtownie spada (oś pionowa ma skalę wykładniczą). Wynika z tego, że cieplarniane działanie dwutlenku węgla jest procesem, który się sam ogranicza (stabilizuje). Wzrost stężenia parcjalnego dwutlenku węgla powoduje wzrost współczynnika absorpcji promieniowania. Wzrost absorpcji promieniowania powoduje wzrost temperatury atmosfery, ale wzrost temperatury atmosfery obniża wartość współczynnika absorpcyjności, co pociąga za sobą obniżenie temperatury atmosfery.
- B. Podobną rodzinę charakterystyk, jaką posiada dwutlenek węgla, ma para wodna. [2,7] Jeśli porównamy stężenia parcjalne dwutlenku węgla i pary wodnej możemy dojść do wniosku, że w około 95% za efekt cieplarniany w atmosferze ziemskiej odpowiada para wodna a dwutlenek węgla jedynie w około 5%.
- C. Odchylenia temperatury atmosfery na przestrzeni ostatnich 10 tysięcy lat ulegały dużym wahaniom i nie były skorelowane ze stężeniem dwutlenku węgla w atmosferze. [10]
- D. Odchylenia średniej temperatury powietrza przy powierzchni Ziemi są dość dobrze skorelowane z okresowymi zmianami aktywności Słońca a nie zmianami stężenia gazów cieplarnianych. [5]
- E. Występują ponad dziesięcioletnie okresy, w których wzrostowi stężenia dwutlenku węgla towarzyszy obniżanie się temperatury powietrza atmosferycznego i obniżenie się poziomowi oceanu światowego. [4,9]
- F. Najsilniejszą zmianą klimatyczną na Ziemi było ustąpienie epoki lodowcowej. Należy dodać, że nikomu nie udało się dotychczas znaleźć związku pomiędzy zakończeniem epoki lodowcowej a zmianami stężenia dwutlenku węgla w atmosferze.
- G. Na przestrzeni ostatnich 10 tysięcy lat okresowe odchylenia temperatury atmosfery od wartości średniej były znacznie większe niż te przypisywane wzrostowi stężenia dwutlenku węgla. [4,10]

## 5. PODSUMOWANIE

Biorąc pod uwagę przedstawione fakty, można mieć wątpliwości, czy wzrost stężenia dwutlenku węgla w atmosferze stanowi poważne zagrożenie ekologiczne dla mieszkańców Ziemi, a co za tym idzie, czy pochłaniająca ogromne środki finansowe światowa batalia o ograniczenie emisji dwutlenku węgla jest w pełni uzasadniona. Co najmniej tyle samo argumentów przemawia przeciw, co i za, wiązaniu stężenia dwutlenku węgla w atmosferze ze zmianami klimatycznymi na Ziemi.

## 6. LITERATURA

- [1] Dera J.; Fizyka morza, PWN, Warszawa 1983.
- [2] Hobler T.; Ruch ciepła i wymienniki, WNT, Warszawa 1998.
- [3] Iribarne J. V.; Fizyka atmosfery, PWN, Warszawa 1988.
- [4] Kolenda Z.; Kontrowersje wokół globalnego ocieplenia klimatu, Wydawnictwo PAU, Kraków 2000.

- [5] Małecki A.; Globalne ocieplenie – kilka niewygodnych prawd, Biuletyn Polskiego Stowarzyszenia Wodoru i Ogniw Paliwowych, Wydawnictwo PSWiOP, Kraków 2009.
- [6] Stanley S. M.; Historia Ziemi, PWN, Warszawa 2002.
- [7] Szargut J.; Termodynamika techniczna, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2005.
- [8] Wiśniewski S., Wiśniewski T.; Wymiana ciepła, WNT, Warszawa 2000.
- [9] [www.globalwarmingart.com](http://www.globalwarmingart.com)
- [10] [www.k12.wa.us](http://www.k12.wa.us)

### **DOES THE FOSSIL FUEL ENERGY INFLUENCE ON GLOBAL WARMING EFFECT?**

#### **SUMMARY**

Since the first energy crisis 1973 people started to worry about losing the access to energy sources. The public discussion about this issue raged at that time. It was said that even before the fossil fuel sources end up the prices rise to a level unreachable for an average consumer. That fear was eased by discoveries of new energy sources, energy saving technologies and renewable energy sources. In 1992 during the conference in Rio de Janeiro emerged a threat which was predicted to bring our planet to an end. Its CO<sub>2</sub> that comes from burning of fossil fuels.

This paper presents positive and negative arguments related to CO<sub>2</sub> emission to the atmosphere. There are considered aspects like absorption of radiation in the atmosphere in correlation to concentration and temperature of CO<sub>2</sub>, changes in concentration of CO<sub>2</sub> in longer or shorter time periods, vacillation of ocean surface level, relation between temperature changes from its the average and the sun activity.



**Stanisław GUMUŁA, prof. dr hab. inż.**

Akademia Górniczo – Hutnicza w Krakowie  
Katedra Systemów Energetycznych  
30- 059 Kraków Al. Mickiewicza 30

**Katarzyna STANISZ, mgr**

Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej w Krośnie  
Instytut Politechniczny  
38- 400 Krosno ul. Wyspiańskiego 20

## **AUTONOMICZNE SYSTEMY ELEKTROENERGETYCZNE DLA BUDYNKÓW JEDNORODZINNYCH OPARTE NA KONWERSJI PROMIENIOWANIA SŁOŃCA I ENERGII KINETYCZNEJ WIATRU**

### **STRESZCZENIE**

W pracy przedstawiono dwa warianty autonomicznych systemów elektroenergetycznych dla budynków jednorodzinnych oparte o wykorzystanie odnawialnych źródeł energii.

System pierwszy polega na fotoelektrycznej konwersji energii promieniowania słońca na energię elektryczną, natomiast system drugi na konwersji energii kinetycznej wiatru na energię elektryczną. Przedstawiono sposób doboru mocy fotoogniw oraz mocy elektrowni wiatrowej niezbędnych do zaspokojenia potrzeb energetycznych budynku oraz sposób doboru akumulatorów energii elektrycznej do zapatrywania budynku w energię elektryczną w sytuacji gdy energia ze źródeł odnawialnych nie może być produkowana i wykorzystywana na bieżąco.

### **1. WPROWADZENIE**

Aktualnie sektor budowlany w Unii Europejskiej wykorzystuje około 20% całkowitej produkcji energii elektrycznej. Ponadto w kolejnych latach przewiduje się ciągły wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną w gospodarstwach domowych z uwagi na poprawę komfortu życia. Konieczne ograniczenia emisji zanieczyszczeń oraz gwałtowne

zmiany na rynkach tradycyjnych surowców energetycznych i co z tym związane ciągły wzrost ich cen zmusza do szukania innych sposobów wytwarzania energii elektrycznej.

Celem niniejszego artykułu jest analiza technicznych możliwości utworzenia i eksploatacji w polskich warunkach klimatycznych budynku zasilanego w energię elektryczną pozyskiwaną wyłącznie z odnawialnych źródeł energii. Uwzględniono jedynie możliwość uzyskania energii elektrycznej z promieniowania słońca, oraz energii kinetycznej wiatru. Wybrano te surowce energetyczne ze względu na ich powszechną dostępność dla każdej lokalizacji budynku.

## 2. OKREŚLENIE ZAPOTRZEBOWANIA NA ENERGIĘ ELEKTRYCZNĄ DLA BUDYNKU

Analizę potrzeb energetycznych budynku i możliwości ich zaspokojenia w oparciu o odnawialne źródła energii przeprowadzono dla typowego budynku jednorodzinnego o powierzchni 140 m<sup>2</sup> zamieszkałego przez 4 osobową rodzinę.

Budynek usytuowany był na terenie nieosłoniętym ani wysokimi budynkami ani dużą ilością drzew. Oznacza to, że w sąsiedztwie analizowanego budynku nie ma elementów powodujących zacienienie fotoogniw słonecznych ani przeszkód powodujących zmniejszanie prędkości wiatru.

*Tabela 1. Średnie zapotrzebowanie na energię elektryczną w ciągu roku przez poszczególne odbiorniki.*

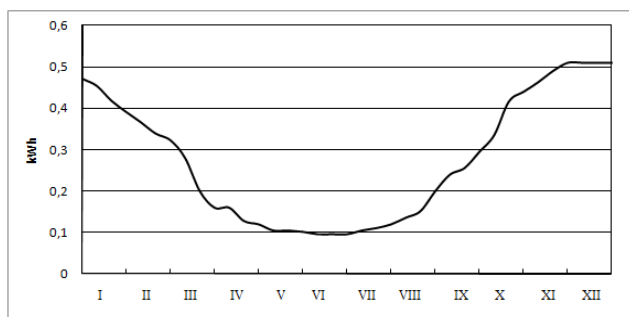
*Table 1. Average electrical energy demand during the year for individual collectors*

Urządzenia	Wykorzystanie energii elektrycznej [ kWh]		
czajnik	480	pralka	200
Laptop/ komputer	200	robot kuchenny	20
lodówka	900	suszarka do włosów	60
mikrofalówka	150	telewizor, radio	400
odkurzacz	170	wentylator	20
okap kuchenny	60	żelazko	40
oświetlenie	350	Inne	1 000
piekarnik elektryczny	300	suma	4350



Zapotrzebowanie na energię elektryczną oszacowano na podstawie przyjętego sposobu użytkowania budynku przez czteroosobową rodzinę dla standardowego wyposażenia w odbiorniki energii. Założono, że budynek jest wyposażony w oświetlenie i inne urządzenia elektryczne wysokiej jakości, charakteryzujące się niskim zużyciem energii elektrycznej. Średnie roczne szacunkowe zapotrzebowanie na energię elektryczną przez poszczególne odbiorniki zawiera tabela. 1.

Zapotrzebowanie na energię elektryczną w typowym gospodarstwie domowym podlega zmianom sezonowym i dobowym. W sytuacji, gdy energia elektryczna nie jest wykorzystywana do celów grzewczych zmiany te w głównej mierze wynikają ze zmiennych potrzeb oświetleniowych (rysunek 1).



Rys. 1. Zapotrzebowanie na energię elektryczną dla potrzeb oświetleniowych na przestrzeni całego roku obliczone w oparciu o przebieg nasłonecznienia.

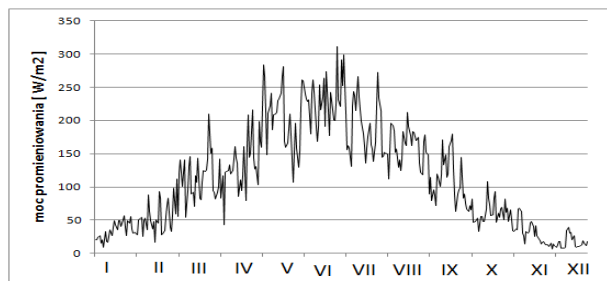
Fig. 1. Electrical energy demand for lightning during the whole year calculated on the basis of the insolation course.

### 3. ZASOBY ODNAWIALNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII W MIEJSCU LOKALIZACJI ANALIZOWANEGO BUDYNKU

Obserwowany rozwój technologii produkcji ogniw fotowoltaicznych oraz turbin wiatrowych, wzrost ich wydajności, trwałości, odporności na warunki atmosferyczne oraz możliwość zmiany kształtu oraz koloru fotoogniw powoduje że tradycyjne urządzenia pozyskiwania energii mogą być zastąpione przez fotoogniwa oraz turbiny wiatrowe.

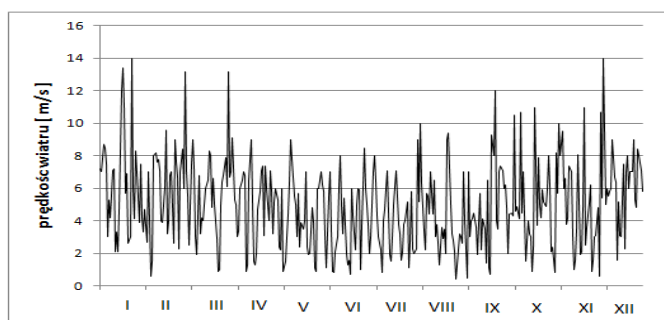
Jednakże wykorzystanie odnawialnych źródeł energii do zapewnienia potrzeb energetycznych budynku wymaga przeprowadzenia dodatkowych badań i analiz, szczególnie w zakresie pomiarów wiatru, oraz stopnia nasłonecznienia terenu w miejscu lokalizacji budynku.

Jako model klimatu otaczającego rozważany budynek wykorzystano pomiary własne (rysunki 2 i 3).



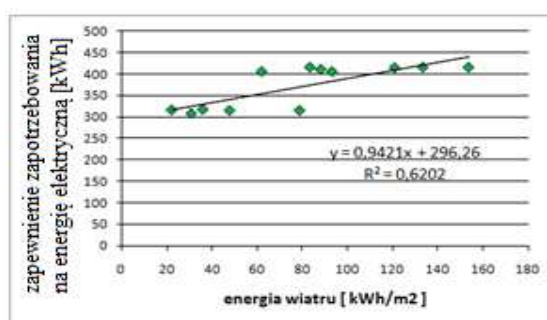
Rys. 2. Średnie dobowe natężenia promieniowania słonecznego dla trzech kolejnych lat [ pomiary własne]

Fig. 2. Average twenty-four-hour intensity of solar radiation for the three successive years [own measurements].



Rys.3. Rozkład średniodobowych prędkości wiatru – średnia z trzech lat [pomiary własne]

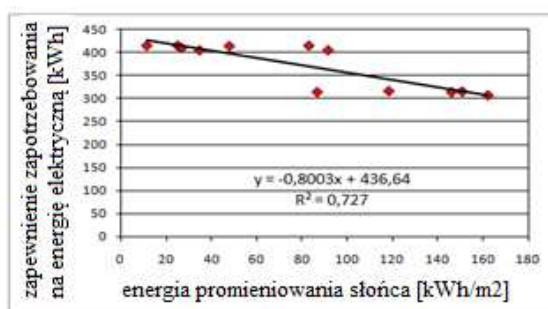
Fig.3. Distribution of average twenty-four-hour wind speeds – the average for three years [own measurements].



Rys. 4. Zależność pomiędzy możliwościami produkcyjnymi energii elektrycznej poprzez konwersję energii wiatru a zapotrzebowaniem budynku na energię elektryczną.

Fig. 4. Dependence between the production possibilities of electrical energy through the conversion of wind energy and the demand of the building for electric energy.

Dostępność energii z odnawialnych źródeł energii ma charakter stochastyczny ale posiada pewną statystyczną sezonową regularność. Sezonowa abundancja odnawialnych źródeł energii nie zawsze pokrywa się z sezonowymi potrzebami energetycznymi odbiorców. Sytuację tę można scharakteryzować poprzez podanie zależności pomiędzy możliwą do wyprodukowania, w oparciu o odnawialne źródła energii, energią a energią potrzebną do zaopatrzenia budynku. Zależności te pokazano na rysunkach 4 i 5.



Rys. 5. Zależność pomiędzy możliwościami produkcyjnymi energii elektrycznej poprzez konwersję energii promieniowania słońca a zapotrzebowaniem budynku na energię elektryczną.

Fig. 5. Dependence between the production possibilities of electrical energy through the conversion of solar radiation energy and the demand of the building for electric energy.

Należy zauważyć, że jedynie w przypadku energii wiatru otrzymujemy dodatnią wartość współczynnika kierunkowego prostej regresji. Oznacza to zgodność zmian dopływu energii wiatru ze zmianami zapotrzebowania na energię elektryczną dla budynku. W drugim przypadku, to znaczy energii promieniowania słońca wartość współczynnika kierunkowego prostej regresji jest ujemne. Wskazuje to na nadmiar dostarczanej energii w pewnych przedziałach czasu, przy jej deficycie w pozostałych.

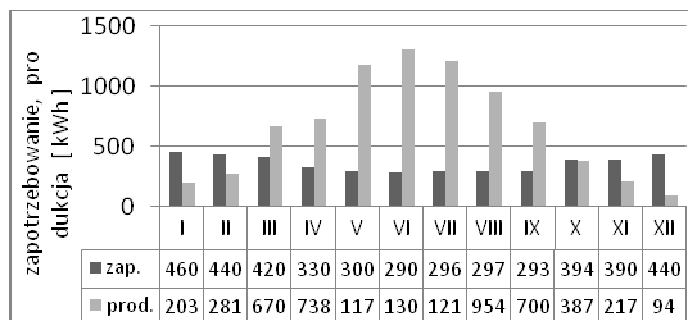
#### 4. DOBÓR URZĄDZEŃ DO PRODUKCJI I AKUMULACJI ENERGII ELEKTRYCZNEJ DLA ROZWAŻANEGO BUDYNKU

##### 4.1. Dobór urządzeń do produkcji i akumulacji energii elektrycznej w oparciu o konwersję energii promieniowania słońca

Założenie autonomicznej pracy systemu będzie spełnione przy zastosowaniu fotowoltaiki o mocy nominalnej około 9,5 kW i powierzchni 70 m<sup>2</sup> pochylonych pod kątem 60° względem ziemi, współpracujących z 400 akumulatorami o pojemności 230 Ah, 12 V [3]. Z systemu tego otrzymamy około 8 000 kWh (rys. 6.) [4].

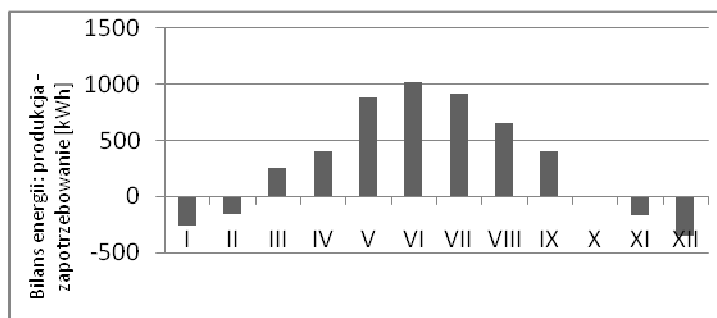
Na rysunku 7 przedstawiony jest bilans energii dla każdego miesiąca roku, wyznaczony jako różnica pomiędzy energią produkowaną przez generator fotowoltaiczny o mocy 9,5 kW a bieżącym zapotrzebowaniem na energię. Mamy więc miesiące z nadmiarem energii i miesiące z niedoborem energii co wskazuje na konieczność okresowej akumulacji

potrzebnej energii i okresowego jej odzysku stąd konieczność współpracy systemu fotowoltaicznego z akumulatorami chemicznymi energii elektrycznej.



Rys.6. Porównanie, dla okresu jednego roku, zapotrzebowania na energię elektryczną z produkcją energii elektrycznej przez system fotowoltaiczny o mocy nominalnej 9,5 kW.

Fig.6. Comparison of the demand for electric energy and the production of electrical energy by the photovoltaic system of the nominal power of 9,5 kW for the period of one year.



Rys.7. Bilans energii elektrycznej potrzebnej i produkowanej dla każdego miesiąca roku

Fig.7. Balance of electric energy needed and produced in each month of the year.

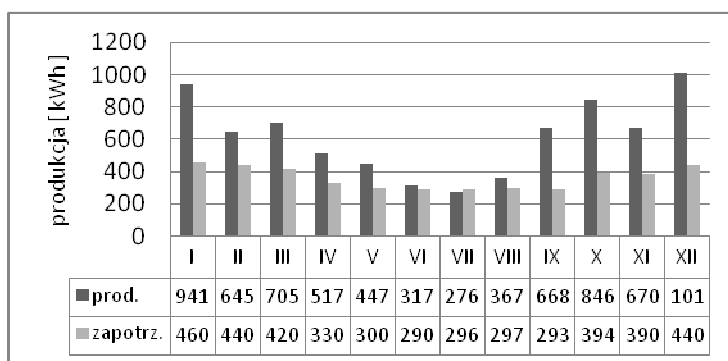
#### 4.2. Dobór urządzeń do produkcji i akumulacji energii elektrycznej w oparciu o konwersję energii kinetycznej wiatru

W celu przeprowadzenia bilansu energii jako źródło energii przyjęto turbinę wiatrową STORM o mocy nominalnej 5 kW [2]. Turbina ta, przy średniorocznej prędkości wiatru 5 m/s w ciągu roku powinna wyprodukować około 7 400 kWh energii elektrycznej [1].

Rysunek 8 przedstawia porównanie produkcji energii elektrycznej z wybranej elektrowni wiatrowej z zapotrzebowaniem na energię elektryczną dla przyjętego budynku o powierzchni 140 m<sup>2</sup>.

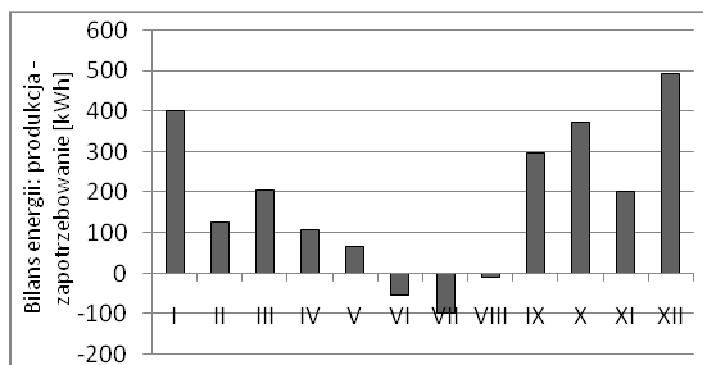
Natomiast rysunek 9 przedstawia bilans energii dla każdego miesiąca roku, wyznaczony jako różnica pomiędzy energią produkowaną przez EWi o mocy 5 kW

i zapotrzebowaniem na energię. Uwzględniając przedstawiony bilans przy produkcji 7 400 kWh energii elektrycznej przez EWi potrzebnych jest 150 akumulatorów energii elektrycznej o pojemności 230 Ah przy napięciu 12 V [3].



Rys. 8. Porównanie energii elektrycznej produkowanej przez EWi z zapotrzebowaniem na energię elektryczną dla poszczególnych miesięcy roku.

Fig. 8. Comparison of electric energy produced by the EWi and the demand for electric energy in each month of the year.



Rys.9. Bilans potrzebnej i produkowanej energii elektrycznej dla każdego miesiąca roku.

Fig.9. Balance of needed and produced electrical energy in each month of the year.

Zasoby energii wiatru na przestrzeni roku charakteryzują się cyklicznością sezonową. Największe prędkości wiatru na terenie Polski obserwuje się w okresie jesienno-zimowym, zaś najmniejsze w okresie wiosenno-letnim, stąd też energia wiatru jest lepiej skorelowana z potrzebami energetycznymi budynku niż energia promieniowania słonecznego. Z tego też powodu pojemność magazynu energii elektrycznej jak również moc nominalna źródła tej energii w przypadku wyboru turbiny wiatrowej może być mniejsza niż w przypadku wyboru fotoogniw słonecznych.

## 5. PODSUMOWANIE

Zapewnienie wszystkich potrzeb energetycznych rozpatrywanego budynku jednorodzinnego o powierzchni całkowitej 140 m<sup>2</sup> w oparciu o lokalne powszechnie występujące surowce energetyczne jest możliwe. Wymaga ono zastosowania systemu złożonego z fotogniw monokrystalicznych o mocy 9,5 kW i powierzchni 70 m<sup>2</sup>, współpracującego z magazynem energii złożonym z 400 akumulatorów energii elektrycznej każdy o pojemności 230 Ah i 12 V lub turbiny wiatrowej o mocy 5 kW, wraz z magazynem energii elektrycznej składającego się z 150 akumulatorów o pojemności 230 Ah i napięciu 12V.

## 6. LITERATURA

- [1] Gumuła S, Knap T, Strzelczyk P, Szczerba Z.: Energetyka wiatrowa. Uczelniane Wydawnictwo Naukowo-Techniczne AGH, Kraków 2006.
- [2] <http://green-storm.pl/?id=10>
- [3] <http://www.bateriehaze.pl/>
- [4] PVsyst 3.20

## AUTONOMIC ELECTROENERGETIC SYSTEMS FOR DETACHED HOUSES BASED ON SOLAR RADIATION CONVERSION AND WIND KINETIC ENERGY

### SUMMARY

The paper presents two variants of autonomic electroenergetic systems for detached houses based on the use of renewable energy sources.

The first system is based on the photoelectrical conversion of solar radiation energy into electrical energy, however the other system on the conversion of wind kinetic energy into electrical energy. The way of the choice of the photoelement power and the power of the wind turbine necessary to satisfy the energetic needs of the building were presented as well as the way of the choice of electrical energy accumulators to provide the building with electrical energy in the situation when energy from renewable sources cannot be produced and used up to date.

**Stanisław GUMUŁA, prof. dr hab. inż.**

Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie  
Katedra Systemów Energetycznych  
30- 059 Kraków, al. Mickiewicza 30.

**Agnieszka WOŹNIAK, mgr**

Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Krośnie  
Rynek 1, 38-400 Krosno

## **TECHNOLOGIE ENERGETYCZNE OPARTE NA ODNAWIALNYCH ŹRÓDŁACH ENERGII I MOŻLIWOŚCIACH WYKORZYSTANIA W BUDOWNICTWIE ROZPROSZONYM**

### **STRESZCZENIE**

Funkcjonowanie współczesnych budynków, niezależnie od ich przeznaczenia, nie jest możliwe bez zaopatrywania ich w energię elektryczną. Aktualnie najbardziej dynamicznie rozwijają się technologie energetyczne oparte na korzystaniu z odnawialnych źródeł energii. Istnieje kilka technologii wytwarzania energii elektrycznej w oparciu o odnawialne źródła energii. W przedstawionej pracy jako źródła energii rozważono: energię promieniowania słonecznego, energię kinetyczną wiatru, energię spadku wód powierzchniowych, ciepło wód głębinowych, odpady komunalne, biopaliwa wytwarzane z biomasy (biogaz, etanol, olej napędowy) i ogniwa paliwowe zasilane wodorem pozyskiwanym z rozkładu wody. Omówiono wady i zalety, możliwości i ograniczenia technologii energetycznych opartych o odnawialne źródła energii z punktu widzenia zastosowań w budownictwie.

### **1. WPROWADZENIE**

Budownictwo wykorzystuje około 40% produkowanej energii. Zdecydowana większość budynków mieszkalnych to budynki jednorodzinne. Porozumienia międzynarodowe o zasięgu światowym i dyrektywy Unii Europejskiej zmuszają do ograniczenia emisji produktów spalania poprzez wzrost udziału odnawialnych źródeł energii w zaspokojeniu potrzeb energetycznych. Odnawialne źródła energii należą do rozproszonych, dlatego naj-

większe możliwości ich wykorzystania mają miejsce w budownictwie rozproszonym (gospodarstwa rolne, domy jednorodzinne, schroniska górskie i inne).

Przedstawiona praca zawiera przegląd technologii energetycznych mogących mieć zastosowanie do produkcji energii elektrycznej a w niektórych technologiach również do produkcji ciepła dla potrzeb budownictwa rozproszonego.

## **2. WYBRANE TECHNOLOGIE WYTWARZANIA ENERGII ELEKTRYCZNEJ W OPARCIU O ODNAWIALNE ŹRÓDŁA ENERGII**

### **2.1. Fotoogniwa**

Fotoogniwa dokonują konwersji promieniowania Słońca na energię elektryczną. Dostęp do energii promieniowania Słońca ma charakter losowy, energii promieniowania nie daje się na bieżąco przewidzieć ale średnioroczna energia promieniowania docierającego do danego miejsca na powierzchni ziemi jest możliwa do precyzyjnego określenia. Lokalna energia promieniowania dla terenu naszego kraju jest mało zróżnicowana i mieści się w przedziale od 950 do 1250 kWh/m<sup>2</sup>. Moc promieniowania podlega natomiast dużym wahaniom sezonowym oraz wahaniom dobowym. Jedne i drugie wahania mają w przybliżeniu charakter sinusoidalny [4]. Taki też charakter musi mieć przebieg mocy osiąganey przez fotoogniwa. Zapotrzebowanie na energię elektryczną w budownictwie ma przebieg również zbliżony do sinusoidalnego ale z przesunięciem o pół okresu względem przebiegu mocy promieniowania Słońca. Wobec faktu istnienia znacznego wzajemnego przesunięcia pomiędzy przedziałami czasu w których występuje zapotrzebowanie na energię a przedziałami czasu gdy może ona być produkowana, zachodzi konieczność korzystania z jednego spośród dwóch możliwych rozwiązań problemu:

- Produkowanie energii elektrycznej wtedy gdy jest to możliwe to znaczy przy dużej mocy promieniowania Słońca i odsprzedawanie energii do państwowej sieci elektroenergetycznej a kupowanie energii z sieci gdy jest ona potrzebna.
- Produkowanie energii elektrycznej wtedy gdy jest to możliwe, gromadzenie tej energii w przygotowanych do tego celu akumulatorach energii elektrycznej i odzyskiwanie jej z akumulatorów gdy jest ona potrzebna.

Sprawność konwersji energii promieniowania słonecznego w powszechnie stosowanych fotoogniwach jest niska i wynosi około 15% przy mocy promieniowania wynoszącej 1000 W/m<sup>2</sup> i maleje wraz z obniżaniem się mocy promieniowania. Jeden metr kwadratowy powierzchni czynnej ogniwa może wyprodukować w ciągu roku około 130 kWh energii elektrycznej. Koszt energii elektrycznej za pomocą fotoogniw określa się na około 65eurocentów za kWh.

### **2.2. Elektrownie wiatrowe**

Drugim powszechnie dostępnym odnawialnym surowcem energetycznym jest energia kinetyczna wiatru. Podobnie jak w przypadku energii promieniowania Słońca dostęp do tej energii ma charakter stochastyczny i można charakteryzować go jedynie statystycznie. Lokalne zasoby energii kinetycznej wiatru charakteryzuje lokalna średnioroczna prędkość wiatru. Średnioroczna prędkość wiatru dla poszczególnych rejonów kraju jest bardzo zróżnicowana. Istnieją rejonu w których wynosi ona ok. 2 m/s i rejonu w których



wynosi ok. 8 m/s. Moc strumienia wiatru napływającego na turbinę wiatrową jest proporcjonalna do trzeciej potęgi prędkości wiatru i drugiej potęgi średnicy koła łopatkowego turbiny. Średnice kół łopatkowych turbin wiatrowych są bardzo zróżnicowane [3]. Mieszczą się w granicach od ok. 0,5 m do około 100 m. Opłacalność inwestycji w elektrownię wiatrową jest, co oczywiste, silnie uzależnione od lokalnych zasobów energii wiatru. Sprawność konwersji energii kinetycznej wiatru na energię elektryczną zależy od charakterystyki mocy elektrowni wiatrowej wynosi 30 -40 %. Dla warunków polskich można w przybliżeniu przyjąć że wykorzystanie zainstalowanej mocy elektrowni wiatrowej wynosi około 15% w skali roku i zależy od lokalizacji obiektu. Przyjmuje się orientacyjnie, że koszt energii elektrycznej produkowanej w elektrowniach wiatrowych wynosi około 8 eurocentów za kWh. Jeżeli chodzi o problem przesunięcia czasu zapotrzebowania na energię względem czasu, w którym możliwa jest jej produkcja rozwiązania są tu identyczne jak w przypadku fotoogiw.

### 2.3. Elektrownie wodne

Elektrownie wodne w głównej mierze wykorzystują energię strumieni wód płynących w rzekach. Do energetyki wodnej zalicza się również elektrownie wykorzystujące energię pływów morskich oraz energię falowania dużych zbiorników wodnych. W Polsce te ostatnie, związane z morzem, technologie nie są stosowane. Moc strumienia wody w rzece jest proporcjonalna do ilości płynącej wody [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] oraz do spadku wody [m]. Inaczej mówiąc jest proporcjonalna do iloczynu tych wielkości. W zależności od tego czy dysponujemy dużym spadkiem (rzeki górskie) czy dużą ilością płynącej wody (rzeki nizinne) dobierany jest typ turbiny wodnej. Przed przystąpieniem do inwestycji należy określić drogą pomiarów eksperymentalnych zasoby energetyczne wody w rzece z uwzględnieniem zmian sezonowych. W przypadku planowanego wykorzystania energii spadku wód nie jest to jednak wystarczające. Równie duże znaczenie ma tutaj określenie oddziaływania spiętrzenia wody na środowisko rzeki i środowisko otoczenia zbiornika wodnego, który musi powstać. Starania o budowę elektrowni wodnej są złożone i długotrwałe. Turbiny wodne produkowane są w bardzo szerokim zakresie mocy od kilkudziesięciu kW do kilkuset MW. Sprawność konwersji energii wody na energię elektryczną jest rzędu 80%. Koszt energii produkowanej za pomocą turbin wodnych określa się na około 6 eurocentów za kWh.

### 2.4. Energetyczne wykorzystanie odpadów komunalnych

Wykorzystanie w energetyce odpadów komunalnych nazywanych potocznie śmieciami na kilkudziesięcioletnią tradycję. Możliwego zastosowania są tutaj dwie podstawowe technologie:

- Produkcja gazu wysypiskowego, który może być paliwem do agregatów prądotwórczych,
- Spalanie odpadów w kotłach energetycznych, produkcja w tych kotłach pary wodnej kierowanej na turbiny parowe napędzające z kolei generatory energii elektrycznej

Gaz wysypiskowy powstaje w składowiskach odpadów komunalnych odizolowanych od atmosfery zazwyczaj warstwa ziemi. Tworzenie się gazu polega na beztlenowym rozkła-

dzie substancji organicznych. Jego rozkład zależy od składu odpadów, dokładniej od zawartości w nich części ograniczonych. Z energetycznego punktu widzenia najbardziej użytecznym składnikiem tego gazu jest metan. Zawartość metanu w gazie wysypiskowym może sięgać 70%. Gaz może być paliwem do silników spalinowych napędzających generatory energii elektrycznej.

Spalanie odpadów komunalnych na małą skalę, jest praktycznie niemożliwe. Spalarnia odpadów komunalnych to w około 25% zakład energetyczny złożony z kotła, turbiny i generatora energii elektrycznej. Natomiast w około 75% to zakład chemiczny zajmujący się neutralizacją produktów spalania. Nie buduje się spalarni dzielnicowych, osiedlowych tym bardziej przydomowych. Przyjmuje się, że budowa spalarni jest uzasadniona ekonomicznie gdy będzie spalać około 100 tys. ton odpadów w ciągu roku. Odpowiada to ilości odpadów powstających w mieście liczącym około 400 tys. mieszkańców. Istnieje jeszcze jeden warunek termicznego wykorzystania odpadów komunalnych. Jest nim wartość opałowa odpadów. Musi ona być większa niż 5800 kJ/kg.

### 2.5. Energetyczne wykorzystanie ciepła wód głębinowych

Prawie wszystkie elektrownie ciepłne łącznie z elektrowniami jądrowymi jako czynnik obiegowy wykorzystują wodę. Proces polega na zamianie wody w parę wodną w kotłach energetycznych. Energia zawarta w parze zamienia się na łopatkach turbiny na energię mechaniczną dając moment obrotowy na wale turbiny która poprzez sprzęgło napędza generator energii elektrycznej. Temperatura w komorach paleniskowych kotłów wynosi około 1000°C natomiast temperatura pary kierowanej na turbiny jest rzędu 600°C. Po przejściu przez turbinę para jest skraplana a następnie kierowana z powrotem do kotła. Moc aktualnie budowanych bloków energetycznych wynosi około 600 MW.

Temperatura wód głębinowych rzadko przekracza 100°C. realizacja obiegu mającego miejsce w elektrowniach ciepłnych pracujących w oparciu o wodę przy tak niskich temperaturach zasilania nie jest możliwa. Istnieje jednak możliwość zrealizowania analogicznego obiegu jak w ciepłnych elektrowniach wodnych przy pomocy tak zwanych cieczy niskowrzących, posiadających niską temperaturę wrzenia. Ciecze te mają właściwości fizyko-chemiczne podobne do tych cieczy, które są stosowane w obiegach chłodniczych. Należą do nich między innymi: amoniak, freon i izopentan. Fazy cyklicznej pracy tego typu elektrowni są analogiczne jak elektrowni wykorzystującej wodę. Elektrownie tego typu nie mają natomiast kotła rolę kotła pełni wymiennik przekazujący ciepło od wody głębinowej do czynnika obiegowego. Elektrownie tego typu mają niską sprawność rzędu 10% i osiągają moce rzędu kilku MW. Mogą być budowane jako osiedlowe. Ten kierunek energetyki rozwijany jest w krajach o dużych zasobach i łatwym dostępie do wód geotermalnych.

### 2.6. Ogniwa galwaniczne

Ogniwa galwaniczne jako źródło energii są zazwyczaj nazywane ogniwami paliwowymi albo energetyką wodorową. Wodór jest gazem palnym ale o niskiej wartości opałowej. Wartość opałowa wodoru wynosi około 242 MJ/kmol podczas gdy metanu wynosi około 802 MJ/kmol. Spalanie wodoru dla celów energetycznych nie ma więc sensu. Natomiast wielkie perspektywy ma wykorzystanie wodoru jako paliwa do ogniw paliwowych. Ogniwo paliwowe jest ogniwem galwanicznym produkującym równocześnie energię elek-

tryczną i ciepło. Źródłem energii w tych ogniwach jest elektrochemiczna reakcja spalania wodoru doprowadzanego do anody w tlenie doprowadzanym do katody. Aktualnie produkowane ogniwa paliwowe są ciągle na etapie prototypów ale technologia produkcji energii elektrycznej w oparciu o ogniwa paliwowe rozwija się bardzo dynamicznie. Znakomite perspektywy ogniów paliwowych jako źródła energii wynikają z dwóch faktów: produktem spalania jest w nich woda, paliwem wodór a utleniaczem tlen, które należą do najbardziej rozpowszechnionych w przyrodzie pierwiastków. Sprawność produkcji energii elektrycznej w ogniwach paliwowych wynosi aktualnie około 40%. [1]

### 2.7. Technologie wykorzystujące biomasę

Biomasa z energetycznego punktu widzenia stanowią wszystkie składniki organiczne wchodzące w skład roślin powstające w wyniku fotosyntezy. Szerzej rozumiane pojęcie biomasy obejmuje również materię organiczną wchodzącą w skład zwierząt. Najprostszym sposobem energetycznego wykorzystania biomasy jest jej spalanie w postaci rozdrobnionej i podsuszonej lub po przejściu przez proces zgazowania to znaczy zamianie jej na paliwo gazowe. W obydwóch przypadkach wyprodukowane ciepło może być zamienione na energię mechaniczną a następnie na elektryczną. Istnieją jednak inne jeszcze technologie energetycznego wykorzystania biomasy. Należy tu wymienić produkowane w celach spalania: biogaz, etanol, olej z roślin oleistych. Omówimy je pokrótce [2].

Biogaz podobnie jak gaz wysypiskowy jest produktem beztlenowego rozkładu substancji organicznych głównie na metan i dwutlenek węgla. Biogaz może być wykorzystywany jako paliwo w tym do silników spalinowych napędzających generatory energii elektrycznej. Przyjmuje się, że ekonomiczne uzasadnienie posiada budowa i eksploatacja biogazowni osiągającej moc 1MW. Nie można zapominać, że jej eksploatacja związana jest z dostarczeniem pokaźnych ilości biomasy. 1 kg substancji organicznej pozwala wyprodukować około 0,4 m<sup>3</sup> biogazu.

Etanol jest alkoholem. Palna cieczą o wartości opałowej wynoszącej około 26,8 MJ/kg. Dla porównania wartość opałowa benzyny wynosi około 44,5 MJ/kg. Etanol jest produkowany w procesie fermentacji alkoholowej skrobi lub cukru zawartych w burakach cukrowych, ziemniakach, ziarnach niektórych zbóż, kukurydzy, ryżu i trzcinie cukrowej. Gotowy produkt dostajemy poddając produkty fermentacji destylacji. Wartość opałowa etanolu jest zbyt mała by mógł być samodzielnym paliwem standardowych silników spalinowych. Może być natomiast wartościowym kilkuprocentowym dodatkiem ( biokomponentem ) do innych paliw o wyższej wartości opałowej np. benzyny. Istnieją również paliwa zawierające do 85% etanolu. Wymagają one specjalnie do nich przystosowanych silników spalinowych.

Olej roślin oleistych jest możliwy do pozyskania z wielu roślin. Wśród najważniejszych należy wymienić: rzepak, len, soję, mak, słonecznik i gorczycę. Jako paliwo do silników spalinowych tłokowych wykorzystywany jest wyłącznie olej rzepakowy a ściślej mówiąc otrzymywane na bazie tego oleju estry kwasów tłuszczowych. Plantacje rzepaku dają około 3000kg nasion oleistych z hektara w ciągu roku. Można z tego wycisnąć około 1100kg oleju. Wartość opałowa paliwa rzepakowego jest około 10% niższa niż oleju napędowego wytwarzanego na bazie ropy naftowej. Wykorzystanie paliwa rzepakowego jako paliwa silnikowego wymaga dodatkowych zabiegów i ma istotne

ograniczenia. Wymaga dodatków stabilizujących lepkość, zapewniających stabilność chemiczną i stabilność biologiczną. Nie może być stosowany w temperaturze poniżej 10°C z powodu znacznego wzrostu gęstości.

Wszystkie wymienione paliwa: biogaz, etanol, olej rzepakowy, mogą być stosowane do napędu silników spalinowych o zróżnicowanej mocy i mogą współpracować z generatorami energii elektrycznej.

### 3. PODSUMOWANIE

Istnieje wiele technologii produkcji energii elektrycznej w oparciu o odnawialne źródła energii. Wszystkie technologie energetyczne oparte na odnawialnych źródłach energii mają dwie ważne zalety. Nie zmniejszają zasobów kopalnych surowców energetycznych. Nie powodują wzrostu stężenia dwutlenku węgla w atmosferze. Nie wszystkie technologie produkcji energii elektrycznej oparte na odnawialnych źródłach energii mają w tej chwili uzasadnienie ekonomiczne ale wszystkie stanowią poważną alternatywę dla technologii opartych na kopalnych surowcach energetycznych. Spośród przedstawionych technologii energetycznych jedynie spalanie odpadów komunalnych nie może znaleźć zastosowania jako źródło energii w budownictwie rozproszonym.

### 4. LITERATURA:

- [1] Chmielniak T.: Technologie energetyczne . PWN. Warszawa 2009
- [2] Guła A. : Energia z biomasy. Poradnik. Wydawnictwo Tarbonus. Kraków –Tarnobrzeg 2008
- [3] Lewandowski W.M.: Proekologiczne źródła energii odnawialnej. WNT. Warszawa 2001
- [4] Lipiński M.: Pozyskiwanie energii elektrycznej ze Słońca. Wyd. IGSMiE-PAN. Kraków 1998

## ENERGY TECHNOLOGIES BASED ON THE RENEWABLE ENERGY SOURCES AND THEIR POSSIBLE USE IN BUILDING DISTRIBUTED

### SUMMARY

The functioning of modern buildings, their intended purpose, it is not possible without supplying them with electricity. Currently, most energy technologies based on the use of renewable energy sources. There are several electricity generation technologies based on renewable sources of energy. In this work, considered as an energy source: solar, wind kinetic energy, the energy of falling water, groundwater heat, municipal waste, bio-fuels produced from biomass (biogas, ethanol, diesel fuel) and hydrogen-powered fuel cells harvested from the decomposition of water. Discusses the advantages and disadvantages, possibilities and limitations of energy technologies based on renewable energy sources from the standpoint of building applications.

**Jerzy GWIZDAŁA, prof. nadzw., dr hab.**

Uniwersytet Gdański  
Katedra Bankowości  
ul. Armii Krajowej 101, 80-824 Sopot  
e-mail: jgwizdala1@wp.pl

## **BANKI KOMERCYJNE W FINANSOWANIU INWESTYCJI W OCHRONĘ ATMOSFERY**

### **STRESZCZENIE**

System finansowania inwestycji ekologicznych w Polsce jest systemem zintegrowanym. Charakteryzuje się on trwałymi i prawnie gwarantowanymi źródłami finansowania ochrony środowiska i jest podporządkowany priorytetom polityki ekologicznej państwa. Znaczącymi uczestnikami rynku finansowania inwestycji ekologicznych w Polsce są banki komercyjne udzielające kredytów (w tym preferencyjnych), pożyczek i przygotowujących emisje obligacji. Bankiem specjalizującym się w finansowaniu inwestycji z zakresu ochrony atmosfery jest Bank Ochrony Środowiska S.A. w Warszawie. Najczęściej finansowane są przez Bank przedsięwzięcia inwestycyjne w odnawialne źródła energii.

### **1. WPROWADZENIE**

Pogarszający się stan środowiska spowodował, że wzrósł poziom świadomości społecznej w zakresie jego ochrony. Społeczeństwa poszczególnych państw zaczynają zauważać, że konieczne stało się ochranianie zasobów naturalnych oraz kontrola oddziaływania gospodarki na środowisko. Ograniczenia, wynikające ze skończoności zasobów naturalnych, mogą spowodować zahamowanie rozwoju gospodarczego na świecie. Dlatego coraz większą wagę przywiązuje się do racjonalnego gospodarowania zasobami środowiska naturalnego oraz jego ochrony. Można to osiągnąć dzięki uregulowaniom prawnym, zarówno międzynarodowym jak i krajowym obowiązującym na terenie Polski.

Celem opracowania jest przedstawienie problematyki dotyczącej inwestycji ekologicznych realizowanych w Polsce w obszarze ochrony atmosfery, w latach 2005 - 2010 oraz bankowych źródeł ich finansowania.

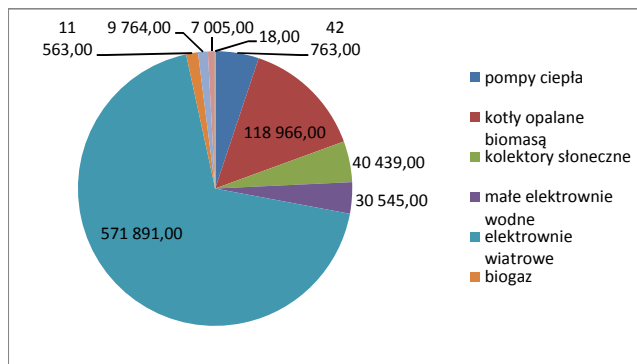
Polityka ekologiczna w Polsce została przyjęta przed przystąpieniem do Unii Europejskiej i uchwaleniem VI Programu Działań Wspólnoty Europejskiej w dziedzinie ochrony środowiska. Z tego powodu wraz z przystąpieniem do Unii Polska musiała zharmonizować politykę ekologiczną z polityką Unii. W tym celu opracowano „Politykę Eko-

logiczną Państwa na lata 2003-2006 z uwzględnieniem perspektywy na lata 2007-2010”, która nie była nową polityką, a jedynie aktualizacją obowiązującej Polityki Ekologicznej Państwa, uwzględniającą kierunki działań wynikające z VI Programu Działań. Zalicza się do nich przeciwdziałanie zmianom klimatycznym, ochronę przyrody i bioróżnorodności, poprawę jakości życia i dobrobytu społecznego oraz zrównoważone wykorzystanie zasobów naturalnych oraz gospodarkę odpadami.

System finansowania inwestycji ekologicznych w Polsce jest systemem zintegrowanym. Oznacza to, że charakteryzuje się on trwałymi - prawnie zagwarantowanymi źródłami środków pieniężnych na finansowanie ochrony środowiska, dominującym udziałem środków pozabudżetowych, stosunkowo efektywnym korzystaniem ze środków finansowych oraz podporządkowaniem pomocy finansowej priorytetom polityki ekologicznej. Finansowanie przedsięwzięć ochronnych obejmuje zarówno finansowanie wydatków bieżących jak i finansowanie inwestycji ekologicznych. Do źródeł finansowania zalicza się:<sup>1</sup> środki własne przedsiębiorstw, kredyty, pożyczki i emisje obligacji, fundusze ekologiczne, dotacje budżetowe, środki fundacji i środki własne ludności.

## 2. INWESTYCJE W OCHRONĘ ATMOSFERY REALIZOWANE PRZEZ BOŚ S.A. W WARSZAWIE

Bank Ochrony Środowiska specjalizuje się w finansowaniu inwestycji z zakresu ochrony środowiska. Uczestniczy w finansowaniu przedsięwzięć w ochronę środowiska angażując przy tym środki własne oraz środki otrzymane od funduszy ekologicznych. Od rozpoczęcia swojej działalności BOŚ przekazał środki w wysokości ponad 9,4 mld zł na ponad 32 tys. inwestycji. Największą częścią podejmowanych działań były przedsięwzięcia mające na celu ochronę atmosfery, w tym szczególnie finansowanie odnawialnych źródeł energii.



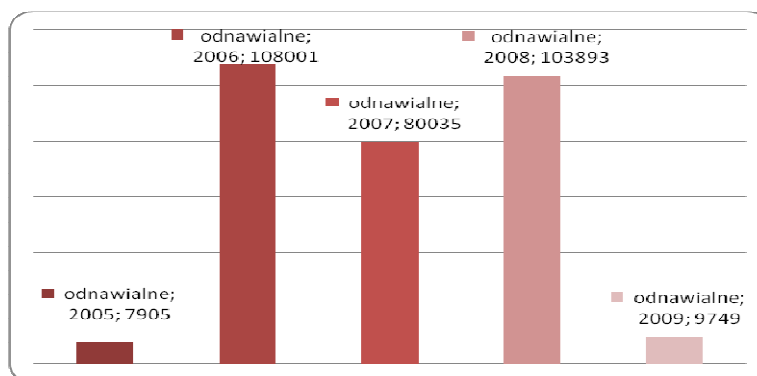
Rys. 1. Kredyty udzielone przez BOŚ S.A. na inwestycje związane z odnawialnymi źródłami energii w latach 1991-2009 (w tys. zł)

Fig. 1. Credits granted by BOŚ S.A. on renewable energy sources investments 1991-2004 [in thousands of zł]

<sup>1</sup> J. Ciechanowicz, J. Gwizdała, *Zagadnienia prawne finansowania ekorozwoju*, Wydawnictwo UG, Gdańsk 1996, s. 69

Na inwestycje z zakresu odnawialnych źródeł energii przeznaczono w latach 1991-2009 ponad 800 mln zł. Najwięcej z tych środków zostało przyznanych na finansowanie elektrowni wiatrowych, stanowiło to ponad 68% środków dostępnych w tym okresie. Na drugim miejscu znalazły się kotły opalane biomasą, na które przeznaczono ponad 14% środków, co wyniosło niecałe 119 mln zł. Kolejnym celem inwestycyjnym stało się finansowanie pomp ciepła, co pochłonęło około 5% środków i kolektorów słonecznych, na które przekazano około 5% środków. Pozostałe inwestycje z zakresu odnawialnych źródeł energii zostały sfinansowane około 1% środków przeznaczonych na tego typu inwestycje w latach 1991 – 2009.

W wyniku inwestycji wspieranych przez Bank Ochrony Środowiska udało się osiągnąć pewne znaczące efekty dla środowiska. W latach 2005-2009 uzyskano wzrost o 309 583 MWh oszczędności energii wyprodukowanej w tradycyjny sposób. Ta ilość została wytworzona przy zastosowaniu ekologicznych źródeł energii takich jak na przykład kolektory słoneczne lub elektrownie wiatrowe.<sup>2</sup>



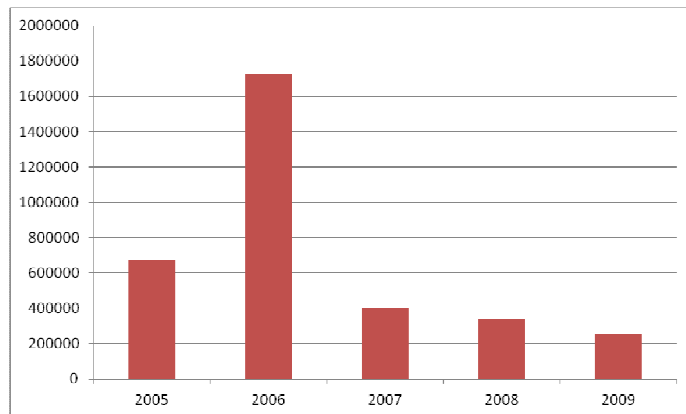
Rys. 2. Wzrost ilości energii wyprodukowanej przez odnawialne źródła energii [w MWh/rok] w wyniku zakończonych inwestycji

Fig. 2. Increase of energy produced by renewable energy sources [in MWh/year] as the result of finalized investments

Największy wzrost ilości energii wyprodukowanej przez odnawialne źródła energii był w 2006 roku i wyniósł 108 001 MWh/rok, co mogłoby zaopatrzyć w energię 54 000 gospodarstw domowych. Wysokie wzrosty wyprodukowanej w ten sposób energii były również w 2007 oraz 2008 roku. Łączna ilość energii wyprodukowanej przez odnawialne źródła energii w latach 2005 – 2009 pozwoliłaby na roczne zaopatrzenie w energię 155 000 gospodarstw domowych.

Również dzięki tym inwestycjom udało się ograniczyć zużycie energii cieplnej. Szczególnie znaczenie miały tutaj inwestycje zwiększające efektywność energetyczną budynków poprzez termomodernizację.

<sup>2</sup> Hryniewicz N., *Energia – wyzwanie XXI wieku*, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków 2002, s. 79



Rys. 3. Oszczędność energii cieplnej w latach 2005-2009 [w GJ/rok]

Fig. 3. Heat energy savings 2005-2009 [GJ/year]

W ciągu analizowanych 5 lat udało się zwiększyć zaoszczędzenie energii cieplnej łącznie o 3 392 749 GJ. Jest to porównywalna wielkość jaką zużyłoby na energię ciepłą 8,5 tys. domów jednorodzinnych w ciągu roku. Największy udział oszczędności przypadł na rok 2006. Wtedy udało się powiększyć oszczędność energii cieplnej o 1 728 634 GJ. W latach 2007 – 2009 udało się, średnio, zwiększyć oszczędność energii o 330 000 GJ/rok.

Inwestycje w odnawialne źródła energii wpłynęły pozytywnie na przestrzeni analizowanych lat na stan atmosfery. Dzięki zwiększeniu efektywności energetycznej udało się zmniejszyć rzeczywiste zapotrzebowanie na energię ciepłą dla budynków, dzięki czemu zmniejszyła się emisja gazów, wytwarzanych przy jej produkcji, wpływających na efekt cieplarniany. Oprócz tego przez zastosowanie ekologicznych źródeł energii udało się uzyskać pewien zasób energii, którego produkcja miała znikomy, lub żaden, negatywny wpływ na stan atmosfery i środowiska naturalnego.<sup>3</sup>

Trudna sytuacja na rynku, w wyniku kryzysu gospodarczego, oraz pogarszająca się sytuacja finansowa przedsiębiorstw doprowadziły do zmniejszenia zainteresowania inwestowaniem długoterminowym. Inwestycje ekologiczne, finansowane z kredytów bankowych, przeżyły szczególny kryzys. Przedsiębiorstwa zainteresowane były bardziej pozyskiwaniem środków, z kredytów krótkoterminowych, na finansowanie bieżącej działalności oraz restrukturyzację długu niż środków na inwestycje z których zysk można osiągnąć dopiero po długim okresie czasu (np. w przypadku inwestycji w termomodernizację zwrot poniesionych nakładów na ocieplenie ścian budynku nastąpi dopiero za około 10 lat). Oprócz tego banki przyjęły strategię ostrożnego kredytowania, by zapobiec sytuacjom,

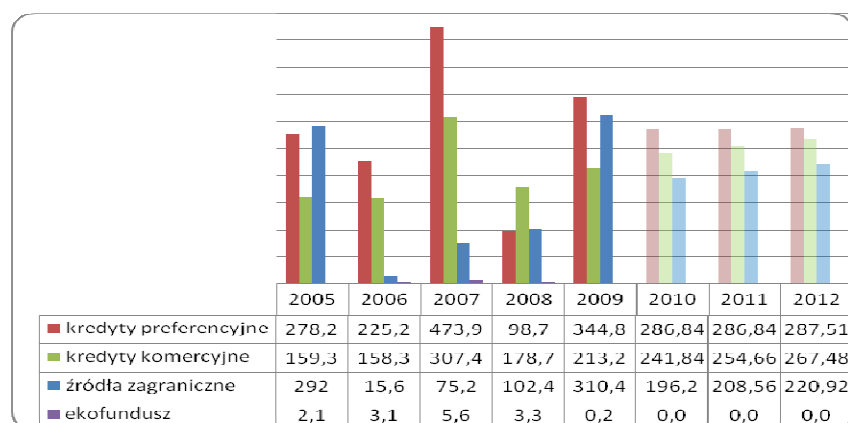
<sup>3</sup>Folmer H., Gabel L., Opschoor H., *Ekonomia środowiska i zasobów naturalnych*, Wydawnictwo Krupski i S-ka, Warszawa 1996, s. 297



kiedy kredyt zostałby udzielony podmiotom z niewystarczająco stabilną sytuacją finansową.<sup>4</sup>

Na finansowanie inwestycji w odnawialne źródła energii podmioty uzyskują środki z kredytów preferencyjnych, komercyjnych, ze źródeł zagranicznych oraz, do końca 2009 roku, z Ekofunduszu.<sup>5</sup>

W roku 2005 najwięcej środków na inwestycje w odnawialne źródła energii zostało przeznaczonych ze źródeł zagranicznych. Ich wartość wyniosła 292 mln zł. Na kolejnym miejscu znalazły się kredyty preferencyjne z których przeznaczono niewiele mniej, bo 278 mln zł oraz kredyty komercyjne, których wartość wyniosła około 160 mln zł. Rola Ekofunduszu w finansowaniu była znikoma, a środki przeznaczone z niego na inwestycje w odnawialne źródła energii wyniosły zaledwie 2 mln zł.



Rys. 4. Środki przeznaczone na inwestycje w odnawialne źródła energii w latach 2005-2012 [w mln zł]

Fig. 4. Resources earmarked for investments in renewable energy sources 2005-2012 [mln zł]

W latach 2005-2007 łącznie najwięcej środków na inwestycje w odnawialne źródła energii zostało przeznaczonych z kredytów preferencyjnych (977,3 mln zł). Na kolejnym miejscu znalazły się środki z kredytów komercyjnych (łącznie ich wartość w rozpatrywanym okresie wyniosła 625 mln zł) oraz źródła zagraniczne, z których uzyskano łącznie 382,8 mln zł, z czego ponad 76% (292 mln zł) uzyskano w 2005 roku. W analizowanych

<sup>4</sup>Por. Dziawgo L., *Eco-offers of banks and investment funds*, Wydawnictwo UMK, Toruń 2003, s. 65

<sup>5</sup> Por. Ciechanowicz W., *Energia, środowisko i ekonomia*, Wydawnictwo PAN, Warszawa 1997, s. 147

trzech latach wartość środków przeznaczanych z Ekofonuduszu rokrocznie wzrastała i wyniosła łącznie 10,8 mln zł.<sup>6</sup>

Rok 2008 był szczególny z powodu kryzysu gospodarczego, który wystąpił w tym czasie. W jego wyniku zmniejszyła się skłonność do inwestycji, ale również skłonność banków i innych instytucji finansowych do udzielania kredytów i pożyczek. Dlatego wartość środków udzielonych z większości źródeł uległa zmniejszeniu. Największy udział tym razem w finansowaniu inwestycji w odnawialne źródła energii miały kredyty komercyjne. Ich wartość jednak zmalała, w stosunku do poprzedniego roku, o 42% i wyniosła 179 mln zł. Na drugim miejscu znalazły się środki ze źródeł zagranicznych w wysokości 102 mln zł. Jako jedyne, w 2008 roku, uzyskały wzrost wartości w stosunku do 2007 roku o 36%. Środki z Ekofunduszu również uległy zmniejszeniu o 41% do poziomu 3 mln zł.

W 2009 roku głównym źródłem finansowania inwestycji były kredyty preferencyjne. Ich wartość wzrosła 2,5-krotnie w stosunku do 2008 roku i wyniosła 345 mln zł. Wartość środków uzyskanych ze źródeł zagranicznych również wzrosła dwukrotnie i wyniosła 310 mln zł. Na kolejnym miejscu znalazły się kredyty komercyjne i ich wartość wyniosła 213 mln zł, co było o 19% większe niż w roku poprzednim. Rok 2009 był ostatnim rokiem działania Ekofunduszu, dlatego środki z niego przeznaczone na finansowanie inwestycji uległy znacznemu zmniejszeniu (o 94%) do wysokości 0,2 mln zł.

Na podstawie posiadanych danych z okresu 2005 – 2009 można określić trend zmian wartości poszczególnych źródeł. Na tej podstawie określone zostały prognozy na lata 2010 – 2012.

Według przeprowadzonych analiz można stwierdzić, że wielkość środków udzielonych w formie kredytu preferencyjnego będzie wzrastała, średnio o 0,2% rocznie. Założono, że w 2010 środki te będą na poziomie 286 mln zł, i będą co roku wzrastały o 0,7 mln.

Wielkość kredytów komercyjnych również będzie ulegała zwiększeniu, o 5 % rocznie. Według przeprowadzonej analizy w roku 2010 wyniosły one 242 mln zł i będą wzrastały co roku średnio o 13 mln zł.

Wartość środków ze źródeł zagranicznych zależy głównie od aktualnie aktywnych programów. Jednak przyjmując metody analizy jak w przypadku kredytów preferencyjnych oraz komercyjnych można określić środki ze źródeł zagranicznych na poziomie 196 mln zł w roku 2010. W kolejnych latach będą one wzrastały średnio o 12 mln zł rocznie, co stanowi około 6%.

Powyższa analiza jest jednak zakłócona przez kryzys z 2008 roku. Patrząc na wartości z 2009 roku można stwierdzić, że powróciły one do trendu sprzed kryzysu.

Kryzys z 2008 roku znacząco wpłynął na chęci oraz możliwości inwestycyjne podmiotów w Polsce. Wpłynął on także na zmniejszenie się dostępności środków na inwestycje oraz pogorszył zdolność kredytową podmiotów w oczach banków. Jednak już w 2009 roku zainteresowanie inwestycjami proekologicznymi wzrosło, co oznacza, że kondycja finansowa podmiotów również uległa poprawie. Na tej podstawie prognozuje się, że w kolejnych latach tendencja wzrostowa będzie nadal występowała. W związku z wciąż

---

<sup>6</sup> Kwasiborski M., Więcka A., *Rynek energetyki słonecznej i ciepłej w Polsce*, Instytut Energetyki Odnawialnej, Warszawa 2009, s. 209

wzrastającym zainteresowaniem inwestycjami w ochronę środowiska, a także ciągłym rozwojem technologii, w kolejnych latach wielkość środków przeznaczonych na inwestycje w ochronę środowiska będzie wzrastać w szybszym tempie niż miało to miejsce przed kryzysem w 2008 roku.

### 3. PODSUMOWANIE

Postępująca degradacja środowiska skutkuje wzrostem świadomości społecznej w kwestii konieczności ochrony zasobów naturalnych oraz sukcesywnym zwiększaniem wymagań dotyczących przedsięwzięć mogących pozytywnie oddziaływać na środowisko. Dlatego bardzo ważna jest prawidłowo przeprowadzona procedura oceny oddziaływania na środowisko inwestycji z sektora publicznego i prywatnego.<sup>7</sup> Stanowi to warunek otrzymania dofinansowań z krajowych, regionalnych oraz zagranicznych źródeł. Różnorodność i niespójność przepisów prawnych ochrony środowiska stanowi dla potencjalnego inwestora realne utrudnienie w prawidłowym przygotowaniu inwestycji.

Pomocne w finansowaniu inwestycji w ochronę atmosfery są liczne fundusze, instytucje oraz programy, które oferują dofinansowanie lub kredyty na preferencyjnych warunkach. Głównym źródłem finansowania inwestycji, w 2009 roku, były środki własne (ponad 46%), następnie były środki z zagranicy oraz środki z funduszy ekologicznych (około 18% każde). Struktura takiego finansowania utrzymuje się od dłuższego czasu stąd można wnioskować, że w kolejnych latach środki własne nadal będą stanowiły główne źródło finansowania inwestycji proekologicznych. Wśród funduszy ekologicznych największą rolę w inwestycjach w ochronę środowiska przeznaczył w 2009 roku NFOŚiGW, który współpracuje w tej dziedzinie z Bankiem Ochrony Środowiska, który oferuje kredyty preferencyjne. Pozostałe banki komercyjne, ze względu na brak możliwości udzielania kredytów preferencyjnych, podejmują współpracę z instytucjami zagranicznymi, dzięki czemu mogą udzielać korzystnych kredytów na cele ekologiczne. Dzięki temu utworzono Fundusz Termomodernizacji i Remontów, w ramach którego od 1999 do 2010 roku wypłacono 13742 premii na inwestycje.

Dużą pomocą w finansowaniu są również Programy Operacyjne wynikające z członkostwa Polski w Unii Europejskiej. W ramach tych programów udało się już osiągnąć wiele sukcesów na polu poprawy konkurencyjności i innowacyjności polskich przedsiębiorstw, a także pozytywnego wpływu na środowisko. W związku z tym, że programy te nadal działają, można wnioskować, że korzyści z nich wynikające w kolejnych latach będą nadal wzrastały.

W 2008 roku wartość środków przeznaczonych na inwestycje w ochronę atmosfery z kredytów komercyjnych oraz preferencyjnych spadła o prawie połowę w stosunku do 2007 roku. Jednak był to jedynie chwilowy kryzys. Jak pokazują dane za 2009 rok wartość środków z kredytów komercyjnych oraz preferencyjnych wzrosła odpowiednio o 20% i 200%. Można na tej podstawie stwierdzić, że sytuacja przedsiębiorstw uległa poprawie i powróciło ich zainteresowanie inwestycjami długoterminowymi. Prognozować również

---

<sup>7</sup> Pluta Z., *Słoneczne instalacje energetyczne*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2007, s. 43

można, że po kryzysie z 2008 roku, finansowanie inwestycji w ochronę atmosfery powróci do trendu sprzed kryzysu i suma środków przeznaczonych na ten cel będzie sukcesywnie wzrastać.

#### 4. LITERATURA

- [1] Ciechanowicz J., Gwizdała J., *Zagadnienia prawne finansowania ekorozwoju*, Wydawnictwo UG, Gdańsk 1996
- [2] Ciechanowicz W., *Energia, środowisko i ekonomia*, Wydawnictwo PAN, Warszawa 1997
- [3] Dziawgo L., *Eco-offers of banks and investment funds*, Wydawnictwo UMK, Toruń 2003
- [4] Folmer H., Gabel L., Opschoor H., *Ekonomia środowiska i zasobów naturalnych*, Wydawnictwo Krupski i S-ka, Warszawa 1996
- [5] Hryniewicz N., *Energia – wyzwanie XXI wieku*, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków 2002
- [6] Kwasiborski M., Więcka A., *Rynek energetyki słonecznej i ciepłej w Polsce*, Instytut Energetyki Odnawialnej, Warszawa 2009
- [7] *Ochrona przyrody*, GUS, Warszawa, 2006-2010
- [8] Pluta Z., *Słoneczne instalacje energetyczne*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2007
- [9] *Raport ekologiczny 2010*, Bank Ochrony Środowiska, 2011

### COMMERCIAL BANKS IN FINANCING ATMOSPHERE PROTECTION INVESTMENTS

#### SUMMARY

In Poland the ecological investments financing system is an integrated one. It has permanent and legally guaranteed financial sources of environment protection and is subordinate to priorities of state's ecological policy. Polish commercial banks, that grant credits (incl. preferential), loans and prepare bond issue, are the significant participants in the market of ecological investment financing. The bank which specializes in financing investments in the field of atmosphere protection is the Environment Protection Bank JSC (Bank Ochrony Środowiska S.A.) in Warsaw. Renewable energy sources belong to the most commonly financed investments by the Bank.

**Marek HAJTO, mgr inż.**

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza  
Wydział Geologii Geofizyki i Ochrony Środowiska  
Katedra Surowców Energetycznych  
al. A. Mickiewicza 30,  
30-059 Kraków  
e-mail: mhajto@agh.edu.pl

## **ZASOBY ORAZ MOŻLIWOŚCI ZAGOSPODAROWANIA WÓD GEOTERMALNYCH W KARPATACH ZACHODNICH - OD CIESZYNA PO GORLICE**

### **STRESZCZENIE**

Artykuł prezentuje wyniki badań przeprowadzonych w ramach projektu pt. "Atlas zasobów wód i energii geotermalnej Karpat Zachodnich", zrealizowanego przez AGH na zlecenie Ministerstwa Środowiska w latach 2009-2011. W artykule przedstawiono kierunki i możliwości optymalnego zagospodarowania wód geotermalnych zakumulowanych w utworach formacji fliszowej oraz w skałach podłoża fliszu karpackiego w rejonie polskich Karpat Zachodnich. Przedstawiono także wyniki oszacowania zasobów energii geotermalnej zakumulowanej w skałach i wodach geotermalnych oraz wskazano lokalizację perspektywicznych stref dla wykorzystania wód geotermalnych do celów ciepłowniczych i/lub balneoterapeutycznych. Obszar obliczeń zasobów wynosił ok. 10 300 km<sup>2</sup>, co stanowi niespełna 3,3% powierzchni kraju, w tym obszar zewnętrznych Karpat o powierzchni ok. 9 400 km<sup>2</sup>. Obliczenia przeprowadzono z uwzględnieniem przyjętej klasyfikacji zasobów energii geotermalnej, zgodnie z diagramem McKelvey'a. Podano wielkości szacunkowe energii zakumulowanych w poszczególnych zbiornikach geotermalnych, a wyniki obliczeń odniesiono do wielkości zasobów energii geotermalnej zakumulowanej na Niżu Polskim. Zastosowanie metodyki wskaźnikowej oceny efektywności ekonomicznej pozyskania ciepła (współczynnik mocy) pozwoliły na dokonanie wstępnej oceny opłacalności wykorzystania energii geotermalnej w skali regionalnej i wskazanie obszarów perspektywicznych w obrębie poszczególnych zbiorników.

### **1. WPROWADZENIE**

Omawiany obszar badań obejmuje części województw małopolskiego, śląskiego i podkarpackiego. Obecnie kompleksowe wykorzystanie wód geotermalnych w rejonie

Karpat Zachodnich ogranicza się zasadniczo do obszaru niecki podhalańskiej. W 1981 r. nawiercono otwór badawczy Bańska IG-1, który potwierdził istnienie na tym obszarze wód geotermalnych o korzystnych parametrach złożowych. Wody te wykorzystuje się zarówno do celów ciepłowniczych, jak i rekreacyjnych i balneoterapeutycznych.

W rejonie zewnętrznych Karpat fliszowych wykorzystanie wód geotermalnych jest znacznie mniejsze i ma zasadniczo odmienny charakter. Dominującym kierunkiem wykorzystania wód głębinnych w tym rejonie Karpat jest balneoterapia oraz wodolecznictwo. Od wieków znane są właściwości lecznicze wód typu szczaw, kwasowęglowych oraz siarczkowych o unikatowym składzie chemicznym i jonowym, które występują m.in. w rejonie Krynicy-Zdroju, Muszyny, Piwnicznej-Zdroju, Szczawnicy. W celach balneoterapeutycznych, w rejonie zewnętrznych Karpat Zachodnich, solanki geotermalne wykorzystywane są jedynie w Ustroniu oraz Rabce-Zdroju [16], [17].

Wykorzystanie wód geotermalnych fliszu karpackiego oraz wodonośnych utworów podłoża fliszu do celów ciepłowniczych ma charakter marginalny. Polega ono na wykorzystaniu „ciepła odpadowego” ujęcia wody geotermalnej w Ustroniu, gdzie całkowitą zainstalowaną moc cieplną oszacowano zaledwie na 0,06 MWt [1]. Analiza danych geologicznych i hydrogeologicznych skał budujących profil geologiczny zewnętrznych Karpat wskazuje na odmienny charakter występowania wód głębinnych w porównaniu z obszarem Niżu Polskiego lub niecką podhalańską. Wody geotermalne na obszarze Karpat zewnętrznych są rozpoznane punktowo, a skomplikowana płaszczowinowo-nasuwcza budowa geologiczna warunkuje występowanie wód w ograniczonych niewielkim zasięgiem, zamkniętych strukturach, zwykle bez zasilania wodami powierzchniowymi.

W rejonie zewnętrznych polskich Karpat Zachodnich stwierdzono występowanie wód o podwyższonych temperaturach zarówno w utworach fliszowych, jak i w utworach miocenu oraz utworach paleozoicznych i mezozoicznych występujących w podłożu nasunięcia Karpat. W utworach fliszowych udokumentowano występowanie wód geotermalnych o zróżnicowanych temperaturach na wypływie w rejonie miejscowości: Sól, Rabka-Zdrój, Poręba Wielka oraz Skomielna Biała. W podłożu Karpat stwierdzono występowanie wód geotermalnych charakteryzujących się temperaturami na wypływie od 23 do 32°C. Wody te nawiercono w rejonie Ustronia, Jaworza oraz Suchej Beskidzkiej (wraz z otworem Potrójna IG-1) [3], [4].

Najkorzystniejsze parametry występują w rejonie Poręby Wielkiej, gdzie z pojedynczego ujęcia uzyskano przepływ 12,1 m<sup>3</sup>/h wody o mineralizacji 21,8 g/dm<sup>3</sup>. Jak wspomniano wcześniej, wody geotermalne dotychczas zagospodarowano jedynie w Rabce-Zdroju oraz w Ustroniu.

## **2. WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE GŁĘBOKIEGO FLISZU KARPAT ZEWNĘTRZNYCH**

Analiza dostępnego materiału faktograficznego wskazuje, że dotychczasowe rozpoznanie podstawowych parametrów hydrogeologicznych utworów fliszowych ograniczało się do przypowierzchniowych stref występowania wód zwykłych, tj. do głębokości 80-100 m. Głębiej zalegające utwory fliszowe, w których stwierdzono występowanie wód geotermalnych, rozpoznano punktowo w niewielu lokalizacjach, co nie dostarcza w pełni obiektywnych informacji odnośnie warunków występowania potencjalnych warstw wodonośnych w całym obszarze Karpat zewnętrznych. Reinterpretacja danych sejsmicznych,

profilowań geofizyki otworowej oraz analiza i interpretacja wyników badań laboratoryjnych, wykonana przy pomocy zintegrowanego systemu interpretacji danych geologicznych (ZMap Plus oraz Petrel), pozwoliła na skonstruowanie spójnego, przestrzennego modelu budowy geologicznej oraz modelu strukturalno-parametrycznego, opisującego zmienność podstawowych parametrów petrofizyczno-pojemnościowych (porowatości, przepuszczalności, zailenia profilu itp.).

Wyniki badań laboratoryjnych dotyczących parametrów petrofizycznych wskazują na znaczną zmienność pionową i poziomą zarówno przepuszczalności jak i porowatości utworów fliszowych. Przepuszczalności skał są zróżnicowane od praktycznie nieprzepuszczalnych, do słabo przepuszczalnych (od 0,002 do 875,8 mD - średnia 42,1 mD), przy czym obserwuje się spadek przepuszczalności skał wraz z głębokością. W zakresie rzędnych od +500 do -2000 m n.p.m. średnie wartości przepuszczalności zmieniają się odpowiednio od około 32 mD do około 1 mD, co według podziału Pazdry i Kozerskiego [13] kwalifikuje badane utwory do półprzepuszczalnych.

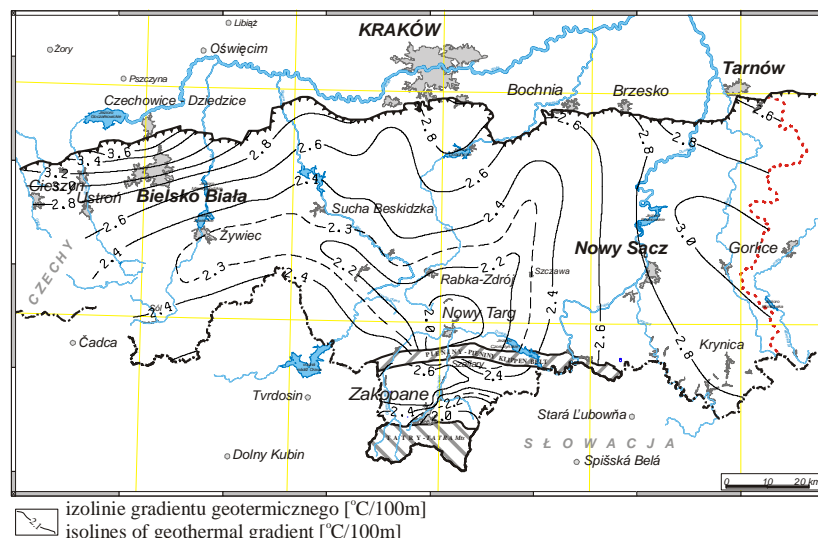
Spośród przeanalizowanych potencjalnych skał podłoża fliszu najlepszymi parametrami hydrogeologicznymi charakteryzują się osady cenomanu, ze średnią wartością porowatości efektywnej wynoszącą 14,5% i przepuszczalnością 320,4 mD, przy czym wartości maksymalne sięgają odpowiednio 30% i 9470 mD. W przypadku pozostałych wydzieleni stratygraficznych wartości średnie nie przekraczają 10% dla porowatości oraz 20 mD dla przepuszczalności. Maksymalne przepuszczalności mogą dochodzić do prawie 9500 mD. Również wysokie wartości przepuszczalności występują w obrębie innych wydzieleni stratygraficznych, tj. miocenu (do 3500 mD), jury górnej (do 4800 mD) czy karbonu klastycznego (do 3600 mD). Skały te można by więc lokalnie zaliczyć do utworów średnio przepuszczalnych. Część oznaczeń przepuszczalności klasyfikuje te utwory jako nieprzepuszczalne [19].

### 3. WARUNKI TERMICZNE W REJONIE KARPAT ZACHODNICH

Na podstawie analizy danych pochodzących z 33 otworów dokonano analizy rozkładu podstawowych parametrów termicznych, w tym: strumienia ciepłego, gradientu geotermicznego oraz rozkładu temperatur wgłębnych. Wartości średnich gradientów geotermicznych mieszczą się w granicach od ok. 1,9-1,97°C/100 m, odpowiednio w otworach Zakopane IG-1 oraz Nowy Targ IG-1, do 3,61°C/100 m, w otworze Rudzica IG-1 zlokalizowanym w rejonie GZW, przy granicy frontu nasunięcia Karpat. Średnią wartość gradientów geotermicznych w Karpatach Zachodnich oszacowano na 2,58°C/100 m [9].

Na powyższym tle wartości średnich można zlokalizować wyraźne ujemne anomalie wartości gradientów geotermicznych w szerokim pasie obejmującym centralną i południowo-zachodnią część polskich Karpat Zachodnich. Najniższe wartości gradientów w tym rejonie występują na linii Istebna-Żywiec-Nowy Targ (od ok. 2,0 do 2,3-2,35°C/100 m). Wyraźnie podwyższone wielkości gradientów charakteryzują północno-zachodnią część obszaru. W rejonie Cieszyna i na północ od Bielska-Białej, zlokalizowano kilka otworów geotermalnych: Cieszyn IG-1, Zamarski IG-1, Dębowiec IG-1 oraz Rudzica IG-1, gdzie oszacowane wartości średnich gradientów geotermicznych przyjmują wartości odpowiednio od ok. 2,8 do ponad 3,6°C/100 m. Wysokie wartości gradientów geotermicznych, nawet powyżej 4,5°C/100 m (anomalie Bzie-Dębiny i Czechowice), w obszarze GZW potwierdzają liczne dane literaturowe [2], [11], [12]. Relatywnie wysokie wartości

gradientów termicznych stwierdzono w otworze Siekierczyna IG-1 ( $3,1^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ ). Występowanie anomalii lokalnych w strefie powyższego otworu potwierdzają także Plewa [14] oraz Przelaskowska [15]. Ta dodatnia anomalia termiczna ma swoją kontynuację we wschodniej części polskich Karpat [6].



Rys.1 Mapa rozkładu średniego gradientu geotermicznego w rejonie Karpat Zachodnich (Hajto, 2011)

Fig.1 Distribution of geothermal gradient in the polish Western Carpathians (Hajto, 2011)

#### 4. ZASOBY ENERGII GEOTERMALNEJ W KARPATACH ZACHODNICH

Zasoby energii geotermalnej zostały obliczone przy zastosowaniu metodyki stosowanej w krajach Unii Europejskiej, prezentowanej m.in. w „Atlas of Geothermal Resources in Europe” [8], a także w „Atlasie zasobów geotermalnych na Niżu Polskim” [7]. Określono zasoby geotermalne stosownie do wydzielonych kategorii zasobów, tj.: dostępne zasoby geotermalne, zasoby statyczne, statyczne-wydobywalne. Dodatkowo zastosowano metodykę wskaźnikowej oceny ekonomicznej efektywności pozyskania ciepła zbiorników wód termalnych oraz tzw. współczynnik mocy [5], co pozwoliło na dokonanie wstępnej oceny opłacalności wykorzystania energii geotermalnej w skali regionalnej. Określono wielkości tzw. dyspozycyjnych zasobów energii geotermalnej i wskazano obszary perspektywiczne w obrębie wydzielonych interwałów głębokościowych fliszu oraz poszczególnych zbiornikach w podłożu nasunięcia Karpat.

Dostępne zasoby geotermalne zawarte w formacjach skalnych do głębokości 3000 m, oszacowano na  $2,83 \cdot 10^{21}$  J, dla porównania dostępne zasoby geotermalne na Niżu Polskim zostały ocenione na  $7,75 \cdot 10^{22}$  J [7].

##### 4.1. Zasoby energii geotermalnej w utworach fliszowych

Całkowite zasoby statyczne zakumulowane w wodach i skałach utworów fliszowych zostały oszacowane na  $3,34 \cdot 10^{20}$  J (Rys.2). Dla porównania stanowi to ok. 2,3%



zasobów statycznych energii zakumulowanych w rejonie Niżu Polskiego. Statyczne-wydobywalne zasoby energii geotermalnej formacji fliszowych, obliczone przy założeniu eksploatacji dubletem otworowym, oszacowano na  $7,32 \cdot 10^{19}$  J, stanowi to ponad 34% całości zasobów wydobywalnych energii geotermalnej Karpat Zachodnich.

Ocena parametrów hydrogeologicznych oraz analiza i modelowania parametrów zbiornikowych wskazują, że utwory fliszowe charakteryzują się niską wodonością. Relatywnie lepsze własności zbiornikowych mogą występować w rejonie na północ od granicy nasunięcia magurskiego. W profilu geologicznym płaszczowiny magurskiej nie stwierdzono interwałów wodonośnych o dostatecznie dobrych parametrach hydrogeologicznych (wydajności eksploatacyjnej) oraz termicznych, wskazujących na możliwości budowy instalacji geotermalnych w tym rejonie.

Sumaryczne zasoby dyspozycyjne energii geotermalnej zakumulowane w utworach fliszowych oszacowano na  $2,2 \cdot 10^{16}$  J/rok. Powyższe dane wskazują, że w wodach geotermalnych występujących w utworach fliszowych Karpat Zachodnich zgromadzone są ponad 400-krotnie mniejsze zasoby dyspozycyjne [9].

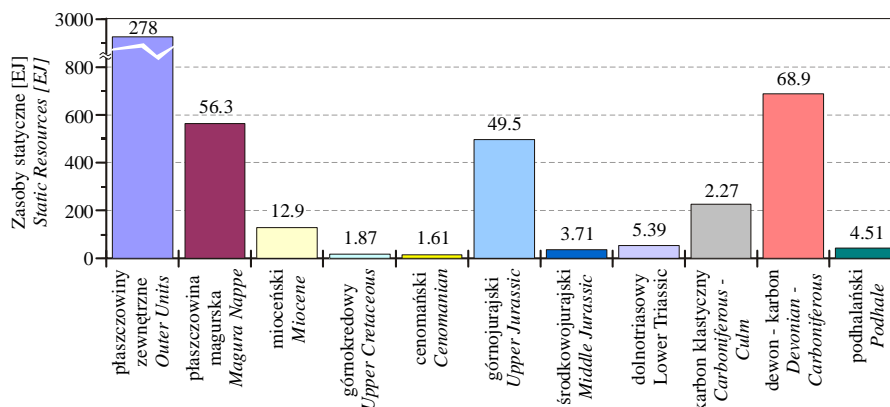
#### 4.2. Zasoby energii geotermalnej w skałach podłoża Karpat fliszowych

Utwory miocenu oraz mezozoiczno-paleozoicznego charakteryzujące się znacznie lepszymi parametrami zbiornikowymi niż utwory fliszowe. Poziomy zbiornikowe wód geotermalnych występują w: węglanowych utworach dewonu i karbonu, klastycznych utworach karbonu, utworach triasu dolnego, środkowej jury, górnej jury, cenomanu oraz utworach kredy górnej (poza cenomanem). Poszczególne zbiorniki charakteryzują się różnicowanym zasięgiem występowania, parametrami hydrogeologicznymi i termicznymi, a co za tym idzie wielkością zasobów wód i energii geotermalnej. Największą powierzchnię, w rejonie Karpat Zachodnich zajmuje zbiornik mioceński, którego wielkość oszacowano na 6000 km<sup>2</sup>, najmniejszą zbiornik cenomański - ok. 370 km<sup>2</sup>.

Statyczne zasoby energii geotermalnej zbiorników zlokalizowanych w podłożu nasunięcia Karpat oszacowano na  $1,67 \cdot 10^{20}$  J. Największe zasoby statyczne energii geotermalnej zakumulowane są w utworach węglanowych wieku dewon-karbon. W tym zbiorniku zakumulowane jest ok.  $6,89 \cdot 10^{19}$  J energii (Rys.2), co stanowi ponad 41% zasobów wszystkich zbiorników mezozoiczno-paleozoicznego podłoża oraz prawie 14% sumarycznych zasobów statycznych energii geotermalnej polskich Karpat Zachodnich. Relatywnie wysokie zasoby statyczne energii geotermalnej zakumulowane są w górnajurajskim zbiorniku geotermalnym (Rys.2). Wyniki obliczeń wskazują, że w wodach i skałach tego poziomu zgromadzone jest ok. 30% zasobów statycznych utworów podłoża fliszu (ok.  $4,95 \cdot 10^{19}$  J). W pozostałych sześciu zbiornikach zakumulowane jest jedynie ok. 29% sumarycznych zasobów statycznych mezozoiczno-paleozoicznego podłoża Karpat Zachodnich.

Sumaryczne zasoby statyczne-wydobywalne energii geotermalnej zakumulowanej w utworach podłoża Karpat Zachodnich fliszowych oszacowano na  $4,1 \cdot 10^{19}$  J, co stanowi prawie 36% całkowitych zasobów statycznych-wydobywalnych Karpat Zachodnich. Największymi zasobami statycznymi-wydobywalnymi charakteryzuje się dewońsko-karboński węglanowy zbiornik wód geotermalnych. Jak wskazują teoretyczne obliczenia, wykorzystując dublet geotermalny będziemy w stanie wyeksploatować średnio ok. 25% zasobów statycznych energii zakumulowanej w tym zbiorniku, tj. ok.  $1,7 \cdot 10^{19}$  J.

Sumaryczne zasoby dyspozycyjne energii geotermalnej wodonośnych utworów podłoża Zachodnich Karpat fliszowych wynoszą  $3,74 \cdot 10^{15}$  J/rok. Powyższe zasoby stanowią ok. 15% sumarycznych zasobów dyspozycyjnych energii geotermalnej w rejonie Karpat Zachodnich zewnętrznych. Największy obszar występowania zasobów dyspozycyjnych charakteryzuje zbiornik cenomanu (ok. 105 km<sup>2</sup>), w którym stwierdzono również największe sumaryczne zasoby dyspozycyjne,  $2,82 \cdot 10^{15}$  J/rok oraz najwyższe wartości współczynnika mocy (3,24). Zasoby powyższego zbiornika stanowią ponad 75% sumarycznych zasobów dyspozycyjnych zbiorników geotermalnych podłoża Karpat oraz ok. 11% całkowitych zasobów dyspozycyjnych zewnętrznych Karpat Zachodnich. Pomijając zbiorniki wód geotermalnych, w których nie zdefiniowano zasobów dyspozycyjnych, niskie parametry zasobności charakteryzują węglanowy zbiornik dewonu-karbonu. W zbiorniku tym niewielkie zasoby dyspozycyjne ( $5,71 \cdot 10^{13}$  J/rok) stwierdzono jedynie punktowo, na obszarze o powierzchni zaledwie 2 km<sup>2</sup>, który zważając na dokładność szacowania parametrów hydrogeologicznych, termicznych i zbiornikowych można pominąć.



Rys.2 Rozkład zasobów statycznych energii zakumulowanej w poszczególnych zbiornikach geotermalnych Karpat Zachodnich

Fig.2 Distribution of static geothermal resources accumulated in particular aquifers in the Western Carpathians

## 5. PODSUMOWANIE - PERSPEKTYWICZNE STREFY DLA ZAGOSPODAROWANIA WÓD GEOTERMALNYCH W ZEWNĘTRZNYCH KARPATACH ZACHODNICH

Wyniki analizy geologicznej, hydrogeologicznej i geotermicznej wskazują że lepsze parametry dla występowania wód geotermalnych w utworach fliszowych mogą występować w strefach nasunięć różnych jednostek tektonicznych. W takich warunkach tektonicznych, w strefie nasunięcia jednostki magurskiej i dukielsko-grybowskiej, stwierdzono wody geotermalne w rejonie Skomielnej Białej, Rabki-Zdroju i Poręby Wielkiej. Dotychczasowe badania wskazują, że wody geotermalne stwierdzone w utworach fliszowych są w większości wodami pochodzenia diagenetycznego. Warstwy potencjalnie zbiornikowe, związane z utworami klastycznymi (głównie piaskowcami) charakteryzujące się relatywnie wysokimi porowatościami i przepuszczalnościami, mają raczej ograniczony zasięg i nie

posiadają zwykle współczesnego zasilania. Może to mieć istotne znaczenie dla wielkości oraz stabilności uzyskiwanych wydajności ujęć wód geotermalnych. Na podstawie analizy danych pochodzących z dotychczas wykonanych wierceń można domniemywać, że podobne warunki hydrogeologiczne występują w przeważającej części zewnętrznych Karpat fliszowych. Należy jednak pamiętać, że ze względu na skomplikowaną budowę geologiczną, lokalnie mogą występować korzystne warunki hydrogeologiczne. Wiąże się to zarówno z obecnością warstw o lepszych parametrach zbiornikowych, jak i możliwościami zasilania poszczególnych warstw wodonośnych infiltrującymi wodami opadowymi. Taka sytuacja występuje np. w rejonie Gorlic (Rys.3 – obsz. 11), gdzie na znacznych głębokościach, w obrębie warstw piaskowców ciężkowickich odsłoniętych na powierzchni, stwierdzono obecność niskozmineralizowanych wód geotermalnych.

Stosunkowo słabe rozpoznanie wiertnicze Karpat Zachodnich, zwłaszcza mała liczba oraz nierównomierne rozmieszczenie otworów badawczych w rejonie płaszczowiny magurskiej, wpływa na zmniejszenie dokładności uzyskanych wyników badań i utrudnia możliwości podejmowania decyzji co do wyznaczenia obszarów perspektywicznych dla wykorzystania wód geotermalnych w tym rejonie. Stosując ujednolicone kryteria oceny parametrów petrofizyczno-pojemnościowych, hydrogeologicznych i termicznych dla utworów fliszowych wydzielono obszary perspektywiczne dla poszukiwań wód geotermalnych. Należą do nich: rejon Myślenic, w strefie czołowej nasunięcia magurskiego, gdzie wydzielono dwa perspektywiczne interwały głębokościowe w utworach fliszowych na głębokościach 1500-2000 oraz 2000-2500 m p.p.m. (Rys.3 – obsz. 6), rejon Ciężkowic w strefie czołowej nasunięcia płaszczowiny śląskiej, gdzie wydzielono perspektywiczny interwał głębokościowy 2000-2500 m p.p.m. (Rys.3 – obsz. 10) oraz obszar na zachód od Żywca, gdzie najlepsze parametry dla wód geotermalnych stwierdzono w interwał głębokościowy 1000-1500 m p.p.m (Rys.3 – obsz. 3).

Możliwości uzyskania relatywnie dużych przypiływów wód geotermalnych z utworów fliszowych rejonu Karpat potwierdzają wyniki uzyskane podczas wiercenia otworu Wiśniowa 1, poza Karpatami Zachodnimi, gdzie podczas wiercenia, z głębokości 3793 m uzyskano znaczny przypiływ wód ( $180 \text{ m}^3/\text{h}$ ) o relatywnie niskiej mineralizacji, ok.  $7 \text{ g/dm}^3$  i temperaturze  $84^\circ\text{C}$ , przy ciśnieniu na głowicy otworu 76 atm [10].

W obrębie utworów miocenu oraz paleozoiczno-mezozoicznego podłoża Karpat Zachodnich perspektywiczne obszary dla lokalizacji potencjalnych ujęć wód geotermalnych stwierdzono w obrębie cenomańskiego oraz środkowojurajskiego zbiornika wód wgłębnych. Obydwie strefy występują w rejonie frontu nasunięcia karpackiego, na południe od Bochni i Brzeska (Rys.3 – obsz. 9). Korzystne warunki hydrotermalne potwierdzono też w rejonie Ustronia (Rys.3 – obsz. 1), gdzie wykorzystuje się wody geotermalne z poziomu węglanowego wieku dewon-karbon.

Perspektywiczne obszary związane są głównie z brzeżną strefą nasunięcia karpackiego i obejmują swym zasięgiem takie miasta jak Bochnia, Brzesko i Tarnów. Potwierdza to wyniki regionalnych analiz możliwości wykorzystania wód geotermalnych w rejonie Karpat Zachodnich, które wskazują, że przewidywane wydajności ujęć wód geotermalnych mogą wynosić do ok.  $60 \text{ m}^3/\text{h}$ . Przewidywane temperatury wód mogą mieścić się w przedziale  $30-55^\circ\text{C}$ , a mineralizacja może wahać się od  $20 \text{ g/dm}^3$  (rejon Bochni) do  $120 \text{ g/dm}^3$  (rejon Tarnowa). Podane parametry oraz przewidywane wydajności wskazują, że wody te

nadają się szczególnie do ich wykorzystania w celach rekreacyjnych i/lub balneoterapeutycznych (z uwzględnieniem możliwości zastosowania systemów pomp ciepła).

Odnosząc się do zatem do możliwego sposobu zagospodarowania wód geotermalnych w Karpatach zewnętrznych należy stwierdzić, że będą to przede wszystkim rekreacja i lecznictwo (dla tych celów nawet stosunkowo niewielkie ilości wód będą wystarczające).

Rozważając możliwości wykorzystania wód geotermalnych rejonu Karpat Zachodnich w balneoterapii i rekreacji trzeba stwierdzić, że wszystkie takie wody udokumentowane dotychczas otworami wiertniczymi można wykorzystać do celów rekreacyjnych i/lub leczniczych. Są one odpowiednie szczególnie do napełniania basenów kąpielowych. Wody Karpat Zachodnich zawierają szereg składników swoistych, głównie  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{H}_2\text{SiO}_3$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  oraz  $\text{I}^-$ . Wody geotermalne z obszaru zewnętrznych Karpat Zachodnich (głównie chlorkowe) kwalifikują się do wykorzystania w balneoterapii i rekreacji tym bardziej, że istnieje ogromne zapotrzebowanie, szczególnie na baseny kąpielowe. W rejonach, gdzie udokumentowano te wody, brak jest jednak dotychczas infrastruktury rekreacyjnej czy też balneotechnicznej [Sól (Rys.3 – obsz. 4), Jaworze (Rys.3 – obsz. 2), Sucha Beskidzka (Rys.3 – obsz. 5), Skomielna Biała (Rys.3 – obsz. 7), Poręba Wielka (Rys.3 – obsz. 8)].



Rys.3 Lokalizacja perspektywicznych stref dla wykorzystania wód geotermalnych występujących w utworach fliszowych oraz w utworach miocenu i mezozoicno-paleozoicznego podłoża fliszu w Karpatach Zachodnich (1 - Ustroń, 2 - Jaworze, 3 - Szczyrk-Brenna, 4 - Sól, 5 - Sucha-Beskidzka, 6 - Myślenice-Dobczyce-Wiśniowa, 7 - Skomielna Biała, 8 - Poręba Wielka, 9 - Bochnia-Brzesko-Nowy Wiśnicz, 10 - Ciężkowice-Ryglice, 11 - Gorlice-Sękowa)

Fig.3 Location of prospective areas for geothermal waters' use in flysch formations and Miocene-Mesozoic-Palaeozoic basement of the Polish Western Carpathians (1 – Ustroń, 2 – Jaworze, 3 - Szczyrk-Brenna, 4 - Sól, 5 - Sucha-Beskidzka, 6 - Myślenice-Dobczyce-Wiśniowa, 7 - Skomielna Biała, 8 - Poręba Wielka, 9 - Bochnia-Brzesko-Nowy Wiśnicz, 10 - Ciężkowice-Ryglice, 11 - Gorlice-Sękowa)

Perspektywiczne lokalizacje dla wykorzystania wód geotermalnych w rejonie zewnętrznych Karpat zachodnich przedstawiono na Rys.3. Zasadność techniczna i opłacalność ekonomiczna pozostawać będą każdorazowo do indywidualnego rozważenia, w zależności od parametrów wody (wydajność, temperatura) i indywidualnych rozwiązań projektowych. W omawianym obszarze Karpat Zachodnich najlepsze warunki złożowe i eksploatacyjne dla wód geotermalnych posiada Podhale – polska część Karpat wewnętrznych.

#### 6. LITERATURA:

- [1] Białas Z., Waligóra J., 2011 - Wykorzystanie wód geotermalnych w uzdrowisku Ustroń. [W:] Górecki (red.) i in., 2011 – Atlas zasobów wód i energii geotermalnej Karpat Zachodnich. s. 146-148
- [2] Bruszeńska B., 2000 – Warunki geotermiczne Dolnego Śląska. Przegląd Geologiczny 7, s. 639-643
- [3] Chowaniec J., Poprawa D., Witek K., 2001 – Występowanie wód geotermalnych w polskiej części Karpat. Przegląd Geologiczny: 49, 8, s. 734-742
- [4] Chowaniec J., 2009 – Studium hydrogeologii zachodniej części polskich Karpat. Biul. PIG, 434. Warszawa
- [5] Gosk E., 1982 - Geothermal resources assesment. [In:] - Geothermics and geothermal energy. Stuttgart. V. Čermak, R Haenel. E. [Eds.] Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung
- [6] Górecki W., Kuśmerek J. i in., 2009 – Dokumentacja merytoryczna projektu PBS/PUPW/6/2005, pt.: „Badania transgraniczne wgłębnych struktur geologicznych brzeżnej strefy Karpat w aspekcie odkryć i udostępnienia nowych złóż ropy naftowej i gazu ziemnego”. Archiwum KSE AGH, Kraków
- [7] Górecki W. (red.) i in., 2006 – Atlas zasobów geotermalnych na Niżu Polskim – formacje mezozoiku. Ministerstwo Środowiska, ZSE AGH, Kraków
- [8] Haenel, R. and Staroste, E., 2002 – Atlas of geothermal resources in Europe. Hannover, Germany
- [9] Hajto M., 2011 - Charakterystyka termiczna obszaru polskich Karpat Zachodnich. [W:] Górecki W. (red.) i in., 2011 – Atlas zasobów wód i energii geotermalnej Karpat Zachodnich. s. 281-184
- [10] Karnkowski P., Jastrząb M., 1994 – Wody geotermalne depresji strzyżowskiej Karpat. Przegląd Geologiczny, 42, 2, s. 121-123
- [11] Karwasiecka M., 1996 – Atlas geotermiczny Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Wydawnictwo Kartograficzne Polskiej Agencji Ekologicznej S.A., Warszawa
- [12] Karwasiecka M. 2001 – Pole cieplne Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. "Proceedings of International Conference Geothermal Energy in Underground Mines", Ustroń
- [13] Pazdro Z., Kozerski B., 1990 – Hydrogeologia ogólna. Wyd. Geol., Warszawa
- [14] Plewa M., 1991 – The heat flow field on the Polish territory. Zesz. Nauk. AGH, Geof. Stos. Kraków
- [15] Przelaskowska A., 2004 – Analiza profilowań termicznych wykonanych w warunkach ustalonej równowagi cieplnej w Karpatach. Prace Instytutu Nafty i Gazu, 130, s. 321-325

- [16] Rajchel L., 2011a – Balneoterapia i rekreacja z zastosowaniem wód geotermalnych. [W:] Górecki W. (red.) i in., 2011 – Atlas zasobów wód i energii geotermalnej Karpat Zachodnich. s. 142-145
- [17] Rajchel L., 2011b – Wykorzystanie wód geotermalnych w uzdrowisku Rabka Zdrój. [W:] Górecki W. (red.) i in., 2011 – Atlas zasobów wód i energii geotermalnej Karpat Zachodnich. s. 149-151
- [18] Sokołowski J., 1992 – Dokumentacja geosynoptyczna otworu geotermalnego Bańska IG-1. Geosynoptyka i Geotermia, t. 1, PAN CPPGSMiE, Kraków
- [19] Szczepański A., Kania J., Haładus A., 2011 – Analiza podstawowych parametrów hydrogeologicznych zbiorników wód geotermalnych w rejonie Karpat Zachodnich. [W:] Górecki W. (red.) i in., 2011 – Atlas zasobów wód i energii geotermalnej Karpat Zachodnich. s. 230-233

## **GEOHERMAL RESOURCES AND POSSIBILITIES OF USE OF GOTHERMAL WATERS IN THE WESTERN CARPATHIANS - FROM GORLICE TO CIESZYN**

### **SUMMARY**

The paper presents results of calculation of geothermal energy resources accumulated within the flysh formation and within Miocene/Mesozoic/Palaeozoic geothermal aquifers located in the basement of in the Polish Western Carpathians, made in the framework of the project entitled "Atlas of geothermal waters and energy resources in the Western Carpathians". The project had been commissioned by the Ministry of Environment and was carried out in the years 2009-20011 at the AGH University Science and Technology.

The calculation area measured approximately 10,275 km<sup>2</sup> that represents less than 3.3 percent of the territory of Poland. The calculations were made with regard to the accepted classification of geothermal resources, in accordance with the McKelvey's diagram. Estimates of energy accumulated in particular aquifers was given, and results of the calculations were compared to geothermal energy resources accumulated in the Polish Lowlands.

Application of the methodology of factor evaluation of the economic effectiveness of heat recovery (the power factor) enabled preliminary assessment of the geothermal energy utilization profitability at the regional scale and indication of prospective areas within particular aquifers.

**Beata JAGIEŁA, dr**

Państwowa Wyższa Szkoła Techniczno – Ekonomiczna w Jarosławiu  
ul. Czarnieckiego 16, 37 – 500 Jarosław  
beata.jagiela@op.pl

## **XIX – WIECZNA RESTAURACJA KOŚCIOŁA I KLASZTORU OO. BERNARDYNÓW W LEŻAJSKU – PRZYSZYBOK DO STUDIUM TEMATU**

### **STRESZCZENIE**

Obecny wygląd zespołu klasztoru w Leżajsku jest pochodną restauracji obiektu, która miała miejsce pod koniec XIX stulecia. Kierownik prac, a zarazem autor projektów tego przedsięwzięcia – Zygmunt Hendel, należał z całą pewnością do grona najznamienitszych konserwatorów tego okresu czasu. Będąc konserwatorem okręgu tarnowsko – rzeszowskiego przyczynił się w znacznej mierze do ratowania zabytków stanowiących perły architektury regionu. Celem niniejszego opracowania jest opisanie przebiegu prac związanych z restauracją jednej z nich – bo tak śmiało można powiedzieć kościele i klasztorze OO. Bernardynów w Leżajsku.

### **1. WPROWADZENIE**

Dzieje jednego z najdosłójniejszych sanktuariów Polski południowo – wschodniej, obecnego kościoła i klasztoru OO. Bernardynów w Leżajsku, sięgają XVII stulecia (1618-1624), kiedy wzniesiono te nobliwe mury z fundacji ówczesnego marszałka wielkiego koronnego, będącego równocześnie starostą leżajskim – Łukasza Opalińskiego oraz jego małżonki Anny z Pileckich. Założenie usytuowano w miejscu cudownego objawienia, które według słów legendy miało tu miejsce w 1590 roku. To wówczas Matka Boska w towarzystwie św. Józefa ukazała się Tomaszowi Michałkowi. Pierwotnie istniał tu ko-

ściół drewniany (1594), który szybko okazał się za „szczupły” na potrzeby stale rosnącego kultu<sup>1</sup>.

Kościół Bernardynów w Leżajsku jest budowlą typu bazylikowego wzniesioną w stylu wczesnego baroku. Jest to obiekt, w którego bryle czytelna jest jeszcze czystość i klarowność stylu manierystycznego, niemniej jednak przepych dekoracji, detale architektoniczne oraz motywy zdobnicze wnętrza zdecydowanie prezentują już wybujały styl baroku.<sup>2</sup>

## 2. AUTOR RESTAURACJI KOŚCIOŁA I KLASZTORU W LEŻAJSKU

Wybór architekta prac związanych z XIX – wieczną restauracją kompleksu nie obył się bez perturbacji. Monografistka Tomasz Prylińskiego – jednego z najwybitniejszych krakowskich architektów II połowy XIX stulecia – Helena Kita, wymienia restaurację kościoła Bernardynów w Leżajsku, jako jedno z ostatnich dokonań tegoż twórcy. Jej stwierdzenie<sup>3</sup>, przypisujące dzieło restauracji kościoła i klasztoru w Leżajsku T. Prylińskiemu<sup>4</sup>, najpewniej zostało „sprowokowane” lekturą listu opata klasztoru w Leżajski – o. Sabina Figusa, adresowanego do architekta. W trakcie poszukiwań archiwaliów związanych z osobą Prylińskiego, udało się autorce niniejszego artykułu odnaleźć tę ważną dla przybliżenia historii losów XIX – wiecznej restauracji świątyni – korespondencję. Rzuca ona światło na pierwotne zamierzenia zlecniodawców (opata klasztoru leżajskiego) co do wyboru osoby kierownika robót. Z tego względu niech nam będzie wolno przytoczyć obszerny fragment wspomnianego listu: „*Postanowioną jest rzeczą* – pisał opat – *że kościół*

---

<sup>1</sup> S. Hanejko, I. Dudzik, *Leżajsk jako miejsce kultu religijnego*, [w:] Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego”, *Turystyka religijna. Atrakcje turystyki religijnej*, red. Z. Kroplewski, A. Panasiuk, nr 648, s. 161.

<sup>2</sup> M. Gosztyła, B. Jagieła, *Reprezentatywne zabytki kultury materialnej Podkarpacia*, Rzeszów 2004, s. 29-32.

<sup>3</sup> „(...) Około 1890 r. [Pryliński] kierował restauracją kościoła i klasztoru w Leżajsku”. Cyt. za: H. Kita, *Tomasz Pryliński 1847- 1895*, „Rocznik Krakowski”, T. XXXIX, 1968, s. 123.

<sup>4</sup> Ks. Cz. Bogdalski wymienia nazwisko Prylińskiego przy okazji restauracji tylko jednej z kaplic leżajskiego kościoła t.j. kaplicy św. Franciszka: zob.: Cz. Bogdalski, *Pamiętnik kościoła i klasztoru OO. Bernardynów w Leżajsku*, Kraków 1929, s. 96.

Tomasz Pryliński urodził się 24 sierpnia 1847 w Warszawie, zmarł zaś 15 listopada 1895 roku w Thalkirchen pod Monachium. Był polskim architektem, działającym głównie w Krakowie. Studiował w latach 1862-1866 w Monachium (na tamtejszej Politechnice), później w Zurichu, gdzie w 1869 roku ukończył Politechnikę. Po krótkotrwałym pobycie w Belgii, w 1872 roku osiadł w Krakowie. Pełen przegląd realizacji architektonicznych i konserwatorskich Prylińskiego odnajdziemy w *Rozdziale I* rozprawy doktorskiej autorki niniejszej publikacji pt. *Tomasz Pryliński oraz regotycyzacja katedry obrządku łacińskiego w Przemyślu według jego koncepcji*, napisanej pod kierunkiem prof. dr hab. Lechośława Lameńskiego i obronionej w 2011 r. na KUL w Lublinie.



*nasz i klasztor w Leżajsku ze wszystkimi do nich należącymi zabudowaniami i opasującymi je murami – aż do najdrobniejszych szczegółów – mają być zupełnie i artystycznie wewnątrz i zewnątrz odnowione i do pierwotnego stanu świetności przyprowadzone. Do kierownictwa artystycznego całej tej restauracji najprawdopodobniej zaproszony zostanie Wielmożny Pan Architekto D[obrodziej. (...) Nadto upraszam jak najszybciej, aby sporządzone kosztorysy przesłane mi były koniecznie i niezawodnie na 17 kwietnia do Leżajska (!). Kosztorysy te mają być wykonane sumarycznie, a nie szczegółowo, bardzo starannie w prawidłowej formie i należyтым porządku (...).”<sup>5</sup>.*

Kierownictwo nad pracami powierzone zostało jednakże komuś zupełnie innemu, najprawdopodobniej ze względu na fakt fatalnego stanu zdrowia Prylińskiego (architekt zmarł w 1895 roku). Dowiadujemy się o tym fakcie na podstawie lektury broszury autorstwa W. Łuszczkiewicza. Badacz w swym niewielkim gabarytowo opracowaniu pt. *Klasztor leżajski i jego dzieła sztuki. Wrażenia z podróży*, wydany w 1895<sup>6</sup> pisał: „Zasada zachowania wszystkiego w tym stanie jak zastano, nie zawsze jest stosowaną. Uszlachetnić to, co się da, z bezstylowego zrobić odpowiednio stylowym, domysleć się co pierwszy architekt mieć pragnął; oto zasada której się trzyma architekt krakowski, p. Zygmunt Hendel, któremu powierzono prace restauracji leżajskiego kościoła i klasztoru.”<sup>7</sup>

Z tego cytatu wynika w sposób jednoznaczny, że architektem restauracji w Leżajsku został ostatecznie Zygmunt Hendel. Potwierdza to publikacja Czesława Bogdalskiego z 1929 roku. Otóż na kartach *Pamiętnika* jego autorstwa, pojawia się rozwiewające wątpliwości w tej materii stwierdzenie: „Należy i to zanotować, że w pierwszych dniach maja tegoż roku<sup>8</sup> rozpoczęta została gruntowna restauracja całego kościoła pod nadzorem c.k. konserwatora Jana hr. Szeptyckiego, a pod osobistym kierownictwem głośnego architekty z Krakowa p. Zygmunta Hendla”<sup>9</sup>.

Na decyzję powierzenia Hendlowi prac związanych z restauracją kompleksu OO. Bernardynów z pewnością miał wpływ fakt, że obok pełnionych przezeń licznych funkcji naukowych, Hendel był wówczas konserwatorem okręgu tarnowsko - rzeszowskiego i członkiem Głównego Konserwatorów Galicji Zachodniej.

### 3. PRACE KONSERWATORSKIE I MODERNIZACYJNE PRZY ZESPOLE OO. BERNARDYNÓW W LEŻAJSKU

Prace przy założeniu kościelno – klasztornej w Leżajsku wykonał Hendel przy współudziale właściciela zakładu kamieniarskiego z Przemyśla – Ferdynanda Majerskiego.

---

<sup>5</sup> List o. Sabina Figusa z Leżajska do T. Prylińskiego z 7 kwietnia 1890 r., Zbiory Biblioteki PAU i PAN w Krakowie, Dział Rękopisów, Rkp 3183, k. 17 -18.

<sup>6</sup> A więc pięć lat po wspomnianym liście o. Figusa Sabina do Prylińskiego.

<sup>7</sup> W. Łuszczkiewicz, *Klasztor leżajski i jego dzieła sztuki. Wrażenia z podróży*, Kraków 1895, s. 30-32.

<sup>8</sup> Mowa o 1894 roku.

<sup>9</sup> Cz. Bogdalski, dz. cyt., s. 98.

Projekty restauracji autorstwa Hendla, przechowywane są obecnie w Muzeum Narodowym w Krakowie. Pomimo, że przedstawiają pokaźny zbiór – nie doczekały się do tej pory wyczerpującego omówienia<sup>10</sup>, co może budzić zdziwienie – zważywszy na rangę – tak obiektu, jak i konserwatora.

Główna restauracja całego kompleksu OO. Bernardynów, którą kierował Hendel, rozpoczęła się w pierwszych dniach maja 1894 roku. Już w listopadzie roku następnego ukończono restaurację ołtarza wielkiego świątyni bernardynskiej, przeprowadzona wg planów krakowskiego architekta i pod jego osobistym nadzorem przez nieocenionego F. Majerskiego, który z precyzją złotnika odtworzył wszelkie szczegóły ku zadowoleniu ojców klasztornych<sup>11</sup>. Po odnowieniu fresków, co powierzono Feliksowi Kopystyński ze Lwowa - malarzowi i konserwatorowi zabytków, przyszedł czas na restaurację „Bramki” wschodniej, prowadzącej z placu przedklasztornego na dziedziniec klasztorny, również wg

---

<sup>10</sup> Zbiory Muzeum Narodowego w Krakowie, Dział III, nry inw.: Kościół OO. Bernardynów w Leżajsku, zdjęcia i projekt przebudowy, 1895 r. sygn.: III-PL 1135, 1140, 1155, 1169, 1171, 1172, 1181, 1188, 1192, 1195, 1196, 1209, 1210, 2436-2438, 1137-1139, 1141, 1142, 1144-1148, 1154, 1156, 1158; III-PL 1143, 1149, 1153, 1226, 1227, 1157, 1197, 1200, 1202 (klasztor), 1152, 1207, 1219, 1222; 3196 (klasztor, 1895 r.); zespół klasztorny w Leżajsku: brama, sygn.: III-PL 5219, 5292/1-14, 5293-5297, 5300; kościół i zabudowania klasztorne OO. Bernardynów, sygn.: III-PL 5215; kościół OO. Bernardynów w Leżajsku sygn.: III-PL 5086/1-17, 5097-5104 (1895 r.), III-PL 5220, 5282- 5287, 1159, 1161, 1164, 1165, 1170, 1173, 1175-1178, 1182, 1184-1187; rysunki robocze zespołu, sygn.: III-PL 1160, 1162, 1163, 1174, 1177, 1198, 1199, 1201, 1203-1205, 1212, 1217; III-PL 4891, 5202 – 1895 r.; rysunki inwentaryzacyjne zespołu, 1895 r., sygn.: III-PL 1179, 1223, 1224, 1225; kościół i klasztor OO. Bernardynów w Leżajsku, sygn.: III-PL 1190, 1191, 1193, 1194, 1206, 1208, 1215, 1218, 1221; kościół OO. Bernardynów, zdjęcia i projekt restauracji, 1902 r., sygn.: III-PL 1830, 2130-2132, 2339-2341, 2344, 2350-2372, 2379-2383, 2385-2388, 2393-2396, 2398-2403, 2641; stalle, sygn.: III-PL 2384; rekonstrukcja wieży oraz budowa domu dla kościelnego organisty kościoła OO. Bernardynów w Leżajsku, sygn.: III-PL 2390-2392, 2397; plebania, organistówka i dzwonnica przy kościele OO. Bernardynów w Leżajsku (rzuty, przekroje, widoki i szczegóły), sygn.: 3089/1-5; kościół OO. Bernardynów w Leżajsku, 1895 r., sygn.: III-PL 3175, 3177, 3181, 3182, 3186, 3189-319(?), 3194, 3199-3217, 3219, 3176, 3178, 3180, 3183-3185, 3187, 3188, 3197-3198, 3220, 3193, 3218, 3247 (r. ?); kościół OO. Bernardynów w Leżajsku, drugi projekt przebudowy kościoła, 1905 r., sygn.: III-PL 3195; kościół OO. Bernardynów w Leżajsku, rysunek dla wykonawcy, 1895 r., sygn.: III-PL 3930.

<sup>11</sup> Cz. Bogdalski, dz. cyt., s. 98.

projektów Z. Hendla. Zakładały one dodanie schodów oraz rozszerzenie i przerobienie głównej jej części posiadającej balkon<sup>12</sup>.

Równolegle prowadzono prace przy odnawianiu wspaniałych stali w prezbiterium, w oparciu o drobiazgowo rysunki krakowskiego architekta i konserwatora, który rzetelnie naszkicował każdy szczegół. Roboty rozpoczęto we wrześniu 1895 roku, by ukończyć je definitywnie dopiero 24 grudnia – kiedy to oddano stalle do użytku.

Podczas restauracji nie zapomniano także o zewnętrznej fasadzie świątyni, dziedzińcu kościelnym oraz murach fortecznych okalających kompleks.<sup>13</sup>

Druga faza prac rozpoczęła się w 1902 roku, kiedy to dzięki staraniom o. Sergjusza Michny [pisownia za oryginałem] przystąpiono od odnowienia ołtarza Św. Kazimierza oraz ołtarz Św. Józefa. W roku następnym odrestaurowano kolejno ołtarze: Św. Bernarda, Św. Michała Archaniola, Św. Stanisława biskupa oraz Św. Dominika.

Jak informuje o. Czesław Bogdalski jesienią tegoż roku (1903) rozpoczęto też restaurację organów. O. Sergjusz korzystając z rady konserwatora oddał roboty przy tym unikalnym instrumencie A. Żebrowskiemu – słynnemu organmistrzowi ze Lwowa.

Na wiosnę przystąpiono do budowy wielkiego, jednopiętrowego domu dla oficjeli zakonnych. W zbiorach MNK zachowały się projekty Hendla dotyczące tej realizacji<sup>14</sup>, która została ukończona w lecie tegoż roku. Dom – przez Hendla nazywany „plebania”, zaprojektowano jako obiekt niezwykle funkcjonalny i przestronny, bowiem oprócz pokoi przeznaczonych dla władz klasztornych i służby: „(...) są tam [także] dwa pokoje dla osób z inteligencji przybywających na odpust. Na parterze mieści się kuchnia dla służby, spiżarnia, mleczarnia, kuchnia i magiel. W prawym narożniku od wejścia wmurowano kamień węgielny, w którym zawarto dokument, zawierający nazwisko o. prowincjała, o. gwardiana, i wszystkich ojców, braci i nowicjuszy, którzy w tę porę mieszkali w klasztorze leżajskim.”<sup>15</sup>

Zachował się również projekt przebudowy dzwonnicy kościelnej<sup>16</sup> - oraz projekt przebudowy kościoła<sup>17</sup> - kolejny już zresztą – pierwsze projekty bowiem wykonał Hendel już w 1897 roku.

Czas na tę przebudowę przyszedł dopiero w 1906 roku kiedy to ustawiono rusztowania przed główną fasadą kościoła. Według słów o. Bogdalskiego, o. gwardian zamierzał

---

<sup>12</sup> Tamże, s. 99.

<sup>13</sup> Tamże, s. 100.

<sup>14</sup> Zbiory Muzeum Narodowego w Krakowie, Dział III, Z. Hendel: plebania, organistówka i dzwonnica przy kościele OO. Bernardynów w Leżajsku (rzuty, przekroje, widoki i szczegóły), sygn.: Pl – III 3089/1-5.

<sup>15</sup> Cz. Bogdalski, dz. cyt., s. 111-112.

<sup>16</sup> Zbiory Muzeum Narodowego w Krakowie, nr inw.: Pl – III 3089/1-5.

<sup>17</sup> Zbiory Muzeum Narodowego w Krakowie, Dział III, Z. Hendel: kościół OO. Bernardynów w Leżajsku, drugi projekt przebudowy kościoła 1902, 1905 r., sygn.: III-Pl 3195.

ją gruntownie odrestaurować, ceglane gzymsy wymienić na solidniejsze – kamienne, podobnie wazony.<sup>18</sup>

W roku 1906 wymieniono także posadzkę w całym kościele – niewykluczone, że i tą rzecz zaprojektował Z. Hendel. Nie byłby to pierwszy jego projekt tego typu, w zbiorach MNK zachował się wszak projekt posadzki do kościoła OO. Bernardynów w Rzeszowie<sup>19</sup>.

W tym samym roku ukończono restaurację organów, natomiast rok później p. Szydłowski z Lwowa odnowił freski w nawach bocznych. Odrestaurowano także ołtarz św. Franciszka oraz namalowano obraz tegoż świętego na fasadzie świątyni. Kościół zyskał też nowe ołtarze (Św. Elżbiety i Św. Magdaleny). W 1909 roku postawiono w miejsce starej, drewnianej, chylącej się wieży zegarowej – nową, murowaną.<sup>20</sup>

W następnej kolejności wymieniono stare schody wiodące z przedsionka od strony zakrystii – roboty te wykonała pracownia Trembeckich z Krakowa.

#### 4. PODSUMOWANIE

Dzieło restauracji zespołu sakralnego OO. Bernardynów rozpoczęte u schyłku XIX stulecia wg projektów Z. Hendla - to proces długoletni i wielopoziomowy. Jego omówienie domaga się wyczerpującej monografii, dla której punktem wyjścia ma szansę stać się niniejszy artykuł – systematyzujący chronologię prac oraz wskazujący archiwalia niezbędne do wspomnianej analizy.

Zachowane projekty autorstwa Z. Hendla, zdradzają usiłowanie ocalenia substancji zabytkowej kompleksu – tak architektonicznej jak i elementów wyposażenia, przy dość niewielkim stopniu ingerencji. Ich dokładny opis pozwoli z całą pewnością na dokładniejsze poznanie tego niezwykłego zabytku architektury.

#### 5. LITERATURA

- [1] Bogdalski Cz., *Pamiętnik kościoła i klasztoru OO. Bernardynów w Leżajsku*, Kraków 1929.
- [2] Gosztyła M., Jagieła B., *Reprezentatywne zabytki kultury materialnej Podkarpacia*, Rzeszów 2004.
- [3] Hanejko S., Dudzik I., *Leżajsk jako miejsce kultu religijnego*, [w:] „Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego”, *Turystyka religijna. Atrakcje turystyki religijnej*, red. Kroplewski Z., Panasiuk A., nr 648, s. 161.
- [4] Jagieła B. *Tomasz Pryliński oraz regotycyzacja katedry obrządku łacińskiego w Przemyślu według jego koncepcji*, napisanej pod kierunkiem prof. dr hab. Lechosława Lameńskiego i obronionej w 2011 r. na KUL w Lublinie.

---

<sup>18</sup> Cz. Bogdalski, dz. cyt., s. 113.

<sup>19</sup> Zbiory Muzeum Narodowego w Krakowie, Dział III, Z. Hendel, Rzeszów - Kościół klasztoru OO. Bernardynów – Posadzka, 1900 rok, (58 x 55 cm, tusz, papier), sygn.: MNK III-PL-831.

<sup>20</sup> Cz. Bogdalski, dz. cyt., s. 114-116.

- [5] *Katalog zabytków w Polsce, Miasto Kraków, cz. II/1, Kościoły Śródmieścia*, Warszawa 1974.
- [6] Kita H., *Tomasz Pryliński 1847- 1895*, „Rocznik Krakowski”, T. XXXIX, 1968, s.119- 150.
- [7] *List o. Sabina Figusa z Leżajska do T. Prylińskiego z 7 kwietnia 1890 r.* Zbiory Biblioteki PAU i PAN w Krakowie, Dział Rękopisów, Rkps 3183, k. 17 -18.
- [8] Łuszczkiewicz W., *Klasztor leżajski i jego dzieła sztuki. Wrażenia z podróży*, Kraków 1895.
- [9] Majerski S., *Wspomnienie o artyście rzeźbiarzu Ferdynandzie Majerskim*, maszynopis w zbiorach Muzeum Narodowym Ziemi Przemyskiej.
- [10] *Pracownia kamieniarska Ferdynanda Majerskiego*, „San”, 1878, nr 2.
- [11] Purchla J., *Jak powstał nowoczesny Kraków*, Kraków 1979.
- [12] Strzałkowski J., Wierzbička W., *Ferdynand Gerard Majerski*, [w:] SAP, T. V, red. Derwojed J., Warszawa 1993.

## **19-CENTURY RESTORATION OF THE CHURCH AND MONASTERY OF THE BENEDICTINE FATHERS IN LEŻAJSK – CAUSE FOR STUDY OF THE SUBJECT**

### **SUMMARY**

The present look of the monasterial complex in Leżajsk is the result of restoration of the buildings that took place in the late 19<sup>th</sup> century. The manager of the works and author of the designs for that enterprise at the same time – Zygmunt Hendel was undoubtedly one of the most outstanding conservators in that period of time. As the conservator for the Tarnowsko-Rzeszowski District, he contributed substantially to the saving of historic monuments belonging to the gems of architecture of the region. The purpose of this study is description of the course of works connected with restoration of one of those gems – as one can safely call the church and monastery of the Benedictine Fathers in Leżajsk.



**Beata JAGIEŁA, dr**

Państwowa Wyższa Szkoła Techniczno – Ekonomiczna w Jarosławiu  
ul. Czarnieckiego 16, 37-500 Jarosław  
beata.jagiela@op.pl

## **ZYGMUNT HENDEL I JEGO NIEZREALIZOWANE PROJEKTY ADAPTACJI ZAMKU LUBOMIRSKICH W RZESZOWIE DLA POTRZEB WIĘZIENICTWA**

### **STRESZCZENIE**

Zygmunt Hendel był jednym z najznamienitszych polskich konserwatorów przełomu XIX i XX wieku, wybitnym architektem i teoretykiem. Pomimo tego jednak dokonania jego życia – to wciąż nie do końca przebadana materia. Niniejszy artykuł, poświęcony wykonanym przez niego, niezrealizowanym projektom adaptacji Zamku Lubomirskich w Rzeszowie na więzienie i sąd, powstałym w pierwszej fazie prac przy obiekcie, ma na celu uzupełnienie wiedzy dotyczącej sylwetki krakowskiego architekta i konserwatora.

### **1. WPROWADZENIE**

Zygmunt Hendel – autor inwentaryzacji, niezrealizowanych projektów przekształcenia rzeszowskiego Zamku w więzienie oraz kierownik prac przy zamku - urodził się 25 kwietnia 1862 roku w Krakowie jako syn Tomasza i Gabrieli André. Po ukończeniu szkoły średniej w grodzie Kraka (1879) podjął studia na Politechnice w Wiedniu, które ukończył uzyskawszy dyplom w 1885 roku. Równolegle studiował na wiedeńskiej Akademii Sztuk Pięknych. Po powrocie do Polski odbył kształcącą praktykę pod czujnym okiem Józefa Sarego oraz Tadeusza Stryjeńskiego, podczas której dał się poznać jako pilny uczeń. Po powrocie z zagranicznych podróży naukowych (Francja, Belgia, Niemcy) Hendel objął stanowisko docenta nauki o stylach w krakowskiej szkole Sztuk Pięknych i kierownika Szkoły Rzemieślniczej im. Hirscha (1892-1895), a także został współpracownikiem komisji Historii Sztuki Akademii Umiejętności (1892). Po uzyskaniu koncesji na budowniczego dla

miasta Krakowa, co miało miejsce w 1894 roku<sup>1</sup>, rozpoczął niezwykle intensywną działalność na niwie architektury i konserwacji zabytków. W dwa lata po tym namaszczeniu Hendel został mianowany korespondentem Centralnej Komisji do Badania i Zachowania pomników Sztuki i Historii w Wiedniu (1896), by niedługo potem zostać konserwatorem okręgu tarnowsko-rzeszowskiego, i co się z tym bezpośrednio wiązało - członkiem Głównego Komitetu Konserwatorów Galicji Zachodniej<sup>2</sup>. W tym właśnie czasie (1895-97) wykonał inwentaryzację Zamku rzeszowskiego, badania architektoniczne obiektu, oraz projekty adaptacji zamku dla potrzeb więziennictwa.

## 2. ZAMEK LUBOMIRSKICH W RZESZOWIE

Na temat Zamku Lubomirskich w Rzeszowie napisano już sporo – poczynając od studium historyczno - architektonicznego obiektu wykonanego w latach 80. przez Pracownię Konserwacji Zabytków O/ Rzeszów przez A. Ważnego<sup>3</sup>, które pomimo tego, że nie zawierało informacji dotyczących fortyfikacji zamkowych – stanowiło punkt wyjścia dla artykułów poświęconych kompleksowi zamkowemu i publikacji o charakterze monograficznym.<sup>4</sup> Nie istnieje natomiast żadne opracowanie dotyczące gruntownej analizy niezrealizowanych projektów Z. Hendla, które dotyczyły przebudowy i przystosowania Zamku dla celów więziennictwa na początku XX wieku. O niektórych z nich wspomina enigmatycznie J. Malczewski, ale wskazuje tylko te, które przechowywane są w Zbiorach Czartoryskich zbywając milczeniem pokaźny ich zbiór znajdujący się w Dziale III Muzeum Narodowym w Krakowie.<sup>5</sup> K. Majewski w swym artykule *Z badań nad sztuką Rzeszowa*<sup>6</sup> - postępuje odwrotnie – reprodukuje bowiem kolejne z projektów Hendla, pochodzące ze zbiorów Instytutu Sztuki PAN, sfotografowane przez PZK O/ Rzeszów (fot. Zemetrykiewicz), nie napomykając o nich ni słowem.

Choć nazwisko architekta pojawia się w opracowaniach o charakterze monograficznym, wymieniane jest jedynie w kontekście kierownictwa pracami przebudowy mającej

---

<sup>1</sup> P. M. Stępień. Stępień P. M., *Hendel Zygmunt*, [w:] *Polski słownik biograficzny konserwatorów zabytków*, red. Henryk Kondziela, Hanna Krzyżanowska, z. 2, Poznań, Wydaw. Poznańskie 2006, s. 89-90.

<sup>2</sup> Tamże .... s. 90.

<sup>3</sup> *Zamek Lubomirskich w Rzeszowie* (skrótowe studium), A. Ważny, mps, PZK O/Rzeszów, 1982.

<sup>4</sup> D. Czapczyńska, J. Janczykowski, *Zamek w Rzeszowie*, [w:] *Dzieje Rzeszowa*, Tom I, Rzeszów 1994; J. Malczewski, *Zamek w Rzeszowie, jego otoczenie i właściciele*, Rzeszów 1995.

<sup>5</sup> J. Malczewski, *Zamek w Rzeszowie. Jego otoczenie i ..dz. cyt.*, przypis 82. Malczewski informuje nas o tym, że plany ze Zbiorów Czartoryskich (MNK), zespół „Materiały po Zygmuncie Hendlu”, sygn. III - 12649 - zostały sfotografowane w 1989 roku przez A. Hadałę i są przechowywane w archiwum Pracowni Fotograficznej Muzeum Okręgowego w Rzeszowie.

<sup>6</sup> K. Majewski, *Z badań nad sztuką Rzeszowa*, [w:] *Dzieje Rzeszowa*, Tom I, Rzeszów 1994, il. 99 i 103.



miejsce u progu XX stulecia. Przywoływana jest również inwentaryzacja Zamku jego autorstwa pogłębiona o elementy badań architektonicznych, która stanowi bodaj jedyny dokument umożliwiający analizę nieistniejącego już jednak obiektu – rozebranego na początku XX wieku.<sup>7</sup> Może to powodować pewien niedosyt – w spuściźnie krakowskiego architekta zachowały się bowiem liczne projekty przebudowy Zamku poczynając od drobnych rzutów poszczególnych kondygnacji, na projektach (w dwóch wariantach) fasady i poszczególnych elewacji skończywszy.<sup>8</sup>

Rzeszowski Zamek został wzniesiony w początkach XVII wieku przez Mikołaja Spytka Ligęzę. Po roku 1637 dalszą rozbudowę prowadził nowy właściciel zamku i Rzeszowa Jerzy Sebastian Lubomirski, a następnie jego syn, Hieronim Augustyn Lubomirski, za czasów którego zamek został przebudowany przez Tylmana z Gameren. Zgodnie z planami Tylmana zamek przekształcono w budowlę o czterech dwukondygnacyjnych skrzydłach, z piętrową, chronioną rawelinem bramą na osi skrzydła zachodniego. Zewnętrzne elewacje zostały wyposażone w trójkątne szczyty wieńczące skrajne i środkowe partie fasad. Były one zakończone od dołu boniowanymi pilastrami. Przy okazji przebudowy zlikwidowano narożną wieżę pochodzącą z czasów Ligęzy i znacznie zmodyfikowano zewnętrzne umocnienia.<sup>9</sup> Wygląd tyłmanowskiej budowli (z wieżą przebudowaną później wg projektu Wiedemanna) przedstawia Prospekt Rzeszowa z lat 1733-35 oraz lapidarny opis w inwentarzu zamku z 1722 roku.<sup>10</sup> Z całą pewnością dokumenty te analizował Zygmunt Hendel prowadząc badania architektoniczne zamku – jego niezrealizowane projekty zdradzają jednak usilną chęć odworowania wszystkich nawarstwień stylowych obiektu, także tych tyłmanowskich, do których należy arkadowa artykulacja wewnętrznego dziedzińca, trójkątne naczółki elewacji bocznych, boniowane naroża oraz szkarpy dodające bryle monumentalności.

W XVIII wieku kolejny z właścicieli zamku zainicjował jego wielką przebudowę, która wiąże się z osobą wspomnianego już Wiedemanna, wykształconego w zakresie ar-

---

<sup>7</sup> Inwentaryzacja Zamku w Rzeszowie, Zbiory Muzeum Narodowego w Krakowie, nr inw.: PL III - 649. Za: D. Czapczyńska i J. Janczykowski, *Zamek ...dz. cyt.*, s. 385, przypis 5. Co ciekawe obecnie sygnatura ta przyporządkowana jest następującemu projektowi: Z. Hendel, Rzeszów - Zamek Lubomirskich - Więzienie - Rzut II piętra, 1897 rok, 83.5 x 85 cm, papier, nr inw. MNK III-PL-649.

<sup>8</sup> Zbiory Muzeum Narodowego w Krakowie, Dział III: nry inw.: MNK III-PL-628; MNK III-PL-629; MNK III-PL-630; MNK III-PL-631; nr inw. MNK III-PL-632; nr inw. MNK III-PL-633; nr inw. MNK III-PL-634; MNK III-PL-635; MNK III-PL-636/2; MNK III-PL-636/3; MNK III-PL-637; MNK III-PL-639; MNK III-PL-640; MNK III-PL-641; MNK III-PL-642; MNK III-PL-643; MNK III-PL-644; MNK III-PL-645; MNK III-PL-646; MNK III-PL-647; MNK III-PL-649; MNK III-PL-5210.

<sup>9</sup> D. Czapczyńska, J. Janczykowski, *Zamek...dz. cyt.*, s. 388-390.

<sup>10</sup> Tamże, s. 989-390.

chitektury i inżynierii wojskowej w Drezdeńskim Korpusie Kadetów.<sup>11</sup> Wówczas rozpoczęto nadbudowę wieży o następną kondygnację oraz zwieńczono ją cebulastym hełmem<sup>12</sup>. Nadbudowana wieża jest widoczna na prospekcie namalowanym najprawdopodobniej przez Wiedemanna w 1733 r.<sup>13</sup>

W roku 1740 ukończono budowę kaplicy zamkowej p.w. św. Jerzego<sup>14</sup>. Jak wynika z zachowanego planu, usytuowano ją w południowo - wschodnim narożniku zamku i nakryto kopułą z latarnią – co z całym zacięciem historyka odtworzył ponad 200 lat później w swych projektach Z. Hendel.

W czasach zaborów zamek zmienił właściciela zamek i ostatecznie utracił funkcję rezydencji i stał się siedzibą sądów (obwodowego i kryminalnego) oraz więzienia. Wkrótce po przejściu kompleksu władze austriackie przeprowadziły prace remontowe i adaptacyjne na ogromną skalę mające na celu dostosowanie go do nowych zadań. Zniwelowano przedpiersie rawelinu i usypano dwie groble: pierwszą na miejscu zwodzonego mostu i drugą biegnącą równolegle do północnej kurtyny murów. Prace miały charakter doraźny i jednorazowy, skutkiem czego zamek szybko zaczął popadać w ruinę. Remont przeprowadzono dopiero po pożarze miasta w 1842, który w znacznym stopniu uszkodził także opisywany obiekt. Po pożodze obniżono wieżę bramną, która otrzymała nowe pokrycie – łudząco przypominające to, którym nakryta jest dzwonnica kościoła farnego w Rzeszowie. Najprawdopodobniej także dokonano wówczas nadbudowy zamku<sup>15</sup>. Do północnej kurtyny założenia dołączono trzykondygnacyjny budynek przeznaczony na więzienie.

Wykorzystanie zamku i rola poszczególnych pomieszczeń w tym okresie znane są dzięki zachowanemu planowi z 1882 roku.<sup>16</sup> Piętro w całości zajmował sąd obwodowy, natomiast parter stanowił zaplecze więzienia.

Kompleks powoli niszczał, nie dziwi więc zapis z 1890 w którym stwierdzono, że mury obronne otaczające zamek znajdują się „(...) w stanie wielkiego zaniedbania i należy im koniecznie pospieszyć z pomocą, aby je uchronić od zupełnej ruiny. Ówczesny konserwator zabytków Galicji Zachodniej, książę Sanguszko zwrócił się do pana prezydenta sądu, aby kazał pousuwać drzewa i trawy, które usadowiwszy się w szczelinach murów rozsadzają takowe.”<sup>17</sup>

---

<sup>11</sup> Zob.: K. Majewski, *Karol Henryk Wiedemann architekt Jerzego Ignacego Lubomirskiego*, [w:] *Architektura rezydencjonalna i obronna województwa rzeszowskiego*, Łańcut 1972.

<sup>12</sup> D. Czapczyńska, J. Janczykowski, dz. cyt., s. 388-390.

<sup>13</sup> Tryptyk z widokiem miasta Rzeszowa, pałacykiem i zamkiem z lat 1734-1735, zbiory Muzeum Okręgowego w Rzeszowie, sygn. MRH -2.

<sup>14</sup> K. Majewski, dz. cyt., s. 94, przypis 6.

<sup>15</sup> *Sprawozdanie z posiedzenia w dniu 28 X 1890 r.*, [w:] „Teka Konserwatorów Galicji Zachodniej”, T. I, s. 345.

<sup>16</sup> Rzut poziomy zamku sporządzony przez inżyniera budowlanego Wasilewskiego, aktualnie przechowywany jest w Muzeum Okręgowym w Rzeszowie.

<sup>17</sup> E. Świeykowski, *Sprawozdanie z wycieczki do Rzeszowa...*, [w:] „Sprawozdania Komisji do Badania Historii Sztuki w Polsce”, t. VIII, 1907, s. LXXXVII – CVI.

Grono konserwatorów Galicji Zachodniej zgodnie postanowiło wystosować petycję do Ministra Sprawiedliwości o fundusze na poczet restauracji warownych murów zamku, ale nie tylko te były w stanie katastrofalnym – sam obiekt również wymagał podjęcia zdecydowanych działań konserwatorskich. Remont zaczęto planować u schyłku XIX wieku – powierzając prace związane ze sporządzeniem inwentaryzacji obiektu, jego badań architektonicznych oraz sporządzeniem wstępnych projektów adaptacji zamku na więzienie, przewidujące m. in. jego nadbudowę o kolejną kondygnację - Zygmuntowi Hendlowi, który wykonał je na przestrzeni lat 1895–1897. Prace budowlane rozpoczęto pod jego nadzorem 1 maja 1902 według projektu budowniczego ze Lwowa Franciszka Skowrona.

Już w początkowej fazie prac zdecydowano się na wzniesienie zamku od nowa na rzucie prostokąta, zbliżonym jedynie do historycznego obrysu<sup>18</sup> Decyzja ta była podyktowana fatalnym stanem zarówno fundamentów jak i murów obiektu.

Nowy projekt autorstwa Franciszka Skowrona nawiązywał do XVIII-wiecznej formy zamku znanej z widoków K.H. Wiedemanna – trzeba jednak zaznaczyć stanowczo – że nie było to nawiązanie historycznie ścisłe, a jedynie swobodna parafraza, która jedynie w niektórych szczegółach powtarzała XVIII – wieczne projekty. Takim momentem była wieża bramna. Postawiono czteroskrzydłowy, trzypiętrowy gmach z wewnętrznym dziedzińcem. Zachowano wspomnianą wieżę, która została nadbudowana do pięciu pięter i zwieńczona barokowym hełmem na wzór wiedemannowskiego. Przebudowa objęła także mury, ale zdaniem Hendla została przeprowadzona w naganny sposób: „(...) *cała więc obecna restauracja murów – pisze wytrawny konserwator z afektem - utrwaliła jedynie dobrze substrykcyjne mury po gzyms, zniszczyła jednak i zdeformowała całą górną część murów obronnych. Wszakże można było zostawić resztki wieżyczki, stare wały, jakie dochowały do naszych czasów i byłyby przetrwały jeszcze wieki i pozostały zabytkiem naszej fortyfikacji.*”<sup>19</sup>

Kurtynowy mur zachował jednak styl staroholenderski. W jego narożnikach poznaczono cztery bastiony: św. Franciszka (północno-zachodni), św. Andrzeja (północno-wschodni), św. Hieronima (południowo-wschodni) i św. Marii (południowo-zachodni). Na narożach bastionów zachowano również kamienne wieżyczki z 1746 roku. Prace budowlane zakończyły się w 1906 roku – rok po tym jak Zygmunt Hendel objął kierownictwo prac na Wawelu.

Nowy zamek miał pełnić przede wszystkim rolę sądu – projekt F. Skowrona zdradza funkcjonalne podejście do tej kwestii. Świadczą o tym choćby szerokie korytarze ułatwiające eskortowanie więźniów.

---

<sup>18</sup> Poświęcenie nowego gmachu sądowego, „Głos Rzeszowski”, R. 10, 1906, nr 4, s. 1.

<sup>19</sup> Zbiory Muzeum Narodowego w Krakowie, zespół „Materiały po Zygmuncie Hendlu”, notka spisana podczas pobytu w Rzeszowie 14 listopada 1905 r.; za: J. Malczewski, dz. cyt., s. 41, przypis 86.

### 3 PROJEKTY PRZYSTOSOWANIA ZAMKU DO POTRZEB WIEZIENICTWA AUTORSTWA Z. HENDLA - ANALIZA

Powierzenie prac projektowych Z. Hendlowi było spójne z pierwotną koncepcją, zakładającą jedynie nadbudowę piętra w historycznym gmachu. Hendel był bowiem gwarancją na przeprowadzenia rozbudowy w sposób rzetelny i naukowo poprawny, dążący do zachowania nawarstwień stylowych i szacunku dla substancji zabytkowej. W jego pracach przy obiektach zabytkowych przeważał kierunek restauracji, przy dość szerokim zróżnicowaniu rodzaju i stopnia ingerencji, z przewagą powściągliwych, ograniczonych uzupełnień substancji zabytkowej (poddanej zabiegom konserwatorskim na miarę ówczesnego stanu wiedzy i rozwoju technologii).

Jak wiemy pierwotna koncepcja – polegająca na restauracji zamku uległa zmianie, o czy dowiadujemy się z przemowy z okazji oddania nowego obiektu na jego siedzibę, wygłoszonej przez Radcę Dworu, Prezydenta Sądu w Rzeszowie p. Łukaszewskiego, która przytacza „Głos Rzeszowski”: „(...) *Stare zamczysko* – mówił w tym uroczystym dniu Prezydent Sądu – *służyło przez długie lata na siedzibę władz sądowych uległo tak zniszczeniu, a również okazało się tak szczupłe, że niezbędną rzeczą było pomyśleć o naprawie złego. Pierwotnym zamiarem rządu było postawić na starym, piętrowym budynku drugie jeszcze piętro, dla [przez ?- dopisek B. J.] konserwatorów, uczyniono to, że miał być zachowany styl dawnego dachu mansardowego. Dach taki znajduje się jeszcze na dawnym teatryku Lubomirskich, obecnie Kostheimowka zwanym. Przy rozbieraniu murów okazało się, że mury te stanowią prawdziwe rzeszoto, zaś fundamenty ich nie były w stanie wytrzymać budowy drugiego piętra. Od tej chwili należało się starać przede wszystkim, aby rząd nie odstąpił od zamiaru budowy sądu na miejscu starego zamczyska i aby nie zakupił w celu nowej budowy, którego z oferowanych mu placów, gdyż w takim razie obróciłaby się w niwecz idea przywrócenia tej części miasta jej historycznego wyglądu.*”<sup>20</sup> Potwierdzają to słowa przemawiającego z tej samej okazji inż. Rogozińskiego (zaszczyt ten przypadł mu w udziale w zastępstwie Ministerialnego Radcy Budownictwa, a zarazem autora planów nowego budynku sądu – F. Skowrona). Rogoziński ujmuje rzecz sugestywniej mówiąc: „(...) *że dopiero kiedy się przekonano, że staruszkowi odmawiają posłuszeństwa nogi t.j. fundamenty postanowiono przystąpić do zupełnie nowej budowy. W tej pracy głównym czynnikiem popierającym ideę wybudowania nowego sądu we formie zbliżonej ile możliwości najwięcej do kształtu starego zamczyska Lubomirskich był radca dworu p. Łukaszewski*”.<sup>21</sup> To zapewne dzięki jego lwowskim koneksjom architektem nowych planów został Ministerialny Radca Budownictwa Franciszek Skowron.

Pokłosie tym zmieniających się koncepcji stanowią niezrealizowane projekty Hendla, dotyczące adaptacji Zamku w Rzeszowie na więzienie, które można podzielić na trzy grupy. Pierwszą, najważniejszą kategorię stanowią widoki ogólne poszczególnych elewacji oraz widoki ogólne obiektu. Do tej kategorii należy: widok główny z 1897 roku o wymiarach 55.8 x 80 cm, oznaczony sygnaturą MNK III-PL-628. Jest to – podobnie jak reprodukowany przez K. Majewskiego - projekt wstępny, pochodzący z okresu, w którym

<sup>20</sup> *Poświęcenie nowego gmachu sądowego ...dz. cyt., s. 1.*

<sup>21</sup> *Tamże.*

nie podjęto decyzji o nadbudowie trzeciej kondygnacji. Pomimo tego jednak, że zrzęb bryły architektonicznej powiela w znacznej mierze reprodukowany we wspomnianym artykule K. Majewskiego projekt pochodzący ze zbiorów Instytutu Sztuki PAN, różni się od niego w kilku zasadniczych szczegółach - co jest dowodem na ewolucję koncepcji architekta.<sup>22</sup> Cechą obu projektu jest odtworzenie wiedemannowskiej wieży na osi fasady zachodniej - przy czym na projekcie ze zbiorów MNK odmiennie rozwiązano partię jej parteru. Odrzwia w tym przypadku flankowane są przez parę pilastrów zdających się podtrzymywać balkonik umieszczony nad otworem drzwiowym. Różni się także dekoracja lunety usytuowanej na osi, ponad którą umieszczono smukły cebulasty hełm z iglicą - identyczny w obu projektach. Ryzality boczne, w obu przypadkach boniowane na narożach, posiadają w opisywanym projekcie otwory okienne obramowane opaskami z uszakami, zwieńczone gzymсами oraz flankowane pilastrami - tych rozwiązań próżno szukać w projekcie ze zbiorów PAN. Czteropółaciowe dachy na projekcie ze zbiorów MNK są wyższe niż na projekcie reprodukowanym przez Majewskiego, posiadają także lukarny o zupełnie odmiennym kształcie. Ciekawym elementem projektu o sygnaturze MNK III - PL 628 jest zarys narożnej wieży krytej stożkowym (?) hełmem, które to rozwiązanie może stanowić próbę nawiązania do architektury zamku z czasów poprzedzających przebudowę wg projektów Tylmana z Gameren, w trakcie której rozebrano narożną wieżę pochodzącą z czasów Ligęzy. Niezmiennie pozostają przypory nadające bryle monumentalny charakter - również efekt studiów architektonicznych Hendla prowadzonych przy obiekcie. Przypory konsekwentnie będą powtarzane w późniejszych projektach - także na tym, który obrazuje obiekt z nadbudowanym kolejnym piętrem fasady zachodniej o sygnaturze MNK III-PL-644. Plan pochodzi z 1897 roku, posiada wymiary 52 x 51.7 cm i został wykonany farbą na papierze.

Projekt ten jest niezwykle interesujący i różny od dzisiejszego kształtu obiektu. W tym przypadku całość założenia na planie czworoboku kryje mansardowy dach z okrągłymi oknami mansardowymi, z wyłączeniem partii ryzalitów bocznych gdzie występuje dach mansardowy z uskokowymi naczółkami oraz południowo - wschodniego narożnika przykrytego kopułą z latarnią. Ten element bryły architektonicznej (kopuła wieńcząca kaplicę wzniesioną wg projektu Wiedemanna) jest kolejnym retrospektywnym rozwiązaniem występującym w projektach krakowskiego architekta - świadczącym o tym, jak wielkie znaczenie miały dla niego nawarstwienia stylowe oraz kwestia ich zachowania. Projekt o sygnaturze MNK III - PL 645 (51.4 x 52 cm, farba, papier) - ukazujący widok zamku od strony północnej - jest rozwinięciem tej koncepcji. Na nim również widać wspomnianą kopułę oraz charakterystyczne, trójkątne naczółki zredukowanych do partii dachu - będące swoistą parafrazą tylmanowskich naczółków ryzalitów bocznych elewacji.

Trójkątne naczółki w formie stosunkowo niewiele przetworzonej ukazują projekty kompatybilne z projektem o sygnaturze MNK III - PL 628, będące jego rozwinięciem i uzupełnieniem. Jest to projekt przedstawiający elewację skrzydła bocznego z 1897 roku

---

<sup>22</sup> W tym miejscu należy wymienić bliźniaczy projekt (nie dokończony jednakże) z 1897 roku (60 x 80,3, papier) o numerze MNK III-PL-634/1.

(29,7 x 56, papier) o sygnaturze MNK III-PL-631 oraz projekt elewacji południowa i „fasada podworca” (17,8 x 35,5 cm, kalka) o sygnaturze MNK III-PL-636/2.

Kolejnym z tej kategorii projektów jest projekt ukazujący widok skrzydła pałacu od strony dziedzińca, pochodzący z 1897 roku (27 x 49,8 cm, kalka) o numerze inwentaryzacyjnym MNK III-PL 629. Najważniejszą jego cechą jest próba odtworzenia rytmu artykulacji arkadowej w partii parteru dziedzińca zamkowego – kolejne już nawiązanie do historycznego kształtu obiektu.

Pozostałe projekty widoków ogólnych powielają dwie wyżej wymienione koncepcje.<sup>23</sup>

Kolejną kategorię stanowią rzuty poszczególnych kondygnacji oraz przekroje świadczące o stopniu zaawansowania prac nad projektem przebudowy, co wydaje się stać w opozycji do stwierdzenia, że projekt Hendla był tylko i wyłącznie „wstępnym projektem”. Do tej grupy należą projekty i rzuty poszczególnych kondygnacji.

Wszystkie kondygnacje posiadają układ dwutraktowy - i tak zaczynając od suterenu w pierwszym rzędzie należy opisać projekt przystosowania zamku do celów sądownictwa pochodzący także z 1897 roku, przedstawiający rzut suterenu (51,8 x 52 cm, farba, tusz, papier) o numerze inwentaryzacyjnym MNK III-PL-641.

W przypadku rzutu suterenu Hendel opisał jedynie przeznaczenie pomieszczeń znajdujących się we wschodnim i północnym skrzydle zamku. Skrzydło północne według zamysłu krakowskiego architekta miało być przeznaczone na piwnice, przy czym należy zauważyć, że są to pomieszczenia o zróżnicowanych wymiarach. Inaczej rzecz się przedstawia w przypadku skrzydła wschodniego – gdzie umieszczono pomieszczenia gospodarcze o różnym przeznaczeniu. I tak od strony północnej poczynając miały się tam znaleźć: skład drzewa, piekarnia, pralnia, magiel, desinfekt, pracownia oraz łazienka.

Dwa plany parteru : plan parteru z 1897 roku (89,6 x 84,5 cm, tusz, papier) o numerze inwentaryzacyjnym MNK III-PL-633 oraz rzut parteru z 1897 roku (51,5 x 52 cm, farba) o numerze inwentaryzacyjnym MNK III-PL-640 - ukazują podobną, jeśli nie większą precyzję w projektowaniu przestrzeni wewnętrznej obiektu.

I tak najważniejsze, zachodnie skrzydło zamku zostało zaadoptowane na (patrząc od strony południowej) na: buro [nieczytelne słowo] i doręcznię, pomieszczenie dla sędziego – (gabinet ?), kancelarię, salę rozpraw, [nieczytelne] pod sąd powiatowy, gabinet (zapewne kolejnego sędziego), salę rozpraw dla spraw cywilnych, kancelarię i gabinet Naczelnika Sądu. Część z tych pomieszczeń występuje w trakcie amfiladowym – czemu trudno się dziwić, po modernizacji wiedemannowskiej obiekt uzyskał wszak kształt założeń

---

<sup>23</sup> Widok elewacji wschodniej; 1897, 76,5 x 102,5, papier, nr inw. MNK III-PL-635; Przystosowanie zamku do celów sądownictwa (plany z roku 1897) - Widok od wschodu, 51,8 x 52 cm, farba, nr inw. MNK III-PL-639; Więzienie - Widok skrzydła zamku (bez zadaszenia) od strony dziedzińca, ze skrzydłem po lewej w przekroju porzecznym, 1897 rok, 63,8 x 106 cm, tusz, papier, nr inw. MNK III-PL-647.

nia barokowego – a wspomniane rozwiązanie jest charakterystyczne dla barokowych siedzib pałacowych (i nie tylko).

Skrzydło północne zostało zaadoptowane w następujący sposób (patrząc od zachodu): narożne pomieszczenie – wspomniany gabinet Naczelnika Sądu, gabinet Naczelnika Kancelarii i Ksiąg pieniężnych, dwa po sobie następujące pokoje (gabinety) sędziów, kancelaria, ponownie gabinet sędziego, sala rozpraw spraw cywilnych oraz ciąg pomieszczeń o przeznaczeniu mieszkalnym.

Skrzydło wschodnie według planu miało mieścić (patrząc od strony północnej): mieszkanie – przeznaczone zapewne dla lekarza więziennego, strażnicę, dwie kolejno po sobie usytuowane kaźnie, klatkę schodową z dwubiegowymi schodami, kolejną kaźnię, umywal[nie?], kuchnię więzienną, areszt bądź arsenał [nieczytelne słowo], kolejną już kancelarię, pomieszczenie dla zarządu oraz pomieszczenie narożne przeznaczone dla strażników więziennych.

Ostatnie skrzydło – południowe – zostało zaaranżowane w następujący sposób (patrząc od wschodu): narożne, wspomniane już pomieszczenie dla strażników więziennych, które połączone zostało z usytuowanym dalej mieszkaniem poprzedzonym przedpokojem, klatka schodowa mieszcząca jednobiegowe schody, pomieszczenie – w którym miały być przechowywane księgi sądowe, pokój sędziego, następna kancelaria, gabinet sędziego oraz pokoje i gabinety o nieznanym przeznaczeniu [nieczytelne opisy].

Równie wnikliwie Hendel zajął się opisem przystosowania dla potrzeb sądownictwa I piętra, co dokumentują 2 zachowane plany: Przystosowanie zamku do celów sądownictwa (plany z roku 1897) – Plan I piętra (51.5 x 52 cm, farba, papier) o numerze inwentaryzacyjnym MNK III-PL-642 oraz Plan I piętra, 1897 (84,5 x 89,5, papier) o numerze MNK III-PL-632. Pierwszy z planów opisany został z wyjątkową starannością, a jego najciekawszym momentem jest umieszczony w partii wieży na tej kondygnacji, wieloboczny gabinet prezydenta sądu. Również i na tym projekcie widzimy dokładnie opisane przeznaczenia kolejnych pomieszczeń każdego ze skrzydeł, przy czym gro z nich to gabinety sędziowskie, kancelarie, pokoje adwokatów i sale rozpraw.

Podobnie wygląda aranżacja przestrzenna II piętra – przy czym w miejscu gabinetu prezydenckiego I piętra, znajdujemy tu gabinet przeznaczony dla wiceprezydenta sądu. Powyższe dokumentują dwa zachowane plany (a zwłaszcza drugi z nich): Przystosowanie zamku do celów sądownictwa (plany z roku 1897) – Plan II piętra (51.2 x 52 cm, farba, papier) o numerze inw. MNK III-PL-643 oraz: Więzienie – Rzut II piętra, 1897 rok (83.5 x 85 cm, papier) o numerze inw. MNK III-PL-649.

Plany poszczególnych kondygnacji zamyka projekt przystosowania zamku do celów sądownictwa (plany z roku 1897) – 3 rys.: „Wieżba dachu”; „Piętro 5”/wieży/; „Piętro 6” /wieży/, (51 x 58.2 cm, techniki fotograficzne, papier) o numerze inw. MNK III-PL-646.<sup>24</sup>

---

<sup>24</sup> Do tej kategorii częściowo należą również projekty: 3 rys.: widok elewacji wschodniej; rzut – „Rzut poziomy”; Szkic okna strychu z 1897 roku (76,5 x 102,5), papier, nr inw. MNK III-PL-635; więzienie. 10 rys.: widok ściany, rzut połowy sufitu, przekrój

Ostatnia kategoria projektów Hendla dotyczących przystosowania zamku Lubomirskich na więzienie, to rysunki architektoniczne poszczególnych detali: szczegół elewacji pałacu od strony dziedzińca, (22,3 x 49,6 cm, kalka), nr inw. MNK III-PL-5210; szczegół elewacji skrzydła od strony dziedzińca ściany I i II- piętra - (odwrocie) jak wyżej; szczegół skrzydła pałacu fragment kondygnacji I i II-piętra z 1897 roku, (49,7 x 59,7, kalka), nr inw. MNK III-PL-630; szczegół fasady podworca (fragment skrzydła zamku od strony dziedzińca wewnętrznego, (42.8 x 24.7 cm, kalka), nr inw. MNK III-PL-636/3. Wszystkie z tych projektów są dowodem na ogrom pracy Hendla przy projektowaniu przekształcenia zamku dla potrzeb więziennictwa.

#### 4. PODSUMOWANIE

Odpowiedź na pytanie o to, dlaczego projekty Hendla nie doczekały się realizacji, wydaje się być prostą – były to projekty adoptujące już istniejący obiekt dla potrzeb sądownictwa – nie zaś projekty budowy zupełnie nowego gmachu. Ich realizację zlecono F. Skowronowi – Rządowemu Radcy Budownictwa - ponieważ Zygmunt Hendel był w owym czasie tak obłożony zleceniami - że ich sporządzenie, nawet biorąc pod uwagę niezwykłą energię i płodność tego architekta, byłaby fizyczną niemożliwością.

Jest faktem bezspornym, że zachowane w spuściźnie po krakowskim architekcie i konserwatorze projekty adaptacji rzeszowskiego zamku dla potrzeb więziennictwa, znajdujące się w zasobie Działu III Muzeum Narodowego w Krakowie, odznaczają się usiłowaniami zachowania ocalałej substancji zabytkowej oraz chęcią „wskrzeszenia” historycznych nawarstwień stylowych.

#### 5. LITERATURA

- [1] Czapczyńska D. i Janczykowski J., *Zamek w Rzeszowie*, [w:] *Dzieje Rzeszowa*, Tom I, Rzeszów 1994.
- [2] Majewski K., *Karol Henryk Wiedemann architekt Jerzego Ignacego Lubomirskiego*, [w:] *Architektura rezydencjonalna i obronna województwa rzeszowskiego*, Łańcut 1972.
- [3] Majewski K., *Z badań nad sztuką Rzeszowa*, [w:] *Dzieje Rzeszowa*, Tom I, Rzeszów 1994.
- [4] Malczewki J., *Zamek w Rzeszowie, jego otoczenie i właściciele*, Rzeszów 1995.
- [5] *Poświęcenie nowego gmachu sądowego*, „Głos Rzeszowski”, R. 10, 1906, nr 4.
- [6] *Sprawozdanie z posiedzenia w dniu 28 X 1890 r.*, [w:] „Teka Konserwatorów Galicji Zachodniej”, T. I.
- [7] Stępień P. M., *Hendel Zygmunt*, [w:] *Polski słownik biograficzny konserwatorów zabytków*, red. Henryk Kondziela, Hanna Krzyżanowska, z. 2, Poznań, Wydaw. Poznańskie 2006.

---

poprzeczny sali, rzut sali, szczegół dekoracji, szkice detali architektonicznych, 1897 rok, (67,3 x 65,7, papier), nr inw. MNK III-PL-637.



- [8] Świeykowski E., *Sprawozdanie z wycieczki do Rzeszowa...*, [w:] „Sprawozdania Komisji do Badania Historii Sztuki w Polsce”, t. VIII, 1907.
- [9] *Zamek Lubomirskich w Rzeszowie (skrócone studium)*, A. Ważny, mps, PZK O/Rzeszów, 1982.

**ZYGMUNT HENDEL AND HIS UNREALIZED PROJECTS OF  
ADAPTING THE LUBOMIRSKI CASTLE IN RZESZÓW TO A PRISON  
AND LAW COURT.**

SUMMARY

Zygmunt Hendel was one of the most prominent Polish art restorers living at the turn of the 20th century as well as a distinguished architect and theorist. However, his lifetime achievements have not been fully studied yet. The following article is devoted to his unrealized projects of adapting the Lubomirski Castle in Rzeszów to a prison and law court, which were drawn up in the initial phase of the works. The paper is aimed to complete the knowledge concerning the figure of this Krakow architect and art restorer.



**Galina KALDA, prof. dr hab. inż.**  
**Katarzyna PIETRUCHA-URBANIK, mgr inż.**  
**Andrzej STUDZIŃSKI, dr inż.**

Politechnika Rzeszowska  
Katedra Zaopatrzenia w Wodę i Odprowadzania Ścieków  
al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów  
e-mail: galynakald@prz.edu.pl, kpiet@prz.edu.pl, astud@prz.edu.pl

## **MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA OGNIW FOTOWOLTAICZNYCH W BUDOWNICTWIE**

### **STRESZCZENIE**

W pracy przedstawiono skład systemu wolnostojącego zasilającego w prąd, system fotowoltaiki zintegrowanej z budownictwem, rynek ogniw fotowoltaicznych w Polsce i na świecie. Omówiono korzyści płynące z fotowoltaiki i opłacalność ogniw fotowoltaicznych

### **1. WPROWADZENIE**

Podczas projektowania wykorzystania alternatywnych źródeł energii trzeba wziąć pod uwagę nie tylko aspekty ekologiczne, ale również funkcjonalność związaną z ekonomią. Dobrym rozwiązaniem do połączenia tych dwóch cech mogą być ogniwa fotowoltaiczne, które służą do produkcji energii elektrycznej z promieniowania słonecznego. Ogniwa te jeszcze w chwili obecnej mają stosunkowo niedużą wydajność, która jednak dzięki rozwojowi technologii ciągle rośnie. Układy fotowoltaiczne można stosować do zasilania małej instalacji elektrycznej w miejscu, gdzie nie ma dostępu do sieci energetycznej (np. z dala od zabudowań), lub w miastach czy wsiach - gdzie doprowadzenie sieci konwencjonalnej jest kosztowne. Wykorzystanie ogniw fotowoltaicznych w dzisiejszych czasach ciągle rośnie, stosowane są np. do oświetlenia ulic, zasilania telefonów alarmowych, oświetlenia drogowych drogowskazów na drogach itp. Bardzo dużą zaletą stosowania tych układów jest to, że podczas pracy praktycznie nie emitują żadnych zanieczyszczeń. Często np. w oświetleniu drogowym ogniwa fotowoltaiczne są połączone hybrydowo z turbinami wiatrowymi połączonymi z wytwornicą prądu (prądnicą). Idea takiego układu polega na tym, że w przypadku pochmurnego dnia i przy odpowiednio dużym wietrze bateria jest

ładowana za pomocą turbiny wiatrowej. Taka mini elektrownia wiatrowa może również produkować prąd w nocy podczas występowania wiatru. W starszych układach fotowoltaicznych panele słoneczne były montowane na stałe, bez możliwości samoczynnego obrotu. System taki pomimo swojej prostoty nie gwarantował dużej efektywności wykorzystania promieniowania słonecznego, ponieważ kąt padania promieni słonecznych na panel ciągle ulegał zmianie. Obecnie coraz częściej można spotkać panele słoneczne, które są wyposażone w silniki sterowane komputerem. Zasada działania takiego układu polega na tym, że komputer przy pomocy specjalnego programu rozpoznaje położenie słońca względem panelu i po obliczeniach, za pomocą silników obraca go pod takim kątem, aby efektywność wykorzystania promieni słonecznych była jak największa. Poprzez stosowanie układów fotowoltaicznych z ruchomymi panelami ich wydajność może wzrosnąć nawet o ok. 35%.

## 2. SKŁAD SYSTEMU WOLNOSTOJĄCEGO

W skład systemu wolnostojącego wchodzi:

- panel słoneczny (moduł PV),
- akumulator - o pojemności zapewniającej dostarczenie energii w dzień i nocy oraz w okresie złej pogody, najczęściej na 2-4 dni,
- kontroler ładowania akumulatora - chroni akumulator przed przeładowaniem lub zbyt głębokim rozładowaniem, kontroluje stopień naładowania akumulatora i odłącza panel,
- inwerter - instalowany opcjonalnie, jeśli układ ma zasilать odbiorniki prądu zmiennego.

Systemy autonomiczne bazujące na ogniach fotowoltaicznych są przede wszystkim użyteczne w miejscach oddalonych od sieci energetycznych oraz w trudnych warunkach transportu wodnego, służą do zasilania znaków i świateł ostrzegawczych na morzach oraz szlakach śródlądowych oraz stosowane są w zasilaniu w energię elektryczną jachtów [4].

### 3.1. Systemy BIPV (Fotowoltaika Zintegrowana z Budownictwem)

Budownictwo może być jednym z beneficjentów fotowoltaiki. Znalazło to swoje odzwierciedlenie w grupie rozwiązań fotowoltaiki związanej z budownictwem, znanej jako Building Integrated Photovoltaics (BIPV) [2].

Fotowoltaika Zintegrowana z Budownictwem ma bardzo dużo zalet [1]:

- pozwala na bezpośrednie połączenie budynku ze źródłem zasilania oraz na dobór wielkości instalacji w zależności od wielkości budynku,
- może zastąpić niektóre materiały budowlane,
- charakteryzuje ją duża wytrzymałość oraz estetyka.

Ogniwa fotowoltaiczne dostarczają energię elektryczną, która może być wykorzystana bezpośrednio na miejscu lub może być też przekazana do sieci elektrycznej [5].

Wybór modułu fotowoltaicznego w technologii BIPV zależy od funkcji, jaką musi spełnić, oraz miejsca instalacji. Zastosowanie grubowarstwowych paneli słonecznych eliminuje konieczność użycia dodatkowych materiałów kryjących.

Ogniwa cienkowarstwowe stosowane są natomiast w przypadku, gdy niewskazane jest całkowite zaciemnienie.

Ogniwa fotowoltaiczne znalazły również zastosowanie jako bezszwowe pokrycia dachowe, szklane systemy elewacyjne oraz elewacyjne elementy okładzinowe [3].

Na duże perspektywy w stosowaniu fotowoltaiki zintegrowanej z budownictwem niewątpliwie wpływa powierzchnia, uzysk energetyczny, właściwości estetyczne oraz możliwość stosowania ogniw fotowoltaicznych ze szkłem. W takim przypadku spełniają szereg wymagań dotyczących atrakcyjności wizualnej, odpowiedniego zaciemnienia lub doświetlenia budynku, izolacji termicznej, naturalnej i wymuszonej wentylacji oraz ochrony przed wpływem zewnętrznych warunków atmosferycznych. Aktualnie, rosnące zapotrzebowanie energetyczne budynków wpływa na konieczność stosowania fasad budynków, które będą brały czynny udział w produkcji energii elektrycznej, co można osiągnąć poprzez połączenie szkła z fotowoltaiczną warstwą aktywną [2].

### 3.2. Elektrownie fotowoltaiczne

Helioelektrownie wykorzystują procesy fotowoltaicznej i fototermicznej konwersji energii. W elektrowniach fotowoltaicznych konwersja energii zachodzi bezpośrednio w ogniwie fotowoltaicznym, natomiast w fototermicznych - pośrednio: promieniowanie słoneczne przetwarzane jest na ciepło, a ciepło na energię elektryczną.

Rodzaje elektrowni fototermicznych:

- CRS (z ang. *Central Receiver System*). Promienie słoneczne za pomocą heliostatów kierowane są na absorber znajdujący się na wysokiej konstrukcji. Absorber może nagrzewać się do 1000°C.
- DSS (ang. *Distributed Solar System*). Promienie kierowane na adsorber w kształcie rury, wypełnionej czynnikiem, który osiąga temperaturę poniżej 400°C.
- Helioelektrownia z silnikiem cieplnym - Stirlinga. Promienie słoneczne kierowane są na paraboliczne wklęsłe zwierciadło, w ognisku którego umieszczony jest adsorber nagrzewany nawet do 750°C.

Słoneczne elektrownie ciepłe powinny być budowane na obszarach umożliwiających wykorzystania maksymalnej mocy - przynajmniej 2000 godzin na rok.

### 3. OPLACALNOŚĆ STOSOWANIA OGNIW FOTOWOLTAICZNYCH

Miarami opłacalności stosowania ogniw fotowoltaicznych są:

- zwrot energii zainwestowanej: wskaźnik EROEI (z ang. *Energy Return on Energy Invested*) lub EROI (z ang. *Energy Return On Investment*). Jest to iloraz energii zainwestowanej do nakładu energii poświęconego danemu źródłu energii,
- wskaźnik energii otrzymanej: Net Energy Gain (z ang. *NEG*), oznacza różnicę pomiędzy energią zainwestowaną, a otrzymaną.

Większość pozyskiwanej energii w chwili obecnej pochodzi z paliw kopalnych takich jak węgiel, ropa naftowa czy gaz ziemny, których odkryte złoża ulegają w mniejszym lub większym stopniu sukcesywnemu wyczerpywaniu. Z drugiej jednak strony, jak pokazują najnowsze prognozy, zapotrzebowanie na energię w skali globalnej ciągle rośnie i według szacunków w roku 2030 będziemy zużywać o ok. 60% energii więcej niż obecnie. Bez wątpienia ciągły wzrost zapotrzebowania na energię przy systematycznie zmniejszają-

cych się źródłach konwencjonalnych jej pozyskiwania spowoduje, że ceny energii będą stale rosnać.

#### 4. PODSUMOWANIE

Ogniwa fotowoltaiczne poprzez swoją stosunkowo prostą konstrukcję mogą być montowane w różnych miejscach. Podstawowym warunkiem jest to, aby miejsce instalacji było dobrze nasłonecznione. Dynamiczny rozwój rynku ogniw fotowoltaicznych spowodował powstanie tzw. technologii BIPV - fotowoltaika zintegrowana z budownictwem. Technologia ta polega na tym, że niektóre elementy konstrukcji budynku (np. elewacje ścian, poszycie dachów) wykonane są z paneli słonecznych. Dzięki temu można zyskać bardzo dużą powierzchnię, która „wyłapuje” promieniowanie słoneczne. W Polsce stosowanie ogniw fotowoltaicznych ciągle utrudnione jest aspektami formalno-prawnymi. Sprawia to, że stosowanie tego typu ogniw w naszym kraju w porównaniu z innymi krajami - chociażby z Unii Europejskiej - jest ciągle małe. Trzeba więc - mając na uwadze nie tylko względy ekonomiczne, ale i ekologiczne - dołożyć wszelkich starań do usunięcia przeszkód prawnych stojących na drodze rozwoju rynku ogniw fotowoltaicznych. Zyskają na tym wszyscy, nie tylko pod względem finansowym, ale przede wszystkim ekologicznym - poprzez zmniejszenie emisji szkodliwych związków, które emitują konwencjonalne źródła wytwarzania energii elektrycznej.

#### 5. LITERATURA

- [1] <http://www.solar-bin.pl/?c=mdTresc-cmPokaz-38>.
- [2] Kosk J., Makowska M., Godlewski J.; *Ogniwa fotowoltaiczne jako generatory energii i elementy architektury*. Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej nr 47. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2008.
- [3] Pietruszko M.; *Światowy rynek fotowoltaiki*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2009.
- [4] Pluta Z.; *Słoneczne instalacje energetyczne*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2003.
- [5] Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. Prawo energetyczne. Dz.U. 1997, nr 54, poz. 348.

### POSSIBILITIES FOR USING PHOTOVOLTAIC LAMPS IN BUILDING

#### SUMMARY

In the work a composition of the standalone system supplying the electricity was described, also photovoltaic system integrated with building construction, market of photovoltaic in Poland and in the world. Benefits and profitability of photovoltaic cells were discussed.

**Galina KALDA, prof. dr hab. inż.**  
**Katarzyna PIETRUCHA-URBANIK, mgr inż.**  
**Andrzej STUDZIŃSKI, dr inż.**

Politechnika Rzeszowska  
Katedra Zaopatrzenia w Wodę i Odprowadzania Ścieków  
al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów  
e-mail: galynakald@prz.edu.pl, kpiet@prz.edu.pl, astud@prz.edu.pl

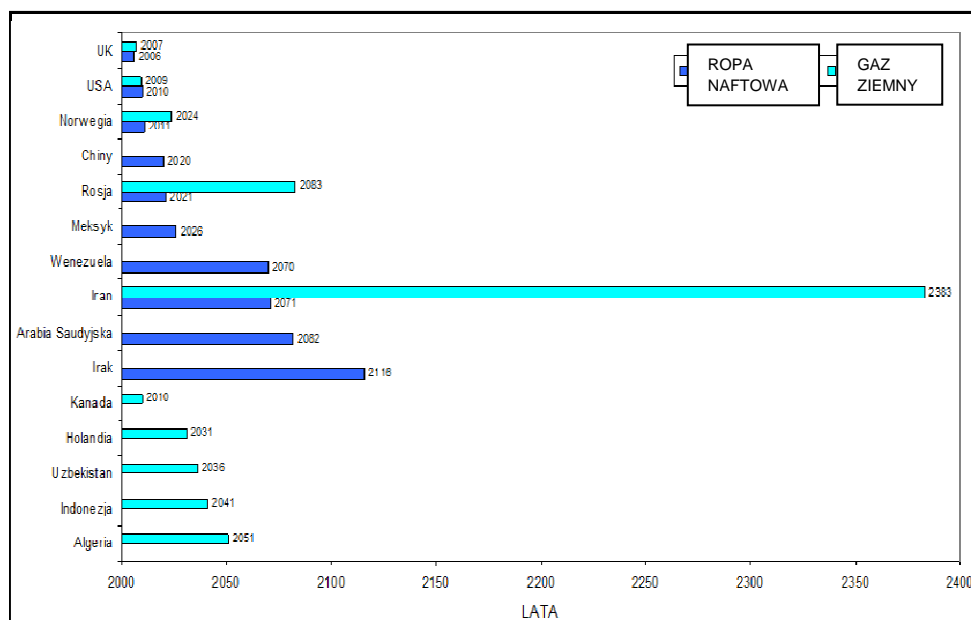
## **MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA POWIETRZNYCH KOLEKTORÓW SŁONECZNYCH W GOSPODARCE POLSKIEJ**

### **STRESZCZENIE**

W pracy przedstawiono zastosowanie powietrznych kolektorów słonecznych do suszenia płodów rolnych, do podgrzewania szklarni i tuneli foliowych, do ogrzewania hal i magazynów. W artykule opisano organizację i perspektywy rozwoju rynku kolektorów słonecznych w Polsce oraz możliwości wsparcia finansowego inwestorów budujących instalacje słoneczne.

### **1. WPROWADZENIE**

Obecnie zużycie energii na całym świecie rośnie w bardzo drastycznym tempie. Coraz więcej energii potrzebują zarówno odbiorcy przemysłowi, jak i indywidualni. Niestety większość energii użytecznej w tej chwili pozyskiwana jest z paliw kopalnianych, których zasoby zaczynają się systematycznie wyczerpywać, np. ropa naftowa i gaz ziemny, które są najczęściej wykorzystywane przez gospodarstwa domowe, jak i przemysł (rys.1).



Rys. 1. Prognoza wyczerpania odkrytych złóż ropy naftowej i gazu ziemnego w wybranych państwach świata [7]

Fig. 1. Forecast of using up discovered deposits of petroleum and natural gas in chosen world countries [7]

Dodatkowo wzrost wydobycia i zużycia tych paliw w coraz większym stopniu negatywnie wpływa na środowisko naturalne. Dlatego, też coraz więcej państw w swojej polityce dużo uwagi poświęca na pozyskiwanie energii ze źródeł odnawialnych. Wiele krajów w swoich długookresowych planach zakłada w swoich bilansach energetycznych coraz większy udział wykorzystywanej energii, pochodzącej ze źródeł odnawialnych (rys. 2).

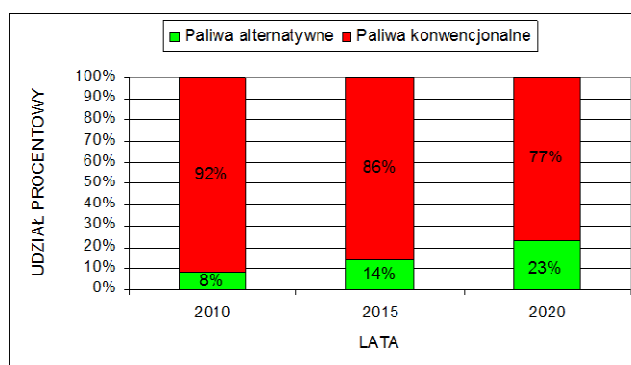
Zwiększone zainteresowanie paliwami pochodzącymi ze źródeł odnawialnych wynika nie tylko z aspektów ekologicznych, ale też z ekonomicznych. Rozwój technologii pozyskiwania energii ze źródeł odnawialnych, który w znacznym stopniu przyspieszył w 70 latach XX wieku, spowodował, że energia ze źródeł niekonwencjonalnych staje się coraz tańsza i łatwiejsza do pozyskania bez ingerencji w środowisko naturalne. Źródłami energii odnawialnej może być: biomasa (czyli odpady organiczne), słońce, wiatr, źródła geotermiczne (ciepłej wody z ziemi), itp.

Każde źródło energii ma swoje wady i zalety (jedno jest mniej wydajne, drugie bardziej), oraz zwolenników i przeciwników. Przy wyborze źródła energii należy wziąć pod uwagę następujące cechy:

- położenie geograficzne - np. pozyskiwanie energii elektrycznej z elektrowni wiatrowych może nastąpić w miejscach o dużej średniej prędkości wiatru,



- łatwość pozyskania - np. w miejscach o dużym nasłonecznieniu łatwiej pozyskać energię elektryczną z energii słonecznej niż z elektrowni wiatrowych,
- wpływ na środowisko naturalne - należy pamiętać o tym, że idea pozyskania energii ze źródeł odnawialnych polega na minimalnej ingerencji w środowisko naturalne.



Rys.2. Planowane zastąpienie paliw tradycyjnych paliwami alternatywnymi w unii europejskiej do 2020 roku [7]

Fig. 2.Planned replacing tradition fuels with alternative fuels in the European union in 2020 [7]

Obecnie najbardziej optymalnym źródłem odnawialnej energii jest energia słoneczna, którą można wykorzystać jako źródło ciepła lub zamienić na prąd elektryczny. Pozyskiwanie energii z promieniowania słonecznego nie jest uzależnione od politycznej sytuacji międzynarodowej, czy sytuacji na rynku paliw. Warto zaznaczyć, że energię elektryczną pozyskaną z promieniowania słonecznego można wytworzyć na miejscu jej wykorzystania bez konieczności budowania sieci przemysłowych, np. coraz częściej stosowane lampy solarne do oświetlenia ulic, gdzie baterie do przetworzenia promieniowania słonecznego na prąd elektryczny montowane są bezpośrednio na lampie.

## 2. ZASTOSOWANIE POWIETRZNYCH KOLEKTORÓW SŁONECZNYCH

### 2.1. Suszenie płodów rolnych

Energia słoneczna była wykorzystywana od zarania dziejów. Najstarszym sektorem wykorzystania energii słonecznej jest rolnictwo, gdzie ciepło promieniowania słonecznego było i nadal jest wykorzystywane przez rolników do suszenia plonów (np. ziaren zbóż, nasion), lub pasz dla zwierząt (np. siana). Obniżenie w ten sposób wilgotności produktów rolnych umożliwia ich przechowywanie przez dłuższy okres (np. przez zimę). Na samym początku, proces suszenia odbywał się na wolnym powietrzu bez żadnej aparatury, co powodowało trudności w utrzymaniu stałej temperatury suszenia. Rozwój technologii spowodował, że do suszenia ciepłem słońca wykorzystywana jest coraz bardziej nowoczesna aparatura, która umożliwia głównie utrzymanie określonej i na stałym poziomie tempe-

ratury suszenia. Możliwe jest to dzięki temu, że nowoczesna aparatura umożliwia gromadzenie ciepła w przypadku jego nadmiaru i oddawanie go w przypadku jego niedoboru. Oczywiście czas przechowywania ciepła jest ograniczony, ale przez ciągły rozwój techniki staje się coraz dłuższy. Naturalnie, efektywność suszenia za pomocą energii słonecznej zależy od intensywności nasłonecznienia. W naszych warunkach klimatycznych nasłonecznienie pozwala na stosowanie suszenia niskotemperaturowego (w temperaturze  $30\div 45^{\circ}\text{C}$ ) lub średniotemperaturowego (w temperaturze  $50\div 80^{\circ}\text{C}$ ). Czas suszenia jest ściśle uzależniony od intensywności nasłonecznienia, temperatury powietrza i jego wilgotności oraz od pożądanej wilgotności końcowej suszonego produktu. W naszej strefie klimatycznej, ze względu na nasłonecznienie, najbardziej efektywne suszenie promieniami słońca występuje w lipcu i sierpniu. W pozostałym czasie suszenie ciepłem słońca stosowane jest jako operacja wstępna, która skraca czas suszenia zasadniczego w suszarniach konwencjonalnych, które z reguły zasilane są głównie prądem elektrycznym, gazem lub olejem opałowym. Skrócenie czasu suszenia w suszarniach konwencjonalnych powoduje ograniczenie zużycia paliw konwencjonalnych, a przez to ograniczenie negatywnego wpływu na środowisko naturalne.

Pod względem ekonomicznym, najlepszym sposobem suszenia płodów rolnych jest suszenie w suszarniach podłogowo-rusztowych i kanałowych, które wyposażone są w wentylatory wymuszające przepływ powietrza przez kolektor powietrzny i warstwę suszonego materiału. Parametry takiej suszarni, np. prędkość przepływającego powietrza, jego temperatura czy wymiary powierzchni suszenia zależą od rodzaju suszonego plonu i końcowej wilgotności. W praktyce jednak przyjmuje się, że średnia prędkość przepływu powietrza przez warstwę suszonego materiału wynosi  $0,1\text{ m/s}$ . Dobór wentylatora do suszarni uzależniony jest od prędkości przepływu powietrza przez warstwę suszonego materiału oraz od wielkości powierzchni na której następuje suszenie. Przy znajomości tych danych wydatek wentylatora można wyznaczyć z zależności [8]:

$$V = 3600 \cdot v_p \cdot F \quad (1)$$

gdzie:

$v_p$ - prędkość przepływu powietrza przez warstwę suszonego materiału w  $\text{m/s}$ ;

$F$ - powierzchnia suszenia w  $\text{m}^2$ ;

Natomiast, jeżeli znamy wydajność wentylatora, to po przekształceniu powyższej zależności można wyznaczyć powierzchnię suszenia. Po przekształceniu - powierzchnia suszenia będzie wynosić:

$$F = \frac{V}{3600 \cdot v_p} \quad (2)$$

Ze względu na to, że wraz z prędkością przepływu powietrza rosną opory, zaleca się, aby prędkość przepływu powietrza w głównym kanale zasilającym nie była większa od  $7\text{ m/s}$ . Jeżeli przekrój kanału zasilającego na całej jego długości ulega zmianie, należy pamiętać, aby stosunek pola przekroju na początku i na końcu wynosił  $4\div 5$ .

Buduje się również suszarnie z ogrzewaniem podłogowym, które stanowią połączenie suszarni na paliwo konwencjonalne i na ciepło promieni słonecznych. System grzewczy takiej suszarni składa się z ażurowych kanałów nawiewnych i wywiewnych umieszczonych pod podłogą. Między tymi kanałami znajduje się warstwa grubego żwiru o grubości ok.  $30\text{ cm}$ .

Pod złożem żwiru znajduje się warstwa izolacyjna, której zadaniem jest niedopuszczenie, aby ciepło nieprzenikało w głąb podłoża, a unosiło się w górę. Prędkość przepływu powietrza przez warstwę żwiru waha się w granicach  $0,02 \div 0,04$  m/s. Zastosowanie kolektorów słonecznych w takiej suszarni powoduje wzrost temperatury suszenia  $5 \div 15^{\circ}\text{C}$ . To dodatkowe ciepło jest wykorzystane do przyspieszonego odprowadzenia wody z suszonego surowca przez jej szybsze odparowanie.

## **2.2. Podgrzewanie szklarni i tuneli foliowych**

Ciepło promieniowania słonecznego można wykorzystać również do podgrzewania szklarni, szczególnie w okresie wiosennym i jesiennym, gdzie intensywność nasłonecznienia jest stosunkowo duża. Ze względu na niską temperaturę zewnętrzną, ogrzewanie to nie daje korzyści w zimie. W układzie ogrzewania słonecznego szklarni (czy tuneli foliowych), kolektor słoneczny w ciągu dnia „zbiera” ciepło promieniowania słonecznego i przekazuje je do magazynu ciepła, w tym przypadku jest to układ rur, który umieszczony jest w gruncie. W ten sposób podgrzany grunt w ciągu nocy utrzymuje odpowiednią temperaturę powietrza, co sprzyja przyspieszonej wegetacji roślin. Rury o średnicy minimum 50 mm w gruncie umieszczone są na głębokości ok. 50 cm, natomiast prędkość przepływu powietrza przez rury wynosi max. 5 m/s. Często zamiast rur umieszczonych w gruncie stosuje się rękaw (rurę) z bocznymi otworami, umieszczony wzdłuż całej szklarni. Do rękawa dostarczane jest powietrze z kolektorów słonecznych i poprzez otwory boczne rozprowadzane jest po całej szklarni [8].

## **2.3. Ogrzewanie hal i magazynów**

Hale (magazyny), to zwykle duże budynki, które z reguły posiadają jednolite płaskie ściany. Taka konstrukcja sprzyja umieszczeniu dużych kolektorów słonecznych. Często w takich budynkach kolektory słoneczne stanowią jedną całość z konstrukcją nośną ściany, wtedy można powiedzieć, że ściana pełni funkcję absorbera ciepła. Ogrzewanie promieniowaniem słonecznym stosuje się do hal, w których temperatura waha się w granicach  $8 \div 16^{\circ}\text{C}$ . Ten system ogrzewania hal stosowany jest najczęściej w USA i Kanadzie. Kolektory słoneczne umieszczane są na najbardziej nasłonecznionej powierzchni budynku (od strony południowej) [4].

Zalety systemu podgrzewania powietrza za pomocą adsorbera ściennego: zwiększenie odporności budynku na warunki pogodowe, zmniejszenie strat ciepła przez ściany zewnętrzne, zmniejszenie efektu stratyfikacji, poprawa jakości powietrza, możliwość regulacji temperatury poprzez podgrzewacz konwencjonalny i żaluzję, system wymaga niewiele czynności utrzymania, co ogranicza koszty, zakres wielkości od kilku  $\text{m}^2$  do  $10000 \text{ m}^2$ , okres zwrotu kosztów inwestycji wynosi zwykle od 2 do 5 lat.

# **3. ORGANIZACJA I PERSPEKTYWY ROZWOJU RYNKU KOLEKTORÓW SŁONECZNYCH W POLSCE**

## **3.1. Wybrane aspekty polskiej i europejskiej polityki ekologicznej**

W sierpniu 2001 roku Sejm RP przyjął „Strategię rozwoju energetyki odnawialnej do roku 2020”, w którym ustalono ogólny cel ilościowy - 7,5% udziału energii odnawialnej w bilansie paliwowo-energetycznym kraju w 2010 r. oraz do 14% w 2020 roku

w strukturze zużycia nośników pierwotnych. Parlament Europejski przyjął dyrektywę 2001/77/WE w sprawie wspierania produkcji na rynku wewnętrznym energii elektrycznej wytwarzanej ze źródeł odnawialnych, która powstała jako jeden z aspektów ratyfikacji protokołu z Kioto, zobowiązujący kraje ratyfikujące do redukcji emisji gazów cieplarnianych o 5,2% do 2012 roku w stosunku do poziomu z 1999 roku oraz do stałej redukcji ich poziomu. Dyrektywa 2001/77/WE wprowadziła działania ograniczające emisje gazów cieplarnianych oraz regulujące mechanizmy rynkowe, wspierające rozwój energetyki związanej z OZE. Dopuszczalny tonaż emitowanego CO<sub>2</sub> w Polsce w latach 2008-2012 w bilansie energetycznym wynosi 208,5 mln ton emisji CO<sub>2</sub> rocznie [1]. W odpowiedzi na zmiany klimatyczne, Parlament Europejski przyjął pakiet klimatyczny, za pomocą którego Unia Europejska chce ograniczyć do 2020 roku emisję gazów cieplarnianych o 20%, zwiększyć udział źródeł odnawialnych w bilansie energetycznym do 20% oraz podnieść o 20% efektywność energetyczną. Pomimo przepisów regulujących OZE, ich rola w gospodarce polskiej jest znikoma, inwestorzy zainteresowani energetyką słoneczną nie mogą liczyć na ekonomiczne (dofinansowanie tylko dużych inwestycji) bądź prawne ułatwienia.

### 3.2. Możliwości wsparcia finansowego inwestorów budujących instalacje słoneczne

Obecnie w Polsce istnieje kilka źródeł wspierających finansowanie inwestycji związanych z OZE, wsparcie finansowe udzielane może być w formie dotacji bądź kredytu.

#### a) Program Operacyjny Infrastruktura i Środowisko (POIiŚ)

POIiŚ- jest ogólnokrajowym programem oferującym wsparcie finansowe dla dużych inwestycji, związanych z wdrożeniem technologii ochrony środowiska. Wsparcie inwestycji w zakresie zakupu instalacji słonecznych możliwe jest w ramach priorytetu IX: „*Infrastruktura energetyczna przyjazna środowisku i efektywność energetyczna*”. Priorytet IX dzieli się następująco [5]:

- Działanie 9.1 Wysokosprawne wytwarzanie energii,
- Działanie 9.2 Efektywna dystrybucja energii,
- Działanie 9.3 Termomodernizacja obiektów użyteczności publicznej,
- Działanie 9.4 Wytwarzanie energii ze źródeł odnawialnych,
- Działanie 9.5 Wytwarzanie biopaliw ze źródeł odnawialnych,
- Działanie 9.6 Sieci ułatwiające odbiór energii ze źródeł odnawialnych.

Projekty, realizowane w ramach priorytetu IX, mają za zadanie podwyższyć sprawność wytwarzania energii oraz obniżenie strat w procesie przesyłania, dystrybucji oraz użytkowania energii.

#### b) Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (NFOŚiGW)

NFOŚiGW- udziela dofinansowania, pożyczek i kredytów na wszelkie działania z zakresu ochrony środowiska na przedsięwzięcia, których potencjał mocy elektrycznej jest na poziomie:

- a) jako wskaźnik produktu: 300 MW w przypadku budowy odnawialnych źródeł energii, 50 MW w przypadku wysokosprawnej kogeneracji;
- b) jako wskaźnik rezultatu: ok. 1000 GWh/rok – OZE, ok. 200 GWh /rok – wysokosprawna kogeneracja.

Z powyższych wskaźników wynika, że pozyskanie dofinansowania jest możliwe w przypadku realizacji wielkowymiarowych instalacji słonecznych, np. inwestycji o charakterze sieciowym, tj. instalacji montowanych jednocześnie w kilku obiektach będących własnością jednego podmiotu gospodarczego. Pożyczki udzielane przez NFOŚiGW nie mogą przekraczać 75% wartości kosztów projektu, natomiast wysokość udzielonej pożyczki, pochodzącej jedynie ze środków Narodowego Funduszu wynosi 4–50 mln zł.

**c) Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (WFOŚiGW)**

Starając się o dofinansowanie budowy instalacji słonecznej można też zwrócić się do właściwego ze względu na miejsce zamieszkania Funduszu Wojewódzkiego. WFOŚiGW działają w podobny sposób, co NWFOŚiGW z tym, że działają na obszarze lokalnym, poza tym mają różne priorytety współfinansowania [6].

**d) Regionalne Programy Operacyjne (RPO)**

Regionalne Programy Operacyjne są podstawowymi dokumentami służącymi realizacji polityki rozwoju w danym rejonie. Każde z województw przyjmuje własny Program Operacyjny, gdzie zostają zawarte pakiety informacji dotyczących wsparcia wykorzystania odnawialnych źródeł energii, w tym energetyki słonecznej. Podkarpacki RPO w latach 2007-2013 oferuje dofinansowanie na zakup instalacji kolektorów słonecznych.

**e) EkoFundusz**

Fundacja powołana w 1992 przez Ministra Finansów w celu wspierania przedsięwzięć w ochronie środowiska środkami pochodzącymi z części zagranicznego długu Polski. W statucie EkoFunduszu wybrano pięć sektorów uznanych za dziedziny priorytetowe. Są nimi [2]: ograniczanie transgranicznego transportu dwutlenku siarki i tlenków azotu oraz eliminację niskich źródeł ich emisji, ograniczanie dopływu zanieczyszczeń do Bałtyku oraz ochronę zasobów wody pitnej, ograniczanie emisji gazów powodujących zmiany klimatu Ziemi, ochronę różnorodności biologicznej, racjonalizację gospodarki odpadami i rekultywację gleb zanieczyszczonych.

**f) Bank Ochrony Środowiska (BOŚ)**

BOŚ korzystając z dofinansowania z NFOŚiGW, udziela preferencyjnych kredytów, które mogą być przeznaczone na zakup kolektorów słonecznych. We współpracy z Bankiem Gospodarstwa Krajowego BOŚ udziela kredytów na przedsięwzięcia z zakresu termomodernizacji, w ramach których możliwe jest przyznanie „premii termomodernizacyjnej” w wysokości 25% kwoty kredytu, której spłata jest umarzana pod warunkiem wywiązania się z umowy z BOŚ, gdzie podstawowym warunkiem jest osiągnięcie zakładanego efektu ekologicznego.

**g) Szwajcarsko-Polski Program Współpracy**

W ramach drugiego celu priorytetu „Środowisko i Infrastruktura” istnieje możliwość instalacji kilku kolektorów w ramach jednego projektu, których łączna powierzchnia będzie przekraczać 100 m<sup>2</sup> lub budowy układów fotowoltaicznych dla budynków użyteczności publicznej i budynków mieszkalnych [3]. Dofinansowaniu podlegają projekty o minimalnej wartości 10 mln CHF każdy. System wsparcia finansowego energetyki słonecznej w Polsce opiera się na dużej ilości zbędnej biurokracji, dlatego też w dużej mierze energetyka słoneczna rozwija się siłami rynkowymi i potrzebą uniezależnienia od wzrostu cen paliw kopalnych.

#### 4. PODSUMOWANIE

Nateżenie promieniowania słonecznego w Polsce można uznać jako średnie, co stawia nas na równi z takimi państwami jak: Niemcy, Dania, Czechy, północna część Francji. Jednakże efektywność wykorzystywania promieniowania słonecznego w Polsce jest stosunkowo mała. Za dobry przykład mogą posłużyć takie państwa jak Kanada lub Wielka Brytania, w których efektywność wykorzystania promieniowania słonecznego jest wyższa niż u nas, przy dużo niższym poziomie nasłonecznienia. W takiej sytuacji nasuwa się pytanie - Dlaczego przy średnich warunkach nasłonecznienia, efektywność jego wykorzystania jest poniżej średniej? Przyczyn takiej sytuacji można doszukiwać się w stosunkowo wysokiej cenie aparatury do wykorzystania promieniowania słonecznego, spowodowanej małym rozwojem tego rynku w naszym kraju. Dużym czynnikiem przyczyniającym się do ograniczenia wykorzystania promieniowania słonecznego jest obawa poszczególnych użytkowników o zwrot kosztów inwestycji w realnym czasie. Dużą rolę w usunięciu powyższych przeszkód może odegrać państwo. Pomoc państwa może polegać na stosowaniu ulg podatkowych lub specjalnych dotacji dla podmiotów, które zdecydują się na montaż paneli słonecznych. Takie działanie przyczyni się do wzrostu sprzedaży paneli słonecznych, co z kolei przyczyni się do rozwoju tego sektora rynku, a w konsekwencji obniżenia ceny całej aparatury. Konieczne też jest prowadzenie akcji, która ma na celu uświadomienie potencjalnym odbiorcom, jakie korzyści wynikają z korzystania z energii słonecznej.

#### 5. LITERATURA

- [1] ESTIF; Solar Thermal Markets in Europe. Trends and Markets in Europe. May 2010.
- [2] <http://www.ekofundusz.org.pl/pl>
- [3] [http://www.programszwajcarski.gov.pl/Obszary\\_prioritetowe/Srodowisko\\_infrastruktura/Odbudowa\\_remont\\_przebudowa\\_i\\_rozbudowa\\_infrastruktury/Strony/default.aspx](http://www.programszwajcarski.gov.pl/Obszary_prioritetowe/Srodowisko_infrastruktura/Odbudowa_remont_przebudowa_i_rozbudowa_infrastruktury/Strony/default.aspx)
- [4] Pasierb S., Bogacki M., Osicki A., Wojtulewicz J.; Poradnik Odnawialne Źródła Energii. Efektywne wykorzystanie w budynkach. Finansowanie przedsięwzięć. Katowice 2006.
- [5] Program Operacyjny Infrastruktura i Środowisko (POIiŚ), 2010.
- [6] Strategia działania Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Rzeszowie na lata 2009-2012, Rzeszów 2008.
- [7] Urbanik M.; Analiza organizacyjna i ekonomiczna zastosowania gazu ziemnego jako paliwa do zasilania pojazdów w przedsiębiorstwie transportowym. Praca dyplomowa, 2007.
- [8] Viessmann; Systemy solarne - wytyczne projektowe, Lublin 1996.

### POSSIBILITIES SOLAR AIR COLLECTORS USING IN ECONOMY OF POLAND

#### SUMMARY

The paper represents possibilities of using solar air collectors for: drying vegetables and fruits; greenhouse or warehouse heating supply. Paper describes organization and perspectives of developing and introducing solar collectors to the market of Poland, possibilities to provide financial support to investors producing solar installations.

**Zbigniew KĘSEK, dr inż. arch.**

Politechnika Krakowska  
Katedra Kształtowania Środowiska Mieszkaniowego  
Instytut Projektowania Urbanistycznego  
Wydział Architektury  
ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków  
e-mail: zbigniewkeseke@interia.pl

## **NOWE TENDENCJE W PROJEKTOWANIU A ROZWÓJ ZRÓWNOWAŻONY**

### **STRESZCZENIE**

W artykule zaprezentowane zostały przykłady obiektów mieszkaniowych i usługowych powstałych zgodnie z ideą projektowania zrównoważonego. Koncepcja ta dotyczy każdego człowieka oraz relacji pomiędzy elementami kształtującymi jego najbliższe otoczenie. Dbałość o naturalne środowisko i jego zasoby, a także pamięć o przyszłych pokoleniach wydaje się priorytetem w planowaniu przestrzennym miast. „niemal codziennie słyszymy o zagrożeniach dla środowiska, takich jak: efekt cieplarniany, zanieczyszczenie rzek i oceanów, wyczerpujące się łowiska ryb. W coraz większym stopniu zdajemy sobie sprawę, że przyczyniamy się do tych zjawisk i że dotyczą nas one bezpośrednio, wpływając na nasze życie, zdrowie i dobrobyt”<sup>1</sup>. Działania na rzecz rozwoju zrównoważonego sprzyjają poprawie warunków środowiska zamieszkania i komfortu użytkowania przestrzeni miejskich, a co ważniejsze zapewniają sprawną kondycję zdrowotną, w tym także psychofizyczną mieszkańców.

### **1. WPROWADZENIE**

Nowe tendencje w projektowaniu coraz w większym stopniu podążają za potrzebami współczesnego człowieka, a także jego przyszłych pokoleń. Miasta chcemy podzi-

---

<sup>1</sup> J. Kronenberg, T. Bergier, *Wyzwania zrównoważonego rozwoju w Polsce*, Fundacja Sendzimira, Kraków 2010r., str.10

wiać ze względu na ich urok i nastrój, ale także komfort. Pozytywne odczuwanie miasta bezpośrednio jest związane z przyjaznym środowiskiem jakie stwarza.

„Szczególnie ważnym czynnikiem wzmacniającym akceptację estetyki miasta jest kreowanie przez przestrzeń miasta poczucia komfortu intelektualnego i emocjonalnego, psychicznego i fizycznego; dobrych warunków dla życia zbiorowego, życzliwych relacji z innymi osobami, przyjemnego samopoczucia i osobistego bezpieczeństwa”<sup>2</sup>.

Nowe tendencje w kształtowaniu przestrzeni miejskiej nastawione na spełnianie podstawowych i ponadpodstawowych potrzeb mieszkańców sprzyjać powinny poprawie warunków zamieszkania oraz komfortu użytkowania przestrzeni miejskiej o różnym charakterze i przeznaczeniu. Przyjazne człowiekowi środowisko zamieszkania, inaczej zdrowe środowisko, pozytywnie oddziałujące na kondycję psychofizyczną człowieka powstaje z myślą o przyszłych pokoleniach. Zgodnie z tą myślą nadrzędnym celem projektowania architektonicznego staje się dbałość o środowisko naturalne, z którego możemy się cieszyć tu i teraz pamiętając o tym, że ma ono służyć także w przyszłości następnym pokoleniom.

„Znana ogólnie definicja określająca wymóg spełnienia współczesnych oczekiwań i utrzymania wszelkich wartości w stopniu pozwalającym na zaspokojenie potrzeb przyszłych pokoleń, powinna dotyczyć trzech podstawowych zależnych od siebie obszarów:

- środowiska sztucznego (obiektów, budowli i zurbanizowanych terenów zielonych),
- środowiska naturalnego (czyste powietrze i woda, zachowanie flory, fauny oraz surowców - naturalnych, biodwersyfikacja), - wartości humanistycznych (nauka i umiejętności)”<sup>3</sup>.

## 2. ANALIZA PRZYKŁADÓW

Ze względu na rozwój cywilizacyjny, a więc z jednej strony postęp, a z drugiej degradację środowiska przyrodniczego uwagę architektów i urbanistów skupia problematyka związana z rozwojem zrównoważonym oraz projektowaniem zrównoważonym. Jego głównym celem jest zaspokojenie potrzeb obecnych i przyszłych pokoleń. Rozwój zrównoważony stara się także przeciwdziałać największym zagrożeniom ekologicznym w skali globalnej. Do najważniejszych zaliczyć można między innymi: zanieczyszczenie środowiska, zmiany klimatyczne (efekt cieplarniany), zniszczenie ekosystemów, hałas, wyczerpywanie zasobów, tworzenie sztucznego środowiska.

Nowe tendencje w projektowaniu architektonicznym zwracają uwagę na poprawę jakości środowiska pozytywnie oddziałując na kondycję psychofizyczną człowieka. Dla jego komfortu wydaje się ważne poczucie bezpieczeństwa, intymność i spokój, pozytywne warunki bioklimatyczne, higiena, możliwość wypoczynku, sportu i rekreacji, czytelność struktury przestrzennej i użytkowej. Nie bez znaczenia pozostaje pozytywny odbiór otoczenia – a więc jego estetyka.

Duńskie miasta charakteryzują się niezwykłą dbałością o stan środowiska naturalnego. Nowe zespoły mieszkaniowe powstają w harmonii z naturalnym otoczeniem wchodząc

---

<sup>2</sup> W. Kosiński, *Miasto i piękno miasta*, Politechnika Krakowska, Kraków 2011r., 157

<sup>3</sup> E. D. Ryńska, *Bioklimatyka a forma architektoniczna*, Politechnika Warszawska, Warszawa 2001r., str.24



z nim w symbiozę. Przykładem może być współczesny kompleks mieszkaniowy w Ballerup (rys.1,2). Zespół mieszkaniowy został zaprojektowany przez Henninga Larsena, dla którego myślą przewodnią była chęć stworzenia przyjaznego środowiska zamieszkania w duńskim, niewielkim, bo zamieszkiwanym przez 46,7 tys. mieszkańców ośrodku miejskim. Zespół składa się z trzydziestu pięciu pawilonów i ośmiu apartamentów w dwóch domach przeznaczonych dla młodych ludzi. Samo centrum założenia stanowi zielona przestrzeń przeznaczona dla wszystkich mieszkańców oraz prywatne ogródki. Budynki zostały wykonane z czerwonej cegły, zgodne z zasadami rozwoju zrównoważonego, który zakłada nawiązanie do tradycji miejsca, a także wykorzystanie jego lokalnych materiałów budowlanych. Zastosowane rozwiązania w oparciu o rozwój zrównoważony dotyczą również: instalacji umożliwiających odzyskiwanie ciepła z zużytego powietrza.



*Rys.1,2. Kompleks mieszkaniowy w Ballerup*  
*Pic. 1,2. Housing complex In Ballerup*

Kolejnym przykładem jest zespół domów Havrevangen w Hilleroed – mieście zlokalizowanym w północnej części wyspy. Na zachód od Hoersholm, zamieszkiwanym przez 35 tys. mieszkańców. Obiekty o charakterze mieszkaniowym zaprojektowane zostały przez Vilhelma Lauritzena as, Christiana Holma. Zespół składa się z pięćdziesięciu lokali mieszkalnych półtora do dwu – kondygnacyjnych rozmieszczonych w pięciu rzędach z 8 – 12 domów w rzędzie (rys.3,4). Powierzchnia mieszkań waha się od 65 do 104 m kwadratowych, z których 16 zostało zaprojektowane z uwzględnieniem wymagań osób niepełnosprawnych. zespół zaprojektowano z myślą o pełnej interakcji pomiędzy współczesnymi technologiami a zrównoważonym rozwojem. W tym celu w sposób priorytetowy potraktowano wybór materiałów, zainstalowano kolektory słoneczne, wykorzystano między innymi drewno do budowy ścian i aluminium jako materiał pokrycia dachowego, zwrócono szczególną uwagę na czynnik społeczny podczas projektowania zespołu. Domy posiadają prostą, tradycyjną formę, wykonane zostały z naturalnego materiału – drewna, nawiązując do idei „zdrowego domu”. Głównym celem projektu było zwrócenie uwagi na świadome wykorzystanie zasobów naturalnych poprzez zastosowanie niskoemisyjnych technologii ener-

tycznych, połączenie walorów estetycznych i technicznych oraz na ekonomię zarówno podczas budowy jak i eksploatacji. Uzyskano to poprzez zintegrowanie rozwiązań projektowych i technologicznych, pasywne wykorzystanie promieniowania słonecznego, lokalizację zespołu na terenie pozbawianym miejsc zacienionych i o stałej ekspozycji na wiatr, lokalizacji 70% okien o niskim współczynniku przewodzenia ciepła na ścianach nasłonecznionych, odzysk 80% ciepła z wentylacji, zastosowaniu systemu zarządzania energią (EMS) monitorujący i sterujący zastosowanymi rozwiązaniami technologicznymi w zależności od zewnętrznych warunków klimatycznych. Taki sposób projektowania spowodował oszczędność energii z używanej przez budynek o 56 %. Dobór ekologicznych materiałów chociaż nie związana bezpośrednio z oszczędnością energii budowanych domów podnosi społeczną wartość projektu z punktu widzenia globalnej świadomości ekologicznej.



*Fot.3, 4. Domy w Hilleroed*  
*Photo.3, 4. Houses in Hilleroed*

W stolicy Wielkiej Brytanii, w Londynie, przy The Queens Walk 110 znajduje się London City Hall, czyli Ratusz w Londynie. Jest on siedzibą władz Londynu i burmistrza stolicy. Budowę London City Hall rozpoczęto w 1999 roku, a obiekt został otwarty w lipcu 2002 roku. Utrzymany jest w nowoczesnym stylu architektonicznym High-Tech. London City Hall został zaprojektowany przez pracownię architektoniczną Foster and Partners, która wygrała w konkursie na najciekawszy projekt budynku dla władz i burmistrza Londynu. W konkursie udział wzięło 55 projektów, z których następnie wyłoniono 7. Zostały one umieszczone na publicznej wystawie, a odwiedzający ją mieszkańcy Londynu mogli wyrażać opinie na ich temat. W ten sposób został wyłoniony najlepszy i najciekawszy projekt ratusza. *City Hall*, zlokalizowany tuż obok Tower Bridge nie bez powodu swą formą przypomina kask. Budynek został tak także zaprojektowany, aby dać Londynowi nowy obiekt rozpoznawalny na całym świecie. Kształt ten pozwala na zwiększenie powierzchni wykorzystującej naturalne oświetlenie, tym samym zmniejszając zużycia energii (rys.5). Dzięki takiemu kształtowi budynek zużywa cztery razy mniej energii niż inne budynki podobnych rozmiarów. W celu zredukowania zużycia energii elektrycznej, w 2007 roku na dachu zostały zainstalowane panele słoneczne co pozwoliło budynkowi na produkcję własnej energii. W budynku jest zastosowana naturalna wentylacja, w każdym biurze są otwierane

okna, ciepło wydobywające się z komputerów oraz oświetlenia jest gromadzone a następnie powtórnie wykorzystywane. Budynek jest wyposażony w system chłodzący go poprzez przepływ wody wydobywanej spod ziemi, zużyta woda jest wykorzystana następnie np. przy spłukiwaniu toalet.

Drugi obiekt zaprojektowany przez Normana Fostera to 30 St Mary Axe. 30 St Mary Axe – wieżowiec znajdujący się w City of London głównej dzielnicy finansowej Londynu. (rys.6). Wieżowiec ma 40 pięter i 180 m wysokości i jest tzw. budynkiem ekologicznym. Dzięki zbliżonemu do stożka kształtowi, zmniejszono parcie boczne wiatru i wyeliminowano zjawisko „przeciągów” na poziomie ulicy, często towarzyszące wysokim budynkom. Podwójna szklana elewacja chroni przed zbytnim nagraniem wnętrza latem i zapewnia izolację zimą. Zaprojektowano go z dbałością o środowisko naturalne, otwory w podłodze służą jako naturalny system wentylacyjny, ciepłe powietrze pompowane jest zimą, natomiast chłodne latem. 30 St Mary Axe zdecydowanie wyróżnia się na tle innych budowli w Londynie, dlatego też jest laureatem wielu nagród, wśród których można wymienić m.in. tytuły: Best Central London Office Development 2004, Best New London Building 2004, Best British Innovation 2003, Skyscraper Award 2003.



Rys.5. City Hall w Londynie  
Photo.5. City Hall in London



Rys.6. 30 St Mary Axe  
Photo.6. 30 St Mary Axe

W Polsce także na coraz większą skalę wykorzystuje się ekologiczne rozwiązania. W Zakopanem realizowana jest budowa sieci geotermalnej. Geotermia Podhalańska jest najstarszą i największą inwestycją geotermalną w kraju. W latach 1981-1997 wykonano na Podhalu 10 otworów wiertniczych. We wszystkich stwierdzono występowanie wód geotermalnych o temperaturze 58-95°C i wydajności do 800m<sup>3</sup>/h. Dużą ich zaletą



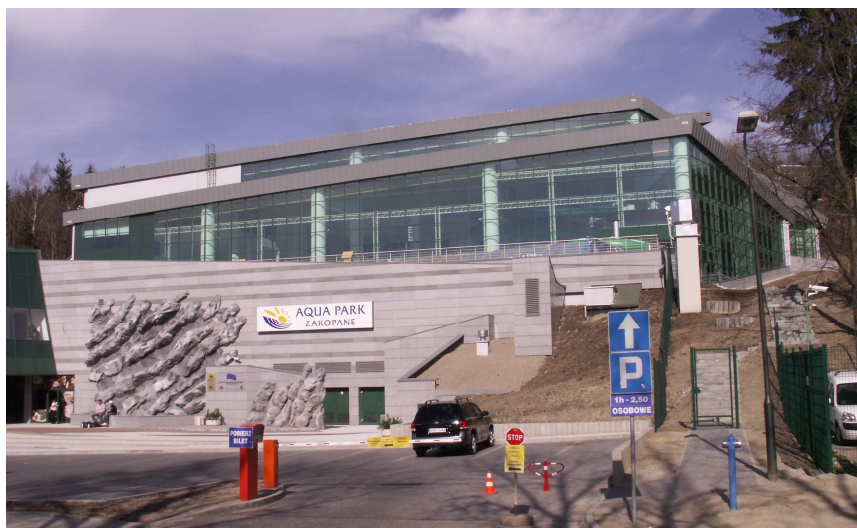
w porównaniu z wodami eksploatowanymi w innych rejonach Polski jest bardzo niska mineralizacja do 3 g/l oraz to, że wypływają na powierzchnię pod własnym.

W Zakopanem, do 2001r., wody termalne wykorzystywane były do celów rekreacyjnych i terapeutycznych. Obecnie z ogrzewania dzięki energii geotermalnej korzystają odbiorców indywidualnych, jak również wykorzystywana jest do ogrzania 90% hoteli oraz 28 byłych kotłowni węglowych i koksowych, ogrzewających 120 bloków mieszkalnych w Zakopanem. Woda geotermalna wykorzystywana jest między innymi do ogrzania kąpieliska otwartego na Polanie Szymoszkowej oraz do zbudowanego na stokach Antałówki "Parku Wodnego", kompleksu rekreacyjno - rehabilitacyjnego w Bukowinie Tatrzańskiej, jak również nowo - zrealizowanych basenów w Białce Tatrzańskiej. Obecnie większość nowo projektowanych obiektów wielko-kubaturowych wykorzystuje do celów grzewczych wody geotermalne, jest to jedyne dostępne na Podhalu źródło energii, które spełnia wymogi ochrony środowiska. Przykładem takiego proekologicznego wykorzystania odnawialnych zasobów naturalnych jest zaprojektowany przez zespół projektowy J. Kobylarczyk Z. Kęsek Zespół mieszkaniowo – usługowy w Zakopanem, Obiekt choć jest przykładem architektury współczesnej nawiązuje do tradycji miasta z równoczesnym wykorzystaniem nowoczesnych technologii.



*Fot. 7 Hotel Murowanica w Zakopanem*

*Photo. 7 Hotel Murowanica in Zakopane*



*Fot. 8 Aqua Park w Zakopanem*  
*Photo. 8 Aqua Park in Zakopane*



*Fot. 9 . Budynek mieszkaniowo – usługowy-w Zakopanem*  
*Pic. 9. Residential and service building in Zakopane*

### 3. PODSUMOWANIE

Rozwój technologii zbliża nas do coraz większych osiągnięć w dziedzinie nauki. Pozwala na szybki dostęp do różnorodnych usług, mediów, elektronicznych systemów komunikacji. Za jego sprawą już teraz powstała cywilizacja informacyjna. Ma to pozytywny jak i negatywny skutek. Negatywnym aspektem postępu jest odbieranie chęci kon-

taktu z drugim człowiekiem, to także degradacja środowiska naturalnego, coraz większe utrudnienia komunikacyjne. Z drugiej strony rozwój stwarza wiele nowych możliwości i perspektyw na przyszłość, z których mogą korzystać także miasta małe – często do niedawna zapomniane. Żeby rozwój był bezpieczny warto pamiętać o projektowaniu zrównoważonym i o wszelkich zasadach rozwoju zrównoważonego, poszanowaniu terenu, przyrody i drugiego człowieka. „W krajach Europy Zachodniej i Północnej tematyka rozwoju zrównoważonego jest coraz szerzej upowszechniana. Zakres wiedzy i informacji, o relacjach zachodzących pomiędzy środowiskiem naturalnym i jego użytkownikami, zwiększa ważkość tego zagadnienia także w procesie inwestycji budowlanych.<sup>4</sup>” Projektowanie z myślą o człowieku, zasobach naturalnych i przyszłości wydaje się nadrzędnym celem w planowaniu przestrzeni miejskiej.

#### 4. LITERATURA

- [1] Kosiński W, Miasto i piękno miasta, Politechnika Krakowska 2011r
- [2] Kronenberg J, Bergier T, Wyzwania zrównoważonego rozwoju w Polsce, Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko, Białystok – Wrocław 2010 r
- [3] Ryńska E. D., Bioklimatyka a forma architektoniczna, Politechnika Warszawska 2001r
- [4] Ryńska E. D., Architekt w procesie tworzenia harmonijnego środowiska, Politechnika Warszawska 2001r

### NEW TENDENCIES IN DESIGN AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT

#### SUMMARY

This article presents some examples of residential and service objects constructed in accordance with the idea of sustainable design. This concept concerns every human being and relations between the elements which shape his nearest surroundings. Attention to the natural environment with all its resources as well as respect for future generations seem to be the priorities in the spatial planning of cities. “Almost everyday we hear about such environmental threats as the greenhouse effect, river and ocean pollution or shrinking fishing grounds. To an increasingly large extent, we realize that we have a share in these phenomena which concern us directly and influence our lives, health and well-being.”<sup>5</sup> Actions supporting sustainable development help to improve the standard of housing environments and the comfort of using urban spaces. What is more important, they guarantee the inhabitants’ good psychophysical condition.

---

<sup>4</sup> E. D. Ryńska, *Architekt w procesie tworzenia harmonijnego środowiska*, Politechnika Warszawska, Warszawa 2004r., str.9.

<sup>5</sup> J. Kronenberg, T. Bergier, *Wyzwania zrównoważonego rozwoju w Polsce*, Sendzimir Foundation, Krakow 2010, p. 10

**Maciej KLEIN, inż.**<sup>1</sup>

**Mirosław SAWCZAK, dr inż.**<sup>2</sup>

**Maciej ZALAS, dr**<sup>3</sup>

**Robert BARBUCHA, dr inż.**<sup>4</sup>

1) Politechnika Gdańska, Wydział Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej, ul. G. Narutowicza 11-12, 80-233 Gdańsk, macklein1@student.pg.gda.pl;

2) Instytut Maszyn Przepływowych PAN w Gdańsku, Zakład Fizycznych Aspektów Ekoenergii, ul. Fiszer 14, 80-231 Gdańsk, mireks@imp.gda.pl;

3) Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Wydział Chemii, ul. Grunwaldzka 6, 60-780 Poznań, maciej.zalas@amu.edu.pl;

4) Instytut Maszyn Przepływowych PAN w Gdańsku, Zakład Zastosowań Techniki Plazmowej i Laserowej, ul. Fiszer 14, 80-231 Gdańsk, robert.barbucha@imp.gda.pl;

## **BADANIE WPLYWU SPAWANIA LASEROWEGO ZŁĄCZA TiO<sub>2</sub>:FTO NA REZYSTANCJĘ WEWNĘTRZNĄ ORAZ SPRAWNOŚĆ OGNIWA SŁONECZNEGO UCZULONEGO BARWNIKIEM**

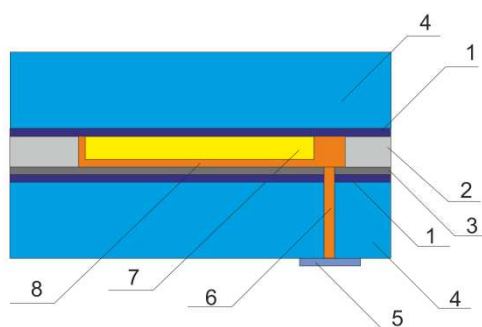
### **STRESZCZENIE**

Jednym z parametrów ograniczających sprawność ogniwa jest jego rezystancja wewnętrzna. W przypadku ogniwa DSSC znaczącą składową rezystancji wewnętrznej jest rezystancja złącza elektrody TiO<sub>2</sub> oraz warstwy przewodzącej FTO odprowadzającej ładunek elektryczny, wynikająca z ograniczonej powierzchni styku porowatej warstwy tlenku tytanu z warstwą FTO. W niniejszej pracy podjęto próbę redukcji rezystancji wewnętrznej oraz poprawy sprawności ogniwa poprzez spawanie laserowe złącza TiO<sub>2</sub>:FTO. Wykorzystano w tym celu laser impulsowy 355 nm, którym naświetlono całą powierzchnię złącza. Wykorzystując technikę XRD oraz spektroskopię ramanowską zbadano wpływ procesu spawania na strukturę elektrody TiO<sub>2</sub>. Parametry elektryczne ogniwa określono metodą elektrochemicznej spektroskopii impedancyjnej. Otrzymano prawie 38% wzrost sprawności ogniwa: z  $\eta=0,08$  % do  $\eta=0,11$  %. Wyznaczono optymalny zakres parametrów procesu spawania.

## 1. WSTĘP

Obserwowany w ostatnich latach rozwój technologii produkcji ogniw słonecznych uczulonych barwnikiem (*dye-sensitized solar cell*, DSSC) związany jest między innymi z jej zaletami w stosunku do technologii ogniw krzemowych, m.in. znacznie niższymi kosztami produkcji oraz małą toksycznością stosowanych materiałów. Należy więc liczyć się z rosnącym znaczeniem aplikacyjnym tego typu ogniw. W tym celu niezbędne jest jednak opracowanie ogniw o sprawności przekraczającej 11% oraz dobrej stabilności parametrów w czasie. Z tego względu prowadzi się intensywne badania nad materiałami stosowanymi do produkcji DSSC.

W swojej pierwotnej konfiguracji [1] ogniwo składa się ze szklanej, przezroczystej, przewodzącej elektrody (*transparent conducting oxide*, TCO), warstwy  $\text{TiO}_2$  z zaadsorbowanym na jej powierzchni barwnikiem, ciepłego elektrolitu oraz przeciwelektrody pokrytej warstwą katalityczną - Rys. 1. Mechanizm działania oraz diagram poziomów energetycznych w DSSC przedstawiono na Rys. 2.



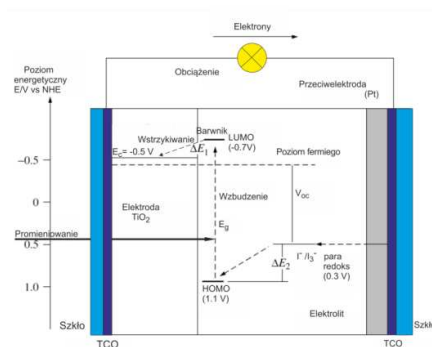
Rys. 1. Schemat ogniwa referencyjnego. 1 - warstwa TCO, 2 - uszczelka, 3 - warstwa katalityczna, 4 - szklane podłoże, 5 - mikroskopowe szkiełko nakrywkowe, 6 - kanał do wprowadzania elektrolitu, 7 - warstwa  $\text{TiO}_2$  z zaadsorbowanym barwnikiem, 8 - elektrolit

Figure 1. Diagram of the reference cell. 1 - TCO layer, 2 - gasket, 3 - catalytic layer, 4 - glass substrate, 5 - microscope coverslip, 6 - hole for electrolyte, 7 -  $\text{TiO}_2$  film with adsorbed dye, 8 - electrolyte

Cząsteczki barwnika zaadsorbowane na powierzchni  $\text{TiO}_2$  absorbują padający strumień fotonów ulegając wzbudzeniu ze stanu podstawowego  $S^0$  do stanu wzbudzonego  $S^*$ ,



Wzbudzony elektron jest „wstrzykiwany” do pasma przewodnictwa  $\text{TiO}_2$ , pozostawiając molekułę barwnika w stanie utlenionym  $S^+$ ,



Rys. 2. Wykres poziomów energetycznych oraz mechanizm działania DSSC.

Opracowano na podstawie [2].

Figure 2. Schematic energy diagram and operating principle of DSSC. Developed on the basis [2]





„Wstrzyknięty” elektron dyfunduje następnie poprzez elektrodę  $TiO_2$  do warstwy przewodzącego tlenku osadzonego na szklanym podłożu (anody), a stamtąd przez obwód zewnętrzny do przeciwelektrody (katody). Utleniona molekula barwnika  $S^+$  przyjmuje elektron od jonu  $I^-$  wracając do stanu podstawowego  $S$ , jednocześnie jon  $I^-$  jest utleniany do jonu  $I_3^-$ :



Cykl jest zamykany przez jon  $I_3^-$ , który dyfunduje do przeciwelektrody gdzie ulega redukcji, w wyniku której odtworzony zostaje jon  $I^-$ :



W efekcie wytwarzaniu energii elektrycznej nie towarzyszą trwałe przemiany chemiczne:



O parametrach ogniw decydują stałe szybkości procesów fotoelektrochemicznych oraz właściwości wykorzystanych materiałów. Negatywnym procesem charakterystycznym dla pracy DSSC jest rekombinacja ładunków zachodząca na styku  $TiO_2$ :barwnik oraz na styku TCO: $TiO_2$ . Pierwszy proces, o małym znaczeniu [3], minimalizowany jest poprzez pokrycie powierzchni  $TiO_2$ , przed adsorpcją barwnika, warstwą  $TiCl_4$  [4]. Drugi proces związany jest z fizycznym kontaktem TCO i elektrolitu. Cząsteczki  $TiO_2$ , łatwo ulegające agregacji w pastach i zawiesinach oraz silnie chropowata powierzchnia FTO (*fluorine-doped tin oxide*) - używana najczęściej jako elektroda TCO - sprawiają, że trudno jest równomiernie, uzyskując kontakt warstwy  $TiO_2$  z FTO na całej powierzchni elektrody, pokryć FTO warstwą  $TiO_2$ . W efekcie słaby kontakt TCO: $TiO_2$  generuje rezystancję, która stanowi znaczną część całkowitej rezystancji ogniwa (rys. 3a). Zmniejszenie tej rezystancji może znacznie poprawić sprawność ogniwa (rys. 3b). Jednym ze sposobów redukcji oporności złącza TCO: $TiO_2$  jest spawanie laserowe. Wyniki dostępne w literaturze wskazują, że po zastosowaniu spawania laserowego odnotowano wzrost sprawności ogniwa o około 35 – 65%, w zależności od zastosowanych materiałów [5].

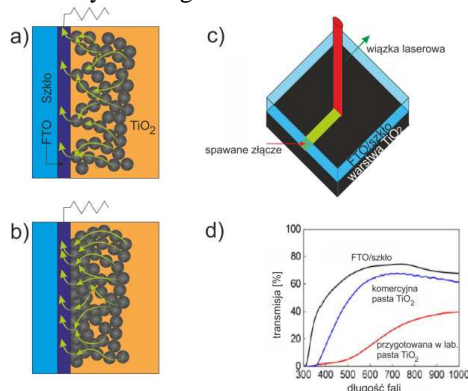
Zakres pracy obejmuje budowę ogniwa referencyjnego i ogniwa modyfikowanego wiązką laserową oraz analizę i porównanie wyników przeprowadzonych badań.

## 2. CZĘŚĆ EKSPERYMENTALNA

Na potrzeby badań przygotowano dwa zestawy ogniw: referencyjne oraz ogniwa ze spawanym laserowo złączem  $TiO_2$ :FTO.

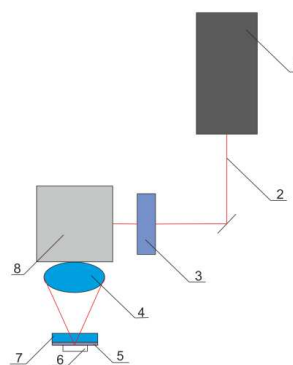
Jako podłoże przewodzące zastosowano elektrodę FTO, o rezystancji powierzchniowej  $15\Omega/\square$ . Pastę do przygotowania elektrody sporządzono w następujący sposób:  $3,0\text{ cm}^3$  tetraizopropoksytanu dodano do  $13,5\text{ cm}^3$  glikolu etylenowego, roztwór mieszano przy użyciu mieszadła magnetycznego w temperaturze 333 K, po czym dodano 12,6 g monohydratu kwasu cytrynowego. Otrzymaną mieszaninę mieszając, ogrzewano do 363 K, aż stała się czysta i klarowna. Przygotowany roztwór zmieszano z 5,6 g  $TiO_2$  przez ucieranie w moździerzu przez 1 h [6]. Aktywna powierzchnia elektrody została wykonana metodą *doctor blade*. Otrzymano warstwę w kształcie koła o średnicy 5,5 mm i grubości około

6  $\mu\text{m}$ . Proces spiekania elektrody przeprowadzono bezpośrednio po nałożeniu pasty w temperaturze 723 K przez 1 h w piecu komorowym w atmosferze powietrza (szybkość ogrzewania 287,5 K/min.). W celu sensybilizacji elektrod sporządzono etanolowy roztwór barwnika Ruthenizer 455-PF6 o stężeniu  $3 \cdot 10^{-4} \text{ M}$ . Przeciwelektrodę stanowiła warstwa katalityczna platyny ( $4 \mu\text{g cm}^{-2}$ ) nałożona na elektrodę FTO. W badaniach stosowano elektrolit w postaci roztworu o stężeniu  $5 \cdot 10^{-2} \text{ M}$  jodku potasu i  $5 \cdot 10^{-2} \text{ M}$  jodu w glikolu etylenowym. Jako materiał uszczelniający wykorzystano folię Meltonix 1170-25PF o grubości 25  $\mu\text{m}$ . Elektrolit wprowadzano poprzez otwory w przeciwelektrodzie, które następnie uszczelniono poprzez przyklejenie przy użyciu wosku mikroskopowego szkielekta nakrywkowego.



Rys. 3. a) Porowata struktura złącza  $\text{TiO}_2\text{:FTO}$  wprowadzająca znaczną rezystancję; b) zwiększenie przepływającego przez złącze prądu poprzez zwiększenie kontaktu pomiędzy warstwą  $\text{TiO}_2$  a FTO; c) sposób naświetlania warstwy półprzewodnika; d) widmo transmisji FTO - szkło, komercyjna pasta  $\text{TiO}_2\text{:FTO}$  - szkło, przygotowana w laboratorium pasta  $\text{TiO}_2\text{:FTO}$  - szkło. Rysunki 3 a), b), c) opracowano na podstawie [5]; rysunek 3 d) pochodzi z [5]

Figure 3. a) A porous structure of the  $\text{TiO}_2\text{:FTO}$  interface generates high resistance; b) increase the current flow through the interface by increase contact between  $\text{TiO}_2$  and FTO; c) laser welding system used for semiconductor irradiation; d) transmission spectra of FTO-glass, commercial  $\text{TiO}_2\text{:FTO}$ -glass, and homemade  $\text{TiO}_2\text{:FTO}$ -glass. Figures 3a), b), c) developed on the basis [5]; figure 3 d) reprinted from [5]



Rys. 4. Schemat stanowiska do spawania laserowego: 1 - laser, 2 - wiązka lasera, 3 - układ filtrów absorbujących promieniowanie laserowe, 4 - soczewka skupiająca, 5 - warstwa TCO, 6 - warstwa  $\text{TiO}_2$ , 7 - szklane podłoże, 8 - głowica skanująca  
Figure 4. Schematic diagram for laser welding: 1 - laser, 2 - laser beam, 3 - filter system, which absorb laser radiation, 4 - focusing lens, 5 - TCO layer, 6 -  $\text{TiO}_2$  film, 7 - glass substrate, 8 - scanning head

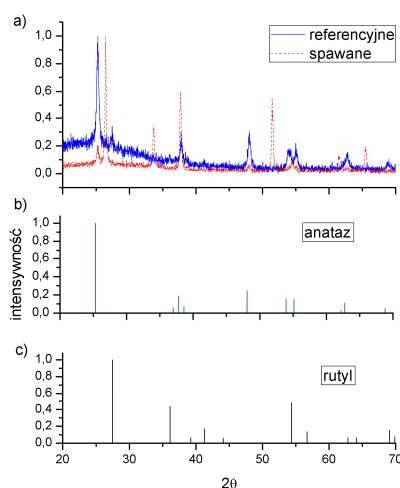
Rys. 4 przedstawia schemat stanowiska do spawania laserowego. Źródło promieniowania stanowił laser impulsowy Titan UV 355 nm T50-30 (DPSS lasers Inc.) o następujących parametrach: długość fali 355 nm, długość impulsu 30 ns, częstotliwość repetycji 30 kHz, średnica wiązki 2 mm, średnia moc wyjściowa 5 W, energia impulsu 166  $\mu$ J. Próbkki były naświetlane od strony szklanego podłoża (Rys. 3 c). Wiązka lasera była skupiana na powierzchni próbek soczewką o ogniskowej 150 mm. Średnica wiązki laserowej na powierzchni spawanego złącza wynosiła 30  $\mu$ m. Dzięki zastosowaniu głowicy skanującej, możliwe było skanowanie wiązką lasera powierzchni próbki, linia po linii. Odstęp pomiędzy kolejnymi liniami wynosił 60  $\mu$ m, a prędkość skanowania ustalono na ok. 160 mm s<sup>-1</sup>. Poprzez zastosowanie filtrów absorpcyjnych, gęstość mocy promieniowania na powierzchni próbki zmieniano skokowo uzyskując wartości 0,12 W, 0,15 W, 0,23 W, 0,32 W i dalej, aż do 5,0 W. Ze względu na absorpcję promieniowania przez szklane podłoże pokryte warstwą FTO, moc promieniowania docierającego do złącza była o około 40% mniejsza od mocy promieniowania padającego na próbkę (Rys. 3d). Przy mocach powyżej 0,23 W obserwowano znaczne uszkodzenie warstwy TiO<sub>2</sub>. Analiza mikroskopowa naświetlanych warstw wykazała, że najlepsze wyniki spawania uzyskano przy mocy lasera 0,12 i 0,15 W.

Badania XRD przeprowadzono przy użyciu dyfraktometru X'pert Pro MPD, natomiast badania ramanowskie przy użyciu spektrometru mikro-ramanowskiego InVia ze wzbudzeniem laserem 514 nm. Pomiary widm impedancji wykonano przy użyciu analizatora Solartron SI 1260 połączonego z interfejsem elektrochemicznym SO 1255. Zakres częstotliwości wynosił od 0,1 Hz do 1 MHz, a zmiennoprądowa amplituda pobudzenia  $V_{ac} = 5$  mV. Podczas pomiaru ogniwo było oświetlane żarówką halogenową o mocy 50 W, z włóknem wolframowym, wyposażoną w odbłyśnik oraz zwierciadło paraboliczne. Aby uniknąć silnego nagrzewania się ogniwa, pomiędzy źródłem promieniowania a badanym ogniwem umieszczono filtr wodny. Natężenie padającego promieniowania w płaszczyźnie ogniwa wynosiło 70 mW cm<sup>-2</sup> - pomiar wykonano miernikiem mocy Field Mate. Sprawności ogniw zostały wyznaczone na podstawie pomiarów wykonanych przy użyciu symulatora słonecznego klasy A, typu Sun 2000 w warunkach AM 1.5, 100 mW cm<sup>-2</sup> (ksenonowe źródło światła). Wykorzystując krzemowe ogniwo referencyjne wykonano kalibrację jednopunktową. Przy użyciu źródła prądowo napięciowego Source Meter 2400 zmierzono charakterystykę prądowo - napięciową.

### 3. WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

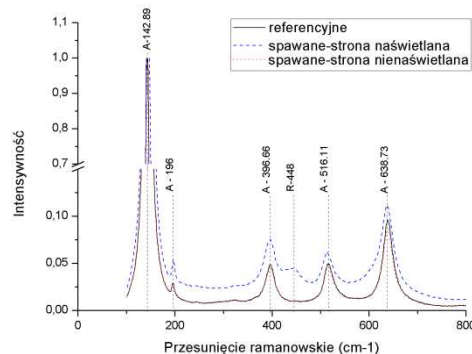
Zastosowany w ogniwie dwutlenek tytanu składa się w 80% z anatazu i 20 % rutylu, co potwierdziła analiza XRD - Rys. 4 a. W przypadku próbek spawanych laserem, na dyfraktogramach zaobserwowano większą intensywność refleksów charakterystycznych dla rutylu, co świadczy o częściowej transformacji fazowej tlenku tytanu - Rys. 4 b. Na Rys. 5 przedstawiono widma ramanowskie zarejestrowane dla próbki referencyjnej oraz spawanej. W przypadku próbki spawanej analizę ramanowską warstwy TiO<sub>2</sub> przeprowadzono od strony szklanego podłoża, jak również od strony nienaświetlanej laserem. W warstwie spawanej laserem pojawiają się pasma charakterystyczne rutylu (448 cm<sup>-1</sup>), co świadczy o częściowej transformacji fazowej i potwierdza wynik uzyskany techniką XRD. Brak pasm rutylu w próbce badanej od strony nienaświetlanej laserem świadczy o tym, że

transformacja fazowa nie zachodzi w całej objętości warstwy, a jedynie w pobliżu złącza  $\text{TiO}_2/\text{FTO}$ .



Rys. 5. a) Dyfraktogram warstwy  $\text{TiO}_2$  ogniwa referencyjnego (linia ciągła) oraz ogniwa spawanego (linia przerywana). Refleksy charakterystyczne anatazu (b) i rutyli (c)

Figure 5. a) X-ray diffraction analysis of the reference cell (solid line) and welded cell (broken line). b) anatase, c) rutile

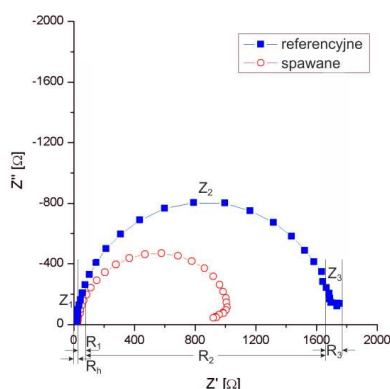


Rys. 6. Widma ramanowskie warstwy  $\text{TiO}_2$  ogniwa referencyjnego (linia ciągła), oraz ogniwa spawanego badanego od strony nienaświetlanej (linia punktowa) i od strony naświetlanej laserem (linia przerywana). Z zaznaczonymi pasmami charakterystycznymi

Figure 6. Raman spectra of the  $\text{TiO}_2$  film: reference cell (solid line), welded cell analyzed from the non-irradiated (dotted line) and irradiated side (broken line). A: anatase, R: rutile

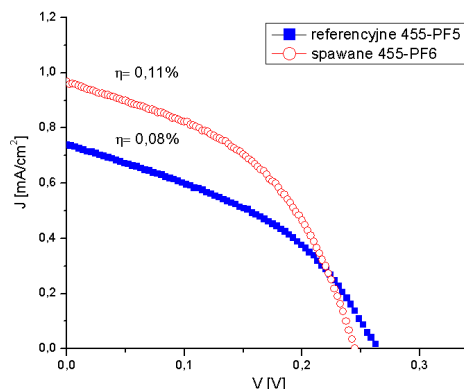
Na Rys. 7 przedstawiono impedancyjny wykres Nyquista ogniwa referencyjnego (krzywa  $-\square-$ ) oraz spawanego wiązką lasera o mocy 0,15 W (krzywa  $-\circ-$ ). Główne składowe impedancje ogniwa związane są z procesem przeniesienia ładunku, zachodzącym na przeciwelektrodzie ( $Z_1$ ), poprzez kontakty pomiędzy FTO,  $\text{TiO}_2$ , barwnikiem i elektrolitem ( $Z_2$ ) oraz w elektrolicie ( $Z_3$ ). Reaktancje pojemnościowe  $Z''_1$ ,  $Z''_2$ ,  $Z''_3$  mogą zostać pominięte, ponieważ w obwodzie obciążenie - ogniwo płynie prąd stały. Całkowita rezystancja wewnętrzna,  $R_t$ , jest więc sumą rezystancji  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ , będących składowymi rzeczywistymi impedancji  $Z_1$ ,  $Z_2$ ,  $Z_3$ , oraz rezystancji  $R_h$ , związanej z rezystancją warstwy FTO [5]. W przypadku złącza spawanego laserem rezystancja  $R_2$  znacznie zmniejszyła się, przy nieznacznej zmianie pozostałych składowych rezystancji. Oznacza to, że w wyniku procesu

spawania obniżyła się rezystancja złącza  $\text{TiO}_2\text{:FTO}$ . Niewielkie różnice rezystancji  $R_h$  świadczą o małym wpływie procesu spawania na rezystancję warstwy FTO. Uzyskany wynik potwierdza, że rezystancja  $R_2$  znacząco wpływa na całkowitą rezystancję ogniwa.



Rys. 7. Impedancyjny wykres Nyquista ogniwa referencyjnego (krzywa -□-) oraz spawanego wiązką lasera o mocy 0,15 W (krzywa -○-)

Figure 7. Nyquist's graph of the reference cell (-□- curve) and welded cell (-○- curve) - laser beam power 0.15 W



Rys. 8. Charakterystyka prądowo napięciowa ogniwa referencyjnego oraz ogniwa spawanego  
Figure 8. Current-voltage characteristics of the reference cell and welded cell

Przeprowadzono badania sprawności dla ogniwa referencyjnego oraz ogniwa spawanego laserem o mocy 0,12 W. W przypadku ogniwa spawanego sprawność wzrosła o prawie 38% (z 0,08% do 0,11%). Należy zwrócić uwagę, że napięcie obwodu otwartego nieznacznie zmalało, o około 8,5% (z 0,267 V do 0,246 V), natomiast gęstość prądu zwarcia znacząco wzrosła, o prawie 31% (z 0,740 do 0,968  $\text{mA cm}^{-2}$ ). Uzyskane wyniki wskazują, że proces spawania praktycznie nie ma wpływu na napięcie obwodu otwartego, a wzrost sprawności związany jest ze zmniejszeniem rezystancji złącza  $\text{TiO}_2\text{:FTO}$ . Zauważalny jest także wzrost wartości współczynnika wypełnienia FF (fillfactor).

Tabela 1. Porównanie parametrów elektrycznych badanych ogniw

Table 1. Electrical cell parameters of DSSCs studied

Nazwa	$J_{sc}$ [ $\text{mA cm}^{-2}$ ]	$V_{oc}$ [V]	$J_m$ [ $\text{mA cm}^{-2}$ ]	$V_m$ [V]	FF	$\eta$ [%]
referencyjne	0,740	0,267	0,447	0,178	0,40	0,08
spawane	0,968	0,246	0,638	0,171	0,46	0,11

#### 4. PODSUMOWANIE

Celem badań podjętych w pracy było przeanalizowanie wpływu spawania laserowego złącza  $\text{TiO}_2\text{:FTO}$  na parametry elektryczne DSSC. Wykazano, że w DSSC istnieje znacząca rezystancja związana z kontaktami pomiędzy elementami składowymi ogniwa, w szczególności pomiędzy nanocząsteczkami  $\text{TiO}_2$  a przewodzącym podłożem FTO. Podjęto próbę redukcji rezystancji złącza  $\text{TiO}_2\text{:FTO}$  przez spawanie laserem impulsowym -

355 nm. Wyznaczono optymalny zakres parametrów procesu spawania. Badania strukturalne warstwy spawanej przy użyciu technik XRD oraz spektroskopii ramanowskiej wykazały częściową transformację  $\text{TiO}_2$  z anatazu do rutylu w obrębie złącza  $\text{TiO}_2$ :FTO. Zmierzono charakterystyki prądowo-napięciowe oraz wyznaczono sprawności ogniw referencyjnych i spawanych. Badania wykazały prawie 38% wzrost sprawności ogniwa po procesie spawania oraz poprawę współczynnika wypełnienia FF.

Zastosowany proces spawania nie jest skomplikowany i potencjalnie może być łączony z innymi sposobami modyfikacji poprawiającymi sprawność ogniw. Ponadto istnieje możliwość jego zastosowania, jako dodatkowego etapu, w procesie technologicznym wytwarzania komercyjnych modułów DSSC.

## 5. LITERATURA

- [1] O'Regan B. and Grätzel M; A low-cost, high efficiency solar cell based on dyesensitized colloidal  $\text{TiO}_2$  films, *Nature*, 1991.
- [2] Antonio Luque and Steven Hegedus; *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*, Wiley, 2003.
- [3] Michael Grätzel; *Solar Energy Conversion by Dye-Sensitized Photovoltaic Cells*, Inorganic Chemistry, 2005.
- [4] P. M. Sommeling, B. C. O'Regan, R. R. Haswell, H. J. P. Smit, N. J. Bakker, J. J. T. Smits, J. M. Kroon, J. A. M. van Roosmalen; Influence of a  $\text{TiCl}_4$  post treatment on nanocrystalline  $\text{TiO}_2$  films in dye-sensitized solar cells, *The Journal of Physical Chemistry B*, 2006.
- [5] Jinsoo Kim, Jonghyun Kim, Myeongkyu Lee; Laser welding of nanoparticulate  $\text{TiO}_2$  and transparent conducting oxide electrodes for highly efficient dye-sensitized solar cell, *Nanotechnology*, 2010
- [6] U. Opara Krasovec, M. Berginc, M. Hocevar, M. Topic; Unique  $\text{TiO}_2$  paste for high efficiency dye-sensitized solar cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 2009.

## INFLUENCE OF LASER WELDING OF THE $\text{TiO}_2$ :FTO INTERFACE ON THE INTERNAL RESISTANCE AND EFFICIENCY OF A DYE-SENSITIZED SOLAR CELL

### SUMMARY

Poor electrical contact between the titanium-dioxide-nanoparticles layer and a transparent-conductive-oxide electrode builds-up a resistance which is a significant part of the total resistance of the cell. This resistance can be reduced by laser welding of the  $\text{TiO}_2$ :FTO interface which results in simultaneous increase of the efficiency of the cell. The  $\text{TiO}_2$  film surface was irradiated with a pulsed ultraviolet laser beam at 355 nm. Influence of the welding process on the  $\text{TiO}_2$  electrode structure were examined using XRD and Raman techniques. Electrical parameters of the cell was determined by electrochemical impedance spectroscopy. Nearly 38% increase of the cell efficiency: from  $\eta = 0.08\%$  to  $\eta = 0.11\%$  has been achieved.

**Justyna KOBYLARCZYK, dr inż. arch.**

Politechnika Krakowska,  
Wydział Architektury,  
Instytut A-3,  
Katedra Kształtowania Środowiska Mieszkaniowego

## **OCENA JAKOŚCI ŚRODOWISKA MIESZKANIOWEGO MAŁEGO MIASTA A WSPÓŁCZESNE ZAGROŻENIA**

### **STRESZCZENIE**

Tematyka związana z jakością środowiska mieszkaniowego jest aktualnym problemem wielu miast. Duże ośrodki miejskie coraz częściej narażone są na wzrastające skażenie powietrza, wody oraz degradację środowiska naturalnego. Rozwój miast przyczynia się do zwiększającej się intensywności zabudowy mieszkaniowej oraz rosnącego natężenia ruchu samochodowego. Prowadzi to do obniżenia komfortu środowiska zamieszkania.

Małe miasta choć mniej narażone na: hałas, zanieczyszczenie powietrza i intensywność zabudowy mieszkaniowej borykają się z problemami finansowymi. Większa intymność i spokój wiąże się często z trudniejszą dostępnością do usług, w tym z zakresu kultury a więc i do miejskich atrakcji. Niewielkie terytorialnie ośrodki miejskie muszą więc poszukiwać swoich indywidualnych dróg rozwoju eksponując wszystkie swoje atuty. Jednym z najważniejszych jest stosunkowo wysoka jakość środowiska zamieszkania – tak oceniono wiele małych miast Podkarpacia – rejonu bogatego w zasoby przyrody, charakteryzującego się niskim skażeniem powietrza i wód.

Słowa kluczowe: Jakość środowiska zamieszkania, miasto, współczesne zagrożenia, Podkarpacie

### **1. WSTĘP**

Problem jakości środowiska zamieszkania jest rozpatrywany na płaszczyźnie człowiek i miasto. "Procesy urbanizacyjne, jakie dokonały się na przestrzeni ostatnich pięćdziesięciu lat na skutek gwałtownego wzrostu globalnej ludności – z 2,5 miliarda w 1950 roku do przeszło 6 miliardów w 2000 roku – oraz równie gwałtownego przepływu ludności do miast – w latach 50 mieszkało w miastach 25% ludności, w roku 2006 miesz-

kańcy miast stanowili już przeszło 48% z 6,5 mld ludności globu”<sup>1</sup>. Zaprezentowane dane świadczą o ogromnym znaczeniu miasta jako podstawowego miejsca zamieszkania współczesnego człowieka.

Ze względu na swój urok i małomiasteczkowy nastrój małe ośrodki miejskie coraz częściej traktowane są jako atrakcyjne obszary zamieszkania. Mimo to wizerunek niewielkich miast jest często narażony na wiele negatywnych w skutkach procesów i zagrożeń. Jednym z najpoważniejszych możliwości rozwoju, a tym samym trudniejsze możliwości przeprowadzenia nowych inwestycji. Stąd zaobserwować można zaniedbania historycznych przestrzeni miejskich, takich jak rynek, czy obszarów z nim sąsiadujących. Sposób ich użytkowania nie wykorzystuje ich potencjału, rangi oraz wartości. Współczesne zagrożenia związane są też z degradacją naturalnego środowiska oraz z uciążliwościami wynikającymi z rosnącego natężenia ruchu kołowego. Z tym bezpośrednio związane są liczne problemy, takie jak: skażenie powietrza oraz hałas i uciążliwości komunikacyjne.

Małe miasta, które nie wyspecjalizowały się w konkretnej dziedzinie zostały pozostawione same sobie co w konsekwencji w wielu przypadkach doprowadziło do ich zaniedbania. „Istnieje szereg czynników wpływających na nasze postrzeganie przestrzeni, na wizerunek małego miasta.

Wszystkie problemy dotyczące miasta w jego sferze przestrzennej – objawiające się również m.in. niskim poziomem estetyki i funkcjonalności obiektów, czy też słabym stanem technicznym infrastruktury drogowej oraz urządzeń komunikacji publicznej – wpływają na pogorszenie wizerunku miasta zarówno w oczach jego mieszkańców, jak i osób przyjezdnych. Jest to sytuacja szczególnie trudna dla miast najmniejszych. Jednakże pozostawienie problemów zagospodarowania przestrzennego bez rozwiązania, uniemożliwia efektywne wprowadzanie zmian w domenę gospodarczej i społecznej”<sup>2</sup>.

Należy jednak zaznaczyć, że pomimo wielu problemów z jakimi borykają się niewielkie ośrodki miejskie stanowić one mogą atrakcyjne miejsce zamieszkania.

„Ważnym problemem w rozważaniu o przyszłości, który widzi świat współczesny człowiek, to sposób wykorzystania techniki do myślenia o tym, w jaki sposób określać nowe strategie rozwoju”<sup>3</sup> - strategie, które będą dotyczyły też miast małych. W tym zakresie ważne są „kulturowe aspekty, klimatyczne, społeczne, a także dostępności do osiągnięć i standardów wysokich technologii umożliwiających ochronę naturalnych zasobów Ziemi oraz środowiska, w którym żyjemy. Jednym z kluczowych problemów do realizacji danych celów jest problem świadomości, a w skali społecznej, odniesienia do kultury i do jej hierarchii wartości, domagając się postawy kreacyjnej dla rodzącej się nowej cywilizacji”<sup>4</sup>.

---

<sup>1</sup> J. Gyurkovich, *Architektura w przestrzeni miasta. Wybrane problemy*, Politechnika Krakowska, Kraków 2005r., str.64.

<sup>2</sup> K. Mazur, str. 176.

<sup>3</sup> Z. Bać, *Habitaty proekologiczne*, [w:] *Habitaty pro-eko-logiczne*, *Habitaty* 2009, Politechnika Wrocławska, Wrocław 2010, str.15.

<sup>4</sup> Z. Bać, op.cit., str.15



## 2. METODY OCENY

„Wyzwaniem przyszłości staje się ocena jakości środowiska pod kątem jego cech prozdrowotnych, poprzez możliwie najpełniejsze wyartykułowanie ważnych czynników wpływających na tę jakość, a następnie znalezienie sposobu oceny i zastosowania jej w praktyce”<sup>5</sup>.

W celu pozyskania informacji na temat komfortu środowiska zamieszkania na terenie małych miast Podkarpacia i scharakteryzowania ich podstawowych zagrożeń przeprowadzona została ocena czynników makro odnoszących się do całego regionu. Na podstawie dostępnych informacji i danych statystycznych analizowano między innymi: czystość wód, czystość powietrza oraz uwarunkowania ekologiczne i zdrowotne. Kolejne badania dotyczyły już konkretnych miast i obszarów. W ramach oceny czynników mikro przeprowadzono w konsultacji z Socjologiem<sup>6</sup> badania ankietowe i analizę urbanistyczną. Badania obejmowały wszystkie małe miasta województwa z wyjątkiem Łańcuta i Przeworska. Także nie otrzymano wyników ankiet z Przecławia i Ulanowa. Zakres terytorialny badań środowiskowych dotyczył więc 38 miast: Baranowa Sandomierskiego, Błazowej, Boguchwały, Brzostka, Brzozowa, Cieszanowa, Dukli, Dynowa, Głogowa Małopolskiego, Iwonicza Zdroju, Jedlicza, Kańczugi, Kolbuszowej, Kołaczyc, Leska, Leżajska, Lubaczowa, Narola, Niska, Nowej Dęby, Nowej Sarzyny, Oleszyc, Pilzna, Pruchnika, Przecławia, Radomyśla Wielkiego Radymna, Ropczyc, Rudnika nad Sanem, Rymanowa, Sędziszowa Małopolskiego, Sieniawy, Sokołowa Małopolskiego, Strzyżowa, Tyczyna, Ulanowa, Ustrzyk Dolnych i Zagórza.

Wybrana metoda badań wydaje się ważna ze względu na możliwość otrzymania obiektywnych i wzajemnie uzupełniających się wyników badań. Odpowiedzi na pytania zawarte w ankietach są wynikiem oceny mieszkańców analizowanych miast. Natomiast wyniki analizy urbanistycznej dotyczą oceny własnej.

Zakres tematyczny ankiet składał się z siedmiu grup dotyczących oceny komfortu środowiska mieszkaniowego. Pierwsza grupa zawierała pytania o adres, płeć, wiek, oraz wykształcenie. Druga część dotyczyła między innymi pytań związanych z zagrożeniami, takimi jak: hałas wywołany ruchem komunikacyjnym i produkcją przemysłową. Trzecia grupa zagadnień związana była z oceną komfortu zamieszkania, a więc między innymi z oceną intymności spokoju, bliskości zieleni, widoku z okna na zieleń. Elementy natury oceniane były także ze względu na stan zadbania, wielkość i sposób zagospodarowania. Kolejne grupy pytań dotyczyły: dostępności do poszczególnych usług i innych atrakcyjnych przestrzeni miejskich oraz estetyki.

Drugi wywiad polegał na ocenie poszczególnych elementów kształtujących wysoką jakość środowiska zamieszkania. Każdemu elementowi Respondenci mieli za zadanie przypisać określoną liczbę punktów. Na tej podstawie wyszczególnione zostały najważniejsze elementy komfortowego miejsca zamieszkania.

---

<sup>5</sup> G. Schneider-Skalska, *Kształtowanie zdrowego środowiska mieszkaniowego. Wybrane zagadnienia*, Politechnika Krakowska, Kraków 2004r., str.119

<sup>6</sup> Profesorem Pałeckim

Wśród ocenianych czynników była między innymi: kompozycja (układ) urbanistyczny, estetyka, rodzaj różnorodność i ilość zieleni, widok z okna, zagospodarowanie przestrzeni wspólnej, mezoklimat oraz doświetlenie wnętrz urbanistycznych,

Analiza urbanistyczna przeprowadzona została w trzech charakterystycznych lokalizacjach wybranych do badań miast. Pierwszy obszar badań dotyczył rynku, drugi zabudowy wielorodzinnej – bloków i trzeci zabudowy jednorodzinnej – domów wolno stojących. Nie zawsze na terenie analizowanych miast można było wyróżnić obszar z wielorodzinną zabudową mieszkaniową – blokami. W trzech miastach nie udało się też wyróżnić typowego rynku (w Boguchwale, Nowej Dębie i Nowej Sarzynie).

Na podstawie analizy urbanistycznej wyszczególnione zostały atuty wybranych miast, ale także ich główne zagrożenia.

Oceniana była zwartość zabudowy, jej proporcje, bliskość usług i przestrzeni zielonych, stan techniczny ciągów komunikacyjnych i ich dostępność, a także sposób zagospodarowania przestrzeni miejskich o różnym charakterze i różnym przeznaczeniu. Środowisko zamieszkania oceniono także pod kątem projektowania zrównoważonego. Badano między innymi takie problemy jak: uciążliwości związane z hałasem, nadmierna koncentracja zespołów zabudowy wielorodzinnej, redukcja terenów zielonych, brak ekologicznej, niskiej, umiarkowanej intensywnej zabudowy mieszkaniowej umożliwiającej dogodne warunki życia i wypoczynku, segregacja przestrzeni na miejsca pracy, zamieszkania i wypoczynku, dynamiczny wzrost ruchu samochodowego, brak chodników, brak tras rowerowych, słabe wyposażenie terenów zielonych, zły stan techniczny obiektów komunalnych, itd.

### 3. WYNIKI BADAŃ

Na podstawie wyników analizy czynników makro można uważać, że w województwie podkarpackim występują korzystne warunki środowiskowe. O wysokiej ocenie decyduje czystość powietrza, względnie dobra jakość wód, duże przestrzenie zieleni, w tym lasy, a także obszary chronione. Zadawalające warunki zdrowotne wynikają także ze sprzyjającego klimatu i obecności: gazów leczniczych, peloidów, wód mineralnych. Ze względu na dogodne warunki lecznicze w województwie wyróżnić można cztery ważne uzdrowiska: Iwonicz Zdrój, Rymanów Zdrój, Polańczyk Zdrój oraz Horyniec Zdrój.

Badania czynników mikro pomogły w dokonaniu oceny komfortu środowiska zamieszkania w charakterystycznych dla miast małych obszarach. Jakość środowiska zamieszkania w dobie rozwoju cywilizacyjnego i dynamicznego postępu jest coraz w większym stopniu narażona na niszczenie naturalnych zasobów przyrody, a także wzrost ruchu samochodowego. Niestety problemy te dotyczą także miast małych. Poza tym sam region Podkarpacia uznawany jest za peryferyjny region problemowy. „Stwierdzenie to uzasadnione jest wieloma przesłankami. Województwo skupia w sobie główne problemy Polski wschodniej, takie jak niski produkt krajowy brutto, niekorzystna struktura gospodarcza, słabe wyposażenie infrastrukturalne, rozdrobnione rolnictwo, ukryte bezrobocie oraz peryferyjne położenie.

Z drugiej strony podnoszone są szanse rozwoju tego regionu, jak wielofunkcyjność gmin ..., wykorzystanie walorów ekologicznych, zwłaszcza w kierunku turystyki ..., roz-

wój infrastruktury... oraz wykorzystanie położenia przygranicznego ... i współpracy w ramach Euroregionu Karpaty”<sup>7</sup>.

Na podstawie analizy urbanistycznej można wnioskować, że wspólne przestrzenie zielone są słabo zagospodarowane. Publiczne tereny zielone, jak parki, czy skwery w zasięgu rynku charakteryzują się wysokim stanem zadbania. Ta wysoka ocena walorów estetycznych zieleni dotyczy także prywatnych ogródków przydomowych. Natomiast dużym problemem jest ruch kołowy przebiegający przez ścisłe centra wielu miast. Stanowi to przede wszystkim zagrożenie bezpieczeństwa. Bliskość dróg o intensywnym ruchu samochodowym jest źródłem zanieczyszczenia powietrza i hałasu. Narażeni na te uciążliwości są zarówno użytkownicy publicznych przestrzeni miejskich jak i zabytki znajdujące się w reprezentacyjnych centrach małych miast. Ruch samochodowy jest dopuszczany w wielu przypadkach w samym rynku, który w znacznej swej części służy jako parking (np. Lesko). W rynku i jego okolicy przestrzeń komunikacyjna znajduje się w bardzo dobrym stanie technicznym. W obszarze z zabudową jednorodzinną często można zaobserwować brak chodników lub ich jednostronność. Kolejnym problemem jest zły stan techniczny obiektów współtworzących centra miast. Ich charakter często odbiega od charakteru otoczenia.

W obszarze współczesnej zabudowy wielorodzinnej problemem podstawowym jest duża intensywność mieszkań i zbyt duża skala obiektów mieszkaniowych – bloki. Poza tym obszar charakteryzuje się typizacją rozwiązań (brak indywidualnych cech charakterystycznych).

Obszar zabudowy jednorodzinnej bardzo często nie zapewnia łatwej dostępności nawet do podstawowych usług – typu sklepy spożywcze. Niemniej jednak teren ten „zapewnia łączność i ciągłość architektoniczną (wyjątek stanowią Oleszyce i Ropczyce). Obszar oceniony został jako czytelny, bezpieczny i komfortowy, ze względu na: możliwość indywidualnego zagospodarowania przestrzeni ogródków, poczucie intymności i spokoju, zachowanie dogodnych odległości między domami, komfortowe rozwiązanie funkcjonalne wnętrz mieszkalnych. Różnorodność zapewniają w odpowiedni sposób zagospodarowane ogródki oraz pojawiające się niekiedy akcenty, dominanty lub częściej obecny widok na dominantę (zazwyczaj kościół)”.

Na podstawie indywidualnych wywiadów można wnioskować, że dla mieszkańców wybranych do analizy miast szczególnie ważnym elementem kształtującym środowisko zamieszkania wysokiej jakości jest: widok z okna, dostęp do ośrodków zdrowia i apteki, bezpieczeństwo, widok z okna na elementy natury, różnorodność i ilość zieleni, higiena przewietrzania, intymność i spokój. Bardzo małe znaczenie ma obecność założeń wodnych, możliwość wspólnego zarządzania i współdziałania w kształtowaniu środowiska zamieszkania. (rys.1).

#### 4. UWAGI KOŃCOWE

Komfort środowiska zamieszkania jest coraz bardziej zagrożony przez szybki rozwój miast, rosnącą intensywność ruchu samochodowego, a także zanieczyszczenie po-

---

<sup>7</sup> A. Sobala-Gwosdz, *Ośrodki wzrostu i obszary stagnacji w województwie podkarpackim*, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków 2005, str. 10-11

wietrza i postępującą degradację środowiska naturalnego. Problemy te są szczególnie dotkliwe dla dużych ośrodków miejskich. W mniejszym stopniu dotyczą miast małych. Choć także i w ich zasięgu zaobserwować można wiele niedomagań i uciążliwości. Centra miast małych Podkarpacia są narażone na bliskość dróg krajowych, które zagrażają: intymności i spokoju, bezpieczeństwu, skażeniu środowiska i stanu technicznemu zabytków.

Obecność dróg w ścisłych centrach miast (jak wykazała analiza urbanistyczna) wpływa niekorzystnie na układ kompozycyjny obszaru centralnego, dzieląc rynek na dwie niezależne części. Negatywnym zjawiskiem prestiżowych przestrzeni rynkowych w centrach miast (między innymi w Lesku) jest obecność obszernych przestrzeni parkingowych. To także typizacja rozwiązań architektonicznych towarzyszących wprowadzanym w obszar rynku zespołom zabudowy wielorodzinnej. Bloki w rynku wpływają negatywnie na wizerunek prestiżowej przestrzeni miasta, nie są także doskonałym przykładem jednostki mieszkaniowej.

Niestety wielorodzinne współczesne zespoły mieszkaniowe występują tylko i wyłącznie w formie bloków charakterystycznych dla lat 70 – tych i 80 – tych XXw. Są więc formami typowymi, (bez cech charakterystycznych), wysokimi, skupiającymi wiele mieszkań.

Obszar nieco oddalony od ścisłego centrum wypełniony jest zabudową jednorodinną. Pomimo wysokich walorów estetycznych, a także wysoko ocenionego stanu zadbania zarówno obiektów jak i zieleni stwarza mało komfortowe warunki w zakresie dostępności do usług podstawowych.

Główne problemy dotyczące jakości środowiska zamieszkania w miastach małych Podkarpacia skupiają się więc przede wszystkim wokół złych rozwiązań komunikacyjnych i braku nowych inwestycji, w tym działań renowacyjnych i rewitalizacyjnych. Ich brak wynika z ograniczonych środków finansowych i trudnej sytuacji gospodarczej rejonu. Należy jednak zaznaczyć, że małe miasta Podkarpacia mogą być też postrzegane jako ośrodki przyjazne współczesnemu człowiekowi. Zapewniają bliskość zieleni – nawet w ścisłym centrum wyróżnić można parki i skwery, intymność i spokój, spokojny małomiasteczkowy nastrój.

Należy także podkreślić, że mieszkańcy analizowanych miast mieszkają w nich z własnego wyboru i traktują je jako docelowe miejsca do życia. Według Respondentów najważniejszymi elementami środowiska zamieszkania jest między innymi: bezpieczeństwo, bliskość ośrodków zdrowia, bliskość zieleni, widok z okna oraz intymność i spokój. Wszystkie te czynniki analizowane miasta zapewniają.

Na podstawie zrealizowanych badań (analizy czynników makro i mikro) można więc wnioskować, że małe miasta Podkarpacia pomimo obecności wielu negatywnych zjawisk mogą być traktowane jako obszary spełniające wymagania w zakresie wysokiej jakości środowiska zamieszkania.



Rys.1. Wyniki badań w zakresie oceny wpływu wybranych czynników na jakość zamieszkiwanego środowiska

Fig. 1. The results of research - influence elements on high residential quality

#### Legenda:

W badaniach analizowano 28 czynników.

Są to: (1) - kompozycja (układ) urbanistyczny, (2) – estetyka, (3) – rodzaj, różnorodność i ilość zieleni, (4) – widok z okna, (5) – zagospodarowanie przestrzeni wspólnej, (6) – mezo-klimat, (7) – doświetlenie wnętrz urbanistycznych, (8) – higiena przewietrzania, (9) – dostęp do usług podstawowych, (10) – dostęp do placówek oświatowych, (11) – dostęp do ośrodków kultury, (12) – dostęp do ośrodków zdrowia i apteki, (13) – dostęp do ośrodków sportowych i rekreacyjnych, (14) – dostęp do usług komunikacyjnych, (15) – obecność placów zabaw dla dzieci, (16) – program użytkowy placów zabaw dla dzieci, (17) – obecność terenów zielonych, (18) – program użytkowy terenów zielonych, (19) – intymność i spokój, (20) – bezpieczeństwo, (21) – obecność założeń (obiektów) wodnych, (22) – obecność i wielkość podwórka, (23) – bliskość przestrzeni integralnych, (24) – obecność elementów natury, (25) – widok z ona na elementy natury, (26) – obecność zabytków lub innych cennych i unikalnych obiektów, (27) – możliwość społecznego współdziałania w kształtowaniu wspólnej przestrzeni, (28) – możliwość wspólnego zarządzania środowiskiem miejsca zamieszkania.

Odpowiedniej ocenie przypisano także odpowiednią liczbę punktów (bardzo duży wpływ – 5, duży – 4, średni – 3, mały – 2, bardzo mały – 1, żaden – 0).

#### 5. LITERATURA

- [1] Bać Z., Habitaty proekologiczne, [w:] Habitaty pro-eko-logiczne, Habitaty 2009
- [2] Gyurkovich J., Architektura w przestrzeni miasta. Wybrane problemy
- [3] Kobylarczyk J., Planowana praca habilitacyjna, Jakość środowiska zamieszkania w małych miastach województwa podkarpackiego w okresie transformacji
- [4] Schneider-Skalska G., Kształtowanie zdrowego środowiska mieszkaniowego. Wybrane zagadnienia
- [5] Sobala-Gwosdz A., Ośrodki wzrostu i obszary stagnacji w województwie podkarpackim

## **EVALUATION OF THE QUALITY OF THE HOUSING ENVIRONMENT OF A SMALL TOWN AND CONTEMPORARY THREATS**

### **SUMMARY**

Themes related to the quality of a housing environment constitute a current problem in a number of towns and cities. More and more frequently, big urban centres are exposed to increasing air and water pollution as well as the degradation of the natural environment. The development of cities contributes to the growing intensiveness of housing and intensifying vehicular traffic congestion. It decreases the comfort of a housing environment.

Small towns – even though less exposed to noise, air pollution and the intensity of housing –grapple with financial problems. More intimacy and quiet often means restricted access to services, including those in the field of culture – urban attractions. Thus, territorially limited urban centres must search for their individual ways of development by exposing all their trump cards. One of the most important values is the relatively high quality of a housing environment – which refers to numerous small towns in Podkarpacie – an area rich in natural resources and characterized by low air and water contamination.

Keywords: quality of housing environment, town, contemporary threats, Podkarpacie

*Pic.1. Research results in the field of evaluating the impact of selected factors on the quality of an inhabited environment*

**Bogusława KONARZEWSKA, dr inż. arch.**

Politechnika Gdańska  
Wydział Architektury  
ul. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk  
e-mail: architektka@wp.pl

## **HISTORYCZNE PRÓBY STWORZENIA FASADY WYDAJNEJ ENERGETYCZNIE JAKO INSPIRACJE DLA ROZWIĄZAŃ WSPÓŁCZESNYCH**

### **STRESZCZENIE**

W referacie przedstawiono ewolucję fasad wydajnych energetycznie od przełomu XIX i XX w. po czasy współczesne. Ukazano kluczowe koncepcje *mur neutralisant* Corbusiera, idei wykorzystania efektu szklarniowego uzyskiwanego na fasadzie południowej, tworzenia warstwowych fasad ze szkła oraz prób włączania w nie systemów żaluzji, systemów ogrzewania i klimatyzacji, aż po rozwiązania ostatnich lat oparte na osiągnięciach inżynierii materiałowej. Wykazano, że pomimo ewolucji technologii pionierskie próby tworzenia fasad wydajnych energetycznie okazały się na tyle owocne i inspirujące, że adaptowane są także w obrębie rozwiązań najnowszych.

### **1. WPROWADZENIE**

Dynamicznie rozwijająca się współcześnie sfera badań koncentrująca się na ograniczeniu zużycia energii do wznoszenia, funkcjonowania i eksploatacji budynku oraz wykorzystaniu naturalnych źródeł energii w ciągu ostatnich lat doprowadziła do wąskich specjalizacji w obrębie tychże dziedzin. Każda z nich: technologie solarne, budownictwo energooszczędne, pasywne, inżynieria materiałowa czy interaktywne systemy sterowania funkcjami budynku to obecnie bardzo zaawansowane dziedziny, koncentrujące się na opracowywaniu i udoskonalaniu poszczególnych technologii w celu podniesienia ich sprawności i efektywności. Większość z tychże technologii ściśle związana jest z fasadą, czyli zewnętrzną powłoką budynku.

W poszukiwaniu inspiracji do tworzenia nowych, spektakularnych rozwiązań fasad, które można by scharakteryzować jako wydajne energetycznie, niezmiennie ważne jest aby poznać i zgłębić pionierskie próby tworzenia tego typu systemów, nie tylko aby doce-

nić ich historyczną wartość, ale aby zrozumieć, że wiele ze współczesnych idei jest próbą przetworzenia lub adaptacji tychże rozwiązań, z uwzględnieniem współczesnych możliwości technologicznych. Warto też zauważyć, że choć podejmowane próby tworzenia powłok budynków wydajnych energetycznie to wyzwanie czysto inżynierskie, wynika ono jednak z szerzej rozumianej potrzeby tworzenia budynków współdziałających z otaczającym środowiskiem, postulowanej w architekturze w sposób szczególny począwszy od drugiej połowy XX wieku.

## 2. OD PIERWSZYCH EKSPERYMENTÓW XIX W. DO MODERNIZMU

Rozpoczęte przez rewolucję industrialną i narastające w wieku XX przemiany w przemyśle spowodowały, że architekci zaczęli konfrontować swoje zamiary projektowe z dostępną wiedzą i osiągnięciami techniki a w szczególności z coraz szybciej rozwijającymi się technologiami budowlanymi. Dzięki badaniom nad nowym rodzajem stalowych elementów konstrukcyjnych, metodom wytwarzania poddającego się miękkiemu formowaniu betonu czy udoskonalonym technologiom produkcji szkła zaczęto dostrzegać nowy potencjał, jaki może prezentować zewnętrzna powłoka budynku. Zaczęto rozważać, jakie można byłoby w nią włączyć technologie i systemy, aby nie była ona jedynie kolejną efektowną wizualnie, lecz bierną przegrodą, lecz powłoką przynoszącą zyski środowiskowe.

Już w 1849 roku Jean-Baptiste Jobard, który w tamtym okresie był dyrektorem Muzeum Przemysłowego w Brukseli jako pierwszy wskazał, że w warstwowej fasadzie mogłoby cyrkulować powietrze: podgrzane lub schłodzone, zależnie od pory roku [1]. Propozycja bardzo zbliżona była do pojawiających się później wentylowanych mechanicznie fasad warstwowych. Sam pomysł szybko podchwycony został nie tylko przez architektów. W 1860 roku na łamach brytyjskiego periodyku *The Chronicle Garden* botanik Jacob Forst przedstawił pomysł, aby wykorzystać i wprowadzić w obieg ciepłe powietrze podgrzane w wyniku efektu szklarniowego na południowej fasadzie budynku. Powietrze to miałoby służyć jako źródło naturalnego ciepła ogrzewającego wnętrze. Rozwiązanie szczególnie w drugiej połowie XX wieku stało się jednym z podstawowych idei dla tzw. *solar buildings*, gdzie ciepło pozyskiwane na fasadzie południowej jest albo bezpośrednio dostarczane do ogrzania pomieszczeń po stronie północnej lub dostarczane do wywietrznika odzysku energii/ciepła, zaopatrującego dom we wstępnie podgrzane powietrze.

W 1882 roku Edward Morse, także brytyjski botanik, stworzył pierwszą funkcjonującą ścianę warstwową zwaną ścianą słoneczną (*solar wall*), znaną dziś pod nazwą ściany Trombe-Michela. W jej projekcie wykorzystał fakt, że ściana skonstruowana z zewnętrznej tafli szkła, pustki powietrznej oraz ściany nośnej o ciemnymi kolorze staje się źródłem ciepłych prądów tworzących się pomiędzy wymienionymi warstwami. W tamtym okresie brakowało jednak jeszcze technicznych możliwości, aby rozpowszechnić jego wynalazki. Warto nadmienić, że nazwa ta nadana została temu rozwiązaniu dopiero w latach 60. XX wieku, 80 lat po jej wynalezieniu właśnie dlatego, że dzięki nowym technologiom mogła ona być prawidłowo zaprojektowana i wykonana.

Już w 1903 roku stworzono udany projekt podwójnej fasady przeszklonej, która uwzględniała zimne temperatury i silne wiatry charakterystyczne dla niemieckiego regionu Badeni-Wirtembergii. Zrealizował ją właściciel budynku fabryki *Steiff Factory* w Giengen-Richard Steiff wraz z synem. Fasada ta, podobnie jak kilka następnych zrealizowanych fasadowych



przeszkleń podwójnych takich jak: bank *Post Office Saving Bank* Otto Wagnera z 1903 roku czy budynek mieszkań komunalnych Mosei'a Ginzburga w Rosji (1928) choć nie prezentowała możliwości otwierania poszczególnych otworów okiennych i regulacji przepływu powietrza zależnie od pory dnia i roku, stały się ważnym etapem na drodze ewolucji fasady wydajnej energetycznie. Otworzyły one bowiem drogę do procesów ulepszania jej izolacyjności poprzez zestawianie ze sobą poszczególnych warstw [2].

W 1916 roku, idąc krok dalej, Le Corbusier w budynku *Villa Schwob* pomiędzy dwiema odsuniętymi od siebie, wysokimi na dwie kondygnacje taflami szkła umieszcza rurki podgrzewające powietrze, tak aby zapobiec odwrotnemu ciągowi powietrza w dół przeszklenia. Ta przeszklona fasada stanowiła próbę stworzenia aktywnej przegrody zewnętrznej dostosowującej się do trudnych warunków klimatu szwajcarskich Alp. Projekt nazwany *mur neutralisant*, wskazywany jest przez badaczy jako początek współczesnej historii przeszklonych fasad aktywnie współdziałających ze środowiskiem w celu podniesienia wydajności energetycznej budynku. Choć nie zaawansowany technologicznie, dał on początek uniwersalnej idei wykorzystania prądów powietrza między warstwami fasady, idei, która później wielokrotnie jeszcze znalazła zastosowanie w projektowaniu energooszczędnych rozwiązań powłok budynków.

Projekt ściany szklanej neutralizującej straty ciepła *mur neutralisant* udoskonalony został przez Le Corbusiera w kolejnych latach, między innymi, w projekcie domu *Double House* w Weissenhof w Sztutgarcie w 1927 roku, czy też dużo później, w projekcie hotelu Armii Zbawienia w Paryżu (*Cité de Refuge*, 1948-52). Ostatni projekt prezentował dużo bardziej śmiało rozwiązania obejmujące dwa uzupełniające się systemy budynku: system fasadowy typu *mur neutralisant* oraz precyzyjnie sterowany system wentylacji mechanicznej zwany *respiration exacte*. Aby zmniejszyć straty ciepła odbywające się przez warstwy fasady w latach 30. Le Corbusier przy współpracy z potentatem produkcji szkła – firmą Saint-Gobain, w specjalnych komorach pomiarowych badał także możliwości dodania do przeszklonej podwójnej fasady kolejnej, trzeciej warstwy szkła, kontynuując ideę zestawiania kolejnych warstw na fasadzie w celu poprawienia jej parametrów izolacyjności.

Bardzo ważnym etapem na drodze ewolucji fasady ukierunkowanej na współdziałanie ze środowiskiem naturalnym stało się wynalezienie ściany kurtynowej, lekkiej konstrukcji ściany zewnętrznej, którą Le Corbusier opisywał w magazynie *L'Esprit Nouveau* w latach 1920-1923 oraz w swojej książce *Vers une architecture* z 1923 roku. Kurtynowa fasada, tzw. „wolna” elewacja była rewolucyjna jak na owe czasy, zupełnie inna niż fasady tworzone przed okresem modernizmu. Początkowo stanowiła ona rodzaj eksperymentu formalnego, szybko jednak stała się niezbędnym technologicznym szkieletem dla swobodnego projektowania coraz nowych rozwiązań pro środowiskowych w obrębie fasady.

### 3. FASADA DOSTOSOWUJĄCA BUDYNEK DO WARUNKÓW NATURALNYCH ŚRODOWISKA

Istniejąca wśród architektów i inżynierów świadomość konieczności podniesienia wydajności energetycznej gwałtownie wzrosła wraz z coraz bardziej powszechnym projektowaniem dużych, przeszklonych powłok budynków - ścian kurtynowych. Zanim zaczęto tworzyć systemy fasadowe, dzięki którym budynek mógłby dostosowywać się do zmiennych warunków środowiska, konieczne było polepszenie samych parametrów izola-

cyjności fasad przeszklonych. Już w latach 30. w Stanach Zjednoczonych stworzony został system podwójnego przeszklenia nazwany *Thermopane*, w obrębie którego, aby zwiększyć izolacyjność szkła, dwie szczelnie połączone ze sobą tafle rozsunięto tak, aby powstała między nimi zamknięta szczelina powietrzna. Także w kolejnych latach podejmowane były badania, prowadzone przez producentów szkła oraz technologiczne jednostki badawcze, mające na celu optymalizację powierzchni przeszklonych [3].

Wciąż powracano także do idei zestawiania podwójnych przeszkleń, które nie były ze sobą szczelnie połączone, eksperymentując jednocześnie z nowoczesnymi systemami ogrzewania, klimatyzacji tak, aby stworzyć optymalne warunki dotyczące wahań temperatury oraz wilgotność wewnątrz budynku. Już w 1937 roku w Catskills w stanie Nowy Jork powstał budynek o wyszukanej, podwójnej powłoce. Jak mówił o nim autor William Lesceze: „podstawowy układ budynku podyktowany był pragnieniem właścicieli, którzy chcieli przybliżyć temperaturę oraz wilgotność do tej, którą mają w swoim domu w Południowej Kalifornii” [4]. Dodatkowa szklana fasada, odsunięta od właściwej powłoki budynku na odległość dwóch stóp pozwoliła na osiągnięcie we wnętrzu pożądanej przez właścicieli wilgotności bez efektu skraplania się wody na wewnętrznej powierzchni właściwego przeszklenia. Prototypowe projekty tego typu stanowiły pierwsze próby stworzenia fasady dostosowującej budynek do zmiennych warunków środowiska.

Pomimo tego, że architekci szybko zyskali świadomość, że jak pisano w 1955 *Scientific American* „projektowane przez nich fasady powinny brać aktywny udział o utrzymanie wewnętrznej, termicznej równowagi budynku” oraz „posiadać możliwości dostosowania się do zmiennych wahań środowiska zewnętrznego” [5], to droga to praktycznej realizacji tych idei była długa a rozwiązania różnorodne.

Szybkie rozprzestrzenianie się fasad przeszklonych i pojawiająca się nagła potrzeba stworzenia powtarzalnych systemów technologicznych wspomagających dostosowanie powłoki budynku do zmiennych warunków środowiska „wymusiły” wręcz skonstruowanie mechanicznych systemów wspomagających cyrkulację powietrza w budynku oraz cyrkulację pomiędzy warstwami fasady. Prototypowym systemem tego typu stał się zaprojektowany w latach 50. w Skandynawii system fasadowy zwany *mechanical extract-air wall*, który polegał na wyciąganiu klimatyzowanego powietrza z pomieszczeń do szczeliny pomiędzy warstwami przeszklenia. W ten sposób wewnętrzna warstwa szkła miała szansę osiągnąć temperaturę bliską temperaturze pokojowej, dzięki czemu zredukowany został dyskomfort termiczny obserwowany w zimie z powodu zastosowania dużych powierzchni przeszklonych [6].

Systemy rekompensujące straty energii w zimie oraz nadmiar energii słonecznej w okresie letnim, szybko zyskały popularność, głównie ze względu na ich powtarzalność i elastyczność. Aby łagodzić zróżnicowane, zależnie od pory dnia i roku obciążenia termiczne, szklane fasady zaczęto masowo wyposażać w systemy HVAC (*heating, ventilation, air conditioning*), związane z ogrzewaniem, wentylacją i klimatyzacją budynku. Szybko jednak okazało się, że systemy HVAC są kosztowne i wymagają dużego poboru energii. Dlatego zastąpiono je, między innymi systemami VAV (*variable air volume*), które polegały na dostarczeniu zmiennej ilości powietrza wentylowanego, zależnie od potrzeb użytkowników [7]. Wymienione systemy wentylacji mechanicznej i powiązane z fasadą systemy ogrzewania niwelowały skutki wpływu czynników atmosferycznych wpływających na fasadę. Pomimo ich

zastosowania sama fasada wciąż jednak pozostawała bierną przegrodą a rozwiązania te wiązały się również z dużym obciążeniem poborem energii.

W poszukiwaniu sposobów, dzięki którym fasada mogłaby aktywnie dostosowywać się do zmiennych warunków zewnętrznych, poczynając od lat 50 ubiegłego wieku architekci coraz częściej zaczęli wkomponowywać w jej strukturę systemy kontroli światła. Różnorodne systemy zaciniające, najczęściej w postaci żaluzji, dzięki prostym pod względem technologicznym rozwiązaniom i efektywności działania szybko zyskały popularność. Jedne z pierwszych systemów żaluzji zintegrowanych z przeszkloną fasadą nazwanych *brise-soleil* stworzył Le Corbusier dla budynku Hotelu Armii Zbawienia (*Cité de Refuge*) w latach 1948-52 w Paryżu.

Od początku lat 60. coraz częściej powstały fasady o bardziej zróżnicowanych, wyszukanych systemach żaluzji zaciniających. W 1961 roku dla budynku szkoły *St George School Wallasey* zaprojektowano oryginalny system obrotowych paneli aluminiowych, umożliwiających sterowanie procesem odbicia lub pochłaniania światła, zależnie od pory roku. Dodatkowo, aby spotęgować efekt odbicia lub przyciągania promieni słonecznych, rozróżniono powierzchnie żaluzji na czarne, matowe i polerowane, aluminiowe. W 1967 roku na wystawę EXPO w Montrealu, dla swojego pawilonu w kształcie kopuły Richard Buckminster Fuller zaprojektował innowacyjne, automatyczne urządzenie zaciniające. Urządzenie wyróżniało się nie tylko nietypowym kształtem, ale przede wszystkim możliwością sterowania jego ruchem za pomocą komputera. Urządzenie zaciniające zaprojektowane przez Fullera składało się z powtarzalnych trójkątów tkaniny powleczonej aluminium, zaaranżowanych w formie połączonych ze sobą sześciokątów. Ruch urządzeń zaciniających możliwy był dzięki zastosowaniu silnika sterowanego za pomocą komputera, który programowano za pomocą kart perforowanych. Położenie urządzenia zaciniającego zmieniało się co dwadzieścia minut, zgodnie z drogą słońca na niebie. Można powiedzieć że myśl Fullera polegająca na śledzeniu trajektorii słońca wyprzedziła swoją epokę, ponieważ podobne rozwiązania zaczęły pojawiać się dopiero w latach 90., między innymi w kopule Reichstagu w Berlinie Normana Foster'a.

Mechanizmy kontrolujące dostęp światła dziennego w postaci ruchomych żaluzji i przesłon przeciwsłonecznych szybko zyskały popularność, przyjmując coraz bardziej wyszukane formy i układy oraz różnorodne rozwiązania materiałowe. Żaluzje zaciniające: pionowe, poziome, sterowane ręcznie lub mechanicznie zaczęto stosować nie tylko jako warstwę fasady zintegrowaną z przeszkleniem, ale także, na przykład, w postaci ruchomych tarcz o nieregularnych kształtach. Bardzo ważnym faktem, który przyczynił się do możliwości stworzenia systemów zaciniających będących indywidualną odpowiedzią na lokalne warunki klimatyczne, stało się stworzenie opcji oprogramowania CAD służącego do sporządzenia analizy światła dziennego. W ten sposób, poprzez zastosowanie żaluzji zaciniających, znaleziono względnie prosty, dostępny sposób, za pomocą którego fasada mogła znacznie podnieść wydajność energetyczną budynku, dostosowując go do zmiennych cech środowiska. Nie zawsze jednak rozwiązania oparte na systemach żaluzji zintegrowanych z fasadą okazywały się wystarczającym środkiem pozwalającym na ograniczenie niepożądanego wpływu czynników środowiska na budynek. W latach 70. na fali światowego kryzysu energetycznego zaczęto szukać nowych sposobów, dzięki którym fasada mogłaby aktywnie współdziałać z naturalnymi warunkami środowiska, przy jednoczesnym jak najmniejszym

zużyciu energii. Powrócono wówczas do idei fasady warstwowej, która najczęściej polegała na zaprojektowaniu dodatkowej, zwykle szklanej, zewnętrznej warstwy, oddzielonej od ściany właściwej pustką powietrzną. Fasady tego typu najczęściej określa się terminem fasad podwójnych (*double facades*).

Po raz kolejny w historii powrócono do wcześniejszych idei, udoskonalając je dzięki nowym możliwościom technologicznym. Znany układ warstwowej, nie zespolonej fasady udoskonalono projektując ruchome elementy w postaci otworów wlotowych i wylotowych, pozwalające na aktywną wymianę powietrza pomiędzy wnętrzem budynku a otoczeniem. Sterowanie ręczne lub mechaniczne stopniem otwarcia otworów stworzyło możliwość naturalnej wentylacji pomieszczeń, zależnie od zmiennych warunków klimatycznych. Pustka pomiędzy warstwami podwójnej fasady wykorzystana została natomiast aby przewodzić świeże i „zużyte” powietrze do odpowiednich otworów. Jednym z najbardziej znanych przykładów fasady podwójnej z ruchomymi otworami z tamtego okresu jest fasada budynku *Hooker Office Building* w Niagara Fall z 1978 roku [8]. W efekcie podejmowanych prób stworzenia fasad wydajnych energetycznie, architekci dopracowując znane rozwiązania i łącząc je z nowymi technologiami, zaczynają coraz swobodniej integrować systemy pro środowiskowe w obrębie swoich koncepcji projektowych fasad ale także w procesach modernizacji budynków. Technologie, dzięki którym budynek mógł stać się bardziej wydajny energetycznie powoli zaczęły stawać się ważną częścią warsztatu projektanta.

Jedną z pierwszych zrealizowanych w ten sposób fasad była elewacja budynku SUVA w Bazylei Herzoga i de Merona. Stworzony pod koniec lat 80. projekt modernizacji budynku towarzystwa ubezpieczeniowego to fasada podwójna, przykryta szklaną powłoką, podzieloną na poziome pasy o trzech stopniach zróżnicowania, zmieniająca się zależnie od pory dnia i roku. Na fasadzie tej zastosowano podobną jak w projekcie kopuły Fullera ideę ruchu żaluzji zacieniających zależnie ilości padających promieni słonecznych. Zastosowane tu fotosensory zintegrowane w obrębie prostokąty szkła



*Fot. 1 Biblioteka Narodowa w Paryżu,  
Phot.1 National Library in Paris, fot.  
B.Konarzewska*

zespolonego, dziś bardzo często stosowane są przez architektów na całym świecie. Dzięki nim oraz komputerowy system sterowania śledzi położenie słońca tak, aby odpowiednio ustawić kąt prostokątnych żaluzji, chroniąc w ten sposób wnętrze przed bezpośrednim światłem słonecznym. Z kolei pasy usytuowane na poziomie okien z kolei składają się z przezroczystych paneli otwieranych ręcznie w celu zapewnienia naturalnej wentylacji pomieszczeń. Ostatni pas przeszklenia stanowią natomiast prostokąty zintegrowane z komórkami fotowoltaicznymi. Jak życzyli sobie autorzy, powstała w ten sposób fasada w optymalny sposób wykorzystująca światło słoneczne i jednocześnie reagująca, także w sposób metaforyczny na zmiany pór roku [9]. Od tego czasu coraz częściej, czego dowodem jest chociażby spektakularny projekt Biblioteki Narodowej w Paryżu, rozpoczętej w 1989 roku, architekci podnosząc wydajność energetyczną fasady poprzez zastosowanie różnorodnych systemów, tak jak Dominique Perrault starają się podporządkować je swej koncepcji. Odpowiednio dobrana kolorystyka, proporcje i nieprzewidywalność układu paneli chroniących przed słońcem we wnętrzu biblioteki powodują, że bryły biblioteki doskonale uzupełniają zalesione otoczenie, zmieniając się wraz z rytmem natury.

#### 4. OSIĄGNIĘCIE TECHNOLOGII OSTATNICH DEKAD

Dzięki osiągnięciom inżynierii materiałowej ostatnich dekad, które umożliwiły projektowanie właściwości materiałów w mikro i nano skali otwarte zostały przed architektami zupełnie nowe możliwości kształtowania fasady wydajnej energetycznie. Fasada zaczęła może być traktowana już nie tylko jako jedno, dwu lub trójwarstwowa przegroda lecz złożony materiałowy system. Nowe rozwiązania pro środowiskowe fasad to systemy projektowane wewnątrz struktury materiału, często nie widoczne na powierzchni fasady.

Zupełnie nowe możliwości technologiczne nie oznaczają jednak zupełnie nowych idei. Korzystając z pomysłów i odkryć przełomu XIX i XX wieku naukowcy prowadzą badania np. nad tym, jak wykorzystać energię słoneczną do pompowania powietrza w kierunku odrotnym do kierunku pasywnego przewodzenia ciepła, nawiązując w ten sposób do koncepcji *mur neutralisant* Corbusiera. Znana koncepcja udoskonalana jest i wzbogacana dzięki osiągnięciom inżynierii materiałowej. Badania takie prowadzą, między innymi naukowcy z Rensselaer Polytechnic Institute w Stanach Zjednoczonych i nazwali go *Active Building Envelope* [10] Obejmuje on stworzenie interaktywnego systemu fasadowego, którego izolacyjność byłaby wynikiem aktywnych procesów odbywających się w obrębie powłoki budynku.

Wielofunkcyjny system ABE tworzy rodzaj fizycznej powłoki otaczającej zewnętrzne ściany budynku. W jego obrębie zintegrowane są receptory energii oraz przetworniki, a także będące częścią budynku systemy i technologie dotyczące kontroli, magazynowania oraz dystrybucji energii. System ABE, poczynając od zewnątrz, składa się z cienkiej warstwy materiału będącego dobrym izolatorem ciepła i ochraniającego ogniwa fotowoltaiczne, pustki powietrznej nazwanej strefą rozpraszania ciepła oraz ściany właściwej o wysokiej zdolności magazynowania ciepła, składającej się z termicznej izolacji i termicznej masy. Kluczowym elementem systemu są jednostki termoelektryczne (jednostka TE) rozmieszczone wewnątrz otworów w warstwie izolującej. Jednostki te zwane inaczej termoogniwami, to „urządzenia” przekształcające energię termiczną w elektryczną lub odwrotnie. To właśnie jednostki

termoelektryczne, pełniąc rolę czujników temperatury, są pierwszymi elementami pobudzającymi system interaktywny do działania.

W obrębie systemu ABE na początku energia promieniowania słonecznego z ogniw fotowoltaicznych przetwarzana jest w energię elektryczną. Następnie pozyskana energia elektryczna wykorzystywana jest aby dostarczyć moc do serii jednostek termoelektrycznego systemu, który pozwala na transport ciepła przez powłokę ABE. Zależny od kierunku płynięcia prądu system termoelektryczny pompujący ciepło może działać zarówno jako system ogrzewający jak i chłodzący. Pomysł ten oparty na interaktywnych procesach rozgrywających się pomiędzy warstwami fasady, eliminuje potrzebę innych źródeł energii potrzebnych do utrzymania odpowiednich warunków termicznych wewnątrz budynku.

Dzięki interaktywnemu systemowi ABE powłoka budynku mogłaby reagować na zmienne warunki klimatyczne: chłodzić lub generować energię potrzebną do ogrzania wnętrza, stając się wydajną energetycznie izolującą wnętrze strefą buforową, której izolacyjność nie byłaby zdeterminowana przez rodzaj użytego materiału, ani jego grubość. Rozwiązania tego typu mogłyby przynieść wymierne korzyści praktyczne i ekonomiczne dla fasady, pod warunkiem dopracowania ich współdziałania z innymi systemami w budynku.

Koncepcje wykorzystania ruchomych elementów w obrębie powłoki budynku, które reagują zgodnie z warunkami nasłonecznienia zastosowaną m.in. przez Fullera czy później Herzoga i de Merona, także w ostatnich latach kontynuują naukowcy z *Materialab* z *Rensselaer Polytechnic Institute* w Troy, w stanie Nowy Jork. Prowadzą oni badania nad tym w jaki sposób wykorzystać np. ruchome, skupiające promienie słoneczne moduły, które w wyniku komputerowo sterowanego ruchu mogłyby jednocześnie w optymalny sposób absorbować energię i płynnie przekazywać ją do standardowych systemów HVAC oraz systemów energetycznych budynku.

Podstawowy model tego projektu to podwójna szklana fasada, w której pomiędzy warstwami umieszczono połączone ze sobą i podwieszone za pomocą przewodów prowadzących pionowe rzędy zintegrowanych koncentrycznych modułów słonecznych. Moduły te, mające kształt przewróconych ostrosłupów, zawierają soczewki Fresnela. Dzięki sensorom umieszczonym na fasadzie moduły zmieniają pozycję zależnie od kąta padania światła. W ten sposób zawarte w nich soczewki wyłapują maksymalną możliwą ilość światła, aby następnie przekształcić je z pomocą ogniw fotowoltaicznych w energię elektryczną, jednocześnie nie dopuszczając do przegrzania wnętrza.

Nad tego rodzaju prototypami współczesnych fasad aktywnie filtrujących architektki współpracują ze specjalistami z zakresu nanotechnologii, inżynierii elektrycznej i optycznej, mechatroniki i często także innych wysoko wyspecjalizowanych dyscyplin tak aby połączyć je z innymi systemami w budynku. Specjaliści elektrotechniki i automatyki badają także w jaki sposób zoptymalizować transfer energii cieplnej z komórek słonecznych do systemów odpowiedzialnych za domową ciepłą wodę, ogrzewanie czy klimatyzację oraz jak obniżyć koszty ich produkcji. Fizycy pracują nad optymalnym kształtem wzorów żłobków soczewki Fresnela, które maksymalnie zwiększyłyby absorpcję światła odbywającą się za pośrednictwem fasady. Prowadzone są także liczne badania nad zintegrowaniem fasadowego oświetlenia LED w budynku zasilanym jedynie energią z komórek fotowoltaicznych. Dzięki zastosowaniu tego typu rozwiązań fasada wydajna byłaby w stanie przekształcić 30% przejętej

energii słonecznej w energię elektryczną, oraz zaabsorbować 50% procent energii słonecznej w postaci ciepła [11].

## 5. PODSUMOWANIE

Zapoczątkowane pod koniec XIX wieku pionierskie koncepcje tworzenia fasad wydajnych energetycznie dziś stają się wymogiem w współczesnej architekturze, budownictwie i inżynierii środowiska. Wciąż aktualne pozostają przesłanki do tworzenia takich fasad, którymi są zmienne warunki naturalne środowiska, oszczędności energii oraz chęć zapewnienia optymalnego komfortu użytkownikowi. Pomimo tego, że postęp technologii otworzył przed projektantami nowe ścieżki badawcze to dawne odkrycia stają się inspiracją do tworzenia udoskonalonych wersji wynalezionych przed dziesiątkami lat koncepcji fasad wydajnych energetycznie. Ich znajomość pomaga także uniknąć błędów, które charakteryzują rozwiązania prototypowe. Niezależnie od skali: mikro, nano czy makro, w której prowadzone są badania znajomość podstawowych mechanizmów interakcji, praw fizyki przepływu ciepłych i zimnych mas powietrza zawsze pozostaje inspirująca, także w przypadku najnowszych, zaawansowanych badań systemów materiałowych których celem jest zwiększenie zysków środowiskowych nowo projektowanych fasad.

## 6. LITERATURA

- [1] Sealens D., Energy Performance Assessment of Single Storey Multiple-Skin Facades, Katholieke Universiteit Leuven, Leuven - Belgia 2002, [www.buildingenvelopes.org](http://www.buildingenvelopes.org)
- [2] McCarthy B., *Double facades:history*, [www.battlemccarthy.co.uk/researchdoubleskin](http://www.battlemccarthy.co.uk/researchdoubleskin)
- [3] McCarthy B., *Double facades:history*, [www.battlemccarthy.co.uk/researchdoubleskin](http://www.battlemccarthy.co.uk/researchdoubleskin)
- [4] Braham W., W., *Active Glass Walls: A Typology and Historical Account*, AIA Convention, Las Vegas 2005, s. 3.
- [5] Za: Vanderblit T., 2005 *Next Generation Winners*, [www.metropolismag.com](http://www.metropolismag.com), 16 maj 2006.
- [6] Braham W., W., *Active Glass Walls: A Typology and Historical Account*, AIA Convention, Las Vegas 2005, s. 3.
- [7] Addington M. Schodek D., *Smart Materials and Technologies*, Architectural Press, Elsevier, Oxford 2005, s. 88-91.
- [8] Vanderblit T., 2005 *Next Generation Winners*, [www.metropolismag.com](http://www.metropolismag.com), 16 maj 2006
- [9] Daniels K., *The Technology of Ecological Building*, Birkhauser, Bazylea 1997, s. 159.
- [10] R. A. Khire R., Dessel A., Messac A., *Active Building Envelopes: a New Solar Driven Heat Transfer Mechanism*, 19th European PV Solar Energy Conference, Paryż 2004.
- [11] Do tej pory stosowane ogniwa fotowoltaiczne prezentowały kilkunastu procentową wydajność a całe ciepło rozproszone nie było wykorzystywane, stanowiło czystą stratę energii, za: L.Manfra, *The Solar Race*, [www.rpi.edu/research/magazine/winter04/solar\\_race](http://www.rpi.edu/research/magazine/winter04/solar_race)

---

## **HISTORICAL CONCEPTS OF ENERGY-EFFICIENT FACADES AS INSPIRATION FOR CONTEMPORARY SOLUTIONS**

### **SUMMARY**

The paper presents the evolution of energy-efficient facades from the end of XIX through the 20th century until contemporary times. Crucial concepts were portrayed: mur neutralisant of Corbusier, the idea of the use the greenhouse effect get on the south facade, multi-layered glass facades propositions together with the attempts to include the systems of the blind, heating systems and the air-conditioning into them and finally innovative solutions based on achievements of the materials engineering. At the end it was proved that in spite of the evolution of the technology, pioneering attempts to build energy-efficient facades had turned out to be enough fruitful and inspiring, that are still being adapted also within contemporary solutions.



**Bogusława KONARZEWSKA dr inż. arch.**

**Lucyna NYKA, dr hab. inż. arch.**

Politechnika Gdańska

Wydział Architektury

ul. Narutowicza 11/12

80-233 Gdańsk

e-mail: konarzewscy@wp.pl

e-mail: lnyka@gg.gda.pl

## **HYBRYDOWE FASADY AKTYWNE – OD CECH WIZUALNYCH PO ZYSKI ŚRODOWISKOWE ZINTEGROWANYCH ROZWIĄZAŃ ORGANICZNYCH**

### **STRESZCZENIE**

W referacie przedstawiono możliwości kształtowania fasad budynków poprzez połączenia trzech podstawowych systemów technologicznych: interaktywnych, medialnych i filtrujących w złożone systemy hybrydowe. Wykazano, że zastosowanie systemów hybrydowych otwiera nowe zakresy współdziałania powierzchni budynku ze środowiskiem zarówno w znaczeniu estetycznym jak też energetycznym. Próby wypracowania zintegrowanych rozwiązań organicznych zidentyfikowano jako kulminację obecnych poszukiwań w zakresie tworzenia fasad hybrydowych.

### **1. WPROWADZENIE**

Na przełomie XX i XXI wieku coraz wyraźniej zaczął wyłaniać się szczególny rodzaj aktywnych powierzchni budynków – podatnych na zmiany, reagujących na obecność przechodniów i wpływy środowiska [6]. Efekty takie osiągnęte są na fasadach dzięki zastosowaniu trzech głównych systemów technologicznych: interaktywnych, medialnych oraz wykorzystujących mechanizmy działania filtrów aktywnych. Stosując je i wypracowując coraz doskonalsze sposoby integracji tych systemów w rozwiązaniach fasadowych budynków, architekci wraz z inżynierami innych dyscyplin tworzą powierzchnie zdolne do odwzorowywania ruchu ludzi, zależne od temperatury otoczenia i emitujące niejednoznaczne krajobrazowe wzory w przestrzeń miasta [7].

O ile technologie interaktywne, medialne i filtrujące w początkowych fazach ich zastosowań na fasadach występowały osobno, to obecnie obserwujemy proces łączenia tych systemów technologicznych w coraz bardziej złożone układy hybrydowe [3]. To w dużej mierze dążenie do budowania coraz silniejszych powiązań fasady z szeroko rozumianym środowiskiem zainicjowało ten proces. Dzięki połączeniom trzech podstawowych typów technologii fasada zyskała dużo większy potencjał współdziałania z cechami i wpływami otoczenia, które zaczęło być realizowane na wielu poziomach. I tak, między innymi znacznie poszerzył się zakres możliwych do uzyskania efektów artystycznych i architektonicznych. Obok wyrażenia związków estetyczno-wizualnych hybrydowej fasady ze środowiskiem, pojawiły się także dążenia do udoskonalenia jej aspektów funkcjonalnych, w tym podwyższenia wydajności energetycznej powłoki. W efekcie fasady hybrydowe integrujące podstawowe systemy technologiczne stają się współcześnie ważnym polem doświadczeń nad możliwościami ukształtowania powierzchni budynku.

## 2. WSPÓLDZIAŁANIE FASADY ZE ŚRODOWISKIEM – EFEKTY WIZUALNE

Integracja systemów interaktywnych, medialnych i filtrujących pozwala na uzyskiwanie niepowtarzalnych efektów estetycznych. Podkreślić należy, że w obrębie doświadczeń projektowych wykorzystujących niezależnie każdy z trzech podstawowych systemów technologicznego od kilku lat obserwowany jest proces przejścia od reakcji i projekcji prostych, do coraz bardziej złożonych, rozproszonych i krajobrazowych w efektach [3]. Dopiero jednak połączenia technologii w rozwiązania hybrydowe otworzyło przed architektami i artystami nieosiągalne dotąd możliwości kształtowania fasad aktywnych. Twórcy takich fasad nawiązują jawnie do osiągnięć sztuki zarówno tej konstytuującej się w latach 60 XX wieku, jak też współczesnej sztuki nowych mediów [9]. Dla ich osiągnięcia wykorzystują jednak osiągnięcia technologiczne i inżynierskie.

Dobrze ilustrującym to zjawisko rozwiązaniem jest nawiązująca do sztuki op-art fasada *Star Place* na Tajwanie [10]. Wykorzystując jednocześnie najnowsze technologie projektowe i wytwórcze architekci uzyskują wyjątkowe efekty złudzeń optycznych oraz nieregularnych, dynamicznie przesuwających się wzorów. Efekty takie osiągnięto poprzez połączenie kurtynowej ściany przeszklonej w kształcie wklęsłej soczewki z horyzontalnymi aluminiowymi lamelami oraz wertykalnymi, prostokątnymi płytami ze szkła. Ich układ nie jest jednak przypadkowy, ale tworzony we współpracy z konstruktorami budynku. Wynika on ze skróconego systemu ram, kształtujących także wnętrze budynku. Ukształtowane na fasadzie *Star Place* efekty porowatego filtru technologicznego oraz filtru optycznego, po zmroku „uzupełniają” zmienne, świetlne animacje.

Jeszcze bardziej zaawansowane rozwiązania połączeń technologii stanowią interaktywne systemy świetlne, których układ można dowolnie aranżować i zmieniać, także już po zainstalowaniu na fasadzie. Przykładem takiego hybrydowego rozwiązania łączącego systemy technologii medialnych i interaktywnych jest moduł *NeuroLED*. Jest to inteligentny, trójkątny element emitujący światło w obrębie trzech stref w dowolnym kolorze i natężeniu, który można łączyć w większe zgrupowania tworzące współdziałający system. Moduły *NeuroLED* zdolne są „zapamiętywać” i wyświetlać dowolne, nawet najbardziej wyszukane scenariusze świetlne. Dzięki oprogramowaniu stworzonym w języku Java, system ten zdolny jest do ciągłej

zmiany i udoskonalania swego funkcjonowania, także wtedy, gdy został już zainstalowany na fasadzie. Trzy magnesy umieszczone od spodu każdego modułu pozwalają dowolnie ich zmieniać konfigurację, tworząc nowe wzory i kompozycje. Dzięki sensorom umieszczonym w strefach światła oraz specjalnemu przełącznikowi montowanemu na ścianie, moduły mogą reagować zarówno na ruch ludzi jak i bezpośrednio na dotyk, rozświetlając diody za każdym razem inaczej, według wprowadzonych do systemu wytycznych określających zakres i charakter pożądanych efektów. Możliwe jest uruchamianie modułów *NeuroLED* za pomocą ręcznego projektora typu *hand-held beamer* a także sterowanie nimi na odległość przez Internet [4].

Dzięki rozwojowi inżynierii materiałowej zainicjowana została również grupa eksperymentów projektowych nad wzbogacaniem fasad filtrujących o funkcje medialne gdzie połączenia tych obu technologii odbywają się w obrębie struktury jednego materiału, na przykład szkła. W ich wyniku opracowano technologie umożliwiające wykorzystanie mechanizmu filtru aktywnego do wyświetlania dynamicznie zmiennych znaków i obrazów. Na tej zasadzie funkcjonuje produkt o nazwie *dVital*, będący rodzajem szkła elektrochromowego, które pod wpływem dostarczonego napięcia wyświetla zaprojektowane wcześniej obrazy. Szkło to zastosowane na fasadzie IVAM w Walencji pełni jednocześnie funkcje medialne i filtrujące, bowiem zaprojektowany obraz pojawia się dzięki zmianie przezierności poszczególnych fragmentów przeszklenia. Ukazujące się medialne instalacje powodują, że fasada staje się jednocześnie rodzajem aktywnego filtru, którego stopień przezierności zostaje zaprojektowany przez architekta i może być zmieniany w trakcie funkcjonowania projektu.

### 3. RÓWNOWAŻENIE EFEKTÓW WIZUALNYCH I WZGLĘDÓW ŚRODOWISKOWYCH

Bogactwo możliwych do osiągnięcia efektów estetycznych skierowało uwagę artystów i architektów także ku temu, aby efekty estetyczne nie były osiągane zbyt dużym kosztem środowiskowym. Spowodowało to ważne przesunięcie – w projektach takich fasad w sposób jeszcze bardziej wyraźny spotkały się dążenia reprezentowane przez artystów z priorytetami specjalistów z zakresu innowacyjnych technologii. Potrzeba wyjścia poza tradycyjne podziały pomiędzy fasadami konstruowanymi przez inżynierów, osiągającymi określone parametry funkcjonalne, a fasadami będącymi kontynuacją poszukiwań artystycznych, sprowokowała także wielu architektów, a więc profesjonalistów łączących obie te dziedziny, ku próbom ich twórczej integracji.

Jednym z najważniejszych osiągnięć umożliwiającym tworzenie atrakcyjnych wizualnie aktywnych fasad hybrydowych, które nie powodowałyby zwiększenia zużycia energii jest rozwój nowego rodzaju organicznych ogniw fotowoltaicznych. Coraz częściej pełniąc rolę aktywnych filtrów, jednocześnie zasilają instalacje medialne lub wspomagają interaktywne procesy w obrębie fasady budynku. Ogniwa fotowoltaiczne stosowane na zewnętrznej powłoce budynku stanowiły jedno z pierwszych rozwiązań pozwalających na aktywne współdziałanie fasady z warunkami środowiska. Niestety przez wiele lat produkowane były jako dość ciężkie rozwiązania modułowe. Poprzez standardowe wymiary i technologię zespolenia pomiędzy taflami szkła zdecydowanie ograniczały zakres efektów estetycznych możliwych do osiągnięcia na fasadzie. Współczesne ogniwa fotowoltaiczne dzięki technicznym udoskonaleniom „mogą być „drukowane” także na giętkich, elastycznych materiałach a nawet

na różnego rodzaju siatkach. Jako takie nie wprowadzają już ograniczeń projektowych. Przeciwnie, liczne realizacje potwierdzają, że raczej inspirują one do poszukiwania niestandardowych i twórczych rozwiązań.

Efektem takiego zintegrowanego podejścia do projektu fasady jest między innymi wieża przepompowni wody *Balance Tower* niedaleko Barcelony autorstwa pracowni ag4. Cylindryczna powłoka budynku zbudowana została z ułożonych nieregularnie pionowych, perforowanych paneli metalowych oraz przeziernych paneli pokrytych nowoczesnymi ogniwami fotowoltaicznymi, które dostarczają energii dla instalacji medialnej. Energia doprowadzana jest do diod LED umieszczonych w specjalnych profilach pomiędzy panelami powłoki. Panele zaś działając na zasadzie filtru technologicznego (panele porowate) i optycznego (panele z nadrukowanymi ogniwami PV), chronią przed nadmiernym słońcem i deszczem. Dodatkowo instalacja medialna po zmroku wyświetlając minimalistyczne, powiązane ze sobą sekwencje obrazów stanowiące celowo zredukowane, nienarracyjne animacje, przywołuje na myśl padający deszcz, przepływającą lub parującą wodę.

Jednym z bardziej interesujących przykładów integracji technologii dla budowania ścisłych, bezpośrednich powiązań pomiędzy budynkiem i środowiskiem jest *Energy Media Wall* w Beijing w Chinach. Jest to wielkowymiarowa fasada odzwierciedlająca „na bieżąco” lokalne warunki klimatyczne. Wygląd tej powierzchni jest zmienny i ściśle powiązany z temperaturą, ponieważ energia słoneczna magazynowana lokalnie na fasadzie, znajduje bezpośrednie przełożenie na rodzaj i intensywność pojawiających się kompozycji kolorystycznych. Zamyśl ten zrealizowano dzięki polikrystalicznym komórkom fotowoltaicznym, które umieszczone na fasadzie dostarczają energię do uruchomienia animacji świetlnej opartej na diodach LED. Co ważne, komórki te pełnią także funkcję aktywnego filtru regulującego dostęp światła do wnętrza. Ilość energii zebrana przez komórki fotowoltaiczne w ciągu dnia w bezpośredni sposób przekłada się na barwne, abstrakcyjne obrazy wyświetlane po zmroku. Energia słoneczna została tu wykorzystana jako czynnik bezpośrednio kreujący wizerunek estetyczny fasady.

#### 4. DĄŻENIA DO PODWYŻSZENIA WYDAJNOŚCI ENERGETYCZNEJ FASADY

Obok wyrażenia związków estetyczno-wizualnych hybrydowej fasady ze środowiskiem, od samego początku rozwoju fasad hybrydowych pojawiły się dążenia do stałego podwyższania jej wydajności energetycznej, tak aby nie tylko pracowała na swoje własne potrzeby, ale dostarczała energię dla systemów wewnętrznych budynku, w tym wspomagala jego klimatyzację. W tym celu na fasadzie zaczęto stosować jednocześnie urządzenia interaktywne i filtrujące, takie jak: fotosensory, czujniki temperatury, interaktywne regulatory natężenia światła oraz zautomatyzowane systemy zacieniające, bazujące na zasadzie działania filtru optycznego lub technologicznego. Połączenie technologii interaktywnych i filtrujących umożliwiło realizację zmian zabarwienia lub przezroczystości fasady a także uzyskanie efektów rozproszenia, odbić czy dyfuzji światła, uzależniając je od zmiennych impulsów z otoczenia.

Integracja z fasadą filtrującą technologii interaktywnych pozwala między innymi optymalizować proporcje światła dziennego do światła sztucznego we wnętrzach pomieszczeń. Rozwiązania takie są jednak na ogół dość złożone. Najczęściej wygląda to tak, że do każdej

sekcji przeszklenia dostarczone jest źródło energii elektrycznej, a zamontowane na fasadzie ruchome panele oraz system operujący są tak zaprojektowane i zainstalowane, aby zapewnić odpowiednią możliwość eksploatacji i ochronę. Pomimo wskazanych trudności, jak podaje Amerykański Instytut Narodowy Standardów i Technologii, przeszklenia działające na zasadzie filtru aktywnego zintegrowane z systemem interaktywnych żaluzji mogą przyczynić się do redukcji zużycia energii w budynkach nawet o 30-40% [3].

Ta możliwość zysku energetycznego mobilizuje zespoły składające się z architektów i inżynierów do podejmowania badań nad mniej kosztownymi rozwiązaniami interaktywnych żaluzji, które mogłyby być nakładane na szyby. Jednym z tego typu projektów jest *Smart Shade* stanowiący rodzaj paneli aktywnie kontrolujących ilość promieni słonecznych wnikających do wnętrza budynku, który przypomina zasadę działania mechanizmów chłodzących skórę. Wtopione w strukturę fasady panele systemu *Smart Shade* stanowiące rodzaj warstwowego kompozytu metali, cynku i stali, dzięki wykorzystaniu ich termodynamicznych właściwości pełnią rolę aktywnych żaluzji. Zewnętrzna warstwa cynku pokrywająca panele rozszerza się i kurczy bardziej niż stal ukryta pod nią. Dzięki temu zjawisku kurczenie się metalu w miesiące zimowe powoduje, że kompozytowe łopatki wyginają się ku górze i w konsekwencji wpuszczają do wnętrza światło słoneczne. Proces rozciągania metalu latem z kolei przyczynia się do tego, że blaszki wyginają się w dół, chroniąc wnętrze od nadmiaru promieni słonecznych.

Opracowując aspekty funkcjonalne jednocześnie zadbane o to, aby reakcja żaluzji na zmienne warunki nasłonecznienia przywoływała delikatny, organiczny ruch. W tym celu badane są możliwości wykonania paneli systemu *Smart Shade* w jak najbardziej atrakcyjnej wizualnie formie, opartej na wzorach naturalnych. Zaproponowano obudowanie paneli przypominających łopatki dwiema taflami szkła tak, aby wysokie temperatury wewnątrz podwójnej fasady pobudziły je do bardziej zdecydowanego falowania. Dzięki temu wrażliwy system fasadowy mógłby tworzyć coś w rodzaju funkcjonalnej, aktywnie filtrującej zasłony aktywowanej przez czynnik środowiskowy [5].

## 5. ZINTEGROWANE ROZWIĄZANIA ORGANICZNE –WIELOFUNKCYJNA FASADA PRZYSZŁOŚCI

Bardzo ważnym rozdziałem poszukiwań energetycznie wydajnej fasady hybrydycznej są dążenia do wypracowania zintegrowanych rozwiązań opartych na wzorach organicznych. Ze względu na wysoką złożoność systemów pochodzenia biologicznego, nawet najbardziej wyszukane połączenia technologii interaktywnych, medialnych i filtru nie byłyby w stanie ich w pełni odwzorować. Dlatego projektanci najczęściej podejmują próby odwzorowania kilku wybranych cech systemów naturalnych. Niektóre rozumiane są bardziej metaforycznie, inne dosłownie. Cechy te to nieliniowość reakcji, adaptacyjność, akomodacyjność, czyli zdolność do „reorganizacji” i usprawnienia pod wpływem wymagań zewnętrznych oraz współdziałanie poszczególnych elementów systemów [11]. Hybrydowe rozwiązania fasadowe posiadające te cechy można nazwać organicznymi.

Bardzo duże znaczenie w próbach osiągnięcia zysków środowiskowych poprzez wyposażenie hybrydowej fasady w cechy o charakterze organicznym, mają badania nad miniaturyzacją i łączeniem technologii w skali mikro. Badania te dotyczą w szczególności zastosowania materiałów inteligentnych, zmieniających swoje właściwości w sposób dynamiczny w wyniku

reakcji odbywających się wewnątrz ich struktury, podobnie jak ma to miejsce w strukturach pochodzenia organicznego [2]. Miniaturyzacja technologii umożliwiająca nie tylko produkcję przygotowanych systemów, ale też ich łączenie w skali mikro, stwarza możliwość zintegrowania w obrębie cienkiej powłoki budynku kilku funkcji, na wzór organicznych tkanek roślinnych czy zwierzęcych.

Obecnie równolegle przez różne zespoły badawcze prowadzone są badania nad wykonstruowaniem cienkich powłok budynków zawierających aktywizujące fasadę technologie interaktywne, medialne i aktywnego filtru w skali mikro i nano, umożliwiających ogrzewanie, chłodzenie, wyświetlanie obrazów i informacji oraz magazynowanie i pobór energii [1]. Dzięki nim fasada zyskałaby niektóre z wyżej wymienionych cech, które można by nazwać organicznymi.

Do realizacji tego typu projektów już dziś wykorzystywane są nowego rodzaju miniaturowe ogniwa fotowoltaiczne. Te cienkowarstwowe komórki słoneczne, wykonywane najczęściej z krzemu amorficznego, dzięki nowej technologii osadzania na substracie mogą zostać naniesione na dowolne podłoże: szkło, ceramikę lub tworzywo sztuczne. Z kolei organiczne ogniwa fotowoltaiczne OOF mogą być produkowane w postaci cienkich i elastycznych folii. Dużym przełomem było wynalezienie miniaturowych ogniw z krzemu krystalicznego typu *silver* z podłużnymi mikrożłobieniami, co umożliwiło obustronne eksponowanie baterii PV na promieniowanie świetlne. W wyniku opracowania nowych technologii produkcji ogniw fotowoltaicznych nie tylko zwiększyła się ich wydajność, ale także możliwe stało się stworzenie dowolnego rytmu ich kompozycji. Rozwój ten zdecydował, że nowoczesne ogniwa PV wykorzystujące energię słoneczną coraz szerzej stosowane są na fasadach hybrydowych. Dowolnie wkomponowywane w strukturę takich fasad, jednocześnie pełnią one rolę aktywnych filtrów. Przetwarzając energię światła w energię elektryczną, mogą zasilać zintegrowane z fasadą urządzenia interaktywne, systemy oświetleniowe czy dodatkowe systemy filtrujące. O ile zasilanie to mogłoby się odbywać za pomocą starego typu „ciężkich” modułów, to ewolucja ogniw fotowoltaicznych otworzyła drogę do nowych rozwiązań, pozwalając na dużo większą swobodę projektową.

Dzięki miniaturyzacji technologii oraz opisanym powyżej udoskonaleńom obejmującym nowe rozwiązania materiałowe, procesy absorpcji i przetwarzania energii w obrębie powierzchni zewnętrznej budynku dokonują się w sposób praktycznie niezauważalny. Dodatkowo, powstają coraz bardziej zaawansowane hybrydowe powierzchnie, na których integrowane są technologie interaktywne, medialne i filtrujące, niekiedy nawet w ramach jednego innowacyjnego materiału. Umożliwiają one współdziałanie fasady ze środowiskiem, które może być realizowane na wielu poziomach, ze szczególnym naciskiem na aspekt użytkowy i energetyczny.

Jednym z nowych typów hybrydowych systemów materiałowych łączących technologie interaktywne, medialne i filtru jest kompozyt polimerowy o nazwie *SmartWrap*, zaprojektowany przez *Kieran Timerlake Associates LLP* [8]. *SmartWrap* to bardzo cienki materiał utworzony na bazie polimerów, na którego strukturę składa się substrat oraz drukowane na nim kolejne warstwy tworzące pojedynczą kompozytową błonę. Błona polimerowa *SmartWrap* stanowi ochronę przed czynnikami atmosferycznymi, umożliwia ona także kontrolę klimatu we wnętrzu, jest źródłem światła i elektryczności, posiada także

zdolność zmiany koloru i przezierności. Dzięki temu błona ta może stanowić samodzielną powłokę budynku.

Efekt taki osiągnięto, ponieważ w strukturę kompozytu włączono innowacyjne materiały i technologie, które pozwalają w fizyczny sposób połączyć zwykle rozdzielone funkcje przypisywane ścianie budynku. Rolę podstawową odgrywa błona poliestrowa, która zapewnia ochronę przed wiatrem i deszczem a jednocześnie jest substratem dla kolejnych warstw. Jedną z nich stanowi także wyświetlacz, który wykorzystuje diody OLED, zapewniając możliwość przekazywania informacji oraz iluminację. Kolejną warstwę stanowią komputerowo drukowane obwody zasilające ogniwa słoneczne oraz pełniące rolę cienkowarstwowych baterii w strukturze błony *SmartWrap*. Ze względu na możliwość inkorporacji powyższych technologii w mikroskali, błona ta nie wymaga dodatkowych, tradycyjnych i często nieporęcznych systemów. Wpuszczanie przez nią światła do wnętrza lub zapewnienie widoku na zewnątrz nie wymaga także tradycyjnych otworów okiennych. Zamiast tego architekt może zaprojektować odstęp między polami zadrukowanymi na powierzchni błony, decydować o ich rytmie i wielkości lub pozostawić obszary w ogóle nie zadrukowane..

Zintegrowane rozwiązania organiczne stosowane w obrębie hybrydowej fasady pomimo coraz większego zaawansowania technologicznego, prawdopodobnie długo jeszcze nie będą częścią codziennej praktyki projektowej. Jednak rozwój tych fasad jest znamieny. Są one dowodem na ciągle doskonalone próby poszerzania zakresów współdziałania budynku ze środowiskiem.

## 6. PODSUMOWANIE

Podsumowując należy stwierdzić, że obserwowane coraz częściej zjawisko hybrydowego łączenia technologii na powierzchni budynku jest efektem poszukiwania nowego wizerunku fasady współdziałającej ze środowiskiem na poziomie estetycznym i funkcjonalnym. Twórcza integracja systemów medialnych, interaktywnych oraz działających na zasadzie filtru powoduje, że powłoki budynków współdziałają nie tylko z wizualnymi cechami środowiska, ale też z warunkami klimatycznymi, i coraz częściej są źródłem dodatkowej energii rozprawdanej po budynku.

Ważne jest także podkreślenie potrzeby porozumienia pomiędzy sferą doświadczeń artystycznych i wprowadzaniem innowacyjnych rozwiązań inżynierskich. Budynki o aktywnych fasadach współtworzą krajobrazy miast i jako takie powinny być świadectwem dążenia do piękna, jako kategorii zgłębianej przez pokolenia architektów i artystów, w tym pionierów sztuki interaktywnej i medialnej. Jednocześnie piękno w dzisiejszym rozumieniu zawiera także mądre współdziałanie z cechami środowiska, w tym również realizowane przez zastosowanie innowacyjnych i twórczych rozwiązań technologicznych. W takim rozumieniu projektowanie aktywnych i wydajnych energetycznie fasad budynków wymaga ciągłego przełamywania uprzedzeń i tworzenia nowych pól badawczych na pograniczu różnych dyscyplin.

## 7. LITERATURA

- [1] Bullivant L., *Responsive Environments. Architecture, art and design*, V&A Publications, 2006.
- [2] Culshaw B., *Smart Structures and Materials*, Artech House Inc, Boston Massachusetts 1996.

- [3] Konarzewska B.; Aktywność współczesnych fasad w kontekście rozwoju innowacyjnych technologii, praca doktorska, Politechnika Gdańska, Gdańsk 2010.
- [4] Leeb W.; NeuroLED – Interactive Led Module, za: [www.cosinova.com](http://www.cosinova.com), 30 marca 2010.
- [5] Manfra L.; Living, Breathing Buildings, [www.metropolismag.com](http://www.metropolismag.com), 19 grudnia 2005.
- [6] Nyka L.; Od architektury cyrkulacji do urbanistycznych krajobrazów, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2006.
- [7] Nyka L., Konarzewska B.: Procesy integracji nowoczesnych systemów obrazowania ze strukturalnymi rozwiązaniami fasad budynków. W: *Czasopismo Techniczne/ Technical Transactions*, Zeszyt 11, Rok 108, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2011.
- [8] Timberlake K.; SmartWrap: Building Envelope of the Future, [www.kierantimberlake.com](http://www.kierantimberlake.com), 20 sierpnia 2007.
- [9] Traynor P., Bokeh- the magic of unfocussed Light and how to exploit it, PLDC 2nd Global Lighting Design Convention, Berlin 2008.
- [10] Veddeler Ch., Bauhaus to Green House Lecture, Illinois Institute of Technology, [www.iit.edu](http://www.iit.edu), 30 marca 2010.
- [11] Wałęck P., Sarapata K., Trąbka J.; Biologizacja nauk informatycznych. W: L.H. Haber (red.) *Polskie doświadczenia w kształtowaniu społeczeństwa informacyjnego. Dylematy cywilizacyjno-kulturowe*, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków 2002.

## **HYBRID ACTIVE FACADES – FROM VISUAL QUALITIES TO ENVIRONMENTAL BENEFITS OF INTEGRATED ORGANIC SURFACES**

### **SUMMARY**

The text offers an insight into the scopes of buildings' facades solutions triggered by integrating three basic technological systems: interactive, media and filtering into the complex hybrid systems. It has been revealed that hybrid systems allow for original manifestations of building surface's cooperation with the environment both in visual and environmental terms. Attempts of constructing integrated organic systems have been identified as a culmination in contemporary research on hybrid facades' solutions.



**Janusz KONKOL, dr inż.**  
**Paweł KOBIĄŁKA, inż.**

Politechnika Rzeszowska  
Katedra Inżynierii Materiałowej i Technologii Budownictwa  
al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów  
e-mail: janusz.konkol@prz.edu.pl

## **WŁAŚCIWOŚCI WYTRZYMAŁOŚCIOWE BETONÓW WYKONANYCH Z JEDNOCZESNYM ZASTOSOWANIEM DWÓCH DODATKÓW PYLASTYCH: PYŁU KRZEMIONKOWEGO I POPIOŁU FLUIDALNEGO**

### **STRESZCZENIE**

W referacie przedstawiono wyniki badań betonów bazaltowych o zróżnicowanym udziale dwóch dodatków: pyłu krzemionkowego (*PK*) i popiołu fluidalnego Flubet (*FL*), uwzględnionych po stronie spoiwa w ilości od 3,1 do 13,8 % masy cementu. Zastosowanie teorii planowania eksperymentu oraz statystyczna analiza wyników badań pozwoliły na uzyskanie zależności funkcyjnych opisujących wpływ zmiennego udziału dodatków na badane cechy betonów, tj.: wytrzymałość na ściskanie i wodoprzepuszczalność.

### **1. WPROWADZENIE**

Ważnym aspektem w projektowaniu mieszanki betonowej jest również podejmowanie działań przyczyniających się do ochrony środowiska naturalnego, w tym utylizacji odpadów oraz ograniczenie emisji CO<sub>2</sub>, powstającego podczas procesów technologicznych przy produkcji cementu poprzez zastosowanie jako dodatku do betonów ubocznych produktów spalania UPS. Dodatkową zaletą zastosowania UPS są ich właściwości pucolanowe [1].

Cennym mineralnym dodatkiem do betonów, powstającym w procesie wytwarzania krzemu i stopów krzemu jest pył krzemionkowy. Korzystne działanie dodatku pyłu krzemionkowego na właściwości betonów zostało udowodnione w wielu publikacjach zagranicznych i krajowych. Pył krzemionkowy jest również dodatkiem ujętym w normie PN-EN 206-1, zaliczonym do grupy dodatków do betonów typu II o właściwościach pucolanowych.

Do grupy dodatków typu II zalicza się również popiół fluidalny Flubet, który charakteryzuje się wysoką aktywnością pucolanową i wyjątkowo rozwiniętą powierzchnią właściwą. W wyniku reakcji Flubetu z wodorotlenkiem wapnia, powstającym wskutek hydratacji cementu portlandzkiego, tworzą się uwodnione krzemiany wapniowe. Powoduje to zwiększenie szczelności struktury stwardniałego zaczynu cementowego i poprawę właściwości betonu [2,3].

## 2. CEL I ZAKRES BADAŃ

Celem wykonanych badań była ocena właściwości betonów modyfikowanych jednocześnie dwoma rodzajami dodatków o właściwościach pucolanowych: pyłem krzemionkowym i popiołem fluidalnym. Badania zaprogramowano według planu centralnego kompozycyjnego [4], przyjmując jako zmienne niezależne udział dodatków. Przyjęto zakres zmienności udziału obu dodatków od 2,8 do 11,2 % w stosunku do masy łącznej spoiwa. Dodatki uwzględniano po stronie spoiwa z przyjęciem współczynnika  $k$  równym 1. Udział dodatku w stosunku do masy cementu wynosił odpowiednio od 3,1 do 13,8 %.

W celu zrealizowania powyższych celów przeprowadzono następujące badania: konsystencji mieszanki betonowej, wytrzymałości na ściskanie i wodoprzepuszczalności.

Badaniom poddano 9 mieszanek betonowych o stałym stosunku woda/spoiwo wynoszącym 0,45. Skład mieszanek betonowych determinował przyjęty plan eksperymentu oraz skład podstawowej mieszanki betonowej bez dodatków, o następującym składzie na  $1 \text{ m}^3$ : cement 476,5 kg, woda 214,5 l, piasek 639,4 kg i grys bazaltowy 1195,1 kg. Pozostałe receptury powstały przez zastąpienie ustalonej ilości cementu bentonitem. Skład mieszanek betonowych na  $1 \text{ m}^3$  zestawiono w tabeli 1.

*Tabela 1. Zestawienie składu poszczególnych serii betonów*

*Table 1. Listing of the composition of particular concrete series*

Seria betonu	Składniki mieszanki betonowej							
	Spoiwo kg	Cement kg	PK % ms	FL % ms	Woda $\text{dm}^3$	Piasek kg	Bazalt kg	FM 6 % mc
0	477,9	477,9	0	0	215,1	641,3	1198,7	-
1		439,7	4,0	4,0				0,73
2		411,0	4,0	10,0				1,19
3		411,0	10,0	4,0				2,05
4		382,3	10,0	10,0				2,08
5		431,3	2,8	7,0				0,78
6		390,7	11,2	7,0				1,58
7		431,3	7,0	2,8				0,74
8		390,7	7,0	11,2				1,02
9		411,0	7,0	7,0				1,62

Do wykonania betonów użyto cementu portlandzkiego CEM I 32.5R z cementowni Ożarów, kruszywa bazaltowego do 16 mm z m. Wilków oraz piasku płukanego z m. Strzegocice. W celu utrzymania odpowiedniej konsystencji mieszanki betonowej

zastosowano superplastyfiktor FM 6. Ustaloną doświadczalnie ilość użytego superplastyfikatora podano w tabeli 1.

### 3. WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Przeprowadzono badania cech fizycznych i mechanicznych mieszanek betonowych i betonów. Badanie konsystencji mieszanki betonowej przeprowadzono metodą stolika rozpliwowego (tabela 2).

*Tabela 2. Zestawienie wyników konsystencji mieszanki betonowej oraz głębokości penetracji wody pod ciśnieniem*

*Table 2. Listing of results of consistency of mix concrete and depth of water penetration in concrete*

Seria betonu	Rozpliw mieszanki betonowej, mm	Stopień konsystencji mieszanki betonowej	Głębokość penetracji wody pod ciśnieniem, cm
0	390	F2	7,3
1	400	F2	2,7
2	408	F2	6,4
3	408	F3	2,5
4	420	F2	2,8
5	397	F2	5,0
6	416	F2	4,0
7	381	F2	2,8
8	403	F2	4,7
9	409	F2	3,7

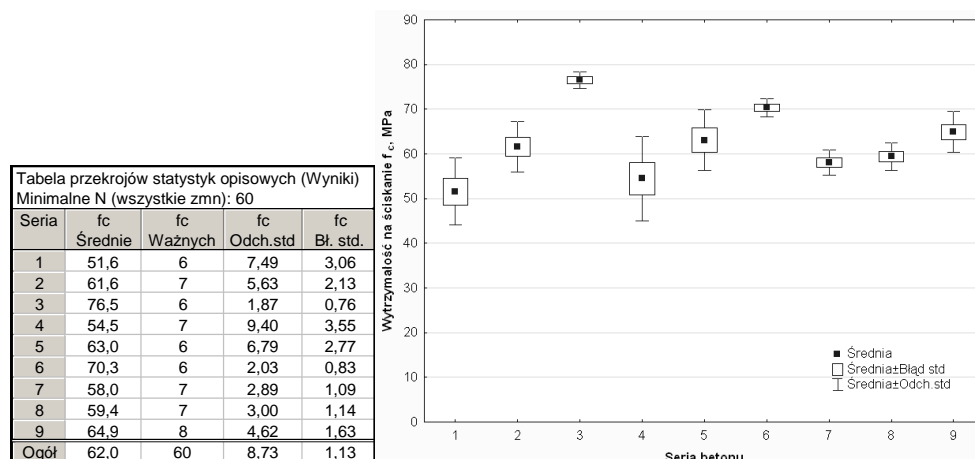
W przypadku wszystkich mieszanek betonowych otrzymano zakładaną konsystencję mieszanki betonowej F2. Rozrzut wyników rozpliwu wyniósł 39 mm.

Badania wytrzymałości na ściskanie  $f_c$  wykonano po 28 dniach dojrzewania, a do badania użyto próbek sześciennych o boku 0,1 m, przechowywanych w warunkach laboratoryjnych. Wyniki badań wytrzymałości na ściskanie  $f_c$  przedstawiono na rys. 1.

Badania przeprowadzono również na próbkach wykonanych z betonu bez dodatków (seria 0). Po 28 dniach dojrzewania uzyskano wytrzymałość na ściskanie wynoszącą 48,5 MPa. W przypadku każdej kombinacji udziału dodatku (serie 1-9) uzyskano wyższą od betonu tła wytrzymałość na ściskanie. Wzrost wytrzymałości na ściskanie wyniósł od 6,3 % w przypadku serii 1 do 57,6 % dla serii 3, średnio uzyskano wzrost wytrzymałości na ściskanie o 28,2 %.

W przypadku badań wytrzymałości na ściskanie przeprowadzono statystyczną analizę wyników badań polegającą na sprawdzeniu występowania błędów grubych (testem Dixona), określeniu wpływu zmiennych niezależnych na zmienną zależną oraz sprawdzeniu jednorodności wariancji. Wszystkie analizy statystyczne przeprowadzono przy założeniu poziomu istotności  $\alpha = 0,05$ , przy wykorzystaniu programu STATISTICA 10.0 PL. Na podstawie analizy wariancji wykazano istotny, na poziomie istotności 0,05, wpływ zmiennych niezależnych na wytrzymałość betonu na ściskanie  $f_c$  (tabela 3, komputerowy poziom

istotności  $p \ll 0,05$ ). Przeprowadzony test był jednocześnie testem na równość średnich. Wykazano, że nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy o różności średnich w poszczególnych seriach betonów.



Rys. 1. Wyniki i wykres rozrzutu wytrzymałości na ściskanie  $f_c$   
 Fig. 1. Results and scatter diagram of the compressive strength

Tabela 3. Analiza wariancji

Table 3. Variance analysis

Zmienna	Analiza wariancji (Wyniki)							
	Zaznaczone efekty są istotne z $p < ,05000$							
	SS	df	MS	SS	df	MS	F	p
Efekt	Efekt	Efekt	Efekt	Błąd	Błąd	Błąd		
fc28	2969,202	8	371,1503	1522,525	51	29,85344	12,43241	0,000000

Na podstawie testu Browna-Forsythe'a sprawdzono jednorodność wariancji (tabela 4, komputerowy poziom istotności  $p \approx 0,5$ ).

Tabela 4. Test jednorodności wariancji

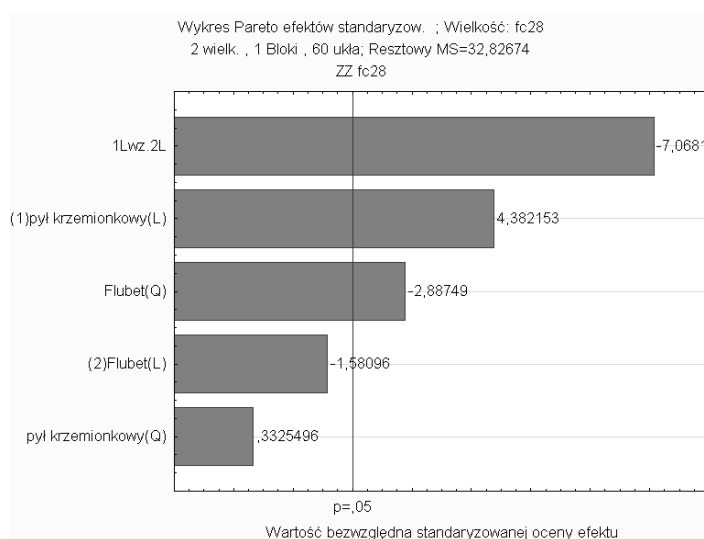
Table 4. Test of variance homogeneity

Zmienna	Test jednorod. wariancji Browna-Forsythe'a (Wyniki)							
	Zaznaczone efekty są istotne z $p < ,05000$							
	SS	df	MS	SS	df	MS	F	p
Efekt	Efekt	Efekt	Efekt	Błąd	Błąd	Błąd		
fc28	202,6726	8	25,33407	605,6564	51	11,87562	2,133285	0,049239

Dalszą analizę statystyczną przeprowadzono przy założeniu funkcji aproksymującej postaci wielomianu drugiego stopnia z interakcjami. Przeprowadzono analizę istotności efektów wielomianu. Wykazano, co obrazuje wykres Pareto istotności efektów (rys. 2), nieistotność efektu liniowego dodatku Flubet oraz efektu dodatku pyłu krzemionkowego w kwadracie. Po usunięciu efektów nieistotnych przeprowadzono ponownie analizę

istotności wraz ze sprawdzeniem adekwatności funkcji (tabela 5). Największą istotność stwierdzono w przypadku efektu współdziałania obu zmiennych (Flubetu i pyłu krzemionkowego).

Na podstawie uzyskanych wyników wykazano adekwatność funkcji (tabela 5,  $p$  w wierszu brak dopasowania  $> 0,05$ ).



Rys. 2. Wykres Pareto istotności efektów

Fig. 2. The Pareto diagram of effects of significance

Tabela 5. Wynik analizy wariancji i adekwatności funkcji

Table 5. Results of variance analysis and adequacy of function

ANOVA; Zmn.:fc28; R <sup>2</sup> = ,58638; Popr.:56422 (Wyniki) 2 wielk. , 1 Bloki , 60 ukł; Czysty błąd MS=29,85344 ZZ fc28					
Wejśc.	SS	df	MS	F	p
(1)pył krzemionkowy(L)	630,381	1	630,381	21,11585	0,000029
Flubet (Q)	469,613	1	469,613	15,73060	0,000229
1L wz.2L	1639,991	1	1639,991	54,93474	0,000000
Brak dopas.	335,359	5	67,072	2,24670	0,063618
Czysty bł.	1522,525	51	29,853		
Całk. SS	4491,727	59			

W przypadku uzyskanego modelu sprawdzono również istotność współczynników równania aproksymującego. Wszystkie współczynniki są istotnymi na poziomie istotności 0,05 (tabela 6,  $p < 0,05$ ).

Ostatecznie uzyskany model regresji ma postać:

$$f_c = 42,87 + 456,16 \cdot (PK/s) + 1973,44 \cdot (FL/s)^2 - 4890,8 \cdot (PK/s) \cdot (FL/s), \quad (1)$$

gdzie:

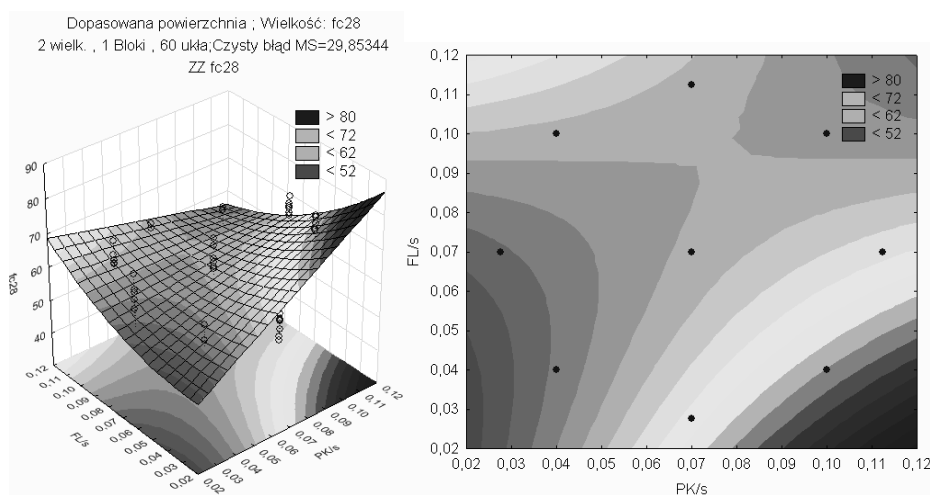
$PK/s$  – udział pyłu krzemionkowego w stosunku do masy spoiwa,

$FL/s$  – udział Flubetu w stosunku do masy spoiwa.

Tabela 6. Wynik analizy istotności współczynników funkcji aproksymującej dla wielkości standaryzowanych

Table 6. Results of significance analysis of coefficients of equation for standardized values

Oceny efektów ; Zmn.:fc28; $R^2=$ ,58638; Popr.:56422 (Wyniki) 2 wielk. , 1 Bloki , 60 ukła; Czysty błąd MS=29,85344 ZZ fc28						
Wejśc.	Efekt	Błąd std Czys.bł.	t(51)	p	-95,% Gran.ufn	+95,% Gran.ufn
Sredn./Stała	65,4181	1,105237	59,18920	0,000000	63,1992	67,6369
(1)pył krzemionkowy(L)	7,1124	1,547787	4,59520	0,000029	4,0051	10,2197
Flubet (Q)	-7,4994	1,890836	-3,96618	0,000229	-11,2954	-3,7034
1L wz.2L	-15,9086	2,146395	-7,41180	0,000000	-20,2177	-11,5996

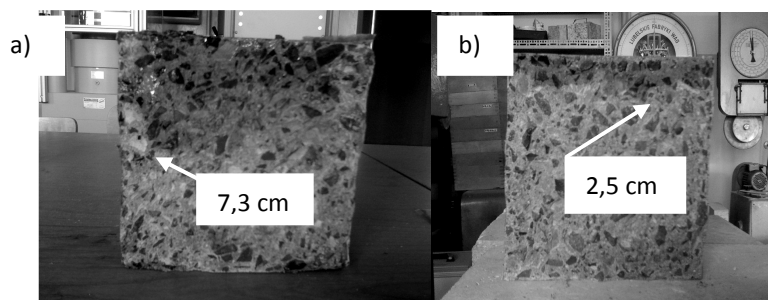


Rys. 3. Wykres powierzchniowy i warstwicowy dla modelu (1)

Fig. 3. Surface chart and strata chart for model (1)

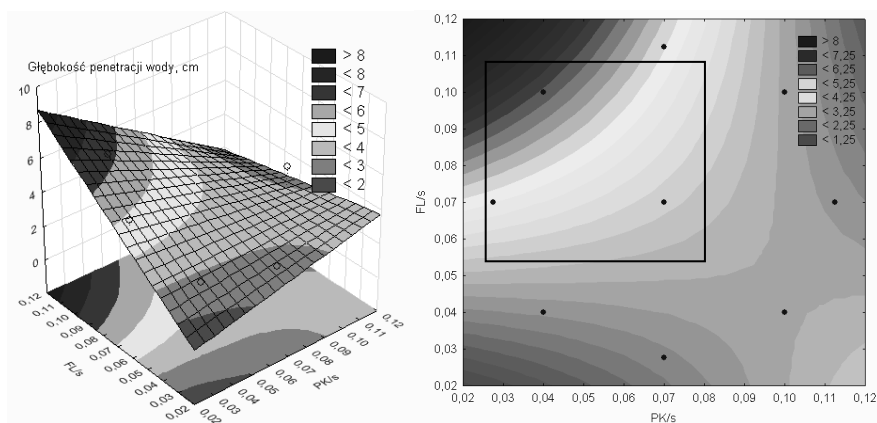
Przeprowadzono również badania wodoprzepuszczalności betonów, określając głębokość penetracji wody pod ciśnieniem przez kostkę betonową o boku 0,15 m (rys. 4). Mniejsze wymiary zarówno ziaren pyłu krzemionkowego, jak i popiołu fluidalnego w stosunku do ziaren cementu wpłynęły na uszczelnienie struktury betonu i zmniejszenie głębokości penetracji wody pod ciśnieniem (tabela 2). Na podstawie wyników badań wytrzymałości na ściskanie wysunięto przypuszczenie, że nie wszystkie ziarna dodatków mogły ulec przereagowaniu. Brak przereagowania nie wpłynął jednak niekorzystnie na zwiększenie głębokości penetracji wody przez beton. Nieprzereagowane ziarna uszczelniają bowiem strukturę betonu jako wypełnienie przestrzeni między ziarnami cementu.

W przypadku wszystkich betonów zaobserwowano zdecydowaną poprawę szczelności betonu na skutek modyfikacji składu mieszanki betonowej dodatkami pylistymi. Głębokość penetracji wody przez beton bez dodatków wyniosła 7,3 cm.



Rys. 4. Głębokość penetracji wody w betonie: a) bez dodatków, b) z dodatkiem 10% pyłu krzemionkowego i 4% Flubetu

Fig. 4. Depth of water penetration in concrete with: a) no additives, b) 10% of silica fume and 4 % of fluidal ash



Rys. 5. Wykres powierzchniowy i warstwiczny głębokości penetracji wody w betonie w zależności od udziałów dodatków

Fig. 5. Surface chart and strata chart of depth of water penetration in concrete depending on the content of additives

Głębokość penetracji wody przez beton z dodatkami zmniejszyła się w stosunku do betonu bez dodatków od 12,3 do 65,8 %, średnio o 47,3 %. Na podstawie wykresu powierzchniowego i warstwicowego (rys. 5) zależności głębokości penetracji wody przez beton od udziału popiołu fluidalnego i pyłu krzemionkowego, odniesionego do masy spoiwa, stwierdzono podobny wpływ na poprawę wodoszczelności betonu w całym zakresie planu eksperymentu z pominięciem obszaru o dużym udziale popiołu fluidalnego powyżej 7 % oraz udziale pyłu krzemionkowego poniżej 7 % (obszar zaznaczony na wykresie warstwicowym, rys. 5). Wykazane w przypadku wytrzymałości na ściskanie efekty synergiczne

prawdopodobnie występują również w przypadku wodoprzepuszczalności betonu. Współczynnik determinacji  $R^2$  przedstawionego na rys. 5 modelu dopasowania wyniósł 0,852.

#### 4. PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonych badań wykazano istotny wpływ modyfikacji betonów jednoczesnym dodatkiem pyłu krzemionkowego i popiołu fluidalnego Flubet. W przypadku wszystkich modyfikowanych betonów uzyskano poprawę zarówno wytrzymałości na ściskanie, jak również wodoszczelności betonu w odniesieniu do betonu bez dodatków.

W przypadku niektórych kombinacji udziału obu dodatków zaobserwowano hamowanie wzrostu wytrzymałości na ściskanie (rys. 3) oraz wzrost głębokości penetracji wody pod ciśnieniem (rys. 5). Niekorzystne połączenie obu dodatków stwierdzono w przypadku wytrzymałości na ściskanie w zakresie udziału popiołu fluidalnego Flubet powyżej 7 % oraz udziału pyłu krzemionkowego powyżej 7 % oraz w przypadku głębokości penetracji wody pod ciśnieniem w zakresie udziału popiołu fluidalnego Flubet powyżej 7 % oraz udziału pyłu krzemionkowego poniżej 7 %.

Zaobserwowane zjawiska pogorszenia cech stwardniałego betonu na skutek jednoczesnego zastosowania obu dodatków można tłumaczyć szybszą reakcją ziaren aktywowanego mechanicznie popiołu fluidalnego Flubet z  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  i hamowaniem reakcji pyłu krzemionkowego z uwagi na brak  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Potwierdzają to uzyskane wyniki pogorszenia obu badanych właściwości w obszarze udziału Flubetu powyżej 7 %.

#### 5. LITERATURA

- [1] Zastosowanie popiołów lotnych z kotłów fluidalnych w betonach konstrukcyjnych. Praca zbiorowa pod red. A.M. Brandta. Studia z zakresu inżynierii, nr 72, Warszawa 2010.
- [2] Konkol J., Prokopski G.: Morfologia przełomu oraz odporność na pękanie betonów modyfikowanych dodatkiem popiołu fluidalnego lub metakaolinitu. Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Seria Budownictwo i Inżynieria Środowiska, z. 58, nr 3/11/III, s. 321-330, 2011.
- [3] Konkol J., Prokopski G.: Właściwości wytrzymałościowe betonów bazaltowych z dodatkiem Flubetu. Przegląd Budowlany 11/2010, s. 25-29.
- [4] Konkol J.: Wprowadzenie do praktycznego planowania eksperymentu, s. 43-58, 2008, [http://www.statsoft.pl/czytelnia/artykuly/Wprowadzenie\\_do\\_praktycznego.pdf](http://www.statsoft.pl/czytelnia/artykuly/Wprowadzenie_do_praktycznego.pdf)

### PROPERTIES OF CONCRETE MADE WITH THE COMBINED TWO ADDITIVES SILTY: SILICA FUME AND FLUIDAL ASH

#### SUMMARY

Experimental studies determining influence of the silica fume and fluidal ash content on the concrete properties, such as compressive strength and depth of water penetration in concrete have been presented.

The results show that the use of fluidal ash more than 15% by weight of binder has a negative effect on the characteristics of hardened concrete.



Janusz KONKOL, dr inż.

Grzegorz PROKOPSKI, prof. dr hab. inż.

Politechnika Rzeszowska

Katedra Inżynierii Materiałowej i Technologii Budownictwa

al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów

e-mail: janusz.konkol@prz.edu.pl, grzeprok@prz.edu.pl

## WPLYW WIEKU BETONU NA WŁAŚCIWOŚCI WYTRZYMAŁOŚCIOWE BETONÓW MODYFIKOWANYCH DODATKIEM POPIOŁU FLUIDALNEGO

### STRESZCZENIE

Celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu wieku betonu modyfikowanego dodatkiem popiołu fluidalnego Flubet (*FL*) na wytrzymałość na ściskanie  $f_c$  oraz odporność na pękanie. Dodatek stosowano po stronie spoiwa. Badania przeprowadzono po 28, 90 i 180 dniach dojrzewania według centralnego kompozycyjnego planu eksperymentu. Jako zmienne niezależne przyjęto: stosunek woda/spoiwo oraz udział dodatku popiołu fluidalnego w stosunku do masy spoiwa.

Na podstawie wyników badań oraz dokonanych analiz stwierdzono wzrost wytrzymałości na ściskanie i odporności na pękanie w miarę zmniejszenia stosunku woda/spoiwo oraz największy wpływ dodatku Flubet w pierwszych 28 dniach dojrzewania betonu.

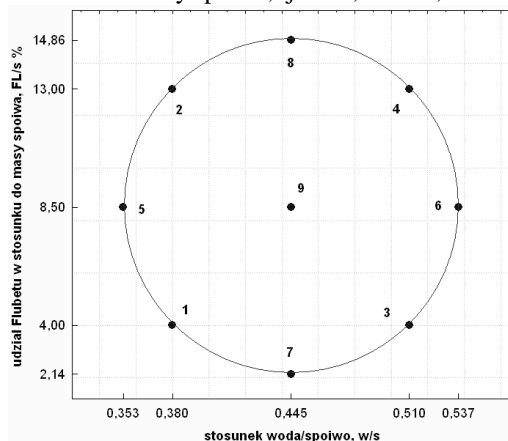
### 1. WPROWADZENIE

Popiół lotny jako dodatek do cementu lub betonu jest powszechnie stosowany w technologii betonu. Sposób uwzględniania popiołów lotnych w składzie mieszanki betonowej opisuje PN-EN 206-1. Główną zaletą stosowania tego typu ubocznych produktów spalania UPS jest ich utylizacja, przyczyniająca się do ochrony środowiska.

Oddzielną grupę popiołów, dla której nie określono jeszcze wytycznych normowych, stanowią aktywowane mechanicznie popioły z kotłów o spalaniu fluidalnym o nazwie handlowej Flubet. W ostatnim czasie ukazało się obszerne opracowanie poświęcone tym właśnie popiołom [1]. W artykule przedstawiono badania ukierunkowane na wpływ wieku betonu na wytrzymałość na ściskanie  $f_c$  oraz odporność na pękanie [2].

## 2. PLAN BADAŃ

Badania przeprowadzono według centralnego kompozycyjnego planu badań (rys. 1), przewidującego przyjęcie pięciu wartości pośrednich, każdej ze zmiennych niezależnych oraz wykonanie dziewięciu różnych receptur mieszanek betonowych [3]. Zmiennymi w planie były: stosunek woda/spoiwo zmieniający się w zakresie od 0,353 do 0,537 oraz udział metakaolinitu od 2,14 do 14,86 % w stosunku do masy spoiwa, tj. od 2,2 do 17,5 % masy cementu.



Rys. 1. Centralny kompozycyjny plan badań

Fig. 1. Central compositional test plan

Tabela 1. Zestawienie składu poszczególnych serii betonów

Table 1. Listing of the composition of particular concrete series

Seria	Zmienna		Skład mieszanki betonowej według przyjętego planu w kg				
	w/s	FL/s	Cement	Flubet	Woda	Piasek	Bazalt
1	0,380	0,04	435,8	18,2	172,5	739,3	1212,5
2	0,380	0,13	395,0	59,0	172,5		
3	0,510	0,04	435,8	18,2	231,5		
4	0,510	0,13	395,0	59,0	231,5		
5	0,353	0,085	415,4	38,6	160,3		
6	0,537	0,085	415,4	38,6	243,8		
7	0,445	0,021	444,3	9,7	202,0		
8	0,445	0,149	386,5	67,5	202,0		
9	0,445	0,085	415,4	38,6	202,0		
T1	0,353	-	454,0	-	160,3		
T2	0,537	-	454,0	-	243,8		

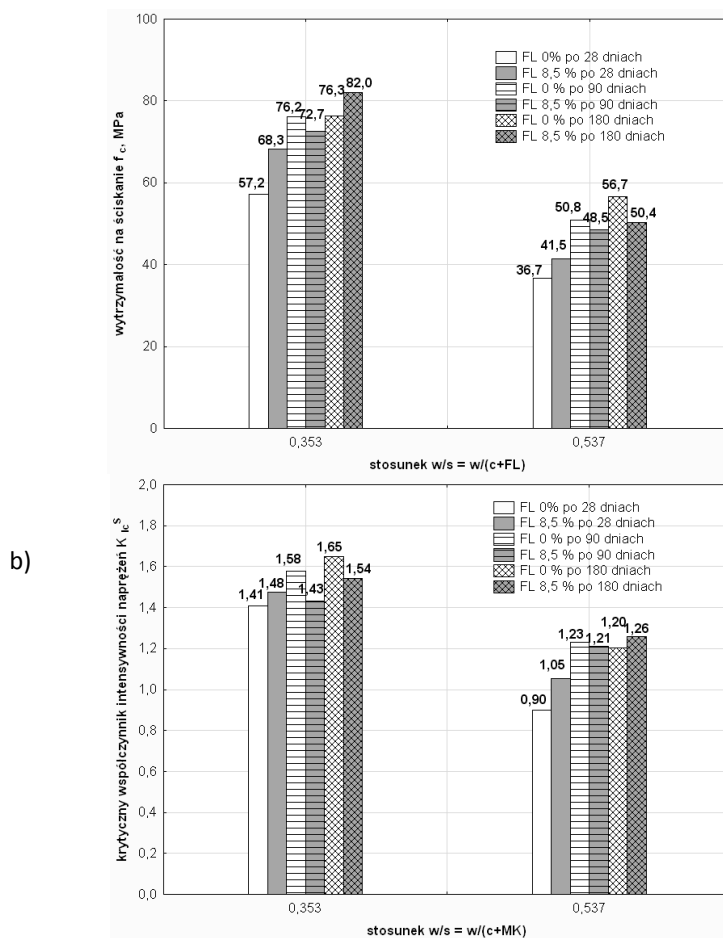
Do badań użyto cementu portlandzkiego CEM I 32,5R, piasku płukanego do 2 mm z miejscowości Strzegocice, bazaltu do 16 mm z miejscowości Wilków oraz Flubetu.

Składniki poszczególnych serii mieszanek betonowych podano w Tab. 1.



Badanie odporności na pękanie, według pierwszego modelu, wykonano na próbkach o wymiarach  $0,8 \times 0,15 \times 0,70$  m ze szczeliną pierwotną długości 0,05 m na podstawie zaleceń RILEM [4].

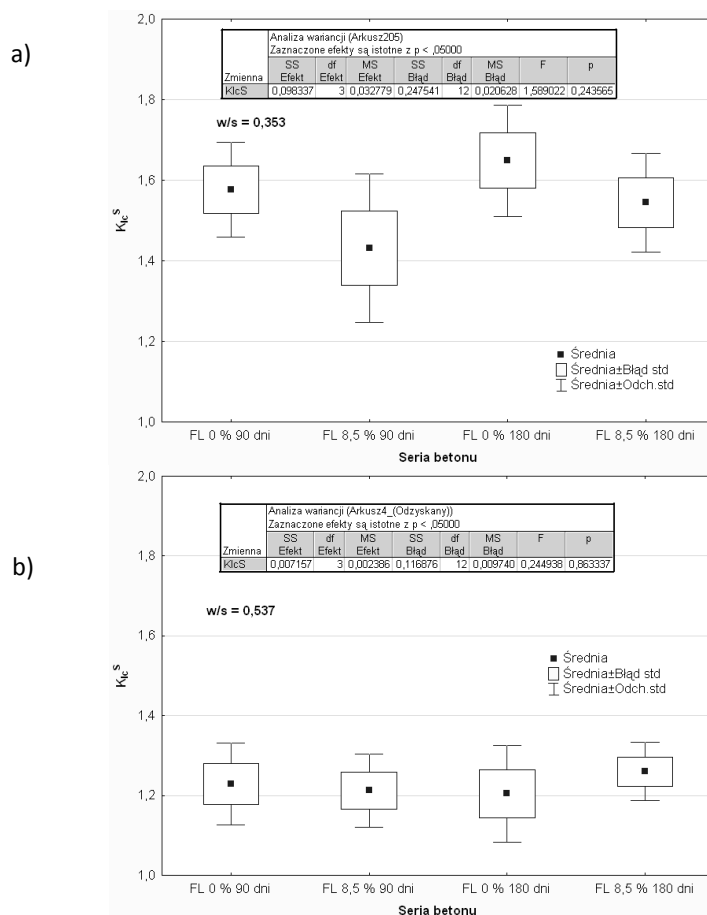
Dokonano porównania wyników wytrzymałości na ściskanie  $f_c$  i krytycznego współczynnika intensywności naprężeń  $K_{Ic}^S$  uzyskanych dla betonu wzorcowego (T1 i T2) z wynikami badań betonu modyfikowanego 8,5 % dodatkiem popiołu fluidalnego Flubet o takim samym wskaźniku woda/spoiwo (seria 5 i 6) (rys. 2).



Rys. 2. Porównanie wyników a) wytrzymałości na ściskanie  $f_c$  oraz b) krytycznego współczynnika intensywności naprężeń  $K_{Ic}^S$  uzyskanych dla betonów kontrolnych i betonów z 8,5 % udziałem FL po 28, 90 i 180 dniach

Fig. 2. Comparison of the results a) of compressive strength  $f_c$  and b) of critical stress intensity factor  $K_{Ic}^S$  obtained for concretes control and concretes with 8,5% FL after 28, 90 and 180 days.

Wymiana części cementu na popiół fluidalny skutkowałą wzrostem wytrzymałości na ściskanie  $f_c$  i krytycznego współczynnika intensywności naprężeń  $K_{Ic}^S$  jedynie po 28 dniach dojrzewania betonów.



Rys. 3. Wynik analizy równości średnich  $K_{Ic}^S$  dla betonów po 90 i 180 dniach:

a) beton o  $w/s = 0,353$ , b) beton o  $w/s = 0,537$

Fig. 3. The result of analysis of the means of  $K_{Ic}^S$  for concretes after 90 and 180 days

a) concrete with water/binder = 0,353, b) concrete with water/binder = 0,537

Uzyskano wzrost wytrzymałości na ściskanie o 19,4 % w przypadku  $w/s = 0,353$  i 13,1 %, w przypadku  $w/s = 0,537$  oraz wzrost krytycznego współczynnika intensywności naprężeń o 5,0 % w przypadku  $w/s = 0,353$  i 16,7 %, w przypadku  $w/s = 0,537$ . Po 90-cio dniowym okresie dojrzewania dodatek Flubet, zastosowany jako substytut cementu, spowodował pogorszenie obu badanych właściwości wytrzymałościowych. Uzyskano spadek  $f_c$  o ponad 4,5 % zarówno przy  $w/s = 0,353$ , jak i  $w/s = 0,537$  oraz spadek  $K_{Ic}^S$  przy  $w/s = 0,353$  o 9,5

% i o 1,6 % przy  $w/s = 0,537$ . W przypadku natomiast wytrzymałości 180-cio dniowej dodatek Flubet wpłynął korzystnie na wzrost wytrzymałości na ściskanie jedynie w przypadku niskiego stosunku  $w/s$  wynoszącego 0,353. Stwierdzono wówczas wzrost wytrzymałości o 7,5 %. W przypadku  $w/s$  wynoszącego 0,537 wytrzymałość na ściskanie zmniejszyła się o 11,1 %. W przypadku krytycznego współczynnika intensywności naprężeń uzyskano spadek o 6,7 % przy  $w/s = 0,353$  i wzrost o 5,0 % przy  $w/s = 0,537$ .

Uwzględniając uzyskane rozrzuty wyników wartości średnich  $K_{lc}^S$  należy stwierdzić, że zamiana części cementu na popiół fluidalny daje pozytywne skutki w pierwszym okresie dojrzewania betonu, tj. do 28 dnia. W dalszym okresie dojrzewania beton modyfikowany oraz niemodyfikowany nie wykazują poprawy odporności na pękanie. Wniosek ten potwierdzają dalsze analizy statystyczne, przeprowadzone wyłącznie na wynikach po 90 i 180 dniach dojrzewania (rys. 3). Uzyskane w analizie wariancji komputerowe poziomy istotności  $p$ , znacznie powyżej 0,05, świadczą o braku podstaw do odrzucenia hipotezy o równości średnich krytycznego współczynnika intensywności naprężeń w okresie od 90 do 180 dni dojrzewania, bez względu na stosunek woda/spoiwo.

Dalszą analizę statystyczną przeprowadzono przy założeniu funkcji aproksymującej postaci wielomianu drugiego stopnia z interakcjami. Przeprowadzono analizę istotności efektów wielomianu oraz adekwatności funkcji i istotności współczynników wielomianu aproksymującego.

W przypadku wytrzymałości na ściskanie betonów  $f_c$  uzyskano modele regresji postaci:

- po 28 dniach dojrzewania, przy  $R^2 = 0,913$   

$$f_c = 263,4 - 848,8 \cdot w/s + 802,8 \cdot w/s^2 + 18,3 \cdot FL/s \quad (1)$$

- po 90 dniach dojrzewania, przy  $R^2 = 0,901$   

$$f_c = 120,5 - 124,5 \cdot w/s + 934,2 \cdot (FL/s)^2 - 297,8 \cdot (w/s) \cdot (FL/s) \quad (2)$$

- po 180 dniach dojrzewania, przy  $R^2 = 0,898$   

$$f_c = 150,5 - 180,5 \cdot w/s - 143,4 \cdot FL/s + 988,9 \cdot (FL/s)^2 \quad (3)$$

oraz w przypadku krytycznego współczynnika intensywności naprężeń  $K_{lc}^S$  postaci:

- po 28 dniach dojrzewania, przy  $R^2 = 0,754$   

$$K_{lc}^S = 2,514 - 3,053 \cdot w/s + 1,434 \cdot FL/s \quad (4)$$

- po 180 dniach dojrzewania, przy  $R^2 = 0,409$   

$$K_{lc}^S = 2,139 - 1,624 \cdot w/s \quad (5)$$

gdzie:

$w/s$  – stosunek woda/spoiwo,

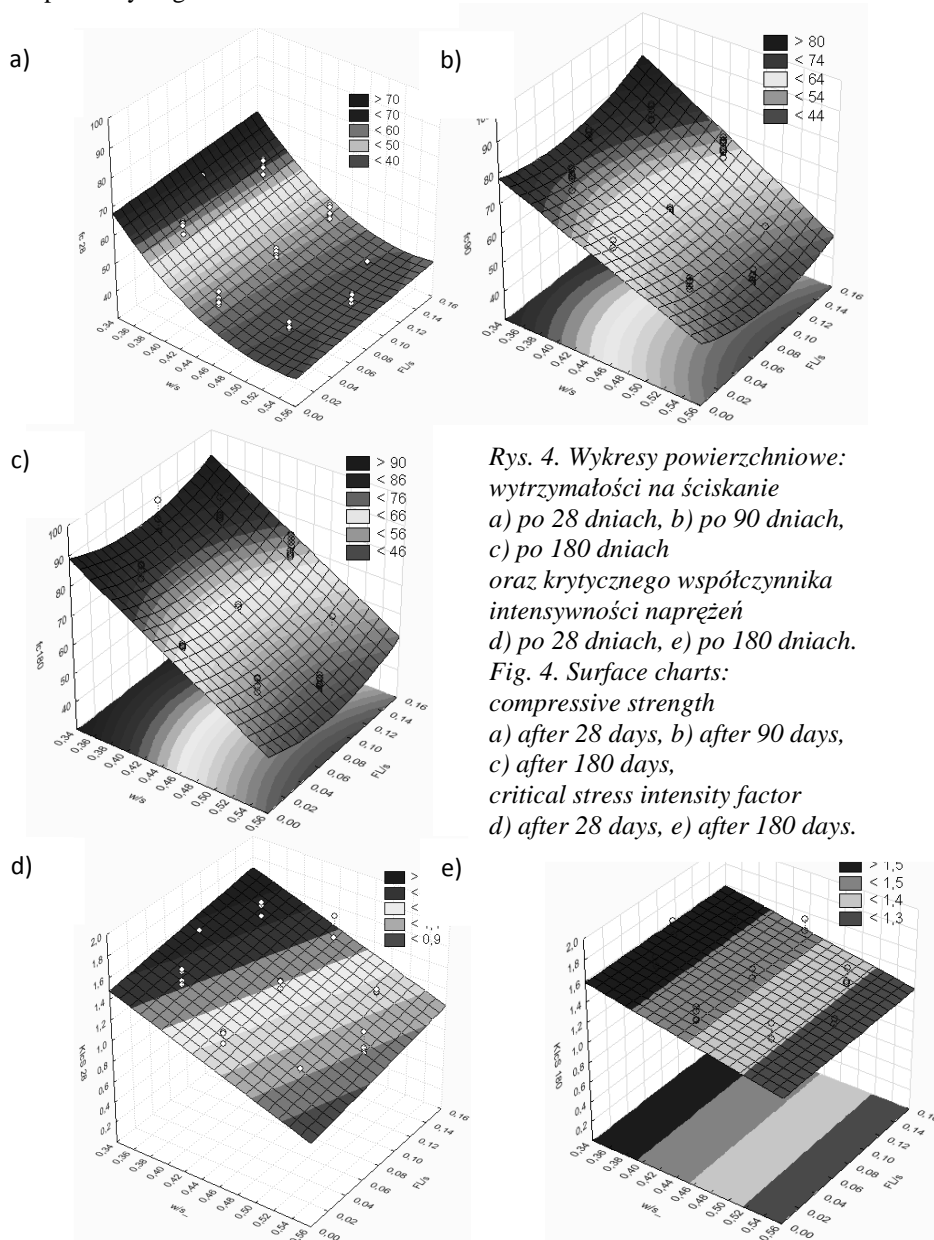
$FL/s$  – udział Flubetu w stosunku do masy spoiwa.

W miarę wzrostu stosunku woda/spoiwo  $w/s$  (rys. 4) zaobserwowano spadek wytrzymałości na ściskanie  $f_c$  i krytycznego współczynnika intensywności naprężeń  $K_{lc}^S$ . Po 180 dniach dojrzewania wzrost udziału Flubetu nie wpłynął znacząco na zmianę  $f_c$  i  $K_{lc}^S$ .

#### 4. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania i analizy pozwoliły na wykazanie korzystnego wpływu zastąpienia cementu dodatkiem popiołów fluidalnych Flubet. Korzystne działanie dodatku Flubet możliwe jest dzięki jego właściwościom pucolanowym, jak również zastosowanemu

procesowi aktywacji popiołów fluidalnych. Aktywacja popiołu poprzez mechaniczną dezaglomerację oraz defekty strukturalne na powierzchniach cząstek popiołu powoduje przyspieszenie procesu powstawania podstawowego szkieletu materiału o postaci krystalicznej już w pierwszych godzinach.



Rys. 4. Wykresy powierzchniowe: wytrzymałości na ściskanie a) po 28 dniach, b) po 90 dniach, c) po 180 dniach oraz krytycznego współczynnika intensywności naprężeń d) po 28 dniach, e) po 180 dniach.  
Fig. 4. Surface charts: compressive strength a) after 28 days, b) after 90 days, c) after 180 days, critical stress intensity factor d) after 28 days, e) after 180 days.

Przedstawione w artykule badania wykazały, że wzrost badanych właściwości wytrzymałościowych, tj. wytrzymałości na ściskanie  $f_c$  oraz krytycznego współczynnika intensywności naprężeń  $K_{Ic}^S$  nastąpił przede wszystkim w pierwszych 28 dniach dojrzewania betonów. W dalszym okresie dojrzewania, po 90 i 180 dniach, nie stwierdzono znaczącej poprawy wytrzymałości na ściskanie oraz odporności na pękanie na skutek wzrostu udziału Flubetu, a w niektórych przypadkach większe wartości określanych parametrów uzyskano w przypadku betonu bez dodatku. Brak poprawy tych właściwości nie można jednak traktować jako ujemny skutek dodania tego dodatku, dodatek Flubet bowiem stosowano jako substytut cementu. Zastąpienie cementu dodatkiem Flubet nie spowodowało zatem pogorszenia właściwości wytrzymałościowych betonów, a jedynie przyczyniło się do uzyskania zbliżonych wartości w stosunku do betonów bez tego dodatku.

W przypadku stosowania dodatku Flubet nie bez znaczenia jest również fakt jego utylizacji jako dodatku do betonu. Stosowanie tego dodatku przyczynia się również do ograniczenia emisji do atmosfery gazów powstających w procesie produkcji cementu oraz obniżenia kosztów produkcji. Cena dodatku Flubet stanowi około 1/3 ceny cementu.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2009-2011 jako projekt badawczy nr N N507 475337 oraz ze środków Narodowego Centrum Nauki w latach 2011-2013 jako projekt badawczy nr N N507 321140.

## 5. LITERATURA

- [1] Zastosowanie popiołów lotnych z kotłów fluidalnych w betonach konstrukcyjnych. Praca pod red. A.M. Brandta. Studia z zakresu inżynierii, nr 72, Warszawa 2010.
- [2] Konkol J., Prokopski G.: Morfologia przełomu oraz odporność na pękanie betonów modyfikowanych dodatkiem popiołu fluidalnego lub metakaolinitu. Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Seria Budownictwo i Inżynieria Środowiska, z. 58, nr 3/11/III, s. 321-330, 2011.
- [3] Konkol J.: Wprowadzenie do praktycznego planowania eksperymentu, s. 43-58, 2008, [http://www.statsoft.pl/czytelnia/artykuly/Wprowadzenie\\_do\\_praktycznego.pdf](http://www.statsoft.pl/czytelnia/artykuly/Wprowadzenie_do_praktycznego.pdf)
- [4] Determination of fracture parameters ( $K_{Ic}^S$  and  $CTOD_c$ ) of plain concrete using three-point bend test. RILEM Draft Recommendations, TC 89 - FMT Fracture Mechanics of Concrete Test Methods, Materials and Structures, 23, 1990.

## EFFECTS OF AGE ON CONCRETE STRENGTH PROPERTIES OF FLUIDAL ASH MODIFIED CONCRETE

### SUMMARY

In the paper the results of experiments on concrete with fluidal ash addition were presented. The following properties were measured: compressive strength  $f_c$  and the critical stress intensity factor  $K_{Ic}^S$  after 28, 90 and 180 days of concrete hardening. There was observed a statistically significant effect of changing both the composition of concrete and its age on the growth of the mechanical properties ( $f_c$  and  $K_{Ic}^S$ ) investigated. Increasing the ratio of  $FL/cement$  did not cause a significant change in compressive strength and critical stress intensity factor.



**Zbigniew KOWAL, prof. dr hab. inż.**

**Rafał PIOTROWSKI, mgr inż.**

**Andrzej SZYCHOWSKI, dr inż.**

Politechnika Świętokrzyska w Kielcach

Katedra Mechaniki, Konstrukcji Metalowych i Metod Komputerowych

al. 1000-lecia PP 7, 25-314 Kielce

e-mail: zbigko@tu.kielce.pl, rafalp@tu.kielce.pl,

aszychow@tu.kielce.pl

## **PRZYSTOSOWANIE HAL PRZEKRYTYCH STRUKTURĄ DO POZYSKIWANIA ENERGII Z PROMIENIOWANIA SŁONECZNEGO**

### **STRESZCZENIE**

W pracy zamieszczono sposób przystosowania konstrukcji ekonomicznego systemu przekryć hal „Zachód” do funkcji energoaktywnego pozyskiwania energii cieplnej z promieniowania słonecznego. Pokazano sposoby pozyskiwania, transportu i magazynowania energii cieplnej za pośrednictwem powietrza. Podano koncepcje zabezpieczania konstrukcji przed przegrzewaniem oraz kompensacji przemieszczeń termicznych.

### **1. WPROWADZENIE**

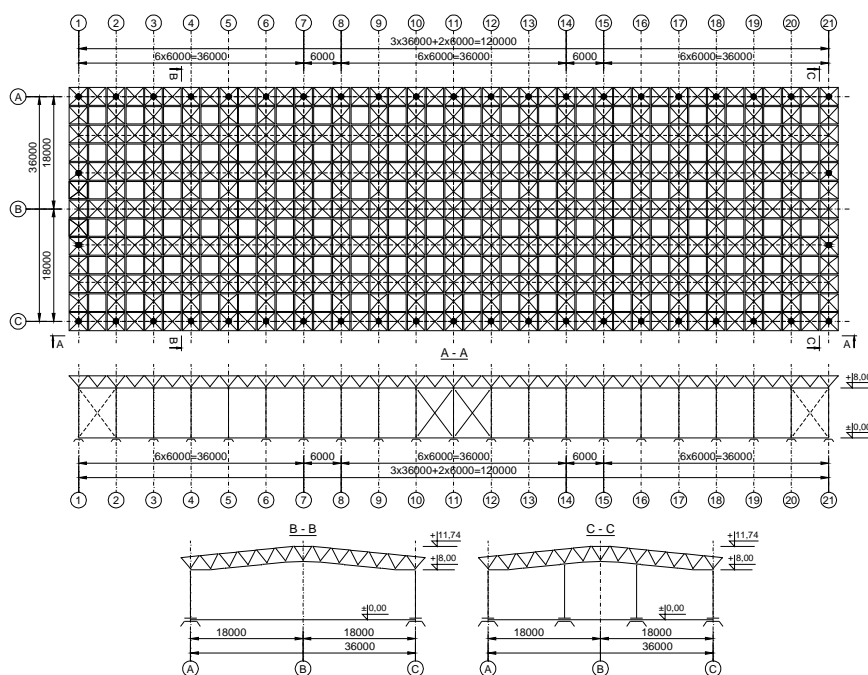
W pracy przedstawiono koncepcję przystosowania hal do pozyskiwania energii cieplnej z promieniowania słonecznego [1]. Jako bazę koncepcji wybrano halę przekrytą strukturą systemu „Zachód” [2,3]. Omawiany system nadaje się do przekształcenia w energetycznie samowystarczalny budynek energoaktywny o dużych powierzchniach absorbujących (przekrycie i ściany). Dodatkowym atutem systemu „Zachód” jest to, iż jako zredukowana struktura pozwala na uzyskiwanie znaczącego nasłonecznienia powierzchni absorberów na zewnątrz i wewnątrz konstrukcji. Konstrukcja przekrycia i ścian ułatwia wykorzystanie powietrza do transportu ciepła. Zaletą transportu ciepła za pośrednictwem powietrza jest to, że konstrukcja nie wymaga ostrych wymagań dotyczących szczelności rurociągów cieczowych, znacząco podnoszących koszty budowy takiej klasy konstrukcji. Szczelność powietrznych kanałów transportowych można uzyskać metodami konwencjonalnymi stosowanymi w budownictwie przemysłowym. Koncepcja przekształcenia systemu

„Zachód” w konstrukcję energoaktywną zmierza do zintegrowania w obiekcie następujących funkcji: 1) konstrukcji nośnej przekrycia dachowego i ścian, 2) ciepłno-wilgotnościowej przegrody budowlanej, 3) absorbowania energii cieplnej ze słońca na zewnętrznych lub wewnętrznych elementach struktury, 4) ogrzewania i transportu powietrza wewnątrz struktury, 5) przeciwpożarowej ochrony konstrukcji stalowej za pomocą chłodzenia powietrzem, 6) klimatyzacji pomieszczeń w obiekcie [1], 7) łatwość adoptowania projektu do innych spadków dachu, np. 20% lub 30%.

Przekształcenie konstrukcji systemu „Zachód” w wielkopowierzchniowy absorber energii cieplnej z promieniowania słonecznego wymaga uwzględnienia dodatkowego obciążenia konstrukcji temperaturą oraz zastosowania kompensacji przemieszczeń termicznych.

## 2. KONCEPCJA PRZEKSZTAŁCENIA HALI SYSTEMU „ZACHÓD” W OBIEKT ENERGOAKTYWNY

W analizie prototypowej konstrukcji wykorzystano prętowe przekrycie strukturalne systemu „Zachód” o rozpiętości 36 m oraz długości 120 m w osiach słupów (rys.1).



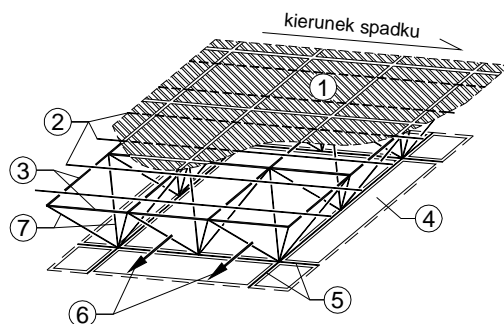
Rys. 1. Schemat konstrukcji analizowanej hali energoaktywnej.

Fig. 1. Diagram of the study energy-active hall.

Na rysunku 1 pokazano schemat konstrukcji hali, przekształconej w wielkopowierzchniowy absorber. Wyróżniono linią ciągłą ostożkowe stężenia ścian w środku długości

ściany oraz linią kropkowaną stężenia montażowe w przedziałach przyszczytowych zależnie od kierunku montażu. W hali zaprojektowano przegrody przezroczyste, korzystnie szklane w płaszczyźnie pasów górnych oraz absorbery w płaszczyźnie pasów dolnych. Zawarte wewnątrz przekrycia powietrze stanowi chwilowy magazyn pozyskanego ciepła i może służyć jako nośnik energii cieplnej (medium transportowe).

Przykładowy schemat warstwowy przekrycia energoaktywnego pokazano na rysunku 2. W płaszczyźnie pasów górnych umieszczono przegrodę szklaną (1), a w płaszczyźnie pasów dolnych absorber (4). Przegrodę szklaną (1) wykonano z szyby zespolonej o łącznej grubości 16 mm, którą oparto na szczelinach (2). Szczeliny ułożono na pasach górnych struktury (3), zgodnie z kierunkiem spadku połaci. W połączeniach szyb zastosowano uszczelki kompensujące odkształcenia termiczne. Alternatywnie w miejscu szyb zespolonych, można zastosować pojedyncze szyby hartowane.



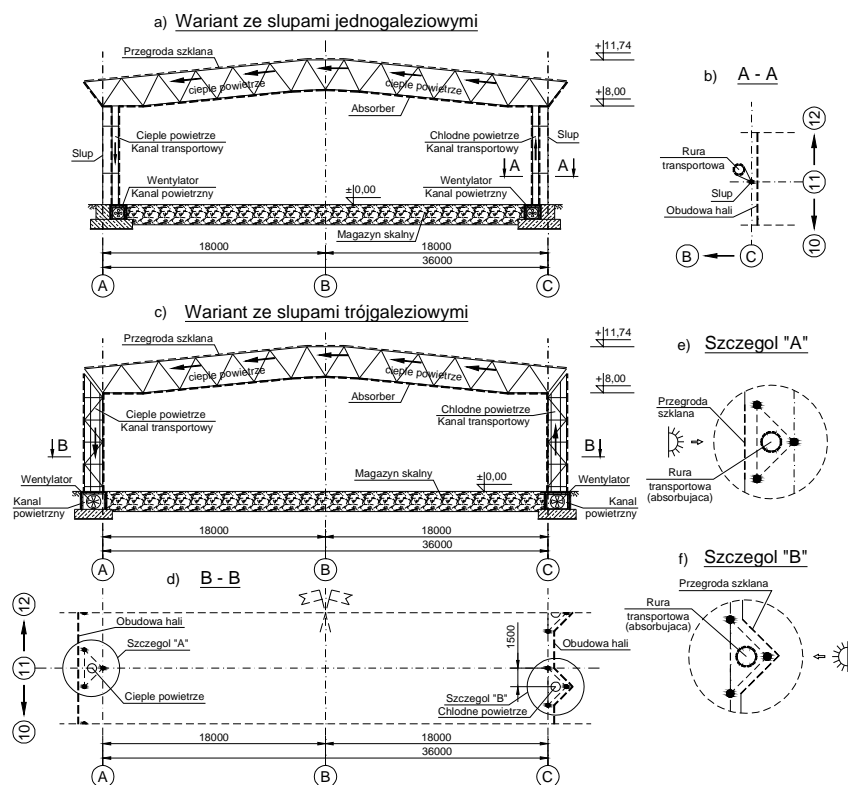
Rys. 2. Schemat warstwowy przekrycia: 1 – przezroczysta przegroda szklana, 2 – szczeliny, 3 – pasy górne, 4 – absorber, 5 – pasy dolne, 6 – przepływające powietrze, 7 – krzyżulce.

Fig. 2. Roof covering: 1 – glass transparent divider, 2 – window bars, 3 – top chords, 4 – absorber, 5 – bottom chords, 6 – circulating air, 7 – cross-braces.

Przegroda absorbująca (4), umieszczona w płaszczyźnie pasów dolnych (5), pełni funkcję sufitu hali. Przegrodę absorbującą zbudowano z płyty trójwarstwowej grubości 15 cm, składającej się z: blachy fałdowej pełniącej funkcję absorbera, np. TR18 (gr. 0,55 mm), izolacji termicznej oraz blachy fałdowej TR84/273. Płytę absorbera pokryto powłoką zwiększającą absorpcję energii słonecznej. Ogrzane powietrze przepływa (we wnętrzu struktury (6)) pomiędzy krzyżulcami (7).

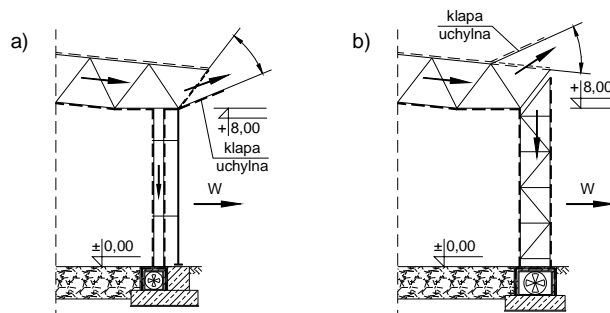
Promienie słoneczne przechodzące przez szklaną przegrodę przezroczystą (w płaszczyźnie pasa górnego) nagrzewają płytę absorbera (usytuowaną w płaszczyźnie pasów dolnych), która z kolei ogrzewa powietrze „zamknięte” wewnątrz przestrzeni konstrukcyjnej struktury. Transport ogrzanego powietrza przewiduje się kanałami powietrznymi. Powietrze tłoczone jest do magazynu energii cieplnej (rys. 3), np. złoża skalnego (lub innego odbiornika), gdzie oddaje ciepło i powraca po schłodzeniu z powrotem do przestrzeni wewnętrznej struktury energoaktywnej lub jest usuwane na zewnątrz.

Na rysunku 3 pokazano dwie koncepcje transportu ogrzanego powietrza pomiędzy strukturą a magazynem skalnym: a) rurowe kanały transportowe przymocowane do słupów (rys. 3a,b); b) w przypadku słupów trójgałęziowych przewody powietrzne usytuowano w ich wnętrzu (rys. 3c). Słupy wielogałęziowe, zależnie od lokalizacji, pozwalają na różne warianty ukształtowania ścian bocznych hali, np. wg rysunku 3d. Na rysunku 3e,f pokazano możliwość wykorzystania przestrzeni wewnętrznej słupów trójgałęziowych do dodatkowego absorbowania promieniowania słonecznego, zwłaszcza przed południem.



Rys. 3. Schemat pozyskiwania oraz transportu ogrzanego powietrza w przystosowanej hali.  
Fig. 3. Heated air extraction and transport diagram for the adapted hall.

W przypadku awarii instalacji obiegu powietrza wewnątrz ustroju: struktura → magazyn ciepła, lub uniknięcia nadmiernego ogrzewania konstrukcji, zastosowano uchylne kłapy, umożliwiające wzmoczoną wentylację wnętrza struktury. Na rysunku 4 przedstawiono dwa schematy usytuowania kłap wentylacyjnych, w przypadku: a) słupów jednogaleziowych, b) słupów trójgałęziowych. Przewiduje się automatyczne sterowanie otwieraniem kłap i ruchem powietrza. Również przewiduje się automatyczne uruchamianie wentylatorów ssąco-tłoczących, np. po wystąpieniu ustalonej temperatury powietrza nagrzanego absorberami.



Rys. 4. Schemat montażu klap wentylacyjnych: a) słupy jednogłęziowe, b) słupy trójgłęziowe.

Fig. 4. Arrangement of ventilation flaps: a) one-branch columns, b) three-branch columns.

Na efektywność pozyskiwania energii wpływa kąt nachylenia połaci dachu. Rozpoczęto prace nad zastosowaniem w płaszczyźnie pasów górnych szyb samoczyszczących, dla których producenci podają minimalne spadki rzędu  $10^\circ$  (17,6%) dla szkła Pilkington Activ™. Dobierając nachylenie dachu zwrócono uwagę na potrzebę odśnieżania połaci w okresie zimowym, aby zapewnić ciągłość pracy przekrycia energoaktywnego. Wzięto pod uwagę możliwość samoczynnego zsuwania się śniegu z połaci. W projekcie przewidziano możliwość wspomagania usuwania śniegu poprzez wykorzystanie ogrzanego w magazynie powietrza do podtopienia zalegającego śniegu. Wadą tej metody jest strata wcześniej zmagazynowanej energii cieplnej.

Podstawową przyczyną wybrania systemu „Zachód” do pozyskiwania energii cieplnej z promieniowania słonecznego jest stosunkowo małe ingerowanie w rozwiązanie konstrukcyjne systemu. Omawiany system można również przekształcić w ustroje energoaktywne o rozpiętościach: 18, 24 i 30 m [2,3]. W niniejszej pracy jako przykład konstrukcji pilotażowej przyjęto halę o rozpiętości 36 m, dającą dużą powierzchnię roboczą dachu do pozyskiwania energii z promieniowania słonecznego. W opracowaniu są również alternatywne nachylenia połaci dachowych.

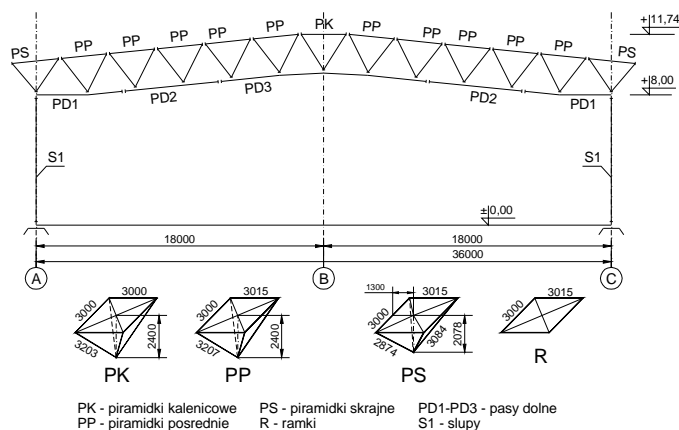
### 3. ANALIZA STATYCZNA KONSTRUKCJI

Obliczenia (MES) wykonano za pomocą programu Autodesk Robot Structural Analysis 2009. Siły w elementach struktury oszacowano w założeniu sztywnych połączeń pasów, natomiast połączenia krzyżulców z pasami są przegubowe. Przekrycie oparto na słupach zamocowanych w fundamentach w kierunku poprzecznym hali. Stężenie w ścianach podłużnych umieszczono w środku długości hali (rys. 1) w celu zmniejszenia przemieszczeń termicznych.

W oszacowaniu sił w konstrukcji uwzględniono: a) obciążenie stałe: ciężar własny konstrukcji, obudowa hali, ciężar przegród absorbujących oraz ciężar przegrody przezroczystej (szklanej); b) obciążenie zmienne: śnieg (II strefa), wiatr (I strefa), dodatkowe obciążenie wyposażeniem technologicznym oraz użytkowym, obciążenie temperaturą wewnątrz struktury (pas górny, pas dolny oraz krzyżulce). Założono, że obciążenie tempera-

turą w sytuacji czynnego transportu powietrza do magazynów gruntowych nie przekroczy  $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Przed nagraniem konstrukcji powyżej  $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$  zabezpieczają automatycznie otwierane klapy wentylacyjne (rys. 4a). Uwaga: znaczna wysokość konstrukcji (około 2,4 m) daje około  $10885\text{ m}^3$  powietrza zawartego wewnątrz struktury przy jednoczesnej powierzchni absorberów około  $4335\text{ m}^2$ , nie licząc ścian. Konstrukcja ma zatem cechy wielkopowierzchniowego absorbera niskotemperaturowego. Masa konstrukcji wynosi około 78953 kg, a licząc na  $1\text{ m}^2$  wynosi około  $20\text{ kg/m}^2$ , lecz bez szkieletu okiennego.

W klasycznym systemie „Zachód” wykorzystano piramidowy boczny system montażowy, w którym elementy wysyłkowe montowane są na budowie w geometrycznie niezmiennie segmenty montażowe i osadzone na słupach. Elementy wysyłkowe przekrycia składają się z: piramid, ramek oraz pasów dolnych. Na rysunku 5 pokazano system geometryczny w przekroju, zestawiony z piramid oraz ramek, oznaczonych: PK – piramidki kalenicowe, PP – piramidki pośrednie, PS – piramidki skrajne, R – ramki. Po zwymiarowaniu pilotażowej konstrukcji energoaktywnej, otrzymano: 3 typy piramidek PS, 12 typów piramidek PP, 3 typy piramidek PK oraz 3 typy ramek R (rys. 5).



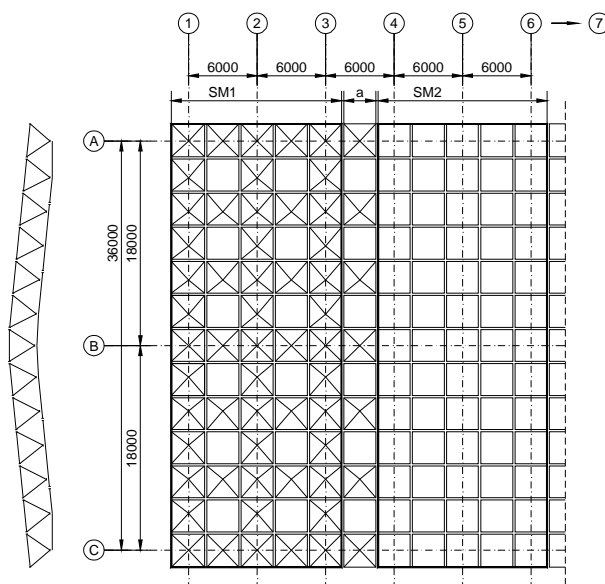
Rys. 5. Systemowe wymiary geometryczne przekrycia zbudowanego z: piramidek (PK, PP, PS), ramek (R), pasów dolnych (PD) oraz słupów (S1).

Fig. 5. Systemic dimensions of the roof covering built with: pyramids (PK, PP, PS), frames (R), bottom chords (PD) and columns (S1).

W konstrukcji zastosowano pręty ze stali S235. Pasy górne w kierunku poprzecznym hali: LR80x6, 2LR80x10, LR100x6, 2LR120x10, LR120x10, 2LR120x12, w kierunku podłużnym hali: UPE120, 2UPE120. Krzyżulce: RO60.3x5.6, RO70x7.1, RO88.9x8.8. Pasy dolne: C180, C280, C320. Słupy: HEB320. Pionowe stężenia ścienne: HEA100.

Na rysunku 6 pokazano schemat montażu przekrycia podzielonego na geometrycznie niezmiennie segmenty montażowe SM o rozpiętości 36 m i szerokości 5a, montowane na poziomie terenu. Kolejne segmenty łączone są między sobą oczkiem struktury o boku  $a = 3\text{ m}$ . Najszybszy montaż wystąpi w przypadku długości przekrycia hali

$L = 4a \cdot m + 3a$ , gdzie:  $4a$  – szerokość podstawowego segmentu montażowego,  $m$  – liczba segmentów,  $3a$  – szerokość segmentu zamykającego.



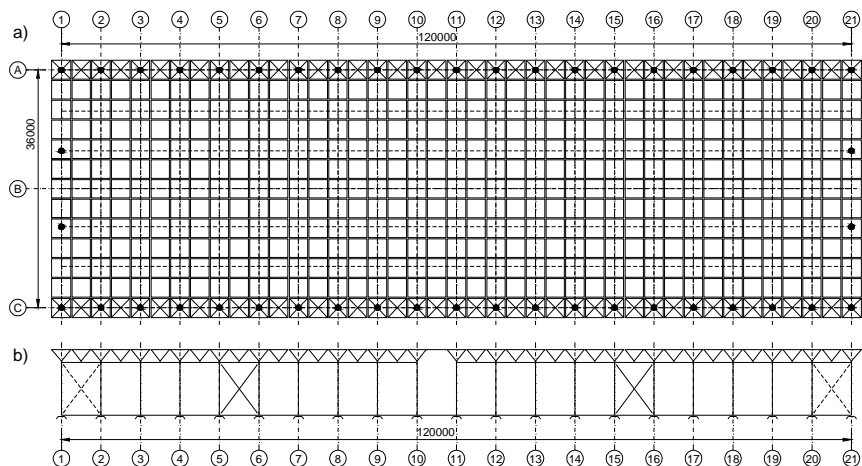
Rys. 6. Schemat rozmieszczenia piramid w segmencie montażowym konstrukcji przekrycia.

Fig. 6. Pyramids arrangement in the assembly segment of roof covering construction.

#### 4. PODSUMOWANIE

W celu zminimalizowania wpływów termicznych, pionowe ostożowe stężenia w ścianach podłużnych korzystnie jest sytuować w środku długości hali (rys. 1). Należy również wziąć pod uwagę podzielenie konstrukcji dylatacjami na więcej części np. wg rysunku 7b, w celu zmniejszenia sił od przemieszczeń termicznych hali. W opracowaniu są kolejne warianty rozwiązań konstrukcyjnych hal.

Sztywność połaciowa sprzęgająca słupy ogranicza różnice przemieszczeń węzłów oraz zmniejsza ryzyko pękania przegród szklanych [6]. W celu zwiększenia sztywności połaciowej długich hal, można w polach przyokapowych zastosować stężenia ciągnowe „X” usytuowane w płaszczyźnie pasów górnych piramid wg schematu pokazanego na rysunku 7a.



Rys. 7. Schemat rozmieszczenia stężeń połaciowych w strukturze przekrycia.  
Fig. 7. Arrangement of roof braces in the roof covering structure.

## 5. LITERATURA

- [1] Kowal Z., Szychowski A.: Energoaktywne struktury przestrzenne. Inżynieria i Budownictwo, nr 1/1993.
- [2] Kowal Z. i inni.: Prętowe przekrycia przestrzenne hal przemysłowych o rozpiętościach 18; 24; 30 i 36 m w systemie „Zachód”. Inżynieria i Budownictwo, nr 3/1977.
- [3] Kowal Z. i inni.: System przekryć przestrzennych „Zachód”. Inżynieria i Budownictwo, nr 11/1976.
- [4] Kowal Z., Szychowski A.: Struktury słoneczne w budowie hal. Inżynieria i Budownictwo, nr 9/95.
- [5] Kowal Z., Szychowski A.: Patent nr 166877, „Budowlana struktura przestrzenna do pozyskiwania energii cieplnej”. Warszawa 1995.
- [6] Kowal Z., Piotrowski R., Szychowski A.: Sztywność połaciowa struktur prętowych o oczkach kwadratowych. ZNPR nr 276, Z. 58 (3/11/II).

## ADAPTATION OF HALLS WITH ROOF COVERING TO SOLAR RADIATION ENERGY EXTRACTION

### SUMMARY

The article presents the method for adaptation of the economic roof covering system used in “Zachód” halls to heat energy extraction from solar radiation. The discussion includes the ways of heat energy extraction, transport and storage as well as the concepts of securing the structure against overheating and thermal displacements.



**Danuta KUPIEC-HYŁA, dr inż. arch.**

Politechnika Krakowska  
Wydział Architektury  
Katedra Kształtowania Środowiska Mieszkaniowego  
ul. Podchorążych 1, 30-084 Kraków  
e-mail: dhmarczyk@poczta.fm

## **WSPÓŁCZESNE HOLENDERSKIE KIERUNKI KREACJI ARCHITEKTONICZNEJ INWESTYCJI MIESZKANIOWYCH ZWIĄZANYCH Z WODĄ**

### **STRESZCZENIE**

Mieszkanie na wodzie jest od wieków wpisane w historię i kulturę Holandii. Wraz z postępem technologicznym wzrasta nie tylko standard realizowanych inwestycji a z nim jakość naszego życia ale i ochrona naturalnego środowiska. Duża atrakcyjność wizualna i energooszczędność, przyjazne człowiekowi środowisko mieszkaniowe i nowa jakość przestrzeni miejskiej to charakterystyczne cechy holenderskich inwestycji mieszkaniowych związanych z wodą.

### **1. WPROWADZENIE**

Przeludnienie obszarów zurbanizowanych, znaczące skażenie naturalnego środowiska, zagrożenie naszego zdrowia przez choroby cywilizacyjne powoduje, że w kreacji przyjaznego człowiekowi miejsca zamieszkania ukierunkowanego na zdrowie i wysoką jakość sięgamy po rozwiązania wykraczające często poza konwencjonalne myślenie o architekturze.

Dynamiczny na przestrzeni ostatnich dziesięcioleci rozwój budownictwa mieszkaniowego w Holandii i irracjonalny wzrost ceny gruntu uatrakcyjnił znany i stosowany tam od wieków model mieszkania na wodzie. Bezpośredni kontakt z tym zdrowym i nieskażonym środowiskiem daje użytkownikom gwarancję dobrej jakości życia.

Przedstawione w artykule trzy nowe holenderskie realizacje pokazują różne drogi kształtowania atrakcyjnych wizualnie, przyjaznych człowiekowi i środowisku inwestycji mieszkaniowych.

## 2. WODA DO ZAMIESZKANIA

Jedynym w swoim rodzaju przykładem domu jednorodzinnego, dla którego inspiracją architektoniczną i konstrukcyjną były stalowe, portowe zbiorniki paliwowe jest pływająca, mobilna Water Villa w Middelburgu (1998-2002).

Dynamiczna, cylindryczna forma budynku posadowiona na pływającej heksagonalnej ramie o przekroju D wtapia się harmonijnie w sielski kontekst zespołu mieszkaniowego Veerse Poort i bogate, zróżnicowane środowisko naturalne. Układ konstrukcyjny budynku stanowią 3 stalowe ramy połączone żelbetowymi stropami, a cylindryczna w formie ściana zewnętrzna wykończona blachą stalową nawiązuje stylistyką do przemysłowych inspiracji. Rozwiązany na trzech poziomach rzut budynku pozwala na dowolną aranżację wnętrza w zależności od potrzeb mieszkańców.

Atrakcyjność wizualną niekonwencjonalnej formy budynku przebijają jednak jej walory funkcjonalno-użytkowe w tym m.in.:

- a) energooszczędność – budynek posiada możliwość zmiany ustawienia o max. 90°. Obracając się w cyklu dobowym za słońcem można dowolnie regulować dogrzewanie lub schładzanie oraz oświetlenie światłem naturalnym wszystkich pomieszczeń. Duże przeszklenia pozwalają również na bierny pozysk ciepła z promieniowania słonecznego kumulowanego w żelbetowych stropach.
- b) bezpośredni kontakt z naturą – pływający dom jest organicznie wkomponowany w naturalne środowisko, a ograniczona dostępność daje użytkownikom poczucie bezpieczeństwa i prywatności. Woda prócz niezaprzeczalnych walorów klimatycznych dostarcza również bogatych doznań estetycznych będąc lustrem dla architektury i środowiska.
- c) możliwość zmiany lokalizacji – po odłączeniu od mediów możemy budynek przeholować w dowolne miejsce.

Współczesny człowiek żyjący w erze ewolucji, ciągłych zmian i olbrzymiego postępu technologicznego potrzebuje architektury elastycznej, mobilnej, dającej się łatwo modyfikować. Budynki takie jak Water Villa mogą być więc odpowiedzią jak kształtować mieszkanie przyszłości.

Interesującym przykładem opartym w założeniach o ideę dobrego sąsiedztwa jest zrealizowany na obrzeżach sztucznej wyspy Steigereiland w IJburgu w Amsterdamie pływający zespół mieszkaniowy (100 budynków).

Ostłonięty od uciążliwości komunikacyjnych barierą budynku usługowo-mieszkalnego szeroko otwiera się ku wolnym przestrzeniom jeziora.

Geometryczny, zwarty, siatkowy układ urbanistyczny nawiązuje w założeniu kompozycyjnym do historycznego układu holenderskiego miasta kanałowego.

W poszukiwaniu efektywnego sposobu wykorzystania ograniczonej przestrzeni pomosty łączące budynki między sobą i lądem zostały zaprojektowane i urządzone nie tylko jako uliczki piesze, ale także jako miejsca kontaktów sąsiedzkich, wypoczynku i rekreacji. Jednorodna stylistycznie i kolorystycznie wysokostandarowa architektura tylko w miejscach kompozycyjnie ważnych zróżnicowana jest kolorystycznie i kubaturowo (bramy wejściowe do zespołu). Bardzo małe przestrzenie prywatne (tarasy, pomosty) powiększają się wizualnie przez powiązanie z otwartą przestrzenią jeziora.

Marynistyczna estetyka białej architektury i duża zwartość przestrzenna zespołu przywołują skojarzenia przyjaznego mieszkalnego portu, a wchodząca w ścisłe związki z architekturą woda tworzy zarówno nową jakość środowiska mieszkaniowego, jak i krajobrazu miejskiego.

Wzorowym przykładem kreacji przyjaznego środowiska mieszkaniowego w strefie intensywnego zainwestowania miejskiego, na zdegradowanych terenach przemysłowych i w sąsiedztwie dworca kolejowego jest zespół mieszkaniowy Paleiskwartier w Hertogenbosch (1980-2012...). Położony nad wodą zespół mieszkaniowy jest częścią dużej, rewitalizowanej dzielnicy i wyróżnia się niekonwencjonalną formą architektoniczną skontrastowaną z ortogonalnym układem urbanistycznym.

Oś kompozycyjną i widokową założenia stanowi zbiornik wodny, pod którym zlokalizowany jest parking dla całego zespołu. Duża płaszczyzna wodna w terenie intensywnie zabudowanym generuje nową jakość związanego z nią środowiska mieszkaniowego, nie tylko poprzez poprawę mikroklimatu, zagospodarowanie wód opadowych, ale i kreację bardzo atrakcyjnej, otwartej przestrzeni publicznej.

Atrakcyjna i oryginalna forma architektoniczna budynków (jak napełnione wiatrem żagle) jest wynikiem nie tylko potrzeb użytkowników w zakresie nasłonecznienia i doświetlenia mieszkań i tarasów, ale przede wszystkim potrzebą ograniczenia negatywnych skutków występujących w tym rejonie silnych wiatrów. Na niskie zużycie energii w zespole wpływa zarówno układ urbanistyczny (naprzemiennie ułożone w stosunku do siebie budynki niskie i wysokie) eliminując zacienienie południowej elewacji, rozwiązania architektoniczne (północna galeria) jak i zamontowane ogniwa fotowoltaiczne.

Z dynamiczną formą budynku zintegrowane zostały elewacyjne materiały wykończeniowe takie jak: blacha, drewno, szkło, przez co stojący na wodzie i odbijający się w niej rząd budynków wygląda jak płynąca pod pełnymi żaglami flotylla statków.

### 3. PODSUMOWANIE

Omówione w artykule trzy różne sposoby zamieszkania związane z wodą są przykładami kontynuacji dobrej, historycznej tradycji tego typu budownictwa mieszkaniowego.

Charakterystyczną cechą holenderskich rozwiązań urbanistycznych i architektonicznych jest ich ciągła ewolucja związana z postępem w zakresie technologii, materiałów i ochrony naturalnego środowiska.

Nowe, zrealizowane inwestycje to nie tylko przyjazne środowisko mieszkaniowe z wysoką jakością życia w naturze ale i atrakcyjna i uporządkowana przestrzeń miejska.

Szkoda tylko, że mając tyle pozytywnych europejskich przykładów polscy inwestorzy w pogoni za zyskiem nie zauważają znaczenia wody w kreacji nowej jakości architektury, urbanistyki i krajobrazu miejskiego.

### 4. LITERATURA

[1] D. Kupiec Hyla.; Wykorzystać nieużyteczne, czasopismo techniczne wyd. PK z 4-A/2007

[2] <http://www.hertzberger.nl>

[3] <http://www.bdp.com/Global/Projects/Paleiskwartier>

[4] <http://www10.aeccafe.com/blogs/arch-showcase/2011/03/26/water-houses-floating-houses-in-steigereiland-ijburg-amsterdam-netherlands-by-architectenbureau-marlies-rohmer/>



*Fot. 1., 2., 3., 4. Pływająca Water Villa w Middleburgu w kontekście zespołu Mieszkaniowego i naturalnego środowiska fot. Autor.*

*Phot. 1., 2., 3., 4. Floating Water Villa in Middleburgu in context of a residential and natural environment complex. fot. Author.*



*Fot 5., 6., 7, 8., Zespół pływających domów w IJburgu w Amsterdamie – marynistyczna forma architektoniczna i duża zwartość urbanistyczna zespołu fot. Autor.*

*Phot. 5., 6., 7., 8. The group of floating homes in IJburg in Amsterdam - marine architectural form and high urban density of the complex. fot. Autor.*





*Fot 9., 10., 11, 12., Zespół mieszkaniowy Paleiskwartier w Hertogen bosh – forma architektoniczna adekwatna do warunków środowiskowych, kreacja nowej jakości przestrzeni miejskiej fot. Autor.*

*Phot. 9., 10., 11.,12. The housing complex Paleiskwartier in Hertogen - architectural form appropriate to the environmental conditions, creating a new quality of urban space .  
fot. Author.*

## **MODERN DUTCH LINES OF ARCHITECTURAL CREATION OF WATER HOUSING INVESTMENT**

### **SUMMARY**

Flat on the water is written for centuries in the history and culture of the Netherlands. With advances in technology, increases not only the standard of the investments and our quality of life, but also the natural environment protection. The high visual attractiveness and energy efficiency, the friendly to man new quality of housing environment and urban space are features related to water Dutch housing investment.



**Lech LICHOLAI, dr hab. inż., prof. PRz**  
**Jerzy SZYSZKA, mgr inż.**

Politechnika Rzeszowska  
Zakład Budownictwa Ogólnego  
al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów  
e-mail: lech.licholai@prz.edu.pl, jszyszka@prz.edu.pl

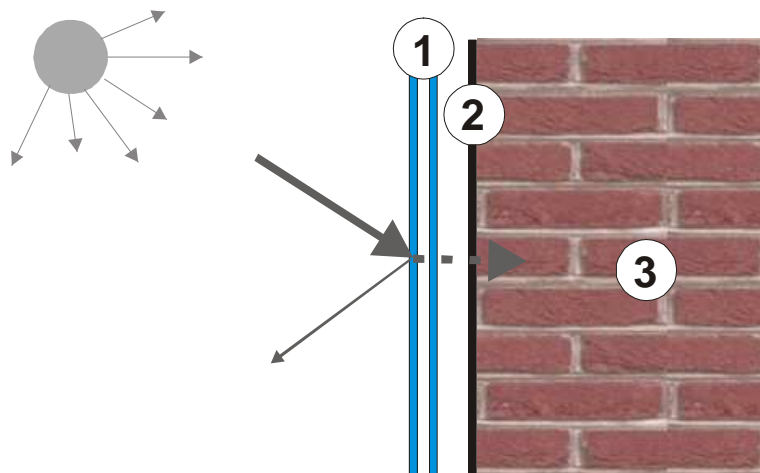
## **BADANIA SYMULACYJNE EFEKTYWNOŚCI ENERGETYCZNEJ SZCZELINOWEJ PRZEGRODY KOLEKTOROWO- AKUMULACYJNEJ (SPKA)**

### **STRESZCZENIE**

W celu dostosowania typowej przegrody kolektorowo akumulacyjnej do warunków klimatycznych występujących na terenie Polski zaproponowano rozwiązanie zwiększające jej izolacyjność termiczną oraz sposób dystrybucji zakumulowanego ciepła. Badania są przeprowadzane z wykorzystaniem zaprojektowanego symulatora oraz polowej komory badawczej.

Obserwujemy rozwój technologii wytwarzania nowoczesnego przeszklenia o parametrach, które jeszcze kilka lat temu nieosiągalne, obecnie stają się standardem. Taka sytuacja stwarza nowe możliwości dla rozwiązań, w których dotychczasowe właściwości przeszklenia stanowiły barierę dla powszechnego stosowania.

Przykładem jest przegroda kolektorowo-akumulacyjna (PKA- rys.1.). Stanowi ona rodzaj ściany zewnętrznej budynku, przed którą umieszcza się przeszklenie. Powinno pełnić ono funkcję termoizolacji przepuszczającej promieniowania słoneczne, które docierając do ściany nagrzewa ją, ograniczając strumień ciepła przenikający od wnętrza budynku.



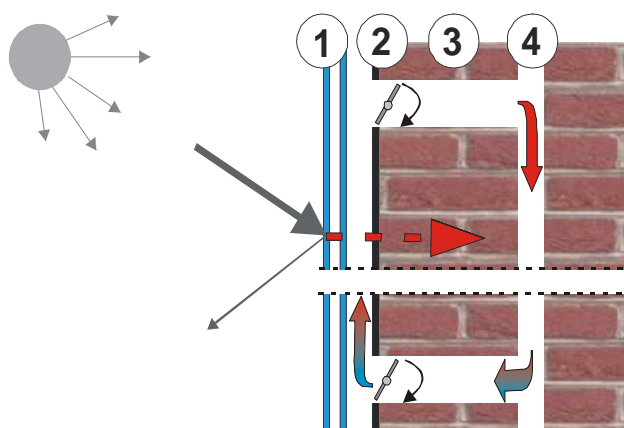
Rys.1. Budowa PKA: 1-przeszklenie, 2-absorber, 3-warstwa akumulacyjna.  
 Fig 1. Structure of PKA; 1-glazing, 2-absorber, 3-acumulation layer.

Prowadzone badania PKA w polskich warunkach klimatycznych - mimo obiecujących wyników [3-6] - nie spowodowały zauważalnego wzrostu zainteresowania tym rozwiązaniem przez projektantów i inwestorów. O ile rozwiązanie było obiecujące w okresie dużego nasłonecznienia nawet przy bardzo niskich temperaturach, wątpliwości budziło jego funkcjonowanie w okresach, gdy nasłonecznienie było małe. W tej sytuacji kluczowa stała się izolacyjność termiczna przegrody, czyli w zasadzie izolacyjność zastosowanego przeszklenia. Stosowanie przeszklenia o dużej izolacyjności termicznej powodowało jednak istotne ograniczenie jego zdolności do przepuszczania promieniowania słonecznego. Przykładowo przeszklenie o współczynniku przenikania ciepła na poziomie  $U_g=0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ , posiadało zdolność przepuszczania zaledwie około 40% promieniowania słonecznego. Obecnie możliwe jest osiągnięcie ponad 60% przepuszczalności energii promieniowania przy współczynniku  $U_g=0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Samo pojęcie efektywności, jako względne i odnoszone do wymagań izolacyjności termicznej w różnych okresach, aktualnie wymaga ponownego zdefiniowania. Przy obecnych kosztach energii i perspektywie jej kolejnych podwyżek, wydaje się właściwe przyjęcie kryterium porównawczego na poziomie współczynnika przenikania ciepła  $U$  o wartości nie przekraczającej  $0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Miara efektywności w rozpatrywanym okresie jest stosunek bilansu energetycznego SPKA (rys.2) do strat ciepła, jakie w tym czasie generuje ściana porównawcza o współczynniku przenikania ciepła  $U=0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ . W celu określenia tak zdefiniowanej efektywności energetycznej zmodyfikowanej PKA z zastosowaniem nowoczesnego przeszklenia, prowadzone są przez autorów badania z wykorzystaniem zbudowanego specjalnie do tego celu symulatora.

W funkcjonowaniu typowej PKA można wyróżnić etapy: nagrzewania, akumulacji ciepła oraz jego dystrybucji. Newralgiczny jest etap nagrzewania, który jest związany z fototermiczną konwersją energii promieniowania słonecznego przenikającego przez przeszklenie. W tym czasie następuje nagrzewanie zewnętrznej warstwy tynku (absorbera) i przekazywanie ciepła w głąb materiału murowego. Występują także straty wytworzonej



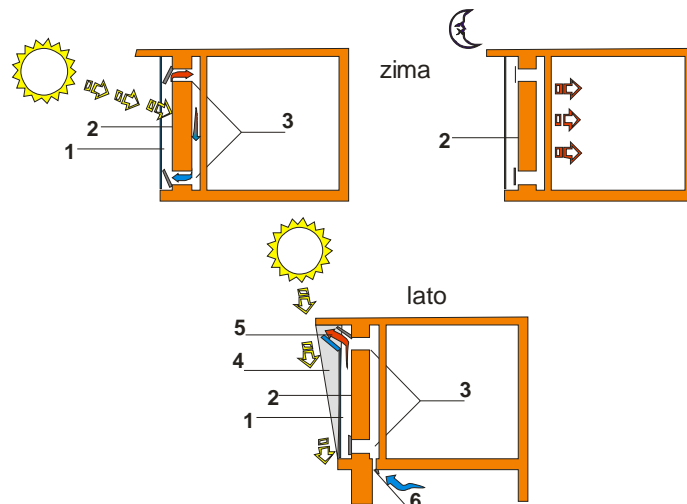
energii, które są proporcjonalne do temperatury nagrzanego absorbera i odwrotnie proporcjonalne do izolacyjności przeszklenia. W przegrodzie, stanowiącej przedmiot badań, zastosowano podział materiału akumulacyjnego na dwie warstwy oddzielone pionową szczeliną grubości 50mm, która jest połączona przy pomocy otworów w dolnej i górnej części zewnętrznej warstwy z przestrzenią między absorberem i przeszkleniem. Dzięki temu połączeniu możliwy jest transfer ciepła w cyrkulującym powietrzu od przestrzeni wzdłuż absorbera do wnętrza ściany. Dodatkowo szczelina zwiększa izolacyjność termiczną całej przegrody o opór pustki powietrznej przy zamkniętych otworach cyrkulacyjnych w godzinach nocnych lub w okresach słabego promieniowania słonecznego.



Rys.2. Budowa SPKA: 1-przeszklenie, 2-absorber, 3-warstwa akumulacyjna, 4-kanal cyrkulacyjny

Fig 2. Structure of SPKA ; 1-glazing , 2-absorber, 3-acumulation layer, 4- duct of air circulation

Nie bez znaczenia jest także funkcjonowanie ściany w okresie letnim, dlatego rozważana jest możliwość wykorzystania szczeliny przy rozszczelnionym przeszkleniu do chłodzenia przegrody w ciągu nocy, powietrzem wprowadzanym od np. strony północnej budynku lub z wymiennika gruntowego. Schemat szczelinowej przegrody kolektorowo-akumulacyjnej (SPKA) przedstawia rysunek 3.



Rys.3. Schemat Szczelinowej Przegrody Kolektorowo-Akumulacyjnej SPKA; 1)przeszklenie, 2)przegroda akumulująca ciepło, 3)otwarte kanały cyrkulacyjne, 4) strefa zacielenia przegrody, 5) letnie rozszielanie przeszklenia, 6) kanał cyrkulacyjny letni –łączący szczelinę z czerpnią.

Fig.3.Schema of slotted thermal storage wall SPKA, 1) glazing, 2)material of heat-storing, 3) opened channels of circulation, 4) the shading zone 5) unsealing glazing in summer period , 6) connecting the circulation duct with the inlet channel

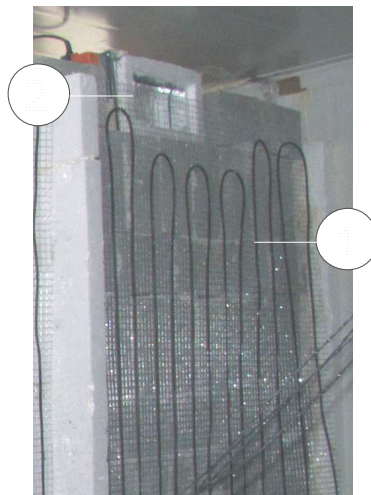
Badania prowadzone są równocześnie dla trzech ścian z wykonanych z betonu zwykłego kruszywowego ( $\rho=2300 \text{ kg/m}^3$ ), z bloczków silikatowych ( $\rho=1600 \text{ kg/m}^3$ ), oraz z betonu komórkowy ( $\rho=800 \text{ kg/m}^3$ ).

Jako przeszklenie przegrody zastosowano szyby jedno i dwukomorowe, z tzw. ciepłą ramką dystansową o współczynnikach: przenikania ciepła  $U_g = 0,5\text{--}1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$  i transmisyjności  $TR=0,62\text{--}0,7$ , osadzone w profilu GENE0,  $U_f=0,9$ .

Określenie wpływu temperatury powietrza zewnętrznego oraz porcji zaabsorbowanego ciepła na efektywność energetyczną w warunkach polowych jest kłopotliwe. Na stan energetyczny przegrody w danym dniu, mają wpływ zmiany temperatury i promieniowania słonecznego, które zaszły nawet kilka dni wcześniej. Z tego względu zdecydowano się na przeprowadzenie badań z wykorzystaniem zaprojektowanego do tego celu prostego symulatora.

O ile kontrola temperatury powietrza nie stanowi większego problemu, to symulacja promieniowania słonecznego, zwłaszcza w warunkach ujemnej temperatury, stanowiła poważny problem. Rozwiązanie wykorzystywane w IPPT ze względu na duży pobór energii nie mogło zostać wykorzystane. Zakładając, że oddziaływanie promieniowania słonecznego na zewnętrzną powierzchnię przegrody można uwzględnić w postaci wewnętrznego

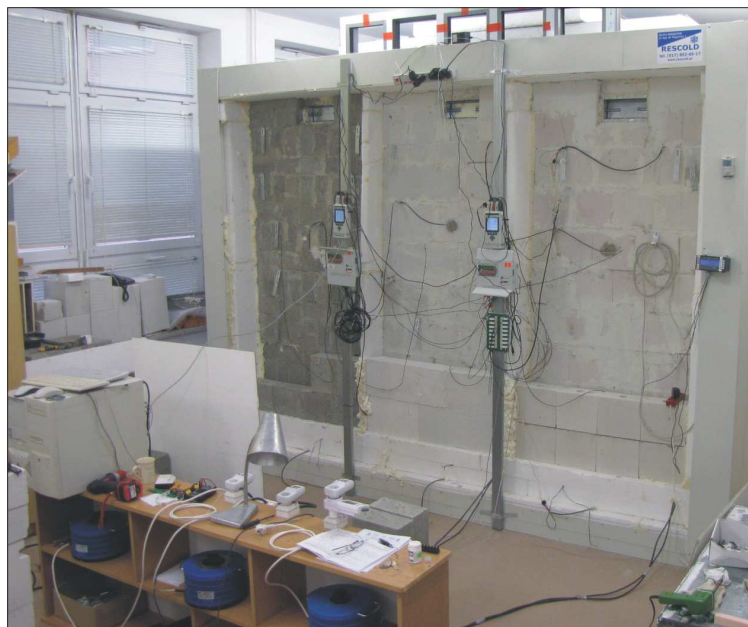
źródła ciepła o określonej mocy[1], wykorzystano umieszczony w zewnętrznej części warstwy tynku, stałoporowy kabel grzejny [fot.1.].



*Fot.1. Kabel grzejny wykorzystywany do nagrzewania absorbera: 1- kabel grzejny 50W/mb, 2-przepustnica.*

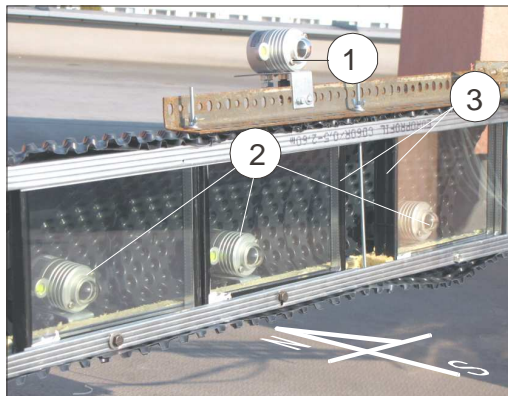
*Fot.1. The heating cables used to heat the absorber: 1- heating cables 50W/m, 2- air damper*

Długość i moc kabla grzejnego dobrano tak, aby z wykorzystaniem autotransformatora oraz licznika zużycia energii, zachować kontrolę nagrzewania absorbera w sposób analogiczny do przegrody o takiej samej budowie, monitorowanej w warunkach polowych. Widok stanowisk pomiarowych przedstawiają fotografie 2 -4.



*Fot.2. Widok symulatora od strony zewnętrznej oraz od strony komory mroźniczej.  
Fot.2. View of the simulator from the outside (above) and from the freezing chamber  
(below).*

Badania w warunkach polowych służą przede wszystkim do określenia rzeczywistej przepuszczalności energii promieniowania słonecznego oraz współczynnika transmisyjno-absorbencyjnego. W stanowisku badawczym, w warunkach polowych wykorzystano konfigurację SPKA opartą na ścianie z bloczków silikatowych i przeszkleń (TR = 0,62;  $U_g = 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ ).



*Fot.3. Widok stanowiska do określenia w warunkach polowych współczynnika transmisyjności: 1- pyranometr rejestrujący całkowite promieniowanie słoneczne, 2 – pyranometry umieszczone za próbkami przeszkleń, 3 – próbki przeszkleń.*

*Fot.3. View of the research station to determine the transparency coefficient of the of glass: 1 - pyranometer registrants global solar radiation, 2-pyranometers behind the glass samples, 3 - sample of glazings.*



*Fot.4. Polowa komora badawcza monitorująca stopień nagrzania absorbera w zależności od warunków klimatycznych; 1- pyranometr, 2- przepustnica.*

*Fot.4. Field test chamber monitoring the heating of the absorber, depending on climatic conditions; 1 - pyranometer, 2 - air damper.*

Ciepło nagrzewające absorber określono z zależności:

$$Q_a = S_i \cdot A_g \cdot TR_e \cdot \alpha \cdot z_s, \quad (1)$$

gdzie:

$S_i$  – promieniowanie słoneczne docierające do przeszklenia,

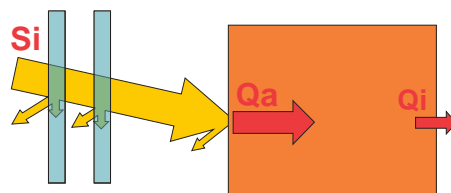
$A_g$  – powierzchnia przeszklenia

$TR_e$  – Współczynnik transmisyjności przeszklenia

$\alpha$  – absorpcyjność poczernionej powierzchni ściany,

$z_s$  – współczynnik zacienienia ściany.

Schemat strat związanych z przenikaniem promieniowania słonecznego przez przeszklenie przedstawia rys. 4.



Rys.4. Schemat strat związanych z przenikaniem promieniowania słonecznego przez przeszklenie

Fig.4. Schematic losses associated with the penetration of solar radiation through the glazing

Straty wynikające absorpcji promieniowania w szkłe oraz odbić od jego powierzchni wyrażane są współczynnikiem transmisyjności  $TR$ . Współczynnik ten zależy w podstawowej mierze od zawartości związków żelaza w szkłe oraz od naniesionych na tafle powłok. W badaniach przyjęto współczynnik  $TR$  uzyskany na podstawie badań polowych.

Część padającego na przeszklenie promieniowania jest w nim pochłaniana, powodując pewien wzrost jego temperatury przekładający się na ograniczenie wymiany ciepła między absorberem i przeszkleniem. Wpływ ten uwzględnia się wprowadzając tzw. efektywny współczynnik transmisyjno-absorpcyjny.

$$TR_e = [1 + k(0,01)] \cdot TR, \quad (2)$$

$k$ -liczba szyb w przeszkleniu

W badaniach na symulatorze, jako najbardziej reprezentatywny parametr, przyjęto wartość strumienia ciepła mierzonego na wewnętrznej powierzchni przegrody pod wpływem dowolnego przyjętego wymuszenia termicznego przy założonych warunkach zewnętrznych jej funkcjonowania. Informuje on o rzeczywistej ilości ciepła przenikającego przez przegrodę, które jest zależne od właściwości termicznych samej przegrody oraz występujących mostków

cieplnych związanych z ramą i przeszkleniem. Możliwe jest dzięki temu porównanie w praktycznie jednakowych warunkach, różnych rozwiązań i określenie ich wpływu na mierzony parametr. Jako parametr charakteryzujący wpływ danej sumy promieniowania słonecznego na bilans cieplny przegrody, przyjęto współczynnik podziału energii  $C_{DE}$ . Informuje on o tym, jaka jest redukcja ilości ciepła przenikającego przez przegrodę w stosunku do danej sumy promieniowania, która wywołała tę redukcję.

$$C_{DE} = \frac{A_{SPKA}}{Q_S} \int_{t=0}^{t_{q_{const}}} q_{const\_AT} - q_m dt, \quad (3)$$

gdzie:

$A_{SPKA}$ - powierzchnia badanej przegrody,

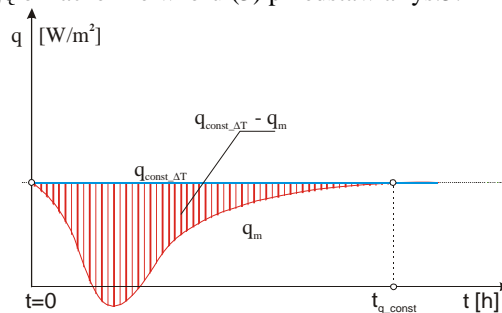
$Q_S$ - suma dzienna promieniowania słonecznego,

$t$  - czas badania (do chwili ustalenia strumienia dla danej różnicy temperatur  $T_e-T_i$ ,

$q_m$ - strumień mierzony na wewnętrznej powierzchni przegrody,

$q_{const\_AT}$  – strumień ustalony dla danej różnicy temperatur  $T_e-T_i$ .

Graficzną interpretację oznaczeń ze wzoru (3) przedstawia rys.5.



Rys.5. Graficzna interpretacja oznaczeń ze wzoru (3).

Fig.5. Graphical interpretation of the designations from the formula (3).

Przeprowadzone dotychczas badania wykazały zależność współczynnika podziału energii  $C_{DE}$  od zastosowanego materiału murowego, rodzaju przeszklenia oraz warunków klimatycznych, w których funkcjonuje przegroda.  $C_{DE}$  przyjmuje wartości w zakresie od 0,14 do blisko 0,6. Odnosząc te wartości do potencjału heliogrzewczego na obszarze Polski, można przypuszczać, że proponowane rozwiązanie stanowi alternatywę dla przegród tradycyjnych. Prowadzone badania powinny dostarczyć danych do opracowania metody szacowania bilansu energetycznego w zależności od warunków klimatycznych, w których funkcjonuje przegroda.

Badania współfinansowane ze środków przeznaczonych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego na naukę w latach 2010-2013 (projekt badawczy nr N N506 213140) oraz Europejskiego funduszu Społecznego (umowa 8.2.2/III.18/116/10/U59/11)

**LITERATURA:**

- [1] Chwieduk D.: Modelowanie i analiza pozyskiwania oraz konwersji termicznej energii promieniowania słonecznego w budynku, Instytut Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk, Warszawa 2006,
- [2] Duffie J.A., Beckman W.A., Solar Engineering of Thermal Processes, Wiley-Interscience, New York 1991.
- [3] Klemm i inni – praca zbiorowa.: Budownictwo Ogólne. T.2 Fizyka Budowli, Wydawnictwo ARKADY, Warszawa 2005
- [4] Kośny J.: Teoretyczna i doświadczalna analiza efektywności przegród kolektorowo-akumulacyjnych, Praca doktorska, IPPT PAN, Warszawa 1990,
- [5] Laskowski L.: Systemy biernego ogrzewania słonecznego, KILiW PAN, Warszawa 1993.
- [6] Lichołai L.: Analiza funkcjonowania pasywnych systemów ogrzewania słonecznego i prognozowanie ich efektywności energetycznej. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej. Rzeszów 2000.

**ENERGY EFFICIENCY OF THE SLOTTED THERMAL STORAGE WALL****SUMMARY**

In order to improve the functioning of a typical thermal storage wall in polish climatic conditions, proposed solution to increase its thermal insulation and method of distribution of the stored heat. Tests are conducted using a simulator designed and field-test chamber.



**Janusz MAGIERA, prof. dr hab. inż.**

**Sebastian PATER, mgr inż.**

**Krzysztof NEUPAUER, mgr inż.**

Politechnika Krakowska

Zakład Procesów Podstawowych i Urządzeń Ochrony Środowiska

ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków

e-mail: jmagiera@pk.edu.pl; sebpater@gmail.com

## **INSTALACJA HYBRYDOWA Z ODNAWIALNYMI ŹRÓDŁAMI ENERGII PRACUJĄCA NA UKRAINIE W FORMIE LABORATORIUM NA ODLEGŁOŚĆ**

### **STRESZCZENIE**

W pracy\* przedstawiono instalację hybrydową z odnawialnymi źródłami energii (OZE) funkcjonującą jako laboratorium na odległość w Połtawskiej Państwowej Akademii Rolniczej (PPAR) na Ukrainie. W skład instalacji wchodzi 5 różnych kolektorów słonecznych (3 próżniowe i 2 płaskie), pompa ciepła (PC) typu powietrze-woda, 3 zasobniki solarne, DigiENERGY – nowoczesny system sterowania oraz bilansowania energetycznego i kosztowego instalacji z OZE. Przedstawiono również wyniki pracy instalacji w okresie październik 2011 r. – marzec 2012 r.

### **1. WPROWADZENIE**

Powszechnie uważa się, że nawet najlepiej przygotowany bierny przekaz wiedzy, nie jest w stanie zapewnić optymalnego przygotowania do wykonywania zawodu przez inżyniera. Dopiero czynne przekazywanie wiedzy w formie zajęć laboratoryjnych, seminariów, ćwiczeń umożliwia konfrontację nabytej wiedzy teoretycznej z praktyką oraz wzrost poziomu kształcenia przyszłego inżyniera [1].

\*Praca została wykonana i jest kontynuowana dzięki wsparciu finansowemu z projektu w ramach Partnerstwa Wschodniego finansowanego przez MSZ (umowa dotacji nr 171/PR/2011/JST/IN/) oraz Grantu Promotorskiego sfinansowanego ze środków Narodowego Centrum Nauki (umowa nr 7582/B/H03/2011/40)

Wysoka jakość przeprowadzanych zajęć często nierozdzielnie związana jest z posiadaniem przez ośrodki badawcze nowoczesnych urządzeń, których wysoki koszt zakupu ograniczony jest budżetem jednostki, bądź innym uwarunkowaniem. Alternatywą dla tych barier mogą być laboratoria na odległość. Taka forma kształcenia może przyczynić się do bieżącej wymiany informacji, a także integracji środowisk badawczych bardzo oddalonych od siebie.

W ramach projektu „Pozyskanie energii cieplnej z odnawialnych źródeł energii” realizowanego od marca 2011 roku przez Politechnikę Krakowską na rzecz Połtawskiej Państwowej Akademii Rolniczej (PPAR) na Ukrainie zaprojektowano i zbudowano instalację z kolektorami słonecznymi i pompą ciepła (PC) funkcjonującą jako laboratorium na odległość (rys. 1). Instalacją zlokalizowaną w jednym z budynków PPAR można sterować oraz obserwować jej pracę przez Internet dzięki zastosowaniu jednego z najnowocześniejszych w Europie systemów sterowania instalacjami z OZE. Instalacja służy nie tylko do celów badawczych i szkoleniowych, ale także ma za zadanie przygotowywać ciepłą wodę użytkową w jednym z domów studenckich.



Rys. 1. Widok nowej instalacji hybrydowej z OZE w PPAR [Źródło: AMT-Projekt]

Fig. 1. View of the new hybrid installation with RES in PPAR [Source: AMT-Projekt]

Projekt został stworzony z myślą o propagowaniu wśród społeczności ukraińskiej odnawialnych źródeł energii w aspekcie ochrony środowiska oraz bezpieczeństwa energetycznego kraju, ponieważ brak uczestnictwa w wyścigu technologicznym w obszarze OZE, jak to zostało podkreślone w [2] może nieść ze sobą długofalowe, negatywne skutki. Zrealizowany projekt miał się przyczynić do zmiany postaw społecznych, większego zaintere-

sowania tematyką bezpieczeństwa energetycznego oraz nowymi możliwościami rozwoju energetyki, szczególnie formami uzyskiwania energii ze źródeł odnawialnych.

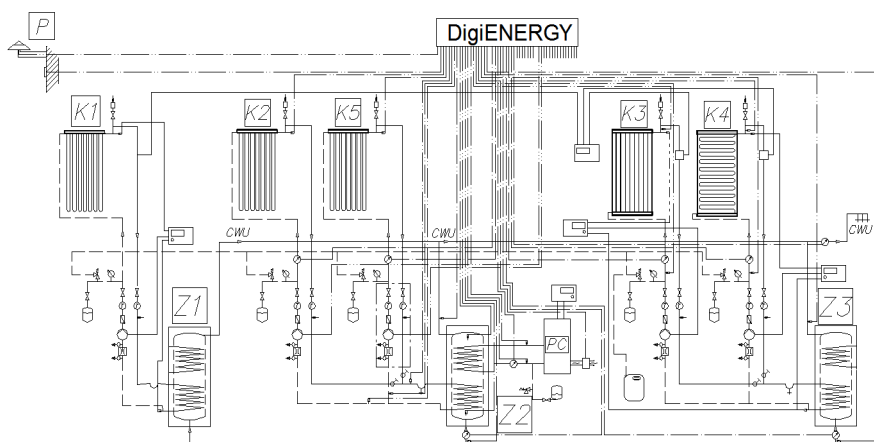
## 2. BUDOWA INSTALACJI

Instalacja w PPAR przed przystosowaniem do pracy w formie laboratorium na odległość składała się z 2 kolektorów słonecznych próżniowo-rurowych, 2 kolektorów płaskich, pompy ciepła typu powietrze-woda oraz 3 zasobników solarnych o pojemności 150 l, 200 l i 300 l podłączonych do instalacji ciepłej wody użytkowej (c.w.u.).

Nowa instalacja, której schemat ideowy przedstawiono na rysunku 2 składa się z:

- zasobnika solarnego o pojemności 500 l zasilanego energią cieplną przez dolną wężownicę z dwóch równolegle podłączonych kolektorów próżniowych: NSC 20-58 GREENEN wyposażony w rurki heat-pipe i Turbosolar I Makroterm z U-rurkami; natomiast pompa ciepła typu powietrze-woda o mocy grzewczej 3,8 kW została podłączona do górnej wężownicy zasobnika,
- zasobnika solarnego o pojemności 300 l, który jest zasilany energią cieplną przez dolną wężownicę z dwóch równolegle podłączonych kolektorów płaskich: Neosol 250 (o budowie meandrowej) i Ergom (układ harfowy),
- zasobnika solarnego o pojemności 200 l zasilanego energią cieplną przez dolną wężownicę z jednego kolektora próżniowego IB-Sol 12-58 wyposażonego w 12 rur próżniowych typu heat-pipe.

Równoległe podłączenie kolektorów w przypadku 2 pierwszych zasobników umożliwia porównywanie uzysków kolektorów w tych samych warunkach pracy.



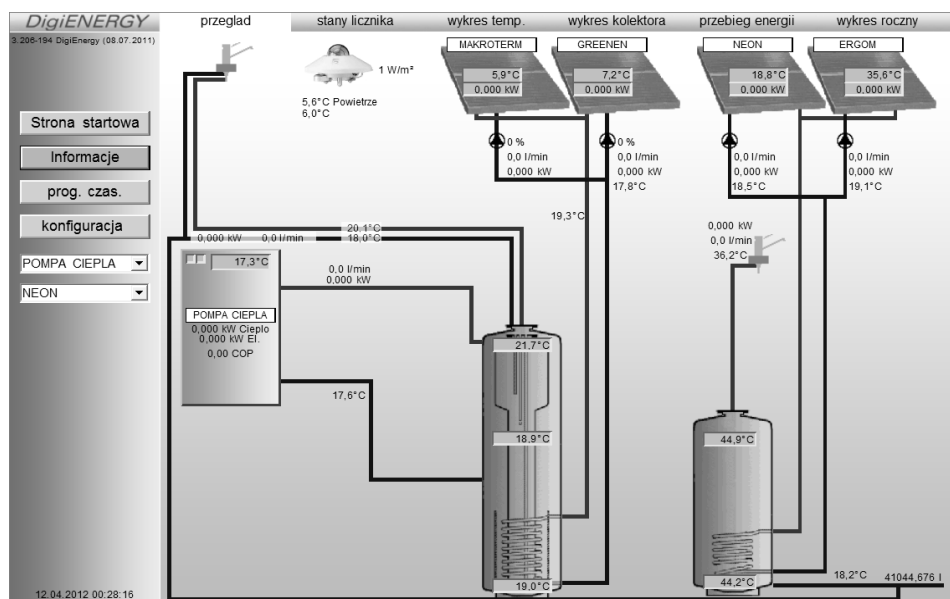
Rys. 2. Schemat ideowy instalacji w PPAR (P –pyranometr, K1 – kolektor IB-Sol, K2 – kolektor Turbosolar I, K3 – kolektor Ergom, K4 – kolektor Neosol 250, K5 – kolektor GREENEN, PC – pompa ciepła powietrze-woda, Z1 – zasobnik 200 l, Z2 – zasobnik 500 l, Z3 – zasobnik 300 l, CWU – ciepła woda użytkowa) [5]

Fig. 2. Schematic diagram of installation in PPAR (P –pyranometer, K1 – collector IB-Sol, K2 – collector Turbosolar I, K3 – collector Ergom, K4 – collector Neosol 250, K5 – collector GREENEN, PC – air-water heat pump, Z1 – 200 l storage, Z2 – 500 l storage, Z3 – 300 l storage, CWU – domestic hot water) [5]

Urządzeniami podłączonymi do zasobnika o pojemności 500 l steruje rozbudowany system regulacyjno-pomiarowy DigiENERGY. Natomiast w przypadku zbiornika o pojemności 200 l, zasilanego przez kolektory płaskie, pracę urządzeń regulują sterowniki solarne, a DigiENERGY pełni funkcję tylko pomiarową.

### 3. FUNKCJONOWANIE LABORATORIUM NA ODLEGŁOŚĆ

Zastosowany w instalacji zaawansowany technologicznie system sterowania DigiENERGY umożliwia regulację i bilansowanie instalacji hybrydowej zawierającej po stronie wytwarzania ciepła do 3 źródeł energii, a po stronie odbioru energii 4 obiegi grzewcze [3]. Dzięki wbudowanemu modułowi internetowemu pozwala na obserwację pracy instalacji w czasie rzeczywistym. Korzystając z przeglądarki internetowej każda osoba dysponująca dostępem do sieci internet oraz odpowiednim loginem i hasłem może zapoznać się w głównym oknie sterownika ze schematem instalacji (rys.3) oraz aktualnymi parametrami pracy instalacji, obserwować zmiany wybranych temperatur panujących w określonym dniu w instalacji (rys. 4) oraz mocy chwilowej urządzeń [4].

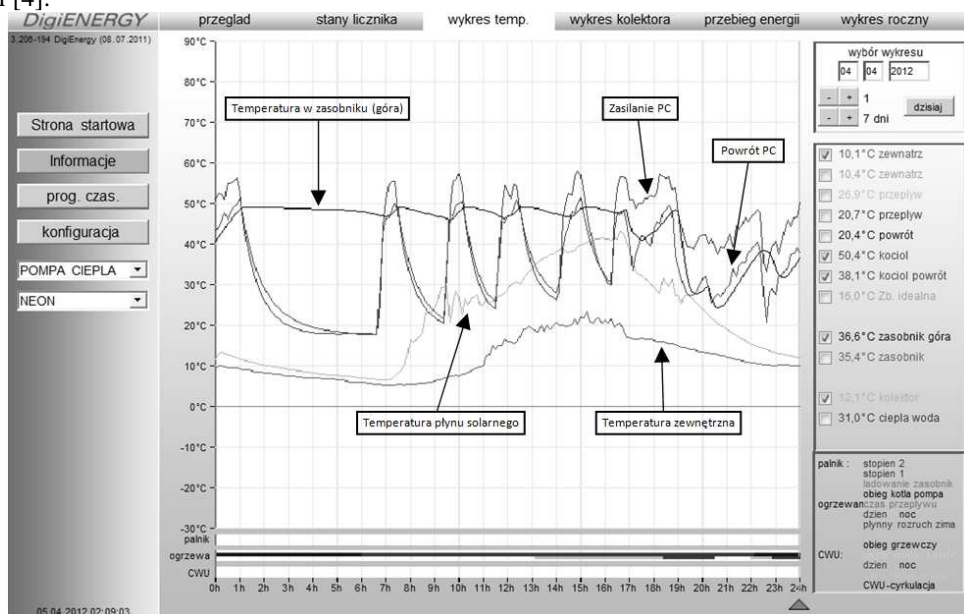


Rys. 3. Główne okno DigiENERGY

Fig. 3. Main window of the DigiENERGY

Oprócz prezentowania uzysków energii z danego źródła ciepła oraz możliwości przetwarzania sygnału pochodzącego z liczników energii elektrycznej szczególnie wartościowo dydaktycznie jest sporządzanie przez system bilansów energetycznych i kosztowych. Można je wykonywać dla dowolnie wybranego przedziału czasu. Ta funkcja jest przydatna zwłaszcza przy ustalaniu faktycznych kosztów wytwarzania energii z danego

źródła ciepła. Więcej szczegółów dotyczących DigiENERGY przedstawiono w pracach [3] i [4].



Rys. 4. Wykres zmian wybranych temperatur panujących w jednym dniu w instalacji  
Fig. 4. Chart of chosen temperatures changes in the installation in a specified day

#### 4. WYNIKI PRACY INSTALACJI

W tabeli 1 zestawiono najważniejsze dane uzyskane z pracy instalacji w PPAR w okresie październik 2011 – marzec 2012.

Tabela 1. Dane dotyczące pracy instalacji w PPAR w okresie październik 2011 – marzec 2012

Table 1. Data relating to system operation in the PPAR in the period October 2011 - March 2012

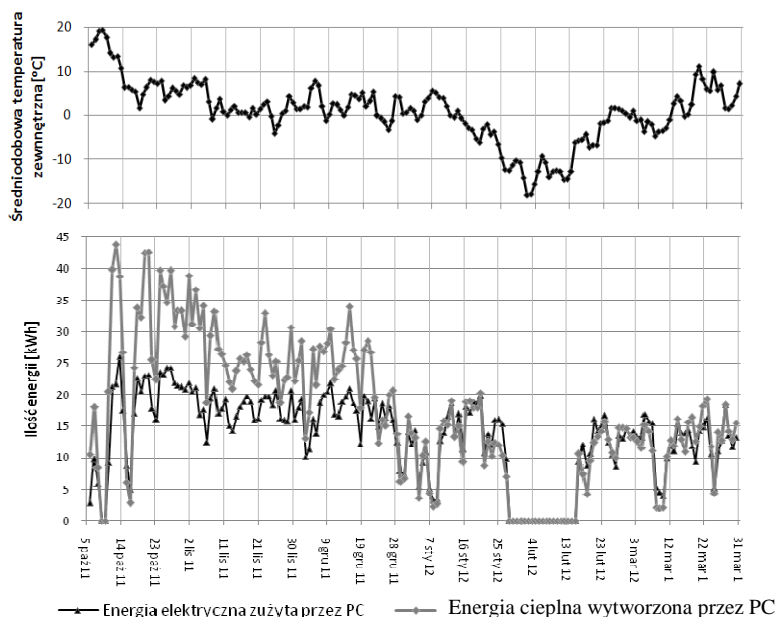
Rok	2011			2012		
Miesiąc	Październik	Listopad	Grudzień	Styczeń	Luty	Marzec
Energia elektryczna zużyta przez PC [kWh]	446,9	541,8	511,9	354,6	176,3	378,6
Energia cieplna wytworzona przez PC [kWh]	707,2	796,1	680,1	333,5	165,6	383,6
COP <sup>PC</sup>	1,58	1,47	1,33	0,94	0,94	1,01

Uzysk energii z kolektora[kWh]:						
<b>Neosol 250</b>	25,0	4,1	0,6	0,5	1,9	16,1
<b>Ergom</b>	20,2	5,2	1,1	1,6	5,6	13,3
<b>Turbosolar I</b>	49,7	18,3	4,2	14,2	32,0	62,0
<b>GREENEN</b>	88,2	35,2	11,2	35,2	77,6	119,5

\*współczynnik wydajności pompy ciepła (ang. Coefficient Of Performance) będący stosunkiem otrzymanej energii cieplnej do energii elektrycznej dostarczonej do agregatu pompy ciepła

Od października do grudnia 2011 roku średniodobowa temperatura zewnętrzna w Poławie, według zebranych danych utrzymywała się dla większości dni powyżej 0°C (rys. 5). Dla tego okresu średnia wartość współczynnika COP pompy ciepła wyniosła 1,46. Od 12 stycznia 2012 wraz z dużym spadkiem temperatur zewnętrznych zmniejszyła się wydajność oraz moc grzewcza pompy ciepła. Dla okresu styczeń – marzec 2012, średnia wartość COP pompy ciepła, przy wytworzonych 883 kWh energii grzewczej, wyniosła 0,97. Od końca stycznia do połowy lutego 2012 pompa ciepła nie pracowała ze względu na bardzo niskie temperatury zewnętrzne.

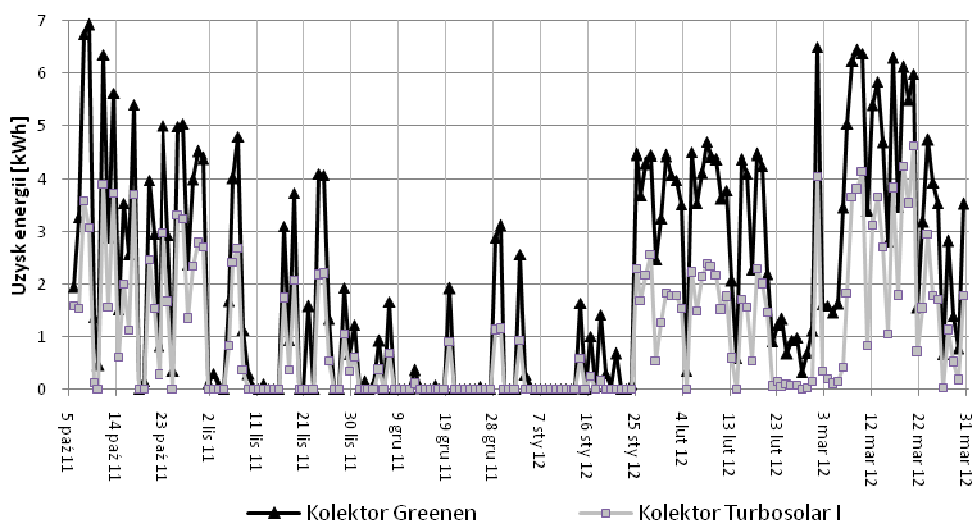
Z rysunku 5 porównując dni, w których pompa ciepła zużyła zbliżoną ilość energii elektrycznej można określić wpływ temperatury zewnętrznej na ilość wytwarzanej energii cieplnej przez pompę ciepła.



Rys. 5. Wykres energii elektrycznej zużywanej oraz energii cieplnej wytwarzanej przez pompę ciepła w odniesieniu do średniodobowej temperatury zewnętrznej

Fig. 5. Chart of electricity consumption and heating energy generated by the heat pump in relation to the average daily outdoor temperature

Na rysunku 6 przedstawiono dzienny uzysk energii z dwóch różnych kolektorów próżniowych, których pracę można porównywać ze względu na wcześniej już opisaną budowę instalacji w PPAR. W każdym dniu, w którym promieniowanie słoneczne docierało do powierzchni kolektorów, ilość energii cieplnej uzyskana z kolektorów Greenen była dużo większa niż w przypadkach kolektorów Turbosolar I. Sumarycznie od października 2011 do marca 2012 otrzymano ponad 2 razy więcej energii cieplnej z kolektorów Greenen (366,9 kWh), w porównaniu do kolektorów Turbosolar I (180,4 kWh).



Rys. 6. Wykres dziennego uzysku energii z 2 różnych kolektorów próżniowych  
Fig. 6. Graph of daily energy yield from 2 different vacuum tube collectors

## 5. PODSUMOWANIE

Prosta analiza efektywności pracy powietrznej pompy ciepła wskazuje na to, że praca takiej pompy do wytwarzania energii cieplnej przy niskich temperaturach zewnętrznych jest nieefektywna. Dotyczy to okresu styczeń-marzec 2011, gdzie wartość współczynnika COP wynosiła poniżej 1,0.

Stworzone w PPAR laboratorium na odległość umożliwia każdemu zainteresowanemu śledzenie w czasie rzeczywistym pracy instalacji z OZE. Zamontowany nowoczesny system DigiENERGY, pozwala w tym samym czasie na zalogowanie się i odczytywanie on-line parametrów instalacji więcej niż jednej osobie, które znajdują się w różnych, oddalonych od siebie miejscach. Duże znaczenie dydaktyczne ma również możliwość sterowania oraz bilansowania energetycznego i kosztowego instalacji, w dowolnym przedziale czasu. Studenci mają szansę na obserwację pracy instalacji nie tylko w czasie trwania zajęć na uczelni, ale również poza tymi godzinami przez co dodatkowo mogą poznać wpływ zmian warunków atmosferycznych na proces sterowania hybrydowymi instalacjami z OZE. Jednym z warunków komunikacji z DigiENERGY jest dostęp do prawidłowo funkcjonującej sieci Internet.

Od października 2011 roku użytkownicy przedmiotowego systemu sterowania pracującego w PPAR, ponad 500 razy zalogowali się do systemu.

Obecnie w Polsce system DigiENERGY zastosowano w 8 instalacjach z OZE, w tym 6 zlokalizowanych w województwie małopolskim [3]. Najdłużej, bo od 2008 roku bezawaryjnie pracuje instalacja w domu letniskowym w Szczyrzycu-Pogorzany [3].

## 6. LITERATURA

- [1] Maciejewski Ł., Myszkowski W., Szata M.; Zastosowanie wirtualnego laboratorium podczas zajęć laboratoryjnych z mechaniki – prezentacja eksperymentu na odległość, Konferencja Nowe Media w Edukacji, Wrocław 2005.
- [2] Wywiad z prof. dr hab. inż. J. Popczykiem; Sytuacja polskiej energetyki, Energia dla przemysłu, Nr 3-4, 2011, str. 8-11.
- [3] Knapczyk P., Neupauer K., Turoń M.; Bilansowanie i sterowanie przez Internet złożonymi instalacjami grzewczymi z odnawialnymi źródłami energii, GLOBEnergia, Nr 6, 2011, str. 26-29.
- [4] Neupauer K., Głuszek A., Magiera J.; Sterownik nowego typu dla instalacji hybrydowych z odnawialnymi źródłami energii, Inżynieria i Aparatura Chemiczna, Nr 3, 2010, str. 87-88.
- [5] Źródło: AMT-Projekt

## HYBRID INSTALLATION WITH RENEWABLE ENERGY SOURCES IN UKRAINE WORKING AS A DISTANCE LABORATORY

### SUMMARY

The paper presents a hybrid installation with renewable energy sources operating as a distance laboratory in Poltava State Agricultural University (PPAR) in Ukraine. The installation consists of 5 different collectors (3 vacuum and 2 flat-plate), air-water heat pump, 3 solar storage tanks and modern renewable energy installations control and energetic balancing system. The paper presents also the system operation results in the period September 2011 – March 2012.



**Elżbieta MIŚNIAKIEWICZ, dr inż.**

Politechnika Opolska  
Katedra Inżynierii Systemów i Procesów Budowlanych  
ul. Katowicka 48, 45-061 Opole  
e-mail: e.misniakiewicz@po.opole.pl

## **WYKORZYSTANIE WENTYLACJI GRAWITACYJNEJ W BUDYNKU WIELORODZINNYM**

### **STRESZCZENIE**

W referacie przedstawiono problem jakości powietrza wewnętrznego, jako efektu wymiany powietrza w budynkach wielorodzinnych wyposażonych w wentylację naturalną grawitacyjną. Przedstawiono wyniki pomiarów parametrów powietrza wewnętrznego, przeprowadzonych w pięciu mieszkaniach jednego pionu budynku. Przeprowadzono w trzech seriach monitorowania pomiary poziomu dwutlenku węgla, wilgotności względnej, prędkości przepływu powietrza przez kratki wentylacyjne dla trzech pionów wentylacji grawitacyjnej. Serie pomiarowe przeprowadzono dla trzech różnych temperatur zewnętrznych:  $-12^{\circ}\text{C}$  (sezon grzewczy),  $10^{\circ}\text{C}$  (sezon przejściowy),  $28^{\circ}\text{C}$  (sezon letni). Przeanalizowano również przyczyny dyskomfortu środowiska wewnętrznego siedmiu mieszkań usytuowanych w budynkach wielorodzinnych.

### **1. WPROWADZENIE**

Niewielki procent budynków, spośród istniejących zasobów mieszkaniowych w kraju, jest wyposażonych w inny rodzaj wentylacji, niż naturalna grawitacyjna. Część obiektów- zwłaszcza budynki przedwojenne- nie jest wyposażona nawet w kanały wentylacji grawitacyjnej. Oddawane do użytku w ostatnich latach budynki wielorodzinne, wykonywane w systemie deweloperskim, projektowane są również- oczywiście nie wszystkie- z wentylacją w systemie grawitacyjnym. W budynkach wysokich i wysokościowych oraz w innych budynkach, jeżeli wymaga tego ich przeznaczenie – zgodnie z §148, Rozdział 6 Rozporządzenia [3] – należy stosować wentylację mechaniczną wywiewną lub wywiewno-nawiewną. Z końcem grudnia 1982 r., zaprzestano projektowania zbiorczych przewodów wentylacyjnych, ale zgodnie z normą PN- 83 B-03430 [2], do końca 1986 roku można było realizować budynki mieszkalne o wysokości 5-ciu kondygnacji z zastosowaniem przewo-

dów zbiorczych wentylacji grawitacyjnej. W związku z powyższym, jakość powietrza większości mieszkań uzależniona jest w dużej mierze od czynników niezależnych od użytkownika, tj. od czynników wymuszających przepływ powietrza- wyporu termicznego, naporu wiatru, wielkości otworów nawiewnych, wywiewnych, rodzaju przegród zewnętrznych i wydzielających strukturę mieszkania z budynku, wymiany powietrza w klatce schodowej, usytuowania mieszkania w pionie (kondygnacja) jak i w poziomie (usytuowanie w segmencie) i innych. Ponieważ człowiek w środowisku mieszkalnym przebywa większość swojego życia, należy dążyć do spełnienia przynajmniej akceptowalnych, a najlepiej-komfortowych warunków tego środowiska. Na jakość powietrza ma wpływ wiele czynników, należy zapewnić przynajmniej te, które można w sposób stosunkowo łatwy uzyskać bądź zastosować. Jednym z podstawowych czynników jest prawidłowa wymiana powietrza i zapewnienie komfortu cieplnego. Z kolei, wpływ użytkownika na wielkość wymiany powietrza sprowadza się najczęściej do ingerencji poprzez sterowanie wielkością otworów nawiewnych (stolarka okienna i drzwiowa) i wywiewnych ( kratki wentylacyjne). Mieszkańcy dokonują wymiany stolarki okiennej na nową, szczelną- w większości przypadków- mając na uwadze przede wszystkim zmniejszenie kosztów ogrzewania, poprzez ograniczenie napływu zimnego powietrza, wymagającego ogrzania- dla zapewnienia akceptowalnej temperatury wewnętrznej pomieszczeń. Zbytńa ingerencja w ograniczenie wymiany powietrza powoduje obniżenie jego jakości, co najczęściej sprowadza się m. innymi do zwiększenia poziomu stężenia dwutlenku węgla i podwyższonej wilgotności powietrza. Te parametry, są między innymi, wskaźnikami jakości powietrza w pomieszczeniach [1].

## **2. PRZEPROWADZONE POMIARY WYBRANYCH PARAMETRÓW POWIETRZA WEWNĘTRZNEGO MIESZKAŃ USYTUOWANYCH W JEDNYM PIONIE BUDYNKU**

Przeprowadzono pomiary wybranych parametrów powietrza w mieszkaniach jednego z pionów mieszkalnych segmentu wewnętrznego budynku 5-cio kondygnacyjnego z poddaszem nieużytkowym, usytuowanego w Opolu. Pomiary przeprowadzono jednocześnie we wszystkich mieszkaniach badanego pionu mieszkalnego. Ponieważ warunki zewnętrzne, a zwłaszcza temperatura, mają wpływ na wymianę powietrza- przeprowadzono trzy serie pomiarów. W tabelach przedstawiono wyniki pomiarów wykonanych w okresie najniższych temperatur zewnętrznych sezonu grzewczego 2011/12r. ( tab. 1), temperatur przejściowych ( tab. 2) oraz najwyższych temperatur zewnętrznych w 2011r. (tab. 3). Wszystkie serie pomiarów przeprowadzono przy bezwietrznej pogodzie. Mieszkania wyposażone są w trzy zbiorcze piony wentylacji grawitacyjnej, usytuowane w kuchni (K.), łazience (Ł) oraz w toalecie (W. C.). W mieszkaniu parteru zainstalowany jest na kratce wentylacyjnej w toalecie wentylator mechaniczny- w tabelach nr 1-3 wprowadzono oznaczenie „W/w.” ( Wentylator /włączony).

Pomiary prędkości powietrza na wlotach do kratek wentylacyjnych, jego temperatury i wilgotności względnej wykonywano miernikami: *Datalogging/ Printing AZ9871 Anemometer, Termohygrometr ETI 8703, Anemometr A 1200 M1*. Pomiary stężenia dwutlenku węgla przeprowadzono miernikiem *AirTech 2600-SP*.

*Tabela 1. Wyniki pomiarów parametrów powietrza wewnętrznego mieszkań usytuowanych w jednym pionie, przeprowadzone w sezonie grzewczym (dnia 04.02.2012r), przy temperaturze zewnętrznej  $-12^{\circ}\text{C}$  i stężeniu  $\text{CO}_2$  na poziomie 550 ppm*

*Table 1. Listing of results researched indoor air parameters at one section, were made in the heating season on outdoor temperature  $-12^{\circ}\text{C}$  and  $\text{CO}_2$  concentration 550 ppm*

Nr kondygn.	Prędkość napływu powietrza do kratki kanału wentylacyjnego $V$ [m/s]									Parametry powietrza wewnętrznego		
	Stan zastanego użytkowania okien w mieszkaniu			Stan przy mikro-wentylacji okna kuchennego			Stan przy uchylonym oknie kuchennym			$\theta_i$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$\varphi_i$ [%]	$\text{CO}_2$ [ppm]
	K.	Ł.	W.C.	K.	Ł.	W.C.	K.	Ł.	W.C.			
1	0,0	0,1	W/w.	0,6	0,1	W/w.	1,8	1,4	W/w.	23	32	1200
2	0,0	0,0	0,1	0,0	0,7	0,4	0,8	2,2	2,3	23	16	1100
3	1,0	1,1	1,1	1,2	1,6	1,4	2,2	1,9	1,7	22	10	710
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	1,1	23	42	1840
5	0,0	0,1	0,0	0,0	0,3	0,0	0,6	1,4	0,5	23	20	1600

*Tabela 2. Wyniki pomiarów parametrów powietrza wewnętrznego mieszkań usytuowanych w jednym pionie, przeprowadzone w sezonie przejściowym (dnia 10.11.2011r.), przy temperaturze zewnętrznej  $10^{\circ}\text{C}$  i stężeniu  $\text{CO}_2$  na poziomie 530 ppm*

*Table 2. Listing of results researched indoor air parameters at one section, were made in the temporary season on outdoor temperature  $10^{\circ}\text{C}$  and  $\text{CO}_2$  concentration 530 ppm*

Nr kondygn.	Prędkość napływu powietrza do kratki kanału wentylacyjnego $V$ [m/s]									Parametry powietrza wewnętrznego		
	Stan zastanego użytkowania okien w mieszkaniu			Stan przy mikro-wentylacji okna kuchennego			Stan przy uchylonym oknie kuchennym			$\theta_i$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$\varphi_i$ [%]	$\text{CO}_2$ [ppm]
	K.	Ł.	W.C.	K.	Ł.	W.C.	K.	Ł.	W.C.			
1	0,0	0,0	W/w.	0,7	0,5	W/w.	1,1	0,8	W/w.	23	45	1020
2	0,0	0,8	0,0	0,0	0,8	0,0	1,3	1,3	2,0	25	45	1500
3	1,5	1,7	1,7	1,6	2,0	1,8	2,2	2,5	2,3	21	33	620
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	23	32	600
5	0,8	0,8	0,0	0,8	0,8	0,0	1,3	1,4	1,0	23	43	820

Stan szczelności stolarki okiennej, drzwiowej i organizacji wlotu do kratki wentylacyjnej ma wpływ na wymianę powietrza w mieszkaniu. Stolarka okienna na kondygnacji trzeciej



W mieszkaniu na piątej kondygnacji, pomimo iż wyposażone jest w stolarkę nieuszczelną, ze względu na krótszy kanał wentylacyjny (indywidualny, dł. 3,5 m) występuje niższa wymiana powietrza w stosunku do mieszkania na trzeciej kondygnacji, na co wskazują wyniki pomiarów (tab. 1 i 2), np. prędkość powietrza przepływającego przez kratki przy uchylonym oknie, czy wyższy poziom stężenia CO<sub>2</sub>, który oznacza gorszą jakość powietrza. W mieszkaniu parteru, okresowo włączany wentylator, zainstalowany na kratce wywiewnej w toalecie, z niewielkim skutkiem przyczynia się do zwiększenia wymiany powietrza w mieszkaniu przy szczelnie zamkniętych oknach (tab. 1 i 2- stan zastany), a w okresie postoju powoduje ograniczenie powierzchni przekroju kratki wentylacyjnej i zmniejszenie przepływu powietrza. Stan jakości powietrza mieszkań w okresie wysokich temperatur zewnętrznych, uzależniony jest od sterowania otwarciem stolarki okiennej- poziom stężenia CO<sub>2</sub>, jest zależny od intensywności wietrzenia mieszkania (por. tab. 3- w mieszkaniu na pierwszej kondygnacji stan zastany, to zamknięte okno kuchni w trakcie użytkowania kuchenki gazowej i otwarte w jednym z pokoi, a w mieszkaniu trzeciej kondygnacji okna otwarte w kuchni i w pokojach). Mieszkania na drugiej i czwartej kondygnacji w czasie wykonywania tej serii pomiarów nie były użytkowane (stolarka zamknięta). Wsteczne ciągi powietrza kanałach wentylacyjnych wynikają z wyższej temperatury powietrza zewnętrznego (np., o ok. 2 °C- tab. 3) od temperatury powietrza w pomieszczeniach. Wilgotność względna powietrza mieszkań w okresach wyższych temperatur jest podobna - 50÷ 60% w czasie upałów- ciągle wietrzenie (tab. 3), jak i w czasie temperatur przejściowych- 30÷ 45% ( tab. 2)- następuje doprowadzanie powietrza do mieszkań w większych ilościach, niż przy znacznie niższych temperaturach sezonu grzewczego, kiedy lokatorzy ograniczają zużycie ciepła na ogrzewanie powietrza wentylującego.

### **3. POMIARY WILGOTNOŚCI WZGLĘDNEJ POWIETRZA PRZEPROWADZONE W MIESZKANIACH OSTATNIEJ KONDYGNACJI BUDYNKÓW WIELORODZINNYCH**

Każdego sezonu grzewczego, wśród składanych zarządcy nieruchomości (spółdzielnia mieszkaniowa) zgłoszeń lokatorów dotyczących dyskomfortu środowiska wewnętrznego, znajduje się wiele dotyczących mieszkań usytuowanych na ostatnich kondygnacjach. W tabeli nr 4, na podstawie sprawozdań z przeprowadzonych pomiarów wybranych parametrów środowiska wewnętrznego, przedstawiono wartości tych parametrów dla siedmiu mieszkań na ostatniej kondygnacji w budynkach 5- cio kondygnacyjnych (2 budynki) i 11- to kondygnacyjnych (4 budynki), usytuowanych w Opolu. Pomiary wykonywano w lutym 2012 roku: pomiary nr 1 i 2 przy temperaturze zewnętrznej wynoszącej - 4 °C (07. 02. 2012.), pomiary nr 3÷ 7 przy temperaturze zewnętrznej ok. - 3 °C (09.02., 13. 02. i 16.02. 2012.). Wszystkie pomiary przeprowadzono przy bezwietrznej pogodzie.

Pomiary wilgotności względnej, prędkości powietrza na wlotach do kratki wentylacyjnych oraz pomiary temperatury powietrza wykonywano miernikiem *Datalogging/ Printing AZ9871 Anemometer*. Pomiary temperatury przegród wykonywano miernikiem *UT 301 C IR Thermometer*. Wykonano również odczyty (nie we wszystkich mieszkaniach) pomocniczej wartości *P* (ilość kresk odparowanego czynnika z podzielnika kosztów ogrzewania), stosowanej w rozliczeniach kosztów zużycia ciepła w obiekcie.

Tabela 4. Wyniki pomiarów parametrów powietrza wewnętrznego, temperatury ścian i odczytów z podzielników kosztów ciepła wartości  $P$ , przeprowadzone w siedmiu mieszkaniach w lutym 2012 r.

Table 4. Listing of results researched indoor air parameters, wall temperature and heat allocators costs readings of the  $P$ , carried out in seven apartments, were made in February 2012 y.

Nr pomiaru	Usytuowanie mieszkania - piętro	$\varphi_i$ [%]	Prędkość napływu powietrza do kratki kanału wentylacyjnego kuchni, $V$ [m/s]		Temperatura ściany, $\theta$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]		Odczyt z podzielnika kosztów ogrzewania, $P$ (kreski)	
			Wszystkie okna zamknięte	Uchyłone okno kuchni	komi - nowe j	kuchni	Kuchnia	Pokój
1	IV	70	0,0	2,0	13-15	18	2	6
2	X	37	1,0	2,0	13	17	0	8
3	IV	97	0,0	2,0	13-14	19	-	-
4	IV	95	0,0	2,0	13-14	19	-	-
5	X	95	0,0	0,0*	13-14	19	-	-
6	X	65	-1,9	1,6	14-15	20	2	0
7	X	94	-1,8	1,5	13	21	0	3
* w kratce wentylacyjnej kuchni przepływ powietrza blokuje założona siatka; pomiar na kratce wentylacyjnej łazienki: $V = 1,5$ m/s								

Stolarka okienna w badanych mieszkaniach należy do szczelnej- okna PCV o współczynniku infiltracji powietrza  $a \leq 0,3 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{daPa}^{2/3})$ , bez nawiewników powietrza.

Budynki, w których wykonywano pomiary są wyposażone w przepływowe gazowe podgrzewacze ciepłej wody użytkowej.

Uzyskane wyniki pomiarów wskazują, iż przyczyną zgłaszanych przez użytkowników zawilgoceń powierzchni kuchennej ściany kominowej z przewodami wentylacji grawitacyjnej, jest wykraplanie się pary wodnej, spowodowane ograniczeniem napływu powietrza zewnętrznego do mieszkań. Występowały zerowe lub nawet wsteczne (w mieszkaniach określonych numerem pomiaru 6 i 7) ciągi powietrza wewnętrznego w przewodach wentylacyjnych. Na zbyt niską wymianę powietrza wskazuje porównanie prędkości napływu powietrza do kratek wentylacyjnych w zastanym stanie użytkowania- wszystkie okna zamknięte, do przepływów przy doprowadzeniu powietrza- uchylenie okna. Jednocześnie, ograniczany jest dopływ energii grzewczej do pomieszczeń (niskie lub zerowe wskazania na podzielnikach kosztów ogrzewania). Wysoki poziom wilgotności względnej powietrza wewnętrznego (od ok. 40÷ ok. 95 %) skutkuje wykraplaniem się pary wodnej na schłodzonych powierzchniach ścian kominowych (13÷ 15  $^{\circ}\text{C}$ ). Temperatura powierzchni pozostałych ścian wewnętrznych pomieszczeń wynosiła 17÷ 21  $^{\circ}\text{C}$ . Schłodzenie komina

wentylacyjnego spowodowane jest brakiem wypływu ciepłego powietrza z pomieszczeń i często występującymi odwrotnymi ciągami powietrza wentylacyjnego.

#### 4. PODSUMOWANIE

Na jakość powietrza w mieszkaniach wyposażonych w wentylację grawitacyjną znaczący wpływ mają ich użytkownicy. Wpływ ten jest znacznie mniejszy, w stosunkowo krótkich w skali roku, okresach wysokich temperatur zewnętrznych. Dlatego, istotnym jest uświadomienie użytkownikom roli prawidłowego organizowania (nawiewniki powietrza, prawidłowe kratki wentylacyjne) i sterowania (mikrowentylacja, otwieranie okien) napływem powietrza do pomieszczeń. Ograniczanie wydatków na eksploatację mieszkań, często sprowadza się do wprowadzania przez użytkowników oszczędzania na ogrzewaniu pomieszczeń, poprzez ograniczanie napływu powietrza, które to w sezonie grzewczym powinno być ogrzewane, jak też na obniżaniu temperatury w mieszkaniu przez ograniczanie dopływu czynnika grzewczego do grzejników.

Ograniczanie ogrzewania jest również, z powodu niskiej izolacyjności cieplnej przegród rozdzielających poszczególne mieszkania budynku, niekorzystne dla użytkowników mieszkań sąsiednich, pragnących utrzymać temperaturę komfortu, ze względu na ich niepotrzebnie zwiększane koszty ogrzewania, spowodowane dogrzewaniem mieszkań sąsiadów oszczędzających na ogrzewaniu.

W większości mieszkań pionu mieszkalnego budynku, w którym prowadzono pomiary parametrów powietrza wewnętrznego, stwierdzono nie satysfakcjonującą w pełni jakość powietrza wewnętrznego (zbyt wysokie stężenia  $\text{CO}_2$  i wysoką wilgotność względną), spowodowaną zbyt szczelną stolarką okienną i brakiem prawidłowego sterowania jej otwarciem. Również takie „usprawnienia” jak montaż na kratce wywiewnej wentylatora, czy zakładanie na kratce siatki (szybko zanieczyszczanej kurzem) stanowią blokadę dla przepływu powietrza przez kanał wentylacyjny, z czego użytkownicy nie zdają sobie sprawy. Ponieważ, użytkownicy badanych mieszkań utrzymują temperaturę pomieszczeń na optymalnym poziomie, dostosowując odpowiednio dopływ ciepła grzewczego do grzejników, jak też prawdopodobnie, nie doprowadzają do znacznych przekroczeń wysokiego poziomu wilgotności względnej przez dłuższy okres sezonu grzewczego (badania są przeprowadzone tylko wyrywkowo, ponieważ nie było możliwości ingerowania w środowisko mieszkalne, np. z monitorowaniem parametrów w jakimkolwiek dłuższym przedziale czasowym) nie stwierdzono występowania zawilgocenia, ani porażenia przegród budowlanych grzybami pleśniowymi (współczynnik przenikania ciepła ścian zewnętrznych,  $U = 0,60 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ ). Również, dzięki intensywnemu przepływowi przez kanał wentylacyjny powietrza jednego z mieszkań (usytuowanego na trzeciej kondygnacji), jak i dzięki niewielkiemu napływowi powietrza przez nieszczelną stolarkę w mieszkaniu na piątej kondygnacji, nie stwierdzono nadmiernego schłodzenia w okresie najniższych temperatur zewnętrznych, ani zawilgocenia przewodów wentylacyjnych mieszkania usytuowanego na ostatniej kondygnacji.

Na podstawie pomiarów przeprowadzanych w mieszkaniach usytuowanych na ostatnich kondygnacjach można stwierdzić, iż znaczne ograniczanie dopływu ciepła grzewczego i ograniczenie, a nawet brak dopływu powietrza zewnętrznego przez stolarkę okienną w celu zmniejszenia kosztów ogrzewania, skutkują brakiem prawidłowych prze-

plywów powietrza przez przewody wentylacji grawitacyjnej. W wyniku często występujących ciągów odwrotnych, następuje schłodzenie przewodów kominowych (nawet- na podstawie pomiarów prowadzonych przy wielu innych zgłoszeniach lokatorskich- do ok. 10°C). Stan ten jest przyczyną zawilgocenia ścian kominowych wykrapłającą się z powietrza wewnętrznego parą wodną. Poza tym, stwierdzono znaczny dyskomfort jakości powietrza w mieszkaniach, związany z niewystarczającą jego wymianą (wysokie wilgotności względne- nawet ok. 90%). Najważniejszą kwestią, związaną ze złą organizacją wymiany powietrza, jest- przy wyposażeniu mieszkań w przepływowe gazowe podgrzewacze ciepłej wody- możliwość wystąpienia zatrucia użytkowników tlenkiem węgla.

## 5. LITERATURA

- [1] Fanger P.O., Popiołek Z., Wargocki P.; Środowisko wewnętrzne. Wpływ na zdrowie, komfort i wydajność pracy, Politechnika Śląska, 2003,
- [2] PN-83/B-03430 Wentylacja w budynkach mieszkalnych zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej. Wymagania,
- [3] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, Dz.U.02.75.690.

## USING NATURAL VENTILATION IN DWELLING BUILDING

### SUMMARY

This paper presents indoor air quality problem as result of air exchange in dwelling houses equipped with natural ventilation. The results of researched indoor air parameters in five apartments at one section dwelling house are presented. Carbon dioxide concentration, relative humidity and velocity flow outlet grille for three vent stack has been researched during three monitoring series. These monitoring series were made in the three different outdoor temperatures: -12 °C (heating season), 10 °C (temporary season), 28 °C (summer season).



**Piotr A. MOCEK, dr inż**  
**Iwona GIL, dr inż.**  
**Katarzyna NIEMOTKO, mgr inż.**

Główny Instytut Górnictwa  
Zakład Oszczędności Energii i Ochrony Powietrza  
Plac Gwarków1, 40-166 Katowice  
e-mail: pmocek@gig.eu

## **O DYNAMICE KOLEKTORA SOLARNEGO Z ZASOBNIKIEM/POMPĄ CIEPŁA**

### **STRESZCZENIE**

W pracy przedstawiono model opisujący dynamikę współpracy elementów instalacji przygotowania ciepłej wody użytkowej (CWU), z wykorzystaniem połączenia gruntowej pompy ciepła i kolektora słonecznego jako źródła podstawowego, oraz grzałki elektrycznej jako urządzenia szczytowego. Celem zwiększenia sprawności akumulacji nadwyżek energii zastosowano zasobnik z przemianą fazową ładowany okresowo. Zaprezentowano własny model krzywej rozkładu zapotrzebowania na ciepłą wodę użytkową oparty na analizie poboru CWU wybranych – typowych grup odbiorców. Przedstawione zostały wybrane możliwości algorytmu w postaci wybranych rozkładów rocznych sporządzonych dla parametrów termodynamicznych elementów instalacji.

### **1. WPROWADZENIE**

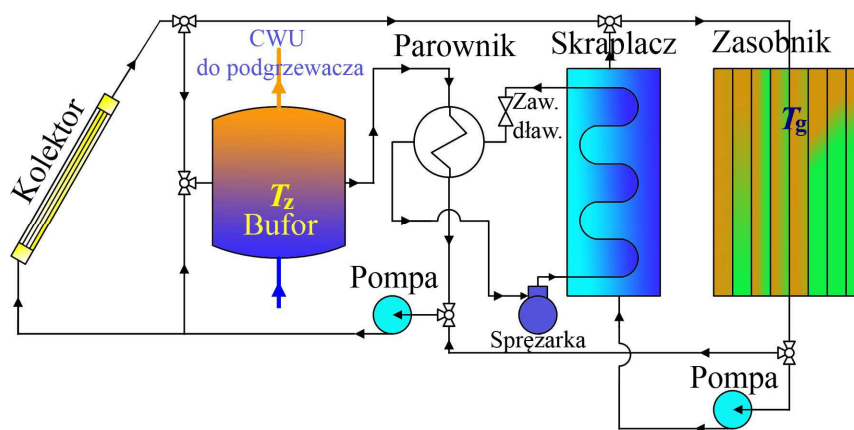
Wzrastające zapotrzebowanie na energię, koszty jej wytwarzania i dystrybucji, oraz dążenie do ograniczania emisji ze spalania konwencjonalnych nośników, przyczynia do zwiększonego wykorzystania energii ze źródeł odnawialnych. Obecnie stosowanie urządzeń do konwersji energii ze źródeł odnawialnych natrafia na bariery skutkujące zmniejszaniem całkowitej sprawności przebiegu procesu. Wśród tych ograniczeń można wskazać następujące:

- złe dopasowanie urządzeń do istniejących instalacji,
- nieprawidłowa instalacja urządzeń,
- zakłócenia zewnętrzne – środowiskowe, w tym okresowe obniżanie sprawności związane z porami doby i roczną zmiennością warunków atmosferycznych,
- brak lub złe dopasowane instalacje pozwalające akumulować chwilowe nadwyżki energii.

Celem opracowania było przedstawienie modelu dynamiki układu pompy ciepła współpracującej z kolektorem słonecznym i zasobnikiem gruntowym energii częściowo napełnionym materiałem charakteryzującym się przemianą fazową w zakresie temperatur obiegu czynnika pierwotnego w instalacji solarnej. Układ przygotowania CWU jest dodatkowo zasilany energią z konwersji prowadzonej przez pompę ciepła działającą w taryfie nocnej. W bilansie instalacji uwzględniono rozkład zapotrzebowania na energię do przygotowania ciepłej wody użytkowej (CWU) oparty o funkcję rozkładu charakteryzującą dobowe zmienności użytkowania. Funkcję rozkładu opracowano w oparciu o dane pomiarowe kilku grup odbiorców oraz przyjętych założeń. Prezentowane rezultaty analiz przeprowadzono dla rocznego okresu użytkowania instalacji celem wskazania możliwości adaptacji urządzeń dla danej lokalizacji i rzeczywistego zapotrzebowania na CWU. Przedstawiono opis matematyczny instalacji za pomocą zlinearyzowanych reprezentacji wybranych funkcjonalów opisujących poszczególne jej elementy.

## 2. BUDOWA I DZIAŁANIE UKŁADU

Na rysunku 1 zamieszczono schemat analizowanego układu. Podstawowe źródło energii na potrzeby CWU w instalacji stanowi kolektor słoneczny, wspomagany pompą ciepła pracującą w taryfie G12.



Rys.1. Schemat budowy urządzenia  
Fig. 1. Schematic representation of the system

Nadwyżka energii pojawiająca się w obiegu kolektora akumulowana jest w buforze. Po przekroczeniu wartości zadanej jej maksymalnej temperatury, następuje przełączenie zaworów trójdrogowych na zasilanie układu akumulującego w gruncie. Układ akumulatora gruntowego składa się z równolegle połączonych segmentów typu rura w rurze wypełnionych czynnikiem  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  charakteryzujących się przemianą fazową w temperaturze 29 °C. Czynnik ten jest często wskazywany do stosowania w instalacjach zasobników głównie z uwagi na znaczną entalpię przemiany fazowej, dostępność oraz stosunkowo niską rozszerzalność temperaturową [1]. Nadwyżka energii z gruntu odbierana jest przez pompę ciepła w okresie nocnym, co

umożliwia rozdzielenie cyklu ładowania zasobnika od jego regeneracji. Dogrzanie wody do parametrów użytkowania następuje za zbiornikiem buforowym. Ciepło nadwyżkowe zakumulowane w gruncie pozwala podnieść sprawność pompy ciepła (i współczynnik COP).

Ładowanie buforu energią doprowadzaną z układu solarnego ma sens tylko wtedy, gdy koszt działania instalacji solarnej jest mniejszy od zysków określonych jako zmniejszenie kosztu produkcji CWU. Można to opisać zależnością

$$T_{wk}-T_z > N_{el}k_{jel}/(\dot{m}_w c_{pw}k_{CWU}\eta_c), \quad (1)$$

W praktyce, ze względu na konieczność ograniczania częstotliwości przełączeń układu regulacji różnica  $T_{wk}-T_z$  jest większa od 5 K. W trakcie obliczeń zastosowano dane roczne podstawowych parametrów termodynamicznych i charakterystyki urządzeń. Zestawienie danych źródłowych modelu zawiera tablica 1.

*Tabela. 1. Podstawowe sygnały wejściowe i dane charakterystyk urządzeń zastosowane w modelowaniu układu*

*Table. 1. Main inlets and installation components parameters used in setup modeling*

Wielkość	Pochodzenie	Źródło
Typ kolektora słonecznego	Baza zgodna z SRCC Solar rating	2
Typ pompy ciepła	Solis	3
Dane meteorologiczne, $T_{ot}$ , $I$ , $X$	Baza ministerstwa Infrastruktury	4
Zapotrzebowanie na CWU	Model własny	-

W tablicy 2 zamieszczono wybrane dane do obliczeń symulacyjnych

*Tabela. 2. Wybrane dane obliczeń symulacyjnych*

*Table. 2. Selected simulation data*

Wielkość	Wymiar	Wartość
Objętość zasobnika (buforu)	dm <sup>3</sup>	300
Temperatura maksymalna w zasobniku	°C	60
Temperatura wody na dopływie	°C	8
Temperatura topnienia czynnika w zasobniku gruntowym	°C	29
Entalpia przemiany fazowej	kJ/kg	171
Powierzchnia kolektora	m <sup>2</sup>	1.7
Liczba kolektorów	-	3
Strumień masowy glikolu w obiegu kolektora	kg/s	0.07
Strumień masowy glikolu w obiegu zasobnika gruntowego	kg/s	0.05
Masa CaCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	kg	650
Zapotrzebowanie dobowe CWU	dm <sup>3</sup>	150
Temperatura gruntu na głębokości 20 m (Tg)	°C	9.8
Głębokość montażu instalacji grzewczej	m	5

### 3. MODEL INSTALACJI

Dla każdego z elementów instalacji sporządzono bilans energetyczny w trakcie którego przeprowadzono procedurę linearyzacji. Postać liniowa składowych bilansowych umożliwia analizę dynamiczną składowych procesów oraz możliwych stanów całego układu.

Bilans kolektora sporządzono z wykorzystaniem metody Hottela-Whillera [1]. W wyniku przekształcenia uzyskano równanie pozwalające określić temperaturę płynu opuszczającego kolektor

$$T_{wk} = n_k A_k Fr \{ I(t) - k_k [T_{dk}(t) - T_{ot}(t)] \} / (\dot{m}_g c_{pg}) + T_{dk}(t) \quad (2)$$

Zastosowanie danych SRCC [2] pozwala określić zmienność parametrów determinujących sprawność kolektora

$$\eta_k = a + b [T_{dk}(t) - T_{ot}(t)] / I(t), \quad (3)$$

gdzie dane urządzeń  $a_k$ ,  $b_k$  wynoszą:  $a_k = Fr$ ,  $b_k = Fr k_k$ . Każdy z elementów odcinka prostego łączącego elementy instalacji można opisać równaniem bilansowym w postaci

$$dT_{jr}/dl = \pi k_r d [T_{jr}(t) - T_{ot}(t)] / (\dot{m}_g c_{pg}). \quad (4)$$

Warunkiem początkowym dla równania (4) jest temperatura na wlocie do odcinka  $T_{jr}(l=0)$ . Bufor opisano uproszczonym równaniem bilansowym które, dla zbiornika z pełnym wymieszaniem można zapisać jako

$$\dot{m}_w c_{pw} dT_z/dt = \dot{m}_g c_{pg} [T_{dz}(T_{wk}) - T_z] - A_z k_z (T_z - T_{otz}) + \dot{m}_w c_{pw} (T_{wd} - T_{ot}) + N - \dot{Q}_{CWU} \quad (5)$$

Bilans energii pojedynczego „i”-tego elementu akumulujący zawierający czynnik z przemianą fazową o entalpii  $h_{pfi}$  opisuje równanie we współrzędnych cylindrycznych

$$\rho_{pfi} \frac{dh_{pfi}(r, t, T_{pfi})}{dt} = -\frac{1}{r} \frac{d}{dr} r \lambda \frac{d}{dr} T_{pfi}(r, t), \quad (6)$$

Przyjmując, że liczba Biot  $Bi$  „i” – tego elementu magazynującego jest mniejsza od  $Bi < 0.15$  można równanie (6) uprościć do postaci

$$\rho_{pfi} V_{pfi} \frac{dh_{pfi}}{dt} = A_{pfi} k_{pfi} (T_{gi} - T_{pfi}). \quad (7)$$

Wartość  $dh_{pfi}/dT_{pfi}$  określana jest na podstawie uproszczonej metody entalpowej i reguły łańcuchowej w postaci zależności

$$\frac{dh_{pfi}}{dT} = [c_{pf}(T_{pfi}) + \Delta h_{pf} \delta(T_{pfi} - T_i)] \quad (8)$$

Dla strony przepływowej układu zasobnika gruntowego w okresach ładowania będącej strumieniem czynnika nagrzewającego, zaś w okresie działania pompy ciepła będącej strumieniem chłodzącym zasobnik gruntowy można zapisać równanie w postaci liniowej. Pozwalające określić średnią temperaturę glikolu w kolejnej warstwie zasobnika. Dla  $i$  – tej warstwy podziału przyjmuje ono postać

$$\frac{dT_{gi}}{dt} = [m_{gi}c_{pgi}(T_{gi})(T_{gi-1} - T_{gi}) - k_i(T_{gi} - T_{pfi}) - k_{gr}(T_{gi} - T_{gr})] / (m_{gi}c_{pgi}) \quad (9)$$

Współpraca pompy ciepła z systemem solarnym w układzie dzień – noc pozwala na częściową regenerację gruntu. Współczynnik wyrównania temperatur w gruncie bez cieków podskórnych w zależności od jego składu mineralogicznego i wilgotności wynosi  $\lambda_{gr}\rho_{gr}/c_{pgr}=0.0075\text{--}0.015$  m<sup>2</sup>/dobę. Świadczy to o znacznym potencjale do przechowywania nadwyżek energetycznych, ale też możliwości jego wychłodzenia w okresie intensywnego użytkowania instalacji. Pierwszym czynnikiem zapobiegania przed wychłodzeniem warstwy wierzchniej jest odpowiednia głębokość instalacji.

Energia bezpośrednio i pośrednio zakumulowana w gruncie odbierana będzie przez pompę ciepła. Matematyczny opis działania pompy opracowano w oparciu o macierz danych pochodzących z charakterystyk doboru [3]. Temperaturę gruntu określono uwzględniając zależność [7] dopasowując ją do warunków krajowych [8]

$$T_{gr}(h,t) = (2T_m - T_g) + 1.07k_v\Delta T_s \exp(-0.000316y/a^{0.5}) \sin[(2\pi/360)(t - \tau - 0.01834y/a^{0.5})], \text{ } ^\circ\text{C} \quad (10)$$

z przesunięciem fazowym  $\tau$  wynoszącym w zakresie  $h=1.5\text{--}10$  m  $\tau=k_f h_{gr}$ , gdzie  $k_f=1.2$  doby/m zostało wyznaczone w oparciu o analizę danych literaturowych [9].

#### 4. FUNKCJA OPISUJĄCA ZAPOTRZEBOWANIE CWU

W celu opisanie zapotrzebowania użytkowników na energię do wytworzenia ciepłej wody użytkowej wykonano analizę statystyczną danych pochodzących od kilku grup odbiorców. W wyniku czego uzyskano typowe funkcje zapotrzebowania. Nie są one głównym przedmiotem niniejszej pracy, dlatego opisano je w znacznym uproszczeniu.

Zapotrzebowanie dobowe na CWU wynika z: preferencji użytkowników, ich charakteru pracy, wieku, przyzwyczajień i wyposażenia technicznego budynku. Nie sposób metodami deterministycznymi przewidzieć wielu z tych cech, gdyż opisane są one częściowo stochastycznymi charakterystykami. W oparciu o analizę danych pomiarowych wybrano kilka reprezentatywnych grup odbiorców i dla każdej z nich opracowano funkcję zapotrzebowania godzinowego. W cyklu rocznym, pory zapotrzebowania ulegają typowemu przesunięciu wynikającemu ze zmian czasu letniego/zimowego. Zmiany czasu opisywane są przez czas trwania pory nocnej  $t_1$ . Pomiędzy okresem  $t_1$  a czasem użytkowania  $\tau$  zachodzi związek  $\tau=24-t_1$ .

Charakterystyki dla trzech typów odbiorców o różnych średnich dobowych (wyznaczonych dla okresu rocznego) zapotrzebowaniach i funkcjach zapotrzebowania godzinowego  $V_{icw,h}(t)$ , gdzie  $i=170, 330$  lub  $500$  dm<sup>3</sup>/24h, w sposób syntetyczny opisują dwa przedziały dobowe. W okresie nocnym – funkcja stała

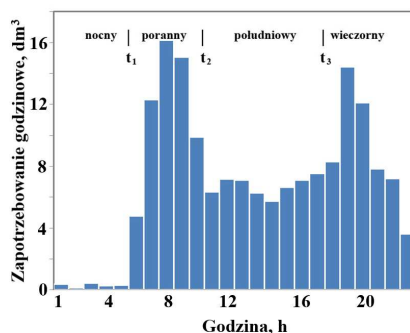
$$V_{icw,h}(t) = a_0 \quad \text{dla } 0 < t \leq t_1, \quad \text{dm}^3/\text{h} \quad (10)$$

a dla pozostałych okresów zastosowano funkcję o postaci

$$V_{icw,h}(t) = (a_1 + ct^{0.5} + et + gt^{1.5} + it^2) / (1 + bt^{0.5} + d_0t + ft^{1.5} + ht^2), \text{ dla } 24 \geq t > t_1, \text{ dm}^3/\text{h} \quad (11)$$

Współczynniki równań 10 i 11 ( $a_0, a_1, b, c, d_0, e, f, g$ ) są parametrami dopasowania określonymi osobno dla każdego miesiąca – dni roboczych i wolnych. W trakcie określania zapotrzebowania uzyskano odchylenia wartości wynikające z dobowych zmienności preferencji użytkownika CWU. Zmienności te symulowane były z wykorzystaniem funkcji losowej, co pozwala odwzorować częściowo stochastyczny charakter rozkładów.

Na rysunku 2 zamieszczono rozkład godzinowy zapotrzebowania na CWU dla typowej doby. Uzyskany godzinowy rozkład  $V_{cw,hm}$  podany jest dla trzech wartości zapotrzebowania 170, 330 i 500  $\text{dm}^3/24\text{h}$  będących średnimi rocznymi. W przypadku, gdy średnie dobowe zapotrzebowanie odbiorcy mieści się poza tymi wartościami można zastosować interpolację liniową wartości.

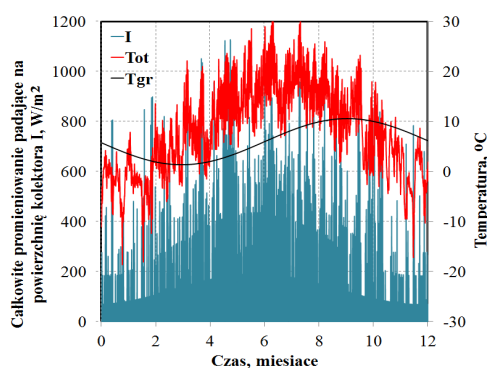


Rys. 2. Godzinowe zapotrzebowanie na CWU z zaznaczonymi typowymi strefami dobowymi

Fig. 2. Typical hourly distribution requirement of hot water use

## 5. WYBRANE REZULTATY OBLICZEŃ

Rysunek 3 przedstawia przebieg temperatury otoczenia i gruntu dla wybranej głębokości  $h$  gruntowego zasobnika, oraz gęstości natężenia promieniowania słonecznego padającego na kolektor.

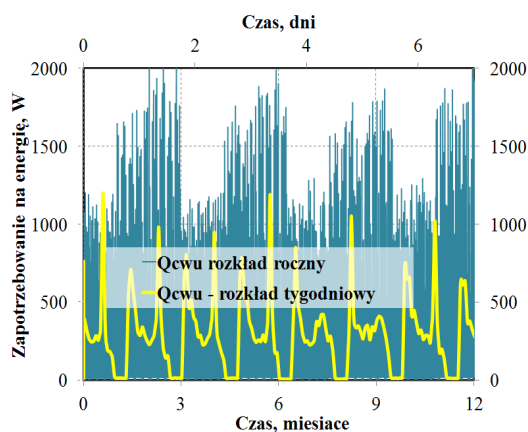


Rys. 3. Promieniowanie całkowite  $I$ , temperatura otoczenia  $T_{ob}$ , temperatura gruntu  $T_{gr}$  dla przykładowych rezultatów obliczeń instalacji

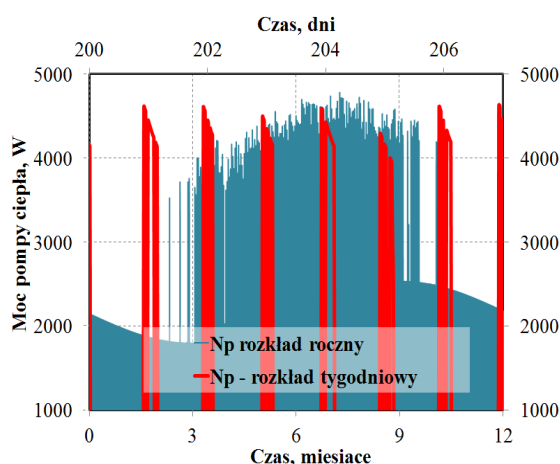
Fig. 3. Instantaneous solar radiation  $I$ , ambient  $T_{ot}$ , and ground  $T_{gr}$  temperatures

Przesunięcie czasowe ekstremów temperatury gruntu wynika z głębokości rozważanej dla celów instalacji – w tym przypadku wynosiła ona 5 m. Widoczna prezentacja wartości całorocznych na wykresie (rys. 3.) charakteryzuje się błędem wynikającym z rozdzielczości obrazu co powoduje „zacieranie” wartości mniejszych przez większe piki temperatur i nasłonecznienia.

Rysunek 4 przedstawia porównanie symulacji zapotrzebowania na energię do celów CWU rodziny czteroosobowej z wykorzystaniem funkcji rozkładu zapotrzebowania. Na wykresie widoczne są „sztuczne” zawyżenia zapotrzebowania spowodowane przez krótkotrwałe przedziały szczytowe, które dla obliczeń z krokiem mniejszym niż godzina nie powodują błędów.

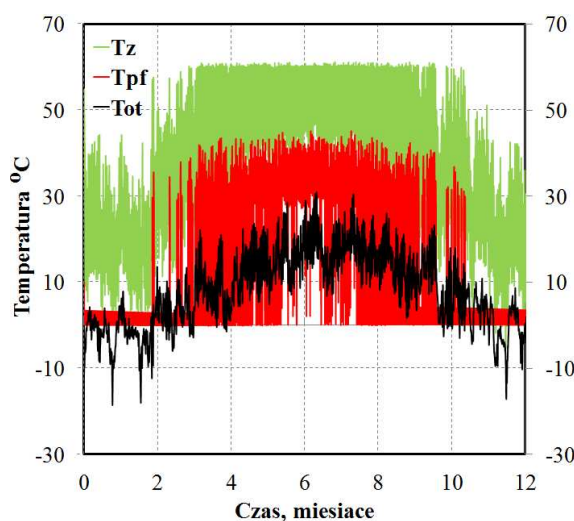


Rys. 4. Wyniki modelowania zapotrzebowania na ciepło dla celów CWU  
Fig. 4. Calculation results of domestic hot water system energy requirements



Rys. 5. Moc cieplna dostarczana do układu przez pompę ciepła  
Fig. 5. Thermal power induced by heat pump

Na rysunku 5 zamieszczono wyniki modelowania produkcji energii cieplnej pompy ciepła przyłączonej w warunkach symulacji. Urządzenie działa w taryfie nocnej w godzinach 22 – 6 rano. W okresie od marca do października zastosowanie zasobnika gruntowego powoduje podniesienie mocy pompy ciepła. Na rysunku 6 widoczne są temperatury w zasobniku z czynnikiem z przemianą fazową. Widoczne jest, że w okresie zimowym instalacja charakteryzuje się niedoborami, zaś w okresie letnim znaczna część nadwyżek trafia do instalacji gruntowej.



Rys. 6. Temperatura średnia wody w buforze  $T_z$ , Temperatura czynnika w zasobniku gruntowym  $T_{pf}$  i temperatura otoczenia w trakcie roku funkcjonowania instalacji  
 Fig. 6. Annual distribution of tank  $T_z$ , ground reservoir  $T_{pf}$ , and ambient  $T_{ob}$ , average temperatures

## 6. PODSUMOWANIE

Zaprezentowany model pozwala na analizę dynamiczną efektywności układu kolektor– zasobnik pompa ciepła w odniesieniu do długich okresów eksploatacji, w ciągu całego roku. Pozwala to na optymalne wykorzystanie elementów składowych instalacji celem uzyskania oszczędności energii koniecznej na przygotowanie CWU.

Zaproponowano tanie i proste rozwiązanie podnoszące sprawność instalacji pompy ciepła z wykorzystaniem zasobnika gruntowego. Regeneracja energii gruntu poprzez okresowe ładowanie nadwyżkami z kolektora słonecznego poprawia efekt energetyczny stosowania pompy ciepła.

Zastosowanie zasobnika gruntowego pozwala na zwiększenie sprawności pompy ciepła w okresie od marca do października oraz wykorzystanie nadwyżek energii w instalacji. Prowadzi to do zwiększania sprawności całej instalacji i ograniczania kosztów przygotowania CWU.



**SPIS OZNACZEŃ**

- $A$  - powierzchnia,  $m^2$   
 $a$  - współczynnik wyrównania temperatur,  $m^2/s$   
 $c_p$  - pojemność cieplna właściwa,  $J/(kg \cdot K)$   
 $d$  - średnica,  $m$   
 $Fr$  - współczynnik odprowadzania ciepła z kolektora  
 $h$  - entalpia właściwa,  $J/kg$   
 $I$  - gęstość strumienia promieniowania słonecznego,  $W/m^2$   
 $k$  - współczynnik przenikania ciepła,  $W/(m^2 \cdot K)$   
 $k_{el}$  - koszt jednostkowy energii elektrycznej,  $pln/W$   
 $k_{CWU}$  - koszt jednostkowy przygotowania CWU,  $pln/W$   
 $k_v$  - współczynnik wegetacji  
 $l$  - długość bieżąca,  $m$   
 $m$  - masa,  $kg$   
 $\dot{m}$  - strumień masowy,  $kg/s$   
 $n$  - liczba,  
 $r$  - promień,  $m$   
 $T$  - temperatura,  $K$   
 $T_m$  - średnia roczna temperatura powietrza,  $^{\circ}C$   
 $T_g$  - temperatura w strefie głębokiej,  $^{\circ}C$   
 $\Delta T_s$  - amplituda rocznej fali temperatury powietrza,  $K$   
 $t$  - czas,  $s$   
 $V$  - objętość,  $m^3$   
 $\dot{Q}$  - zapotrzebowanie na ciepło,  $W$   
 $t$  - czas  $s$ , bieżąca godzina użytkowania,  $h$   
 $t_1$  - godzina zakończenia okresu nocnego,  $h$   
 $V_{cw,md}$  - jednostkowe dobowe zużycie ciepłej wody na mieszkanie,  $dm^3/doba$   
 $V_{cw,hm}$  - godzinowe zużycie ciepłej wody na mieszkanie,  $dm^3/h$   
 $V_{icw,h}(t)$  - funkcja zużycia godzinowego,  $dm^3/h$ ,  
 $\lambda$  - współczynnik przewodzenia ciepła,  $W/(m \cdot K)$   
 $\delta$  - funkcja delta Diraca,  
 $\eta$  - sprawność,  
 $\eta_c$  - sprawność produkcji, akumulacji, przesyłu, regulacji i wykorzystania CWU.

**Indeksy dolne**

- $dk, wk$  - dopływ kolektora, wypływ kolektora  
 $g$  - glikol,  
 $i$  - „i” ta warstwa obliczeniowa  
 $jr$  - „j” ty odcinek rurociągu,  
 $ot$  - otoczenie,  
 $otz$  - otoczenie zasobnika,  
 $pf$  - przemiana fazowa,

w - woda,  
z - zasobnik.

*Artykuł został przygotowany w ramach projektu badawczego Nr 3 "Zwiększenie wykorzystania energii z odnawialnych źródeł energii w budownictwie", realizowanego dzięki wsparciu Narodowego Centrum badan i Rozwoju*

## 7. LITERATURA

- [1] Sharma A., Tyagi V., Chen C., Buddhi D.: Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. 13(2009)318-345.
- [2] Summary of SRCC Certified Solar Collector and Water Heating System Ratings. SRCC 2009.
- [3] Solis – Szczegółowe tabele doboru pomp ciepła. [www.solis.pl](http://www.solis.pl) grudzień 2006.
- [4] Źródłowe dane meteo – [www.transport.gov.pl](http://www.transport.gov.pl)
- [5] Bonacini C., Comini G., Fasano A., Primicero M.: Numerical solution of phase change problems. *International J. of Heat and Mass Transfer* 16(1973)1825-1832.
- [6] Hottel H.D., Whillier A.; Evaluation of flat plate collector performance, *Transactions of the Conference on the use of solar energy II, Thermal Processes*, 74-1 04, University of Arizona, Tempe, Ariz., 1955.
- [7] Bags A.S.: Remote prediction of Ground temperature In Australian soils and map ping it's distribution. *Solar Energy* 30(1983).
- [8] Rubik M.: *Pompy ciepła w systemach geotermii niskotemperaturowej*. Multico Warszawa 2011.
- [9] Adamczyk J.: Analiza możliwości wykorzystania energii cieplnej zawartej w gruncie do celów grzewczych I przygotowania CWU w warunkach klimatycznych Polski. *Mat. Konferencja Energie odnawialne w ochronie środowiska* 1994.

## ON THE DYNAMICS OF THE SOLAR AND ENERGY STORAGE/HEAT PUMP

### SUMMARY

The paper presents a model describing the dynamic of a relationship between elements of installation of hot water with connection of a ground source heat pump, a solar collector and an electric heater as a main source of heating water. In order to increase the efficiency of accumulation of surplus energy, the accumulator with phase transition, which is loaded periodically by surplus energy from installation, was applied. The own model of distribution curve of demand for hot water, based on the analysis of demand of the selected and typical users was used. As a presentation of algorithm possibilities, the annual characteristics of demand were presented. Chosen timing of thermodynamic parameters of selected components of installation, were appointed.