

MARIAN HOPKOWICZ, BOGUSŁAW MALUDZIŃSKI\*

## MOŻLIWOŚCI POPRAWIENIA CHARAKTERYSTYKI ENERGETYCZNEJ BUDYNKU O NISKIM ZAPOTRZEBOWANIU NA ENERGIĘ

---

### POTENTIAL IMPROVEMENTS OF ENERGY PERFORMANCE IN THE LOW ENERGY CONSUMING BUILDING

---

#### Streszczenie

Artykuł prezentuje wyniki oceny charakterystyki energetycznej budynków o niskim zapotrzebowaniu na energię, które wykorzystują energie odnawialne (słoneczną i wiatrową) oraz kogenerację (micro-CHP). Głównym celem analiz była ocena korzyści i ograniczeń co do możliwości poprawy charakterystyki energetycznej budynku w wyniku wprowadzenia wybranego rodzaju energii odnawialnej, zakresu jej wykorzystania oraz ilości wytworzonej energii elektrycznej. Biorąc pod uwagę zredukowane potrzeby grzewcze, wysokosprawne systemy ogrzewania, wentylacji i ciepłej wody, analizowano układy źródeł złożone z: mikro-turbiny gazowej do kogeneracji, kolektorów słonecznych, małych turbin wiatrowych i ogniw fotowoltaicznych. Obliczone wskaźniki zapotrzebowania na energię pierwotną porównano z uzyskanymi dla tradycyjnego zaopatrzenia, paliwem (gaz) i prądem z sieci elektrycznej.

*Słowa kluczowe: jakość energetyczna budynku, kogeneracja, panele fotowoltaiczne, kolektory*

#### Abstract

The paper presents results of evaluation of energy performance for low energy consuming dwellings and residential buildings, which apply renewable energy (solar and wind) and cogeneration units (micro-CHP). The main reason of analysis was to evaluate benefits and limitations of improvement of building energy performance resulting from the chosen type of renewable energy, range its application and quantity of generated electric power by building's energy system. Taking into account reduced heating demand, high-performance heating, ventilation and hot water systems, a complex source energy system which consist of gas micro turbine generator, solar collectors, small wind turbine and photovoltaic cells were investigated. Calculated primary energy factor was compared with factors for conventional buildings supplied only with heat from fossil fuel (gas) and grid electricity.

*Keywords: building energy performance, co-generation, photovoltaic panels, solar collectors*

---

\* Dr hab. inż. Marian Hopkowicz, prof. PK, dr inż. Bogusław Maludziński, Instytut Inżynierii Ciepłej i Ochrony Powietrza, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Krakowska.

## 1. Wstęp

Budynki o bardzo niskim zapotrzebowaniu na energię lub o niemal zerowych potrzebach energetycznych „netto”, wymagają użycia zaawansowanych materiałów i technologii budowlanych, decydujących o znacznym ograniczeniu ich potrzeb grzewczo- wentylacyjnych oraz wysokosprawnych rozwiązań systemów instalacyjnych i źródeł zaopatrujących je w energię. Jednak pomimo stosowania takich elementów uzyskane rezultaty mogą być niezadawalające, zarówno w zakresie jakości energetycznej obiektu, jak i efektywności ekonomicznej rozwiązania [1].

Obecnie inaczej podchodzi się do problemu wyboru instalacji ogrzewania, wentylacji, przygotowania ciepłej wody oraz źródeł energii z punktu widzenia analizy podstawowych potrzeb energetycznych budynków mieszkalnych. Różnica polega na tym, że źródła zaopatrujące w energię instalacje w budynku dotychczas wykorzystujące nieodnawialną energię paliw i nośników energii powinny teraz także same pozyskiwać energie odnawialne, a często również eksportować część wytworzonej przez nie energii. Pochodzenie tej dodatkowej, lokalnie wytworzonej energii budynki zawdzięczają instalacjom korzystającym z energii odnawialnych (kolektory słoneczne, siłownie wiatrowe) [2] lub zastosowaniu procesów kogeneracji [3] (skojarzonego wytwarzania ciepła i energii elektrycznej), w których wytworzona energia elektryczna zastępuje pobieraną z sieci lub pozwala na „eksport” w przypadku nadwyżki ilości wyprodukowanego prądu nad potrzebami obiektu. W takich przypadkach o jakości energetycznej budynku decyduje wielkość potrzebnej do jego funkcjonowania energii pierwotnej, wynikająca ze zużywanych ilości paliw i nośników, pomniejszona o przeliczoną na energię pierwotną wielkość energii „wyeksportowanej” na zewnątrz systemu. Takie rozwiązania pozwalają uzyskiwać korzystną charakterystykę energetyczną obiektu, co jest ważne w przypadku budynku o niskim zapotrzebowaniu na energię.

W artykule autorzy skupili się na wyborze i ocenie zakresu pozyskiwania energii odnawialnych dla budynków mieszkalnych oraz badaniu efektów ich wprowadzenia oraz zastosowania kogeneracji do zaoptrywania w ciepło i energię elektryczną budynków mieszkalnych wielorodzinnych.

## 2. Opis budynków

Do analiz przyjęto dwa obiekty: jednorodzinny budynek mieszkalny oraz budynek wielorodzinny o 50 mieszkaniach. Budynek jednorodzinny był obiektem dwubryłowym niepodpiwniczonym z użytkowym poddaszem o powierzchni użytkowej 268,19 m<sup>2</sup>. Ściany zewnętrzne oraz strop charakteryzowały się niskim współczynnikiem przenikania ciepła  $U = 0,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , zaś okna były o współczynniku 0,8 W/(m<sup>2</sup>K). W obiekcie przyjęto wentylację grawitacyjną, nie pozwalającą na odzysk ciepła od usuwanego powietrza wentylacyjnego. Zapotrzebowanie energii użytkowej obliczone zgodnie z [4], związane z potrzebami ogrzewania i wentylacji pomieszczeń tego budynku wynosiło 16172 kWh/rok, natomiast zapotrzebowanie energii użytkowej do celów przygotowania ciepłej wody (dla 4 osób) było równe 2409 kWh/rok.

Budynek wielorodzinny o powierzchni użytkowej 2690 m<sup>2</sup> był budynkiem czterokondygnacyjnym, czteroklatkowym, podpiwniczonym. Ściany zewnętrzne oraz strop charakteryzowały się współczynnikiem przenikania  $U = 0,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , zaś okna posiadały współczynnik 0,8 W/

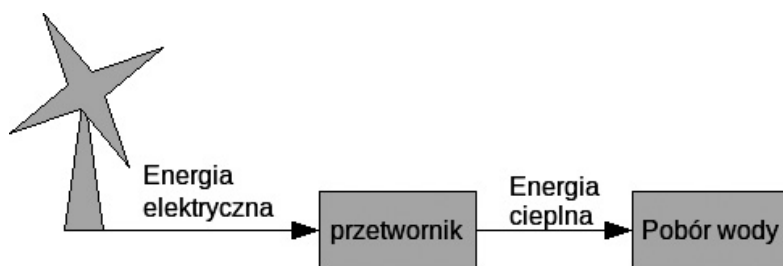
(m<sup>2</sup>K). W budynku zastosowana była wentylacja mechaniczna z odzyskiem ciepła od powietrza usuwanego. Zapotrzebowanie energii użytkowej do ogrzewania i wentylacji pomieszczeń tego budynku wynosiło 152500 kWh/rok, zaś do przygotowania ciepłej wody 165 557 kWh/rok.

### 2.1. Przygotowanie ciepłej wody wspomagane turbiną wiatrową i układem kolektorów słonecznych

Do celów analizy wykorzystania energii odnawialnej w przypadku budynku jednorodzinnego założono, że oprócz kotła gazowego do przygotowania ciepłej wody będzie zastosowana turbina wiatrowa i układ kolektorów słonecznych. Do analiz wybrano turbinę wiatrową WS-30 o pionowej osi obrotu firmy Windside. Takie turbiny dzięki specjalnemu profilowaniu łopat posiadają bardzo niską prędkość rozruchową na poziomie 2 m/s, nieosiągalną dla turbin o poziomej osi obrotu. Stosunkowo duża, znamionowa moc elektryczna 2 kW osiągana jest przy prędkości wiatru 10 m/s. Przy prędkościach wiatru przekraczających 10 m/s zachodzi efekt hamowania aerodynamicznego, dzięki czemu turbina jest niewrażliwa na silne wiatry, nawet o prędkości kilkudziesięciu m/s. Założono, że wytworzona przez nią energia elektryczna będzie w specjalny sposób wykorzystana do przygotowania ciepłej wody użytkowej. Przewiduje się również, że pewna (niewielka) część energii elektrycznej z tego źródła będzie służyć do zasilania urządzeń pomocniczych (sterowniki, pompy obiegowe) w układzie przygotowania ciepłej wody.

Ponieważ zapotrzebowanie na c.w. jest silnie zmienne i w dużej mierze okresowe, natomiast podaż energii wiatrowej jest w zasadzie nieprzewidywalna z powodu zmienności typu losowego, złożono zastosowanie układów akumulujących energię w okresach zwiększonej podaży, które będą ją oddawać, gdy wystąpi zwiększone zapotrzebowanie na energię.

Jak wynika z rys.1 akumulacja energii możliwa jest w dwóch miejscach; pomiędzy siłownią a przetwornikiem energii elektrycznej na ciepłą oraz za przetwornikiem. W pierwszym przypadku akumulacji podlega energia elektryczna, w drugim zaś energia cieplna. Zastosowanie siłowni wiatrowej do przygotowania ciepłej wody pozwala zrezygnować z drogich urządzeń elektronicznych, służących przetwarzaniu prądu dostarczanego przez generator o niskim napięciu i częstotliwości zależnej od prędkości wiatru, na prąd zmienny o napięciu 230V i częstotliwości 50Hz. Wyższą sprawność wykorzystania wytworzonej energii elektrycznej można uzyskać, przetwarzając całą wytworzoną w siłowni wiatrowej energię elektryczną na ciepło (w grzałce), które dalej będzie akumulowane w klasycznym zasobniku ciepłej wody.



Rys. 1. Schemat układu transformacji energii z siłowni wiatrowej

Fig.1. Scheme of transformation system of electric energy from wind turbine

## 2.2. Wykorzystanie energii słonecznej do wytwarzania prądu

Dla budynku jednorodzinnego analizowane było także zasilanie w energię elektryczną realizowane za pomocą modułów fotowoltaicznych, podobnie jak w pracy [5]. Moduł fotowoltaiczny stanowiący zespół ogniw fotowoltaicznych generujących prąd stały z wykorzystaniem energii słonecznej jest najczystszy znanym obecnie źródłem energii. Założono, że będą to moduły polikrystaliczne pracujące ze sprawnością na poziomie 17% (dla standardowych warunków testowych). Pole powierzchni modułów fotowoltaicznych zostało przyjęte jako równe 5 m<sup>2</sup>. Uznano, że moduły będą przyłączone do inwertera przetwarzających otrzymany prąd stały na prąd zmienny wykorzystywany w budynku. System fotowoltaiczny działał jako równoległy w stosunku do zasilania z sieci elektroenergetycznej. Energia z ogniw zapewni zasilanie urządzeń pomocniczych (pompy, sterowniki) występujących w systemach ogrzewania i przygotowania ciepłej wody. Gdy zapotrzebowanie przewyższy jej produkcję, nastąpi przełączenie na zasilanie z sieci elektrycznej. Akumulatory w takim systemie nie są potrzebne, gdyż sieć jest w stanie przejąć w pełnym zakresie zasilanie wymienionych urządzeń.

## 2.3. Agregat kogeneracyjny dla budynku wielorodzinnego

W przypadku budynku wielorodzinnego dla pokrywania całkowitego zapotrzebowania na energię użytkową do ogrzewania (152 500 kWh/rok) przyjęto, że w 70,2 % będzie ono pokrywane przez agregat kogeneracyjny (107 121 kWh/rok), zaś pozostała część ciepła będzie dostarczana z kondensacyjnego kotła gazowego. Założono także, że całość energii użytkowej potrzebnej do przygotowania ciepłej wody (165 557 kWh/rok) zostanie dostarczona przez agregat kogeneracyjny. Na tej podstawie dobrano agregat kogeneracyjny firmy Capstone C60 o znamionowej mocy elektrycznej 60 kW i znamionowej mocy cieplnej 89,3 kW pracujący przy sprawnościach: cieplnej 57,6% oraz elektrycznej 34,1%.

Analiza wykazała, że agregat pracujący w trybie „ciepłowniczym” wytworzy rocznie 163 320 kWh prądu elektrycznego. Pozwoli to na pokrycie zapotrzebowania na energię elektryczną urządzeń pomocniczych (pomp, wentylatorów, sterowników) w systemach ogrzewania, mechanicznej wentylacji i przygotowania ciepłej wody – razem 16 633 kWh/rok. Pozostała część energii elektrycznej w ilości 146 690 kWh/rok może być „eksportowana” na zewnątrz. Chociaż ta ilość energii elektrycznej mogłaby całkowicie pokryć zapotrzebowanie na energię elektryczną mieszkań (oświetlenie, sprzęt AGD), oszacowane na 45 000 kWh/rok przyjęto, że mieszkania będą zasilane z sieci elektroenergetycznej, a nadwyżka wytworzonego prądu ponad zapotrzebowanie dla napędów pomocniczych zostanie sprzedana na zewnątrz jako energia pochodząca z kogeneracji.

# 3. Wyniki analizy

## 3.1. Budynek jednorodzinny

Analizę dla budynku jednorodzinnego wykonano dla następujących wariantów:  
WJ1 – Kocioł gazowy z otwartą komorą spalania i zasobnik do c.w.,  
WJ2 – Kocioł kondensacyjny i zasobnik do c.w.,

- WJ3 – Kocioł kondensacyjny, zasobnik do c.w., ogniwo fotowoltaiczne,  
 WJ4 – Kocioł kondensacyjny, zasobnik do c.w., ogniwo fotowoltaiczne, turbina wiatrowa,  
 WJ5 – Kocioł gazowy z otwartą komorą + kolektory słoneczne + zasobnik solarny,  
 WJ6 – Kocioł gazowy z otwartą komorą, kolektory słoneczne + zasobnik solarny i turbina wiatrowa,  
 WJ7 – Kocioł gazowy kondensacyjny + kolektory słoneczne + zasobnik solarny + turbina wiatrowa,  
 WJ8 – Kocioł gazowy kondensacyjny + zasobnik c.w. + turbina wiatrowa + ogniwo fotowoltaiczne.

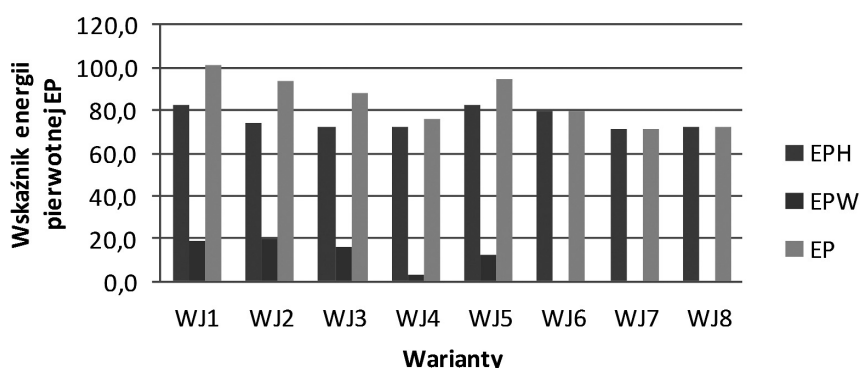
Wyniki obliczeń energii końcowej dla budynku jednorodzinnego zamieszczono w tabeli 1.

Tabela 1

**Zestawienie wyników obliczeń energii końcowej dla rozpatrywanych wariantów**

Wariant	$Q_{KH}$	$Q_{KW1}$	$Q_{KW2}$	$E_{el,pomH}$	$E_{el,pomW}$	$E_{el,pomsol}$
WJ1	19 454	3 610	0	249	351	0
WJ2	17 360	3 936	0	249	351	0
WJ3	17 360	3 936	0	100	0	0
WJ4	17 360	783	3 154	100	0	0
WJ5	19 454	1 804	2 461	249	351	88
WJ6	19 454	1 967	2 461	0	0	0
WJ7	17 360	1 967	2 461	0	0	0
WJ8	17 360	3 936	0	100	0	0

Wyniki te posłużyły do obliczenia wskaźników energii końcowej EK i pierwotnej EP. Na Rys. 2 zamieszczono wskaźnik EP osobno dla ogrzewania i przygotowania ciepłej wody.



Rys. 2. Wyniki obliczeń wskaźników energii pierwotnej na potrzeby ogrzewania  $EP_H$  i przygotowania ciepłej wody  $EP_W$  dla rozpatrywanych wariantów –  $EP = EP_H + EP_W$

Fig. 2. Results of calculation primary energy factor for heating ( $EP_H$ ) and hot water ( $EP_W$ )

### 3.2. Budynek wielorodzinny

Ponieważ relacja zapotrzebowania na ciepło na cele grzewcze i przygotowania ciepłej wody zasadniczo różni się od potrzeb budynku jednorodzinnego (proporcje 1:1), zastosowano opisane wcześniej rozwiązania zaopatrywania w energię budynku, które pozwalają korzystnie obniżyć wartość wskaźnika *EP* w stosunku do układu rozdzielonego, tj. zaopatrywania budynku w ciepło z kotłowni gazowej i dostarczanie prądu z sieci elektroenergetycznej.

Analizę budynku wielorodzinnego wykonano dla następujących wariantów:

WW1 – Układ kogeneracyjny dla zaopatrzenia w ciepło i energię elektryczną,

WW2 – Układ rozdzielonego zasilania w ciepło z kotła gazowego i energię elektryczną z sieci.

Jak podano wcześniej, zastosowany układ kogeneracyjny WW1 dostarcza na cele grzewcze 272678 kWh/rok i 163323 kWh/rok energii elektrycznej. Pozostała część ciepła na cele grzewcze (21%) będzie dostarczona z kondensacyjnego kotła szczytowego. Możliwości wytwórcze układu kogeneracyjnego są o 72 % większe od całkowitego zapotrzebowania na prąd budynku wielorodzinnego. Otrzymany w wyniku obliczeń wskaźnik zapotrzebowania na energię pierwotną *EP* zasilanego w opisany sposób budynku wielorodzinnego wynosi 142 kWh/(m<sup>2</sup> rok).

Wariant zasilania WW2, dotyczący rozdzielonego zasilania w ciepło z kotła gazowego i energię elektryczną z sieci, charakteryzuje się zapotrzebowaniem na cele grzewcze energii końcowej w wysokości 183736 kWh/rok i na cele przygotowania ciepłej wody w wysokości 338147 kWh/rok. Całe zapotrzebowanie energii elektrycznej dla urządzeń pomocniczych, występujących w instalacjach ogrzewania, wentylacji i przygotowania ciepłej wody pokrywane będzie energią elektryczną dostarczaną z sieci energetycznej. Wskaźnik *EP* dla wariantu WW2 wynosi 232 kWh/(m<sup>2</sup> rok).

Możliwy w przypadku kogeneracji eksport energii elektrycznej (wariant WW1) przyczynił się do zmniejszenia wskaźnika *EP* o 38,7%

## 4. Wnioski

Analiza wybranego przypadku obiektu o niskim zapotrzebowaniu na energię w postaci jednorodzinnego budynku mieszkalnego pokazuje, że właściwie dobrane i zwymiarowane instalacje wykorzystujące energię odnawialną pozwalają na skuteczną poprawę jego jakości energetycznej. Poza dość powszechnie stosowanym wspomaganie przygotowania ciepłej wody energią z instalacji solarnej, pokrywającą od 40 do 50% zapotrzebowania, na poziomie użytkownika obiecujące wyniki daje zastosowanie małej siłowni wiatrowej oraz ogniów fotowoltaicznych. W przypadku bezpośredniego przekształcania energii elektrycznej w ciepło przy użyciu grzałki i magazynowania ciepła w zasobniku siłownia wiatrowa o mocy znamionowej 2 kW jest w stanie pokryć zapotrzebowanie na energię użytkową do przygotowania ciepłej wody. Taki układ bezpośredni nie jest tak kosztowny jak układy z magazynowaniem energii elektrycznej w akumulatorach oraz inwerterem do generowania prądu zmiennego o napięciu 230 V. Włączenie dodatkowo kolektorów słonecznych stanowi dobre uzupełnienie, gdyż taka kombinacja charakteryzuje się większą koherencją pomiędzy energią wytwarzaną a potrzebną do ogrzewania w układzie dobowym i rocznym. Wynika to z faktu, że siłownia wiatrowa dostarcza energię także w nocy, a średniomiesięczna ilość energii dostarczanej w okresach chłodnych (od listopada do kwietnia) jest zdecydowanie większa niż w lecie.

W przypadku budynku wielorodzinnego staranny dobór agregatu kogeneracyjnego opartego na mikroturbinie spalinowej lub silniku pozwala całkowicie wyeliminować zapotrzebowanie na energię elektryczną urządzeń pomocniczych zużywaną przez wszystkie instalacje oraz wyeksportować na zewnątrz znaczne ilości energii elektrycznej, daleko przekraczające zapotrzebowanie mieszkańców na nią. Ze względu na duże nakłady inwestycyjne na agregat kogeneracyjny warto go zwymiarować na około 40% zapotrzebowania na projektową moc cieplną do ogrzewania, co zwykle odpowiada około 70% pokrycia zapotrzebowania na energię użytkową do tego celu. Brakującą moc grzewczą może dostarczyć kocioł grzewczy lub wymiennik ciepła korzystający z ciepła miejskiego systemu ciepłowniczego. Ponadto agregat wytwarzając ciepło w sezonie i poza sezonem grzewczym, może pokrywać w całości potrzeby energetyczne związane z przygotowaniem ciepłej wody.

### Oznaczenia

- $EP, EK, EU$  – wskaźniki jednostkowego zapotrzebowania na energię, odpowiednio: pierwotną ( $EP$ ), końcową ( $EK$ ), użytkową ( $EU$ ) [kWh/(m<sup>2</sup>rok)],
- $Q_{KH}$  – energia końcowa na potrzeby ogrzewania [kWh/rok],
- $Q_{KW1}$  – energia końcowa na potrzeby ciepłej wody dostarczana ze źródeł konwencjonalnych [kWh/rok],
- $Q_{KW2}$  – energia końcowa na potrzeby ciepłej wody dostarczana ze źródeł odnawialnych [kWh/rok],
- $E_{el. pom H}$  – energia pomocnicza na potrzeby instalacji grzewczej [kWh/rok],
- $E_{el. pom W}$  – energia pomocnicza na potrzeby przygotowania ciepłej wody [kWh/rok],
- $E_{el. pom W}$  – energia pomocnicza na potrzeby wspomaganie układu solarnego [kWh/rok].

### Literatura

- [1] Klimas M., Mróz T., *Multi-criteria analysis of the choice of heating and ventilation systems of low energy building*, Foundations of Civil and Environmental Engineering, no. 1, Poznań 2012.
- [2] Smolec W., *Fototermiczna konwersja energii słonecznej*, PWN, Warszawa 2000.
- [3] DePaepe M., D'Herdt P., Martens D., *Micro – CHP systems for residential applications*, Energy Conservations and Management, 47, 2006, 3435-3446.
- [4] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 roku w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącego samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw ich charakterystyki energetycznej.
- [5] Idczak M., Panek A., *Koncepcja budynku samowystarczalnego energetycznie*, Energetyka, luty 2005.