

STANISŁAW GUMUŁA*, KATARZYNA STANISZ**

MOŻLIWOŚCI WYKONANIA I EKSPLOATACJI BUDYNKU AUTONOMICZNEGO ENERGETYCZNIE ZASILANEGO Z ODNAWIALNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII

POSSIBILITIES TO MAKE AND EXPLOIT AN ENERGETICALLY AUTONOMOUS BUILDING SUPPLIED WITH RENEWABLE ENERGY SOURCES

Streszczenie

Artykuł przedstawia koncepcje budynków posiadających niezależne systemy energetyczne oparte na lokalnych, powszechnie dostępnych odnawialnych surowcach energetycznych. Rozważono urządzenia i technologie energetyczne wykorzystujące fototermiczną i fotowoltaiczną konwersję energii promieniowania słońca oraz konwersję energii kinetycznej wiatru w energię elektryczną. Uwzględniono różne powierzchnie użytkowe budynków i różne zapotrzebowanie na ciepło.

Słowa kluczowe: budynek autonomiczny energetycznie, energia promieniowania słońca, energia kinetyczna wiatru

Abstract

The paper presents the concept of buildings with the independent energetic systems based on the local renewable energy resources universally available. The energetic devices and technologies using the photothermal and photovoltaic conversion of solar energy and the conversion of wind kinetic energy into electricity were considered. The various floorages of the buildings and the different demand for heat were taken into consideration.

Keywords: an energetically autonomous building, solar energy, wind kinetic energy

* Prof. dr hab. inż. Stanisław Gumuła, Katedra Systemów Energetycznych i Urządzeń Ochrony Środowiska, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Akademia Górniczo-Hutnicza.

** Mgr Katarzyna Stanis�, Instytut Politechniczny, Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Kutnie.

1. Wstęp

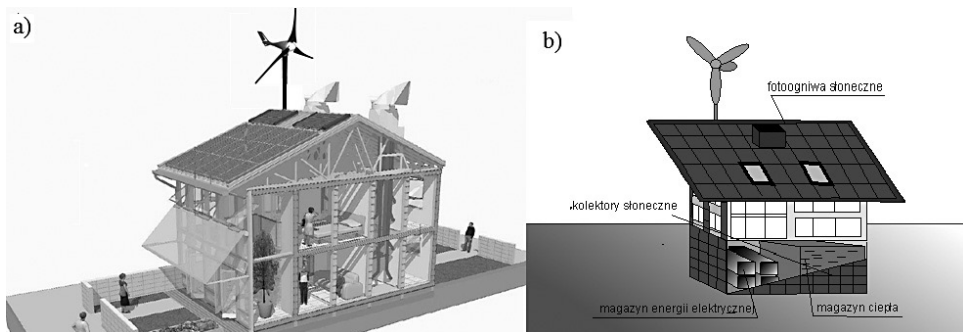
Obecnie sektor budowlany w Unii Europejskiej wykorzystuje około 40% produkowanej energii i emituje ponad jedną trzecią emitowanego dwutlenku węgla. W celu bardziej racjonalnego wykorzystania energii, oraz ograniczenia emisji w 2010 roku weszła w życie dyrektywa Unii Europejskiej dotycząca charakterystyk energetycznych budynków. Zgodnie z nowymi wytycznymi budownictwo mieszkaniowe do roku 2020 powinno znacznie ograniczyć emisję gazów cieplarnianych, natomiast energia, która nadal będzie im niezbędna, powinna w znaczącej części pochodzić z odnawialnych źródeł energii. Taka sytuacja zmusza do daleko idących zmian, jeśli chodzi o sposób zaspokojenia potrzeb energetycznych w budownictwie.

Celem niniejszego artykułu jest analiza technicznych możliwości utworzenia i eksploatacji w warunkach polskich budynku samowystarczalnego energetycznie. Uwzględniono jedynie możliwości uzyskiwania energii elektrycznej oraz ciepła z energii promieniowania słońca (moduły fotowoltaiczne, kolektory słoneczne) oraz energii kinetycznej wiatru (turbina wiatrowa). Wybrano tylko te surowce energetyczne ze względu na ich powszechną dostępność przy każdej lokalizacji budynku.

2. Koncepcja budynku autonomicznego energetycznie, zasilanego z odnawialnych źródeł energii

Obserwowany rozwój technologii produkcji ogniw fotowoltaicznych i kolektorów słonecznych, wzrost ich wydajności, trwałości, odporności na warunki atmosferyczne oraz możliwość zmiany ich kształtu oraz koloru powoduje, że tradycyjne materiały budowlane i urządzenia pozyskiwania energii mogą być zastąpione przez kolektory słoneczne i fotoogniwa.

Jednakże wykorzystanie odnawialnych źródeł energii do budynku wymaga przeprowadzenia dodatkowych badań i analiz, szczególnie w zakresie pomiarów wiatru, oraz stopnia nasłonecznienia terenu, a poprawne zrealizowanie budynku samowystarczalnego energetycznie wymaga specjalnego podejścia do procesu inwestycyjnego już na etapie projekto-



Rys.1. Koncepcja domu zasilanego wyłącznie z energii kinetycznej wiatru oraz energii promieniowania słońca: a) zmodernizowana koncepcja zaczerpnięta z [1], b) koncepcja własna

Fig. 1. The concept of the house supplied exclusively with wind kinetic energy and solar energy: a) the modernized concept taken from [1], b) the own concept

wym. Odpowiednie materiały budowlane, odpowiednia orientacja, struktura i kształt budynku powodują mniejsze zapotrzebowanie na energię i dzięki temu odnawialne źródła mogą w całości pokryć zapotrzebowanie budynku zarówno na ciepło, jak i na energię elektryczną.

3. Przyjęte do analizy warianty budynków zasilanych wyłącznie z odnawialnych źródeł energii

Rodzaje budynków poddanych analizie różniące się powierzchnią użytkową, także zapotrzebowaniem na energię elektryczną oraz ciepło zostały przedstawione w tabeli 1.

Tabela 1

Warianty poddanych analizie budynków i zapotrzebowanie na energię użyteczną

| | | Metraż budynku [m ²] | Zapotrzebowanie na ciepło do celów grzewczych [kWh] | Zapotrzebowanie na ciepło dla c.w.u [kWh] | Zapotrzebowanie na energię elektryczną * [kWh] |
|----|--------------------------------------|----------------------------------|---|---|--|
| 1 | Pasywny 15 [kWh/] | 80 | 1200 | 4246 | 3500 |
| 2 | | 140 | 2100 | 4246 | 4300 |
| 3 | | 200 | 3000 | 4246 | 5000 |
| 4 | Nisko-energetyczny 45 [kWh/] | 80 | 3600 | 4246 | 4000 |
| 5 | | 140 | 6300 | 4246 | 5500 |
| 6 | | 200 | 9000 | 4246 | 6300 |
| 7 | Energoozczędny 80 [kWh/] | 80 | 6400 | 4246 | 4500 |
| 8 | | 140 | 11200 | 4246 | 6400 |
| 9 | | 200 | 16000 | 4246 | 8200 |
| 10 | Średnio energoozczędny 100 [kWh/] | 80 | 8000 | 4246 | 4900 |
| 11 | | 140 | 14000 | 4246 | 6900 |
| 12 | | 200 | 20000 | 4246 | 9200 |

*Różnice w zapotrzebowaniu na energię elektryczną różnych wariantów budynku wynikają z różnic zapotrzebowania na energię elektryczną pompy ciepła współpracującej z wodnym zasobnikiem ciepła (rozdział 4.3). Zapotrzebowanie to jest uzależnione od metrażu budynku i wskaźnika zapotrzebowania na ciepło [2].

Budynki usytuowane były na terenie nieosłoniętym ani wysokimi budynkami, ani dużą ilością drzew. Oznacza to, że w sąsiedztwie analizowanych budynków nie ma elementów powodujących zacienienie kolektorów i fotoogniw słonecznych ani zmniejszania prędkości wiatru.

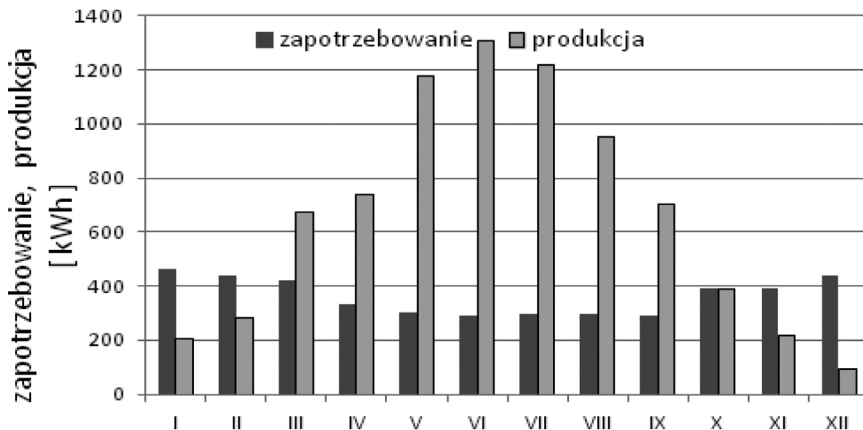
Zużycia ciepła na przygotowanie c.w.u. określono przy następujących założeniach [3, 4]:

- budynek zamieszkują 4 osoby,
- jednostkowa ilość ciepłej wody użytkowej wynosi 75 litrów na dzień,
- temperatura wody zimnej doprowadzanej do instalacji c.w.u. wynosi 10 °C, zaś temperatura wody podgrzanej 60 °C.

Zapotrzebowanie na energię elektryczną oszacowano na podstawie przyjętego profilu użytkownika budynku przez czteroosobową rodzinę dla standardowego wyposażenia budynku. Założono, że budynek jest wyposażony w oświetlenie i inne urządzenia elektryczne wysokiej jakości, charakteryzujące się niskim zużyciem energii elektrycznej. W obliczeniach uwzględniono że kuchnia oraz piekarnik jest elektryczny.

4. Dobór urządzeń do produkcji i akumulacji energii elektrycznej oraz ciepła dla rozważanego budynku

Dobór urządzeń do produkcji i akumulacji energii elektrycznej oraz ciepła dokonano dla przykładowego budynku. Był nim budynek nr 5 z tabeli 1. Przyjęto, że w miejscu lokalizacji budynku zasoby średnioroczne energii promieniowania słońca wynoszą 993 kWh/, natomiast średnia prędkość wiatru wynosi 5 m/s. Charakterystykę sezonową dostępności do tych zasobów przyjęto według pomiarów przedstawionych w pracy [5]. Sezonowe zmiany intensywności promieniowania słońca mają charakter zbliżony do sinusoidalnego. Podobny charakter ma przebieg zapotrzebowania. Sinusoidy te są niestety przesunięte względem siebie o pół okresu. Stwarza to konieczność akumulowania ciepła i energii elektrycznej.



Rys.2. Porównanie zapotrzebowania na energię elektryczną z produkcją energii elektrycznej przez system fotowoltaiczny o mocy nominalnej 12 kW w okresie jednego roku

Fig. 2. The comparison of the demand for electricity with the production of electricity by the photovoltaic system of the nominal power 12 kW for the period of one year

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

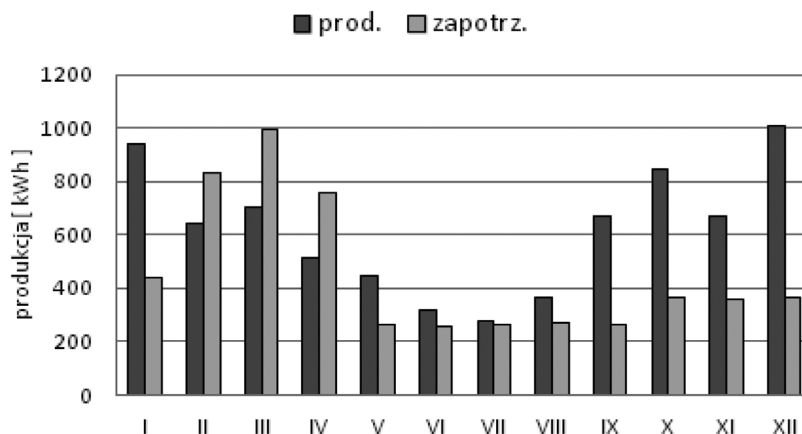
Przyjmijmy założenie, że całkowite zapotrzebowanie na energię elektryczną zostanie zrealizowane w oparciu o fotoelektryczną konwersję promieniowania słońca. Będzie to spełnione przy zastosowaniu fotoogniw o mocy nominalnej około 12 kW i powierzchni 90 pochylonych pod kątem 60 względem ziemi. Przyjęty kąt ustawienia kolektorów jest najodpowiedniejszy dla okresu zimowego, czyli dla okresu kiedy zapotrzebowanie na energię elektryczną jest największe. Fotoogniwa współpracują z 490 akumulatorami o pojemności 230 Ah, 12 V. Z systemu fotoogniw otrzymamy około 10 000 kWh (rys. 2.), z czego akumulacją i odzyskiem objętych musi być około 1 300 kWh.

Jak widać na rysunku 2, mamy miesiące z nadmiarem produkowanej energii i miesiące z niedoborem produkcji energii, co wskazuje na konieczność okresowej akumulacji energii i okresowego jej odzysku, stąd konieczność współpracy systemu fotowoltaicznego z akumulatorami chemicznymi.

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

Przyjmijmy założenie, że całkowite zapotrzebowanie na energię elektryczną zostanie zrealizowane za pomocą turbiny wiatrowej. W celu przeprowadzenia bilansu energii jako źródło energii przyjęto turbinę wiatrową STORM o mocy nominalnej 5 kW [6]. Turbina ta przy średniorocznej prędkości wiatru 5 m/s w ciągu roku powinna wyprodukować około 7 400 kWh energii elektrycznej [7].

Rysunek 3 przedstawia porównanie produkcji energii elektrycznej z wybranej elektrowni wiatrowej z zapotrzebowaniem na energię elektryczną przykładowego budynku.



Rys. 3. Porównanie energii elektrycznej produkowanej przez EWi z zapotrzebowaniem na energię elektryczną dla poszczególnych miesięcy roku

Fig. 3. The comparison of electricity produced by EWi with the demand for electricity for individual months of the year

Przy uwzględnieniu przedstawionego bilansu przy produkcji 7 400 kWh energii elektrycznej przez EWi potrzebne jest 360 akumulatorów 230 Ah 12 V.

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 słońca. Z tego też powodu pojemność akumulatorów energii elektrycznej oraz moc nominalna źródła tej energii w przypadku wyboru turbiny wiatrowej mogą być mniejsze niż w przypadku wyboru fotopogniów słonecznych.

4.3. Dobór urządzeń do produkcji i akumulacji ciepła w oparciu o fototermiczną konwersję energii promieniowania słońca

W artykule założono, że ciepło do celów grzewczych zmagazynowane zostanie w zasobniku ciepła, w którym woda będzie podgrzewana za pomocą kolektorów słonecznych w sezonie letnim i zbiornik ten będzie dolnym źródłem ciepła dla pompy ciepła.

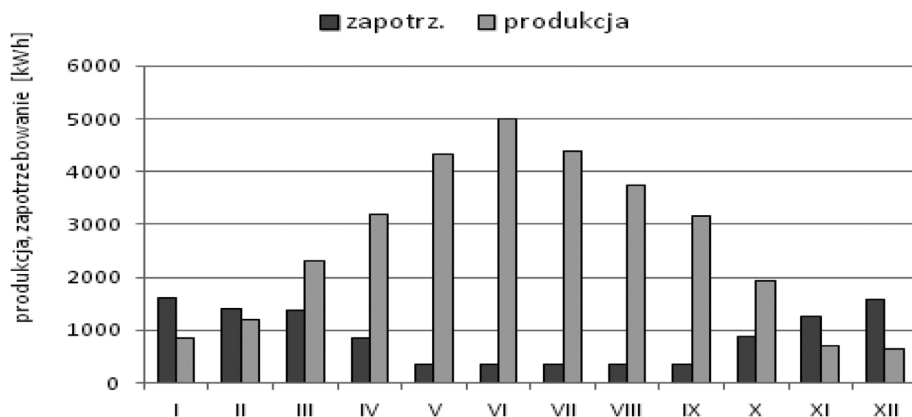
Tabela 2 zawiera zapotrzebowanie na ciepło do celów grzewczych rozważonego budynku oraz parametry techniczne różnych zasobników ciepła. Magazyny ciepła mają objętości i współczynniki przenikania ciepła przez ściany tak dobrane, aby mogły zmagazynować i utrzymać ciepło dla rozpatrywanego budynku na cały sezon grzewczy [8, 9].

Tabela 2

Dane techniczne możliwych wariantów zasobników ciepła akumulujących ciepło dla całego sezonu grzewczego dla analizowanego budynku przy założeniu jego współpracy z pompą ciepła

| | | | | | |
|--|-----------|-------|--------|--------|--------|
| Objętość cieczy w zasobniku [l] | | 80 | 110 | 130 | 150 |
| Współczynnik przenikania ciepła (U) przez ściany zasobnika powinien być nie większy od: [W/*K] | | 0,05 | 0,1 | 0,2 | 0,3 |
| Ilość ciepła możliwa do zgromadzenia w zasobniku [kWh] | | 8 300 | 11 450 | 13 550 | 15 660 |
| Straty ciepła w zasobniku przez ścianki akumulatora [kWh] | | 1 900 | 5 000 | 7 100 | 9 000 |
| Powierzchnia kolektorów [m ²] | heat pipe | 32 | 37 | 40 | 41 |
| | płaski | 55 | 62 | 65 | 70 |
| | próżniowy | 47 | 57 | 63 | 71 |

Ilość zgromadzonego w zasobniku ciepła pozwala przez około połowę sezonu grzewczego ogrzewać obiekt bez udziału pompy ciepła, korzystając z wymiany ciepła pomiędzy zasobnikiem ciepła a ogrzewanym obiektem, wymuszonej tylko pompą obiegową. W drugiej części sezonu grzewczego technika ogrzewania obiektu ulegnie zmianie. Temperatura



Rys. 4. Porównanie zapotrzebowania na ciepło i możliwości produkcyjnych systemu kolektorów o powierzchni 40m² w różnych miesiącach roku

Fig. 4. The comparison of the demand for heat and the production possibilities of the collector system of the area of 40 m² in various months of the year

wody w akumulatorze na tyle się obniży, że do procesu ogrzewania obiektu włączona zostanie pompa ciepła, dla której zasobnik będzie dolnym źródłem ciepła. Szerzej ten problem został omówiony w pracach [2, 10].

Na przykład: przy założeniu, że łączna powierzchnia kolektorów typu *heap pipe* do celów grzewczych i zapewnienia ciepłej wody użytkowej wyniesie 40, objętość zasobnika ciepła powinna wynieść minimum 130 przy współczynniku przenikania ciepła przez ściany tego zasobnika nie większym niż 0,2 W/*K. Kubatura zasobników jest znaczna. Najkorzystniej byłoby lokalizować je w podpiwniczeniach. Taka lokalizacja jest korzystna z punktu widzenia zajmowanego miejsca jak również ułatwia izolację termiczną od otoczenia.

Rysunek 4 przedstawia zapotrzebowanie na ciepło do c.o. oraz do uzyskania c.w.u. dla bazowego budynku oraz produkcję ciepła przez kolektory słoneczne typu *heap pipe* o łącznej powierzchni 40.

W powyższych obliczeniach w celu określenia powierzchni kolektorów uwzględniono jedynie straty w zasobniku ciepła. Wyznaczając całkowitą powierzchnię absorbera, należy uwzględnić straty ciepła w przewodach przepływowych pomiędzy kolektorami a zasobnikiem ciepła.

5. Zestawienie zależności pomiędzy parametrami charakteryzującymi budynek a parametrami jego systemu energetycznego

Tabela 3 przedstawia porównanie mocy i powierzchni systemu fotowoltaicznego z niezbędną ilością akumulatorów chemicznych współpracujących z systemem fotowoltaicznym, a także porównanie powierzchni kolektorów słonecznych współpracujących z niezbędną objętością akumulatora ciepła dla budynków z tabeli 1 różniących się powierzchnią użytkową oraz wskaźnikiem zapotrzebowania na ciepło.

Zestawienie zależności pomiędzy parametrami charakteryzującymi budynek a parametrami jego systemu energetycznego

| Lp. | Metraż budynku [m ²] | Niezbędna moc systemu fotowoltaicznego [kW] | Niezbędna powierzchnia systemu fotowoltaicznego [cm ²] | Niezbędna ilość akumulatorów chemicznych 230 [Ah] i 12 [V] | | | Niezbędna powierzchnia kolektorów słonecznych [m ²] | Niezbędna objętość akumul. ciepła [m ³] |
|-----|----------------------------------|---|--|--|-----------------------|---------|---|---|
| | | | | dla systemu fotowoltaicznego | dla turbiny wiatrowej | | | |
| | | | | | 5 [kW] | 10 [kW] | | |
| 1 | 80 | 7,5 | 55 | 305 | 30 | 15 | 28 | 60 |
| 2 | 140 | 9,2 | 68 | 420 | 150 | 25 | 30 | 68 |
| 3 | 200 | 10,5 | 80 | 480 | 330 | 30 | 33 | 80 |
| 4 | 80 | 8,8 | 65 | 360 | 60 | 20 | 34 | 90 |
| 5 | 140 | 12 | 90 | 490 | 360 | 35 | 40 | 130 |
| 6 | 200 | 13,5 | 100 | 560 | - * | 60 | 46 | 160 |
| 7 | 80 | 9,5 | 75 | 400 | 170 | 27 | 38 | 125 |
| 8 | 140 | 13,8 | 105 | 570 | - * | 62 | 49 | 185 |
| 9 | 200 | 17,5 | 132 | 830 | - * | 330 | 63 | 260 |
| 10 | 80 | 10,6 | 80 | 480 | 270 | 30 | 44 | 155 |
| 11 | 140 | 15 | 110 | 660 | - * | 100 | 61 | 240 |
| 12 | 200 | 20 | 150 | 870 | - * | 540 | 75 | 330 |

* Dla tych przypadków turbina o mocy 5 kW ma zbyt małą moc, to znaczy produkuje mniejszą ilość energii niż zapotrzebowanie budynku. Wprowadzenie turbiny większej mocy wyraźnie obniża ilość akumulatorów niezbędnych do akumulacji energii.

6. Wnioski

Przedstawiony artykuł zawiera analizę technicznych możliwości wykonania i eksploatacji budynków niezależnych energetycznie. Rozważono budynki różnej klasy energetycznej: pasywny, niskoenergetyczny, energooszczędny i średnioenergooszczędny. Uwzględniono również wpływ powierzchni budynku na wskaźniki zapotrzebowania na energię. Przedstawiono charakterystykę i dobór źródeł energii niezbędnej do funkcjonowania budynku w zależności od jego klasy energetycznej i powierzchni. Pokazano również sposób doboru i charakterystyki akumulatorów energii elektrycznej i ciepła.

Literatura

- [1] SOLARIS, Budownictwo przyszłości przyszłością OZE (www.solaris18.blogspot.com/2009/01/budownictwo-przyszoci-przyszoci-oze.html).
- [2] Gumuła S., Stanisław K., *Akumulator wodny jako dolne źródło pompy ciepła*, Rynek Instalacyjny 9/2011.
- [3] Chudzicki J., *Instalacje ciepłej wody w budynkach*, Biblioteka Fundacji Poszanowania Energii, Warszawa-Poznań 2006.
- [4] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 14 stycznia 2002 r. w sprawie określenia przeciętnych norm zużycia wody (Dz. U. Nr 8, poz. 70).
- [5] Gumuła S., Stanisław K., *Warianty rozwiązań technicznych zapotrzebowania na energię elektryczną budynku niezależnego energetycznie*, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, s. Konferencje, z. 26, Warszawa 2009.
- [6] Green Storm (<http://green-storm.pl/?id=10>).
- [7] Gumuła S., Knap T., Strzelczyk P., Szczerba Z., *Energetyka wiatrowa*, Wydawnictwa AGH, Kraków 2006.
- [8] Kaiser H., *Wykorzystanie energii słonecznej*, Wydawnictwa AGH, Kraków 1995.
- [9] Smolec W., *Fototermiczna konwersja energii słonecznej*, PWN, Warszawa 2000.
- [10] Gumuła S., Stanisław K., *Heating of a residential building with the use of the heat pump cooperating with the water heat accumulator*, Monografia „Nowoczesne rozwiązania w inżynierii i ochronie środowiska”, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2011.