

SYSTEMY TECHNICZNE ODNAWIALNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII ZASTOSOWANE W DOMU AUTONOMICZNYM

Dorota KORUBA¹, Robert PIEKOSZEWSKI², Jerzy Zbigniew PIOTROWSKI³,
Włodzimierz GROCHAL⁴

^{1,2,3}Politechnika Świętokrzyska,
Katedra Fizyki Budowli i Energii Odnawialnej^{1,3}
Wydziałowa Pracownia Komputerowa²
Al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce
e-mail: dkoruba@tu.kielce.pl, robertp@tu.kielce.pl, piotrowski@tu.kielce.pl
⁴Świętokrzyskie Centrum Innowacji i Transferu Technologii Sp. z o.o.
Al. Solidarności 34, 25-323 Kielce
grocha@it.kielce.pl

Streszczenie: W pracy przedstawiono charakterystykę domu autonomicznego wraz z zainstalowanymi systemami technicznymi odnawialnych źródeł energii. Przedstawiono analizę wyników uzysku z instalacji słonecznej z okresu 6-ciu miesięcy i zużycia energii, pod kątem autonomiczności badanego obiektu. W wyniku analizy statystycznej przeprowadzonych badań wykazano autonomiczność badanego obiektu.

Słowa kluczowe: budownictwo autonomiczne, odnawialne źródła energii, systemy odnawialnych źródeł energii

1. WPROWADZENIE

Na podstawie Decyzji Parlamentu Europejskiego i Rady nr 2009/406/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie wysiłków podjętych przez państwa członkowskie, zmierzające do zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych w celu realizacji do roku 2020 zobowiązań Wspólnoty dotyczących redukcji emisji gazów cieplarnianych [1] oraz Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE [2], przyjęto Dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010r. [3] w sprawie charakterystyki energetycznej budynków. W Dyrektywie tej wprowadzono definicję „budynku o niemal zerowym zużyciu energii”. Właściwością takiego budynku powinna być zerowa lub bardzo niska ilość energii

niezbędna do funkcjonowania budynku, przy czym powinna ona pochodzić w bardzo wysokim stopniu ze źródeł odnawialnych, najlepiej wytwarzana na miejscu lub w pobliżu. Budynek zgodnie z wytycznymi Dyrektywy 2010/31/UE powinien cechować się bardzo wysoką charakterystyką energetyczną, tak jak w przypadku budynków pasywnych. Budownictwo pasywne oraz budownictwo o niemal zerowym zużyciu energii dało początek nowej formie obiektów jakimi są budynki autonomiczne.

Podstawowymi funkcjami budynku autonomicznego są: jego funkcjonowanie niezależnie od infrastruktury zewnętrznej, neutralny wpływ na środowisko ze względu na zastosowane materiały budowlane oraz technologie wznoszenia. Usytuowanie takich obiektów podyktowane jest warunkami klimatycznymi oraz czynnikami terenowymi.

2. OBIEKT BADAWCZY

Badany budynek autonomiczny został wybudowany w 2014r. w Podzamczu Chęcińskim k/Kielc. Jest to budynek jednorodzinny z poddaszem użytkowym, o powierzchni użytkowej 142 m², przeznaczony dla czteroosobowej rodziny (2+2). Budynek posadowiono na jednolitej żelbetowej płycie fundamentowej wykonanej z betonu wodoodpornego W8, izolowanej termicznie od zasobnika gruntowego. Izolacja termiczna pozioma i

pionowa płyty fundamentowej – styrodur grubość od 20,0÷35,0 cm. Ściany zewnętrzne wykonano z wielkoformatowych elementów żelbetonowych prefabrykowanych poligonowo. Maksymalna szerokość prefabrykatu to 2,4 m. Konstrukcyjne elementy ścienne o grubości 15 cm zostały ocieplone styropianem o grubości 25 cm, co pozwoliło na uzyskanie oporu cieplnego przegrody $R_{T} \leq 10 \text{ m}^2\text{K/W}$. Ściany zewnętrzne wykończono tynkiem sylikatowym. Ściany podłużne poddasza wykonano w technologii styropianowej szalunku traconego. Ściany szczytowe i dach wzniesiono w technologii szkieletowej o współczynniku przenikania ciepła $U \leq 0,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Ściany wewnętrzne wykonano w technologii zabudowy płytami G-K na szkielecie metalowym wypełnionym wełną mineralną o podwyższonych właściwościach akustycznych. Strop nad parterem to strop gęstożebrowy w systemie JS wykończono od spodu tynkiem gipsowym. Ogrzewanie podłogowe zostało zamontowane do zbrojenia stropu i zalane wraz ze stropem w jednej operacji. Główną płytę budynku przykryto dachem dwuspadowym. Na południowej połąci dachu zamontowano hybrydowe ogniwa PVT. Północną połąc dachową obsadzono roślinnością ekstensywną. Konstrukcja dachu wykonana została z elementów drewnianych. Izolację dachu stanowi wełna mineralna o grubości 30cm. W budynku zamontowano drewniane okna i drzwi balkonowe ($a \leq 0,3$). Wszystkie okna zaopatrzone zostały w automatycznie zamykane rolety. Integralną część domu stanowi ogród i staw z trzcinową oczyszczalnią ścieków.

Ogrzewanie domu zapewniają: kominek z płaszczem wodnym w systemie zamkniętym oraz gruntowy zasobnik ciepła, instalacja słoneczna i dodatkowo elektryczna grzałka. Ogrzewanie podłogowe zamontowano we wszystkich pokojach i łazienkach. W badanym domu znajduje się wysokotemperaturowy, warstwowy, wodny zasobnik ciepła. Zainstalowano dualny system kanalizacyjny przystosowany do odzysku ciepła ze ścieków szarych, z wykorzystaniem ich po oczyszczeniu do spłukiwania toalet.



Rys.1. Fotografia domu autonomicznego w Podzamczu Chęcińskim.

Fig.1. Photo autonomous house in Podzamcze Chęcińskie.

2.1. SYSTEMY ODNAWIALNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII

2.1.1. INSTALACJA HYBRYDOWYCH KOLEKTORÓW SŁONECZNYCH

Instalacja słoneczna zainstalowana została w celu pozyskiwania energii elektrycznej poprzez ogniwa fotowoltaiczne (magazynowanej w bateriach akumulatorów) oraz cieplnej służącej do podgrzewania CWU wraz z gruntowym wymiennikiem ciepła. Na instalację składa się 31 sztuk hybrydowych kolektorów słonecznych (zamontowanych na dachu budynku od strony południowej) oraz jednego kolektora próżniowego (zamontowanego na elewacji po południowej stronie budynku). Do podstawowych elementów instalacji solarnej należą: kolektory E-PVT 2.0 300W, kolektor próżniowy AP-20, grupa pompowa solarna VPM 20/2s, grupa pompowa solarna VPM 60/2s, stacja ciepłej wody VPM 20/25/2W, zbiornik buforowy allSTOR VPS 800/3, naczynia przeponowe: słoneczne, CO, CWU, szafa energetyczna SZE2, inwerter sieciowy STP 8000TL, inwerter wyspowy Sunny Island 6.OH, kontroler ładowania SIC 50 MPT I, akumulatory HZY 12-110 SOLAR.

2.1.2. INSTALACJA WIATROWA

Obok budynku na maszcie zainstalowano turbinę wiatrową o pionowej osi obrotu Aerocopter 450. Nominalna moc elektryczna turbiny 2kW, wysokość masztu 10m od poziomu gruntu. Jest to nowoczesne urządzenie przetwarzające energię kinetyczną wiatru w energię elektryczną. Unikalna konstrukcja wirnika ze zintegrowanym generatorem, zapewnia bardzo dużą sprawność aerodynamiczną w bardzo szerokim paśmie prędkości wiatru. Niska prędkość liniowa łopat oraz stała prędkość obrotowa powoduje, że Aerocopter 450 gwarantuje wydajną, cichą i bezpieczną pracę. Turbina wyposażona jest w mikroprocesorowy sterownik, w którym zainstalowano oprogramowanie STX 4.04, zapewniające optymalne wykorzystanie energii wiatru oraz zarządzanie energią całego układu, umożliwiające komunikację z innymi urządzeniami oraz rejestrację danych. Turbina posiada hamulec elektromagnetyczny sterowany przez układ mikroprocesorowy, który przekazuje nadmiar energii na grzałkę lub zestaw rezystorów dużej mocy. Dodatkowo turbina wyposażona jest w mechaniczny, automatyczny hamulec bezwładnościowy. Bezpieczną i wydajną pracę zapewnia mikroprocesorowy układ sterowania połączony z rezystorem zrzutu nadmiaru energii. Po przetworzeniu parametrów i obniżeniu napięcia energia trafia do akumulatorów o napięciu od 12 do 48 VDC. Sterownik wyposażony jest w wyjście odbiornika 12-48 VDC.

3. DANE POMIAROWE Z SYSTEMU ZARZĄDZANIA BUDYNKIEM AUTONOMICZNYM

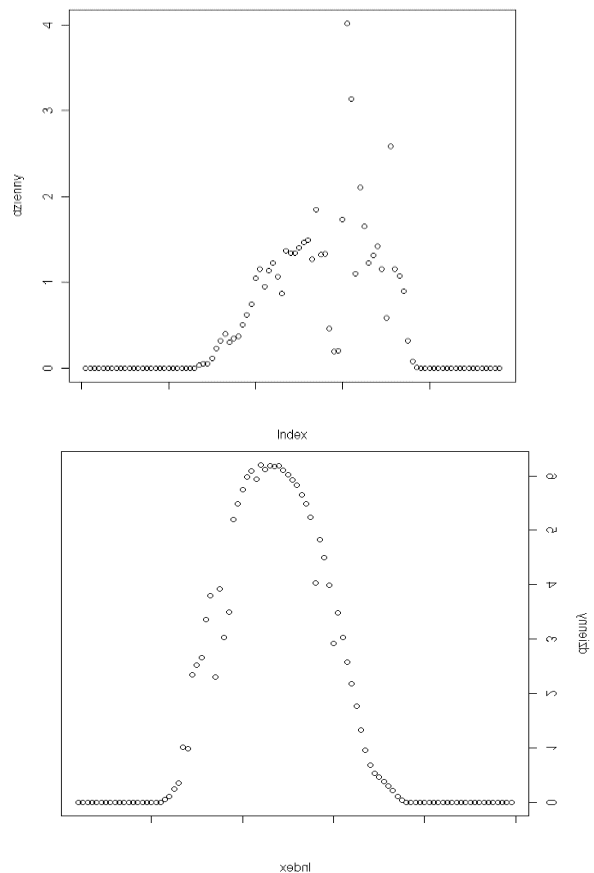
W badanym domu autonomicznym zainstalowany jest komputerowy system służący do monitorowania oraz zarządzania wszystkimi urządzeniami i systemami będącymi częścią badanego budynku i jego otoczenia. System ten pozwala równocześnie na rejestrację wszelkich mierzonych parametrów. System BMS (Building Management System) pozyskuje informacje z całego budynku w jednym miejscu, co pozwala na szybką reakcję na zmiany warunków zewnętrznych i wewnętrznych. W ten sposób uzyskuje się optymalne zużycie energii, mediów, możliwość poprawienia funkcjonalności, bezpieczeństwa oraz komfortu użytkowników. Parametry pracy poszczególnych urządzeń są na bieżąco kontrolowane i monitorowane, dzięki temu system pozwala na szybkie (w czasie rzeczywistym) informowanie użytkowników o ewentualnych awariach. System BMS posiada czytelny interfejs graficzny, co umożliwi podgląd parametrów pracy oraz zmianę ustawień parametrów pracy urządzeń, w tym z instalacji słonecznej (fotowoltaicznej). BMS pozwala na podgląd i rejestrację następujących parametrów, które uwzględniono w analizie badawczej:

- pomiar temperatury na wejściu i wyjściu z wymiennika kolektorów hybrydowych, kolektorów próżniowych, kominka, wymiennika CWU - zapis parametrów co 10 minut, archiwizacja dobową w postaci pliku CSV,
- pomiar temperatury za podgrzewaczem elektrycznym na zasilaniu instalacji ogrzewania podłogowego - zapis parametrów co 15 sekund, archiwizacja dobową w postaci pliku CSV
- pomiar temperatury zewnętrznej – zapis parametrów co 10 minut, archiwizacja dobową w postaci pliku CSV,
- pomiar ciepła na wymienniku kolektorów hybrydowych, kolektorów próżniowych, kominka, wymiennika CWU, układu zasobnika gruntowego - zapis parametrów co 1 godzinę, archiwizacja dobową w postaci pliku CSV,
- pomiar prądu z turbiny wiatrowej (na wyjściu ze sterownika turbiny) oraz instalacji słonecznej - zapisywana wartość to średnia wartość prądu w okresie 1 godziny, archiwizacja dobową w postaci pliku CSV
- pomiar poboru prądu przez centralę wentylacyjną, wymiennik CWU, wymiennik kolektorów hybrydowych i próżniowych, pompę zasobnika CWU, pompę obiegową instalacji ogrzewania podłogowego - zapisywana wartość to średni pobór prądu na godzinę (zapis co godzinę), archiwizacja dobową w postaci pliku CSV
- prędkość wiatru (m/s) podawana, jako średnia siła za poprzednią minutę - wartość zapisywana co 10 minut, archiwizacja dobową w postaci pliku CSV, natężenie

oświetlenia - zapis co 10 minut, archiwizacja dobową w postaci pliku CSV

4. ANALIZA AUTONOMICZNOŚCI BUDYNKU

W celu sprawdzenia autonomiczności badanego domu autonomicznego przeanalizowano produkcję energii wyłącznie z instalacji hybrydowych kolektorów słonecznych z okresu 6-ciu miesięcy (dane pochodziły z systemu BMS). Zaobserwowano, iż rozkłady produkcji energii podczas dnia podlegają silnym zależnościom, co obrazują poniższe wykresy:



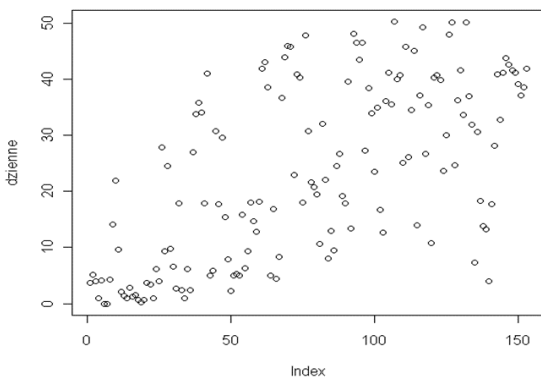
Rys. 2. Wykresy produkcji energii elektrycznej z hybrydowych kolektorów słonecznych z dwóch różnych dni badanego okresu (wykresy A, B).

Fig.2. Graphs of electricity production from hybrid solar panels from two different days of the considered period (graphs A, B)

Zerowe wyniki na początku i na końcu wykresu wskazują na okres nocy, podczas której kolektory nie produkują energii. Zauważalny jest przyrost produkcji energii z kolektorów w ciągu dnia, aż do momentu perturbacji (wyk. A, rys. 2), co wskazuje na występujące zachmurzenia. Wyniki cechujące się dużymi amplitudami w stosunku do sąsiednich wyników, wskazują na występowanie

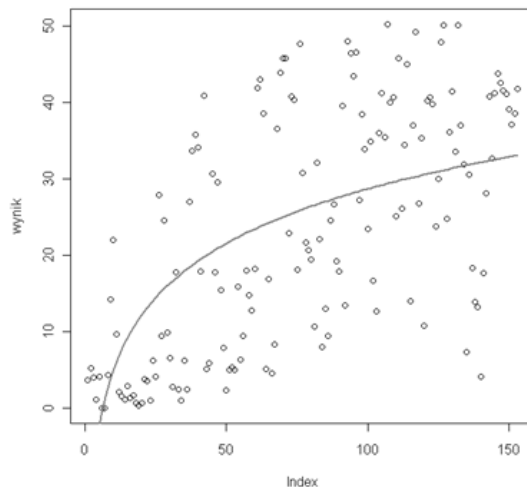
przebłysków słońca. W przypadku wykresu B (rys.2) ma on charakter regularny, bez „skoków” pomiarowych. Paraboliczny kształt odpowiada rzeczywistym warunkom, co jest zgodne z zasadą, że wysokość słońca na horyzoncie może osiągnąć jedno ekstremum.

Patrząc globalnie na uzyskane dane, mamy do czynienia ze wzrostem wartości średnich dziennych w uzyskanym okresie. Proces ten nie jest jednostajny (dochodzą czynniki lokalne takie jak np. zachmurzenie), a lokalny wzrost związany jest z ruchem obiegowym Ziemi. Czas dnia w Podzamczu Chęcińskim k/Kielcach zmienia się od 07h56’38’’ w przesilenie zimowe do 16h31’04’’ w przesilenie letnie w ciągu roku. Tak znaczna różnica w długości dnia skutkuje wzrostem średniego pozyskiwania energii słonecznej. W związku z powyższym przedstawiono analizę w dłuższych okresach czasu, co pozwoli na wykazanie autonomiczności budynku globalnie. W tym celu dokonano analizy miesięcznych poborów energii w odstępach dziennych.



Rys. 3. Wykres zbiorczy ze 153 dni obserwacji (dane pobrane z BMS).
Fig.3. Graph aggregate of 153 days of observation (data downloaded from BMS).

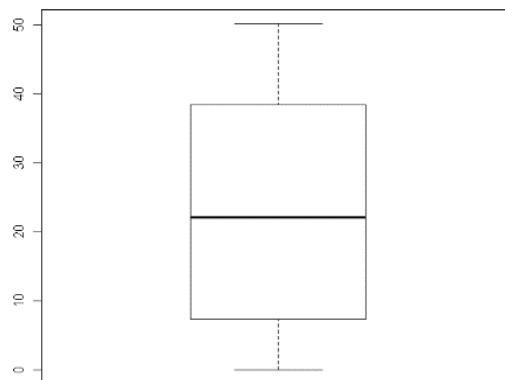
Po przeprowadzeniu analizy różnych modeli wykazano, iż najbardziej korzystny jest model logarytmiczny:



Rys. 4. Wykres opisujący tendencję wzrostową modelem równania logarytmicznego.
Fig.4. Graph of the increasing trend according to the logarithmic equation model.

Wyniki:
a = 10.29
b=-18.72
residual sum-of-squares: 23415.

Wykonano analizę wyników łącznych w celu ustalenia ilości pozyskanej energii, korzystając z wykresu pudełkowego.



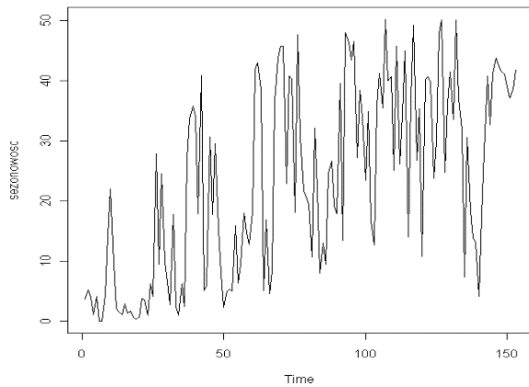
Rys. 5. Wykres pudełkowy przedstawiający analizę zbiorczą wyników.
Fig.5. Box graph of the total results analysis

Z rysunku 5 można wnioskować, iż istnieje podstawa do stwierdzenia poprawności danych pomiarowych. Nie ma obserwacji odstających. Ponadto widać, że wykres jest zrównoważony. Statystyczna reasumpcja analizy wygląda następująco:

Minimum =0.00
1st Qu.=7.279

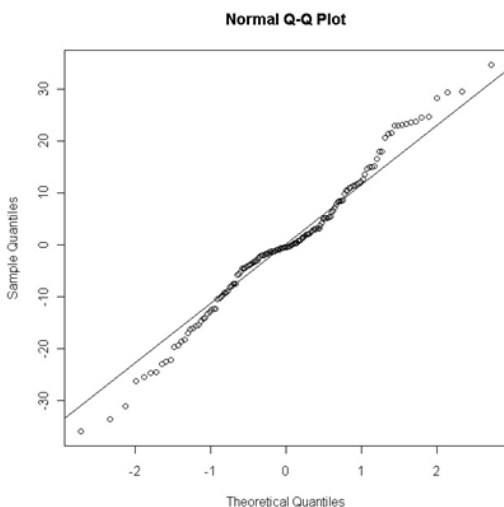
Median=22.050
 Mean 3rd Qu.=38.470
 Maximum =50.230.

Na rys. 6 przedstawiono badanie sezonowości w okresie półrocznym. Wykres szeregu czasowego dla uzysku energii wygląda następująco:



Rys. 6. Wykres szeregu czasowego uzyskiwania energii w okresie 6-ciu miesięcy.
 Fig. 6. Graph of the time series of energy generation for 6 months

Na wykresie zaobserwować można również powolny, aczkolwiek systematyczny trend rosnący na podstawie okresu półrocznego. Na podstawie oceny zróżnicowania zaburzeń modelu od trendu, wykonano analizę jego normalności w postaci po zróżnicowaniu.



Rys. 7. Test normalności statystycznego przebiegu
 Fig. 7. Standardization test of the statistical trend

Test Shapiro-Wilka: $W = 0.9843$, $p\text{-value} = 0.08226$.

Obiekt, który poddany został analizie nie jest w codziennym użytkowaniu, co ogranicza możliwość analizy co do ilości zużywanej energii. W celu estymacji parametru

maksymalnego poboru wykonano średnią arytmetyczną uzyskanych wyników. Okazuje się zatem, że maksymalnie budynek autonomiczny pobiera dziennie 35,9 [kWh], a średni uzysk energetyczny z kolektorów wynosi 22,05[kWh].

Pomimo zaburzeń pogodowych szereg czasowy poboru energii jest lokalnie podległy czynnikom reszt. Podział szeregu na trend, czynnik sezonowy i szum wydaje się być zaburzony, gdyż czynnik sezonowy jest upodobniony z szumem. Nie ma więc możliwości wychwycenia lokalnie więcej informacji. Z tego powodu zasadne jest wykonanie analizy kilkuletniej.

Dane dostarczone przez producenta kolektorów, zakładają, że w danym miesiącu dzienna produkcja energii z kolektorów jest z góry ustalona (możliwa do uzyskania). Jednakże praktyka wskazuje, iż taka sytuacja nie może mieć miejsca w rzeczywistości.

Chaotyczne równania opisujące rozwój pogody uniemożliwiają ustalenie, ile energii zostanie wyprodukowane (dotyczy to głównie rozwoju chmur, jak również stopnia zanieczyszczenia powietrza, a także ilości i wielkości opadów, przy czym wszystkie parametry mogą wpłynąć na wynik). Można tylko oszacować te liczby, co wykonano w przeprowadzonej analizie.

5. PODSUMOWANIE

Hybrydowe kolektory słoneczne uzyskują ponad 60% (61,42%) maksymalnego dziennego poboru energii. Należy uwzględnić jednocześnie, że wyniki maksymalne mogą być znacznie większe od wyników realnych. Przeprowadzenie analizy w warunkach rzeczywistych dałoby obraz rzetelny, co jest kolejnym argumentem do dalszej analizy budynku. Analizując estymator maksymalny, należy uwzględnić, iż oświetlenie jest włączane przez ok. 4h dziennie, a nie całodobowo, nie codziennie użytkowane są urządzenia AGD, można więc założyć, iż średnio dziennie wykorzystywane jest ok. 40% maksymalnego zużycia energii. Sądzić należy zatem, że nawet gdyby zużycie energii było dużo większe to i tak poziomu 60% nie da się przekroczyć, użytkując budynek zgodnie z przeznaczeniem. Dodatkowo w budynku pracuje turbina wiatrowa, której nie uwzględniono w analizie. Ostatecznie uprawnia to do stwierdzenia poprawności tezy o autonomiczności badanego budynku.

RENEWABLE ENERGY TECHNICAL SYSTEMS INSTALLED IN THE AUTONOMOUS HOUSE

Summary: The paper presents a characteristic of an autonomous house together with its renewable energy technical systems. The analysis of the test results has been given with regard to solar energy recovery for 6 months and energy consumption in view of self – sufficiency of the investigated

house. Based on the statistical analysis of the results the fact that the building is autonomous has been confirmed.

Literatura

[1] Decyzja parlamentu europejskiego i rady nr 2009/406/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie wysiłków podjętych przez państwa członkowskie, zmierzających do zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych w celu realizacji do roku 2020 zobowiązań Wspólnoty dotyczących redukcji emisji gazów cieplarnianych

[2] Dyrektywa parlamentu europejskiego i rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE

[3] Dyrektywa parlamentu europejskiego i rady 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków (wersja przekształcona)

Badania współfinansowane były z Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka w ramach Projektu 1. Działanie 1.1 PO IG Poddziałanie 1.1.2, umowa nr POIG 01.01.02-10-106/09-00