

Vyacheslav PISAREV¹Anna CZERNIECKA²

ANALIZA ZAOPATRZENIA W ENERGIĘ BUDYNKU Z WYKORZYSTANIEM INSTALACJI KOGENERACYJNEJ I FOTOWOLTAICZNEJ

Celem publikacji jest opracowanie zintegrowanego systemu energetycznego zaopatrzenia budynku w energię elektryczną i ciepłą. Analizę dokonano na przykładzie budynku sklepu piekarniczego. Przedstawiono również analizę ekonomiczną zintegrowanego systemu w porównaniu z systemem konwencjonalnym, zaopatrującym w energię z sieci energetycznej. Omówiono hybrydowy system energetyczny składający się z agregatu kogeneracyjnego i współpracujące z nim panele fotowoltaiczne. Analizę wykonano dla sklepu piekarniczego w celu zaopatrzenia w ciepło i energię elektryczną. Przedstawiono wariant pokrycia zapotrzebowania na energię i dokonano analizy ekonomicznej. Po przeprowadzeniu tej analizy, można stwierdzić opłacalność stosowania agregatów kogeneracyjnych i paneli fotowoltaicznych, mimo dużych kosztów inwestycyjnych. Czas zwrotu nakładów inwestycyjnych wynosi 11 lat i 1 miesiąc podczas użytkowania instalacji przez cały rok. Duży wpływ na opłacalność inwestycji ma cena agregatu kogeneracyjnego. Koszty eksploatacyjne instalacji hybrydowej są niższe w porównaniu z instalacjami konwencjonalnymi (tj. elektrycznych urządzeń zaopatrujących w energię ciepłą i elektryczną). Zasilanie w energię elektryczną z sieci jest kosztowne, co przemawia za stosowaniem kogeneracji i instalacji fotowoltaicznej. Dobierając instalację, należy pamiętać, że analiza ekonomiczna jest konieczna. Ponadto wykwalifikowana obsługa zintegrowanych urządzeń pozwala uzyskać najbardziej efektywną pracę hybrydowej instalacji.

Przeprowadzona analiza teoretyczna ukazuje korzyści wynikające ze stosowania wspólnej instalacji kogeneracyjnej i fotowoltaicznej. Jednak w celu sprawdzenia poprawności działania hybrydowego systemu oraz uzyskania korzyści z jego eksploatacji system należy przetestować w warunkach naturalnych podczas praktycznego użytkowania instalacji (tj. należy przeprowadzić analizę doświadczalną).

Słowa kluczowe: kogeneracja, energia, energia słoneczna, ekonomia

¹ Autor do korespondencji: Vyacheslav Pisarev, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów, tel. +48 17 8651263, pisarev@prz.edu.pl.

² Anna Czerniecka, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów, tel. +48 17 8651263.

1. Wprowadzenie

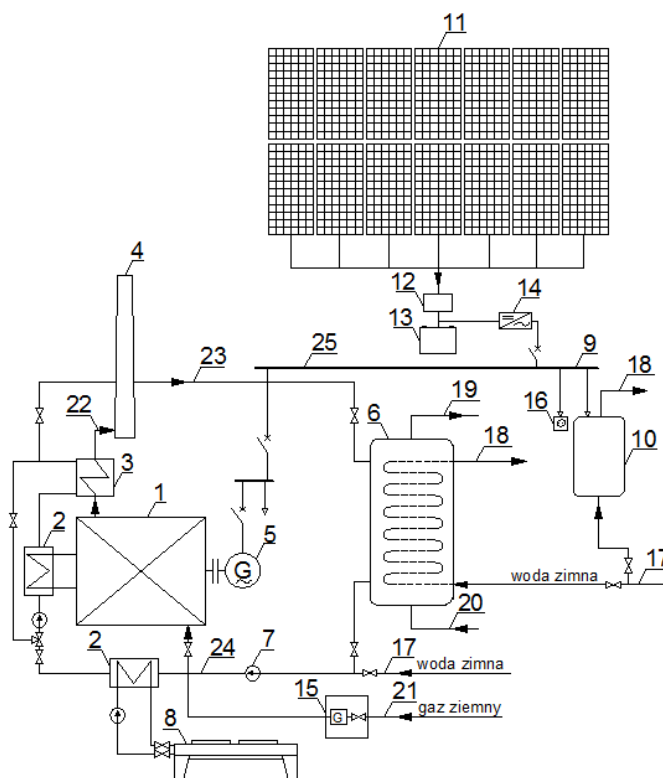
Obecnie można albo korzystać z jednego źródła energii, albo stworzyć system produkcji energii oparty na szeregu osiągalnych zasobów energetycznych. Racjonalizacja wykorzystania odnawialnych źródeł energii wymaga zwrócenia uwagi na hybrydowe systemy energetyczne. Największą korzyścią wynikającą z zastosowania systemu hybrydowego jest wzajemne uzupełnienie się zasobów energii. Gdy jedno źródło zasilania nie jest w stanie dostarczyć wymaganej ilości energii, inne źródła produkują energię w ilości niezbędnej do prawidłowego działania instalacji. Skojarzone układy energetyczne mogą wykorzystywać zarówno konwencjonalne, jak i odnawialne źródła energii, np. połączenie panelu fotowoltaicznego i agregatu kogeneracyjnego zasilanego gazem ziemnym. Należy również ocenić ekonomiczną i techniczną wykonalność technologii, przeanalizować różnicę w kosztach technologii i dostępności zasobu energetycznego.

Hybrydowe systemy pozyskiwania energii to połączenie w jeden układ źródeł energii na cele energetyczne, ogrzewania pomieszczeń lub ciepłej wody użytkowej; mogą one także współpracować ze sobą. Wszystkie zastosowane urządzenia funkcjonują bezpiecznie i ekonomicznie w jednym układzie i są wspólnie sterowane. W czasie pracy podstawowego urządzenia, kiedy tylko jest to możliwe, system przełącza się na zasilanie z drugiego tańszego, ekonomiczniejszego i bardziej ekologicznego źródła, np. energii słonecznej. Kiedy drugie źródło przestaje pracować (np. gdy warunki uniemożliwią pracę urządzenia wykorzystującego alternatywne źródło energii), system wraca do zasilania ze źródła podstawowego. Synchronizacją pracy obu źródeł sterują aparatura kontrolno-pomiarowa, czujniki, regulatory i termostaty. W ten sposób udziałem ekologicznej energii odnawialnej można zmniejszyć zużycie paliwa w tradycyjnych źródłach ciepła [1]. W polskiej strefie klimatycznej systemy zintegrowane wykorzystujące alternatywne źródła energii pozwalają na oszczędność energii konwencjonalnej i ochrony środowiska naturalnego [1].

2. Hybrydowa instalacja kogeneracyjna i fotowoltaiczna dla budynku

Projektowana dla budynku – sklepu piekarniczego instalacja kogeneracyjna i fotowoltaiczna jest rozwiązaniem zarówno wspólnej produkcji energii elektrycznej, jak i ciepłej. Zaprojektowana instalacja kogeneracyjna pracuje na gaz wysokometanowy GZ 50 i dostarcza do budynku energię elektryczną oraz ciepłą, instalacja fotowoltaiczna wykorzystuje zaś darmową energię promieniowania słonecznego i ma za zadanie przekształcić ją w energię elektryczną potrzebną do prawidłowego funkcjonowania budynku.

Opracowano uproszczony schemat zaopatrzenia w energię budynku z wykorzystaniem zintegrowanego systemu energetycznego – instalacji kogeneracyjnej współpracującej z instalacją fotowoltaiczną (rys. 1.) (zagadnienie sterowania



Rys. 1. Schemat układu kogeneracyjnego z panelami fotowoltaicznymi i zasobnikiem ciepła

Fig. 1. The scheme of cogeneration system with photovoltaic panels and heat accumulator

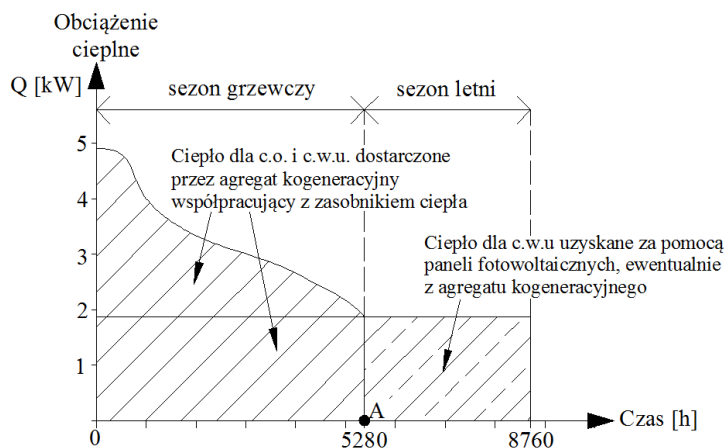
układem przekracza zakres niniejszej pracy). Panele fotowoltaiczne (11) wytwarzają energię elektryczną, która po przejściu przez inwerter (14) trafia do odbiorników elektrycznych (9), znajdujących się w budynku. Nadmiar wytworzonej energii elektrycznej jest magazynowany w akumulatorach (13). Naładowane akumulatory dostarczają energię elektryczną do urządzeń, gdy nie występuje promieniowanie słoneczne lub gdy jest ono niewystarczające. W przypadku braku możliwości naładowania akumulatorów przez energię słoneczną następuje ich ładowanie przez agregat kogeneracyjny (1). W lecie panele fotowoltaiczne dostarczają do budynku odpowiednią ilość energii wykorzystywaną przez urządzenia elektryczne, w tym do elektrycznego podgrzewacza ciepłej wody użytkowej (10). Gdy ilość energii jest niewystarczająca, zostaje uruchomiony agregat kogeneracyjny. W sezonie grzewczym podczas 16 godzin (założono w obliczeniach) pracy sklepu piekarniczego pracuje agregat kogeneracyjny, który wytwarza energię elektryczną i ciepłą. Powstała energia elektryczna wykonana

przez generator (5) trafia do urządzeń potrzebujących tej energii do prawidłowego działania. W zimie energię elektryczną częściowo uzyskuje się za pomocą paneli fotowoltaicznych. Energia cieplna wytworzona przez agregat kogeneracyjny jest przekazywana na cele ciepłej wody użytkowej oraz do centralnego ogrzewania w okresie grzewczym. Nadmiar energii cieplnej, jaki powstanie podczas eksploatacji systemu, jest magazynowany w zasobniku ciepła (6). Zmagazynowane ciepło jest wykorzystywane w nocy, kiedy agregat kogeneracyjny zostaje wyłączony. Powstałe głównie w lecie nadwyżki mocy cieplnej są chłodzone za pomocą chłodnicy wentylatorowej (8).

Na rysunku 1. przyjęto następujące oznaczenia: 1 – agregat kogeneracyjny z silnikiem gazowym, 2 – wymiennik ciepła ciec-ciecz, 3 – wymiennik ciepła gaz-ciecz, odzysk ciepła ze spalin, 4 – komin, 5 – generator, 6 – zasobnik ciepła, 7 – pompa ładująca, 8 – chłodnica wentylatorowa, 9 – odbiór energii elektrycznej, 10 – podgrzewacz elektryczny ciepłej wody, 11 – panele fotowoltaiczne, 12 – regulator ładowania, 13 – akumulator, 14 – inwerter, 15 – skrzynka gazowa (kurek główny, gazomierz), 16 – gniazdko elektryczne, 17 – przewód wody zimnej, 18 – przewód ciepłej wody użytkowej, 19 – przewód zasilający centralnego ogrzewania, 20 – przewód powrotny centralnego ogrzewania, 21 – przewód gazowy zasilający agregat, 22 – przewód odprowadzający spaliny, 23 – przewód zasilający zbiornik ciepła, 24 – przewód powrotny ze zbiornika ciepła, 25 – przewód instalacji elektrycznej

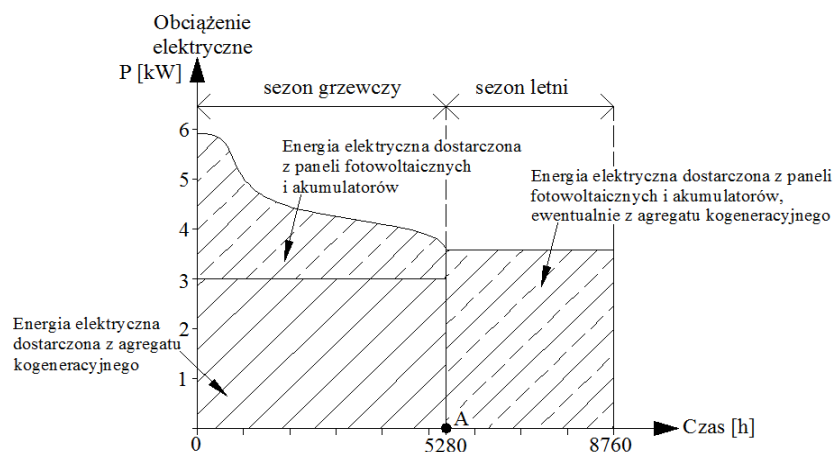
Uporządkowane wykresy całkowitego zapotrzebowania na energię cieplną i elektryczną

Moc źródła energii jest uzależniona od potrzeb odbiorcy. Potrzeby te mają decydujące znaczenie dla ilości energii i czasu jej dostarczenia, tak aby zapewnić odpowiednie warunki komfortu. W przypadku energii związanej z zapewnieniem potrzeb cieplnych i elektrycznych do opisanego rocznego zapotrzebowania odbiorcy na energię stosuje się tzw. uporządkowany wykres obciążeń cieplnych i elektrycznych. Na rysunku 2. został przedstawiony wykres dla budynku, który charakteryzuje sposób pracy systemu grzewczego podczas pracy źródeł ciepła, z uwzględnieniem potrzeb związanych z centralnym ogrzewaniem i przygotowaniem ciepłej wody użytkowej. Wykres przedstawiony na rys. 3. charakteryzuje sposób pracy systemu elektrycznego, z uwzględnieniem potrzeb związanych z wykorzystaniem energii elektrycznej. Koszty wytworzenia energii przez dane źródło zależą m.in. od stopnia jego wykorzystania w czasie. Może się więc okazać, że najniższe koszty wytworzenia energii będą cechować źródła korzystające z różnych rodzajów nośników energii, stosujących różne systemy i urządzenia (instalacje hybrydowe). Połączenie kilku źródeł wytwarzania energii będzie skutkowało uzyskaniem poziomu kosztów, który nie byłby możliwy do osiągnięcia przy wykorzystaniu tylko jednego źródła.



Rys. 2. Zmienność obciążeń cieplnych w zintegrowanym systemie; A – czas pracy agregatu kogeneracyjnego

Fig. 2. Variability of heat loads in integrated system; A – working time of the cogeneration unit



Rys. 3. Zmienność obciążeń elektrycznych w zintegrowanym systemie; A – czas pracy agregatu kogeneracyjnego

Fig. 3. Variability of electric loads in integrated system; A – working time of cogeneration unit

Rysunek 2. przedstawia zmienność obciążeń cieplnych we współpracy instalacji kogeneracyjnej, zasobnika ciepła i paneli fotowoltaicznych. W zintegrowanym systemie podczas sezonu grzewczego energia cieplna, na potrzeby centralnego ogrzewania oraz dla zapewnienia odpowiedniej ilości ciepłej wody użytkowej, jest pozyskiwana z instalacji kogeneracyjnej współpracującej z za-

sobnikami ciepła. Natomiast w lecie do pokrycia obciążenia cieplnego w celu zapewnienia odpowiedniej ilości ciepłej wody użytkowej energia jest pozyskiwana z instalacji fotowoltaicznej. W systemie zintegrowanym instalacja kogeneracyjna pracuje podczas sezonu grzewczego, który trwa 220 dni (5280 godzin) przez 16 godzin dziennie, współpracując z zasobnikiem ciepła dostarczającym ciepło do systemu przez 8 godzin dziennie. Nadwyżki ciepła powstające podczas pracy kogeneratora są magazynowane w zasobniku ciepła, a następnie wykorzystywane, gdy agregat kogeneracyjny jest wyłączony. Podczas sezonu letniego, który trwa 145 dni, czyli 3480 godzin, obciążenie cieplne pokrywają panele fotowoltaiczne. Nadwyżka energii elektrycznej jest gromadzona w akumulatorach, z których może być zastosowana do procesów zasilania urządzeń elektrycznych znajdujących się w budynku, w tym elektrycznego podgrzewacza ciepłej wody użytkowej.

Rysunek 3. przedstawia zmienność obciążeń elektrycznych we współpracy instalacji kogeneracyjnej, paneli fotowoltaicznych i akumulatorów energii elektrycznej. Pokrywają one wspólnie obciążenia elektryczne podczas sezonu grzewczego, który trwa 220 dni, czyli 5280 godzin. Nadwyżki energii elektrycznej powstające podczas pracy kogeneratora i paneli fotowoltaicznych są magazynowane w akumulatorach, a następnie w razie konieczności wykorzystywane. Podczas sezonu letniego, który trwa 145 dni, czyli 3480 godzin, obciążenia elektryczne pokrywają panele fotowoltaiczne, gdzie nadwyżka energii elektrycznej jest gromadzona w akumulatorach, a następnie wykorzystywana do procesów zasilania urządzeń znajdujących się w budynku. W zintegrowanym systemie w sezonie grzewczym energię elektryczną, dzięki której urządzenia elektryczne mogą sprawnie działać, pozyskuje się z agregatu kogeneracyjnego i paneli fotowoltaicznych oraz akumulatorów. Natomiast w lecie energia elektryczna jest pozyskiwana głównie z instalacji fotowoltaicznej. Gdy energia ta nie będzie wystarczająca, wówczas agregat kogeneracyjny pokryje wymagane obciążenie.

3. Zapotrzebowanie na energię budynku oraz dobór urządzeń

W pracy analizowano mały budynek parterowy, wolno stojący o powierzchni 35 m², przeznaczony do pracy dwóch osób. Zapotrzebowanie na energię cieplną do centralnego ogrzewania i ciepłej wody użytkowej określono na podstawie przeznaczenia budynku. Ilość potrzebnej energii elektrycznej dla sklepu piekarniczego wyznaczono na podstawie zestawienia wszystkich urządzeń elektrycznych znajdujących się w sklepie. Sumując moce poszczególnych urządzeń, uzyskano zapotrzebowanie na energię elektryczną, jakie powinno być dostarczone do sklepu.

Zestawienie zapotrzebowania na energię dla sklepu piekarniczego

1. Całkowite zapotrzebowanie na energię elektryczną dla okresu letniego:
 $\sum Q_{el} = 3,60 \text{ kW}.$

2. Całkowite zapotrzebowanie na energię elektryczną dla okresu zimowego:
 $\sum Q_{el} = 5,92 \text{ kW}$.
3. Całkowite zapotrzebowanie na ciepło na potrzeby c.o.: $\sum Q_n = 3,04 \text{ kW}$.
4. Całkowite zapotrzebowanie na ciepło na potrzeby c.w.u.: $\sum Q_{c.w.u.} = 1,81 \text{ kW}$.

Dobór urządzeń

1. Dobór urządzenia kogeneracyjnego
Dobrano agregat kogeneracyjny firmy PowerPlus Technologies typu e3.0 [2]. Agregat kogeneracyjny jest zasilany gazem ziemnym GZ 50. Cena agregatu kogeneracyjnego: $C_{ak} = 25\,600 \text{ PLN}$ [3], moc elektryczna: 1,3-3 kW, moc cieplna 4-8 kW, zużycie gazu ziemnego: 0,59-1,3 m³/h.
2. Dobór elektrycznego pojemnościowego ogrzewacza wody (dla pracy w okresie letnim)
Dobrano elektryczny pojemnościowy ogrzewacz wody firmy Elektromet typu WJ-Q Nordic 2000 [4]. Cena ogrzewacza wody: $C_o = 746,0 \text{ PLN}$ [4], pojemność: 80 l, moc grzałki: 2 kW.
3. Dobór paneli fotowoltaicznych
Dobrano panele fotowoltaiczne na zapotrzebowanie na energię elektryczną w sezonie letnim. Dobór paneli fotowoltaicznych: $Q_{el} = 3,60 \text{ kW} = 3600 \text{ W}$, $Q_{1panel} = 265 \text{ W}$ (odczytane z katalogu producenta [5]). Liczba paneli fotowoltaicznych:
$$n = Q_{el} / Q_{1panel} = 3600 \text{ W} / 265 \text{ W} = 13,6$$

Przyjmuje się 14 paneli fotowoltaicznych firmy Etsolar typu ET-P672-UL265 [5]. Cena jednego panelu fotowoltaicznego wynosi $C_{pf} = 3\,220 \text{ PLN}$ [6], moc: 265 W, napięcie nominalne: 36,0 V, prąd nominalny: 7,28 A.
4. Dobór kontrolera ładowania akumulatora
Dobrano kontroler ładowania akumulatorów firmy Phocos typu PL40 [7]. Cena kontrolera ładowania $C_{kl} = 360 \text{ PLN}$ [7], maksymalny prąd ładowania: 40 A, napięcie systemu: 12/24/36/48 V.
5. Dobór akumulatora
Dobrano cztery akumulatory żelowe firmy TOYAMA typu NPG200 [8]. Akumulator magazynuje energię wyprodukowaną przez panel fotowoltaiczny (każdy daje możliwość pobrania ok. 13,4 kWh energii). Cena jednego akumulatora: $C_a = 1\,350 \text{ PLN}$ [8], pojemność: 200 Ah.
6. Dobór inwertera
Dobrano inwerter firmy SMA typu Sunny Island 4248 [9]. Inwerter przetwarza prąd stały DC powstały za pomocą paneli fotowoltaicznych na prąd zmienny AC. Inwerter Sunny Island jest idealnym rozwiązaniem w budowie w pełni funkcjonalnego, hybrydowego systemu pozwalającego na efektywne

wykorzystanie energii wyprodukowanej przez moduły fotowoltaiczne oraz energii pobieranej z agregatu kogeneracyjnego. Cena inwertera: $C_i = 11\,206$ PLN [9], moc wyjściowa AC: 4200 W, prąd wyjściowy: 18 A, zakres napięcia wejściowego DC: 36(31-53 V), napięcie wejściowe AC: 230 V (172,5-250 V), częstotliwość: 50 Hz.

7. Dobór chłodnicy wentylatorowej

Dobrano chłodnicę wentylatorową firmy JUWENT typu CHW-1-1w-II [10]. Cena chłodnicy wentylatorowej: $C_{ch} = 6\,440$ PLN [10], moc nominalna: 7 kW, przepływ cieczy: 1,2 m³/h, typ wentylatora: FB040.VDK.2F.6S, liczba wentylatorów: 1 szt., wydajność powietrza: 4200 m³/h.

8. Dobór zasobnika ciepła

Dobrano zasobnik ciepła firmy Reflex typu PHW 800 z izolacją cieplną typu PW [11] na podstawie zapotrzebowania na ciepło, które zostanie wykorzystane w czasie wyłączenia agregatu kogeneracyjnego. Ciepło zmagazynowane w zasobniku [12]:

$$Q_{\max} = Q_n \cdot \tau \text{ [MJ]}.$$

Do obliczeń przyjęto następujące dane: zapotrzebowanie na ciepło na potrzeby c.o.: $Q_n = 3,04$ kW, czas magazynowania ciepła w zasobniku: $\tau = 8$ h. Stąd $Q_{\max} = 3,04$ kW · 8 h = 87,55 MJ.

Cena zasobnika ciepła z izolacją cieplną i płaszczem foliowym: $C_{zc} = 3\,957 + 827 + 233 = 5\,017$ PLN [11], pojemność: 750 dm³.

4. Analiza ekonomiczna zaopatrzenia budynku w energię

Przedstawiono analizę ekonomiczną zastosowania hybrydowego systemu zaopatrującego budynek w energię w porównaniu z konwencjonalnym rozwiązaniem. Celem tych systemów jest dostarczenie odpowiedniej ilości ciepła i energii elektrycznej do budynku przez cały rok. Porównano koszty inwestycyjne związane z zakupem oraz montażem agregatu kogeneracyjnego i paneli fotowoltaicznych z kosztami przyłączenia do sieci elektroenergetycznej, montażem i zakupem urządzeń elektrycznych, takich jak kocioł i podgrzewacz ciepłej wody użytkowej. Zestawiono koszty eksploatacji systemów oraz określono czas zwrotu nakładów inwestycyjnych.

Zapotrzebowanie na ciepło do centralnego ogrzewania sklepu wynosi 3,04 kW, a do przygotowania ciepłej wody użytkowej 1,81 kW. Ilość potrzebnej energii elektrycznej zaopatrującej w prąd urządzenia znajdujące się w sklepie w sezonie letnim wynosi 3,6 kW, w sezonie zimowym zaś 5,92 kW.

W porównaniu kosztowym przyjmuje się:

- koszt energii elektrycznej – 0,35 PLN/kWh [13] (stan na listopad 2010 r.),

- koszt gazu ziemnego GZ – 50 – 1,44 PLN / m³ [14] (stan na listopad 2010 r.),
- sezon grzewczy w województwie podkarpackim – 220 dni,
- sezon letni w województwie podkarpackim – 145 dni,
- praca sklepu piekarniczego – 16 godzin dziennie.

Układ hybrydowy

W sezonie grzewczym współpracują następujące urządzenia:

- agregat kogeneracyjny firmy PowerPlus Technologies typu e3.0 [2], $C_{ak} = 25\,600$ PLN [3],
- zasobnik ciepła firmy Reflex typu PHW 800 [11], $C_{zs} = 5\,017$ PLN [11],
- chłodnica wentylatorowa firmy Juwent typu CHW-1-1w-II [10], $C_{ch} = 6\,440$ PLN [10],
- zestaw fotowoltaiczny, który składa się z 14 paneli fotowoltaicznych firmy Etsolar typu ET-P672-UL265 [5] ($C_{pf} = 3\,220$ PLN [6]), kontrolera ładowania akumulatorów firmy Phocos typu PL40 [7] ($C_{kl} = 360$ PLN [7]), 4 akumulatorów żelowych firmy Toyama typu NPG200 [8] ($C_a = 1\,350$ PLN [8]), inwertera firmy SMA typu Sunny Island 4248 [9] ($C_i = 11\,206$ PLN [9]).

Cena zestawu fotowoltaicznego według katalogów producentów:

$$C_z = n_u \cdot C_{pf} + n_u \cdot C_{kl} + n_u \cdot C_a + n_u \cdot C_i \text{ [PLN]} \quad (1)$$

gdzie: n_u – liczba urządzeń [szt.],

C_{pf} – cena panelu fotowoltaicznego [PLN],

C_{kl} – cena kontrolera ładowania akumulatorów [PLN],

C_a – cena akumulatora [PLN],

C_i – cena inwertera [PLN].

Korzystając ze wzoru (1), oblicza się:

$$C_z = 14 \cdot 3\,220 + 1 \cdot 360 + 4 \cdot 1\,350 + 1 \cdot 11\,206 = 62\,046 \text{ PLN.}$$

W sezonie letnim do zaopatrzenia w ciepło i energię elektryczną służą następujące urządzenia:

- zestaw fotowoltaiczny (cena ze wzoru (1)), $C_z = 62\,046$ PLN,
- elektryczny pojemnościowy ogrzewacz wody firmy Elektromet typu WJ-Q Nordic 2000 [4], $C_o = 746,0$ PLN [4].

Układ konwencjonalny

Do zaopatrzenia w energię cieplną i elektryczną służą:

- kocioł elektryczny wodny do centralnego ogrzewania firmy ELTERM typu EKW AsZN-W o mocy 4 kW [15], $C_k = 3025,60$ PLN [16],

- elektryczny pojemnościowy ogrzewacz ciepłej wody użytkowej firmy Elektromet typu WJ-Q Nordic 2000 o mocy 2,0 kW [4], $C_o = 746,0$ PLN [4].

W energię elektryczną budynek sklepu będzie zaopatrzony z sieci energetycznej. Całkowity poniesiony nakład inwestycyjny układu hybrydowego [3] oblicza się ze wzoru:

$$J_0 = J_k + J_w \quad (2)$$

gdzie: J_k – część nakładów inwestycyjnych sfinansowana z kredytów bankowych, $J_k = 0$ PLN,

J_w – część nakładów inwestycyjnych sfinansowana ze środków własnych (zakup urządzeń + montaż + wykonanie instalacji) $J_k = 0$ PLN – inwestycja jest finansowana ze środków własnych

$$J_w = C_{ak} + C_{zs} + C_{ch} + C_z + C_o + C_m + C_{wi} \text{ [PLN]} \quad (3)$$

przy czym: C_{ak} – cena agregatu kogeneracyjnego [PLN],

C_{zs} – cena zasobnika ciepła [PLN],

C_{ch} – cena chłodnicy wentylatorowej [PLN],

C_z – cena zestawu fotowoltaicznego, wyznaczana ze wzoru (1) [PLN],

C_o – cena elektrycznego ogrzewacza wody [PLN],

C_m – cena montażu urządzeń (przyjmując 15% ceny urządzeń) [PLN],

C_{wi} – cena wykonania instalacji przyłączeniowej [PLN].

Korzystając ze wzoru (3), wyznacza się:

$$\begin{aligned} J_w &= 25\,600 + 5\,017 + 6\,440 + 62\,046 + 746 + 14\,977,35 + 1\,500 = \\ &= 116\,326,35 \text{ PLN,} \end{aligned}$$

ze wzoru zaś (2):

$$J_0 = 116\,326,35 \text{ PLN.}$$

Całkowity poniesiony nakład inwestycyjny układu konwencjonalnego [3] oblicza się z zależności:

$$J_0 = J_k + J_w \quad (4)$$

gdzie: J_k – część nakładów inwestycyjnych sfinansowana z kredytów bankowych, $J_k = 0$ PLN, czyli inwestycja jest finansowana ze środków własnych,

J_w – część nakładów inwestycyjnych sfinansowana ze środków własnych (zakup urządzeń + montaż + wykonanie instalacji)

$$J_w = C_k + C_o + C_m + C_{wi} \text{ [PLN]} \quad (5)$$

gdzie: C_k – cena kotła elektrycznego [PLN],

C_o – cena elektrycznego ogrzewacza wody [PLN],

C_m – cena montażu urządzeń (przyjmując 15% ceny urządzeń) [PLN],

C_{wi} – cena wykonania instalacji przyłączeniowej [PLN].

Korzystając ze wzoru (5), oblicza się:

$$J_w = 3\,025,60 + 746,0 + 565,7 + 1\,200 = 5\,537,3 \text{ PLN,}$$

ze wzoru zaś (4):

$$J_0 = 5\,537,30 \text{ PLN.}$$

Z analizy kosztów inwestycyjnych wynika, że z instalacją kogeneracyjną i fotowoltaiczną są związane wysokie koszty inwestycyjne. Koszt montażu i zakupu urządzeń instalacji kogeneracyjnej i fotowoltaicznej jest ponad 20 razy większy w porównaniu z zakupem kotła elektrycznego i podgrzewacza elektrycznego. Najtańszym rozwiązaniem ze względów inwestycyjnych jest kocioł elektryczny i elektryczny podgrzewacz ciepłej wody użytkowej.

Obliczenie kosztów eksploatacyjnych

Koszty eksploatacji obejmują [3]:

$$K_e = K_{en} + K_m + K_p + K_{rem} + K_{\text{śr.}}$$

Przyjęto $K_e = K_{en}$.

Składnikami kosztów eksploatacji układu są: koszty energii napędowej K_{en} , koszty materiałów i surowców K_m , koszty płac K_p , koszt obsługi, napraw i remontów K_{rem} oraz koszty korzystania ze środowiska $K_{\text{śr.}}$

Koszty paliwa i energii napędowej dla modułu CHP [3] oblicza się ze wzoru:

$$K_{en} = P_{\text{CHP}} \cdot k_{\text{fCHP}} \cdot h + E_G \cdot k_{el} \quad (6)$$

gdzie: $P_{\text{CHP}} = 0,59 \div 1,3 \text{ m}^3/\text{h}$ – zużycie gazu przez kogenerator (przyjęto $P_{\text{CHPmax}} = 1,3 \text{ m}^3/\text{h}$),

$k_{\text{fCHP}} = 1,44 \text{ PLN/m}^3$ – jednostkowy koszt zakupu gazu do modułu CHP,

$E_G = 0 \text{ kW}$ – zużycie energii elektrycznej z sieci (w okresie wyłączenia agregatu),

$k_{el} = 0,35$ PLN/kWh – jednostkowy koszt zakupu energii elektrycznej,
 $h = 3520$ h – czas użytkowania agregatu kogeneracyjnego w ciągu roku
 (sezon grzewczy 220 dni razy 16 h/dobę).

Korzystając ze wzoru (6), oblicza się:

$$K_{en} = 1,3 \cdot 1,44 \cdot 3520 \text{ h} + 0 \cdot 0,35 = 6\,589,44 \text{ PLN/rok.}$$

Koszty paliwa i energii napędowej (dla układu konwencjonalnego) [3] wyznacza się z zależności:

$$K_{et} = P \cdot k_f \cdot h + E_G \cdot k_{el} \cdot h \quad (7)$$

gdzie: $P = 0 \text{ m}^3 / \text{h}$ – zużycie paliwa przez instalację,

$k_f = 1,44$ PLN / m^3 – jednostkowy koszt zakupu paliwa,

E_G – zużycie energii elektrycznej z sieci dla instalacji elektrycznych (kocioł elektryczny, podgrzewacz ciepłej wody użytkowej), przy czym w zimie $E_G = 5,92 \text{ kW} + 3,04 \text{ kW} + 2 \text{ kW}$ (urządzenia elektryczne + c.o. + c.w.u.), w lecie $E_G = 3,6 \text{ kW}$ (urządzenia elektryczne + c.w.u.), w nocy zaś (podczas zamknięcia sklepu) $E_G = 0,64 \text{ kW}$,

$k_{el} = 0,35$ PLN / kWh – jednostkowy koszt zakupu energii elektrycznej,

h – czas użytkowania instalacji w ciągu roku:

- centralne ogrzewanie – w okresie grzewczym: 220 dni x 16 h/dobę,
- ciepła woda użytkowa – w okresie grzewczym: 220 dni x 16 h/dobę,
- czas zużywania prądu elektrycznego – w sezonie grzewczym: w czasie pracy sklepu – 220 dni x 16 h/dobę + w porze nocnej – 220 dni x 8 h w porze nocnej,
- zużycie prądu – w sezonie letnim na cele ciepłej wody użytkowej i dla urządzeń elektrycznych: w czasie pracy sklepu – 145 dni x 16 h dziennie + w porze nocnej – 145 dni x 8 h w porze nocnej.

Korzystając ze wzoru (7), oblicza się:

$$K_{et} = [(3,04 \cdot 220 \cdot 16) + (2,0 \cdot 220 \cdot 16) + (5,92 \cdot 220 \cdot 16) + (0,64 \cdot 220 \cdot 8) + (3,6 \cdot 145 \cdot 16) + (0,64 \cdot 145 \cdot 8)] \cdot 0,35 = 17\,080 \text{ PLN / rok.}$$

Obliczenie czasu zwrotu nakładów inwestycyjnych SPB [3]

$$SPB = \frac{J_0}{CF} \quad (8)$$

gdzie: J_0 – całkowity poniesiony nakład inwestycyjny układu hybrydowego [PLN],

CF – oszczędności powstałe w porównaniu z układem konwencjonalnym

$$CF = K_{et} - K_{en}, CF = 17\,080 - 6\,589,44 = 10\,490,56 \text{ PLN / rok.}$$

Korzystając ze wzoru (8), oblicza się wartość:

$$SPB = 116\,326,35 / 10\,490,56 = 11 \text{ lat } 1 \text{ miesiąc.}$$

Z przeprowadzonej analizy ekonomicznej wynika opłacalność stosowania instalacji kogeneracyjnej i fotowoltaicznej przez sklep piekarniczy. W porównaniu z układem konwencjonalnym, czyli elektrycznym kotłem i podgrzewaczem, koszty zakupu agregatu kogeneracyjnego oraz zestawu fotowoltaicznego zwrócą się po 11 latach i 1 miesiącu. Koszty eksploatacyjne agregatu kogeneracyjnego współpracującego z panelami fotowoltaicznymi są niższe w porównaniu z elektrycznymi urządzeniami zaopatrywanymi w energię cieplną i elektryczną. Zasilanie w energię elektryczną z sieci jest kosztowne, a cena energii elektrycznej w każdym momencie może ulec zmianie. Stosowanie hybrydowej instalacji jest więc opłacalne.

5. Wnioski

Przedstawiono hybrydowy system energetyczny składający się z agregatu kogeneracyjnego i współpracujące z nim panele fotowoltaiczne. Analizę wykonano dla sklepu piekarniczego w celu zaopatrzenia w ciepło i energię elektryczną. Przedstawiono wariant pokrycia zapotrzebowania na energię i dokonano analizy ekonomicznej. Po przeprowadzeniu tej analizy, można stwierdzić opłacalność stosowania agregatów kogeneracyjnych i paneli fotowoltaicznych, mimo dużych kosztów inwestycyjnych. Czas zwrotu nakładów inwestycyjnych wynosi 11 lat i 1 miesiąc podczas użytkowania instalacji przez cały rok. Duży wpływ na opłacalność inwestycji ma cena agregatu kogeneracyjnego. Koszty eksploatacyjne instalacji hybrydowej są niższe w porównaniu z instalacjami konwencjonalnymi (tj. elektrycznych urządzeń zaopatrujących w energię cieplną i elektryczną). Zasilanie w energię elektryczną z sieci jest kosztowne, co przemawia za stosowaniem kogeneracji i instalacji fotowoltaicznej. Dobierając instalację, należy pamiętać, że analiza ekonomiczna jest konieczna. Ponadto wykwalifikowana obsługa zintegrowanych urządzeń pozwala uzyskać najbardziej efektywną pracę hybrydowej instalacji.

Przeprowadzona analiza teoretyczna ukazuje korzyści wynikające ze stosowania wspólnej instalacji kogeneracyjnej i fotowoltaicznej. Jednak w celu sprawdzenia poprawności działania hybrydowego systemu oraz uzyskania korzyści z jego eksploatacji system należy przetestować w warunkach naturalnych podczas praktycznego użytkowania instalacji (tj. należy przeprowadzić analizę doświadczalną).

Literatura

1. www.systemgaz.com.pl/index.php?strona=70&wysw=2.
2. www.ecopower.de.
3. Skorek J., Kalina J.: Gazowe układy kogeneracyjne. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2005.
4. <http://www.elektromet.com.pl/>.
5. <http://www.soldar.pl/wp-content/plugins/product-listing/files/pdf/99-ET-P672-UL.pdf>.
6. <http://www.soldar.pl/wp-content/uploads/2010/05/ET-SOLAR.pdf>.
7. <http://www.ecotechnologies.pl/kontrolery-ladowania/6-producent-1-kontrol-lad.html>.
8. http://www.sonar.x12.pl/akumulator-zelowy-toyama-npg200_elektrowni-p-160.html.
9. <http://www.ecotechnologies.pl/inwertery/38-inwertery-typu-sunny-island.html>.
10. <http://www.juwent.com.pl>.
11. <http://www.reflex.pl/>.
12. Czerniecka A.: Systemy zaopatrzenia w ciepło budynków użyteczności publicznej z wykorzystaniem alternatywnych źródeł energii. Politechnika Rzeszowska, Rzeszów 2011 (praca niepublikowana).
13. <http://www.zelt.pl/docs/taryfaabcdr.pdf>.
14. <http://www.ksgaz.pl/taryfa/2095/>.
15. http://www.eterm.pl/pl/karty/ekw_asznw.pdf.
16. http://www.eterm.pl/pl/cennik_asznw.php?wyroby=27&cennik=19&deklaracje=0&instrukcje=0.

THE ANALYSIS OF ENERGY SUPPLY OF THE BUILDING WITH USAGE OF THE COOPERATING COGENERATION AND PHOTOVOLTAIC INSTALLATIONS

Summary

The aim of this publication is to elaborate the integrated energy system supplying the building with the electricity and heat. The publication presents hybrid, energetic system which consists of cogeneration unit, as well as photovoltaic panels cooperating with the system. The analysis was conducted for the baker's shop in order to supply it with heat and electricity. It also presents variant of meeting the needs for the electricity with the economic analysis. After conducting this analysis, it can be said that it is profitable to use cogeneration units and photovoltaic panels, despite the high investment costs. The time needed for the return of the money invested equals approximately 11 years and 1 month, assuming operation of the system for the whole year. The profitability of the investment is highly influenced by the price of cogeneration unit. Operating costs of hybrid system are lower when compared to conventional systems (i.e. Electric devices supplying with electricity and heat). It is expensive to supply energy from the grid, that is why using cogeneration and photovoltaic system are much more cost-effective. When selecting the system, it is essential to remember that economic analysis is indispensable. Additionally, qualified maintenance of integrated devices allows to obtain the most effective performance of hybrid system.

The conducted theoretical analysis points out the benefits which arise from operating common cogeneration and photovoltaic system. However, in order to check the correctness of working

of the hybrid system and obtaining the benefits from its operating, it is important to test it in natural conditions, during practical usage of the system (i.e. It is vital to conduct an analysis by means of the experiment).

Keywords: kogeneration, energy, solar energy, economy

DOI: 10.7862/rb.2013.9

Przesłano do redakcji w październiku 2012 r.

Przyjęto do druku w czerwcu 2013 r.