

Vyacheslav PISAREV¹
Agnieszka KAMYCKA²

ANALIZA ZAOPATRZENIA W ENERGIĘ MAŁEJ WSI Z WYKORZYSTANIEM INSTALACJI KOGENERACYJNEJ I GEOTERMALNEJ POMPY CIEPŁA

Celem publikacji jest przedstawienie koncepcji zaopatrzenia w ciepło i energię elektryczną małej wsi z wykorzystaniem instalacji kogeneracyjnej i geotermalnej pompy ciepła. Prowadzono analizę pozwalającą na dobór agregatu kogeneracyjnego współpracującego z pompą ciepła w celu zaopatrzenia małej wsi w ciepło i energię elektryczną. Rozpatrzono trzy warianty (I – dwa agregaty kogeneracyjne, II – agregat kogeneracyjny wspomagany pompą ciepła, III – kotły gazowe) pokrycia zapotrzebowania na energię i dokonano analizy ekonomicznej. Po przeprowadzeniu wstępnej analizy ekonomicznej dla danego przykładu można stwierdzić opłacalność stosowania układów CHP dla zasilania w energię elektryczną i ciepło, przy oddaleniu wioski od źródła energii o ok. 6 km z zastosowaniem dwóch modułów kogeneracyjnych Tedom Premi 22 SP lub o ok. 9,3 km z zastosowaniem pompy ciepła Viessmann Vitocal 300 współpracującej z agregatem kogeneracyjnym Tedom Plus 44 AP. Roczne koszty eksploatacji modułów są niższe w porównaniu z konwencjonalnym kotłem c.o. i zasilaniem w energię elektryczną z sieci. Argumenty te przemawiają za zastosowaniem kogeneracji i pompy ciepła. Rozproszona kogeneracja pozwala zaopatrywać w energię wsie, które nie mają możliwości podłączenia do centralnej sieci energetycznej, ale posiadają niewielkie źródło gazu. Pozwala to rokować rozwój tej technologii. Do używania instalacji hybrydowej konieczna jest wykwalifikowana obsługa, by instalacja ta przynosiła jak najlepsze efekty.

Słowa kluczowe: kogeneracja, pompa ciepła, energia

¹ Autor do korespondencji: Vyacheslav Pisarev, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów, tel. +48 17 8651946, pisarev@prz.edu.pl.

² Agnieszka Kamycka, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów, tel. +48 17 8651946.

1. Wprowadzenie

Kogeneracja jest procesem wytwarzania energii, w którym jednocześnie jest generowana energia elektryczna oraz ciepło. Typowy układ CHP (ang. *Combined Heat Power*) małej mocy składa się z:

- silnika tłokowego lub turbiny gazowej,
- generatora,
- systemu wymienników ciepła lub kotła odzyskowego,
- systemu automatycznego sterowania,
- systemu filtrów powietrza i układu odprowadzania spalin.

Silnik tłokowy lub turbina gazowa napędzają generator energii elektrycznej. Ciepło, nazywane często ciepłem odpadowym, jest częściowo wykorzystywane w wymiennikach ciepła. Po zastosowaniu silnika spalinowego system wymienników jest rozbudowany, ponieważ w silniku występuje kilka źródeł ciepła o różnicowanej temperaturze. Są to: układ chłodzenia płaszcza wodnego, układ chłodzenia i oleju, układ chłodzenia mieszanki doładowanej, układ schładzania spalin. Silnik gazowy jest posadowiony na wspólnym wale z generatorem energii elektrycznej. Praca tych elementów umożliwia produkcję energii elektrycznej dla wioski. Na skutek spalania gazu w silniku powstaje ciepło składające się na całkowitą produkcję ciepła urządzenia. Odbierane jest ono przez układ wymienników ciepła. Ciepło jest odprowadzane przez układ wodny zintegrowany z modulem kogeneracyjnym do zewnętrznej instalacji grzewczej i wykorzystywane jako ciepło użytkowe (na potrzeby socjalne, procesów technologicznych itp.) [1, 2].

Jedną z istotnych cech gazowych układów kogeneracyjnych jest możliwość zasilania ich różnymi paliwami gazowymi. Do podstawowych paliw gazowych mogących znaleźć zastosowanie w układach kogeneracyjnych dla małych wsi (osiedli) zalicza się:

- gaz ziemny zaazotowany,
- biogazy
 - gaz z fermentacji biologicznej (np. z oczyszczalni ścieków),
 - gaz wysypiskowy,
 - gaz ze zgazowania biomasy lub innych paliw stałych,
- propan i mieszaniny propanu z butanem (LPG),
- gaz z małych złóż gazu niepodłączonych do centralnej sieci gazowej.

Systemy kogeneracyjne mają różnorodne zastosowania jako źródła energii rozproszonej dla ciepłowni miejskich, oczyszczalni ścieków, szpitali, basenów, hoteli, szklarni.

Pompa ciepła jest urządzeniem, które umożliwia przekazywanie ciepła z obszaru o temperaturze niższej (dolne źródło ciepła, np. grunt) do obszaru o temperaturze wyższej (górnego źródła ciepła). Proces podnoszenia potencjału cieplnego zachodzi w wyniku dostarczenia z zewnątrz energii mechanicznej

(w pompach ciepła sprężarkowych) lub ciepła (w pompach absorpcyjnych). Sprężarkowa pompa ciepła jest zbudowana z:

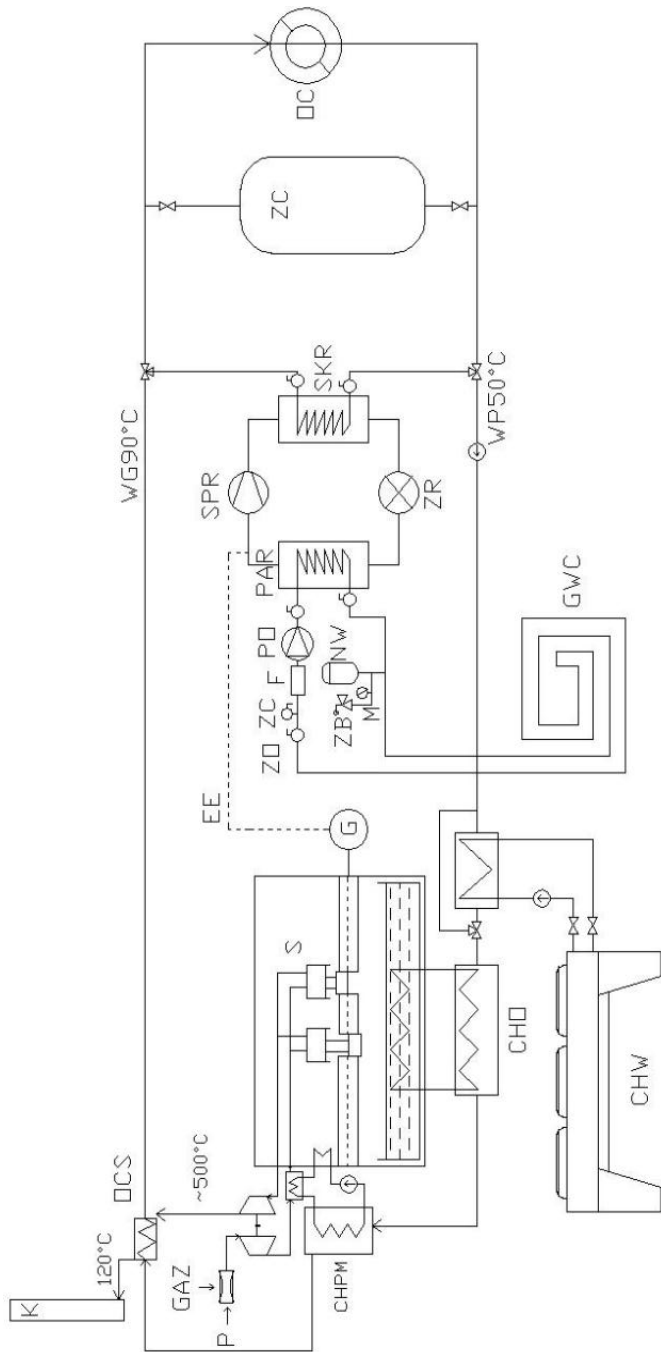
- parownika – urządzenia pobierającego ciepło ze źródła dolnego,
- sprężarki – urządzenia, w którym para czynnika roboczego zostaje sprężona, przez co zostaje podniesiona jego temperatura,
- skraplacza – urządzenia, dzięki któremu sprężony, wysokotemperaturowy czynnik oddaje energię do źródła górnego,
- zaworu rozprężnego – elementu, który reguluje przepływ i obniża ciśnienie w układzie.

2. Hybrydowe systemy energetyczne

Odnawialne źródła energii są niewyczerpalne i nieograniczone, ale podlegają wahaniom dobowym, sezonowym, rocznym, co może ograniczać ich dostępność. Pokrywając całoroczne zapotrzebowanie na energię, można korzystać z jednego źródła albo z kilku źródeł jednocześnie. Systemy ogrzewania hybrydowego stosują energię pochodzącą z dwóch lub więcej konwencjonalnych albo alternatywnych źródeł ciepła w jednej instalacji odbiorczej. Korzyścią wynikającą z zastosowania zintegrowanych systemów energetycznych jest wzajemne uzupełnianie się zasobów energii. Gdy w pewnych okresach jedno źródło nie jest w stanie pokryć zapotrzebowania na energię, wtedy drugie źródło wspomaga układ w prawidłowym funkcjonowaniu. Aby system hybrydowy był uwarunkowany ekonomicznie, należy zwrócić uwagę na osiągnięcie najwyższego poziomu wykorzystania stworzonego systemu i oszacowanie ilości zasobu na danym obszarze, przez co zostaną zminimalizowane koszty całej instalacji. Natomiast odpowiednia wielkość układu dopasowana do zapotrzebowania na energię odbiorcy sprawi, że koszt produkowanej energii może być stosunkowo niewysoki. W skład systemów hybrydowych mogą wchodzić konwencjonalne urządzenia grzewcze (np. kotły, generatory), jak i urządzenia (pompy ciepła, kolektory słoneczne) wykorzystujące odnawialne źródła energii. Synchronizacją pracy obu źródeł steruje aparatura kontrolno-pomiarowa, czujniki, regulatory i termostaty. Systemy hybrydowe są instalowane na całym świecie w różnych miejscach, np. w domach mieszkalnych, szkołach, ośrodkach kultury, sklepach.

3. Układy współpracy instalacji kogeneracyjnej i gruntowej pompy ciepła do pokrycia zapotrzebowania na energię na wsi

Celem pracy była analiza układu hybrydowego instalacji kogeneracyjnej z silnikiem spalinowym i pompą ciepła (rys. 1.), mająca na celu zaopatrzenie w energię małej wsi ze źródłem gazu niskiej wydajności zlokalizowanym obok (bez uwzględnienia kosztów przesyłu gazu). Aby umożliwić produkcję energii



Rys. 1. Schemat układu hybridowego instalacji kogeneracyjnej z tłokowym silnikiem spalinowym i pompy ciepła
 Fig. 1. Schematic diagram of a hybrid cogeneration installation of piston internal combustion engine and the heat pump

elektrycznej, gdy brak jest zapotrzebowania na ciepło, w układzie występuje chłodnica wentylatorowa. Mieszanka gaz-powietrze jest spalana w silniku, na skutek czego powstaje ciepło, które jest odbierane przez układ wymienników ciepła. Ciepło za pomocą układu wodnego jest odprowadzane do odbiorników ciepła. Gdy zapotrzebowanie na ciepło w wiosce jest mniejsze od jego produkcji w układzie kogeneracyjnym, wówczas jego nadmiar akumulowany jest w zasobniku ciepła, gdy zaś zapotrzebowanie na ciepło jest większe, wówczas jest ono pobierane z zasobnika. Gdy zakumulowana ilość ciepła w zasobniku jest niewystarczająca do pokrycia zapotrzebowania uruchamiana jest pompa ciepła. Pobiera ona ciepło z gruntu za pomocą poziomego gruntowego wymiennika ciepła. Instalacja jest wyposażona w zawory odcinające, zawór czerpalny, filtr, pompę obiegową, naczynie wzbiorcze, zawór bezpieczeństwa, manometr. Pompa ciepła jest zasilana energią pochodzącą z agregatu kogeneracyjnego.

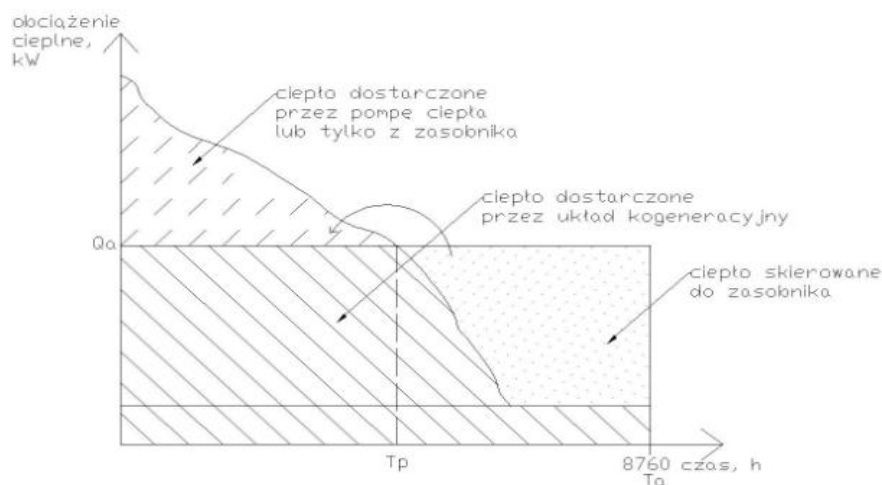
Na rysunku 1. przyjęto następujące oznaczenia: K – komin, OCS – odzysk ciepła ze spalin, P – powietrze, S – silnik spalinowy, CHPM – chłodnica płaszcza wodnego i doładowania mieszanki, CHO – chłodnica oleju, CHW – chłodnica wentylatorowa, G – generator, EE – energia elektryczna, PAR – parownik, SPR – sprężarka, SKR – skraplacz, ZR – zawór rozprężny, GWC – gruntowy wymiennik ciepła, WG – woda grzewcza, WP – woda powrotna, ZC – zasobnik ciepła, OC – odbiornik ciepła, ZO – zawór odcinający, ZC – zawór czerpalny, F – filtr, PO – pompa obiegowa, ZB – zawór bezpieczeństwa, M – manometr, NW – naczynie wzbiorcze

Instalacja kogeneracyjna współpracuje z pompą ciepła w systemie biwalentnym. Oznacza to, że zapotrzebowanie na ciepło pokrywane jest przez dwa źródła ciepła.

Moc chwilowa źródła energii jest uzależniona od potrzeb odbiorców, czyli mieszkańców wsi. W przypadku energii związanej z zabezpieczeniem potrzeb cieplnych odbiorcy do analizy rocznego zapotrzebowania na moc i energię odbiorcy jest wykorzystywana tzw. uporządkowana krzywa zapotrzebowania na moc grzewczą [3]. Na rysunkach 2. i 4. opracowano przykładową krzywą dla obiektów mieszkalnych w wiosce w różnych wariantach pracy źródeł ciepła, z uwzględnieniem potrzeb związanych z centralnym ogrzewaniem i przygotowaniem ciepłej wody użytkowej. Rysunki 3. i 5. przedstawiają uporządkowaną krzywą zapotrzebowania na moc elektryczną.

W literaturze specjalnej nie znaleziono przykładów podobnych systemów hybrydowych dla małych osiedli lub wsi w przypadku oddalenia od źródła energii elektrycznej. Charakter ich pracy przy różnych obciążeniach opisano w kolejnych akapitach.

Na rysunku 2. przyjęto następujące oznaczenia: Q_a – moc cieplna agregatu kogeneracyjnego, T_p – czas pracy pompy ciepła, T_a – czas pracy agregatu kogeneracyjnego.



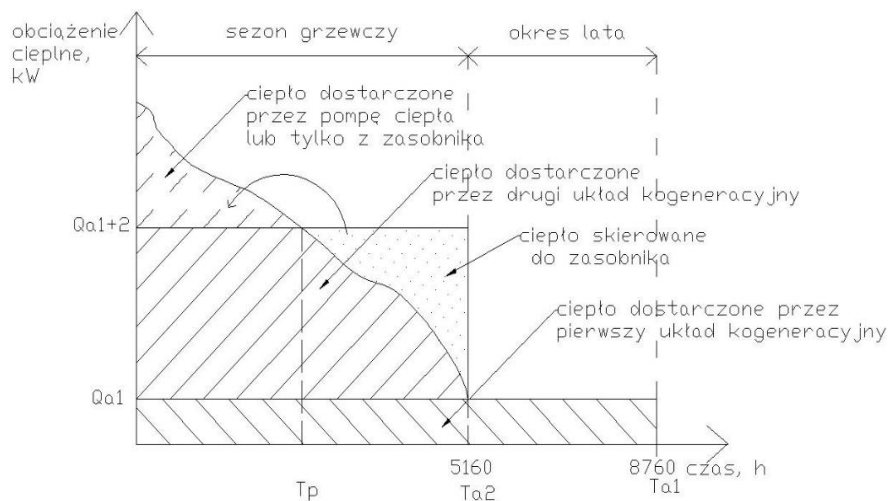
Rys. 2. Zmienność obciążeń cieplnych w bivalentnym systemie

Fig. 2. Variation of thermal loads in dual-system

W systemie bivalentnym (rys. 2.) instalacja kogeneracyjna na wsi pracuje całodobowo przez cały rok (8760 godzin), produkując ciepło i energię elektryczną. Jeśli jest produkowane więcej ciepła niż odbiorcy zużyją, to jego nadmiar jest akumulowany w zasobniku ciepła. Jednak gdy ilość zakumulowanego ciepła byłaby niewystarczająca do pokrycia potrzeb cieplnych odbiorców, a taka sytuacja może wystąpić w zimie, gdyż zapotrzebowanie na ciepło jest znacznie większe niż w innych porach roku, dodatkowo jest uruchamiana pompa ciepła. Pompa ta jest zasilana energią pochodzącą z układu kogeneracyjnego. Ciepło z zasobnika może być wykorzystywane także w rolniczych procesach technologicznych na wsi. Zapotrzebowanie na energię elektryczną jest pokrywane przez układ kogeneracyjny, a nadmiar wyprodukowanej energii wykorzystywany na potrzeby technologiczne lub cieplne. Na rysunku 3. przedstawiono wariant, w którym pracują dwa agregaty kogeneracyjne.

Na rysunku 3. przyjęto następujące oznaczenia: Q_{a1} – moc cieplna agregatu kogeneracyjnego pierwszego, Q_{a1+2} – moc cieplna pierwszego i drugiego agregatu kogeneracyjnego, T_p – czas pracy pompy ciepła, T_{a1} – czas pracy pierwszego agregatu kogeneracyjnego, T_{a2} – czas pracy drugiego agregatu kogeneracyjnego.

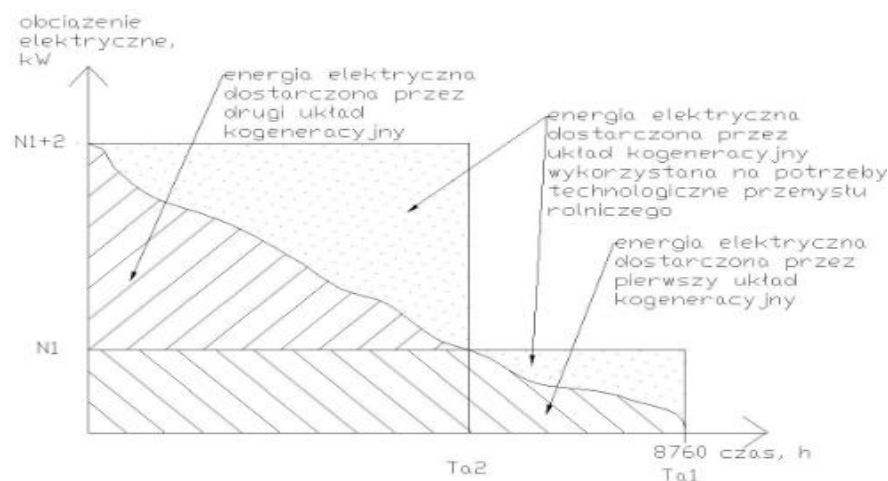
W sezonie grzewczym, który trwa 215 dni, czyli 5160 godzin, oba agregaty jednocześnie pokrywają dane zapotrzebowanie na ciepło w wiosce. Przy zwiększonym zapotrzebowaniu na ciepło zostaje uruchomiona pompa ciepła, która jest napędzana energią pochodzącą z układu kogeneracyjnego. Podczas okresu letniego, który trwa 150 dni, czyli 3600 godzin, obciążenie cieplne jest pokrywane przez jeden układ kogeneracyjny. Nadmiar ciepła jest gromadzony w zasobniku,



Rys. 3. Zmienność obciążeń cieplnych w biwalentnym systemie

Fig. 3. Variation of thermal loads in dual-system

z którego może on być wykorzystywany do procesów technologicznych na obszarach wiejskich. Energię elektryczną w lecie dostarcza jeden agregat kogeneracyjny, natomiast podczas zimy oba jednocześnie. Nadmiar energii może być wykorzystywany na potrzeby technologiczne lub ciepłe (rys. 4.).



Rys. 4. Zmienność obciążeń elektrycznych w biwalentnym systemie

Fig. 4. Variation of electrical loads in dual-system

Na rysunku 4. przyjęto następujące oznaczenia: N1 – moc elektryczna agregatu kogeneracyjnego pierwszego, N1+2 – moc elektryczna pierwszego

i drugiego agregatu kogeneracyjnego, Ta1 – czas pracy pierwszego agregatu kogeneracyjnego, Ta2 – czas pracy drugiego agregatu kogeneracyjnego

4. Wstępna analiza wielowariantowa pokrycia zapotrzebowania wsi na ciepło i energię elektryczną na obszarach wiejskich

Jako przykład rozpatrywano osiedle składające się z sześciu domów jednorodzinnych, zlokalizowane w pobliżu małego złoża gazu ziemnego niepodłączonego do sieci gazowej [2]. Średnia powierzchnia domu jednorodzinnego wynosi 190 m² i zamieszkuje ją osiem osób. Zapotrzebowanie na ciepło c.o. każdego z domów wynosi 15,2 kW, a do przygotowania c.w.u. potrzebne jest 2,31 kW. Dla sześciu domów zapotrzebowanie to wynosi odpowiednio: 91,2 kW na ciepło dla c.o. i 13,86 kW dla c.w.u. Ilość zużywanej energii elektrycznej przez jeden dom określono na podstawie wykazu sprzętu elektronicznego i artykułów gospodarstwa domowego na poziomie 6,75 kW, co dla całej wsi daje zapotrzebowanie energii elektrycznej 40,54 kW.

Rozpatrzono trzy warianty pokrycia zapotrzebowania na energię na wsi.

I wariant

Na podstawie zapotrzebowania na ciepło dobrano dwa agregaty kogeneracyjne firmy Tedom typ Premi 22 (dane techniczne agregatu zestawiono w tab. 1.) [2]. Dobrano dwa agregaty, tak aby zwiększyć niezawodność zasilania w ciepło i energię elektryczną oraz dopasować nominalne obciążenie agregatu dla warunków zimowych i letnich. Zimą jednocześnie pracują oba agregaty, latem pojedynczo (na przemian).

Tabela 1. Dane techniczne agregatu kogeneracyjnego Premi 22 SP

Table 1. Specifications of Premi 22 SP cogeneration unit

Typ agregatu	Moc elektryczna [kW _e]	Moc cieplna [kW _t]	Zużycie gazu ziemnego [m ³ /h]	Sprawność elektryczna [%]	Sprawność cieplna [%]	Sprawność ogólna [%]
PREMI 22 SP	22	45,5	7,74	24,7	62,5	87,2

II wariant

Na podstawie zapotrzebowania na energię elektryczną dobrano agregat kogeneracyjny firmy Tedom [4], typ Plus 44 AP (dane techniczne agregatu zestawiono w tab. 2.). Dobrany agregat nie stanowi całkowitego zapotrzebowania na ciepło budynków na wsi, dlatego dodatkowo dobrano geotermalną pompę ciepła współpracującą z agregatem. Energia elektryczna do zasilania pompy ciepła pochodzi z agregatu kogeneracyjnego. Zakłada się ciągłą pracę agregatu kogeneracyjnego.

Tabela 2. Dane techniczne agregatu kogeneracyjnego Plus 44 AP

Table 2. Specifications of Plus 44 AP cogeneration unit

Typ agregatu	Moc elektryczna [kW _e]	Moc cieplna [kW _t]	Zużycie gazu ziemnego [m ³ /h]	Sprawność elektryczna [%]	Sprawność cieplna [%]	Sprawność ogólna [%]
PLUS 44 AP	44	91	16,4	28,4	58,3	87,2

Pompę ciepła dobrano z katalogu firmy Viessmann [5], tj. pompę Vitocal 300 solanka/woda, typ BW 113 o parametrach:

- moc grzewcza – $Q_{pc} = 14$ kW,
- pobór mocy elektrycznej – $P_{el} = 3,05$ kW,
- stopień efektywności – $\varepsilon = 4,59$,
- czynnik roboczy – R 407 C,
- wymiary – 945/650/600 mm,
- ciężar – 160 kg.

Układ kogeneracyjny pracuje w trybie pracy według zapotrzebowania elektrycznego. W tym trybie pracy produkcja ciepła jest zazwyczaj niedopasowana do zmiennego zapotrzebowania. Problem ten można rozwiązać przez akumulację ciepła. Gdy zapotrzebowanie na ciepło jest mniejsze od jego produkcji w układzie skojarzonym, nadmiar ciepła akumuluje się w zasobniku gorącej wody. Gdy natomiast zapotrzebowanie na ciepło jest większe niż jego produkcja, brakującą ilość ciepła pobiera się z zasobnika. Jeśli jednak ilość ciepła zakumulowana w zasobniku byłaby niewystarczająca do pokrycia zapotrzebowania ciepła u odbiorców (głównie w zimie), dodatkowo jest uruchamiana pompa ciepła. Pompa ta współpracuje z instalacją kogeneracyjną w systemie biwalentnym równoległym. Pokrywa ona różnicę pomiędzy zapotrzebowaniem cieplnym a mocą cieplną układu CHP. W układzie kogeneracyjnym jest także instalowana wentylatorowa chłodnica, która ma odprowadzać ciepło do otoczenia w chwili całkowitego zaniku odbioru ciepła.

III wariant

Zastosowano tradycyjne kotły gazowe indywidualne dla każdego domu oraz doprowadzono energię elektryczną z sieci energetycznej. Dobrano kocioł firmy Valliant, typ VU Plus 205-5 o mocy znamionowej 7,7-20 kW [2]. Kocioł będzie pracował w priorytecie c.w.u., czyli w momencie powstania zapotrzebowania na c.w.u. kocioł będzie chwilowo zaprzestawał dostarczania ciepła do układu c.o. i kierował je do zasobnika c.w.u. Domy będą zaopatrywane w energię elektryczną z sieci energetycznej.

5. Analiza ekonomiczna zaopatrzenia w energię małej wsi

Małe osiedla, wioski są często oddalone od miast, co oznacza, że źródła energii są także znacznie oddalone. Prowadzi to do powstania wysokich kosztów związanych z doprowadzeniem energii elektrycznej i umożliwia wykorzystanie indywidualnych źródeł energii. Ponieważ moduł kogeneracyjny, produkując energię elektryczną, wytwarza również ciepło, umożliwia tym samym pokrycie zapotrzebowania na ciepło wsi bez stosowania indywidualnych kotłów grzewczych i doprowadzania energii elektrycznej z sieci energetycznej. Pozwala to małym osadom całkowicie uniezależnić się od dostaw energii z zewnątrz [2].

Z instalacją kogeneracyjną są związane koszty inwestycyjne, tj. koszt zakupu i montażu urządzeń. W tabeli 3. porównano koszty inwestycyjne dostarczania energii ze źródeł konwencjonalnych, czyli z sieci elektroenergetycznej i kotłów w stosunku do modułu kogeneracyjnego oraz modułu i pompy ciepła.

W celu przeprowadzenia porównania kosztowego tradycyjnego sposobu zaopatrywania w energię ciepłą i elektryczną osiedla w stosunku do zaopatrywania z dwóch modułów CHP oraz modułu współpracującego z pompą ciepła obliczono roczne koszty eksploatacyjne (tab. 4.). Przyjęto, że koszt kWh energii elektrycznej wynosi 0,36 PLN, koszt m³ gazu ziemnego GZ50 1,64 PLN [6], chociaż dla źródła gazu niskiej wydajności zlokalizowanego obok wsi koszt m³ gazu może być inny (brak danych). Zużycie gazu przez kocioł gazowy firmy Valliant wynosi 1,68 m³ na godzinę, przez agregat kogeneracyjny Premi 22 SP 7,74 m³ na godzinę, przez agregat kogeneracyjny Plus 44 AP 16,4 m³ na godzinę.

Z tabeli 4. wynika, że przy zakupie gazu z sieci gazowej roczne koszty użytkowania instalacji kogeneracyjnych są niższe niż podczas korzystania z kotłów gazowych. Porównując wariant III z wariantem II, można stwierdzić, że koszty instalacji kogeneracyjnej z pompą ciepła zwrócą się po ponad 11 latach, a porównując wariant III z I, zwrot kosztów inwestycyjnych w dwa agregaty kogeneracyjne uzyska się po niecałych 6 latach.

Z analizy rocznych nakładów eksploatacyjnych wynika opłacalność stosowania kogeneracji dla wsi. Dane zawarte w tab. 3. wskazują, że koszty zakupu i montażu instalacji kogeneracyjnej są większe niż instalacji tradycyjnych. Jednak należy pamiętać o możliwości zasilania z sieci elektroenergetycznej miejscowości położonych w znacznej odległości od źródła energii. Ponieważ tab. 3. przedstawia koszty instalacji niskoprądowych dla wsi znajdujących się w pobliżu sieci elektroenergetycznej, należy rozważyć przypadek znacznego oddalenia wioski od sieci. Zestawienie kosztowe wykonania przyłącza instalacji energetycznej w zależności od odległości od sieci energetycznej obrazuje rys. 5. Na podstawie sumy kosztów inwestycyjnych z tab. 3 dla trzech wariantów sporządzono linie obrazujące koszty poszczególnych instalacji. W przypadku instalacji tradycyjnej dla wioski (wariant III) koszt wzrasta o 40000 zł co 1 km.

Tabela 3. Koszty inwestycyjne źródeł energii

Table 3. The investment costs of energy sources

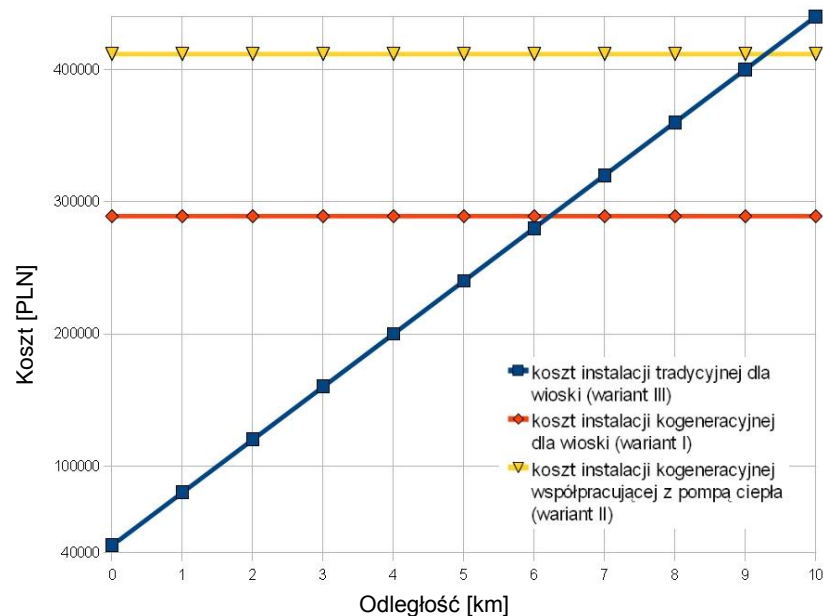
	WARIANT I dwa moduły kogeneracyjne Tedom Premi 22 SP	WARIANT II agregat kogeneracyjny Tedom Plus 44 AP wspomagany pompą ciepła Viessmann Vitocal 300	WARIANT III kocioł gazowy Valliant VU Plus 205-5 (6 sztuk)
Źródło energii cieplnej	układ kogeneracyjny	pompa ciepła, agregat kogeneracyjny	kocioł gazowy
Źródło energii elektrycznej	układ kogeneracyjny	agregat kogeneracyjny	sieć elektroenergetyczna
Koszty zakupu urządzeń wraz z osprzętem, KZU [PLN]	2 moduły kogeneracyjne [1], KZU = 92400 zł	agregat kogeneracyjny [1] + pompa ciepła [7] + kolektor gruntowy [8], KZU = 92400 + 35000 + 14000 = 141400 zł	kocioł gazowy [9] – 6000 zł za jeden kocioł (6 sztuk), KZU = 6 · 6000 = 36000 zł
Koszt wykonania instalacji w obrębie wsi [PLN]	instalacja ciepłownicza 1 km = 250000 [10], instalacja elektroenergetyczna 1 km = 40000 [11]	instalacja ciepłownicza 1 km = 250000 [10], instalacja elektroenergetyczna 1 km = 40000 [11]	instalacja elektroenergetyczna 1 km = 40000 [11]
Inne koszty, KZU" [PLN]	odpowiednio z danymi [1]: KZU" = 104-460% · KZU; założono szacunkowo dla wsi KZU" = 150% · KZU, KZU" = 138600 zł	KZU" = 150% · KZU KZU" = 212100 zł	–
koszty nieprzewidziane, ubezpieczenie, przyrost kapitału obrotowego, KZU"" [PLN]	odpowiednio z danymi [1]: KZU"" = 13-38% (KZU + KZU"), założono szacunkowo dla wsi: KZU"" = 20% · (KZU + KZU"), KZU"" = 231000 zł	KZU"" = 20% · (KZU + KZU"), KZU"" = 353500 zł	–
Suma kosztów inwestycyjnych [PLN]	289000 zł	411500 zł	44000 zł

Tabela 4. Roczne koszty użytkowania źródeł energii przy zakupie gazu z sieci

Table 4. Annual operating costs of energy sources assuming the purchase of gas from the network

	WARIANT I dwa moduły kogeneracyjne Tedom Premi 22 SP	WARIANT II agregat kogeneracyjny Tedom Plus 44 AP wspomagany pompą ciepła Viessmann Vitocal 300	WARIANT III kocioł gazowy Valliant VU Plus 205-5
Źródło energii cieplnej	układ kogeneracyjny	pompa ciepła, agregat kogeneracyjny	kocioł gazowy
Źródło energii elektrycznej	układ kogeneracyjny	agregat kogeneracyjny	sieć elektroenergetyczna
Roczny koszt zakupu gazu [PLN]	$V \cdot t \cdot c_g = 7,74 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 8760 \text{ h} \cdot 1,64 \text{ PLN}/\text{m}^3 = 111196 \text{ zł}$, 1 agregat 222392 – 2 agregaty	$V \cdot t \cdot c_g = 16,4 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 8760 \text{ h} \cdot 1,64 \text{ PLN}/\text{m}^3 = 235608 \text{ zł}$	$V \cdot t \cdot c_g = 1,68 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 8760 \text{ h} \cdot 1,64 \text{ PLN}/\text{m}^3 = 24136 \text{ zł} - 1 \text{ dom}$, 144816 zł – 6 domów
Roczny koszt energii elektrycznej [PLN]	0,00	0,00	$Q_{\text{el}} \cdot t \cdot c_e = 6,76 \text{ kW} \cdot 8760 \text{ h} \cdot 0,36 \text{ PLN}/\text{kWh} = 21\,318 \text{ zł} - 1 \text{ dom}$, 127908 zł – 6 domów
Suma kosztów rocznych zakupu gazu i energii elektrycznej [PLN]	222392 zł	235608 zł	144816 + 127908 = 272724 zł
Oszczędności z zakupu gazu i energii elektrycznej w porównaniu wariantu III z I i III z II		272724 – 222392 = 50332 zł 272724 – 235608 = 37116 zł	
Okres zwrotu kosztów z inwestycji w agregat kogeneracyjny		150400 (suma kosztów inwestycyjnych z tab. 3. dla wariantu I)/50332 = 5,74, okres zwrotu niecałe 6 lat; 199400 (suma kosztów inwestycyjnych z tab. 3. dla wariantu II)/37116 = 11,08, okres zwrotu ponad 11 lat	

W tabeli 4. przyjęto następujące oznaczenia: V – zużycie gazu przez urządzenie, m^3/h [t] – czas pracy instalacji w roku [+], h , c_g – cena m^3 gazu ziemnego [PLN/ m^3], Q_{el} – zapotrzebowanie na energię elektryczną dla jednego domu, kW, c_e – cena kWh energii elektrycznej [PLN/kWh].



Rys. 5. Kosztowe wykonania przyłącza instalacji energetycznej w zależności od odległości wsi od sieci energetycznej

Fig. 5. Cost of the connection to the energy system, depending on the distance of the village from the power grid

Z rysunku 5. wynika, że koszty zakupu i montażu instalacji kogeneracyjnej dla wioski z przykładu są porównywalne z kosztami instalacji tradycyjnej na wiosce odległej od sieci elektroenergetycznej o ok. 6 km, a układu kogeneracyjnego z pompą ciepła o ok. 9,3 km. Jest to spowodowane tym, że koszty instalacji kogeneracyjnej we wsi nie zwiększają się wraz z odległością, ponieważ moduł kogeneracyjny jest indywidualnym źródłem energii instalowanym w pobliżu odbiorców.

6. Podsumowanie

Prowadzono analizę pozwalającą na dobór agregatu kogeneracyjnego współpracującego z pompą ciepła w celu zaopatrzenia małej wsi w ciepło i energię elektryczną. Rozpatrzono trzy warianty (I – dwa agregaty kogeneracyjne, II – agregat kogeneracyjny wspomagany pompą ciepła, III – kotły gazowe) pokrycia zapotrzebowania na energię i dokonano analizy ekonomicznej. Po przeprowadzeniu wstępnej analizy ekonomicznej dla danego przykładu można stwierdzić opłacalność stosowania układów CHP do zasilania w energię elektryczną i ciepło, przy oddaleniu wioski od źródła energii o ok. 6 km z zastosowaniem dwóch modułów kogeneracyjnych Tedom Premi 22 SP lub o ok. 9,3 km

z zastosowaniem pompy ciepła Viessmann Vitocal 300 współpracującej z agregatem kogeneracyjnym Tedom Plus 44 AP. Roczne koszty eksploatacji modułów są niższe w porównaniu z konwencjonalnym kotłem c.o. i zasilaniem w energię elektryczną z sieci. Argumenty te przemawiają za stosowaniem kogeneracji i pompy ciepła. Rozproszona kogeneracja pozwala zaopatrywać w energię wsie, które nie mają możliwości podłączenia do centralnej sieci energetycznej, ale posiadają niewielkie źródło gazu. Pozwala to rokować rozwój tej technologii. Do użytkowania instalacji hybrydowej konieczna jest wykwalifikowana obsługa, by instalacja ta przynosiła jak najlepsze efekty.

Literatura

1. Skorek J., Kalina J.: Gazowe układy kogeneracyjne. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2005.
2. Pisarev V., Czarnik G.: Analiza ekonomiczna wykorzystania układu kogeneracyjnego dla małych osiedli (wsi). Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Budownictwo i Inżynieria Środowiska, 57, 4, 2010.
3. Pająk L.: Optymalizacja kompozycji i harmonogramu pracy hybrydowych źródeł energii. Część I. Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, 2009.
4. Agregaty kogeneracyjne Tedom. Energia XXI wieku. Oferta handlowa wstępna.
5. www.viessmann.pl. Produkty – pompy ciepła.
6. www.operator.enea.pl/index.php?page_id=333.
7. www.twenga.pl/.
8. www.tfkable.pl/.
9. www.ekosklep.ekologika.com.pl.
10. www.pompaciepła.eu/.
11. www.prim-lublin.pl/.

THE CONCEPT OF AN ENERGY SUPPLY OF A SMALL VILLAGE WITH THE USE OF A COGENERATIVE INSTALLATION AND A GEOTHERMAL HEAT PUMP

Summary

The aim of this publication was to present the idea of a thermal and electric energy supply of a small village with the use of a cogenerative installation and a geothermal heat pump. Conducted an analysis which allows to select a cogeneration unit co-operating with the heat pump to supply the small village of heat and electricity. Considered three options (I – two cogeneration units, II – CHP unit assisted heat pump, III – gas boilers) for demand response in energy and performed economic analysis. After conducting a preliminary economic analysis for the example it can be concluded profitability of used CHP system for electric power and heat supply, assuming the distance from the village of energy source by about 6 km from the use of two Tedom Premi 22 SP cogeneration modules or about 9.3 km using Viessmann Vitocal 300 heat pump co-operating with Tedom Plus 44 AP cogeneration unit. Annual operating costs of modules are lower compared to conventional heating boiler and the supply of electricity from the grid. These arguments militate in

favor of the use of cogeneration and heat pumps. Distributed cogeneration allows to provide energy to the small villages that do not have the ability to connect to the central power grid, but have a small gas source. This permit to negotiate the development of this technology. To use the hybrid system is necessary qualified staff to bring the best results.

Keywords: cogeneration, heat pump, energy

DOI: 10.7862/rb.2013.10

Przesłano do redakcji w październiku 2012 r.

Przyjęto do druku w czerwcu 2013 r.