

# WYBÓR ŹRÓDŁA ZASILANIA POMIĘDZY KOTŁOWNIĄ NA BIOPALIWO A POMPĄ CIEPŁA DLA OBIEKTÓW W ZABUDOWIE SZEREGOWEJ

Justyna SIERGIEJUK\*, Andrzej GAJEWSKI

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45 A, 15-351 Białystok

**Streszczenie:** W artykule dokonano wyboru źródła zasilania w ciepło pomiędzy kotłownią na biopaliwo a pompą ciepła dla obiektów w zabudowie szeregowej o zapotrzebowaniu na moc cieplną równą 148,97 kW. Dobrano pompy ciepła z sondami gruntowymi, natomiast jako biopaliwo przyjęto pelety. Po dokonaniu doboru urządzeń oszacowano koszty inwestycyjne i roczne koszty eksploatacyjne analizowanych źródeł zasilania w ciepło. Uzyskane koszty obu inwestycji pozwoliły na wybór źródła bardziej opłacalnego pod względem ekonomicznym.

*Słowa kluczowe:* pelety, pompy ciepła, koszty inwestycyjne, koszty eksploatacyjne.

## 1. Wprowadzenie

W dzisiejszych czasach istnieje wiele możliwości ogrzewania budynków i przygotowania ciepłej wody użytkowej. Najczęściej wybierane są rozwiązania najtańsze, chociaż decydujący wpływ ma tu dostępność użytkowników do poszczególnych paliw.

Przy wyborze źródła ciepła zauważa się także tendencję do dbałości o środowisko. Związane jest to z wprowadzaniem zaostrzonych przepisów dotyczących emisji spalin do atmosfery, która powoduje szereg konsekwencji takich jak: wzrost efektu cieplarnianego, niepożądany wpływ na zdrowie ludzi, kwaśne deszcze negatywnie wpływające na wody, roślinność, a także obiekty budowlane (Zalewski, 2001). Istotnym problemem jest również fakt wyczerpywania się zasobów paliw kopalnych. Z tego powodu popularne stają się niekonwencjonalne źródła energii. W ciepłownictwie najpopularniejsze z nich są biopaliwa oraz urządzenia takie jak kolektory słoneczne korzystające z energii słonecznej, a także pompy ciepła czerpiące energię między innymi z gruntu, wody czy powietrza. Zainteresowanie biopaliwem ciągle rośnie ze względu na możliwość wykorzystania odpadowej biomasy powstającej głównie w rolnictwie. Instalacje z pompą ciepła przedstawiane są przez producentów jako inwestycje proekologiczne oraz opłacalne w eksploatacji, ponieważ nie korzystają z paliw konwencjonalnych, ale z energii otoczenia.

Z powodu wzrastającej popularności biopaliw oraz pomp ciepła artykuł został poświęcony właśnie tym

źródłom zasilania budynków w ciepło. Celem artykułu jest dokonanie wyboru pomiędzy wspomnianymi źródłami ciepła na podstawie kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych.

## 2. Charakterystyka pomp ciepła oraz biopaliw

Początek opracowania podstaw teoretycznych sprężarkowej pompy ciepła to rok 1834. Inicjatorem był Pelletan, który zauważył możliwość wykorzystania ciepła powstającego w wyniku odparowania soli. Idea wykorzystania pomp ciepła do ogrzewania została wymyślona przez Thomsona w roku 1852. Pierwsza instalacja wykorzystująca to urządzenie do ogrzewania domu powstała w 1928 roku. Jej twórcą był Haldane (Zalewski, 2001). Pompy ciepła dzielą się na sprężarkowe, sorpcyjne, termoelektryczne oraz strumienicowe, chemiczne, magnetyczne, wykorzystujące efekt wirowy czy efekt elektrodyfuzji.

Sprężarkowa pompa ciepła zbudowana jest z wymienników ciepła, sprężarki oraz elementów dławiących i regulujących. Wymiennikami ciepła są parownik i skraplacz. Praca tych urządzeń polega na poborze energii niskotemperaturowej w dolnym źródle przez nośnik ciepła, który następnie trafia do pompy ciepła. Czynnik roboczy znajdujący się w parowniku pompy ulega odparowaniu na skutek ogrzania przez ciepło pochodzące z dolnego źródła. Sprężarka, do której dostarczana jest energia wykonuje pracę sprężania powodując wzrost temperatury i ciśnienia pary czynnika

\* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: j.siergiejuk@gmail.com

od ciśnienia parowania do ciśnienia kondensacji. Następnie para dostaje się do skraplacza, w którym oddawane jest ciepło do źródła górnego i zachodzi kondensacja czynnika. Skroplony czynnik przepływa przez zawór rozprężny, dzięki czemu spada jego temperatura oraz ciśnienie od ciśnienia skraplania do ciśnienia parowania, a następnie trafia do parownika i obieg się powtarza.

W celu uzyskania energii niskotemperaturowej, niezbędnej do pracy pompy ciepła, potrzebne są tak zwane źródła dolne, czyli miejsca, z których pobierane jest ciepło i następnie dostarczane do parownika. Dzielą się one na naturalne, takie jak: grunt, wody powierzchniowe, podziemne, powietrze atmosferyczne, promieniowanie słoneczne oraz na sztuczne, czyli gazy, spaliny, ścieki, woda powrotna w systemach ciepłowniczych (Lewandowski, 2006). Dolne źródła energii powinny posiadać następujące cechy (Zalewski, 2001; Rubik, 2006):

- w miarę wysoką i niezmienną temperaturę (wydajność źródła powinna być najwyższa w okresie największego zapotrzebowania na energię),
- dużą pojemność cieplną,
- nie powinny powodować korozji,
- nietrudny dostęp,
- koszty związane z budową instalacji oraz pozyskiwaniem energii z tych źródeł powinny być jak najniższe.

Sprężarkowe pompy ciepła mogą pracować w układzie monowalentnym. Jest to tak zwana eksploatacja jednosystemowa polegająca na zastosowaniu pompy ciepła jako jedyne źródła ciepła dla instalacji. Drugim układem jest układ biwalentny (eksploatacja dwusystemowa), w którym pompa ciepła współpracuje z innymi urządzeniami grzewczymi np. z kotłem na olej czy gaz. Układ ten może funkcjonować jako system rozdzielony (alternatywny). W tym przypadku przy niższym zapotrzebowaniu na ciepło pracuje sama pompa ciepła. Na podstawie punktu biwalentnego wyznaczana jest temperatura powietrza zewnętrznego, przy której następuje wyłączenie pracy pompy ciepła i włączenie dodatkowego źródła ciepła. Oba urządzenia mogą pracować równocześnie w momencie, gdy pompa ciepła nie jest w stanie sama pokryć wymaganego zapotrzebowania na ciepło. Dodatkowe źródło ciepła dogrzewa wodę wcześniej podgrzaną przez pompę ciepła. Jest to system równoległy. Istnieje również system mieszany, w którym pompa ciepła początkowo pracuje sama. Następnie przy odpowiednio ustalonej temperaturze włączane jest dodatkowe szczytowe źródło ciepła. Gdy temperatura zewnętrzna spada poniżej ustalonej temperatury, następuje wyłączenie pompy ciepła i kocioł pracuje sam (Rubik, 2006; Recknagel i in. 2008).

Biopaliwo jest to paliwo otrzymywane z biomasy. Według Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 14 sierpnia 2008 roku (Dz. U. nr 156 z 2008 r., poz. 969) „biomasa są to stałe lub ciekłe substancje pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego, które ulegają biodegradacji, pochodzące z produktów, odpadów i pozostałości z produkcji rolnej oraz leśnej, a także

przemysłu przetwarzającego ich produkty, a także części pozostałych odpadów, które ulegają biodegradacji”. Biomasa składa się z substancji pokarmowych (węglowodany i skrobie) oraz energetycznych (lignina, celuloza, hemiceluloza), dlatego wykorzystywana jest zarówno jako pokarm dla ludzi i zwierząt, a także produkt do pozyskiwania energii (Lewandowski, 2006; www.pelet.com.pl).

Biomasę pozyskuje się głównie z rolnictwa i można podzielić ją na:

- biomasę stanowiącą produkt odpadowy (słoma, niewykorzystane zboże),
- biomasę pochodzących z celowych upraw roślin energetycznych.

Oprócz rolnictwa źródłem biomasy jest także (Szecówka, 2009):

- leśnictwo,
- sadownictwo,
- przemysł drzewny,
- przemysł spożywczy,
- oczyszczalnie ścieków.

Energia zawarta w biomacie powstaje dzięki magazynowaniu energii słonecznej w wyniku procesu fotosyntezy. Biomasa pochłania zaledwie 1% energii, która dociera do Ziemi. W celu wykorzystania zakumulowanej energii można przeprowadzać (Lewandowski, 2006; Juliszewski, 2009):

- spalanie bezpośrednie biomasy (na przykład w kotłach spalających słomę),
- współspalanie biomasy z węglem, gazem, olejem opałowym,
- przetwarzanie biomasy i spalanie powstałych produktów.

Najniższa wartość opałowa biomasy nadającej się do spalania bezpośredniego wynosi 6,8 MJ/kg (Lewandowski, 2006).

Przed każdym procesem przetwarzania biomasy stosuje się wstępne zabiegi takie jak suszenie i rozdrabnianie (Szecówka, 2009). Do procesów przetwarzania biomasy należy kondycjonowanie, fermentacja, rozkład termiczny oraz estryfikacja (Lewandowski, 2006; Szecówka, 2009).

Biopaliwa dostępne są w zarówno w stanie stałym jak i ciekłym oraz gazowym. Do celów ogrzewania stosuje się przede wszystkim biopaliwa stałe. Te w stanie ciekłym używane są głównie jako paliwa do pojazdów. Forma gazowa paliw stosowana jest w ciepłownictwie oraz do wytwarzania energii elektrycznej. Wśród biopaliw stałych wyróżnia się:

- materiały z naturalnego drewna (pelety, zrębki, brykiety, ścinki, trociny, wióry, pył drzewny),
- modyfikowane rośliny energetyczne (wierzba energetyczna, trzciny, trawy),
- pochodzenia rolnego (ziarna roślin, słomy zbożowe, rzepakowe, kukurydzy, łodygi, trawy),
- odpady organiczne (zageszczony i osuszony osady ściekowe, gnojowica, makulatura).

Ciekłe biopaliwa to:

- paliwa z ekstrakcji roślin oleistych („biodiesel”),

- paliwa z fermentacji alkoholowej (metanol, etanol),
- płynne z drewna (żywice, oleje, benzyny).

Natomiast gazowe biopaliwa można podzielić na:

- gaz z drewna („holzgas” w wyniku zgazowania, pirolizy),
- gaz z fermentacji osadów i ścieków, gnojowicy,
- gaz z fermentacji odpadów przetwórstwa spożywczego i rolniczego,
- gaz wysypiskowy. (Lewandowski, 2006; www.pelet.com.pl).

Produkcja peletów ma swoje początki w latach 80-tych XX-ego wieku w Ameryce Północnej i Skandynawii. Obecnie najbardziej popularne są w Niemczech, Austrii, USA, Kanadzie, zaś w Szwecji, Belgii, Holandii i Danii ich zużycie znacznie przekracza produkcję (www.pelet.com.pl; www.kostrzewa.com.pl). Pelet w języku angielskim oznacza kulkę, tabletkę, granulkę. Pelety nazywane są paliwem XXI-ego wieku. Produkcja peletów polega na sprasowaniu pod wysokim ciśnieniem suchych odpadów z drewna lub innych odpadów naturalnych i uzyskanie z nich kulek, walców (tak zwanych minibrzykiecików) o określonym kształcie i strukturze. Najczęściej mają one średnicę 6 do 25 mm i długość 20-30 mm (www.szkozenia-junkers.pl; mojaenergia.pl). Materiałem do produkcji peletu mogą być (www.pelet.com.pl):

- trociny, wióry, zrębki,
- słoma,
- nasiona słonecznika,
- rzepak,
- pestki owoców,
- mikstant cukrowy.

Surowiec służący do produkcji pelet wpływa na ich kolor. W przypadku użycia drzew liściastych np. dębu czy drzew egzotycznych lub w przypadku prowadzenia procesu suszenia w instalacjach bębnowych, kolor jest ciemny (www.pelet.com.pl).

Proces tworzenia pelet zwany jest inaczej paletyzacją, granulacją lub aglomerowaniem. Kolejnymi etapami procesu są mielenie surowca, suszenie i zagęszczanie, prasowanie z dodatkiem pary wodnej oraz formowanie pod wysokim ciśnieniem (około 15-60 MPa) przy użyciu pary wodnej lub wody (www.pelet.com.pl).

Zalety pelet: (Recknagel, i in., 2008; www.pelet.com.pl):

- dostępność,
- pewność dostaw,
- stabilna cena,
- odporność na samozapłon,
- odporność na procesy gnilne (nie pochłania wilgoci, jest trwały i stabilny biologicznie),
- niska emisja tlenków azotu, dwutlenków siarki,
- niewielka ilość popiołu,
- popiół wykorzystywany jest jako nawóz,
- tworzenia nowych miejsc pracy w danym regionie (wytwarzanie biomasy i przetwarzanie jej na biopaliwo na najczęściej charakter lokalny).

### 3. Dobór urządzeń do analizowanych źródeł zasilania w ciepło oraz określenie kosztów inwestycyjnych

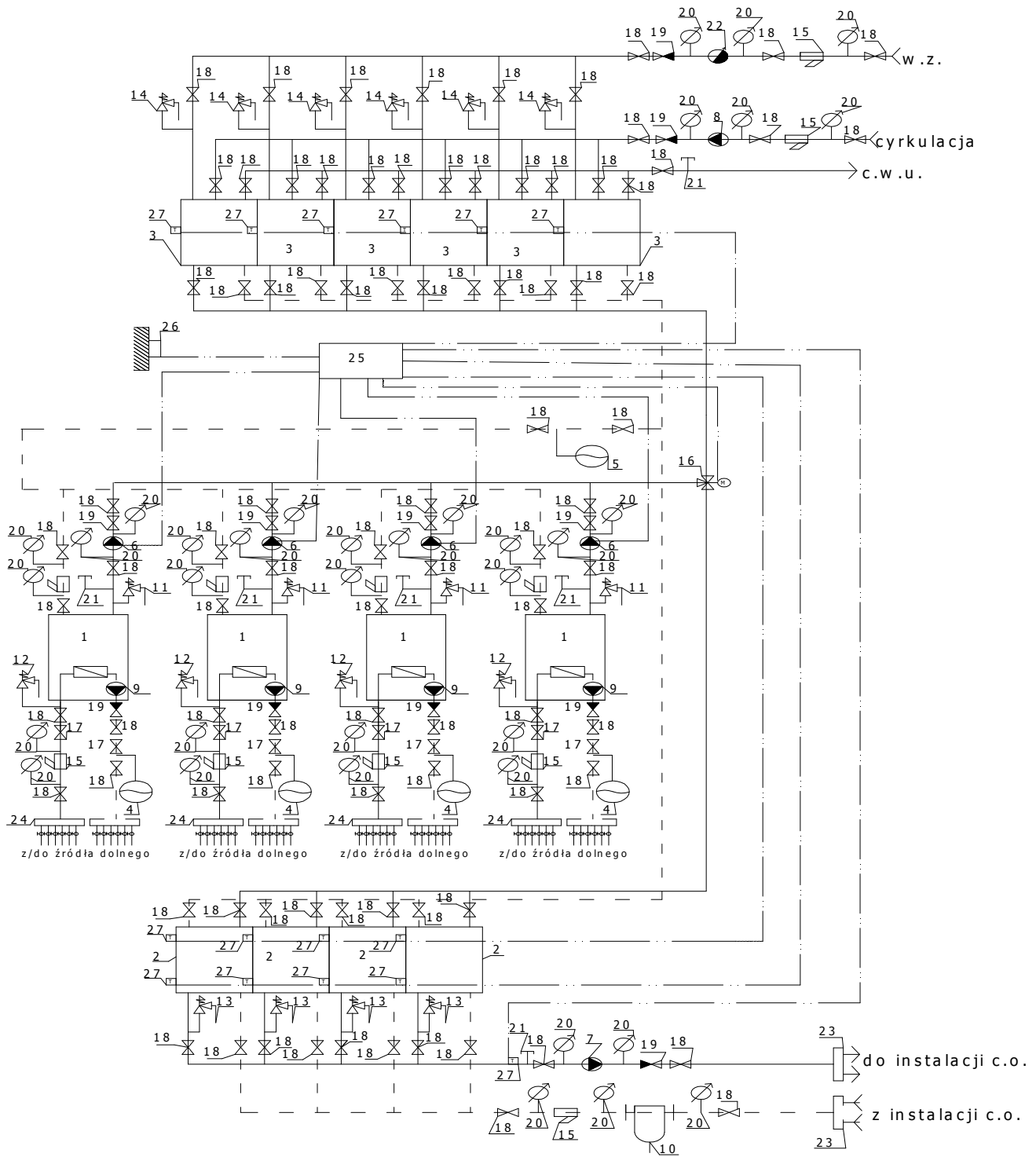
W pracy dokonano analizy źródła ciepła dla obiektów w zabudowie szeregowej z lokalizacją w Jeżewie Starym. Zapotrzebowanie na moc cieplną równe jest 148,97 kW, natomiast liczba osób korzystających z ciepłej wody użytkowej wynosi 63.

Pierwszym analizowanym rozwiązaniem jest źródło zasilania w ciepło z pompą ciepła. Wybrano pompy ciepła solanka/woda z sondami gruntowymi. Tego rodzaju sposób pozyskiwania energii niskotemperaturowej wiąże się z wyższymi, w porównaniu z kolektorami poziomymi, kosztami inwestycyjnymi. Jest to jednak rozwiązanie pozwalające na lepszą pracę pompy ciepła. Energia pozyskiwana jest z głębszych warstw gruntu, gdzie temperatura nie zmienia się tak szybko jak przy powierzchni i pozwala na uzyskanie niższych kosztów eksploatacyjnych. Nie jest w tym przypadku wymagana duża powierzchnia działki (Zalewski, 2001; www.szkozenia-junkers.pl).

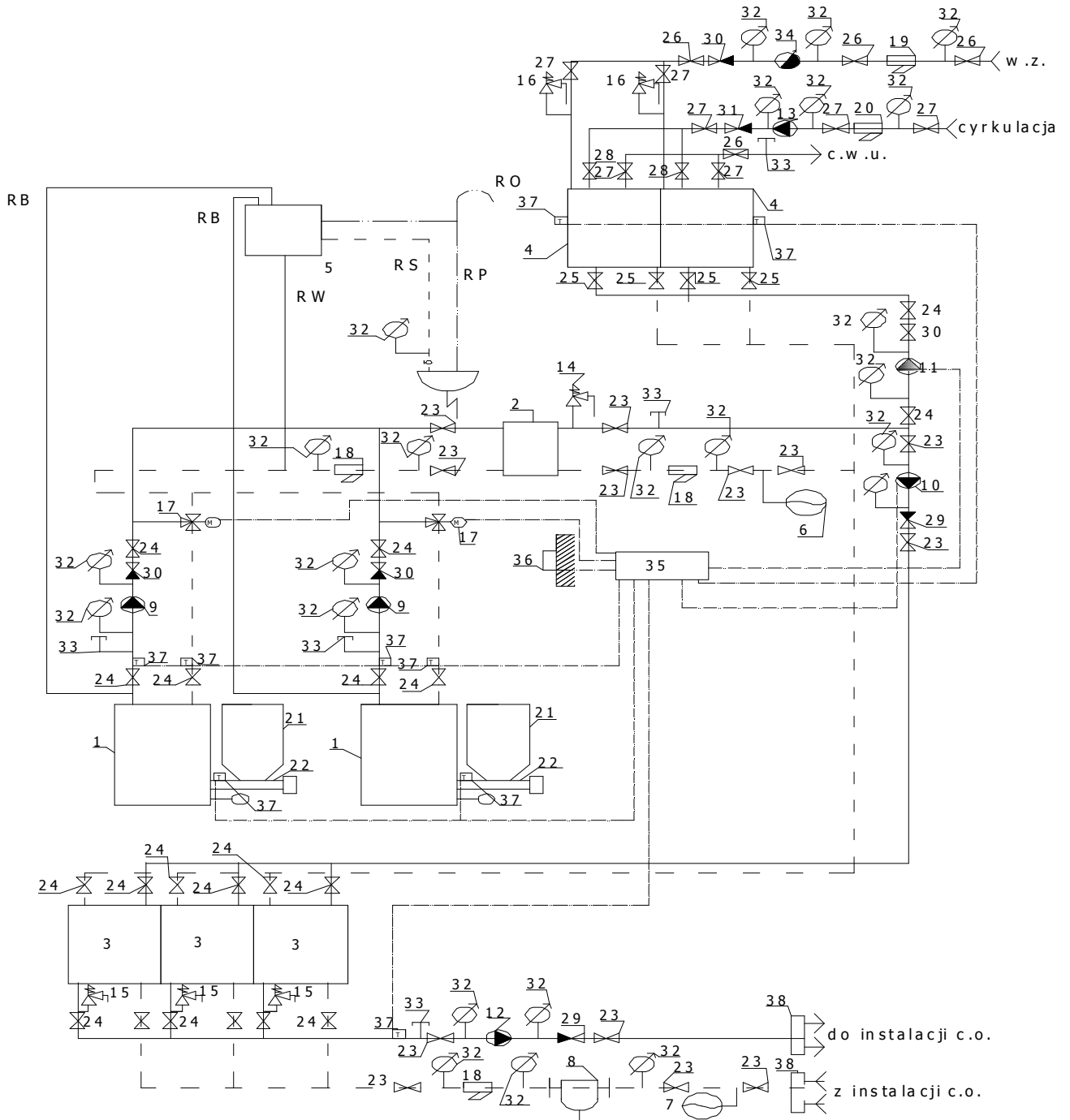
Schemat technologiczny układu z pompą ciepła pokazano na rysunku 1. Dobrano cztery pompy ciepła typu geoTHERM VWS 460/2 firmy Vaillant, każda o mocy grzewczej równej 42,5 kW. W wyniku obliczeń przyjęto po 6 odwiertów, każdy o głębokości 95 m dla jednej pompy ciepła. Wybrano sondy w postaci U-rurki o średnicy 32 × 2,9 mm. W celu oddzielenia obiegu pompy ciepła od obiegu instalacji c.o. zastosowano zbiorniki buforowe pełniące również funkcję akumulatorów ciepła. Dobrano cztery bufor wody grzewczej typu VPS 750 firmy Vaillant. Dodatkowo, oprócz wspomnianych już urządzeń, dobrano także: sześć podgrzewaczy ciepłej wody typu geoSTAR VIH RW 300 firmy Vaillant, magetoodmulacz typu OISm 300/65 firmy SPAW-TEST, przeponowe naczynie wzbiorcze typu N 200 firmy Reflex oraz naczynie wzbiorcze typu NG 35 przy każdej pompie ciepła.

W wyniku zsumowania cen jednostkowych za poszczególne urządzenia oraz po dodaniu kosztów na wykonanie odwiertów, a następnie kosztów na pozostałe urządzenia i robociznę (przyjęto 10% ceny dobranych urządzeń bez odwiertów i sondy) otrzymano koszty analizowanej inwestycji w wysokości 594 010,02 zł.

W drugim przypadku analizie poddano kotłownię na biopaliwo. Jako biopaliwo wybrano pelety. Pelety pakowane są między innymi w worki 25 kg, co umożliwia łatwą aplikację paliwa do zbiornika urządzenia grzewczego. Przyjęto specjalne kotły na pelety ze zbiornikiem na paliwo o pojemności 400 litrów. Schemat technologiczny opisywanej kotłowni przedstawiono na rysunku 2.



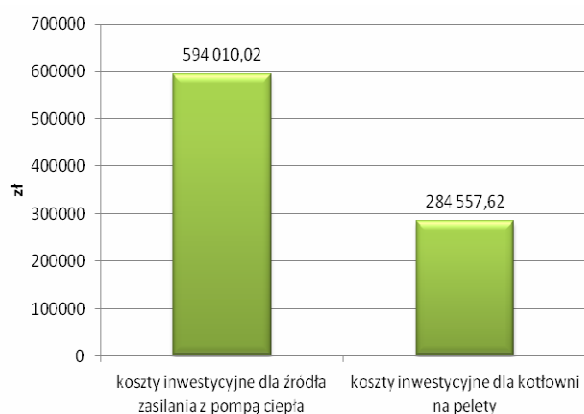
Rys. 1. Schemat technologiczny układu z pompą ciepła, gdzie cyframi oznaczono: 1 – pompa ciepła, 2 – bufor, 3 – podgrzewacz ciepłej wody użytkowej (cwu), 4 – przeponowe naczynie zbiorcze (strona zimna), 5 – przeponowe naczynie zbiorcze N 200, 6 – pompa obiegu, 7 – pompa obiegu instalacji centralnego ogrzewania (c.o.), 8 – pompa cyrkulacyjna, 9 – pompa obiegu solanki, 10 – magnetoodmulacz, 11 – zawór bezpieczeństwa przy pompie ciepła, 12 – zawór bezpieczeństwa przy pompie ciepła (strona zimna), 13 – zawór bezpieczeństwa na obiegu c.o., 14 – zawór bezpieczeństwa na przewodzie wody zimnej, 15 – filtr siatkowy, 16 – zawór 3-drogowy przełączający, 17 – zawór do napełniania i opróżniania obiegu solanki, 18 – zawór odcinający, 19 – zawór zwrotny, 20 – manometr, 21 – termometr, 22 – wodomierz, 23 – rozdzielacz centralnego ogrzewania (c.o.), 24 – rozdzielacz obiegu solanki, 25 – regulator pompy ciepła, 26 – czujnik temperatury zewnętrznej, 27 – czujnik temperatury



Rys. 2. Schemat technologiczny kotłowni na pelety, gdzie cyframi i literami oznaczono: 1 – kocioł, 2 – wymiennik ciepła, 3 – bufor, 4 – podgrzewacz ciepłej wody użytkowej (cwu), 5 – naczynie bezpieczeństwa otwarte, 6 – przeponowe naczynie wzbiorcze NG 140, 7 – przeponowe naczynie wzbiorcze N 250, 8 – magnetooodmulacz, 9 – pompa obiegu kotłowego, 10 – pompa obiegu centralnego ogrzewania (c.o.), 11 – pompa obiegu ciepłej wody użytkowej (cwu), 12 – pompa obiegowa instalacji centralnego ogrzewania (c.o.), 13 – pompa cyrkulacyjna, 14 – zawór bezpieczeństwa, 15 – zawór bezpieczeństwa, 16 – zawór bezpieczeństwa na przewodzie wody zimnej, 17 – zawór mieszający, 18-20 – filtr siatkowy, 21 – zbiornik paliwa, 22 – podajnik ślimakowy, 23-28 – zawory odcinające, 29-31 – zawory zwrotne, 32 – manometr, 33 – termometr, 34 - wodomierz, 35 - regulator pracy kotła, 36 – czujnik temperatury zewnętrznej, 37 – czujnik temperatury, 38 – rozdzielacz centralnego ogrzewania (c.o.), RB – rura bezpieczeństwa, RW – rura wzbiorcza, RO – rura odpowietrzająca, RP – rura przelewowa, RS – rura sygnalizacyjna

W przypadku kotłowni na biopaliwo dobrano dwa kotły grzewcze typu Pellets Fuzzy Logic firmy Kostrzewa, każdy o mocy 75 kW. W celu oddzielenia obiegu kotłowego od części instalacyjnej dobrano na podstawie programu komputerowego HEXE firmy Danfoss lutowany płytowy wymiennik ciepła typu XB 51H-1 40. Część kotłowa została zabezpieczona otwartym naczyniem bezpieczeństwa typu NW 100 firmy Pa-met, natomiast w części instalacyjnej zastosowano przeponowe naczynie wzbiorcze N 200 firmy Reflex. Pozostałe dobrane urządzenia w kotłowni to: dwa pojemnościowe podgrzewacze ciepłej wody Vitocell-300 V EVI firmy Viessmann, dwa zbiorniki buforowe Vitocell 100-E SVP firmy Viessmann, każdy o pojemności 400 litrów, magetoodmulacz typu OISm 300/65 firmy SPAW-TEST. W przypadku kotłowni konieczne było zaprojektowanie komina. Zastosowano dwuścienny komin systemu Dualinox firmy Poujoulat o średnicy 200/250 mm. Ceny powyższych urządzeń, komina wraz z omurowaniem, koszt budowy magazynu na paliwo (obliczono powierzchnię magazynu równą 78 m<sup>2</sup>) oraz koszty na pozostałe urządzenia i robociznę (równe 10% ceny urządzeń bez omurowania komina) dały łączną sumę na wykonanie inwestycji równą 284 557,62 zł.

Porównanie nakładów inwestycyjnych analizowanych źródeł zasilania w ciepło dla obiektów w zabudowie szeregowej przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Koszty inwestycyjne analizowanych źródeł ciepła

#### 4. Koszty eksploatacyjne analizowanych źródeł zasilania w ciepło

W celu określenia kosztów eksploatacyjnych wyznaczono na podstawie danych Ministerstwa Infrastruktury ([www.mi.gov.pl](http://www.mi.gov.pl)):

- liczbę dni sezonu grzewczego – 232 dni,
- liczbę dni poza sezonem grzewczym – 133 dni.

Następnie na podstawie powyższych danych obliczono liczbę stopniocdni równą 4 095.

W przypadku instalacji z pompą ciepła koszty eksploatacyjne stanowią przede wszystkim opłaty za energię elektryczną. Obliczono całkowite zużycie energii elektrycznej w ciągu roku, korzystając z wzorów:

- 1) na ilość energii elektrycznej  $E_s$  do napędu sprężarek pomp ciepła:

$$E_s = \frac{h_{c.o.} \cdot Q_{c.o.} + h_{cwu} \cdot \Phi_{hsr}}{\varepsilon} [kWh/a] \quad (1)$$

gdzie:  $h_{c.o.}$  jest liczbą godzin pracy instalacji c.o. przy parametrach obliczeniowych w sezonie grzewczym w h/a,  $Q_{c.o.}$  jest zapotrzebowaniem na moc na cele grzewcze budynku w kW,  $h_{cwu}$  jest ilością godzin pracy na potrzeby cwu poza sezonem grzewczym w h/a,  $\Phi_{hsr}$  jest średnią godzinową mocą cieplną na cele cwu w kW,  $\varepsilon$  jest współczynnikiem COP pompy ciepła (przyjęto  $\varepsilon = 3$ );

- 2) ilość energii elektrycznej  $E_{ps}$  do pracy pomp obiegu solanki:

$$E_{ps} = (P \cdot h_{c.o.} + P \cdot h_{cwu}) [kWh/a] \quad (2)$$

gdzie  $P$  jest poborem mocy elektrycznej przez pompę obiegu solanki dla jednej pompy ciepła w kW.

W wyniku obliczeń uzyskano całkowitą ilość energii elektrycznej potrzebnej do pracy analizowanego układu z pompami ciepła równą 145 036,39 kWh. Następnie na podstawie cen i stawek dla grupy taryfowej G11 Taryfy PKP Energetyka dla Wschodniego Rejonu Dystrybucji (Taryfa PKP Energetyka S.A., 2010) określono wysokość opłat za energię elektryczną w ciągu roku. Wyniki przedstawiono w tabeli 1.

Tab. 1. Opłata za energię elektryczną w ciągu roku w zł/a do pracy pomp ciepła

	Cena jednostkowa	Ilość energii elektrycznej	Całkowita cena [zł/a]
<b>Obrót</b>			
Cena za energię elektryczną czynną	0,2476 zł/kWh	145 036,39 kWh/a	35 911,01
<b>Dystrybucja</b>			
Składnik stały stawki sieciowej (układ pomiarowy 3-fazowy)	3,23 zł/m-c za moc zamówioną	56 kW	2 170,56
Składnik jakościowy stawki systemowej	0,077 zł/kWh	145 036,39 kWh/a	1 116,78
Stawka opłaty przejściowej (dla rocznego zużycia energii > 1 200 kWh)	5,03 zł/m-c za moc zamówioną	56 kW	3 380,16
Składnik zmienny stawki sieciowej	0,1888 zł/kWh	145 036,39 kWh/a	27 381,87
Stawka opłaty abonamentowej (okres rozliczeniowy 1 – miesięczny)	2,4 zł/m-c	-	28,80
Razem w zł			69 990,18

Na podstawie tabeli 1 można stwierdzić, że największy udział w opłatach za energię elektryczną ciągu roku stanowią opłaty za energię elektryczną czynną oraz opłaty za składnik zmienny stawki sieciowej. Najmniejszy wpływ na roczne opłaty za energię elektryczną ma stawka opłaty abonamentowej.

Główne koszty eksploatacyjne związane z kotłownią na pelety stanowią koszty związane z zakupem paliwa. Ilość paliwa w sezonie grzewczym oraz na cele cwu poza sezonem grzewczym policzono kolejno ze wzorów (3) i (4) (Pieńkowski i in. 1999):

$$B_{c.o.} = \frac{y \cdot a \cdot 3,6 \cdot 24 \cdot S_d \cdot Q_{c.o.}}{Q_i \cdot \eta_{sr} (t_w - t_z)} \quad [kg/a] \quad (3)$$

$$B_{c.wu} = \frac{y \cdot a \cdot 3,6 \cdot 18 \cdot 133 \cdot \Phi_{hsr}}{Q_i \cdot \eta_{sr}} \quad [kg/a] \quad (4)$$

gdzie:  $y$  jest współczynnikiem zmniejszającym,  $a$  jest współczynnikiem zwiększającym,  $S_d$  jest liczbą stopniodni,  $Q_{c.o.}$  jest zapotrzebowaniem na moc cieplną w W,  $Q_i$  jest wartością opałową paliwa w kJ/kg,  $\eta_{sr}$  średnią eksploatacyjną sprawnością kotła,  $t_w$  jest średnią temperaturą w budynku w °C,  $t_z$  jest temperaturą zewnętrzną w °C,  $\Phi_{hsr}$  jest średnią godzinową mocą cieplną na cele c.w.u. w W.

Całkowite roczne zapotrzebowanie na paliwo równe jest 87 403 kg/a. Założono, że pelety będą przechowywane w magazynie w workach o masie 25 kg, w ilości zapewniającej paliwo na cały rok. Przyjęto koszt pelet wraz z dostawą 799,10 zł/t, co daje łączną kwotę za roczny zapas paliwa równą 69 841,34 zł/a. Dodatkowo doliczone roczne wynagrodzenie palacza równe 8 640 zł, przy założeniu, że będzie on zatrudniony na ¼ etatu.

Tak jak w przypadku pomp ciepła, również doliczono opłatę za energię elektryczną potrzebną do pracy do kotłów. Zużycie energii elektrycznej obliczono z wzoru:

$$E_{ps} = (P_{k1} \cdot h_{c.o.} + P_{k2} \cdot h_{c.wu}) \quad [kWh/a] \quad (5)$$

gdzie:  $P_{k1}$  jest poborem energii elektrycznej przez kotły w okresie grzewczym w kW,  $P_{k2}$  jest poborem energii elektrycznej przez kotły w okresie poza sezonem grzewczym w kW.

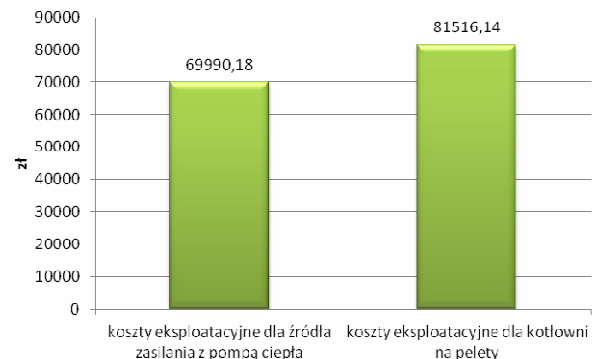
Roczne zużycie energii elektrycznej przez dobrane kotły równa jest 6 367 kWh/a. Koszty poniesione za pobór energii elektrycznej przedstawiono w tabeli 2.

Po zsumowaniu opłat za zakup i transport paliwa, wynagrodzenie palacza oraz za pobór energii elektrycznej otrzymano łączne koszty eksploatacyjne kotłowni na pelety równe 81 516,14 zł.

Porównanie analizowanych kosztów przedstawiono na rysunku 4.

Tab. 2. Opłata za energię elektryczną w ciągu roku do pracy kotłów na pelety

	Cena jednostkowa	Ilość energii elektrycznej	Całkowita cena [zł/a]
<b>Obrót</b>			
Cena za energię elektryczną czynną	0,2476 zł/kWh	6 367 kWh/a	1 576,47
<b>Dystrybucja</b>			
Składnik stały stawki sieciowej (układ pomiarowy 3-fazowy)	3,23 zł/m-c za moc zamówioną	1,8 kW	69,77
Składnik jakościowy stawki systemowej	0,077 zł/kWh	6 367 kWh/a	49,03
Stawka opłaty przejściowej (dla rocznego zużycia energii > 1 200 kWh)	5,03 zł/m-c za moc zamówioną	1,8 kW	108,65
Składnik zmienny stawki sieciowej	0,1888 zł/kWh	6 367 kWh/a	1 202,09
Stawka opłaty abonamentowej (okres rozliczeniowy 1 – miesięczny)	2,4 zł/m-c	-	28,80
<b>Razem w zł</b>			<b>3 034,80</b>



Rys. 4. Koszty eksploatacyjne analizowanych źródeł ciepła

## 5. Wybór źródła zasilania w ciepło

Na podstawie uzyskanych kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych analizowanych źródeł ciepła dla obiektów w zabudowie szeregowej obliczono czas zwrotu nakładów inwestycji z pompą ciepła:

$$SPBT = \frac{I}{Z} \quad [lat] \quad (5)$$

gdzie:  $I$  jest różnicą nakładu inwestycyjnego na źródło z pompą ciepła i kotłowni na pelety,  $Z$  są rocznymi oszczędnościami w eksploatacji.

Obliczenia w wyniku których otrzymano wysoki koszt inwestycyjny źródła zasilania z pompą ciepła, niewielka różnica kosztów eksploatacyjnych analizowanych źródeł oraz obliczony na podstawie tych kosztów prosty czas zwrotu nakładów inwestycji z pompą ciepła wynoszący 27 lat, pokazały, że korzystniejszym pod względem ekonomicznym źródłem ciepła dla analizowanych obiektów jest kotłownia na pelety.

## 6. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonej analizy porównawczej kotłowni na biopaliwo i źródła zasilania z pompą ciepła dla obiektów w zabudowie szeregowej o zapotrzebowaniu na moc cieplną równą 148 970 W można sformułować przedstawione poniżej wnioski.

- Inwestycja źródła zasilania z pompą ciepła jest ponad dwukrotnie droższa od inwestycji kotłowni na pelety. Koszty związane z wykonaniem źródła zasilania z pompą ciepła wynoszą 594 010,02 zł, natomiast kotłowni na pelety 284 557,62 zł.
- Realizacja inwestycji, jaką jest źródło zasilania z pompą ciepła związana jest z zakupem czterech pomp ciepła, sześciu podgrzewaczy ciepłej wody użytkowej, czterech buforów wody grzewczej, dwóch przeponowych naczyń wzbiorniczych oraz wykonania wykopów pod sondy gruntowe i zakupu tych sond. Decydujący wpływ na wysokość tych kosztów mają ceny pomp ciepła oraz wykonanie odwiertów w gruncie, co stanowi 4/5 całkowitych kosztów.
- Kotłownia na pelety jest inwestycją, która wymaga zakupu dwóch kotłów ze zbiornikiem na paliwo oraz z automatycznym podajnikiem pelet, dwóch podgrzewaczy ciepłej wody użytkowej, dwóch buforów wody grzewczej, wymiennika ciepła, otwartego naczynia wzbiorniczego, przeponowego naczynia wzbiorniczego, budowy dwóch kominów oraz magazynu na pelety. Największe koszty zostaną poniesione w tym przypadku na budowę magazynu, a w dalszej kolejności na zakup kotłów i podgrzewaczy. Stanowi to również około 4/5 całkowitych kosztów.
- Wysoka cena pomp ciepła ma decydujący wpływ na to, że źródło zasilania z pompą ciepła jest inwestycją droższą w porównaniu z kotłownią na pelety.
- Koszty eksploatacyjne źródła zasilania z pompą ciepła są niższe od kosztów związanych z kotłownią na pelety. Różnica ta wynosi 11 525,96 zł w ciągu roku.
- Eksploatacja źródła zasilania z pompą ciepła wiąże się przede wszystkim z opłatą za pobór energii elektrycznej potrzebnej do pracy sprężarki pomp ciepła oraz zainstalowanych w pompie ciepła pomp obiegu źródła dolnego. Ilość pobieranej energii elektrycznej przez pompy ciepła w ciągu roku wyniesie 145 036,39 kWh. Roczne koszty eksploatacyjne wyniosą w tym przypadku 69 990,18 zł.
- Koszty związane z użytkowaniem kotłowni na pelety stanowią: opłata za zakup i transport pelet, których w ciągu roku potrzeba 87,4 tony, wynagrodzenie palacza oraz opłata za pobór energii elektrycznej potrzebnej do pracy podajnika ślimakowego. Roczna eksploatacja kotłowni na pelety wynosi 81 516,14 zł.
- Przy takich kosztach inwestycyjnych i eksploatacyjnych źródło zasilania z pompą ciepła zwróci się po 27 latach.
- Pomimo, że przy zastosowaniu instalacji z pompą ciepła nie korzysta się z paliw kopalnych, to koszty poniesione na zakup energii elektrycznej koniecznej do pracy pompy ciepła są porównywalne do tych jakie należy ponieść na zakup i transport pelet w przypadku kotłowni na pelety.

## Literatura

- Juliszewski T. (2009). Ogrzewanie biomasą. *Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne*, Warszawa.
- Lewandowski W. M. (2006). Proekologiczne odnawialne źródła energii. *Wydawnictwa Naukowo-Techniczne*, Warszawa.
- Pieńkowski K., Krawczyk D., Tumul W. (1999). Ogrzewnictwo. *Wydawnictwo Politechniki Białostockiej*, Białystok.
- Recknagel H., Schramek E. R. (2008). Kompendium wiedzy. Ogrzewnictwo, klimatyzacja, ciepła woda, chłodnictwo. *Omni Scala*, Wrocław.
- Rubik M. (2006). Pompy ciepła. *Ośrodek Informacji „Technika instalacyjna w budownictwie”*, Warszawa.
- Szecówka L. (2009). Ekologiczny efekt energetycznego wykorzystania biopaliw. *Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej*, Częstochowa.
- Taryfa PKP Energetyka S.A. (2010) z dnia 07.05.2010. *Taryfa PKP Energetyka S.A.*
- Zalewski W. (2001). Pompy ciepła sprężarkowe, sorpcyjne i termoelektryczne: podstawy teoretyczne, przykłady obliczeniowe. *Inżynierskie Przedsiębiorstwo Produkcyjno-Uslugowe MASTA*, Gdańsk.

## CHOICE OF POWER SOURCE OF HEAT BETWEEN BIOFUEL-FIRED BOILER ROOM AND HEAT PUMP FOR TERRACE HOUSES

**Abstract:** In paper choice between biofuel and heat pumps as heat sources for terrace house was made. Calculations for heat demand equaling 148,97 kW were made. Geothermal heat pumps were matched and pellets were chosen as a biofuel. Afterward capital and working costs for analyzed heat sources were calculated. Results showed which of both heat sources is more cost-effective investment.