

Aneta Strzałka*, M.Sc.

Rafał Strzałka*, M.Sc.

Ursula Eicker*, Prof. Dr. hab.

Roman Ulbrich**, Prof. Dr. hab. inż.

Mariusz Tańczuk**, Dr. inż.

* Hochschule für Technik Stuttgart, Schellingstr. 24, 70174 Stuttgart

** Politechnika Opolska, ul. Mikołajczyka 5, 45-271 Opole

DOŚWIADCZENIA W ZAKRESIE EKSPLOATACJI SYSTEMU CIEPŁOWNICZEGO OSIEDLA ENERGOOSZCZĘDNEGO SCHARNHAUSER PARK K. STUTTGARTU.

1 Wstęp

W chwili obecnej zapotrzebowanie na energię jest niemal w 90% pokrywane przy wykorzystaniu paliw kopalnych co powiązane jest ze znacznym negatywnym oddziaływaniem na środowisko naturalne. Poza negatywnym oddziaływaniem na środowisko naturalne produkcja energii oparta na paliwach kopalnych prowadzi do nieuchronnego ich wyczerpania się. Jedną z głównych możliwości redukcji negatywnych skutków wykorzystania paliw kopalnych jest zwiększenie udziału odnawialnych źródeł energii w pokryciu zapotrzebowania na energię. Wytwarzanie energii ze źródeł odnawialnych jest szczególnie ważne w przypadku sektora grzewczego, który ma prawie 50% udziału w zużyciu pierwotnych nośników energii [6]. Ze względu na ograniczony potencjał zasobów nośników energii ważną rolę odgrywa ich efektywne wykorzystanie. Z tego względu coraz częściej stosuje się układy rozproszone średniej mocy, które charakteryzują się wysoką sprawnością wykorzystania energii chemicznej paliwa [19].

Sieci grzewcze, które wykorzystują za nośnik wodę, wynalezione zostały przez Birdsill Holly [20] i stosowane są już od roku 1877 w Nowym Jorku. W dzisiejszych czasach stosuje się sieci grzewcze w miastach i obszarach miejskich o wzrastającym zapotrzebowaniu na energię ciepłą. Wg [12], wielkość potencjału oszczędnościowego sieci grzewczej zależy w głównej mierze od aktualnego i przyszłego zużycia energii cieplnej poszczególnych budynków danej aglomeracji miejskiej. Dlatego określenie potencjału musi odbywać się na podstawie wartości zużycia energii poszczególnych odbiorców sieci grzewczej. Błąd prognozy zapotrzebowania na energię ciepłą wpływa na koszt bilansowania elektrociepłowni w warunkach rynkowych. Tak więc elektrociepłownia będzie zmuszona w miarę dokładnie przewidywać zachowanie odbiorców ciepła, gdyż ma ono oczywisty wpływ na poziom generacji energii elektrycznej skojarzonej [10].

Coraz to popularniejsze stają się tzw. inteligentne sieci, (ang. smart grid), które mają na celu usprawnienie eksploatacji systemu ciepłowniczego, ograniczenie energochłonności, zmniejszenie ubytków wody sieciowej w procesie przesyłu ciepła do odbiorców oraz umożliwienie odbiorcom bieżącą kontrolę zużycia energii cieplnej i wpływanie na jej oszczędne wykorzystanie [2]. Inteligentne sieci w sposób dynamiczny pozwalają zarządzać systemem ciepłowniczym, gdzie możliwe jest połączenie dostawców energii, w tym także małych dostawców energii ze źródeł odnawialnych i użytkowników w jeden inteligentny system. Wg Skomudka [1], jest to możliwe wówczas, gdy mamy zainstalowane odpowiednie inteligentne liczniki (ang. smart metering), które pozwalają rejestrować nie tylko samo zużycie energii, ale całą charakterystykę w ciągu doby. Jeśli chodzi o przebieg zużycia energii w ciągu doby, to zazwyczaj jest on zależny od pory dnia. Wzrost zużycia energii cieplnej zauważalny jest w godzinach porannych i wieczornych, a w porze nocnej i w godzinach pracy następuje zazwyczaj jego spadek. Najkorzystniejsze byłoby, gdyby użytkownicy energii korzystali z niej równomiernie w ciągu całej doby. Dlatego istotnym aspektem będzie zmotywowanie odbiorców sieci grzewczych do zmiany swych nawyków w celu dopasowania zużycia energii do krzywej zapotrzebowania.

Przyszłościowe zapotrzebowanie na energię ciepłą na danym terenie uwarunkowane jest liczbą mieszkańców oraz wielkością, jak i standardem energetycznym zabudowań, który ma największy wpływ na potrzeby grzewcze budynku. W krajach Europy Zachodniej, od 1995 roku obowiązywały przepisy, które ustalają energochłonność budynku na poziomie 70-100 kWh/m²a, w zależności od stosunku powierzchni przegród zewnętrznych do jego kubatury ogrzewanej (od 0,5 do 1,05, a nawet wyżej). W roku 2007 wprowadzono nowe przepisy, w których poziom ten obniżony został do 50-80 kWh/m²a, co wskazuje na to, że w porównaniu do krajów Unii Europejskiej, efektywność energetyczna ogrzewania budynków w Polsce jest niska. Związane jest to przede wszystkim z niską sprawnością energetyczną źródeł ciepła, dużymi stratami energii w drodze do urządzeń grzewczych (niewystarczającą izolacją), ale i brakiem motywacji do oszczędzania energii wśród użytkowników (brak urządzeń regulacyjnych) oraz systemu indywidualnego rozliczania odbiorców [12]. Wraz ze wzrostem standardów energetycznych pojawiło się pojęcie budownictwa energooszczędnego. Do jednej z najbardziej zaawansowanych form budownictwa energooszczędnego należą tzw. domy pasywne. Feist, [6] definiuje budynki pasywne jako budynki o zerowym zapotrzebowaniu na

energię cieplną, wynikające z ekstremalnie dobrej izolacji cieplnej. To właśnie przez Feista wyznaczony został standard domu pasywnego [21], jako budynek, w którym można uzyskać przyjemną temperaturę zarówno w lecie jak i w zimie przy ekstremalnie niskim zużyciu energii. Domy pasywne oferują komfort cieplny mieszkańców przy zapotrzebowaniu na energię cieplną mniejszym niż 15 kWh/m²a oraz zapotrzebowaniu na energię pierwotną, łącznie z ciepłą wodą i energią elektryczną, poniżej 120 kWh/m²a.

Biorąc pod uwagę użytkowanie energii, jednym z podstawowych priorytetów jest jej oszczędzanie. Aby zrealizować cel zaspokojenia potrzeb na wytworzenie energii cieplnej na potrzeby grzewcze, Stępień, [13] proponuje przyjęcie nie tylko kierunku zmniejszenia strat cieplnych do otoczenia, ale również dążenie do zwiększenia sprawności przemian energetycznych. Obecnie jedynie układy skojarzone średniej mocy wykorzystujące biomasę jako paliwo osiągnęły poziom rozwoju technicznego oraz opłacalności, które pozwalają na komercyjne zastosowanie tego rodzaju rozwiązań technologicznych do pokrycia zapotrzebowania na energię osiedli mieszkalnych. Ze względu na stosunkowo niską sprawność elektryczną, elektrociepłownie średniej mocy na biomasę pracują zgodnie z zapotrzebowaniem na energię cieplną, a energia elektryczna stanowi w przypadku tych urządzeń pożądaną produkt uboczny. Główną zaletą tego typu rozwiązań jest, poza pokryciem zapotrzebowania na energię cieplną, możliwość produkcji energii elektrycznej, która jest najbardziej uniwersalnym nośnikiem energii. Wadą tego typu układów jest wspomniana wcześniej stosunkowo niska sprawność elektryczna oraz stosunkowo wysokie koszty inwestycyjne przypadające na jednostkę zainstalowanej mocy.

2 Osiedle Scharnhauser Park

2.1 Opis ogólny

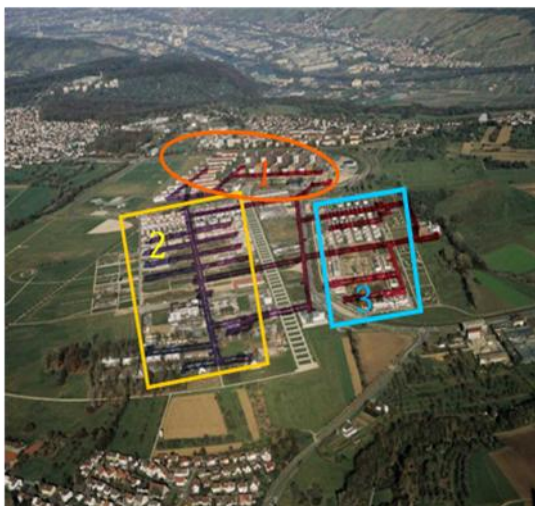
Osiedle Scharnhauser Park (SHP) jest dzielnicą miejscowości Ostfildern znajdującej się w pobliżu miasta Stuttgart. Infrastruktura osiedla, którego liczba mieszkańców wynosi obecnie 7300, jest stale rozbudowywana. Po zakończeniu prac budowlanych liczba mieszkańców ma wzrosnąć do około 10 tysięcy. Dzielnica Scharnhauser Park znajduje się na terenie o wielkości 140 hektarów, który do 1993 roku stanowił bazę wojskową wykorzystywaną przez stacjonującą tam armię amerykańską. Po wycofaniu wojsk zdecydowano o cywilnym przeznaczeniu terenu byłej bazy, w wyniku czego powstał projekt osiedla mieszkaniowego. Scharnhauser Park jest nowo wybudowaną dzielnicą z pojedynczymi mieszkaniami, które powstały po stacjonującej tam niegdyś armii. Główną część zabudowy stanowią domki szeregowe oraz domy wielorodzinne. Poza tym na terenie osiedla znajduje się również kilka budynków przemysłowych, biurowiec administracji miejskiej oraz szkoła. Na strukturę zapotrzebowania na energię obszaru jak również na przebieg zmian tego zapotrzebowania w zależności od pory dnia wpływ mają przede wszystkim domy mieszkalne [5], [14].

2.2 Infrastruktura osiedla

Jeśli chodzi o użytkowanie obiektów osiedla SHP, to można podzielić je na poszczególne grupy:

- obiekty użyteczności mieszkalnej; tu z kolei wyróżnia się domy szeregowe jedno- i dwurodzinne oraz domy wielorodzinne
- obiekty o użyteczności administracyjnej,
- oraz kilka obiektów o użyteczności publicznej (np. szkoła, przedszkole).

Biorąc pod uwagę standard energetyczny wszystkich obiektów to można podzielić je na trzy sektory, widoczne na Rys. 1.

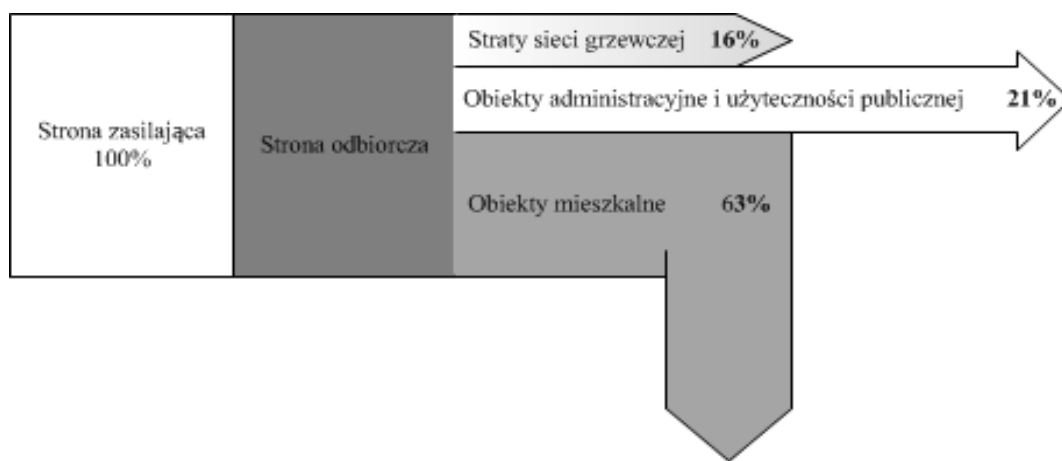


Rys. 1: Infrastruktura osiedla SHP [Źródło: SWE].

Obiekty w sektorze 2 (domy szeregowe jedno- i dwurodzinne) i w sektorze 3 (domy wielorodzinne) charakteryzują się wysokim standardem energetycznym i należą do budownictwa niskoenergetycznego. Natomiast obiekty znajdujące się w sektorze 1 to były baraki amerykańskich wojsk, charakteryzujące się nieco gorszą izolacją cieplną niż pozostałe budynki osiedla. W celu ograniczenia strat ciepła zimą, obiekty te poddane zostały w roku 2005 termomodernizacji.

W tym samym czasie ustalono również, iż standard energetyczny wszystkich budynków osiedla będzie o 25% lepszy niż aktualnie obowiązujące standardy energetyczne (WSVO 1995). Standard ten zalecał wartości zapotrzebowania na energię cieplną leżące w przedziale 70-100 kWh/m²a, w zależności od stosunku powierzchni przegród zewnętrznych do jego kubatury ogrzewanej [4]. Od roku 2002, kiedy to do użytku weszła nowa prawnie energetyczne, tzw. EnEV 2002, zaleca się, aby elementy infrastruktury energetycznej zasilane przez energie odnawialne, tak jak ma to miejsce w SHP, były konstruowane jako energooszczędne. Dodatkowo założono cel poprawy standardu prawa energetycznego EnEV 2002 o 40%; czyli wartość zadana o wartości 90 kWh/m²a powinna być zredukowana do 56 kWh/m²a dla odbiorców w lokalach mieszkalnych, i do 50 kWh/m²a dla odbiorców o charakterze użyteczności publicznej.

Ogólny podział całkowitej energii zasilającej osiedle SHP na poszczególne grupy budynków tego osiedla dla roku 2009, widoczny jest na Rys. 2.



Rys. 2: Struktura strony odbiorczej sieci grzewczej osiedla SHP (2009).

Jak wynika z powyższego rysunku, większość energii cieplnej wyprodukowanej w elektrociepłowni ORC dostarczana jest poprzez sieć grzewczą do obiektów o użyteczności mieszkalnej (63%). Względnie wysokie straty ciepła w sieci na poziomie 16% wynikają z faktu, iż część odcinków sieci nie posiada przyłączenia do odbiorców. Aby zapobiec pękaniu rur w wyniku mrozu konieczne jest zapewnienie cyrkulacji czynnika grzewczego także w tych odcinkach sieci, do których nie zostali jeszcze przyłączeni odbiorcy energii cieplnej. Powoduje to dodatkowe straty energii, które powinny jednak ulec redukcji w miarę postępu prac budowlanych na osiedlu Scharnhäuser Park i przyłączaniu nowych odbiorców energii cieplnej.

3 System ciepłowniczy

Największy udział w pokryciu zapotrzebowania na energię osiedla SHP ma elektrociepłownia, która wykorzystuje ścinki drzewne z prac porządkowych na terenach zielonych jako paliwo. Zapotrzebowanie na ciepło grzewcze w okresie szczytowym oraz w czasie obniżonego poboru mocy sieci grzewczej w okresie letnim pokrywane jest przy wykorzystaniu kotłów szczytowych wykorzystujących gaz ziemny jako paliwo. Około 80% zapotrzebowania na energię cieplną dzielnicy SHP oraz 50% zapotrzebowania na energię elektryczną pokrywane jest przez układ elektrociepłowni, która wykorzystuje biomasę jako paliwo [15].

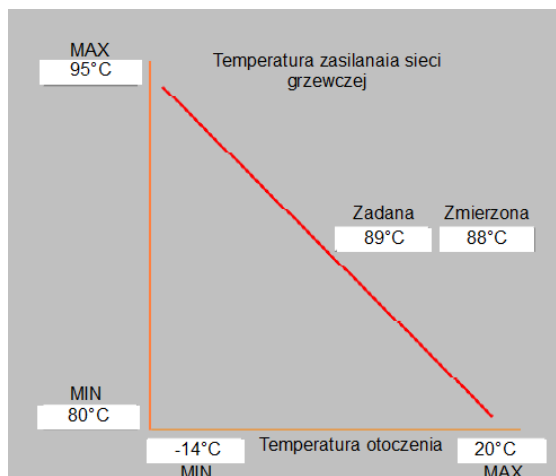
3.1 Elektrociepłownia

Instalacja biomasowa pracuje zgodnie z zapotrzebowaniem na energię cieplną zasilanego obszaru osiedla SHP. Elektrociepłownia na biomasę stanowi główne źródło energii cieplnej osiedlowej sieci grzewczej, a zapotrzebowanie szczytowe pokrywane jest przy wykorzystaniu dwóch kotłów gazowych o mocy 9 i 5 MW. Sterowanie pracą kotłów zaprogramowane jest w sposób umożliwiający osiągnięcie wysokiego udziału biomasy w produkcji ciepła grzewczego [7].

3.2 Sieć grzewcza

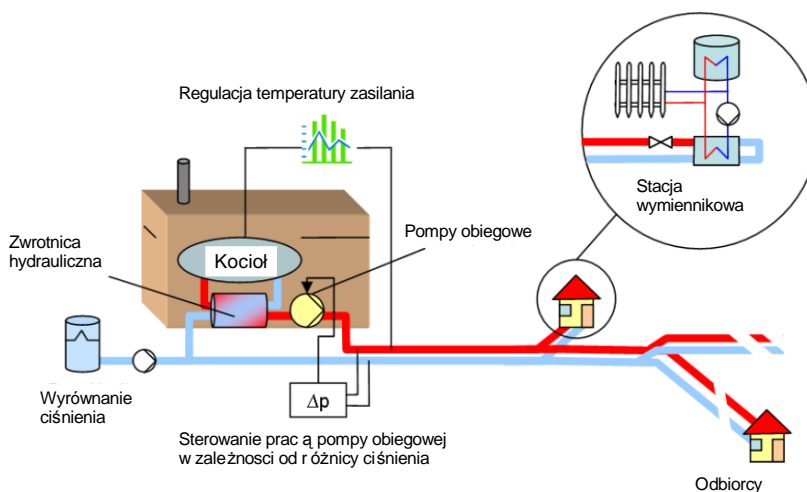
W roku 1993 nastąpiło przejęcie wykorzystywanego dotychczas przez bazę wojskową systemu sieci grzewczej osiedla SHP, w którym stosowano parę wodną jako czynnik grzewczy. Dokonano modernizacji sieci i przekształcono ją na system grzewczy wykorzystujący wodę jako nośnik ciepła, której łączna długość odcinków wynosi 13,5 km. Podstawowym parametrem sterowania pracą sieci jest temperatura zasilania sieci

wahająca się na poziomie od 80 do 95°C, określana w funkcji temperatury otoczenia (Rys. 3). Wartość temperatury zasilania sieci grzewczej opisana jest liniową zależnością od temperatury otoczenia, przy czym istnieje możliwość regulacji punktów końcowych charakterystyki w zależności od wymaganego trybu pracy sieci grzewczej.



Rys. 3: Zależność temperatury zasilania sieci grzewczej od temperatury zewnętrznej

Temperatura zasilania sieci grzewczej regulowana jest przy wykorzystaniu zaworu trójdrożnego. Tego typu rozwiązanie pozwala na sterowanie pracą układu skojarzonego w zależności od aktualnej wartości zapotrzebowania na ciepło grzewcze.



Rys. 4: Struktura sieci grzewczej

3.3 Moduł ORC

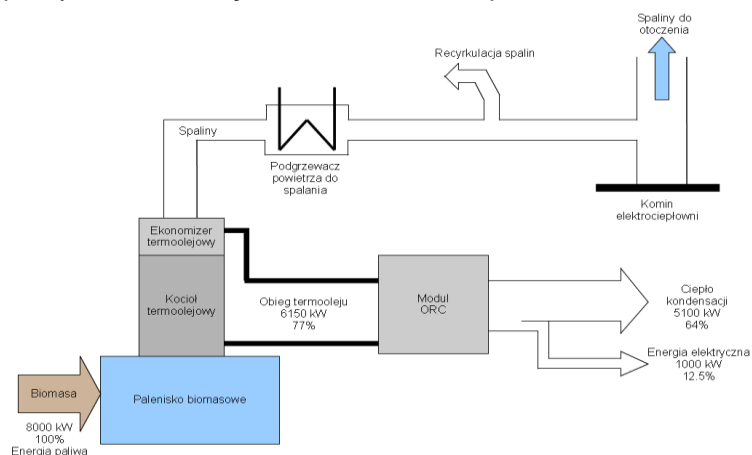
Do skojarzonego wytwarzania energii cieplnej i elektrycznej wykorzystuje się technologie ORC (Organic Rankine Cycle). Zasada działania układów ORC podobna jest do zasady działania klasycznego obiegu siłowni parowej. Główną różnicą w przypadku procesu ORC jest wykorzystanie substancji organicznej (oleju silikonowego) jako czynnika roboczego. Pozwala to na osiągnięcie stosunkowo wysokiej sprawności elektrycznej (do 17%) w przypadku układów średniej mocy, która jest znacznie wyższa niż w przypadku obiegu parowo-wodnego. Dodatkową zaletą technologii ORC jest możliwość efektywnej pracy w szerokim przedziale mocy – od 30 do 100% mocy znamionowej – co pozwala na uzyskanie stosunkowo wysokiej sprawności układu w przypadku gdy moc na wyjściu zależy od zapotrzebowania na ciepło sieci grzewczej [18].

3.4 Spalanie biomasy

Do spalania biomasy wykorzystuje się kocioł rusztowy o maksymalnej mocy 8 MW. Gazy spalinowe z paleniska biomasowego przepływają przez podgrzewacz termooleju, gdzie oddają swoją energię cieplną. Termoolej wykorzystywany jest jako nośnik ciepła pomiędzy kotłem a modułem skojarzonym, gdzie wytwarzana jest energia elektryczna. Instalacja spalania biomasy zastosowana na elektrociepłowni Scharnhauser Park wyposażona jest w dodatkowe wymienniki ciepła pozwalające na odzysk energii cieplnej

spalin. Spaliny, które oddają swoją energię cieplną w podgrzewaczu termooleju zostają dodatkowo schłodzone w tzw. economizerze. W tym dodatkowym wymienniku ciepła energia spalin wykorzystywana jest do wstępnego podgrzania termooleju. W kolejnym wymienniku ciepła ciągu spalin podgrzewana jest woda na potrzeby sieci grzewczej w wyniku czego następuje dodatkowe obniżenie temperatury gazów spalinowych. W ostatnim wymienniku ciepła energia spalin wykorzystywana jest do wstępnego podgrzania powietrza doprowadzanego do komory spalania.

Schłodzone spaliny kierowane są do multicyklonu gdzie następuje ich wstępne odpylenie. Po wstępnym odpyleniu spaliny płyną do elektrofiltra, w którym następuje wytrącenie drobnych cząstek pyłu ze strumienia spalin. Oczyszczane spaliny kierowane są do komina elektrociepłowni.



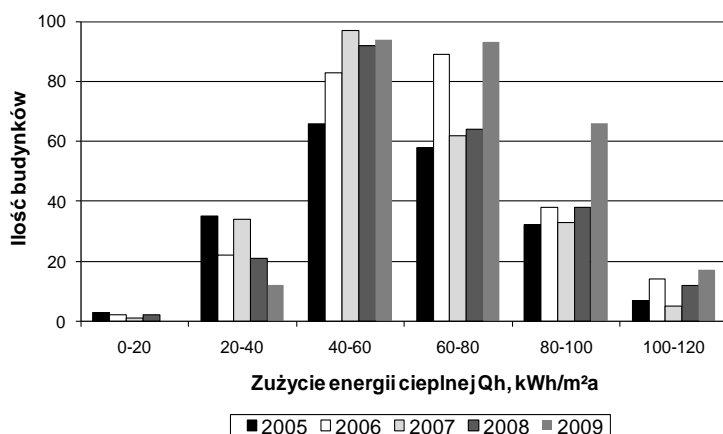
Rys. 5: Skojarzone wytwarzanie energii z biomasy

4 Wyniki

4.1 Zużycie/zapotrzebowanie na energię cieplną

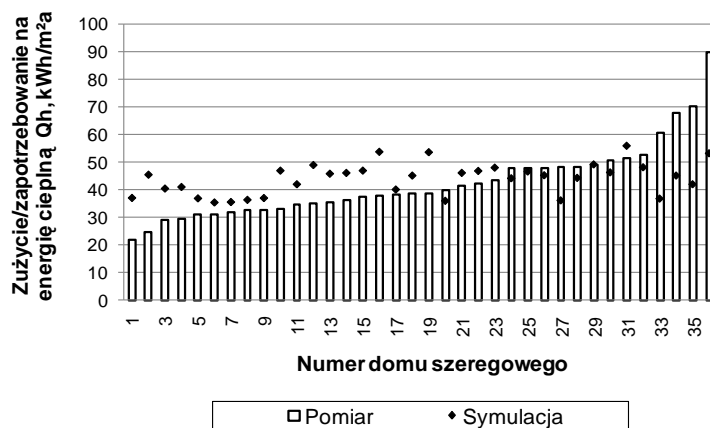
4.1.1 Pojedyncze budynki osiedla

Podczas ostatnich kilku lat (2005-2009) zgromadzono roczne wartości zużycia energii cieplnej dla wszystkich budynków osiedla SHP. Na Rys. 6 znajduje się rozkład rocznych wartości zużycia energii cieplnej dla domów szeregowych, jedno- i dwurodzinnych dla roku 2009.



Rys. 6: Rozkład rocznego zużycia energii cieplnej dla domów szeregowych (2009).

Jak wynika z powyższego rozkładu, zużycie energii cieplnej większości omawianych domów szeregowych mieści się w przedziale od 40-80 kWh/m²a. Istnieje jednak sporo budynków, których zużycie energii cieplnej znacznie przekracza ten zakres. W celu dokładnej analizy zużycia energii cieplnej wszystkich domów szeregowych osiedla SHP, podzielono je na mniejsze grupy zawierające niemalże identyczne pod względem kubatury i właściwości termicznych budynki. Na Rys. 7 pokazano roczne wartości pomiarowe zużycia energii cieplnej dla jednej grupy domów szeregowych. Wartości te zostały porównane z wartościami obliczeniowymi zapotrzebowania na energię cieplną.



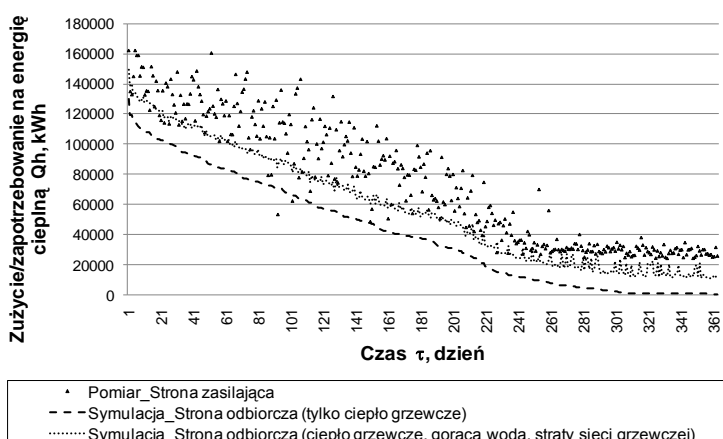
Rys. 7: Porównanie rocznych wartości zużycia/zapotrzebowania na energię ciepłą dla grupy identycznych domów szeregowych.

Analizując Rys. 7, można zauważyć sporą rozbieżność pomiędzy zużyciem energii ciepłej pojedynczych budynków. Odchyłki w stosunku do wartości średniej równej 53 kWh/m²a dochodzą do 65% w dół i do 75% w górę. Z uwagi na fakt, iż domy szeregowie w obrębie analizowanej grupy są bardzo podobne do siebie, odchyłki te można tłumaczyć różnymi zachowaniami użytkowników.

4.1.2 Cała sieć grzewcza osiedla

W celu obliczenia zapotrzebowania na energię ciepłą całej sieci grzewczej osiedla SHP, posłużono się modelem opartym na metodzie bilansowania energetycznego wg Normy Europejskiej [3]. Model ten umożliwił przy wykorzystaniu systemu geoinformacyjnego i środowiska symulacyjnego INSEL (www.insel.eu) obliczenie godzinowych wartości zapotrzebowania na energię ciepłą dla każdego budynku osiedla SHP z osobna [16], [17]. Obliczenia te wykorzystują zmienne w czasie godzinowe wartości pogodowe (temperatura zewnętrzna i natężenie promieniowania słonecznego) zmierzone przy użyciu stacji pogodowej, znajdującej się na dachu elektrociepłowni ORC.

Po zsumowaniu przebiegów wartości zapotrzebowania na energię ciepłą dla wszystkich budynków osiedla, uzyskano całkowity godzinowy przebieg dla strony odbiorczej sieci grzewczej osiedla SHP. W kolejnym kroku dodano do tego przebiegu standardowe wartości zużycia energii ciepłej na podgrzanie wody (12,5 kWh/m²a) oraz rzeczywiste straty sieci grzewczej. Oba przebiegi porównano na Rys. 8 ze zmierzonym przebiegiem na stronie zasilającej.



Rys. 8: Wykres uporządkowany dla porównania strony zasilającej z odbiorczą sieci grzewczej osiedla SHP.

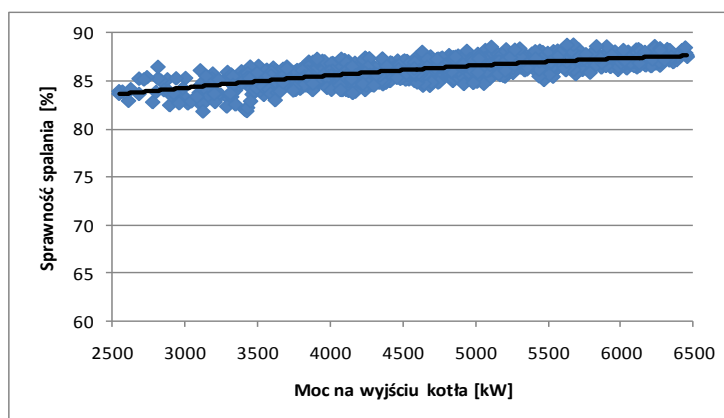
Na rysunku powyżej, zauważalna jest dobra zgodność pomiędzy stroną zasilającą a odbiorczą, co pokazuje, że opracowana metoda prognozowania zapotrzebowania na energię ciepłą sieci grzewczych osiedli miejskich jest stosunkowo dokładna. Różnice można tłumaczyć w przypadku budownictwa niskoenergetycznego, różnymi zachowaniami użytkowników, które w obliczeniach zostały przyjęte jako wartości stałe. Tu temperatura wewnętrzna założona została jako 20°C, krotność wymian powietrza jest równa 0,5 1/h, a zyski wewnętrzne przyjęte zostały jako wartość równa 5 W/m².

4.2 Produkcja energii cieplnej

4.2.1 Sprawność kotła

Główną częścią układu skojarzonego na biomasę jest kocioł rusztowy, gdyż jego sprawność jest ważnym czynnikiem determinującym całkowitą sprawność układu skojarzonego. W przypadku układu elektrociepłowni SHP, który wyposażony jest w automatyczny system monitoringu parametrów procesowych, możliwe jest pośrednie obliczenie sprawności kotła w warunkach obciążenia. Pośrednia metoda analizy efektywności pracy układu spalania biomasy bazuje na wykorzystaniu wyników pomiaru parametrów spalin w celu określenia strat termicznych i chemicznych procesu spalania.

Sprawność kotła obliczona metodą pośrednią w zakresie mocy od 2500 do 6500 kW przedstawia Rys. 9. Wyniki pomiarów wykazały, iż układ spalania biomasy nie osiąga sprawności na poziomie 91%. Obniżona sprawność pracy kotła wynika w przypadku badanego układu elektrociepłowni z wykorzystania ścinków drzewnych z drewna odpadowego, charakteryzującego się niską jakością oraz co za tym idzie niską wartością opałową. Uzyskanie wysokiego poziomu sprawności kotła możliwe jest jedynie w przypadku wykorzystania paliwa dobrej jakości, które charakteryzuje się jednak zbyt wysokimi kosztami jego pozyskania.

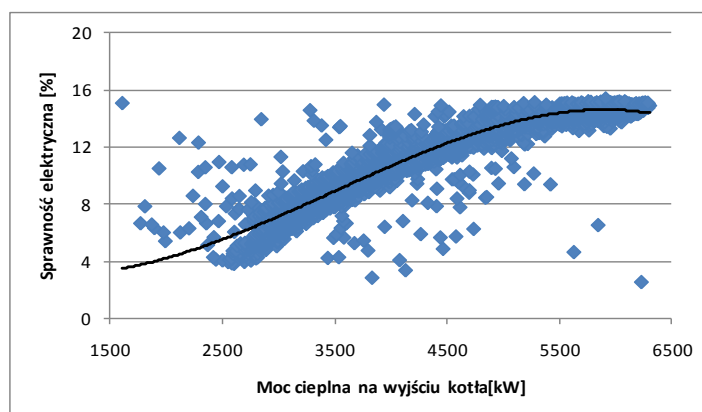


Rys. 9: Sprawność kotła w funkcji mocy

4.2.2 Sprawność elektryczna

Jedną z głównych zalet wymienianych przez producentów układów ORC jest ich stosunkowo wysoka sprawność w przypadku pracy w warunkach niepełnego obciążenia. Ta cecha charakterystyczna skojarzonego wytwarzania energii na bazie procesu ORC predestynuje tego typu systemy do ich wykorzystania w trybie produkcji energii zgodnym z zapotrzebowaniem na energię ciepłą osiedli mieszkalnych.

Wyniki pomiarów parametrów procesowych na badanym układzie elektrociepłowni pozwalają na analizę sprawności elektrycznej modułu ORC w warunkach obciążenia. Przedstawione na Rys. 10 wartości sprawności elektrycznej nie potwierdzają tezy o wysokiej efektywności modułu skojarzonego w przypadku pracy pod niepełnym obciążeniem. Po przekroczeniu wartości poniżej 4500 kW odpowiadającej 70% mocy znamionowej kotła, zaobserwować można znaczny spadek sprawności elektrycznej postępujący wraz z dalszym obniżeniem mocy wyjściowej kotła, która w punkcie obciążenia minimalnego osiąga wartość na poziomie zaledwie 4%.



Rys. 10: Sprawność elektryczna modułu ORC.

4.2.3 Analiza ekonomiczna

Koszty inwestycyjne układu elektrociepłowni Scharnhauser Park wyniosły 5 202 000 Euro. Inwestycja otrzymała dofinansowanie ze środków publicznych na poziomie 750 000 Euro. Koszty pozyskania kapitału inwestycyjnego wynoszą w przypadku elektrociepłowni SHP 332 676 Euro rocznie. Tabela 1 zawiera zestawienie kosztów eksploatacyjnych z podziałem na poszczególne ich kategorie.

Tabela 1: Koszty eksploatacyjne

Rodzaj kosztów		Kwota Euro/rok
Koszty robocizny		32 400
Koszty eksploatacyjne	Rewizje, naprawy	105 970
	Zużycie energii elektrycznej	32 450
	Czynniki robocze	3 000
	Nadzór techniczny, inspekcje	1 300
	Ubezpieczenia i administracja	10 500
Koszty paliwa		356 200
Suma kosztów eksploatacyjnych		541 820

Kalkulacja przychodów ze sprzedaży nośników energii zawiera zyski wynikające ze zmniejszonego zużycia gazu ziemnego wykorzystywanego dotychczas do produkcji ciepła grzewczego. Przewidywane zapotrzebowanie na gaz ziemny w przypadku osiedla SHP wynosi 38 240 MWh/a, co przy cenie gazu ziemnego na poziomie 0,04 €/kWh daje roczną oszczędność kosztów eksploatacyjnych na poziomie 1 529 600 Euro.

Przychody ze sprzedaży nośników energii obejmują również energię elektryczną sprzedawaną do sieci. Kwota wypłacana za sprzedaż do sieci energii elektrycznej wytworzonej w układach skojarzonych wykorzystujących biomasę drzewną jako paliwo wynosi 0,154 €/kWh. Przewiduje się, iż układ kogeneracyjny wyprodukuje rocznie 4 607 kWh energii elektrycznej, co daje kwotę przychodów ze sprzedaży energii elektrycznej na poziomie 709 478 Euro. Tabela 2 zawiera zestawienie kosztów i zysków pracy elektrociepłowni pozwalające na określenie bilansu ekonomicznego operacji układu kogeneracyjnego.

Tabela 2: Rachunek ekonomiczny pracy układu kogeneracyjnego.

Kategoria	Kwota Euro/rok
Koszty inwestycyjne	- 332 676
Koszty eksploatacyjne	- 541 820
Przewidywana oszczędność wynikająca z redukcji zużycia gazu ziemnego	1 529 600
Przychody ze sprzedaży energii elektrycznej do sieci	709 478
Bilans ekonomiczny układu kogeneracyjnego	1 364 582

5 Wnioski

Aby ocenić potencjał oszczędnościowy sieci grzewczych obszarów miejskich konieczna jest analiza aktualnego jak i przyszłego zużycia energii cieplnej poszczególnych odbiorców tej sieci. W przypadku budownictwa niskoenergetycznego, które powoli staje się wymaganym standardem w Europie Zachodniej, szczególnie istotnym aspektem jest wpływ zachowań użytkowników na zużycie energii cieplnej. Analiza wartości pomiarowych zużycia energii cieplnej dla poszczególnych odbiorców sieci grzewczej osiedla niskoenergetycznego SHP pokazała, jak bardzo istotny jest ten aspekt; odchyłki od wartości średniej zużycia energii cieplnej dla grupy identycznych budynków dochodzą nawet do 75 %. W przypadku przeprowadzenia prognozy zapotrzebowania na energię ciepłą posłużono się specjalną metodą, która łączy system geoinformacyjny ze środowiskiem symulacyjnym. Metoda ta pozwoliła z dużą dokładnością odzwierciedlić roczny przebieg zużycia energii cieplnej całej sieci grzewczej analizowanego osiedla. Nieznaczne różnice pomiędzy zmierzonym a obliczonym przebiegiem zużycia/zapotrzebowania na energię ciepłą wynikają z różnych zachowań użytkowników (w obliczeniach przyjęto stałe w czasie parametry użytkowe).

Wyniki analiz przeprowadzonych na podstawie wyników pomiarów parametrów procesowych układu skojarzonego wskazują, iż elektrociepłownie biomasowe bazujące na procesie ORC stanowią efektywne rozwiązanie umożliwiające pokrycie zapotrzebowania na energię osiedli miejskich. Do głównych zalet

badanej elektrociepłowni należy możliwość skojarzonego wytwarzania energii na bazie nośników odnawialnych a także wysoka sprawność całkowita układu skojarzonego. Wyznaczony na podstawie rachunku ekonomicznego roczny przychód na poziomie 1 364 582 Euro pozwala, w przypadku bezawaryjnej pracy układu, na zwrot kosztów inwestycyjnych w wysokości 5 202 000 Euro w okresie czterech lat.

6 Spis literaturowy

- [1] *Akademicka Biznes, 2010, Jak lepiej zużywać energię?, nto.pl*
- [2] *CAS, 2002, Case study: Wdrażanie inteligencji w sieciach ciepłowniczych na przykładzie koncepcji „Inteligentna sieć ciepłownicza“ dla SPEC S.A.*
- [3] *DIN V 18599 – Energy efficiency of buildings - Calculation of the net, final and primary energy demand for heating, cooling, ventilation, domestic hot water and lighting - Supplement 1: Balancing of demand and consumption*
- [4] *Eicker, U., Strzalka, A., Erhart, T., Perrella Balestieri, J.A., 2011, Low Energy City Quarters with high Renewable Fractions: Monitoring Results and Potential for Replication in Brazil, International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development (SUSB), SUSB Vol. 2, No. 1, 03.2011, s. 69-79.*
- [5] *Erhart T. G., Strzalka R., Eicker U., Infield D.: Performance Analysis of a Biomass ORC Poly-generation System. Materiały Konferencji 2nd European Conference on Polygeneration, Tarragona, Hiszpania, marzec 2011.*
- [6] *Feist, W., 2006, Podstawy budownictwa pasywnego, Książka ISBN: 83-923807-0-3.*
- [7] *Fink J.: Demonstrator for clean biomass combustion in urban areas. Raport projektu POLYCITY, maj 2006.*
- [8] *Fink J.: Operation of 6 MW wood chip CHP plant. Materiały konferencji Biomass Workshop Gdańsk, listopad 2006.*
- [9] *Kanga T.: POLYCITY Technique – Energy concepts in the POLYCITY project Scharnhäuser Park. Broszura projektu POLYCITY, Stuttgart 2009.*
- [10] *Kalbarczyk, P., Wpływ błędów prognozy zapotrzebowania na ciepło w miejskiej sieci ciepłowniczej na koszty bilansowania elektrociepłowni uczestniczącej w Hurtowni Rynku Energii Elektrycznej w Polsce.*
- [11] *Norwisz, J., Energia odnawialna w ciepłownictwie. Oczekiwania Unii Europejskiej, Czasopismo Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, rok 2007, R. 38, nr 10, s. 14--20, Bibliogr. 17 poz.*
- [12] *Norwisz, J., 2004, Termomodernizacja budynków dla poprawy jakości środowiska, Poradnik dla audytorów energetycznych, inspektorów środowiska, projektantów oraz zarządców budynków i obiektów budowlanych, ISBN: *83-86337-08-7, wydane przez Narodową Agencję Poszanowania Energii.*
- [13] *Stepień, J.C., 2007, Prognozy zapotrzebowania na ciepło na terenach o małym stopniu zurbanizowania, Czasopismo „Rynek Energii”, Nr. 6*
- [14] *Strzalka R., Eicker U., Ulbrich R.: Operational experiences and optimization of an ORC biomass cogeneration plant. Materiały Konferencji 16th European Biomass Conference, Valencia, czerwiec, 2008.*
- [15] *Strzalka R., Eicker U., Ulbrich R.: Analysis of a biomass tri-generation-system in an urban area. Materiały Konferencji 17th Biomass Conference, Hamburg, lipiec 2009.*
- [16] *Strzalka, A., Bogdahn, J., Eicker, U., 2010, 3D City Modelling for Urban Scale Heating Energy Demand Forecasting, Materiały Konferencji IAQVEC 2010, 7th International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation and Energy Conservation in Buildings, s. 83-86, ISBN 978-984-33-0616-6, August 15-18, 2010, Syracuse, New York, USA*
- [17] *Strzalka, A., Eicker, U., Coors, V., Schumacher, J., Modelling Energy Demand for Heating at City Scale, Materiały Konferencji SimBuild 2010, 4th National Conference of IBPSA-USA, August 11-13, 2010, New York, USA*
- [18] *Van Loo S., Koopejan J.: The Handbook of Biomass Combustion and Co-firing. Earthscan, London 2008.*
- [19] *Ziegler, F., 2009, Wärmelastberechnungen und –prognose für ein Siedlungsgebiet mit Erneuerbarer Energieversorgung, Masterarbeit, HFT Stuttgart.*
- [20] <http://www.energy.rochester.edu/dh/histger.htm>, 2.01.2009
- [21] <http://www.domy-pasywne.pl>