

Natalia Kozłowska

Weronika Kruszelnicka

Dr inż. Adam Mroziński

Wydział Inżynierii Mechanicznej,

Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy im. J. i J. Śniadeckich w Bydgoszczy

**ANALIZA EFEKTYWNOŚCI ENERGETYCZNEJ I EKONOMICZNEJ PODGRZEWANIA WODY
UŻYTKOWEJ PRZEZ POMPĘ CIEPŁA TYPU POWIETRZE WODA****STRESZCZENIE**

W referacie przedstawiono zagadnienia związane z pompami ciepła do podgrzewania wody użytkowej. Podczas badań wykorzystano instalację pompy ciepła PCWU 200K-2.3 kW z zasobnikiem 200 litrów, zlokalizowaną w Laboratorium Inżynierii OZE Wydziału Inżynierii Mechanicznej UTP w Bydgoszczy, wykorzystywaną do podgrzewania wody użytkowej. Podczas badań analizowano techniczno-ekonomiczne zastosowania w systemach podgrzewu ciepłej wody użytkowej sprężarkowych pomp ciepła w których dolnym źródłem jest powietrze atmosferyczne (lub powietrze, gdzie znajduje się pompa ciepła). Dodatkowo analizowano również układ, gdy sama pompa ciepła była zasilana instalacją fotowoltaiczną. W pracy przedstawiono wyniki przeprowadzonych badań dotyczące czasu podgrzewania wody przez pompę ciepła oraz analizę oszczędności płynących z zasilania sprężarki modułami fotowoltaicznymi.

Słowa kluczowe: odnawialne źródła energii, efektywność, pompa ciepła

ANALYSIS OF ENERGY AND ECONOMIC EFFICIENCY WATER HEATING BY HEAT PUMP AIR-WATER**SUMMARY**

In this paper presented issues related with heat pumps for heating water. During the study used a heat pump installation PCWU 200K-2.3 kW with 200 liters tank, located in the Engineering Laboratory Department of Mechanical Engineering RES UTP in Bydgoszcz, used to heat water. During the study analyzed the application of technical and economic systems DHW heat pump compressor in which the lower source is atmospheric air (or air, where the heat pump). In addition, the system also analyzed when the heat pump was powered by a photovoltaic installation. In paper also presented the results of the study about the time of heating water by the heat pump and an analysis of savings from powering compressor by photovoltaic modules.

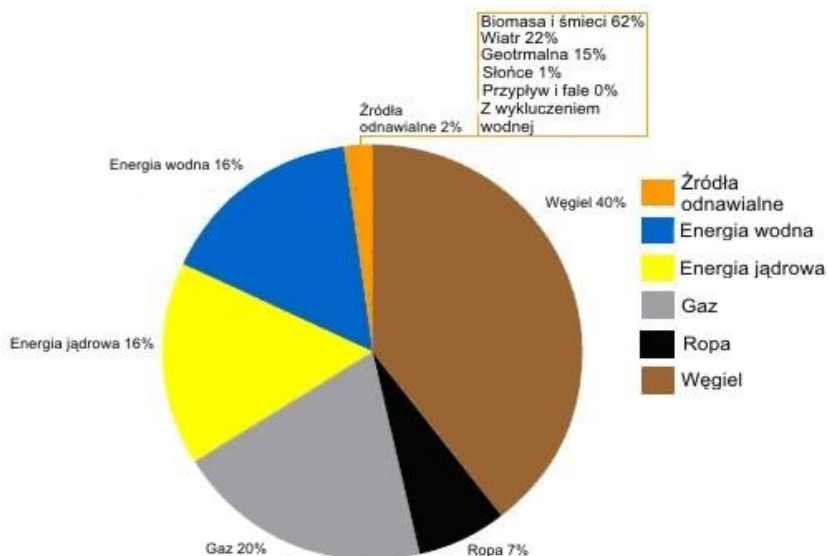
Keywords: renewable energy sources, efficiency, heat pump

1. WPROWADZENIE

Współcześnie coraz więcej uwagi poświęca się pozyskiwaniu energii ze źródeł innych niż konwencjonalne: węgiel kamienny i brunatny, ropa naftowa oraz gaz ziemny. W centrum uwagi znajdują się więc źródła o ogromnym potencjale, których zasoby nie ulegają wyczerpaniu i dostępne są w każdym miejscu na kuli ziemskiej: słońce, wiatr, energia geotermalna oraz energia pływów morskich. W Polsce można zauważyć zwiększające się zainteresowanie odnawialnymi źródłami energii. Biorąc pod uwagę względy ekonomiczne, energetyczne oraz ekologiczne, wykorzystywanie instalacji nie opartych na tradycyjnych źródłach (jw.) jest naturalne i coraz częściej stosowane [13].

Alternatywne źródła energii są jedną z głównych strategii UE Europa 2020, której celem jest zwiększenie produkcji energii uzyskanej z odnawialnych źródeł energii do 20% do 2020 roku. W 2013 roku w Polsce sprzedało się o około 20 % więcej pomp ciepła w stosunku do poprzedniego roku. Tak dobry wynik to przede wszystkim zasługa urządzeń korzystających z powietrza jako dolnego źródła ciepła. Na popularności w ostatnim czasie zdecydowanie zyskują powietrzne pompy ciepła. Szczególnie dużym zainteresowaniem cieszyły się pompy ciepła tylko do c.w.u. co pozwoliło na osiągnięcie wzrostu na poziomie ok. 40% w 2013 roku. [14].

Już od kilkunastu lat obserwuje się systematyczny wzrost zapotrzebowania na energię spowodowany szybkim rozwojem gospodarczym państw na całym świecie. Przy odnotowywanym tempie wzrostu zapotrzebowania na energię szacuje się, że wyczerpanie wszystkich zasobów węgla nastąpi po 2200 roku, ropy w 2050 roku, a gazu po 2060 roku [1]. Z uwagi na powyższe niepokojące prognozy poszukuje się alternatywnych źródeł energii, które pozwoliłyby na zmniejszenie zużycia paliw konwencjonalnych, a tym samym przedłużyły czas eksploatacji ich zasobów. Najbardziej racjonalnym wydaje się więc wykorzystanie naturalnych, odnawialnych zasobów energii: energii słonecznej, wiatru, pływów morskich i fal oraz energii geotermalnej i biomasy. Niesie to ze sobą korzyści pod względem energetycznym jak również pod względem ekologicznym. Wytwarzanie energii z OZE pozwala na zmniejszenie emisji dwutlenku węgla, który jest głównym gazem powodującym efekt cieplarniany - jego udział w powstawaniu tego zjawiska wynosi 50% [1].



Rys. 1. Udział poszczególnych źródeł energii w światowej produkcji energii
[źródło: Inter Academy Council]

W procesie produkcji energii elektrycznej i do celów ogrzewania nadal głównym źródłem pozostaje węgiel (Rys. 1). Coraz częściej jednak w tym celu stosuje się źródła odnawialne: głównie biomasę i śmieci, energię wiatru oraz energię geotermalną. Energia geotermalna wykorzystywana jest przede wszystkim w dużych ciepłowniach geotermalnych, ale nie tylko. Z zasobów ciepła ziemi mogą korzystać również małe instalacje wyposażone w pompy ciepła przeznaczone do ogrzewania pojedynczych budynków. Pompa ciepła jest urządzeniem służącym do transportowania ciepła ze źródła o niskiej temperaturze np. grunt, woda gruntowa, powietrze do miejsca odbioru ciepła w celu podwyższenia jego temperatury. W tabeli 1. przedstawiono typy pomp ciepła w zależności od wykorzystywanego źródła o niskiej temperaturze-dolnego źródła ciepła [9, 12, 15].

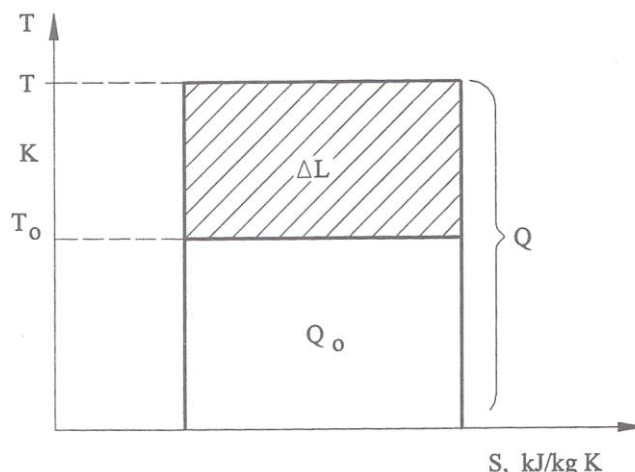
Tabela 1. Rodzaje pomp ciepła w zależności od zastosowanego dolnego źródła

Źródło energii	Źródło energii i czynnik roboczy
Energia powietrzna	powietrze-woda
	powietrze-powietrze
Energia geotermalna	grunt-woda
Energia hydrotermalna	woda-woda

Pompy ciepła stosowane są głównie do ogrzewania budynków i podgrzewania ciepłej wody użytkowej. W Polsce ponad 50% instalacji stanowiły pompy ciepła typu powietrze-woda właśnie do podgrzewania c.w.u.

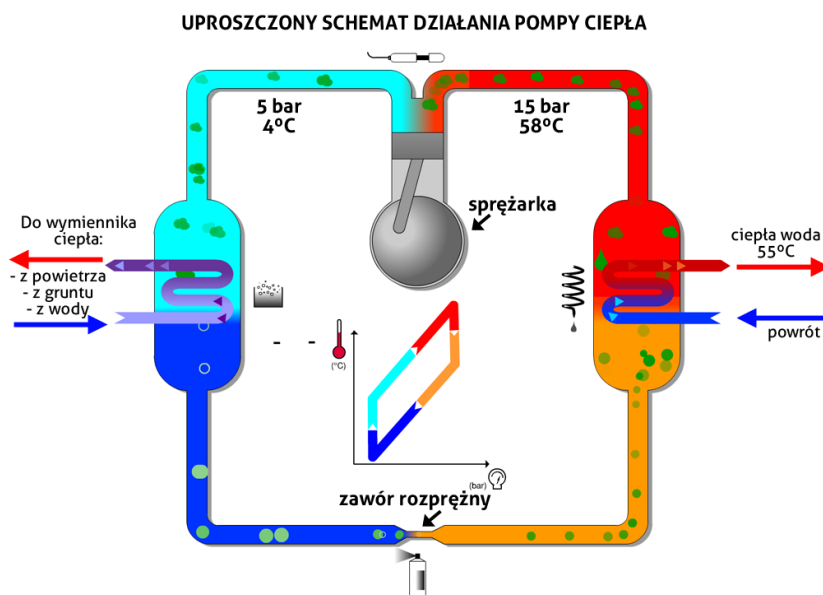
2. ZASADA DZIAŁANIA POMPY CIEPŁA

W wymienniku ciepła zwanym parownikiem czynnik roboczy w postaci mieszaniny cieczy i gazu ulega procesowi odparowania. Odbiera w ten sposób energię cieplną z dolnego źródła. Następnie czynnik zassany zostaje w postaci pary o niskim ciśnieniu do sprężarki gdzie wzrasta jego ciśnienie oraz temperatura. Kolejnym elementem obiegu, do którego trafia czynnik w postaci gazowej jest wymiennik ciepła zwany skraplaczem. Gorący i sprężony czynnik oddaje tu energię cieplną do źródła górnego co powoduje jego skroplenie. Na drodze do parownika czynnik napotyka zawór rozprężny. Jest to ostatni z elementów zamykający obieg termodynamiczny, który racjonuje ilość czynnika trafiającą do parownika. Procesowi temu towarzyszy obniżenie ciśnienia oraz temperatury czynnika. Do funkcjonowania pompy ciepła niezbędne jest również niskotemperaturowe dolne źródło ciepła oraz górne źródło ciepła o wyższej temperaturze, zapewniające odbiór „przetłoczonego” ciepła [10, 11, 12].



Rys. 2. Schemat cyklu termodynamicznego pompy ciepła [10]

Praca pompy ciepła opiera się na zasadzie odwróconego obiegu chłodniczego, w którym ciepło ze źródła o niskiej temperaturze transportowane jest do źródła o wyższej temperaturze. Z termodynamicznego punktu widzenia jest to "lewobieżny" obieg cieplny (Rys. 2.). Odnosząc się do drugiej zasady termodynamiki niemożliwy jest samoistny przepływ ciepła ze źródła o temperaturze niższej do źródła o temperaturze wyższej, dlatego aby pompa ciepła mogła działać potrzebny okazuje się czynnik wymuszający ten przepływ-w tym przypadku będzie to sprężarka. Na rysunku 3 przedstawiono uproszczony schemat obrazujący zasadę działania pompy ciepła.



Rys. 3. Uproszczony schemat działania sprężarkowej pompy ciepła [18]

Z dolnego źródła ciepła (powietrze, grunt lub woda) przez czynnik roboczy zostaje pobrane ciepło. Ogrzany płyn przepływa rurkami przez parownik, w którym znajduje się czynnik o niskiej temperaturze wrzenia i niskim ciśnieniu. Odbiera on ciepło pobrane z gruntu i pod jego wpływem odparowuje. Para czynnika zostaje zassana przez sprężarkę i sprężona przez co zwiększa się jej temperatura i ciśnienie. Gorąca para trafia do skraplacza. W skraplaczu znajdują się przewody, w których przepływa woda z instalacji i odbiera ciepło. Powoduje to obniżenie temperatury pary czynnika roboczego i jego skraplanie się. Ochłodzony czynnik roboczy dostaje się do zaworu rozprężnego i tam ulega rozprężeniu-spada jego ciśnienie i temperatura do wartości początkowych. W tym momencie cykl pracy zaczyna się od nowa. Ocenę energetyczną tego procesu można przeprowadzić wyznaczając dla pompy ciepła współczynnik wydajności cieplnej ϵ_p , inaczej nazywany wskaźnikiem sprawności pompy ciepła COP.

Wskaźnik ten opisany jest wzorem:

$$\varepsilon_p = \frac{Q_g}{L} \quad (1)$$

gdzie:

Q_g – ciepło dostarczone do górnego źródła ciepła,
L – Energia elektryczna zużyta przez sprężarkę.

W odniesieniu do systemów grzewczych z pompami ciepła można spotkać się również z sezonowym współczynnikiem efektywności SPF, który określa średnią wartość COP dla danego sezonu grzewczego [1, 3, 15, 16, 17].

3. STANOWISKO BADAWCZE

Stanowisko do badań prototypu hybrydowego układu pompy ciepła zasilanej z modułów fotowoltaicznych do podgrzewania wody użytkowej zostało zbudowane w Laboratorium Inżynierii Odnawialnych Źródeł Energii na WIM UTP w Bydgoszczy. W skład wyposażenia stanowiska wchodzi dwa współpracujące ze sobą układy:

- układ zasilania przez laboratoryjną instalację fotowoltaiczną

Laboratoryjną instalację fotowoltaiczną, funkcjonującą na budynku Wydziału Inżynierii Mechanicznej UTP w Bydgoszczy przedstawiono na rysunku 4. W instalacji zastosowano polikrystaliczne moduły fotowoltaiczne (najczęściej stosowane w Polsce) o mocy całkowitej 3000W (założono nadwyżkę mocy nominalnej z układu PV w stosunku do mocy pompy ciepła uwzględniając dogrzewanie wody przez grzałkę elektryczną). Zamocowano je na dachu budynku hali technologicznej WIM-UTP pod kątem 20 stopni. W instalacji wykorzystano inwerter hybrydowy PowerRouter firmy Nedap Energy Systems. Inwerter tego typu jest w pełni zintegrowanym system zarządzania energią elektryczną. Instalacje fotowoltaiczne zbudowane w oparciu o ten inwerter umożliwiają stworzenie własnej sieci dla zrównoważenia energii produkowanej przez ogniwa fotowoltaiczne i energii konsumowanej na potrzeby własne.

Uniwersalność urządzenia pozwala na podłączenie do niego w prosty sposób modułów fotowoltaicznych, odbiorników i banku akumulatorów. Automatyka inwertera hybrydowego pozwala na skonfigurowanie instalacji tak, aby wytworzona w ogniwach fotowoltaicznych energia była zużywana natychmiast, przechowywana w akumulatorach do późniejszego wykorzystania, a po naładowaniu akumulatorów i w przypadku braku odbioru energia może być oddawana do sieci. Ponadto inwerter można podłączyć do sieci Ethernet i dzięki portalowi internetowemu mypowerrouter.com (po zalogowaniu) można mieć wgląd na parametry pracy instalacji z dowolnego miejsca z dostępem do Internetu.



Rys. 4. Instalacja fotowoltaiczna na WIM UTP w Bydgoszczy wykorzystana do zasilania instalacji pompy ciepła: a, d - moduły PV, b - system pomiarowy, c - bank akumulatorów. Źródło: labioze.utp.edu.pl

Reasumując schemat działania zintegrowanego systemu fotowoltaicznego 3w1 wygląda w sposób następujący (Rys. 5.):

- wytworzona w modułach PV energia elektryczna jest dostarczana do PowerRouter'a,
- w razie potrzeby zasilania dowolnego odbiornika domowego, energia pobierana jest z PowerRouter'a,
- niewykorzystana energia elektryczna zostaje zgromadzona w systemie baterii akumulatorów,
- w przypadku zapotrzebowania na energię i braku słońca system wykorzystuje energię z baterii akumulatorów,

- w przypadku powstania nadwyżki energii, której nie można wykorzystać ani zakumulować oddaje się ją do sieci (jeśli system oczywiście jest podłączony do sieci),
- za pomocą portalu internetowego www.mypowerrouter.com w każdej chwili można monitorować i zarządzać produkcją i zużyciem energii.



Rys. 5. Działanie zintegrowanego systemu fotowoltaicznego 3w1 - PR30SB-BS/S24 Źródło: labioze.utp.edu.pl

- system pompy ciepła typu powietrze woda - podgrzewacz wody użytkowej

Wykorzystana podczas badań pompa ciepła PCWU 200K-2.3 kW z zasobnikiem 200 litrów (Rys. 6.) to urządzenie przeznaczone do podgrzewania ciepłej wody użytkowej, jest wyposażone w jedną węzownicę umieszczoną w dolnej części zasobnik umożliwiającą podłączenie kotła grzewczego. W pompie zastosowano wbudowany sterownik, który kontroluje wszystkie urządzenia w kotłowni po stronie przygotowania wody użytkowej np. pompę cyrkulacyjną, kocioł gazowy, olejowy lub stałopalny (jeśli są podłączone). Pozwala to ściśle zdefiniować priorytety włączania poszczególnych urządzeń np. w zależności od temperatury powietrza zasilającego pompę ciepła – tak, aby uzyskać optymalną efektywność całej instalacji.



Rys. 6. Prototypowa instalacja pompy ciepła PCWU 200K-2.3 kW z zasobnikiem 200 litrów zastosowana podczas badań. Źródło: zasoby własne

Zaletą podgrzewacza z pompą ciepła jest możliwość jego wykorzystania z dużą efektywnością również w dni pochmurne oraz nocą. W sytuacji szczególnej, jak również podczas automatycznej dezynfekcji *anti-legionella*, uruchamiana jest grzałka elektryczna. Źródło zasilania pompy stanowi powietrze zasysane z zewnątrz budynku. Powietrze wykorzystane wydalane jest na zewnątrz budynku, przy czym latem może być wykorzystywane do klimatyzowania pomieszczeń. Powietrze po przejściu przez pompę ciepła ulega osuszeniu, wobec czego może być również wykorzystane do osuszania powietrza. Dzięki innowacyjnemu rozwiązaniu technicznemu podgrzewacz z pompą ciepła zapewnia znaczne ograniczenie zużycia energii elektrycznej w skali całego roku. Zastosowana automatyka zapewnia wysoki komfort użytkowania podgrzewacza.

Zastosowanie tego typu pompy ciepła pozwala na uzyskanie w ciągu roku oszczędności energii elektrycznej do ogrzewania wody użytkowej na poziomie 50-60%, co przyczynia się do szybkiego zwrotu kosztów poniesionych na jej zakup. Biorąc pod uwagę połączeniu tego systemu z układem zasilania z instalacji fotowoltaicznej analiza ekonomiczna i ekologiczna będzie jeszcze bardziej korzystna.

Zarówno zbiornik, jak i węzownice podgrzewacza wykonane są ze stali nierdzewnej. Dodatkowe zabezpieczenie antykorozyjne stanowi anoda magnezowa przedłużająca żywotność podgrzewacza. Izolację cieplną stanowi warstwa sztywnej pianki poliuretanowej osłoniętej na zewnątrz płaszczem z blachy stalowej lakierowanej proszkowo. Standardowo każdy podgrzewacz wyposażony jest w grzałkę elektryczną.

4. METODYKA BADAŃ

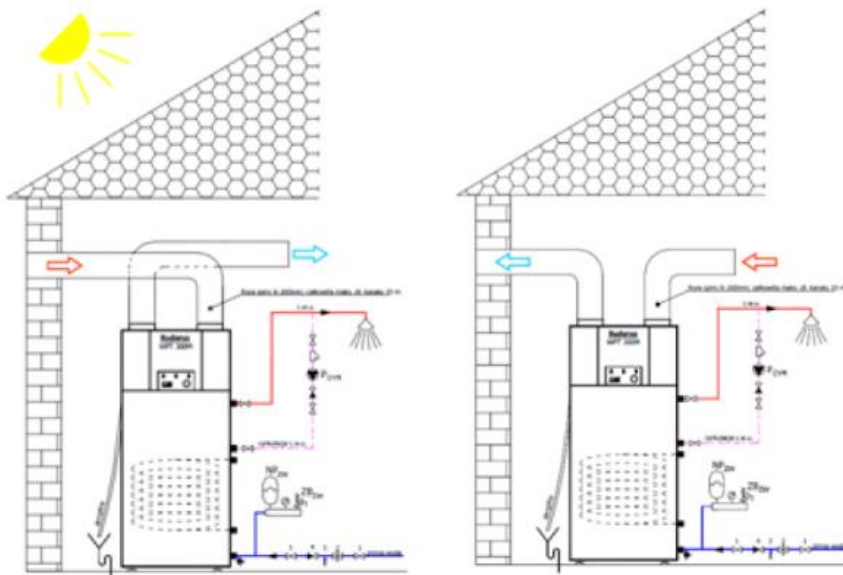
Podczas badań analizowano techniczno-ekonomicznej zastosowania w systemach podgrzewu ciepłej wody użytkowej sprężarkowych pomp ciepła, w których dolnym źródłem jest powietrze wentylacyjne (atmosferyczne). Dodatkowo sama pompa ciepła (sprężarka ew. grzałka elektryczna) była zasilana instalacją fotowoltaiczną. Pompa ciepła podgrzewa ciepłą wodę użytkową, wykorzystując do tego celu energię cieplną z powietrza wentylacyjnego budynku.

W pełni pokrywa ona całkowite zapotrzebowanie domu jednorodzinnego na ciepłą wodę użytkową. Dzięki zastosowaniu pompy ciepła można jednocześnie osiągnąć dwa efekty energetyczne (które weryfikowano):

- bardzo oszczędnie podgrzewać ciepłą wodę
- jednocześnie chłodzić wnętrze budynku latem.

Pomieszczenie, w którym instaluje się urządzenie powinno być ciepłe (np. kotłownia, piwnica, poddasze). Jednak najlepiej sprawdza się ona w pomieszczeniach, gdzie pracują już inne urządzenia emitujące ciepło: pralnia, suszarnia czy spiżarnia. W pomieszczeniach tych pompa ciepła będzie ochładzać powietrze i jednocześnie osuszać je. Ta ostatnia własność stanowi niewątpliwą zaletę pompy ciepła, szczególnie, gdy zainstalujemy ją w pralni, suszarni czy piwnicy. Okaże się szybko, że ciepła woda podgrzewana jest bardzo ekonomicznie, a pomieszczenia są suche, wolne od wilgoci, pleśni i nieprzyjemnych zapachów.

Powietrze z wnętrza budynku zostaje zasysane przez pompę ciepła, ochłodzone i znowu wytlócone do pomieszczenia. Jednocześnie z powietrza, na powierzchni parownika, zostaje wykroplona wilgoć, w konsekwencji czego powietrze wypływające z pompy ciepła jest suche i chłodne. W ten właśnie sposób realizowane jest ochładzanie budynku latem dzięki pompie ciepła.



Rys. 7. Zasada działania pompy ciepła na cele c.w.u. w okresie letnim i okresie zimowym. Źródło: instalreporter.pl

Wentylator pompy ciepła zasysa ciepłe powietrze z pomieszczenia i przetłacza je przez parownik (wymiennik ciepła), na którym powietrze to jest ochładzane o ok. 5-7 K, a dalej usuwane jest np. na zewnątrz budynku lub do tego samego pomieszczenia. Dzięki temu niewielkiemu wychłodzeniu powietrza, pompa ciepła odbiera z niego dużą ilość ciepła, które

wykorzystane będzie do podgrzewania ciepłej wody użytkowej w zasobniku np. 270-litrowym. Latem zaś, ciepłe powietrze zasysane jest z zewnątrz budynku, a to nieco schłodzone na parowniku może być kierowane do wnętrza budynku (Rys. 7.). W ramach badań skupiono się przede wszystkim na analizie ekonomicznej podgrzewania wody użytkowej. Kwestie istotne z punktu eksploatacji systemu hybrydowego były następujące:

- Jaką temperaturę podgrzewanej wody można w takim układzie uzyskać w różnych warunkach eksploatacyjnych.
- Jaką wartość ma zużycie energii elektrycznej przez pompę ciepła przy podgrzewaniu wody użytkowej od 10°C do 60°C.
- Czy zapotrzebowanie energii na ogrzewaniu wody użytkowej może być pokryte z instalacji fotowoltaicznej o mocy nominalnej 3 kW.
- Jak długi jest czas podgrzewania wody użytkowej od 10°C do 60°C.
- Jaki jest koszt podgrzewania wody w zależności od temperatury w układzie hybrydowym.

Pompa ciepła pozyskuje około 70% potrzebnej energii cieplnej do podgrzewania c.w.u. z powietrza wentylacyjnego. W ten sposób koszty podgrzewania ciepłej wody zostają zminimalizowane aż o 2/3. Do podgrzania 300 dm³ wody do temperatury 45°C-60°C powietrzną pompą ciepła potrzebujemy około 5-7 godzin, koszt zaś jej uzyskania wynosi około 1,50 zł - 2,5 zł (przy założeniu ceny energii elektrycznej na poziomie 0,52 zł/kWh). Podgrzewa ona wodę niezależnie od warunków pogodowych, jedynym warunkiem jest temperatura powietrza zasysanego przez pompę ciepła powyżej -10°C, poniżej tej temperatury załącza się grzałka elektryczna (może być ona w analizowanym układzie zasilana instalacją fotowoltaiczną) lub dodatkowe źródło ciepła. Do pompy ciepła można podłączyć instalację słoneczną, kominiek z płaszczem wodnym lub kocioł na paliwo stałe dzięki wbudowanemu wymiennikowi ciepła w postaci węzownicy wewnątrz pompy ciepła jako dodatkowe źródło ciepła. Idealnie urządzenie tego typu nadaje się do modernizacji istniejących instalacji c.w.u., dzięki niewielkiej cenie i niskiej eksploatacji (którą możemy jeszcze zmniejszyć stosując zasilanie układem fotowoltaicznym) jest ona do tego celu uzasadniona pod względem ekonomicznym.

5. WYNIKI BADAŃ

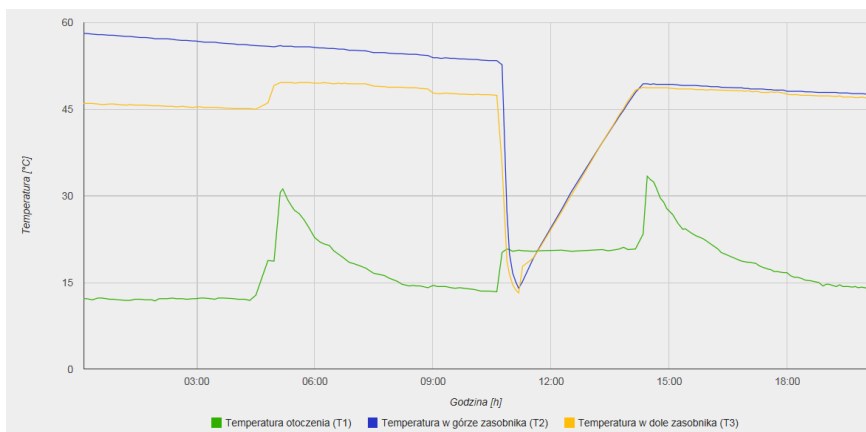
Badania przeprowadzane były w Laboratorium Odnawialnych Źródeł Energii, które mieści się na Uniwersytecie Technologiczno-Przyrodniczym im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich w Bydgoszczy. Dzięki udostępnieniu przez firmę HEWALEX oprogramowania można było dokonywać odczytów funkcjonowania pompy ciepła nie tylko w laboratorium, ale także poza nim. Program generuje wybrane schematy oraz wykresy, które są istotne dla użytkownika. W archiwum programu zbierane są przede wszystkim informacje dotyczące temperatur: dolnego źródła, górnego źródła, w parowniku, w dole i górze zbiornika. Również dzięki urządzeniu NEDAP Energy System możliwe jest uzyskiwanie m.in. wyników spożytkowania energii przez pompę ciepła wytworzonej z paneli fotowoltaicznych.

Podczas badań celowo opróżniano całkowicie zbiornik pompy ciepła, aby wymusić jej pracę do nagrzania wody od ok. 10°C do temp. ok 45°C. Badania wykonywano w okresie zimowym w lutym 2015 roku. Pomiary realizowano w ciągu dnia, przeważnie mieszcząc się w przedziale czasu od 8:00 do 15:00. W czasie podgrzewania nie korzystano z wody w zbiorniku pompy ciepła. Analizie poddano pracę pompy ciepła w dwóch wariantach: pierwszy gdy dolnym źródłem było powietrze wewnątrz pomieszczenia, w którym znajdowała się pompa ciepła; drugi, gdy dolnym źródłem było powietrze na zewnątrz budynku. Wykorzystane dolne źródła różniły się temperaturami: w pomieszczeniu temperatura powietrza wynosiła ok. 20°C, natomiast temperatura na zewnątrz budynku przekraczała 5°C. Ze względu na różnicę temperatur dolnych źródeł uzyskano odmienne czasy podgrzewania wody w zbiorniku dla omawianych przypadków.

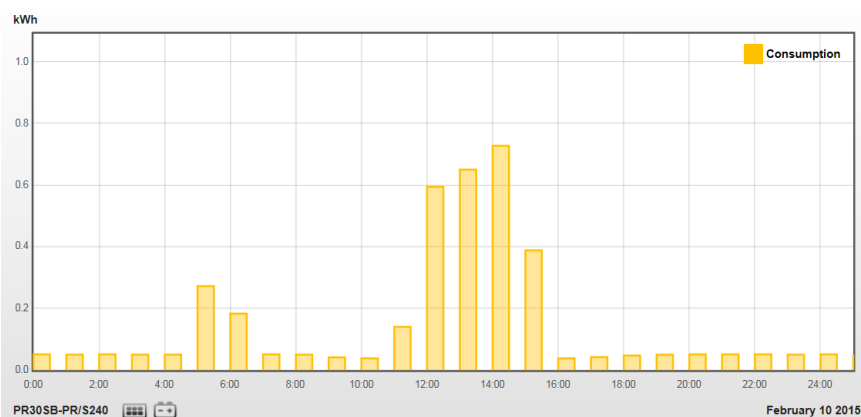
W analizie ekonomicznych aspektów zasilania sprężarki z modułów fotowoltaicznych wzięto pod uwagę informację dotyczące konsumpcji energii elektrycznej wytworzonej w sekcji fotowoltaicznej dla jednego cyklu pracy pompy ciepła. W większości przypadków zapotrzebowanie na energię elektryczną sprężarki było w 100% pokryte przez energię elektryczną produkowaną przez instalację fotowoltaiczną. Pomiary rozpoczęto z w pełni naładowanymi akumulatorami. W analizach nie uwzględniano natomiast kosztów instalacji, ponieważ w rozważaniach skupiono się głównie na wykazaniu oszczędności w eksploatacji pompy ciepła, wynikających z zastąpienia energii z sieci, zieloną energią. Do analizy ekonomicznej przyjęto cenę jednostkową za 1kWh na poziomie 0,50zł.

5.1. BADANIA WYKONYWANE Z WYKORZYSTANIEM POWIETRZA WEWNĄTRZ POMIESZCZENIA JAKO DOLNE ŹRÓDŁA CIEPŁA

Pomiary czasu podgrzewania wody, gdy dolnym źródłem było powietrze wewnątrz pomieszczenia o temperaturze ok. 20°C, w którym znajdowała się pompa ciepła, przeprowadzono w dniach 10-16. 02.2015 r. Przykładowy dobowy wykres temperatur w dniu 10.02.2015 oraz zestawienie poszczególnych, istotnych wartości badanych podczas podgrzewania wody w zbiorniku pompy ciepła pokazano na rysunku 8.



Rys. 8. Dobowy wykres temperatur na dzień 10.02.2015r.



Rys. 9. Energia wykorzystana przez pompę ciepła wytworzona z instalacji fotowoltaicznej w dniu 10.02.2015r.

Dla każdego z badanych cykli dodatkowo generowano wykresy konsumpcji energii elektrycznej produkowanej przez moduły fotowoltaiczne (PV), z których odczytywano wartość energii elektrycznej zużytej przez sprężarkę w czasie podgrzewania wody. Rysunek 9 przedstawia przykładowy wykres z dnia 10.02. Z wykresu można odczytać czas pracy sprężarki objawiający się zwiększonym zużyciem energii elektrycznej z PV w godzinach od 11:00 do 15:00, co pokrywa się z godzinami wzrostu temperatury wody w zbiorniku z wykresu na rysunku 8. Podobne wykresy otrzymano dla pozostałych dni.

Tab. 2. Zestawienie wyników badań z wykorzystaniem powietrza wewnątrz pomieszczenia jako dolne źródło ciepła

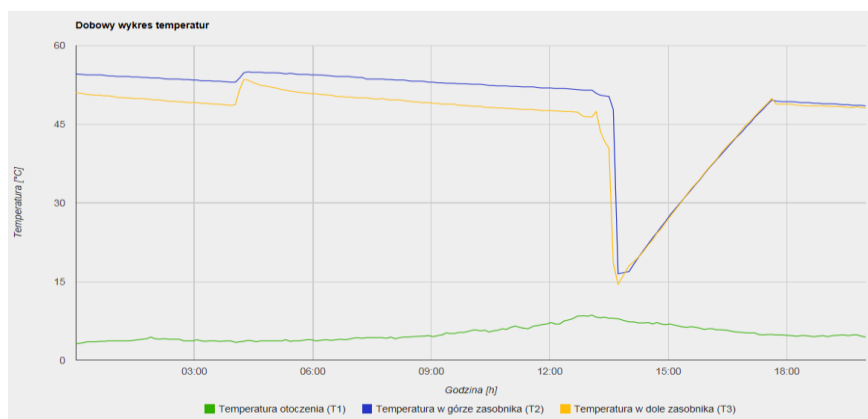
Data	Czas grzania wody [min]	Procentowy udział pracy urządzeń grzewczych [%]		Uzysk mocy z instalacji PV [kWh]	Oszczędności na cyklu podgrzania [zł]
		Pompa ciepła	Grzałka elektryczna		
10.02.2015	183	100	0	2,5	1,25
11.02.2015	160	100	0	2,49	1,25
12.02.2015	345	100	0	3,94	1,97
13.02.2015	183	100	0	2,39	1,20
16.02.2015	173	100	0	2,19	1,10

Badania dotyczące podgrzewania wody w pompie ciepła z powietrzem pobieranym z wewnątrz pomieszczenia, wykazały, że po wykonaniu 5 cykli spuszczenia wody i ponownego ich nagrzania średni czas nagrzania wody wyniósł 3 godziny 29 minut. W tabeli 2. przedstawiono czas podgrzewu wody przez pompę ciepła w badanych cyklach. Zapotrzebowanie sprężarki na energię elektryczną we wszystkich przypadkach było w całości pokryte energią z PV dzięki czemu można było

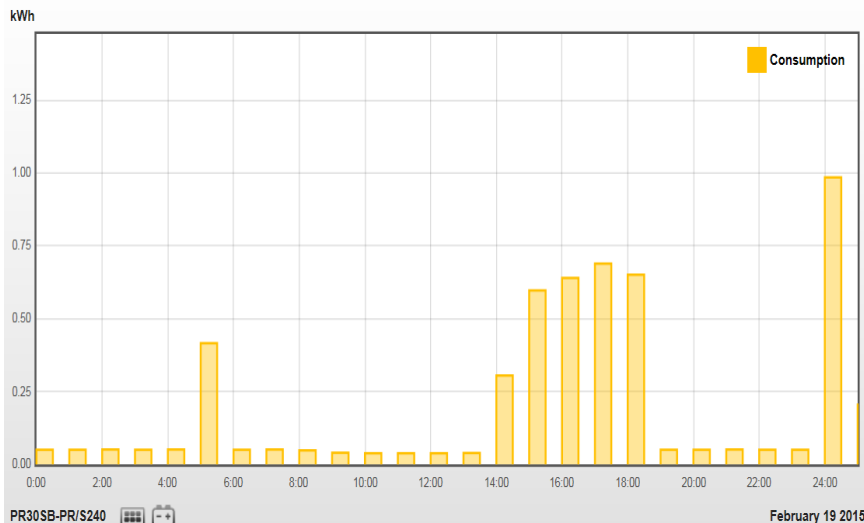
zaoszczędzić średnio 2,702kWh/cykl, co daje oszczędności rzędu 1,35zł/cykl. Wysoki temperatura dolnego źródła pozwoliła na podgrzewanie wody całkowitą pracę podgrzewania wody przejęła pompa ciepła.

5.2. BADANIA WYKONYWANE Z WYKORZYSTANIEM POWIETRZA NA ZEWNĄTRZ BUDYNKU JAKO DOLNE ŹRÓDŁO CIEPŁA

Badania w tym zakresie przeprowadzone były z pobraniem powietrza z zewnątrz budynku, przez co temperatura dolnego źródła będzie znacznie niższa niż we wcześniejszych przypadkach. W badanym okresie: od 19.02-23.02. 2015 temperatura otoczenia wynosiła od 5°C do ok. 10°C. Najniższą temperaturę dolnego źródła, dla której pompa ciepła będzie pracować, ustawiono na 5°C. W przypadku gdy, temperatura dolnego źródła spadła poniżej 5°C pompa ciepła nie pracowała, a podgrzewanie wody przejmowała grzałka elektryczna, która podobnie jak sprężarka zasilana była z PV. Rysunek 10. przedstawia przykładowy wykres dobowy temperatur oraz zestawienie poszczególnych, istotnych wartości badanych podczas podgrzewania wody w zbiorniku pompy ciepła w dniu 19.02. Pomiar rozpoczęto o godz. 14 i podobnie jak w przypadku pomiarów, gdy dolnym źródłem było powietrze wewnątrz pomieszczenia, wygenerowano wykres konsumpcji energii produkowanej przez instalację fotowoltaiczną (Rys. 11.).



Rys. 10. Dobowy wykres temperatur na dzień 19.02.2015r.



Rys. 11. Energia wykorzystana przez pompę ciepła wytworzona z instalacji fotowoltaicznej w dniu 19.02.2015r.

Badania dotyczące podgrzewania wody w pompie ciepła z powietrzem pobieranym z zewnątrz pomieszczenia, wykazały, że po wykonaniu 4 cykli spuszczenia wody i ponownego ich nagrzania średni czas nagrzania wody wyniósł 3 godziny 42minut. Tabela 3 zawiera wyniki czasu podgrzewu wody dla każdego z badanych cykli. W dwóch próbach temperatura dolnego źródła przez pewien czas spadła poniżej 5°C, co spowodowało wyłączenie pompy ciepła i podgrzanie wody przez grzałkę elektryczną. Dzięki podłączeniu instalacji PV do sprężarki i grzałki, w którą dodatkowo wyposażony jest zbiornik pompy ciepła, można było zaoszczędzić średnio 3,125kWh/cykl, co daje oszczędności rzędu 1,56zł/cykl. W przypadku, gdy ilość energii z PV całkowicie pokrywa zapotrzebowanie energetyczne sprężarki otrzymuje się darmowe ciepło i darmową pracę pompy ciepła.

Tab. 3. Zestawienie wyników badań z wykorzystaniem powietrza na zewnątrz budynku jako dolne źródło ciepła

Data	Czas grzania wody [min]	Procentowy udział pracy urządzeń grzewczych [%]		Uzysk mocy z instalacji PV [kWh]	Oszczędności na cyklu podgrzania [zł]
		Pompa ciepła	Grzałka elektryczna		
19.02.2015	240	100	0	2,89	1,45
20.02.2015	144	80,6	19,4	3,71	1,86
21.02.2015	227	100	0	2,79	1,40
23.02.2015	279	98,4	1,6	3,11	1,56

6. WNIOSKI

Produkcja c.w.u. powstałej w pompie ciepła, której sprężarka zasilana jest energią elektryczną wykorzystującą energię promieniowania słonecznego, z instalacji PV ma ogromną możliwość rozwoju w Polsce jak i na świecie. Na świecie przewiduje się duży przyrost instalacji pomp ciepła oraz fotowoltaicznych o dużej mocy jak również mikroinstalacji. Dzięki dobremu wsparciu finansowemu energetyki odnawialnej w Europie to właśnie tu występuje największa część mocy zainstalowanej i produkowanej z instalacji PV. Dzięki coraz większemu zainteresowaniu „zieloną energią” zauważalny jest dynamiczny rozwój w tym sektorze energetyki. Przez brak dobrej regulacji prawnej związanej z Odnawialnymi Źródłami Energii nadal wiele osób jest sceptycznych jeśli chodzi o tego typu instalacje. Przemawia jednak do nich aspekt finansowy, pomimo wciąż nieustalonej kwestii cen wytwarzanej „zielonej energii”. W ciągu ostatnich lat mocno rozrosła się sieć zamontowanych instalacji PV połączonych zarówno z oświetleniem, czy innymi urządzeniami elektrycznymi, jak i wykorzystuje się je do uzyskania c.w.u., czego przykładem jest badany układ pompy ciepła z instalacją fotowoltaiczną o mocy 3kW. Jest oczywiście wielu zwolenników i przeciwników takiego wykorzystywania uzyskanej energii. Natomiast niewątpliwą zaletą są korzyści majątkowe płynące z tego typu instalacji do uzyskiwania ciepłej wody użytkowej. Ważnym aspektem jest również możliwość zapewnienia c.w.u. w miejscach, które nie są podłączone do sieci elektroenergetycznej oraz wodociągowej (choć jest to coraz rzadziej spotykana sytuacja). Sprężarka zasilana z paneli PV pozwala znacznie zmniejszyć koszty eksploatacji pompy ciepła, lecz szybkość podgrzewu wody w dużej mierze zależy od temperatury dolnego źródła. Im niższa temperatura dolnego źródła, tym czas podgrzewania wody jest dłuższy. Dzięki sprzężeniu pompy ciepła z instalacją modułów energia elektryczna pobierana zarówno przez grzałkę jak i sprężarkę pochodzi właśnie z PV co redukuje koszty eksploatacji pompy ciepła prawie do zera.

7. LITERATURA

- Lewandowski W.M., „Proekologiczne odnawialne źródła Energii”. Wydanie IV. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne. Warszawa 2010,
- Ligus M., „Efektywność inwestycji w odnawialne źródła energii”. Wydawnictwo CeDeWu. Warszawa 2010,
- Praca zbiorowa: „Odnawialne i niekonwencjonalne źródła energii”. Poradnik, TARBONUS 2008,
- Jastrzębska G., „Odnawialne źródła energii i pojazdy proekologiczne”. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, wyd. II, Warszawa 2009,
- Krawiec F., „Odnawialne źródła energii w świetle globalnego kryzysu energetycznego”. Wybrane problemy. Wydawnictwo Difin. Warszawa 2010,
- Nowak W., Stachel A.A., Borsukiewicz-Gozdur A., „Zastosowania odnawialnych Źródeł Energii”. Wydawnictwo Naukowe Politechniki Szczecińskiej, Szczecin 2008,
- Pluta Z., „Słoneczne instalacje energetyczne”. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2008,
- Klugman-Radziemska E., „Odnawialne źródła energii. Przykłady obliczeniowe”. Wyd. IV, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2011,
- Zawadzki M., „Kolektory słoneczne, pompy ciepła - na tak”. Wydawnictwo Zawadzki, Polska Ekologia, Warszawa 2003,
- Zalewski W., „Pompy ciepła sprężarkowe, sorpcyjne i termoelektryczne. Podstawy teoretyczne. Przykłady obliczeniowe”. Wydawnictwo IPPU MASTA. Gdańsk 2001,
- Rubik M., „Pompy ciepła”. Wyd. III, Wydawnictwo Ośrodek Informacji Technika Instalacyjna w Budownictwie, Warszawa 2006,
- Oszczak W., „Ogrzewanie domów z zastosowaniem pomp ciepła”. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2009,
- Bieliński K., Flizikowski J., „Projektowanie środowiskowych procesorów energii”. Wydawnictwa Uczelniane Akademii Techniczno-Rolniczej, Bydgoszcz 2002,
- <http://gramzielone.pl/dom-energooszczedny/9455/portpc-w-2013-roku-polski-rynek-pomp-ciepła-wzrosł-o-20>,
- Jabłoński W., Wnuk J., „Odnawialne źródła energii w polityce energetycznej Unii Europejskiej i Polski. Efektywne zarządzanie inwestycjami - studia przypadków”, Wyższa Szkoła Zarządzania i Marketingu w Sosnowcu, Sosnowiec 2004,

16. Tytko R., „Urządzenia i systemy energetyki odnawialnej”. Wydawnictwo i Drukarnia Towarzystwa Słowaków w Polsce, Kraków 2013,
17. Zimny J., „Odnawialne źródła energii w budownictwie niskoenergetycznym”, Polska Generalna Asocjacja, Akademia Górniczo Hutnicza, Wydawnictwo Naukowo – Techniczne, Kraków 2010,
18. www.milewski-co.pl, Odnawialne źródła energii-pompy ciepła, [dostęp: 12.02. 2015r.].