

*energia gruntu, energia naturalna, wymiennik powietrzny gruntowy,
efektywność, ergooszczędność,*

Wojciech CEPIŃSKI*

EFEKTYWNOŚĆ POWIETRZNEJ POMPY CIEPŁA

W artykule rozważono współpracę pompy ciepła typu powietrze-woda oraz typu powietrze-powietrze z bezprzeponowym gruntowym wymiennikiem ciepła i masy (BGWCiM), wg patentu Politechniki Wrocławskiej, jako dolnym źródłem ciepła dla potrzeb ogrzewania pomieszczeń. Opisano konstrukcję oraz przeanalizowano i porównano opłacalność pozyskiwania energii z gruntu proponowanym sposobem, w trybie pracy bez udziału oraz z udziałem BGWCiM dla całego okresu grzewczego.

1. WPROWADZENIE

1.1. GENEZA PODJĘCIA TEMATU

W sytuacji ogólnoświatowego niedoboru energii i równoczesnego wyczerpywania tradycyjnych surowców energetycznych istnieje pilna potrzeba szukania rozwiązań kładących nacisk na większe wykorzystanie naturalnych, odnawialnych jej źródeł, których zwiększona eksploatacja służy istotnemu ograniczeniu skażenia środowiska pozostałościami procesów spalania, będącego konsekwencją stosowania tradycyjnych systemów wytwarzania energii opartych na paliwach kopalnych. Z tego względu wzrosło w sposób istotny na świecie (w tym także w Polsce) zainteresowanie urządzeniami umożliwiającymi zarówno grzanie jak i chłodzenie pomieszczeń ze znacznym wykorzystaniem naturalnej energii odnawialnej - tzw. pompami ciepła. Urządzenia te znane są od dawna, jednakże obecnie dzięki postępowi technicznemu i istotnym unowocześnieniom konstrukcyjnym stały się trwalsze, niezawodne i bardziej efektywne.

Oczekiwane są jednak dalsze działania prowadzące do skutecznego podwyższenia efektywności działania tych pozyskujących energię odnawialną urządzeń, zwłaszcza dla celów

* Instytut Klimatyzacji i Ogrzewnictwa Politechniki Wrocławskiej, ul. C.K. Norwida 4/6 50-373 Wrocław, wojciech.cepinski@pwr.edu.pl

utrzymania mikroklimatu pomieszczeń, gdyż warto przypomnieć, że w naszej strefie klimatycznej na te potrzeby konsumuje się prawie 40% wytworzonej mocy.

1.2. DOLNE ŹRÓDŁO POMPY CIEPŁA

Wybór dolnego źródła ciepła ma duże znaczenie dla efektywności i ekonomiczności działania pompy ciepła. Jednocześnie narzuca to odpowiednie rozwiązania techniczne wiążące się z kosztami inwestycyjnymi. Źródło dostarczające ciepło do parowacza winno się charakteryzować: dużą pojemnością cieplną, możliwie wysoką i stałą temperaturą, brakiem zanieczyszczeń powodujących korozję elementów instalacji i powstawaniem osadów, łatwą dostępnością i niskimi kosztami instalacji służącej do pozyskiwania i transportu ciepła.

Źródłem dolnym może być woda podziemna (studnie wiercone) bądź powierzchniowa - ze zbiorników wodnych (stawy, jeziora, rzeki). Temperatura wód gruntowych waha się w granicach 8-10 °C, co umożliwi projektowanie układów dla warunków obliczeniowych i całoroczną eksploatację. Woda powierzchniowa zaś może być wykorzystywana do momentu, gdy wynikająca z jej parametrów temperatura odparowania nie spadnie poniżej zera. Jednostkowy strumień ciepła uzyskiwany w parowaczu zasilanym zarówno wodą podziemną jak i powierzchniową wynosi 4,5-5,9 kWh/m³, stąd wydajność grzewcza na 1 m³ wody osiąga 6,8 do 9 kW. Wadą jest ograniczona dostępność do wody (odległość do zbiornika wody, poziom wód gruntowych, istnienie cieków wodnych, itp.), a także występujące problemy, związane z jej zanieczyszczeniem i korozyjnością. Zachodzi więc potrzeba stosowania lepszych i droższych materiałów, konieczność okresowego czyszczenia parownika i konserwacji studni oraz stosowanie wymienników pośredniczących.

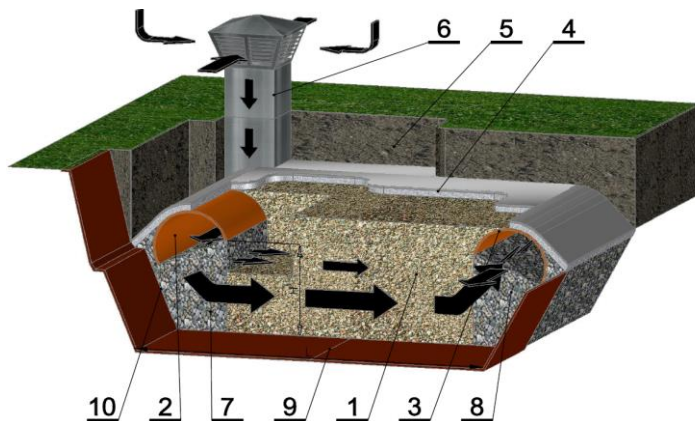
Najbardziej popularne w Polsce są obecnie gruntowe pompy ciepła typu solanka/woda i glikol/woda. Grunt, ze względu na swoją prawie stałą temperaturę w ciągu roku równą w przybliżeniu średniorocznej temperaturze powietrza, stanowi doskonały zasobnik energii. Ciepło pobierane jest z gruntu za pomocą przepływowych, gruntowych wymienników ciepła (pionowych lub poziomych) połączonych w różnych konfiguracjach. Gęstość strumienia pobieranego ciepła, zależnie od rodzaju gruntu, dla wymienników poziomych wynosi 10-40 W/m² a dla wymienników pionowych 55-100 W/m. Kolektory poziome kładzione na głębokości ok. 1,5-2,0 m potrzebują dużych wykopów i dużej powierzchni (3-4 razy większej od powierzchni ogrzewanej). Wymienniki pionowe, zależnie warunków hydrogeologicznych, wymagają z kolei kosztownych odwiertów do głębokości 50-150 m, poprzedzonych odpowiednimi badaniami i stosownymi zezwoleniami.

Najtańszym pod względem instalacyjnym i ogólnie dostępnym źródłem dolnym jest powietrze atmosferyczne. Niekorzystną jego cechą jest zmienność temperatury zarówno w przekroju dobowym jak i sezonowym. Dodatkowo z powodu małej koherentności wraz ze spadkiem temperatury zewnętrznej, rośnie zapotrzebowanie na moc

cieplną, a moc grzewcza powietrznej pompy ciepła spada. Konsekwencją tego zjawiska, przy racjonalnie - ekonomicznie zaprojektowanym układzie, jest potrzeba wspomaganie pompy ciepła dodatkowym źródłem ciepła. Jeżeli będzie nim grzałka elektryczna (zasilana również prądem), pompa ciepła będzie pracować w układzie biwalentnym monoenergetycznym, jeżeli kocioł szczytowy jest w układzie biwalentnym. Układ biwalentny może być rozdzielony, równoległy i mieszany. W układzie rozdzielonym pompa ciepła pracuje tylko do pewnej, ustalonej na etapie projektowania temperatury zewnętrznej, poniżej której ogrzewanie w budynku zapewnia samodzielnie inne źródło ciepła. W układzie równoległym pompa pracuje przez cały okres, nawet poniżej temperatury, do której jest w stanie sama pokryć zapotrzebowanie na ciepło, a niedobory uzupełniane są drugim źródłem ciepła. W układzie mieszanym pompa ciepła najpierw samodzielnie pokrywa zapotrzebowanie na ciepło budynku (w wyższych temperaturach zewnętrznych), następnie wraz z dodatkowym źródłem pracuje do temperatury, poniżej której jej praca jest nieopłacalna, po czym następuje jej wyłączenie i przejście ogrzewania przez drugie źródło energii.

1.3. BEZPRZEPONOWY GRUNTOWY WYMIENNIK CIEPŁA I MASY (BGWCIM)

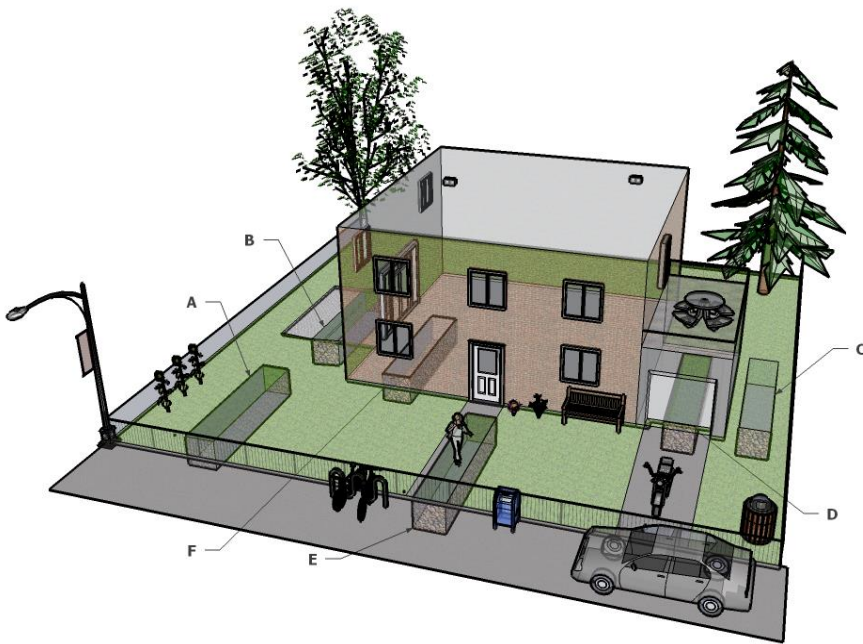
W Instytucie Klimatyzacji i Ogrzewnictwa Politechniki Wrocławskiej od ponad 30 lat prowadzone są badania nad efektywnym pozyskiwaniem naturalnej energii cieplnej (a także chłodu) z nieznacznej głębokości gruntu, w bezprzeponowym gruntowym wymienniku ciepła i masy dla celów wentylacji i klimatyzacji [1-3].



Rys. 1. Przykładowe wykonanie wymiennika: 1 - złożo akumulacyjne, 2 - kanał rozprowadzający, 3 - kanał zbierający, 4 - izolacja cieplno-wilgotnościowa, 5 - przykrycie wymiennika, 6 - czerpnia powietrza, 7 - złożo rozprowadzające, 8 - złożo zbierające, 9 - grunt rodzimy, 10 – geowłóknina

W klimacie śródkowoeuropejskim temperatura gruntu na głębokości 4–5 m jest prawie stała przez cały rok i zbliżona do średniej rocznej temperatury powietrza zewnętrznego wynoszącej ok. $+10 (\pm 1,5) ^\circ\text{C}$. Umieszczając na takiej głębokości wypełnienie naturalne o odpowiedniej objętości można skonstruować urządzenie podgrzewające powietrze w zimie i ochładzające latem. Na takiej zasadzie pracuje zaprojektowany, zbudowany i opatentowany w latach osiemdziesiątych poprzedniego wieku przez Politechnikę Wrocławską w kraju i za granicą, bezprzeponowy gruntowy wymiennik ciepła i masy – BGWCiM (rys. 1).

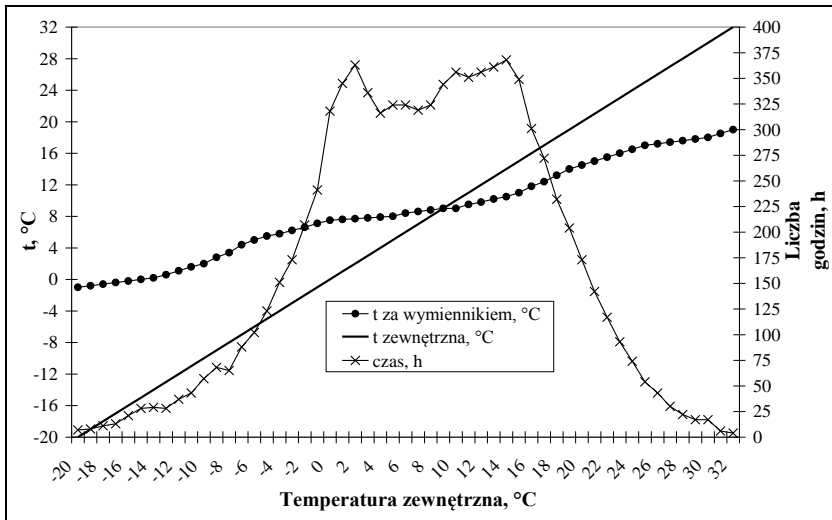
Ze względu na istotę działania i sposób regeneracji, wymiennik może być zlokalizowany praktycznie w dowolnym miejscu działki (rys. 2).



Rys. 2. Możliwe lokalizacje wymiennika: A – w trawniku, B – pod tarasem, C – wzdłuż ogrodzenia, D – pod garażem, E – pod chodnikiem, F – pod budynkiem

W wymienniku powietrze zewnętrzne prowadzone jest poziomo przez złoże akumulacyjne o długości 3–5 m (rys. 1) [1]. W wyniku kontaktu powietrza przepływającego pomiędzy wypełnieniem złoża następuje zbliżenie jego temperatury do temperatury wypełnienia, czego efektem jest w okresach szczytowych obciążeń podgrzanie powietrza zewnętrznego zimą od $-18 ^\circ\text{C}$ do około $0 ^\circ\text{C}$, a w lecie ochłodzenie go od $+30 ^\circ\text{C}$ do około $+20 ^\circ\text{C}$. Spadek ciśnienia na elementach doprowadzających powietrze do złoża jest pomijalnie mały, a na samym złożu, zależnie od rodzaju wypełnienia i sposobu eksploatacji, niewielki w granicach od 100 do 300 Pa.

Na rysunku 3 przedstawiono średnie wartości temperatury powietrza po przejściu przez BGWCiM oraz średnie czasy występowania danych temperatur zewnętrznych dla miasta Wrocławia [2], wyznaczone i opracowane statystycznie na podstawie wieloletnich pomiarów. Wykres ten może być wykorzystany w projektowaniu oraz stanowić podstawę do przeprowadzania wszelkich analiz związanych z całorocznym działaniem urządzenia.



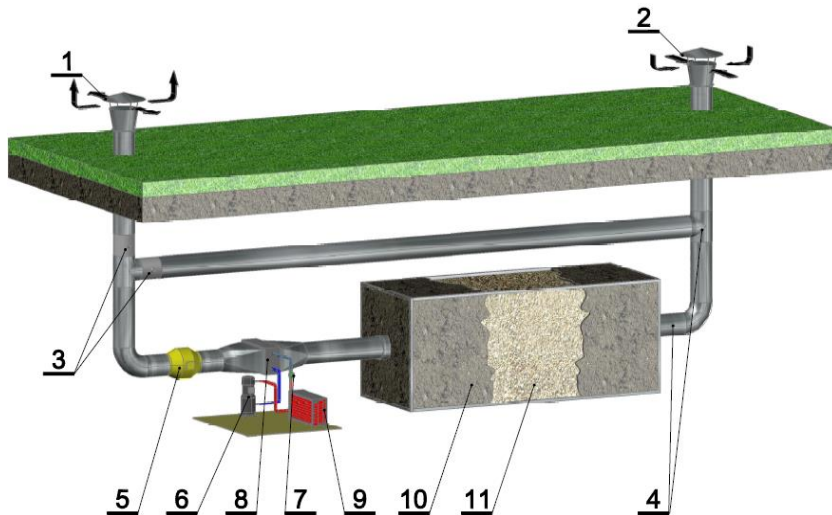
Rys. 3. Średnie wartości temperatury powietrza za wymiennikiem gruntowym oraz liczba godzin występowania danych temperatur zewnętrznych w ciągu roku [3]

Moc i sprawność wymiennika gruntowego maleją w okresie zimnym i ciepłym, a ma to związek ze zmienną temperaturą otaczającego gruntu, w wyniku wyczerpywania się energii w nim zakumulowanej. Konsekwencją powyższego jest uzyskiwanie niższych temperatur powietrza za wymiennikiem w porównaniu do ich średniej wartości w okresie przejściowym wiosennym i początkowym letnim oraz wyższych w okresie przejściowym jesiennym i początkowym zimowym. Przesunięcie to wynika - przy założeniu stałego ładowania z „wnętrza ziemi” - z bezwładności gruntu, będącego rezerwuarem energii, wpływu zmiennych warunków zewnętrznych na jego parametry oraz z pracy wymiennika, dodatkowo wpływającej na parametry gruntu. Powyższą właściwość należy uwzględnić podczas obliczania i projektowania mocy urządzeń współpracujących z BGWCiM oraz uwzględnić w algorytmie działania automatyki.

2. WYMIENNIK GRUNTOWY JAKO DOLNE ŹRÓDŁO POMPY CIEPŁA

2.1. IDEA ROZWIĄZANIA

Oryginalnym pomysłem na zwiększenie efektywności pozyskiwania energii cieplnej przy pomocy pompy ciepła typu powietrze/powietrze i powietrze/woda i uczynienie jej monowalentnym źródłem ciepła jest możliwość współdziałania z bezprzeponowym gruntowym wymiennikiem ciepła i masy - patentu Politechniki Wrocławskiej (BGWCiM). Schemat takiego rozwiązania przedstawiono na rysunku 4 [3].



Rys. 4. Bezprzeponowy gruntowy wymiennik ciepła i masy we współpracy z powietrzną pompą ciepłą:
 1 - wyrzutnia powietrza, 2 - czerpnię powietrza, 3 - przepustnice regulacyjne, 4 - przewody powietrzne,
 5 - wentylator, 6 - sprężarka, 7 - zawór rozprężny, 8 - parowacz, 9 - skraplacz, 10 - wymiennik gruntowy,
 11 - wypełnienie (złoże) wymiennika

W wyniku takiej współpracy wahania temperatury powietrza dopływającego do parowacza lub skraplacza, zarówno w cyklu dobowym jak i w sezonowym, są znacznie mniejsze, co wyraźnie wpływa na poprawę warunków pracy i efektywność działania urządzenia. Jednocześnie w wyniku nie występowania ekstremalnych parametrów funkcjonowania (obliczeniowe (projektowe) temperatury zewnętrzne i jednocześnie obliczeniowe temperatury zasilania instalacji wewnętrznych wynikające z krzywej grzania) czyli największych obciążeń poszczególnych elementów układu (mechanicznych części sprężarki, zaworów itp.) znacząco zwiększa się jego żywotność i bezawaryjność.

Układ taki pozbawiony jest wad cieczowych i freonowych wymienników gruntowych zarówno pionowych jak i poziomych. Nie ma ryzyka rozszczelnienia instalacji z poważnymi konsekwencjami zanieczyszczenia gleby i konieczności, wiążącej się z pracami ziemnymi i wymianą zniszczonych elementów, kosztownej naprawy oraz uzdatniania i uzupełniania czynnika, a potem ponownych rozruchów i prób ciśnieniowych. Dodać należy, że napraw tych dokonywać mogą jedynie wyspecjalizowane firmy, a wydatki z tytułu ich prac są znaczące. Również koszty wykonania i niezbędna powierzchnia działki na umieszczenie wymiennika są mniejsze.

Powietrze jako medium dostępne jest w dowolnej ilości i nieodpłatnie, a sama konstrukcja wymiennika jest na tyle nieskomplikowana, że poprawne jej wykonanie praktycznie wyklucza ewentualną awarię. Ponieważ uzdatnione powietrze w BGWCiM nie jest kierowane do pomieszczeń można stosować mniej restrykcyjne wymagania co do projektowania jak i wykonania samego urządzenia. Dopuszczalne byłoby nawet okresowe zalanie go wodami gruntowymi. Również ewentualny powstały nieprzyjemny zapach nie będzie powodował przerwy w działaniu, gdyż z powietrza wykorzystywane będą jedynie jego cieplne właściwości. Do kosztów eksploatacyjnych takiego układu należy doliczyć dodatkową moc wentylatora na pokonanie oporów wymiennika, które przy współpracy z pompą ciepła lub agregatem chłodniczym powinny wynosić do 100-200 Pa oraz, zależnie od wybranego wariantu współpracy, niezbędne są dodatkowe elementy układu regulacji i sterowania.

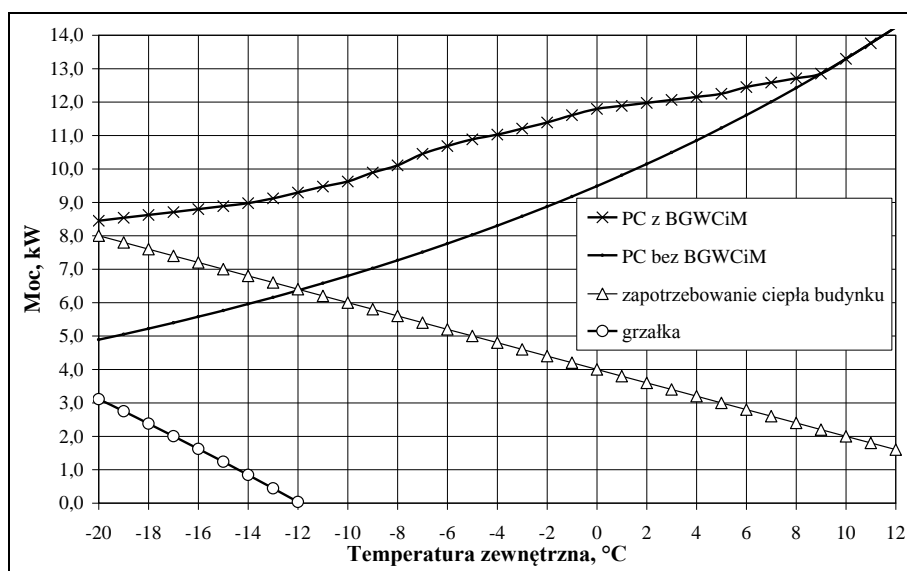
Stosowanie takich układów pozwala ponadto na wykorzystanie wyjątkowych możliwości BGWCiM w budynkach, w których do tej pory ze względu na brak odpowiedniej przestrzeni na prowadzenie kanałów powietrznych, niemożliwe było stosowanie centralnych układów klimatyzacyjnych i wentylacyjnych zapewniających odpowiedni mikroklimat pomieszczeń. Zastosowanie BGWCiM na poziomie źródła ciepła i chłodu pozwala na wykorzystanie prawie wszystkich zalet termodynamicznych wynikających z użytkowania w instalacjach wentylacyjnych i klimatyzacyjnych oraz nowych będących konsekwencją uzyskania przez uzdatnione powietrze parametrów zwiększających wymianę ciepła w parowniku (przez wzrost wilgotności względnej powietrza w okresie przejściowym i zimnym, a w efekcie zwiększenie mocy urządzenia).

W istniejących instalacjach dodanie BGWCiM powodować będzie oszczędności oraz lepszą, bardziej efektywną pracę zamontowanych urządzeń, a w rozwiązaniach, które zostały niedowymiarowane lub do których dołączono nowe urządzenia lub pomieszczenia, odpowiednie dołożenie wymiennika gruntowego pozwoli na zwiększenie mocy układu i w rezultacie uniknięcie zakupu nowego lub też dokupienia dodatkowych źródeł ciepła czy chłodu.

3. ANALIZA DZIAŁANIA

3.1. MOC POWIETRZNEJ POMPY CIEPŁA

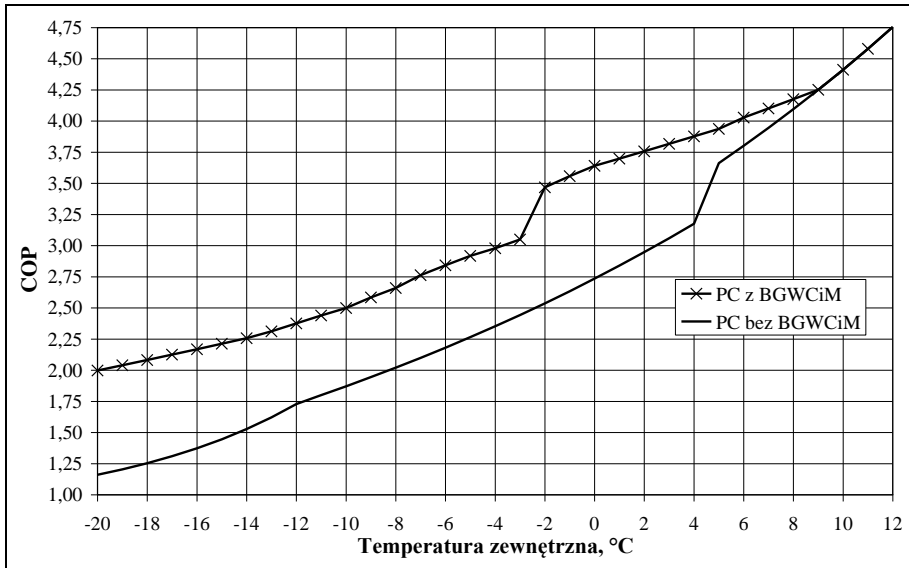
Przykładową zależność mocy pompy ciepła pracującej na powietrzu zewnętrznym oraz współpracującej z BGWCiM przedstawiono na rysunku 5. Dodatkowo zamieszczono krzywą zapotrzebowania na ciepło budynku zasilanego przez PC w zależności od temperatury zewnętrznej. Jak widać zwiększenie mocy pompy ciepła we współpracy z BGWCiM, dla warunków obliczeniowych w stosunku do pracy na powietrzu atmosferycznym, pozwala jej na monowalentną pracę w ciągu całego sezonu grzewczego.



Rys. 5. Moc pompy ciepła oraz zapotrzebowanie ciepła budynku w funkcji temperatury zewnętrznej

3.2. WSPÓŁCZYNNIK EFEKTYWNOŚCI GRZEWczej COP

Efektywność pracy sprężarkowej pompy ciepła definiuje współczynnik efektywności cieplnej COP, reprezentujący stosunek mocy grzewczej do mocy elektrycznej pobieranej przez urządzenie. Zależność współczynnika efektywności COP od temperatury zewnętrznej przy współpracy z i bez BGWCiM przedstawiono na rysunku 6. Uwzględniono spadek efektywności działania pompy ciepła w trybie pracy z odszranianiem parownika. Zakładając, zgodnie z deklaracjami producentów, dziesięcioprocentowy wzrost zapotrzebowania na energię dla takiego układu.



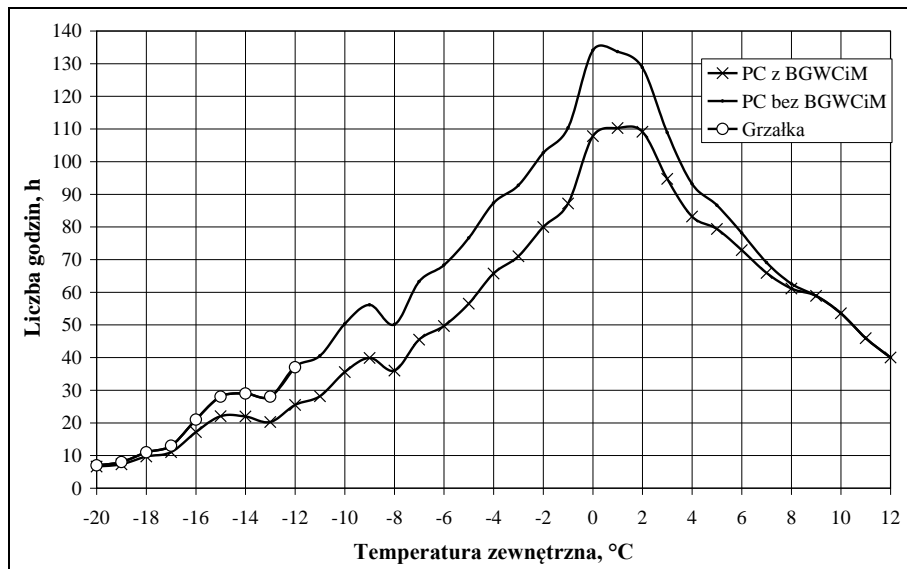
Rys. 6. Współczynnik COP w funkcji temperatury zewnętrznej

Współpraca PC z BGWCiM powoduje wzrost współczynnika efektywności grzejnej powietrznej pompy ciepła dla temperatur niższych od 9 °C, rosnący ze spadkiem temperatury. Zważywszy na częstość występowania poszczególnych temperatur w ciągu okresu zimnego (wg rys. 3) i ich udziału w bilansie całkowitym, odsunięcie procesu odszraniania z poziomu temperatury 4 °C do temperatury -2 °C znacząco wpływa na wzrost średniorocznego współczynnika efektywności grzejnej pompy ciepła.

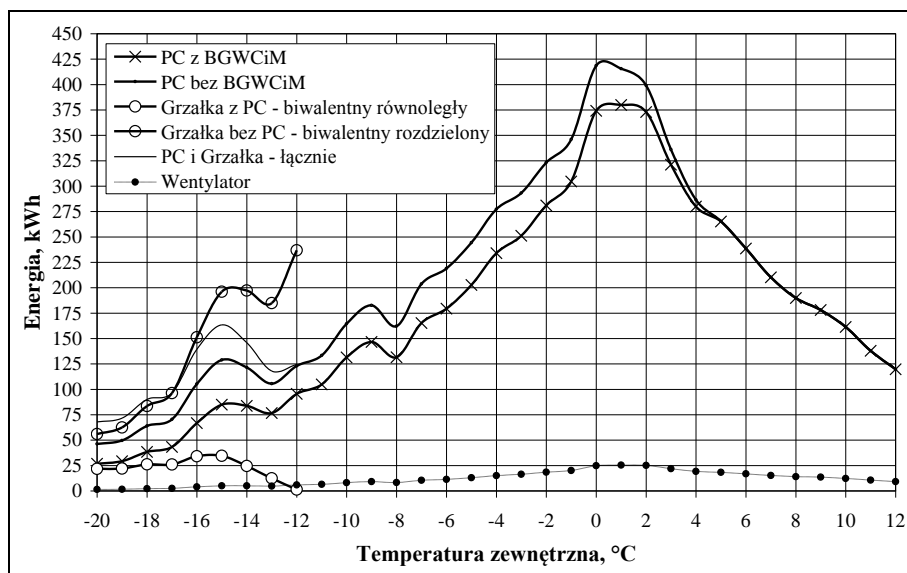
3.3. ENERGIA ZUŻYWANA PODCZAS SEZONU GRZEWczego

Na rysunku 7 przedstawiono sumaryczny czas pracy pompy ciepła przy danych temperaturach zewnętrznych w ciągu roku. Dodatkowo przedstawiono czas pracy grzałki elektrycznej w układzie bez BGWCiM.

Bardziej czytelnym przedstawieniem korzyści ze współdziałania pompy ciepła z BGWCiM jest rysunek 8, który obrazuje sumaryczną liczbę kilowatogodzin pobieranych przez urządzenia, przy różnych konfiguracjach współpracy, działające przy danych temperaturach zewnętrznych w ciągu roku. Pokazano również dodatkowe zapotrzebowanie energii na pracę wentylatora przetłaczającego powietrze przez BGWCiM.



Rys. 7. Czas pracy urządzenia w sezonie przy danych temperaturach zewnętrznych



Rys. 8. Energia pobierana przez urządzenia przy danych temperaturach zewnętrznych

4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Współdziałanie z BGWCiM znacząco zmienia sposób oraz warunki działania urządzenia w ciągu sezonu grzewczego, co przekłada się na wyraźny wzrost średniorocznego współczynnika wydajności grzewczej.

W przypadku pomp ciepła, żywotność ich zależy głównie od „serca układu”, czyli sprężarki. Przeciętny czas eksploatacji dla najczęściej obecnie stosowanych sprężarek skrollowych wynosi 80000 godzin. Jak widać współpraca z BGWCiM skraca niezbędny czas działania urządzenia w ciągu roku, a tym samym wydłuża żywotność sprężarki. Co więcej, nie powoduje konieczności jej pracy przy wysokim stopniu sprężania, gdy jej elementy konstrukcyjne pracują w warunkach największego obciążenia mechanicznego i termicznego.

Współpraca z BGWCiM znacząco skraca okres, w którym pompa musi pracować w trybie odszraniania parownika. Proces odszraniania obniża efektywność pozyskiwania ciepła o około 10%, co jest znaczące w całorocznym bilansie pracy urządzenia, tym bardziej, że dotyczy okresu o największym zapotrzebowaniu na ciepło.

Dzięki współpracy z BGWCiM możliwa staje się eksploatacja powietrznej pompy ciepła w trybie monowalentnym w ciągu całego sezonu grzewczego, bez używania grzałki elektrycznej, której praca, w układzie bez BGWCiM odbywa się w czasie największego poboru ciepła i wiąże się ze znacznymi kosztami oraz znacznym spadkiem efektywności pracy całego układu.

Zaprezentowany sposób współpracy BGWCiM z powietrzną pompą ciepła daje istotne korzyści w pozyskiwaniu energii odnawialnej i tym samym pozwala w przyjazny dla środowiska sposób ograniczyć zużycie energii pierwotnej dla potrzeb kształtowania mikroklimatu pomieszczeń.

LITERATURA

- [1] Besler G.J. i inni: Bezprzeponowy gruntowy wymiennik ciepła i masy, Patent PRL Nr 128261 Politechniki Wrocławskiej - BGWCiM, Wrocław 1980 r.
- [2] Besler M.: Badania efektywności wykorzystania energii gruntu w inżynierii środowiska. Praca doktorska, Wydział Inżynierii Środowiska Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1997 r.
- [3] Cepiński W.: Efektywność pozyskiwania energii naturalnej. Praca doktorska, Wydział Inżynierii Środowiska Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2010 r.

EFFICIENCY OF THE AIR HEAT PUMP

The paper describes the issue of the combined work of the air-to-water and air-to-air heat pump with the direct-contact, gravel, ground heat exchanger (Polish acronym BGWCiM), patented for the Wrocław University of Technology as the lower heat source for the indoor heating systems.