

Paweł Lachman

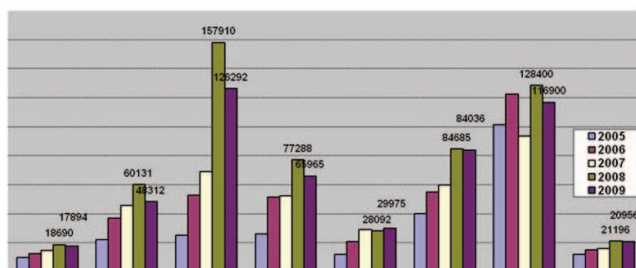
*Argumenty ekologiczne
przemawiające za stosowaniem
pomp ciepła*

Abstract. *Ecological arguments in favor of the use of heat pumps.* In Europe, heat pumps were used on a wider scale at the beginning of the 80s XX century, but only since the mid-90s we can say about the sustainable and rapid development of this economically and environmentally attractive technology. Currently, in Sweden and Switzerland the share of heat pumps installed in new buildings is over 80%. In many countries such as Austria, France, Finland, Germany, Norway, the share of heat pumps in new building is already between 25% and 70%.

Sukces na wielu rynkach europejskich

W Europie pompy ciepła zaczęto stosować na szerszą skalę już na początku lat 80. XX wieku, ale dopiero od połowy lat 90. można mówić o trwałym i szybkim rozwoju tej atrakcyjnej ekonomicznie i ekologicznie technologii. Obecnie w Szwecji i Szwajcarii udział instalowanych pomp ciepła w nowych budynkach wynosi ponad 80% (dane wg SVEP i FWS). W wielu krajach, takich jak: Austria, Francja, Finlandia, Niemcy, Norwegia, udział pomp ciepła w segmencie nowych budynków już teraz stanowi 25–70%.

W latach 2005–2008 nastąpił znaczny wzrost sprzedaży na największych europejskich rynkach sprzedaży pomp ciepła (Rys.1). Spadek sprzedaży odnotowany w 2009 r. spowodowany był światowym kryzysem gospodarczym oraz wstrzymaniem lub zmniejszeniem dofinansowania rządów europejskich do ekologicznych urządzeń grzewczych.



Rys. 1 Sprzedaż pomp ciepła w wybranych krajach Europy (Źródło: EHPA Energy Outlook 2010).

Wg szacunków Grupy Roboczej Pompy Ciepła działającej w ramach Klastra Technologii Energooszczędnych Euro-Centrum, udział sprzedaży pomp ciepła w nowych budynkach w Polsce stanowi zaledwie 4%, a liczba sprzedanych pomp ciepła wynosi ok. 6500 szt. rocznie. Wartość ta obejmuje pompy ciepła typu powietrze/woda, woda/woda, solanka/woda oraz pompy gruntu z bezpośrednim odparowaniem, zarówno do ogrzewania, jak również pompy tylko do podgrzewania wody użytkowej. Obecnie liczba sprzedawanych pomp ciepła w Polsce jest podobna do poziomu sprzedaży w Niemczech sprzed 10 lat. W 2000 roku sprzedawano tam ok 5.000 szt. pomp ciepła. W ciągu 9 lat (w latach 2000–2009) liczba sprzedawanych urządzeń wzrosła tam ponad 14-krotnie (do ok. 70 000 szt.). Oznacza to średni roczny wzrost rynku na poziomie ok. 35%. Podobnego poziomu wzrostu rynku (25–35% rocznie) można spodziewać się również w Polsce.

Aby tak się stało, należy pokonać istniejące bariery rozwoju rynku pomp ciepła w naszym kraju.

Niezbędne działania rozwoju technologii pomp ciepła w Polsce

Aby zbliżyć się do poziomu sprzedaży na takich rynkach, jak Niemcy, Francja, należałoby wdrożyć odpowiednie działania, które pozwolą pokonać podstawowe bariery rozwoju technologii pomp ciepła. Wg wspomnianej Grupy Roboczej Pomp Ciepła podstawowe, niezbędne działania to:

- stworzenie finansowych systemów wsparcia inwestycji z pompami ciepła;
- stworzenie i przeprowadzenie kampanii informacyjnych (dotyczy zarówno potencjalnych klientów, projektantów, instalatorów, branżystów, urzędników);
- zmiana stanu prawnego, związana np. z uwzględnieniem istnienia pomp ciepła jako urządzeń korzystających z odnawialnych źródeł energii;
- przeprowadzenie ekologicznej edukacji społecznej w zakresie pomp ciepła, jak i rozwoju nowych technologii w tym zakresie;
- wprowadzenie taryf energetycznych dla pomp ciepła, podobnych do zastosowanych w wielu krajach europejskich (m.in. w Niemczech, Szwajcarii, Austrii, Czechach, Francji);
- uruchomienie mechanizmu rozliczania energii odnawialnej przekazywanej przez pompy ciepła do instalacji grzewczych.

Wsparcie technologii pomp ciepła dzięki nowym Dyrektywom Unii Europejskiej

Obecnie silnym „sojusznikiem” pomp ciepła jest Unia Europejska i jej prawodawstwo.

Pompy ciepła są w pełni uznane jako urządzenia korzystające z odnawialnych źródeł energii i wspierane przez Unię Europejską. Dzieje się tak za sprawą wielu nowych aktów prawnych. Najważniejszym z nich jest Dyrektywa 2009/28/WE (RES), której zadaniem jest promowanie stosowania energii z odnawialnych źródeł. Wspomniana dyrektywa kładzie nacisk na zastosowanie pomp ciepła i potwierdza oraz podkreśla znaczący wkład tej technologii w pozyskiwanie ciepła ze źródeł odnawialnych (Art. 5.4, Załącznik VII).

Pompy ciepła mają bardzo szeroki zakres zastosowania, umożliwiając wykorzystanie różnych rodzajów odnawialnych źródeł energii, zdefiniowanych w Dyrektywie 2009/28/WE:

- energii aerotermalnej, rozumianej jako energia magazynowana w postaci ciepła w powietrzu, a więc m.in. ciepła w powietrzu atmosferycznym, technologicznym, wentylacyjnym i odpadowym,
- energii geotermalnej, rozumianej jako energia składowana w postaci ciepła pod powierzchnią ziemi, a więc m.in. ciepła wód podziemnych, ciepła gruntu

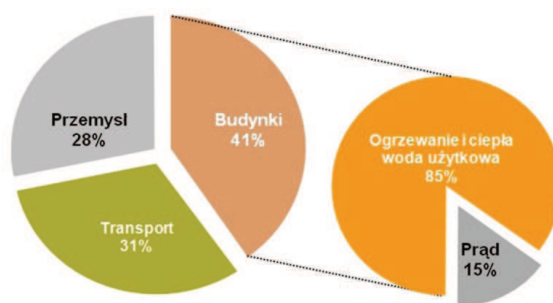
i skał, energii hydrotermalnej, rozumianej jako energia składowana w postaci ciepła w wodach powierzchniowych, a więc m.in. również ciepła wód technologicznych i ścieków.

Dyrektywa EPBD 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków (wersja przekształcona) zapewnia możliwość szerokiego stosowania systemów grzewczych z wykorzystaniem różnych typów pomp ciepła. W art. 6 pkt 1 nakłada ona obowiązek na państwa członkowskie Unii Europejskiej zapewnienia dla wszystkich nowych budynków, że przed rozpoczęciem budowy zostaną rozważone i wzięte pod uwagę: zdecentralizowane systemy dostawy energii oparte na energii ze źródeł odnawialnych, kogeneracja, ogrzewanie, chłodzenie lokalne lub blokowe, oparte na energii ze źródeł odnawialnych oraz pompy ciepła. Poprzednia wersja dyrektywy nakładała ten obowiązek dla budynków o powierzchni powyżej 1000 m². Wspomniane wyżej zapisy powinny doprowadzić do zmiany polskiego prawa budowlanego i energetycznego. Możliwe będzie urealnienie pozycji pomp ciepła jako urządzeń korzystających z odnawialnych źródeł energii.

Potencjał ekologiczny związany z pompami ciepła

Obecnie prawie połowa energii zużywanej w Unii Europejskiej jest związana z generowaniem ciepła i chłodu (dane Eurostat). Zużycie energii pierwotnej na cele ogrzewania i ciepłej wody użytkowej ma kapitalne znaczenie w bilansie energetycznym. Wg danych Eurostatu Unii Europejskiej stanowi ono ponad 85% energii zużywanej w budownictwie (Rys. 2).

Zużycie energii w budownictwie stanowi ok. 40% całego zużycia energii pierwotnej w krajach Unii Europejskiej.



Rys. 2 Zużycie energii pierwotnej w krajach Unii Europejskiej
(Źródło: Green Paper on Energy Efficiency or Doing More with Less, Marzec 2006).

Ważnym zagadaniem jest odpowiedni wybór i wspieranie technologii korzystających z odnawialnych źródeł energii do ogrzewania budynków i podgrzewania wody użytkowej.

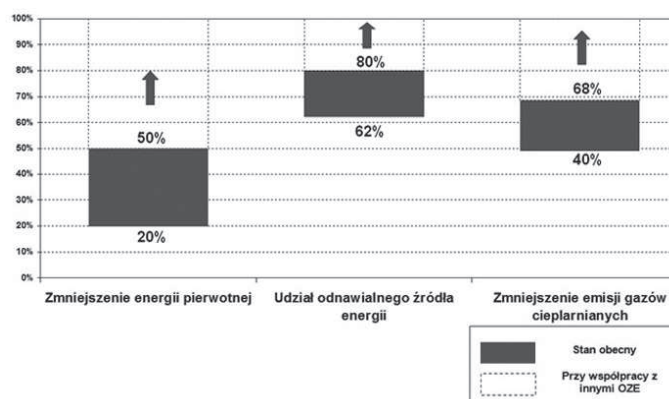
Pompy ciepła a inne urządzenia wykorzystujące OZE

Jeżeli w ogrzewaniu budynków chcielibyśmy się oprzeć o technologie korzystające z odnawialnych źródeł energii (OZE), do dyspozycji mamy tylko kolektory słoneczne, kotły na biomasę oraz pompy ciepła. Tabela 1. Pokazuje zestawienie zastosowania technologii korzystających z OZE do ogrzewania budynków i podgrzewania wody użytkowej.

Technologia OZE	Dyspozycyjność w zakresie ogrzewania i ciepłej wody	Wpływ na niską emisję (szczególnie pyłów zawieszonych PM 2,5 i PM 10)
Termiczne kolektory słoneczne	ograniczony zakres zastosowania dla c.o.: solarny współczynnik pokrycia 10–15%; solarny współczynnik pokrycia c.w.u. ok. 60% (małe instalacje) i ok. 30% (duże instalacje)	ograniczony wpływ ze względu na małą dyspozycyjność zimą; w warunkach polskich najwyższa emisja pyłów zawieszonych PM 2,5 i PM 10 występuje w miesiącach zimowych
Biomasa	możliwość wykorzystania przez cały rok, możliwość korzystania tylko z lokalnych źródeł biomasy (koszty transportu)	brak znacznego zmniejszenia emisji zanieczyszczeń (szczególnie pyłów zawieszonych PM 2,5 i PM 10) poza specjalną technologią np. kotły na pelety
Pompy ciepła	możliwość wykorzystania przez cały rok	likwidacja niskiej emisji zanieczyszczeń; łatwiejsze ograniczenie emisji w elektrociepłowniach

Tabela 1 Porównanie różnych OZE do ogrzewania budynków i wody użytkowej

Pokazuje możliwe korzyści ekologiczne, wynikające z zastosowania pomp ciepła. Pompy ciepła, przy spełnieniu warunku min. efektywności, korzystają z odnawialnego źródła energii (przekazując od 62% do 80% całej energii grzewczej).

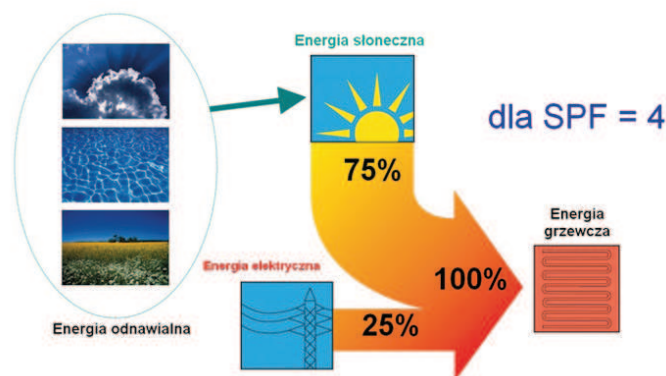


Rys. 3 Wkład pomp ciepła w realizacji celu $3 \times 20\%$

Zastosowanie technologii pomp ciepła obniża ilość energii pierwotnej (nawet o ponad 50%) w stosunku do innych systemów grzewczych. W obniżaniu zużycia energii pierwotnej pompy ciepła należą do najbardziej energooszczędnych technologii grzewczych. Świadczyć o tym będą wysokie klasy energetyczne (klasy A⁺⁺, A⁺⁺⁺), które zostaną wprowadzone w ciągu najbliższego roku dla urządzeń grzewczych o mocy do 70 kW. Duże znaczenie ma również obniżanie emisji CO₂, które będzie postępować wraz z rozwojem zielonej energetyki i wzrostem efektywności energetycznej (kogeneracja, wzrost efektywności bloków energetycznych i sieci przesyłowych). Połączenie pomp ciepła z technologią innych źródeł ciepła (energetyka wiatrowa, energetyka słoneczna, kotły na biomasę, kogeneracja ciepła i prądu) pozwala na dalsze zwiększenie opisanych efektów ekologicznych pomp ciepła. Takie działania jak np. zwiększenie udziału energii odnawialnej w energetyce powodują zwielokrotnienia efektów ekologicznych dzięki wysokiej efektywności pomp ciepła.

Udział energii odnawialnej

Udział energii odnawialnej przekazywanej przez pompy ciepła do instalacji grzewczej sięga od 62 do ponad 80%. Zakładając, że sezonowy współczynnik efektywności SPF wynosi 4,0 do napędu procesu termodynamicznego w pompie ciepła wymagane jest tylko 25% przekazywanej energii grzewczej. Reszta, czyli w tym przypadku 75% energii pobierane jest z otoczenia i stanowi energię odnawialną (Rys.4).



Rys. 4 Obecne rozwiązania zapewniają znaczący udział energii odnawialnej (np. 75% energii odnawialnej z otoczenia dla $SPF=4$).

Pompy ciepła z dolnym źródłem typu powietrze, woda powierzchniowa, poziome gruntowe wymienniki ciepła, jako energię odnawialną wykorzystują energię słoneczną. W przypadku pomp ciepła z pionowym wymiennikiem ciepła jest to już „miks” energii geotermalnej i słonecznej. Jeszcze korzystniej wygląda udział energii odnawialnej w układach współpracy pomp ciepła z odnawialnymi źródłami energii, służącymi jako ich energia napędowa. Jeżeli energia elektryczna pochodzi z odnawialnego źródła ciepła (biomasa, fotowoltaika, farmy), zapewnia to nawet 100% udział energii odnawialnej przekazywanej przez pompę ciepła do instalacji. SPF – jest najważniejszym wskaźnikiem dla pomp ciepła.

Obecnie trwają prace w Komisji Europejskiej nad przygotowaniem metody obliczeniowej szacowania współczynnika SPF. Zostanie ona przekazana krajom członkowskim UE do 1 stycznia 2013 roku.

Na podstawie wstępnych informacji można z dużym prawdopodobieństwem założyć, że przyjęta zostanie metoda mocno uproszczona, prosta w obsłudze, ale ze stosunkowo dużą odchyłką błędu szacowania. Decydujący wpływ na wartość SPF ma jakość projektowania oraz wykonania i uruchomienia instalacji grzewczej z pompą ciepła. Inne ważne czynniki wpływające na wartość SPF pompy ciepła to m.in.:

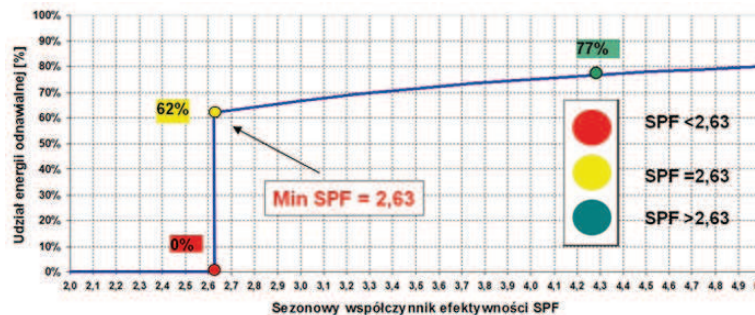
- współczynnik efektywności COP dla pompy ciepła (wg normy PN EN 14511);
- warunki klimatyczne (temperatura zewnętrzna, czas trwania sezonu grzewczego, liczba stopniodni grzewczych, rozkład temperatury zewnętrznej);
- parametry budynku (temperatura graniczna grzania, izolacyjność bu-

dynku, wielkość udziału zysków ciepła w bilansie energetycznym);

- parametry źródła ciepła (typ źródła ciepła, wielkość i rodzaj dolnego źródła, rodzaj medium, przepływy);
- parametry instalacji grzewczej (rodzaj instalacji, temperatura zasilania, temperatura c.w.u.);
- sposób pracy instalacji (czy załączona jest grzałka elektryczna, temperatura biwalencyjna, sposób pracy alternatywny lub biwalentny);
- zachowanie się użytkowników instalacji (temperatura pomieszczeń, temperatura i zużycie c.w.u., załączanie grzałki elektrycznej).

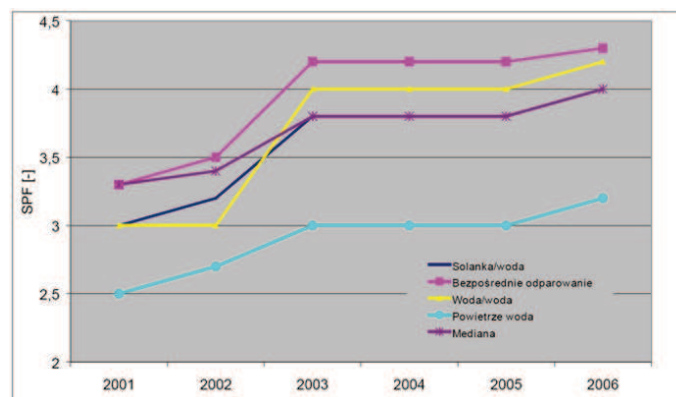
SPFmin wg aktualnych danych Eurostatu (dane za 2009 rok) średnia sprawność konwersji energii pierwotnej w elektryczną w krajach Unii Europejskiej wynosi 0,438, co oznacza, że zgodnie z Dyrektywą 2009/28/WE wartość SPFmin wynosi $1,15 \times 0,438 = 2,63$ (Rys.5).

Warto pamiętać, że jeszcze parę lat temu min. wartość SPF wynosiła jedynie 2,78 (wartość eta wg Eurostat wynosiła 0,40). Zwiększająca się ciągle sprawność konwersji energii elektrycznej w Europie powoduje, że w 2020 roku wartość SPFmin może wynosić już nawet 2,3 lub niżej.



Rys. 5 Minimalna wartość współczynnika SPF i udział energii odnawialnej przekazywany przez pompy ciepła (stan na podstawie danych Eurostat z 2010).

Zgodnie z Dyrektywą 2009/28/WE wartość SPF definiuje wielkość udziału energii odnawialnej przekazywanej do instalacji grzewczej (Rys.5). Wg danych Europejskiego Stowarzyszenia Pomp Ciepła (EHPA) w ostatnich latach nastąpił ciągły wzrost średniej wartości SPF dla wszystkich technologii pomp ciepła (Rys.6). Jest to związane z postępowaniem technologicznym urządzeń, ale również wdrożeniem przez producentów i organizacje branżowe, szeregu działań zwiększających jakość projektowanych i wykonywanych instalacji grzewczych z pompami ciepła.



Rys. 6 Zmiana średniego sezonowego współczynnika efektywności SPF dla różnych typów nowych pomp ciepła w latach 2001–2006 (Źródło: Fanniger, EHPA-European heat pump action plan, 2008).

Aktualne średnie wartości SPF dla różnych typów pomp ciepła wg Europejskiej Organizacji Pomp Ciepła (EHPA) zawarte są w tabeli 2.

Typ pompy ciepła	SPF (nowe/modernizowane budynki)
powietrze/woda	3,5 / 3,0
solanka/woda	4,0 / 3,5
woda/woda	4,5 / 4
bezpośrednie odparowanie	4,2 / 3,7

Tabela 2 Średnie europejskie wartości współczynnika SPF dla systemów z pompami ciepła (Źródło: EHPA 2008).

Dlaczego ważne jest określanie SPF przed wykonaniem systemu z pompą ciepła?

Głównym powodem jest możliwość kontroli czy pompa ciepła korzysta z energii odnawialnej, czy też nie. Kolejnym powodem jest unikanie błędów projektowych. Pompa ciepła nawet o najwyższym możliwym współczynniku efektywności COP zastosowana nieprawidłowo nie osiągnie odpowiedniej wartości współczynnika SPF. Ważnym powodem

jest możliwość określenia ilości energii odnawialnej przekazywanej przez pompę ciepła do celów statystycznych. Wartość SPF podawana jest do obliczeń dla certyfikatu energetycznego budynków. Aktualne rozporządzenie o certyfikacji budynków dopuszcza możliwość wstawiania wyliczonej wartości SPF dla pompy ciepła. W przypadku braku wyliczeń podaje się dane z tabeli 3, które mogą znacznie różnić się od szacowanych.

Wydaje się również, że wartość SPF może być dobrym kryterium do określania wielkości dofinansowania do instalacji z pompami ciepła. Takie rozwiązanie stosowane jest w Niemczech. Przykładowo pompa ciepła typu solanka/woda o współczynniku SPF równym 4,5 powinna mieć znacząco większe dofinansowanie niż pompa ciepła o współczynniku SPF równym np. 3,3.

Metody szacowania wartości sezonowego współczynnika efektywności dla pomp ciepła

Rodzaj źródła ciepła	$\eta_{H,g}$
Pompy ciepła typu woda/woda w nowych/istniejących budynkach	3,8 / 3,5
Pompy ciepła typu glikol/woda w nowych/istniejących budynkach	3,5 / 3,3
Pompy ciepła typu powietrze/woda w nowych/istniejących budynkach	2,7 / 2,5

Tabela 3 Sezonowy współczynnik efektywności energetycznej dla różnych typów pomp ciepła wg rozporządzenia o certyfikacji budynków.

Różne metody szacowania współczynnika SPF stosowane są od kilkunastu lat w Europie. Najbardziej znane z nich to:

- norma PN-EN 15316-4-2:2008 (do tej pory znalazła zastosowanie w Wielkiej Brytanii);
- niemiecka metoda w oparciu o wytyczne VDI 4650 (ostatnia modyfikacja pochodzi z marca 2009). W Niemczech dostępne są specjalne strony internetowe lub programy komputerowe do szacowania SPF według wspomnianych wytycznych. Szacowanie SPF w oparciu o wytyczne VDI 4650 jest stosowane również w Austrii;
- austriacka metoda OIB RL 6;
- szwajcarska metoda WPesti adoptowana również w Austrii pod nazwą JAZCALC. Na stronach internetowych dostępny jest dla każdego bez-

płatny arkusz kalkulacyjny do obliczeń SPF;
 - komputerowe programy symulacyjne (np. niemiecki WP-OPT, szwajcarski EWS, programy komputerowe producentów pomp ciepła).

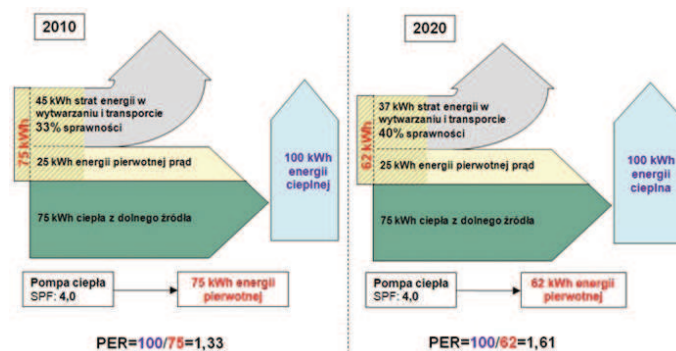
Komputerowe programy symulacyjne

Najdokładniejszymi narzędziami do szacowania SPF są komputerowe programy symulujące działanie instalacji z pompą ciepła. Dobierając i symulując pracę pompy ciepła, instalacji dolnego i górnego źródła w konkretnej lokalizacji klimatycznej i dla konkretnego budynku, jest się w stanie z dużą dokładnością oszacować realną wartość SPF dla projektowanej instalacji.

Przykładem takiego narzędzia jest niemiecki program komputerowy WP-OPT z bazą ponad tysiąca pomp ciepła różnych producentów oraz możliwością wprowadzenia nowych.

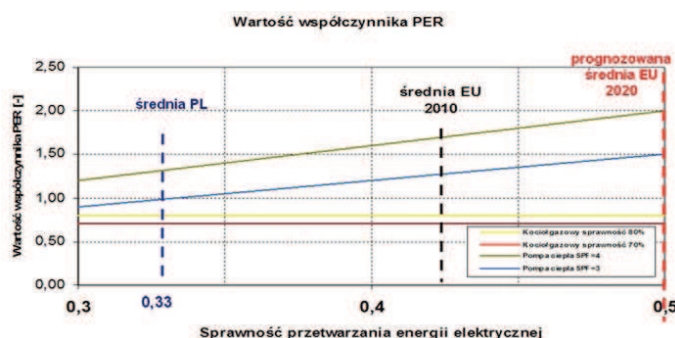
Wg informacji producenta programu WP-Soft od jesieni tego roku program ma być dostępny również w wersji polskiej, adaptowany do polskich warunków klimatycznych. Po wprowadzeniu różnych parametrów (np. temperatura pomieszczenia, moc obliczeniowa, zyski ciepła, temp. graniczna ogrzewania, lokalizacja budynku, parametry gruntu lub temperatur powietrza itp., typ pompy ciepła i sposób pracy, temperatura biwalencyjna itd.) można uzyskać jako wynik wartość SPF dla pompy ciepła ze wszystkimi urządzeniami pomocniczymi (sprężarka, grzałka, pompy dolnego i górnego źródła, ew. rozmrażanie parownika). Zmieniając dowolny parametr np. temperaturę pomieszczeń, ilość pobieranej c.w.u. czy wielkości dolnego źródła, można szybko zasymulować działanie pompy ciepła oraz otrzymać nową obliczoną wartość SPF.

Redukcja energii pierwotnej



Rys. 7 Nakład energii pierwotnej – przepływ energii dla pompy ciepła o SPF 4,0.

Zastosowanie pomp ciepła pozwala na znaczną redukcję energii pierwotnej. Na rysunku (Rys.7) pokazany jest wykres przepływu energii (wykres Sankey'a) dla pompy ciepła typu solanka/woda o współczynniku SPF wynoszącym 4,0. Pokazany na rysunku wskaźnik zużycia energii pierwotnej PER dla pomp ciepła (ang. Primary Energy Ratio) jest to stosunek użytecznej energii grzewczej pompy ciepła do zużytej energii pierwotnej (paliwa nieodnawialnego). W obecnych warunkach oznacza to, że aby uzyskać 100 kWh ciepła z pompy ciepła należy zużyć ok. 75 kWh paliwa kopalnego (nieodnawialnego). Jeżeli w roku 2020 sprawność przetwarzania energii elektrycznej w Polsce wzrośnie z 33% do np. 40%, wymagana ilość energii pierwotnej spadnie z 75 kWh do 62 kWh. Współczynnik PER wzrośnie wtedy z 1,33 do 1,61, przy zachowaniu tej samej wartości SPF (sezonowego współczynnika efektywności).



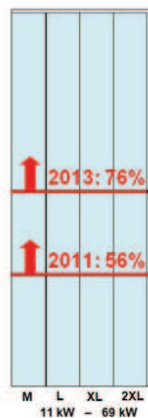
Rys. 8 Pompy ciepła i kotły gazowe – wskaźnik PER, teraz i szacowany w przyszłości.

Dalszy wzrost sprawności przetwarzania energii elektrycznej prowadzić będzie do ciągłego wzrostu współczynnika PER. W roku 2020 wartość średnia przetwarzania energii dla krajów UE może wynosić ok. 0,5, co spowoduje wzrost współczynnika PER do 2,0. Oznaczać to będzie wtedy ponad 2,5-krotnie lepszą efektywność wykorzystania energii pierwotnej niż dla najbardziej sprawnych kotłów gazowych kondensacyjnych (Rys.8). Dyrektywa EuP z roku 2005 (2005/32/WE) w sprawie ogólnych zasad ustalania wymogów ekoprojektu w odniesieniu do produktów wykorzystujących energię (Energy-using Products – EuP) przewiduje wprowadzenie oznakowania energetycznego dla urządzeń grzewczych. Wg aktualnego projektu LOT1 pompy ciepła miałyby uzyskać najwyższe klasy energetyczne (A^{+++} , A^{++}) w klasyfikacji urządzeń grzewczych (Rys.9).

Dyrektywa EuP: projekt oznakowanie urządzeń grzewczych do 70 kW

Przykłady	Sprawność*	Propozycja	Udział rynku EU*
Pompy ciepła gruntowe (pionowe wymienniki) + gazowe pompy ciepła	> 120 %	A+++	< 1 %
Najlepsze pompy ciepła Pw + p. ciepła gruntowe (poziome wymienniki)	> 104 %	A++	< 1 %
Kotły z techniką solarną + mikrokogeneracja	> 88 %	A+	2%
Najlepsza technika kondensacyjna	> 80 %	A	8%
Przeciętna technika kondensacyjna	> 72 %	B	10%
Najlepsze kotły niskotemperaturowe	> 64 %	C	12%
Przeciętne kotły niskotemperaturowe	> 54 %	D	15%
Najgorsze kotły niskotemperaturowe	> 48 %	E	30%
Przeciętne kotły standardowe	> 40 %	F	15%
Grzałka elektryczna	< 40 %	G	6%

*W odniesieniu do energii pierwotnej



Rys. 9 Projekt oznakowanie urządzeń grzewczych do 70 kW (LOT1) wynikający z dyrektywy EuP.

Podstawą klasyfikacji jest sprawność, ale w odniesieniu do zużytej energii pierwotnej. Przykładowo grzałka elektryczna uzyskuje sprawność w stosunku do energii końcowej wynoszącą ok. 98%, ale w stosunku do energii pierwotnej wynosi ona poniżej 40%. W przypadku pomp ciepła sprawność ta wynosi ponad 100% (wyznaczana analogicznie jak współczynnik PER). Jak do tej pory w projekcie LOT1 nie podjęto decyzji o oznaczeniu klas energetycznych będących powyżej klasy A. Standardowo w najwyższych klasach używa się A⁺, A⁺⁺, A⁺⁺⁺. W tym przypadku korzystniejszym oznaczeniem może okazać się oznaczenie A-20, A-40, A-60 mówiące wprost o dodatkowej oszczędności energii pierwotnej w procentach. Dyrektywa EuP zakłada również stopniowe wycofywanie z rynku produktów o niskiej sprawności.

Dla urządzeń grzewczych o mocy 10 do 70 kW w 2011 r. planowane jest wycofanie z rynku urządzeń o klasie D, E, F, G, a w 2013 r. B i C. W ramach innego projektu związanego z dyrektywą EuP, dotyczącego podgrzewaczy zasobnikowych zasilanych elektrycznie, nastąpi wymuszenie stosowania technologii pomp ciepła typu powietrze/woda jako bardziej efektywnej technologii niż zwykle podgrzewacze elektryczne. Ostateczne decyzje zapadną w Parlamencie Europejskim późną jesienią 2010 roku. Wydaje się, że oznakowanie klasami energetycznymi urządzeń grzewczych może mocno promować najlepszą dostępną technolo-

gię. Może też być w przyszłości podstawą do zróżnicowania finansowego systemu wsparcia tych technologii.

Specjalne taryfy energetyczne dla pomp ciepła

Dobrym przykładem promowania technologii pomp ciepła w Niemczech jest wprowadzenie specjalnych taryf elektrycznych dedykowanych tylko do pomp ciepła. Cena energii elektrycznej w takiej taryfie jest niższa nawet o 40–60% od cen zwykłej taryfy.

Często warunkiem zastosowania takiej taryfy jest ograniczenie czasu pracy pompy w ciągu doby, np. zastosowanie czasowej blokady działania pompy ciepła, do 6 h na dobę (3×2 h). Powoduje to konieczność zwiększenia mocy pompy przy projektowaniu, o około 12% do 15% w zależności od typu konstrukcji budynku.

Ciężka konstrukcja budynku (co w Polsce jest typowym rozwiązaniem) pozwala na sporą akumulację energii cieplnej. Budynek spełnia wtedy funkcję dużego bufora ciepła. Jest to korzystne również z punktu widzenia efektywności energetycznej. W szczytach poboru energii, gdy jest ona najdroższa i często występuje największa emisja CO₂, pompy ciepła mogą być wyłączone bez pogorszenia komfortu cieplnego mieszkańców budynku ogrzewanego pompą ciepła.

System taryf gwarantowanych „Feed In Tariff” dla pomp ciepła w Wielkiej Brytanii

Inne ciekawe rozwiązanie promujące pompy ciepła planowane jest w Wielkiej Brytanii. Rząd brytyjski od kwietnia 2011 planuje dofinansowanie energii odnawialnej przekazywanej przez pompy ciepła na zasadach już obowiązujących dla systemów kogeneracji ciepła i prądu. Dofinansowanie w ramach programu o nazwie „Renewable Heat Incentive” ma trwać 18 lat od momentu uruchomienia programu dla pomp ciepła typu powietrze/woda oraz 23 lata dla pomp z wymiennikiem gruntowym. Zakładana wysokość dofinansowania to 7 p/kWh ciepła z dolnego źródła (ok. 30 gr/kWh ciepła). Inicjatywa brytyjska jest pierwszą tego typu w Europie wspierającą pompy ciepła i w założeniach jest ona podobna do rozwiązań taryf gwarantowanych „Feed in Tariff” (FIT) zastosowanych np. Niemczech czy Francji dla dofinansowania energii elektrycznej pochodzącej z systemów kogeneracji ciepła i prądu z biomasy lub energii elektrycznej z fotoogniw. Warto pokazać ilość energii ze źródeł odnawialnych, którą może przekazać gruntowa pompa ciepła o wsp. SPF równym 4 do instalacji grzewczej. Zakładając, że roczne zużycie energii grzewczej na cele c.o. i c.w.u. dla budynku o powierzchni 200 m² wynosi ok. 17 000 kWh, ilość energii odnawialnej, pobranej z dolnego źródła wynosi

ok. 12 500 kWh. Daje to ponad 300 000 kWh (300 MWh) energii z odnawialnego źródła w ciągu dwudziestu trzech lat eksploatacji pompy ciepła. Zakładając rozwiązanie zastosowane w Wielkiej Brytanii, oznaczałoby to dofinansowanie ok. 90 000 zł w ciągu 23 lat.

Technologia Smart Metering, a pompy ciepła

Aby osiągnąć najwyższą możliwą efektywność energetyczną, zaczyna się stosować technologię smart metering (system inteligentnego opomiarowania i sterowania siecią energetyczną). Doświadczenia krajów UE wskazują na potencjał w zakresie wzrostu efektywności energetycznej wynikający z tej technologii na poziomie 6–10%. Unia Europejska w dyrektywie Parlamentu Europejskiego o efektywności końcowego wykorzystania energii i usługach energetycznych (2006/32/WE), nałożyła obowiązek na wszystkie państwa członkowskie spełnienia w określonym czasie wymagań odnośnie uzyskania odpowiednich wskaźników w zakresie m.in. wzrostu konkurencyjności rynku elektroenergetycznego i poprawy efektywności energetycznej. Celem dyrektywy w zakresie oszczędności energii jest obniżenie o 9% średniego rocznego zużycia energii do 2016 r.

Interesujący program badawczy w tej dziedzinie rozwijany jest obecnie w Danii. Do tej pory część ekspertów uznawała, że bezpieczny udział energetyki wiatrowej w całości energetyki to ok. 15–20%. W Danii założono, że istnieje możliwość wykorzystania technologii „Smart Metering” oraz pomp ciepła, aby można było osiągnąć w 2025 r. nawet 50% udziału energetyki wiatrowej w całej energetyce. Pompy ciepła mogłyby pełnić podobną rolę w systemie energetycznym, jaką zaczynają pełnić samochody elektryczne.

W 2011 roku planowane jest przeprowadzenie badań z 300 budynkami, w których pompy ciepła będą wyposażone w odpowiednie mierniki i czujniki. Wszystkie utworzą wirtualną sieć zdolną elastycznie reagować na dyspozycje mocy farm wiatrowych, a zarazem dopasowującą się do zachowań klientów. Projekt zostanie przeprowadzony przez firmę Energinet.dk razem z m.in. Duńską Agencją ds. Energii oraz większością duńskich firm handlujących energią elektryczną.

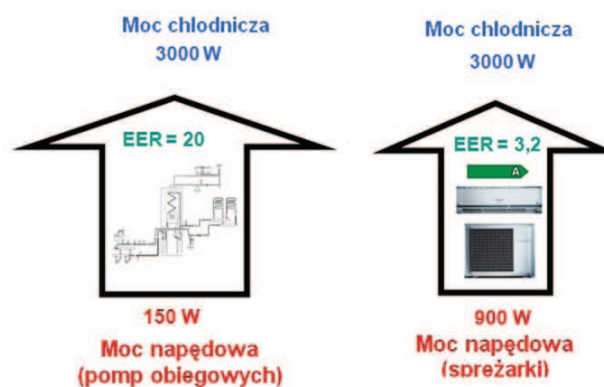
Oczekiwany wynik z projektu to pogłębienie rozwiązań technologicznych (oprogramowanie i hardware) centralnego zarządzania wirtualną siecią pomp ciepła. Projekt ma także ambicje międzynarodowe. Efektem ma być również przygotowanie międzynarodowych standardów komunikacji dla opisywanej technologii. Ważnym zagadnieniem jest przygotowanie modeli biznesowych dla elastycznego sterowania konsumpcją energii i prognozami oszczędności. Oczekuje się również, że nastąpi dokładniejsze poznanie oczekiwań i zachowań klientów użytkujących pompy ciepła.

Wykorzystanie pomp ciepła w technologii smart metering badane jest także przez Niemiecki Instytut Fraunhofer'a przy współpracy z wiodącymi producentami pomp ciepła oraz niemieckim dostawcą energii elektrycznej – firmą EWE.

Także w Polsce trwają dość intensywne przygotowania do wdrożenia technologii smart metering. Ministerstwo Gospodarki wypełniając zalecenie Dyrektywy 2006/32/WE, podjęło pracę nad projektem ustawy o efektywności energetycznej. Plan uchwalenia przewidziany jest na koniec 2010 r. Ważnym elementem ustawy będzie wspieranie i rozwój technologii smart metering w Polsce.

Również Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej przygotowuje się do realizacji projektu „Inteligentne sieci energetyczne”, który ma stanowić instrument finansowy służący wdrożeniu inteligentnych rozwiązań sieciowych podnoszących efektywność energetyczną sieci energetycznej. Pompy ciepła mogłyby stać się niezwykle ważnym elementem takiego systemu. Wielu producentów pomp ciepła przygotowuje własne rozwiązania będące wkładem w technologię smart metering. Pierwsze pompy ciepła przygotowane do realizacji tej technologii powinny pojawić się w ofercie już w 2011 r.

Chłodzenie pasywne – najwyższa efektywność energetyczna przy chłodzeniu



Rys. 10 Pompy ciepła typu solanka/woda z funkcją pasywnego chłodzenia zapewniają najwyższą efektywność w dostarczaniu chłodu do budynków.

Realizacja funkcji chłodzenia pasywne jest możliwe tylko w pompach ciepła typu solanka/woda (tzw. sondy pionowe lub specjalne poziome wymienniki gruntowe).

System chłodzenia pasywnego funkcjonuje bez udziału sprężarki. Pracują dwie pompy obiegowe dolnego źródła i pompa obiegowa instalacji grzewczej (np. ogrzewania podłogowego).

Do oceny efektywności chłodzenia używa się współczynnika efektywności chłodzenia EER (ang. Energy Efficiency Ratio relacja mocy chłodniczej do energii napędowej, czyli mocy sprężarki i innych elementów elektrycznych).

Współczynnik efektywności chłodzenia EER dla chłodzenia pasywnego mieści się w przedziale 15–30, a dla klimatyzatorów typu split wynosi maks. ok. 3,5. Rozwiązanie to jest nawet pięciokrotnie bardziej energooszczędne niż zastosowanie klimatyzatorów typu powietrze/powietrze (Rys.10).

Zastosowanie chłodzenia pasywnego ma też ważny wpływ na stabilizację obciążenia sieci elektrycznej. W czasie gorących dni lata występują poważne niedobory energii elektrycznej spowodowane działaniem klimatyzatorów.

Skojarzona gospodarka ciepła i chłodu w zastosowaniach przemysłowych

Niezwykle duży potencjał wykorzystania pomp ciepła tkwi w wykorzystaniu skojarzonej gospodarki ciepła i chłodu w instalacjach przemysłowych. Pompy ciepła mogą być wykorzystane do tzw. wstępnego podgrzewu wody, do odzysku ciepła z instalacji chłodzących czy ciepła z kanalizacji. Powstające duże ilości ciepła odpadowego, w różnych procesach technologicznych są często kompletnie niewykorzystane, ze względu na stosunkowo niską temperaturę wody odpadowej (np. wody technologicznej o temp 20–40°C). W wielu przypadkach odprowadzanie wody o temperaturze powyżej 10°C wiąże się z koniecznością płacenia przez zakłady przemysłowe wysokich kar środowiskowych. Ilość zaniechań w tym obszarze jest ogromna. Sposobem na uniknięcie kar środowiskowych, a zarazem lepszym gospodarowaniem energią jest zastosowanie pomp ciepła. Jest to duża szansa, a zarazem wyzwanie postawione przed technologią pomp ciepła.

Zastosowanie pomp ciepła w wielu rozwiązaniach może zapewnić zwiększenie efektywności energetycznej oraz uniknięcie emisji CO₂ w wielu obszarach gospodarki.

Wpływ pomp ciepła na obniżenie emisji dwutlenku węgla (gazów cieplarnianych)

Zastosowanie pomp ciepła prowadzi do obniżenia ilości dwutlenku węgla w stosunku do większości urządzeń (systemów) grzewczych. W polskich warunkach energetyka opiera się głównie na węglu kamiennym i brunatnym. Dodatkowo stosunkowo mały udział elektrociepłowni w energetyce powoduje wyższą emisję dwutlenku węgla przypadającą na kWh pobranego prądu. Wartość ta w Polsce wynosi ok. 900 g/kWh prądu (średnia europejska to poniżej 500 g/kWh). W rozwiązaniach z zastosowaniem pompy ciepła o współczynniku SPF równym 4,0 (np. pompa ciepła typu solanka/woda) rzeczywista (pośrednia) emisja CO₂ wyniesie 225 mg/kWh ciepła przekazanego do instalacji. Dla przykładu w Niemczech dla tzw. prądu mix wartość emisji CO₂ wynosi ok. 600 g/kWh prądu.

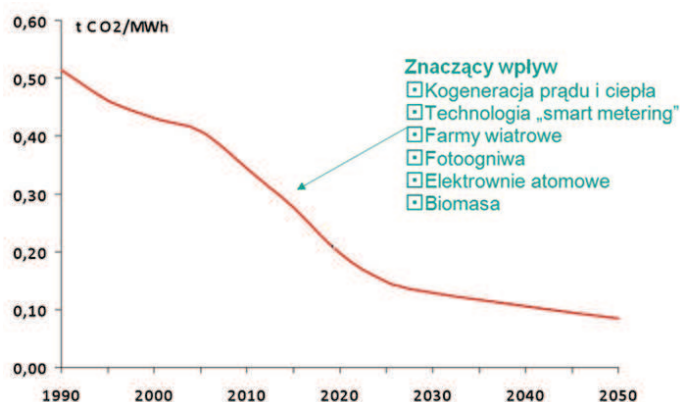
Ta sama pompa ciepła zastosowana w tych warunkach zapewni emisję 156 g CO₂/kWh ciepła. W Niemczech od kilku lat oferowane są też specjalne tzw. „zielone” taryfy energetyczne dla pomp ciepła, oprócz niższej ceny, znacząco niższa jest też emisja CO₂ przypadająca na pobraną kWh energii elektrycznej. W przypadku tzw. zielonej taryfy elektrycznej emisja CO₂ wynosi tylko 40 g/kWh energii elektrycznej. Przy zastosowaniu pompy ciepła typu powietrze/woda (o współczynniku SPF ok. 3,0 emisja CO₂ spada poniżej 15 mg/kWh ciepła, w wariancie z pompą ciepła typu solanka/woda o SPF = 4, wartość CO₂ spada do 10 g CO₂/ kWh prądu).

Jest to ponad 5-krotnie niższa wartość niż emisja zastosowanej instalacji solarnej do wspomaganie ciepłej wody użytkowej (50 g CO₂/kWh – tabela 4).

W tabeli 4 podana jest emisja dwutlenku węgla dla warunków niemieckich dla różnych systemów i technologii grzewczych.

Również w Polsce emisja dwutlenku węgla przypadająca na 1 kWh pobranej energii elektrycznej będzie stopniowo spadać. W chwili obecnej wynosi ona ok. 900 g/kWh, wg Krajowego Planu Działania w 2020 r. ma wynosić tylko 700 g/kWh.

dzi do powstania zielonych, dedykowanych do pomp ciepła taryf energetycznych. Oprócz zwiększenia planowanego udziału energii odnawialnej w energetyce ważnym procesem jest zwiększanie efektywności sieci energetycznych (wspomniany wcześniej Smart Metering), wymiana bloków energetycznych na technologie o wyższej sprawności. Zarówno zastosowanie bloków energetycznych o wysokiej sprawności (np. turbiny parowe sprzęgnięte z turbogeneratorami), opartych na gazie ziemnym, jak i oleju opałowym prowadzi do dużego obniżenia emisji CO₂. Również zapowiadane w 2020 r. wdrożenie w Polsce energetyki atomowej prowadzi do drastycznego obniżenia emisji dwutlenku węgla. Emisja CO₂ w tym przypadku to tylko 40 g/kWh energii elektrycznej. Niezależnie od wyboru zastosowanych technologii, działanie pomp ciepła wielokrotnie efekt zmniejszenia emisji dwutlenku węgla przez odnawialne źródła energii. Na rys.12 pokazana jest prognoza średniej emisji dwutlenku węgla przypadającej na MWh energii elektrycznej w Europie do 2050 r.



Rys. 12 Prognoza emisji CO₂ dla energii elektrycznej w Europie do 2050 (Źródło: EURELECTRIC studies 2007).

Krajowe plany działania w wielu krajach Europy takich, jak: Dania, Holandia, Niemcy, w zakresie wdrażania odnawialnych źródeł energii przewidują duży wzrost zielonej energii w produkcji energii elektrycznej. Wszystkie te działania prowadzą do ciągłego wzrostu atrakcyjności stosowania pomp ciepła w aspekcie redukcji emisji CO₂.

Emisja bezpośrednia CO₂

We wcześniejszych przykładach przedstawiano emisję pośrednią CO₂ związaną z działaniem pomp ciepła. Rzeczywista emisja CO₂ wynikająca z pracy pomp ciepła wiąże się również z emisją bezpośrednią dwutlenku węgla. Jej przyczyny związane są z nieszczelnością instalacji żiębniczej w pompie ciepła oraz stratami czynnika roboczego podczas demontażu (odzysku) po okresie eksploatacji.

W przypadku pomp ciepła o kompaktowej budowie układu żiębniczego, bezpośrednie straty czynnika do atmosfery są nieznaczne i wynoszą statystycznie ok. 2% rocznie. Również stosowanie czynników o niskim GWP (Global Warming Potential – potencjał tworzenia efektu cieplarnianego) powoduje realnie niewielką emisję gazów cieplarnianych (odpowiednika emisji dwutlenku węgla). Wskaźnik GWP został wprowadzony w celu ilościowej oceny wpływu poszczególnych substancji na efekt cieplarniany, odniesiony do dwutlenku węgla (GWP=1) w założonym horyzoncie czasowym (zazwyczaj 100 lat). Wartość GWP np. dla najbardziej popularnego czynnika roboczego stosowanego w pompach ciepła R407C wynosi 1530 kg CO₂/kg czynnika. W przypadku pompy ciepła o mocy 10 kW i zawartości czynnika R407C w p.c. ok. 2 kg, dodatkowa emisja ekwiwalentu CO₂ wynosi jedynie 60 kg CO₂ rocznie.

Uwzględniając straty czynnika roboczego przy wymianie pompy ciepła na poziomie 15% i zakładając czas eksploatacji pompy ciepła na ok. 20 lat, dodatkowa emisja ekwiwalentu CO₂ wynosi dodatkowo ok. 30 kg CO₂ rocznie. Razem daje to ok. 90 kg CO₂ rocznie. Całkowita emisja CO₂ jako łączna emisja bezpośrednia i pośrednia jest więc wyższa tylko o ok. 2% od emisji pośredniej.

Likwidacja niskiej emisji – problem nie tylko lokalny

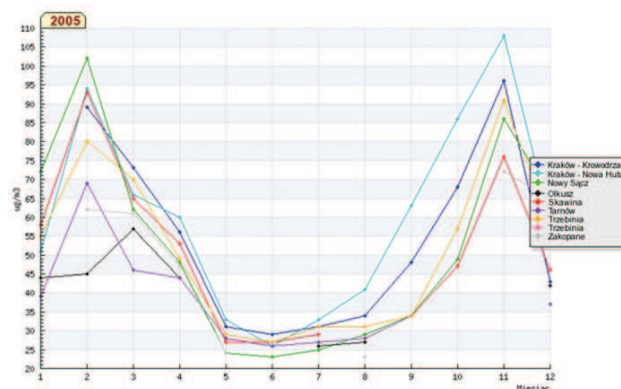
Zastosowanie pomp ciepła na szerszą skalę w Polsce może przynieść korzyści związane z obniżeniem emisji zanieczyszczeń, w tym szczególnie pyłów zawieszonych PM₁₀ i PM_{2,5} (ang. Particulate Matter – pył o rozmiarach poniżej 10 mm lub poniżej 2,5 mm – dla porównania średnica przekroju ludzkiego włosa wynosi ok. 60 mm).

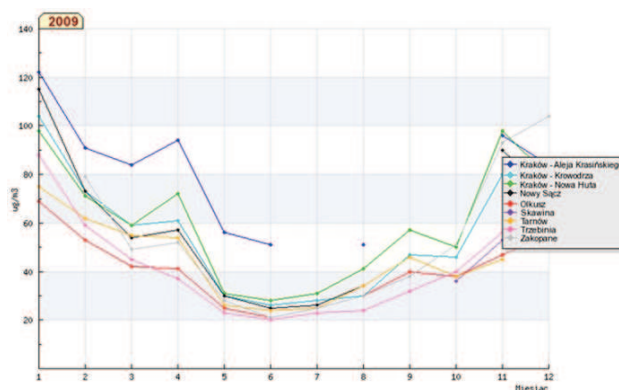
Z wielu badanych parametrów zanieczyszczeń powietrza w stacjach badawczych takich, jak: dwutlenek siarki SO₂, tlenek azotu NO, dwutlenek azotu NO₂, tlenki azotu NO_x, tlenek węgla CO, ozon O₃, pył zawieszony PM₁₀, pył zawieszony PM_{2,5}, benzen, szczególnie istotnymi zanieczyszczeniami wydają się być pyły zawieszone PM_{2,5} i PM₁₀. W przeciwieństwie do pozostałych zanieczyszczeń pyły zawieszone wielokrotnie przekraczają dopuszczalne normy roczne oraz dobowe w wielu miejscach w Polsce. Pyły PM_{2,5} i PM₁₀ utrzymują się w powietrzu i to przez dość długi okres.

Są zaliczane do zanieczyszczeń transgranicznych. Oznacza to, że mogą być przenoszone na znaczne odległości, przekraczające nawet 2500 km. Pyły zawieszone PM_{2,5} i PM₁₀ są niewidoczne gołym okiem, ale są w stanie przenosić wszelkie zanieczyszczenia chemiczne i biologiczne (toksyny, kancerogeny bakterie, wirusy). Negatywne skutki dla ludzi to złe samopoczucie, podrażnienie oczu, śluzówek. Duże stężenia pyłów zawieszonych mogą prowadzić do ostrych i przewlekłych stanów zapalnych układu oddechowego, alergii (a w konsekwencji do astmy), niedotlenienia, migren itp.

Pięcioletnie lub coroczne raporty Wojewódzkich Inspektoratów Ochrony Środowiska z województw, w których znajdują się największe polskie aglomeracje, wskazują na niepokojącą tendencję wzrostową emisji pyłów zawieszonych. Od około 10 lat roczne wartości stężenia PM₁₀ przekraczają normę, nieraz wielokrotnie. Chwilowe (dobowe) stężenie pyłu zawieszonego PM₁₀ jest przekraczane nawet 5–8-krotnie. Najbardziej groźnie sytuacja wygląda w województwie małopolskim, górnośląskim i mazowieckim. Z analiz widać wyraźne powiązanie pomiędzy emisją pyłów PM₁₀ a temperaturą zewnętrzną. W miesiącach zimowych emisja PM₁₀ wzrasta gwałtownie (Rys. 14). Sądzę, że jest to jednoznacznie związane z emisją spalin głównie z węglowych kotłów grzewczych. Dodatkowo przy utrzymywaniu się przez wiele dni, a nawet tygodni pogody wyżowej i braku odpowiedniej cyrkulacji powietrza, powstaje realne zagrożenie zdrowia, szczególnie dla mieszkańców Warszawy i okolic, Małopolski i Górnego Śląska.

Zgodnie z Dyrektywą Parlamentu Europejskiego 2008/50/WE z dnia 21 maja 2008 r. „w sprawie jakości powietrza i czystszej powietrza dla Europy”, jesteśmy zobowiązani do pomiarów pyłów PM_{2,5} w miastach powyżej 100 tys. mieszkańców, jak również do stopniowej redukcji emisji pyłów zawieszonych. Proponowany poziom docelowy emisji dla pyłu PM_{2,5} czyli stężenie średnioroczne – 25 µg/m³, mieliśmy osiągnąć już w styczniu 2010 roku.





Rys. 13 Przykład emisji pyłu PM 10 w województwie małopolskim w 2005 r. i 2009 r. z graniczną, średniomiesięczną wartością równą 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Źródło: Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Krakowie i Małopolska sieć monitoringu powietrza).

Dzisiaj pewne jest, że bez szybkich działań nie jesteśmy w stanie szybko zmienić sytuacji. Zastosowanie pomp ciepła i kolektorów słonecznych w rejonach dużych aglomeracji może przyczynić się do wyraźnej redukcji emisji pyłu zawieszonego PM 10. Ponieważ zwiększenie emisji występuje głównie w miesiącach zimowych, szczególną rolę mogą odegrać pompy ciepła. Z kolei zwiększenie zastosowania kotłów na biomasę może jeszcze pogorszyć istniejącą sytuację. Często kotły grzewcze na biomasę są kotłami wielopaliwowymi i wykorzystywane są do opalania węglem, pozornie jako jednym z najtańszych paliw. Praktycznie z kotłów na biomasę, tylko zastosowanie kotłów opalanych peletami (zrębkami drewna) jest w stanie efektywnie zmniejszyć emisję pyłów zawieszonych.

Połączenie pomp ciepła z innymi odnawialnymi źródłami ciepła i innymi technologiami

Bardzo obiecującym wydaje się być efekt połączenia pomp ciepła z innymi odnawialnymi źródłami ciepła. Dotyczy to praktycznie wszystkich technologii korzystających z OZE. Pompy ciepła mogą pełnić centralną rolę zwornika różnych odnawialnych, ale i nieodnawialnych źródeł energii. W wielu przypadkach pojawia się dodatkowy efekt synergii. W ramach Europejskiej Platformy Technologicznej

Renewable Heating and Cooling (RHC-Platform) powstały pomysły wsparcia rozwoju technologii hybrydowych, czyli rozwiązań, w których występują urządzenia korzystające z odnawialnych źródeł energii w połączeniu z innymi technologiami korzystającymi z OZE lub paliwami kopalnymi. Rozwiązania mają zapewnić ogrzewanie, chłodzenie i ciepłą wodę użytkową dla budynków mieszkalnych i procesów przemysłowych. W okresie przejściowym aż do roku 2020 systemy hybrydowe mogłyby używać kopalnych źródeł ciepła jako awaryjnych czy wspomagających.

W zdecydowanej większości proponowanych rozwiązań zarówno w skali „mikro”, jak i w skali „makro” pompy ciepła występują jako najważniejszy element łączący różne technologie.

Energetyka wiatrowa

Pompy ciepła mają mocnego sojusznika w postaci energetyki wiatrowej. W energetyce wiatrowej, w czasie, gdy nie występuje wiatr, pompy ciepła mogą być wyłączane. Jest to realizowane poprzez systemy inteligentnego sterowania energią elektryczną (Smart Metering). Korzystając z akumulacyjności cieplnej budynku, pompa ciepła może być wyłączana na żądanie.

Biomasa

Jednym z głównych światowych źródeł emisji CO₂ jest przemysłowa hodowla trzody chlewnej. Zastosowane pompy ciepła służą do chłodzenia chlewni, a zarazem wykorzystują energię do ogrzewania i ciepłej wody. Na szeroką skalę technologia ta została wdrożona w krajach skandynawskich. Interesujące jest również zagadnienie wykorzystania biomasy jako źródła energii napędowej dla pomp ciepła (dotyczy to pomp sprężarkowych i gazowych).

Współpraca pomp ciepła z termicznymi kolektorami słonecznymi

W projektach badawczych działów rozwoju (R&D) czołowych producentów pomp ciepła, trwają prace nad połączeniem technologii pomp ciepła typu solanka/woda z kolektorami słonecznymi.

Kolektory słoneczne wykorzystywane są jako dolne źródła ciepła lub służą do regeneracji dolnego źródła ciepła. Połączenie technologii gruntowych pomp ciepła (typu solanka/woda) z kolektorami słonecznymi prowadzi do zwiększenia sprawności systemów z kolektorami słonecznymi oraz wzrostu efektywności pomp ciepła.

W większości stosowanych układów solarnych do podgrzewania wody użytkowej sprawność systemu nie przekracza wartości 30-35%. W przypadku połączenia kolektorów z dolnymi źródłami ciepła, spraw-

ność systemu solarnego może przekroczyć 60%. Jest to możliwe dzięki stosunkowo niskiej temperaturze dolnego źródła ciepła (ok. 0–10°C), o wiele niższej niż temperatura panująca w zasobniku solarnym czy buforze wody grzejnej.

Ma to oczywiście przełożenie na uzysk jednostkowy. W typowych polskich warunkach jednostkowy uzysk energii solarnej rzadko kiedy przekracza 350 kWh/m² kolektora solarnego. W przypadku omawianej technologii możliwe jest osiągnięcie wartości 650 kWh/m² kolektora słonecznego.

Fotoogniwa

Zastosowanie fotoogniw może służyć do zasilania pomp obiegowych centralnego ogrzewania i dolnego źródła, obniżając zużycie energii pierwotnej przez pompy ciepła.

Kogeneracja prądu i ciepła

Zastosowanie w jednym budynku systemu kogeneracji ciepła i prądu z pompą ciepła pozwala na uzyskanie zwielokrotnienia efektu ekologicznego i ekonomicznego kogeneracji.

Energetyka atomowa

Oprócz niskiej emisji dwutlenku węgla, ważnym aspektem stosowania pomp ciepła jest możliwość ciągłego odbioru energii przez pompy ciepła. Nieprzypadkowo, w krajach, w których postawiono na energetykę atomową, realizowane są programy wsparcia rynku pomp ciepła. Takim przykładem są np. Francja czy Czechy.

Gaz ziemny a pompy ciepła

Odkrycie i eksploatacja gazu łupkowego, może pozwolić nam na uniezależnienie się w zakresie dostaw gazu ziemnego. Prawdopodobnie do tego czasu upowszechni się technologia gazowych pomp ciepła, zasilanych nie prądem elektrycznym, ale gazem ziemnym. W tym roku wprowadzono do sprzedaży pierwsze na świecie pompy ciepła zeolitowo-wodne. Równolegle trwają prace nad wdrożeniem gazowych pomp absorpcyjnych na bazie amoniaku. Większość konstrukcji współpracuje z kotłami gazowymi jako szczytowymi źródłami ciepła. Inną ciekawą gałęzią rozwoju są pompy ciepła z silnikami zasilanymi gazem ziemnym.

Wielokrotny wkład pomp ciepła w ekologię

Szerokie zastosowanie technologii pomp ciepła pozwoli na wniesienie potrójnego wkładu w osiągnięciu celów pakietu energetyczno-klimatycznego 3x20 % (wzrost efektywności energetycznej, wzrost udziału energii odnawialnej, redukcja emisji CO₂). Im większy jest współczynnik SPF dla pompy ciepła, tym dodatkowo wzmacniany jest efekt ekologiczny.

Potencjał ekologiczny pomp ciepła stale wzrasta. Jest to związane z ulepszaniem technologii pomp ciepła, powodującym wzrost efektywności systemów z pompami ciepła. Również wzrost udziału energii odnawialnej oraz sprawności w produkcji energii elektrycznej zwiększa atrakcyjność tej technologii.

Niezwykle istotnym wkładem pomp ciepła w ekologię, szczególnie w aglomeracjach, może być redukcja emisji pyłów zawieszonych PM 2,5 i PM 10.

Zmniejszenie zapotrzebowania energii dla nowych budynków (jako wynik implementacji dyrektywy EPBD) oraz zmniejszanie temperatury wody grzejnej, zwiększa zdolność do szerokiego wdrożenia technologii pomp ciepła. Jednocześnie widoczny jest znaczny potencjał wzrostu technologii pomp ciepła w renowacji budynków i w sektorze przemysłowym.

Praktyczne porównanie ekologiczno-ekonomiczne różnych technologii ogrzewania w przykładowym budynku jednorodzinnym. W tym tej części pokazane jest porównanie ekologiczne i ekonomiczne pomp ciepła z instalacjami grzewczym ogrzewanymi konwencjonalnie i z kolektorami słonecznymi. Analizy przeprowadzono dla istniejącego budynku o pow. ogrzewanej 250 m² o następujących parametrach:
zapotrzebowanie ciepła na c.o. 16 000 kWh/sezon,
zapotrzebowanie ciepła na c.w.u. 5000 kWh/sezon,
moc projektowa 9,5 kW (projektowe straty ciepła budynku wg PN EN 12831),
temperatura graniczna grzania 14°C,
lokalizacja klimatyczna: Kraków (III strefa, temperatura projektowa -20°C),
wewnętrzne i solarne zyski ciepła 9500 kWh,
projektowa temp. zasilania/powrotu 35/30°C,
projektowa temperatura pomieszczeń +20°C,
zapotrzebowanie c.w.u. 270 l/dobę,
temperatura c.w.u. 50°C.

W analizach porównano następujące technologie:

Kondensacyjny kocioł gazowy;

Kondensacyjny kocioł gazowy z instalacją solarną do podgrzewania cie-

plej wody użytkowej (zakładany stopień pokrycia solarne c.w.u. – 60%);
Kondensacyjny kocioł gazowy z instalacją solarną do wspomaganie c.o.
i podgrzewania ciepłej wody użytkowej (zakładany łączny stopień pokrycia solarne c.w.u. i c.o. – 25%);

Kocioł węglowy z instalacją solarną do podgrzewania ciepłej wody użytkowej (zakładany stopień pokrycia solarne c.w.u. wynosi 60%);

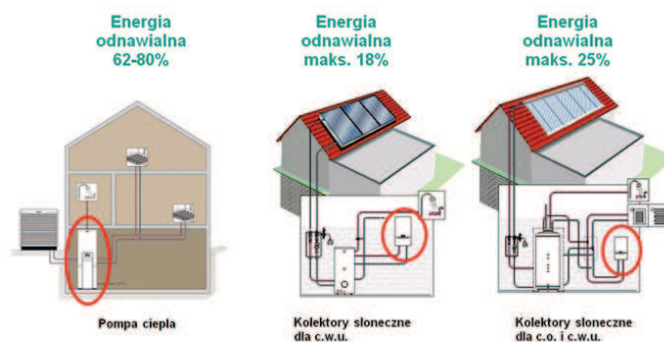
Kocioł olejowy z instalacją solarną do podgrzewania ciepłej wody użytkowej (zakładany stopień pokrycia solarne c.w.u. wynosi 60%);

Pompa ciepła typu powietrze/woda o współczynniku SPF równym 3,3 (wartość wyliczona za pomocą programu komputerowego WP-OPT);

Pompa ciepła typu solanka/woda o współczynniku SPF równym 4,3 z dolnym źródłem w postaci gruntowego, pionowego wymiennika ciepła (wartość wyliczona za pomocą programu komputerowego WP-OPT).

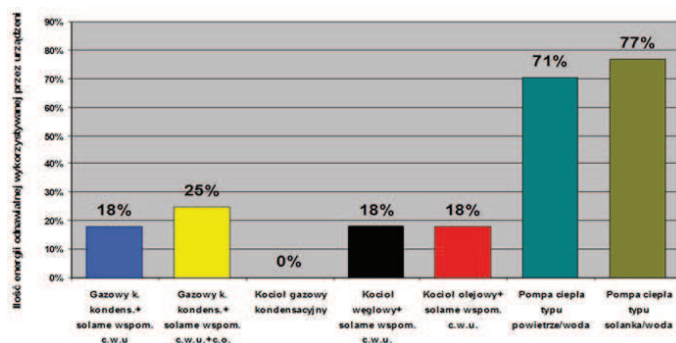
Założono porównanie kompletnych systemów grzewczych. Instalacja z kolektorami słonecznymi nie jest w stanie funkcjonować bez dodatkowego źródła ciepła np. kotła gazowego. Dotyczy to zarówno z instalacji solarnej do podgrzewania ciepłej wody użytkowej, jak i systemów z kolektorami słonecznymi do wspomaganie ogrzewania i podgrzewania ciepłej wody użytkowej. Z kolei kotły gazowe, olejowe, jak i pompy ciepła są w stanie funkcjonować bez dodatkowego szczytowego źródła energii cieplnej zarówno na potrzeby centralnego ogrzewania, jak i ciepłej wody użytkowej. Takie podejście kompleksowe jest istotne nie tylko dla budynków nowych, ale również modernizowanych.

Udział energii odnawialnej



Rys. 14 Porównanie udziału energii odnawialnej w przekazywaniu ciepła na potrzeby c.o. i ciepłej wody użytkowej dla instalacji z pompą cie-

pła, instalacji z kolektorami słonecznymi do podgrzewania ciepłej wody oraz instalacji z kolektorami słonecznymi do podgrzewania ciepłej wody i wspomagania centralnego ogrzewania.

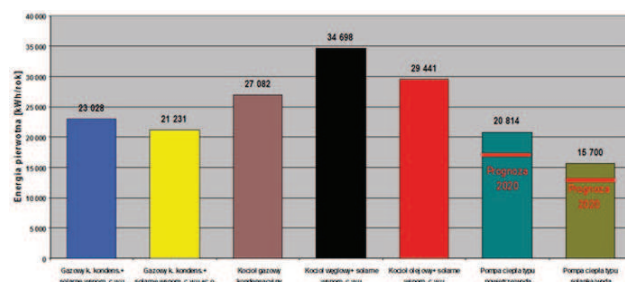


Rys. 15 Przekazywanie energii odnawialnej w przykładowym w budynku jednorodzinnym.

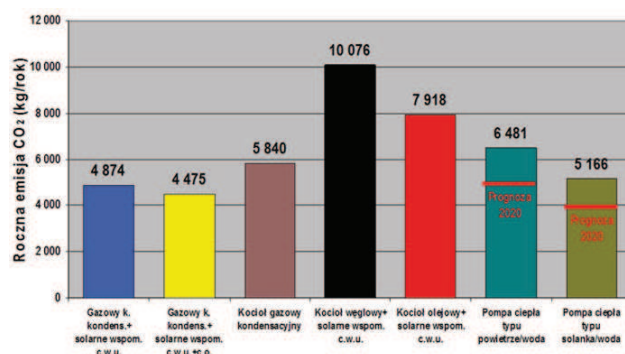
Ze wszystkich pokazanych rozwiązań (Rys.14 i Rys.15) udział energii odnawialnej w pompach ciepła jest najwyższy i wynosi odpowiednio 71% – pompa ciepła typu powietrze/woda i 77% – pompa ciepła typu solanka/woda. Dla pompy ciepła o współczynniku SPF równym 3 udział ten wyniósłby 67%. W przypadku systemów grzewczych z kolektorami słonecznymi do podgrzewania ciepłej wody udział energii odnawialnej w podgrzewaniu wody użytkowej w poprawnie zaprojektowanej instalacji może sięgnąć nawet 60%. W całościowym ujęciu (c.o. i c.w.u.) stanowi jedynie ok. 15–18%. W instalacjach solarnych do podgrzewania ciepłej wody użytkowej, jak i systemów z kolektorami słonecznymi do wspomagania ogrzewania i podgrzewania ciepłej wody użytkowej udział energii odnawialnej wynosi ok. 25%.

Zużycie energii pierwotnej

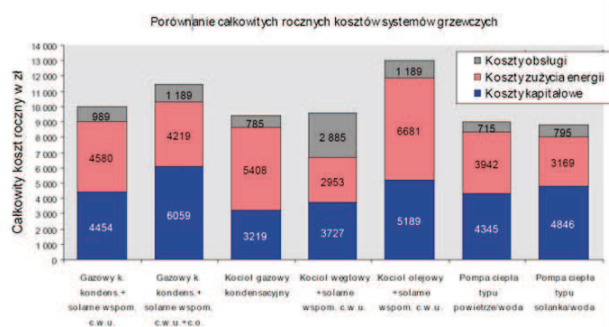
W tej kategorii (Rys.16) – zużycie energii pierwotnej przez pompy ciepła należy do najniższych.



Rys. 16 Energia pierwotna zużywana przez urządzenia grzewcze w budynku jednorodzinny (stan obecny i prognoza 2020, materiały własne).



Rys. 17 Roczna emisja CO₂ w analizowanym budynku (stan obecny i prognoza 2020, materiały własne, wykres opiera się na danych wg Gemis 5,5 2005).



Rys. 18 Porównanie całkowitych kosztów rocznych dla wybranego budynku jednorodzinny (wartości zostały wyliczone za pomocą programu komputerowego WP-OPT).

Zużycie energii pierwotnej dla pompy ciepła typu powietrze/woda jest porównywalne z gazowym kotłem kondensacyjnym z instalacją słoneczną do wspomagania ogrzewania i ciepłej wody użytkowej. Bezkonkurencyjna w tej kategorii jest pompa ciepła typu solanka/woda.

W 2020 r., wraz ze wzrostem sprawności przetwarzania energii elektrycznej w sieciach energetycznych i elektrowniach i zwiększeniem udziału OZE w energii elektrycznej, udział energii pierwotnej dla pomp ciepła będzie ciągle spadał.

Emisja dwutlenku węgla

W tej kategorii obecnie zwycięzcą jest gazowy kocioł kondensacyjny z instalacją słoneczną do wspomagania ogrzewania i ciepłej wody użytkowej. Doganiają go pompy ciepła. Już jednak w perspektywie 2020 r. technologia pomp ciepła osiągnie wyraźnie lepsze wyniki. Plany rozwoju zielonej energetyki i energetyki atomowej znacząco uatrakcyjnią pompy ciepła w tej kategorii.

Zastosowanie w energetyce w 100% energii z odnawialnych źródeł energii, zastosowanie elektrowni atomowych oraz wprowadzanie w przyszłości zielonych taryf dla pomp ciepła może spowodować wielokrotne obniżenie emisji CO₂ w porównaniu z opisywanymi tu technologiami.

Analiza ekonomiczna – roczne koszty całkowite

Powszechnie uznanym i stosowanym w Niemczech narzędziem, używanym do analizy ekonomicznej dla porównania różnych technologii grzewczych są Wytyczne Związku Inżynierów Niemieckich VDI 2067.

Pozwalają one obliczyć tzw. całkowite koszty roczne dla różnych systemów ogrzewania. Na całkowite koszty roczne składają się koszty zużycia energii, koszty kapitałowe (zakłada się wzięcie normalnie oprocentowanego kredytu) oraz koszty konserwacji (napraw i przeglądów).

W kosztach kapitałowych ujęte są różne okresy użytkowania poszczególnych elementów instalacji np. pompa ciepła 20 lat, dolne źródło 50 lat, pomieszczenie kotłowni 40 lat itd. W tej kategorii porównania, technologia pomp ciepła jest na równi z kotłem gazowym (na gaz ziemny). Przy czym koszty inwestycyjne pompy ciepła (na początku inwestycji) są znacząco wyższe, koszty eksploatacji wyraźnie niższe (nawet o 45–50%). Przy inwestycji w gazowy kocioł kondensacyjny z instalacją z kolektorami słonecznymi roczne koszty znacznie przewyższają koszty pomp ciepła.

Wysoki udział kosztów obsługi pomp ciepła pokazany na wykresie, bierze się z przyjętej metodologii wytocznych VDI 2067, która zakłada, że roczne koszty napraw (konserwacji) są na poziomie ok. 1,5–2% kosztów

inwestycyjnych. Praktyka pokazuje, że koszty roczne napraw dla pomp ciepła są znacząco niższe i nie przekraczają wartości 0,3–0,5% rocznie.

Analizę całkowitych kosztów rocznych przeprowadza się za każdym razem na aktualnym zestawie danych i nie można jej przenosić automatycznie na inne budynki.

Nakład całkowitych kosztów rocznych na przekazanie 1 kWh energii odnawialnej

Interesująco dla pomp ciepła wygląda porównanie nakładu kosztu całkowitych kosztów rocznych do przekazanej do instalacji c.o. i c.w.u. jednej kWh energii ze źródeł odnawialnych (Rys.X).

Ponieważ instalacja słoneczna nie funkcjonuje samodzielnie bez kotła gazowego, olejowego lub grzałki elektrycznej, przy porównaniu kosztów rocznych brane jest pod uwagę koszt kompletnej instalacji np. kotła gazowego i instalacji z kolektorami słonecznymi. Inwestycja w pompę ciepła przynosi od 4-rotnie więcej energii odnawialnej niż rozwiązanie instalacji słonecznej z kotłem gazowym z instalacją z kolektorami słonecznymi do podgrzewania ciepłej wody użytkowej.

Nawet, jeżeli chcemy potraktować inwestycję z kolektorami słonecznymi częściowo, jako doposażenie do istniejącej już instalacji z kotłem gazowym czy olejowym, proporcja na korzyść pompy ciepła wynosi co najmniej 1,5 do 1.

Wpływ skutków błędów popełnianych w doborze instalacji z pompą ciepła na wartość SPF – symulacja programem WP-OPT.

Poniższy przykład pokazuje, jak istotne jest staranne zaprojektowanie instalacji z pompą ciepła i jak duży jest jego wpływ na wartość SPF.

Korzystając z komputerowego programu symulacyjnego WP-OPT do doboru instalacji grzewczej z pompami ciepła (Rys. X), otrzymano wynik symulacji dla przykładu następującymi założeniami: pompa ciepła typu solanka/woda o mocy 10,3 kW i wartości COP równej 4,3 (wg PN EN 14511 dla B0W35);

Budynek o zapotrzebowaniu ciepła na c.o. = 14 000 kWh/sezon;

Zapotrzebowanie ciepła na c.w.u. 3700 kWh/sezon;

Moc projektowa 9,5 kW (projektowe straty ciepła budynku wg PN EN 12831);

Temperatura graniczna grzania 14°C;

Lokalizacja: Kraków (III strefa, temperatura projektowa -20°C);

Wewnętrzne i solarne zyski ciepła 9500 kWh;

Projektowa temp. zasilania/powrotu 35/28°C;

Projektowa temperatura pomieszczeń +20°C;

Zapotrzebowanie c.w.u. 200 l/dobę;

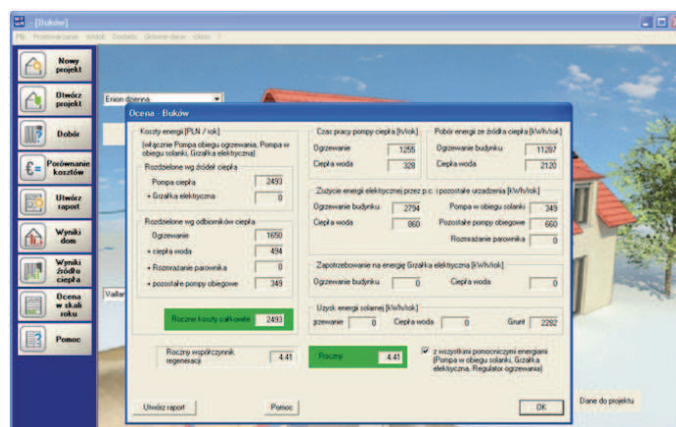
Temperatura c.w.u. 50°C;

Brak obiegu cyrkulacji c.w.u.;
 2 pionowe wymienniki ciepła po 108 m głębokości (średnia λ gruntu 2,15 W/m/K);
 Chłodzenie pasywne (3000 kWh energii/sezon).

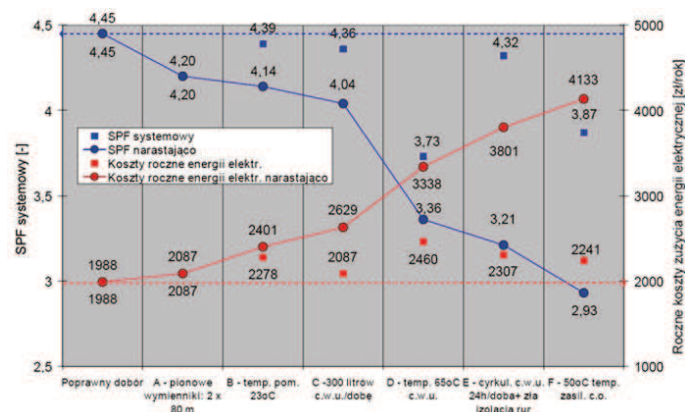
Otrzymany wynik symulacji pracy instalacji z pompą ciepła wynosi odpowiednio; wartość systemowego SPF = 4,45 (w zużyciu energii elektrycznej uwzględniono sprężarkę, pompę dolnego źródła, grzałkę, regulator) oraz roczne łączne koszty zużycia energii elektrycznej G12 wynoszące 1988 zł/sezon (uwzględnione wszystkie odbiorniki elektryczne w tzw. mieszanej taryfie elektrycznej, koszt energii z 08.2010.).

Na wykresie 2 pokazano kolejne wyniki symulacji wartości SPF i rocznych kosztów dla przypadków, w których zmienione są warunki doboru instalacji z pompą ciepła.

Przypadek A - krótsze wymienniki ciepła 2×80 m (zamiast 2×108 m);
Przypadek B - temperatura pomieszczeń 23°C (zamiast 20°C);
Przypadek C - zużycie ciepłej wody 300 litrów/dobę (zamiast 200 litrów/dobę);
Przypadek D - temperatura ciepłej wody w zasobniku 65°C (zamiast 50°C);
Przypadek E - cyrkulacja c.w.u. pracująca przez całą dobę (zamiast braku cyrkulacji);
Przypadek F - instalacja grzejnikowa z temperaturą projektową zasilania 55°C (zamiast instalacji ogrzewania podłogowego z temp. 35°C).



Rys. 19 Ekran z wynikami symulacji SPF z programu komputerowego WP-OPT.



Rys. 20 Wyniki symulacji SPF i rocznych kosztów energii dla różnych wariantów.

Na wykresie pokazano również narastające skutki popełniania błędów (punkty na ciągłych liniach) zarówno dla SPF i rocznych kosztów energii elektrycznej.

Jak widać, skutki błędów nie sumują się, lecz potęgują. Są o wiele większe niż zwykła suma odchyłek dla poszczególnych przypadków. Jest to związane z tym, że poszczególne elementy systemu z pompą ciepła oddziałują wzajemnie na siebie. Po nałożeniu się wszystkich błędów (A–F), koszty roczne przekraczają prawie 2-krotnie koszty dla pierwszej kolumny (oznaczona jako poprawny dobór), a wartość współczynnika SPF wynosi tylko 2,93 (spadek z 4,45) i jest nieznacznie powyżej wartości SPF_{min} wynikającej z dyrektywy OZE (wartość min. SPF w 2010 r. wynosi 2,62).

Bibliografia:

1. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE z 19 maja 2010 r.
2. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2005/32/WE z 6 lipca 2005 r.
3. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z 23 kwietnia 2009 r.
4. EHPA 3rd European Heat Pump Forum Heat pumps as support technology for larger wind integration 20th of May 2010, Steen Kramer Jensen – energinet.dk – TSO of Denmark.
5. dr Elżbieta Śliwińska, Prezentacja: *Czy komin jest ekologiczny?*; Instytut Budownictwa Politechniki Wrocławskiej.
6. Energy Outlook, EHPA 2009 EURELECTRIC studies 2007.
7. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, Analiza stanu zanieczyszczenia powietrza pyłem PM 10 i PM 2,5 z uwzględnieniem składu chemicznego pyłu, w tym metali ciężkich i wwa raport końcowy, maj 2008.
8. Heat Pump Action Plan (EHPA 2008).
9. Platforma informacyjna inteligentnego opomiarowania [w:] www.piio.pl.
10. Raport o stanie środowiska w województwie małopolskim w 2009 roku.
11. Stanowisko Grupy Roboczej Pompy Ciepła działającej w ramach Kłastera Technologii Energooszczędnych Euro-Centrum w sprawie Krajowego Planu Działania, lipiec 2010.