

Pompy ciepła dla ogrzewania i chłodzenia w aspekcie obniżenia emisji ditlenku węgla

prof. dr hab. inż. Edward Szczechowiak, Instytut Inżynierii Środowiska i Instalacji Budowlanych, Politechnika Poznańska

1. Wprowadzenie

Z uwagi na to, że budynki w czasie długoletniej eksploatacji zużywają znaczne ilości energii, i emitują do atmosfery substancje lotne, w tym ditlenek węgla (CO₂), to działania w celu redukcji tych obciążeń są nieodzowne aktualnie i w przyszłości.

Jednym z warunków poprawy efektywności energetycznej budynków są działania w celu obniżania zużycia ciepła w czasie eksploatacji i jednocześnie zwiększania udziału OZE oraz obniżenia śladu węglowego.

9 lipca 2018 r. opublikowana została Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/844 z dnia 30 maja 2018 r. zmieniająca dyrektywę 2010/31/UE w sprawie charakterystyki energetycznej budynków i dyrektywę 2012/27/UE w sprawie efektywności energetycznej. Dyrektywa ta wskazuje działania niezbędne do osiągnięcia celów pakietu klimatycznego. Zapisano w niej konieczność opracowania w krajach członkowskich długoterminowych strategii dotyczących renowacji budynków, które powinny zawierać zadania stałe oraz elastycznie dopasowywać się do zmieniających się warunków. Rokiem docelowym obowiązywania strategii ma być rok 2050, natomiast koniecznym jest ujęcie w strategiach również punktów pośrednich, w których prowadzona będzie ocena oddziaływania strategii, a także możliwe będzie wprowadzanie modyfikacji celów pośrednich. Punkty te zostały wyznaczone na rok 2030 i rok 2040. Celem opracowywanych strategii ma być przekształcenie istniejących budynków mieszkalnych i niemieszkalnych (publicznych i prywatnych) w budynki niemal zeroenergetyczne (nZEB).

Pod koniec grudnia 2018 r. Unia Europejska uzgodniła szczegóły pakietu „Czysta energia dla wszystkich Europejczyków”. Jest to zestaw 8 dyrektyw i rozporządzeń, które określają parametry nowego modelu energetyki zwanego unią energetyczną oraz stwarzają podstawy dla budowy jednolitego rynku energii UE. Wszystkie elementy pakietu weszły już w życie. Aktualnie trwa proces jego wdrażania przez państwa członkowskie UE. Pakiet wprowadza prawne ramy dla pięciu wymiarów unii energetycznej, takich jak:

- zwiększenie efektywności energetycznej,
- budowa jednolitego wewnętrznego rynku energii,
- dekarbonizacja,

- wzrost bezpieczeństwa energetycznego,
- większa innowacyjność i konkurencyjność europejskiego sektora energii.

W 2019 r. Komisja Europejska przedstawiła nową inicjatywę w zakresie polityki klimatycznej, którą jest Europejski Zielony Ład (EZŁ). Jest to dokument kompleksowy, w którego skład wchodzi wiele inicjatyw klimatycznych, środowiskowych, energetycznych, transportowych, przemysłowych oraz rolnych. Podstawowym celem EZŁ jest osiągnięcie do 2050 r. zerowego poziomu emisji gazów cieplarnianych netto (tzw. neutralność klimatyczna). Realizacja tego celu związana jest z podjęciem działań we wszystkich sektorach gospodarki, w oparciu o bardziej efektywne wykorzystanie zasobów, poprzez przejście na gospodarkę o obiegu zamkniętym. W 2020 r. Komisja Europejska podjęła działania kluczowe dla realizacji EZŁ, tj. przyjęcie nowego celu klimatycznego do 2030 r. (redukcja CO₂ o 55% w porównaniu z rokiem 1990).

Spełnienie ww. wymagań wymusza zmiany również w budownictwie – w zakresie efektywności energetycznej, w tym również w ramach źródeł ciepła i chłodu. Pompy ciepła są tutaj dobrym rozwiązaniem i są coraz szerzej stosowane – dla zwiększenia udziału energii odnawialnej i redukcji emisji ditlenku węgla. W tym artykule zostaną poruszone zalety i sposób wykorzystania pomp ciepła w budynkach dla ogrzewania i chłodzenia.

2. Pompy ciepła – parametry oceny

Pompy ciepła stanowią odwrócony obieg chłodniczy, w którym parametrem użytkowym jest ciepło uzyskane w skraplaczu urządzenia chłodniczego. Natomiast do parowacza należy doprowadzić ciepło o niskim potencjale ze środowiska albo jako odpadowe. Wprowadzenie budynków energooszczędnych, a szczególnie pasywnych i niemal zeroenergetycznych spowodowało opłacalność stosowania pomp ciepła, mimo wyższych kosztów inwestycyjnych. Historię rozwoju układów chłodniczych i pomp ciepła przedstawiono dalej.

- Pierwszy sprężarkowy agregat chłodniczy (czynnik eteretylowy) – J. Perkins (1834).
- Podstawy pomp ciepła – W. Thompson (Lord Kelvin) (1852).

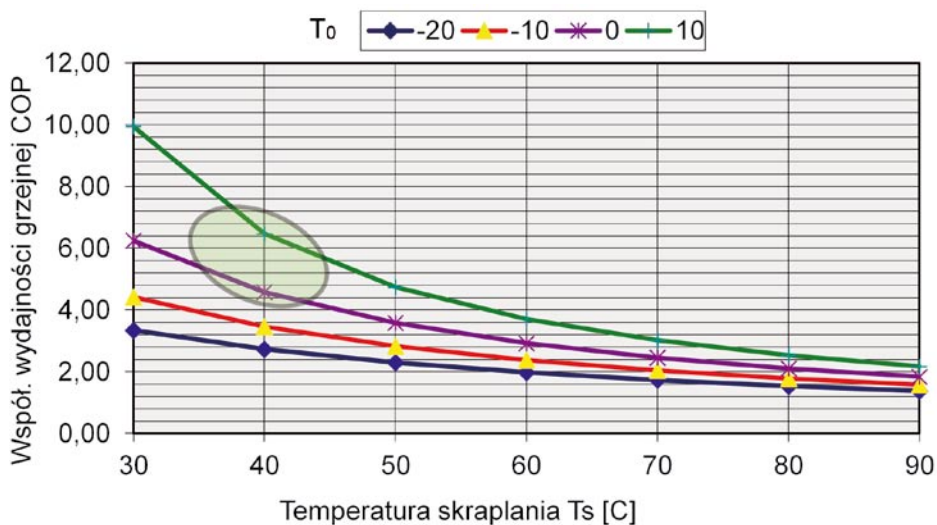
- Absorpcyjne agregaty chłodnicze – F. Carre (1859).
- Teoria agregatów chłodniczych – C. Linde (1870).
- Działający parowy sprężarkowy obieg chłodniczy NH_3 – C. Linde (1874).
- Teoria i praktyka pomp ciepła – F. Kraus (1921).
- Pierwsza instalacja grzewczo-chłodnicza z obiegiem chłodniczym – T.G. Haldan (1928).
- Jedna z pierwszych pomp ciepła do ogrzewania ratusza w Genewie – czynna do dzisiaj (dolne źródło – woda jeziora Genewskiego) – A. Stodola (1928).
- Klimatyzatory jednoczęściowe (RAC – Room Air Conditioners) – General Electric (1929).
- Przemysłowe wytwarzanie pomp ciepła w USA – 1950 (Europa – 1970).
- Pierwsza pompa ciepła – funkcja ogrzewania w klimatyzatorach – DAIKIN (1958).
- Rozwój układów klimatyzacyjnych rozdzielonych (system SPLIT) – TOSHIBA (1961).
- Pierwszy układ MULTI SPLIT – DAIKIN (1969).
- Pierwszy układ MULTI SPLIT z płynną regulacją mocy – TOSHIBA (1981).
- Pierwszy układ VRV (równoczesne chłodzenie-ogrzewanie) – DAIKUN (1982).

Pompa ciepła to efektywny energetycznie system, wykorzystywany na potrzeby centralnego ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej, ale też – do chłodzenia pomieszczeń. Są stosowane coraz częściej, zarówno w budynkach nowych, jak też modernizowanych. Pompy ciepła wykorzystują energię niskopotencjalną ze środowiska lub odpadową i w wyniku działania obiegu chłodniczego podnoszą jej potencjał termodynamiczny do poziomu użytkowego. Przy doborze należy brać pod uwagę charakterystykę termiczną źródła dolnego. Urządzenie należy tak dobrać, aby uwzględnić wpływ na moc grzewczą oraz współczynnik COP zmienną temperaturę źródła dolnego. Szczególnie jest to ważne, gdy źródłem dolnym jest powietrze zewnętrzne.

Główne zalety stosowania pomp ciepła to:

- oszczędność paliw kopalnych (nieodnawialnych),
- obniżenie obciążenia środowiska naturalnego (redukcja emisji CO_2),
- możliwość wykorzystania energii odnawialnej.

Rys. 1. Zmiana współczynnika COP w funkcji temperatury skraplania T_s oraz temperatury parowania T_o



Zakres zastosowań pomp ciepła w ogrzewaniu i klimatyzacji:

- pompy ciepła do ogrzewania i podgrzewania ciepłej wody,
- klimatyzatory kompaktowe z pompą ciepła,
- klimatyzatory SPLIT/VRV z pompą ciepła,
- systemy klimatyzacyjne z małymi pompami ciepła,
- centrale klimatyzacyjne z pompami ciepła,
- płaszczyzny chłodząco-grzejne z pompą ciepła.

2.1. Efektywność pomp ciepła

Podstawowym parametrem oceny jest współczynnik wydajności grzewczej (*Coefficient of Performance*) – COP . Przykładowo zmienność wartości $COP = f(T_o, T_s)$ pokazano na rysunku 1. Nominalną wartość COP pompy ciepła określa się dla normowych parametrów porównawczych wg normy PN-EN 14511.

Definicyjnie możemy określić wartość COP następującym wzorem ogólnym:

$$COP = f(T_o, T_s - T_o, \text{konstrukcja PC});$$

$$COP = Q_s / E_{el};$$

gdzie:

T_o – temperatura parowania czynnika chłodniczego w parowaczu,

T_s – temperatura skraplania czynnika chłodniczego w skraplaczu,

Q_s – ciepło skraplania – jako ciepło użytkowe,

E_{el} – energia elektryczna dostarczona do silnika sprężarki.

Efektywność pomp ciepła wyrażona przez współczynnik COP jest zależna od wielu czynników, jednak główne – to temperatury w tzw. źródle dolnym (parowacz obiegu chłodniczego) i źródle górnym (skraplacz obiegu chłodniczego). Graficznie te zależności pokazano na rysunku 1 i również zaznaczono obszar rekomendowanych parametrów dla budynków efektywnych energetycznie. Odpowiedni dobór parametrów termicznych w parowaczu i skraplaczu pozwala na uzyskanie wartości COP w przedziale 4,0–7,5.

Tabela 1. Minimalne wartości COP pomp ciepła według normy PN-EN 14511

Typ pompy ciepła	Symbol pompy ciepła	Temperatura źródła dolnego [°C]	Temperatura źródła górnego [°C]	Minimalna wartość COP
Solanka/woda	B0/W35	0	35	4,30
Powietrze/woda	A2/W35	2	35	3,10
Woda/woda	W10/W35	10	35	5,10
Odparowanie w gruncie/woda	E4/W35	4	35	4,30

Oznaczenia: B0 – solanka (glikol) 0°C; A2 – powietrze zewnętrzne 2°C; W10 – woda 10°C; E4 – parowacz w gruncie 4°C

Parametry porównawcze powinny być ustalane dla określonych warunków termicznych w parowaczu (dolnym źródle) i skraplaczu (górnym źródle) pomp ciepła wg PN-EN 14511, co pokazano w tabeli 1.

2.2. Współczynnik SCOP pompy ciepła

W warunkach eksploatacyjnych istotna jest sezonowa wartość COP, czyli SCOP (Seasonal Coefficient of Performance). Ten parametr uwzględnia zmienność warunków działania pompy ciepła, zwłaszcza zmienność temperatury otoczenia źródła dolnego. Ma to istotne znaczenia dla pomp ciepła, w których dolnym źródłem energii jest powietrze zewnętrzne. Wartość SCOP wyznacza się z zależności:

$$SCOP = 1/\tau_c \sum (COP_i \cdot \tau_i)$$

gdzie:

COP_i – chwilowa wartość COP zależna od temperatury zewnętrznej i temperatury parowania oraz skraplania,

τ_i – czas trwania chwilowej wartości COP_i ,

τ_c – całkowity przedział czasu dla którego oblicza się SCOP.

Efektywność sezonowa pompy ciepła (PC) może być wyrażona poprzez szacowany sezonowy współczynnik: $SCOP_{on}$, $SCOP_{net}$ i SCOP. Wartość $SCOP_{on}$ odzwierciedla pracę pompy ciepła w trybie grzewczym z uwzględnieniem pracy grzałki wspomagającej. Wartość $SCOP_{net}$ uwzględnia jedynie energię elektryczną zużytą na potrzeby działania pompy ciepła i obiegu czynnika przepływającego przez dolne źródło (np. praca wentylatorów, pomp obiegowych). SCOP uwzględnia dodatkowo energię niezbędną do działania urządzenia w trybach pracy nieaktywnej. Podstawą do wyznaczenia tych współczynników są:

- charakterystyka sezonu grzewczego,
- dane urządzenia dotyczące jego mocy grzewczej i COP w warunkach obciążenia częściowego,
- dane dotyczące projektowego obciążenia cieplnego budynku.

Dla sprężarkowej pompy ciepła napędzanej energią elektryczną, współczynnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej (SPER) wyznacza się z zależności:

$$SPER = w_{EP}/SCOP$$

gdzie:

w_{EP} – współczynnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej przy produkcji energii elektrycznej,

SCOP – średnio sezonowa wartość COP.

Udział OZE w bilansie pompy ciepła wyznacza się z zależności:

$$Q_{k,H,OZE} = Q_{k,H} (1 - 1/SCOP)$$

$$U_{OZE} = 1 - 1/SCOP.$$

Przykład dla pompy ciepła o wartości SCOP = 4,3:

$$SPER_{PL} = 3,0/4,3 = 0,70; E_{CO_2} = 0,17 \text{ kg}_{CO_2}/\text{kWh};$$

$$SPER_{UE} = 2,28/4,3 = 0,53; E_{CO_2} = 0,06 \text{ kg}_{CO_2}/\text{kWh};$$

$$U_{OZE} = 1 - 1/4,3 = 0,77.$$

Przykład dla kotła kondensacyjnego gazowego:

$$SPER_{KG} = 1,1/0,98 = 1,12; E_{CO_2} = 0,22 \text{ kg}_{CO_2}/\text{kWh}$$

$$U_{OZE} = 0.$$

gdzie:

$Q_{k,H,OZE}$ – energia końcowa dostarczona z odnawialnych źródeł (OZE),

$Q_{k,H}$ – energia końcowa dla ogrzewania,

$SPER$ – sezonowy wskaźnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej,

SCOP – sezonowa efektywność energetyczna pompy ciepła,

η_{KG} – sprawność średnia kotła gazowego kondensacyjnego, $\eta_{KG} = 0,98$,

w_{EP} – współczynnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej: dla paliw nieodnawialnych $w_{EP} = 1,1$; dla energii elektrycznej sieciowej w Polsce $w_{EP} = 3,0$; w UE $w_{EP} = 2,28$.

Porównując kocioł gazowy z pompą ciepła, można zauważyć przewagę pompy ciepła w zakresie udziału energii odnawialnej i niższego wskaźnika nieodnawialnej energii pierwotnej.

2.3. Dolne źródło pompy ciepła

Dla efektywnego działania pompy ciepła ważny jest dobór dolnego (niskotemperaturowego) źródła ciepła, którym może być powietrze zewnętrzne, woda lub grunt, ciepło odpadowe. Temperatura dolnego źródła oraz jej zmiany w czasie mają kluczowe znaczenie dla pracy pompy ciepła i jej efektywności. Najtańsze inwestycyjnie są pompy ciepła powietrzne, najdroższe, ale i jednocześnie najtańsze w eksploatacji są pompy gruntowe z wymiennikiem pionowym (wynika to z faktu, że temperatura gruntu na głębokości poniżej 10 m wynosi przez cały rok więcej niż 10°C, co pozwala na ich stabilną pracę na stałym poziomie efektywności. Podobna sytuacja ma miejsce, gdy dolnym źródłem jest zespół dwóch studni (czerpnej i zatłaczającej).

Rys. 2. Zmiana współczynnika COP w funkcji temperatury otoczenia parownika i warunków atmosferycznych powietrznej pompy ciepła (według Eco-Heat)

Zmienność COP dla pompy ciepła wykorzystującej powietrze zewnętrzne – jako źródło dolne pokazano przykładowo na rysunku 2. Jak widać, ta zmienność jest dość duża, najniższe wartości COP są w okresie zimowym – dla temperatury poniżej -12°C . Dla wężownicy poziomej umieszczonej w gruncie na głębokości od 1,2 do 1,5 m – wydajność cieplna mieści się w przedziale: $10\text{--}35\text{ W/m}^2$ i zależy od rodzaju gruntu i obecności wody gruntowej. Natomiast dla sond gruntowych pionowych – wydajność cieplna waha się w przedziale: $20\text{--}70\text{ W/m}^2$, zależnie od rodzaju gruntu i poziomu wód gruntowych.

2.4. Górne źródło pompy ciepła

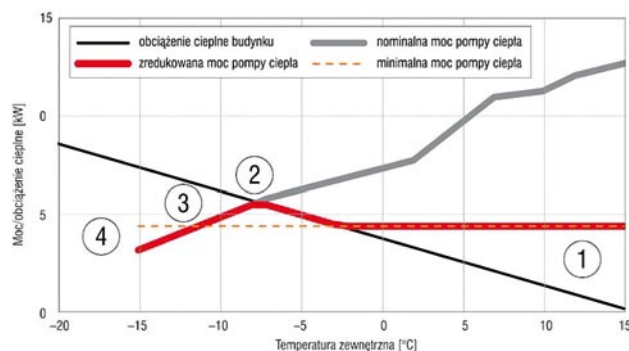
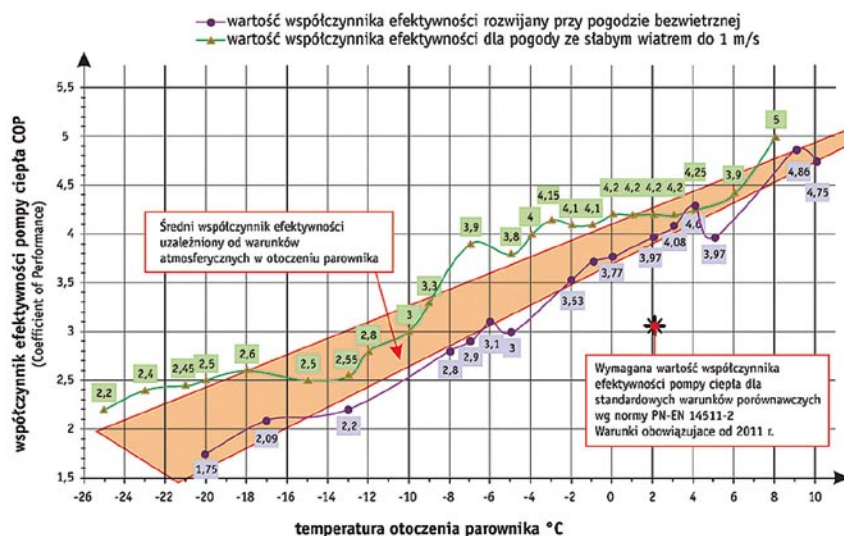
W górnym źródle (skraplaczu) wyprowadzamy ciepło użytkowe o określonej temperaturze. Jej wartość nie może być jednak zbyt wysoka, gdyż wpływa to na obniżenia COP. Korzystne wartości temperatury źródła górnego, to: $30\text{--}45^{\circ}\text{C}$, w niektórych przypadkach do 55°C . Najlepsze efekty uzyskuje się, gdy pompa ciepła współpracuje z ogrzewaniem płaszczyznowym (temperatura nominalna $35/30^{\circ}\text{C}$) i wówczas COP może osiągać nawet 6,5.

Projektując pompę ciepła powietrze/woda, należy każdorazowo przeprowadzić analizę współpracy urządzenia z ogrzewanym obiektem, m.in. dla obliczenia rocznego wskaźnika efektywności energetycznej SCOP.

Żeby umożliwić poprawny dobór pompy ciepła, producenci mają obowiązek dostarczyć dane o wartościach współczynnika efektywności COP oraz mocy grzewczej dla określonych normą PN-EN 14511 wartości temperatury zasilania po stronie grzewczej (górne źródło pompy ciepła) i temperatury powietrza zewnętrznego (dolne źródło pompy ciepła). Dodatkowo od września 2015 roku dla urządzeń grzewczych, również pomp ciepła, należy podawać etykietę energetyczną, gdyż wymaga tego dyrektywa 2009/125/WE.

Pompa ciepła jest badana i oceniana za pomocą metody podanej w normie PN-EN 14825. Na podstawie obliczonego według tej normy wskaźnika SCOP urządzenia nadawana jest mu klasa efektywności energetycznej (oznaczana literami od G do A⁺⁺⁺, a od 2021 r. od G do A).

Regulacja pomp ciepła na początku ich stosowania była typu on-of. Zastosowanie nowszych sprężarek z inwerterem daje lepsze dopasowanie mocy do potrzeb odbiorców



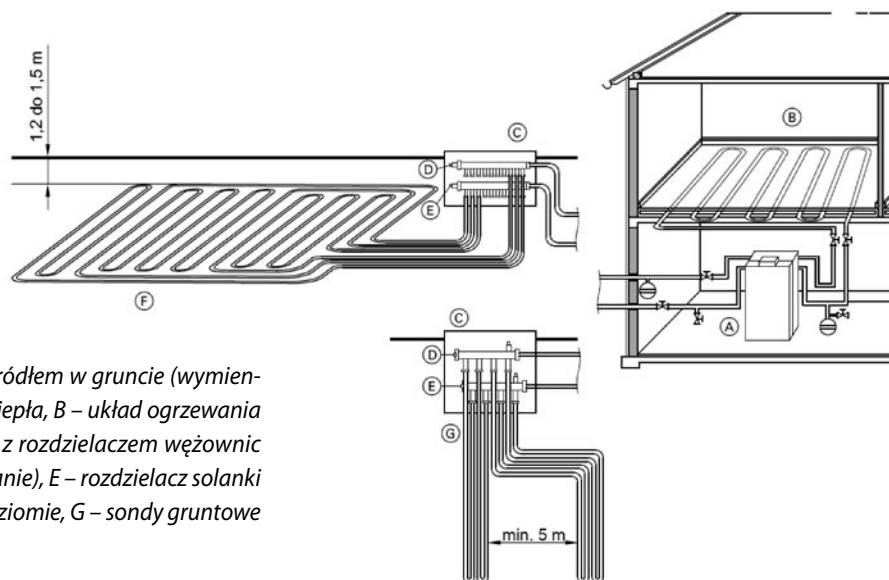
Rys. 3. Przykładowy obszar pracy pompy ciepła powietrze-woda z inwerterem: 1 – praca z nadmiarem mocy, 2 – punkt biwalentny, 3 – niedobór mocy urządzenia (wspomaganie grzałką elektryczną), 4 – ogrzewanie wyłącznie grzałką elektryczną

ciepła i możliwość działania ciągłego sprężarki, co pozwala na uzyskanie wyższej efektywności. Jest to szczególnie ważne dla pomp ciepła typu powietrze-woda. Obszary pracy dla tego typu pomp ciepła pokazano schematycznie na rysunku 3.

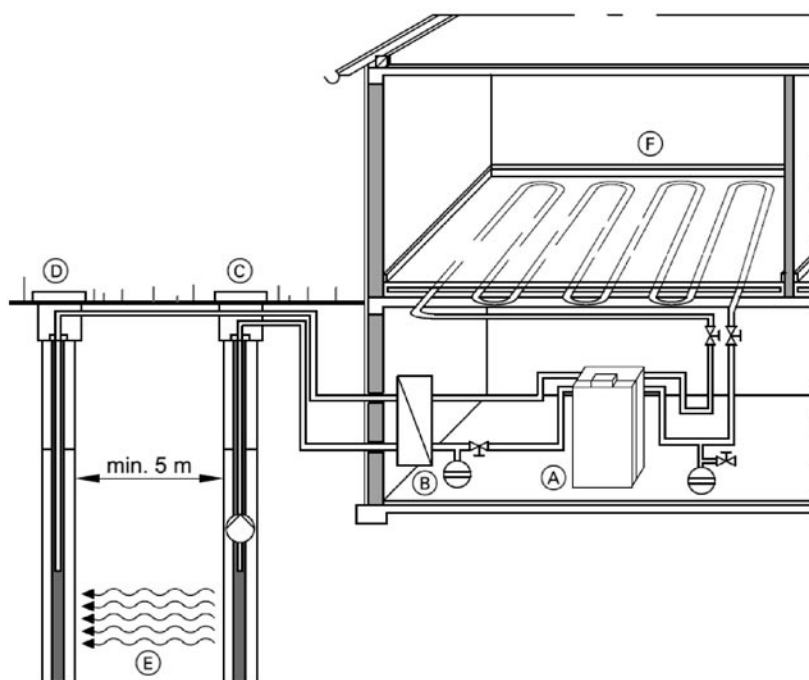
Na pracę pompy ciepła w rzeczywistej instalacji grzewczej wpływa bardzo wiele parametrów. Oprócz oczywistych, takich jak temperatura powietrza zewnętrznego i zasilania oraz powrotu instalacji grzewczej (temperatury dolnego i górnego źródła) jako znaczące można wymienić stosunek mocy pompy ciepła do obciążenia cieplnego budynku (obciążenie częściowe), wilgotność powietrza zewnętrznego czy obecność bufora wody grzewczej w instalacji.

3. Rozwiązania układów z pompami ciepła

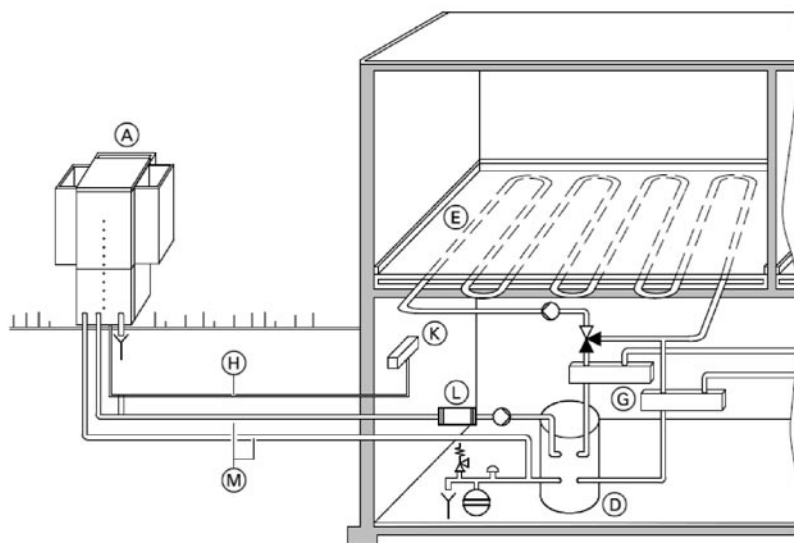
W budynkach możemy zastosować pompy ciepła dla ogrzewania, podgrzewania ciepłej wody a w układach zintegrowanych do ogrzewania i chłodzenia. To ostatnie zastosowanie jest bardzo efektywne, gdyż za pomocą jednego urządzenia



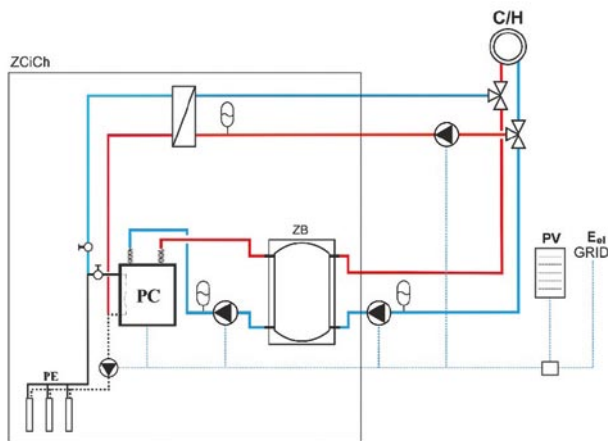
Rys. 4. Układ pompy ciepła z dolnym źródłem w gruncie (wymienNIK poziomy lub pionowy): A – pompa ciepła, B – układ ogrzewania podłogowego, C – studzienka zbiorcza z rozdzielaczem węzownic w gruncie, D – rozdzielacz solanki (zasilanie), E – rozdzielacz solanki (powrót), F – węzownice w gruncie w poziomie, G – sondy gruntowe pionowe (według Viessmanna 2013 r.)



Rys. 5. Układ pompy ciepła z dolnym źródłem – woda ze studni: A – pompa ciepła, B – pośredni wymiennik ciepła, C – studnia czerpalna z pompą, D – studnia chłonna, E – kierunek przepływu wody gruntuwej, F – układ ogrzewania podłogowego (według Viessmanna 2013 r.)



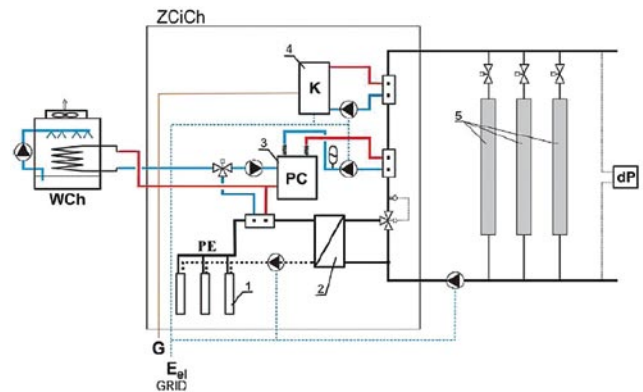
Rys. 6. Układ pompy ciepła z dolnym źródłem – powietrze zewnętrzne: A – pompa ciepła na zewnątrz budynku, D – podgrzewacz buforowy wody grzewczej, E – układ ogrzewania podłogowego, G – rozdzielacz obiegu grzewczego, H – elektryczne przewody łączące, K – regulator pompy ciepła, L – przepływowo podgrzewacz wody grzewczej (elektryczny), M – hydrauliczny zestaw przyłączeniowy (według Viessmanna 2013 r.)



Rys. 7. Zintegrowane źródło ciepła i chłodu (ZCiCh) z odnawialnym źródłem energii (z chłodzeniem pasywnym): PC – pompa ciepła, PE – pale energetyczne, ZB – zbiornik buforowy, C/H – obiegi chłodniczo-grzewcze w pomieszczeniach, E_{el} – energia elektryczna z sieci, PV – energia elektryczna z kolektorów słonecznych

możemy zapewnić ogrzewanie i chłodzenie, co daje bardzo wysoką efektywność i niską emisję ditlenku węgla. Pompy ciepła, w których dolnym źródłem jest energia gruntu, wód podziemnych, a nawet ścieków w kolektorach – mają stabilną temperaturę źródła dolnego w przedziale 8–12°C, co pozwala na uzyskanie wysokich wartości COP w przedziale 4,5–7,5 (rys. 4 i 5). Oznacza to, że z 1 kW energii włożonej możemy osiągnąć 4,5–7,5 kW energii użytkowej. Mogą one osiągać duże moce, nawet kilkaset kW, jednak wymagają znacznych nakładów finansowych na przygotowanie dolnego źródła ciepła (sondy pionowe, studnie lub wymienniki w ciekach wodnych). Bardzo korzystnym rozwiązaniem są pompy ciepła, w których dolnym źródłem jest powietrze zewnętrzne (rys. 6). Wówczas koszty dolnego źródła są bardzo niskie, co obniża koszty całej inwestycji. Wprawdzie współczynniki COP są niższe niż w przypadku gruntowych pomp ciepła, ale nie jest to różnica znacząca. Tego typu pompy ciepła są popularne w zastosowaniach dla domów jednorodzinnych. Ich moce cieplne mogą wynosić w tym przypadku kilka kW. Dla innych zastosowań powietrzne pompy ciepła mogą osiągać moce grzewcze nawet 50–80 kW. Jeżeli dodatkowo energia elektryczna zasilająca sprężarkę i urządzenia pomocnicze, w znacznym udziale pochodzi z kolektorów słonecznych PV, to uzyskujemy rozwiązanie o bardzo dobrych parametrach energetyczno-ekologicznych.

Rozwiązania dla budynków wymagających chłodzenia (czyli klimatyzowanych) również mogą być oparte o pompy ciepła, które w podstawowej opcji zapewniają ogrzewanie, natomiast chłodzenie w podstawowej wersji jest pasywne, wykorzystując energię gruntu z sond pionowych (rys. 7). Natomiast przy większym obciążeniu chłodniczym – do chłodzenia można również wykorzystać pompę ciepła (rys. 8). Rozwiązania takie mogą zapewnić moce dla potrzeb ogrzewania 100–200 kW i nawet więcej oraz do chłodzenia również na podobnym poziomie. Przykładowo dla budynków



Rys. 8. Zintegrowane źródło ciepła i chłodu z pompą ciepła, kotłem gazowym szczytowym oraz chłodzeniem pasywnym i aktywnym (PC): WCh – wieża chłodnicza (alternatywa), 1 – pale energetyczne (PE), 2 – wymiennik pośredni (chłodzenie pasywne), 3 – pompa ciepła (PC) zasilana energią elektryczną, 4 – kocioł szczytowo-rezerwowy (K), 5 – ogrzewanie/chłodzenie płaszczyznowe w pomieszczeniach, G – zasilanie gazowe, E_{el} – zasilanie elektryczne, dP – stabilizacja różnicy ciśnienia

niemal zeroenergetycznych (nZEB) o powierzchni ogrzewanej 10 000 m² – obliczeniowa moc cieplna dla ogrzewania wynosi 100–120 kW.

4. Ocena wybranych rozwiązań

Dla zobrazowania efektów płynących z zastosowania pomp ciepła dla potrzeb ogrzewania wykonano analizę porównawczą z kotłem gazowym kondensacyjnym. Wyniki obliczeń dla wybranego budynku o wskaźniku zużycia energii użytkowej dla ogrzewania – 26 kWh/(m²a) – co odpowiada budynkowi mieszkalnemu nZEB zamieszczono w tabeli 2. Jak wynika z danych w tej tabeli – pompa ciepła osiąga lepsze parametry ekologiczne niż najlepszy kocioł gazowy, a gdy dodatkowo wykorzystamy energię elektryczną z kolektorów PV, wynik ten jest zdecydowanie korzystny, co wychodzi naprzeciw realizacji planów dochodzenia do budynków o minimalnym śladzie węglowym.

Dla budynku z ogrzewaniem i chłodzeniem układ instalacyjny z pompą ciepła można wykorzystać taki, jak podano na rysunku 7. W tym układzie pompa ciepła spełnia rolę źródła ciepła, natomiast chłodzenie jest realizowane z wykorzystaniem energii gruntu przez sondy pionowe i wymiennik pośredni (chłodzenie pasywne). Wyniki analizy porównano z rozdzielonym układem konwencjonalnym: kondensacyjny kocioł gazowy oraz agregat chłodniczy. Dla takiego przypadku wyniki analiz pokazano w tabeli 3. Uzyskane wyniki układu z pompą ciepła i chłodzeniem pasywnym są wyraźnie lepsze niż dla układu konwencjonalnego: kocioł gazowy + agregat chłodniczy, co oznacza lepsze parametry ekologiczne o połowę. Gdy dodatkowo wykorzystamy energię elektryczną z kolektorów PV, to wynik ten jest zdecydowanie korzystny, co wychodzi naprzeciw

realizacji planów dochodzenia do budynków o minimalnym śladzie węglowym.

5. Podsumowanie

Jak wynika z przeprowadzonych analiz, pompy ciepła stanowią postęp w budownictwie, gdyż wykorzystują energię odnawialną i powodują obniżenie emisji CO₂. Poziom tej redukcji jest związany z jakością ekologiczną energii elektrycznej doprowadzonej do pompy ciepła.

Przykład porównawczy układu z kotłem gazowym kondensacyjnym oraz pompą ciepła pozwala stwierdzić, że pompa ciepła ma korzystniejsze parametry energetyczno-ekologiczne i w przyszłości wyprze źródła na paliwa kopalne. Niedawno uchwalona dyrektywa Unii Europejskiej przewiduje likwidację kotłów gazowych w nowym budownictwie do roku 2035.

Przyszłościowe działania to zastosowanie minielektrociepłowni z ogniwoami paliwowymi – zasilanych wodorem, najlepiej zielonym, czyli uzyskanym z elektrolizy – gdy wykorzystana energia będzie pochodzić ze źródeł odnawialnych. Istnieją już w sprzedaży ogniwa paliwowe małej mocy przeznaczone dla energooszczędnych domów jednorodzinnych.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Dongellini M., Naldi C., Morini G.L., Seasonal performance evaluation of electric air-to-water heat pump, Applied Thermal Engineering 90, 2015, str. 1072–1081
- [2] Foit H., Zastosowanie odnawialnych źródeł ciepła w ogrzewnictwie i wentylacji, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2013
- [3] Oszczak W., Ogrzewanie domów z zastosowaniem pomp ciepła, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 2015
- [4] Piechurski K., Szulgowska-Zgrzywa M., Obliczanie rocznej efektywności pomp ciepła powietrze/woda, Rynek Instalacyjny 6/2016, str. 35–40
- [5] Piechurski K., Szulgowska-Zgrzywa M., Obliczanie rocznej efektywności pomp ciepła powietrze/woda, Rynek Instalacyjny 6/2016, str. 35–40
- [6] Piechurski K., Szulgowska-Zgrzywa M., Wpływ warunków klimatycznych i obciążenia cieplnego budynku na efektywność energetyczną pomp ciepła powietrze/woda z płynną regulacją mocy, Rynek Instalacyjny 10/2016, str. 21–26
- [7] Piechurski K., Stefanowicz E., Wpływ doboru pompy ciepła powietrze/woda na koszty eksploatacyjne instalacji grzewczej, Rynek Instalacyjny 7–8/2018
- [8] Rubik M., Pompy ciepła w systemach geotermii niskotemperaturowej, Oficyna Wydawnicza MULTICO, Warszawa, 2011
- [9] Rubik M., Chłodziwo i pompy ciepła, Wydawnictwo Grupa MEDIUM, 2020
- [10] Sarbu I., Sebarchievici C., General review of ground-source heat pump systems for heating and cooling buildings, Energy and Buildings 70(2014), str. 441–454
- [11] Sowa J. (red.), Budynki o niemal zerowym zużyciu energii, Wydawnictwo NTNU, Warszawa, 2017
- [12] Szczechowiak E., Efektywność energetyczna budynków. Zeszyty Naukowe Politechniki Gdańskiej. Budownictwo Lądowe Nr LVIII 2006, str. 25–44
- [13] Szczechowiak E., Realizacja polityki energetycznej w budownictwie w świetle nowych rozporządzeń, Materiały Budowlane 1/2009, str. 8–12
- [14] Szczechowiak E., Budynki energooszczędne i pasywne, Czysta Energia 3/2008, str. 22–26
- [15] Podręcznik architekta, projektanta i instalatora. Pompy ciepła, Wiesmann, Wrocław, 2013
- [16] PN-EN 14825:2014-02: Klimatyzatory, ziębiarki cieczy i pompy ciepła ze sprężarkami o napędzie elektrycznym, do grzania i ziębienia. Badanie i ocena w warunkach niepełnego obciążenia oraz obliczanie wydajności sezonowej
- [17] PN-EN 14511-1:2013: Klimatyzatory, ziębiarki cieczy i pompy ciepła ze sprężarkami o napędzie elektrycznym, do grzania i ziębienia

Tabela 2. Porównanie parametrów energetycznych KG oraz PC dla ogrzewania

Lp	Parametr oceniany	KG + sieć el.	PC+sieć el.	PC+50%PV	PC+100%PV
1.	EU _H [kWh/(m ² a)]	26	26	26	26
2.	EK _H [kWh/(m ² a)]	29,7	7,28	7,28	7,28
3.	E _{el} ^{pom,H} [kWh/m ² a]	1	1	1	1
4.	EK _{sum} [kWh/m ² a]	30,7	8,28	8,28	8,28
5.	OZE – PV [kWh/m ² a]	0	0	4,14	8,20
6.	EP [kWh/(m ² a)]	35,7	24,84	12,42	0,24
7.	U _{OZE} [%]	0	75	87	99
8.	E _{CO₂} [kg _{CO₂} /(m ² a)]	7,85	5,99	3,00	0,06

Oznaczenia: kocioł gazowy (KG): $\eta_{KG} = 0,98$; $\eta_{tot,KG} = 0,875$; pompa ciepła (PC): SCOP = 4,0; $\eta_{tot,PC} = 3,572$; EU – energia użytkowa; EK – energia końcowa; OZE – PV – energia odnawialna z kolektorów słonecznych; U_{OZE} – udział energii odnawialnej; E_{CO₂} – emisja ditlenku węgla (ślad węglowy)

Tabela 3. Porównanie parametrów energetycznych KG oraz PC dla ogrzewania i chłodzenia

Lp	Parametr oceniany	KG + ACh	PC + sieć el.	PC+50%PV	PC+100%PV
1.	EU _H [kWh/(m ² a)]	26	26	26	26
1.	EU _C [kWh/(m ² a)]	15	15	15	15
2.	EK _H [kWh/(m ² a)]	29,7	7,28	7,28	7,28
3.	E _{el} ^{pom,H} [kWh/m ² a]	1	1	1	1
2.	EK _C [kWh/(m ² a)]	5,47	0	0	0
3.	E _{el} ^{pom,C} [kWh/m ² a]	1	1	1	1
4.	EK _{sum} [kWh/m ² a]	37,17	9,28	9,28	9,28
5.	OZE – PV [kWh/m ² a]	0	0	4,64	9,20
6.	EP [kWh/(m ² a)]	55,08	27,84	13,92	0,24
7.	U _{OZE} [%]	0	79	89	99
8.	E _{CO₂} [kg _{CO₂} /(m ² a)]	12,54	6,72	3,36	0,06

Oznaczenia: kocioł gazowy (KG): $\eta_{KG} = 0,98$; $\eta_{tot,KG} = 0,875$; pompa ciepła (PC): SCOP = 4,0; $\eta_{tot,PC} = 3,572$; agregat chłodniczy (ACh) – SEER = 3,0; $\eta_{tot,ACh} = 2,74$; EU – energia użytkowa; EK – energia końcowa; OZE – PV – energia odnawialna z kolektorów słonecznych; U_{OZE} – udział energii odnawialnej; E_{CO₂} – emisja ditlenku węgla (ślad węglowy)