

Warszawski Klaudyn – miniosiedle, na którym wszyscy korzystają z pomp ciepła i osiągają koszty ogrzewania domu poniżej 1000 zł/rok



CIEPŁO

prawie za

DARMO

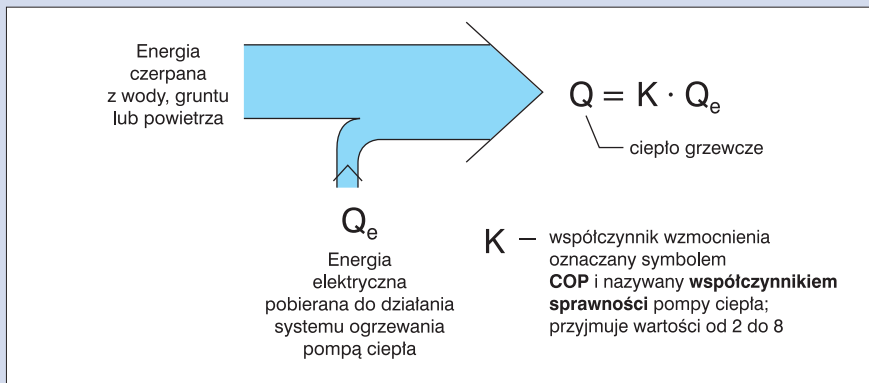
*czyli ogrzewanie
pompą ciepła*

Ogrzewanie domu jednorodzinnego pompą ciepła to rozwiązanie bardzo popularne w wielu krajach (np. w Szwecji co czwarty dom jest ogrzewany pompą ciepła), a w Polsce ciągle postrzegane jako „ciekawostka ekologiczna”. A jest to przede wszystkim ogrzewanie najtańsze – znamy domy o powierzchni 200 – 300 m², w których roczny koszt ogrzewania systemem z pompą ciepła mieści się w kwocie 1000 zł. Powodzenie tego rozwiązania nie opiera się na wyborze jakichś rewelacyjnych typów pomp ciepła, lecz na kompleksowym rozwiązaniu całego systemu grzewczego wraz z właściwą konstrukcją i technologią domu. W kompleksowym myśleniu o całym domu nikt nie wyręczy inwestora, który nie musi wszystkiego wiedzieć, ale powinien dużo rozumieć, dlatego ten artykuł ma formę wykładu z misją – przekonać do ogrzewania pompą ciepła przedstawiając argumenty zdroworozsądkowe poparte rachunkami „na palcach”.

Tak naprawdę ogrzewanie domu pompą ciepła to ogrzewanie elektryczne ze wzmocnieniem. Elektryczne, bo płacimy rachunki za pobieraną energię elektryczną, a wzmocnienie oznacza, iż uzyskiwana ilość energii cieplnej jest kilkakrotnie większa od ilości pobranej energii elektrycznej. Bo cóż to jest wzmocnienie?

Jest to sterowanie większej mocy (energii) mniejszą energią. Na przykład słuchając radia zdajemy sobie sprawę, że słabiotka energia fal elektromagnetycznych odbieranych przez antenę została wzmocniona przez pobranie dużej energii ze źródła, którym jest bateria zasilająca radio lub prąd z sieci 230V. Zatem, żeby nastąpiło wzmocnienie energii niezbędne jest źródło, z którego możemy pobrać więcej energii niż dostarczamy do wzmacniacza. W przypadku pompy ciepła dostarczamy do niej energię prądu elektrycznego – powiedzmy X kilowatogodzin – po to, żeby z tej pompy otrzymać kilka razy większą energię (K·X) pobraną w postaci ciepła z innego źródła energii, którym jest ziemia, woda lub powietrze **1**. Najbardziej zdumiewające dla „normalnego człowieka” (czyli takiego, który nie zawsze uważał na lekcjach fizyki w szkole) jest to, że pobierane ciepło „idzie pod górkę”, tj. przepływa ze źródła o niższej temperaturze (np. 10 °C – temperatura wody gruntowej) do odbiornika energii o wyższej temperaturze (np. woda w ogrzewaniu podłogowym o temperaturze 28 – 30 °C). Dlatego wywołuje to skojarzenie z pompowaniem ciepła (z dołu do góry w sensie wzrostu temperatury). Ale nie przejmujemy się, jeśli nawet nie

Autor: Wiesław Marciniak



1 Ogólna zasada działania systemu ogrzewania z pompą ciepła

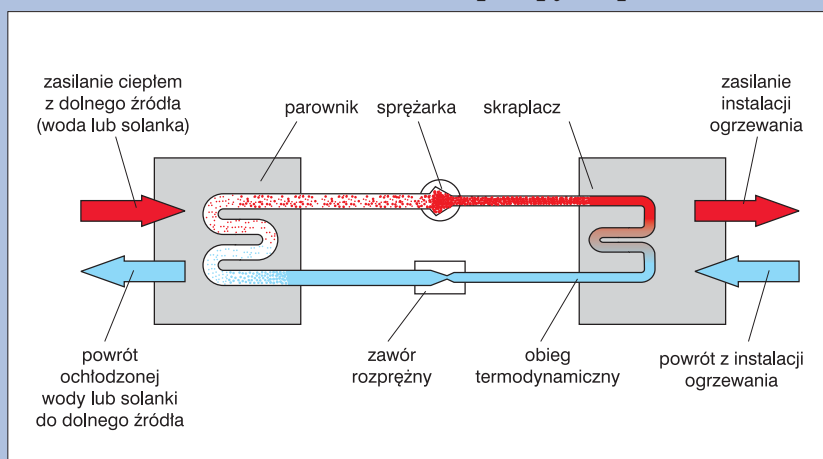
pamiętamy z fizyki co to jest cykl Carnot, to przecież codziennie doświadczamy praktycznego działania takiego pompowania ciepła w naszej lodówce czy zamrażarce. Z wnętrza lodówki, a ściślej z produktów żywnościowych w niej umieszczonych, jest „wypompowywane” ciepło i oddawane do pomieszczenia na zewnątrz lodówki, czyli lodówka grzeje pomieszczenie zabierając ciepło z jej chłodnego wnętrza. Wyobraźmy sobie teraz, że do wnętrza lodówki wpływa w ciągłym obiegu woda ze studni o temperaturze 10 °C i wypływa po schłodzeniu do 5 °C, a następnie jest „zrzucona” do innej studni. Zatem cały czas woda dostarcza do

wnętrza lodówki ciepło, które jest z niej zabierane i oddawane na zewnątrz lodówki – do pomieszczenia. Tak właśnie (co do fizycznej zasady) działa pompa ciepła. Żeby mogła działać, musi być zasilana prądem elektrycznym i cały problem sprowadza się do wartości współczynnika wzmocnienia K, tj. ile razy więcej energii uda się pobrać z wody gruntowej wpływającej do pompy (lodówki) niż wynoszą straty energii elektrycznej na samo działanie tej pompy (lodówki). Rachunki będziemy płacić za pobrany prąd elektryczny, a nie jest to tanie źródło energii, dlatego nie zadowoli nas współczynnik K o wartości 2 ... 3, bo to oznacza iż ogrzewamy dom

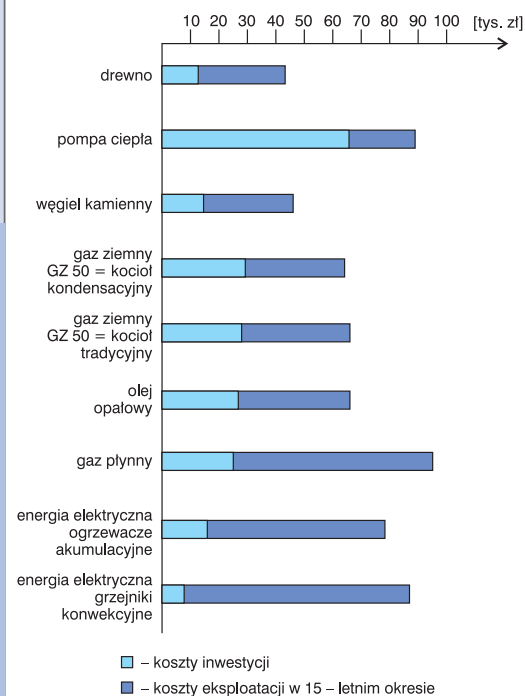
prądem elektrycznym, tyle że płacąc 32 gr za 1 kWh otrzymujemy 2 – 3 kWh ciepła, a to nie będzie taniej niż w przypadku ogrzewania gazem. Dopiero współczynnik K w przedziale 4 ... 8 daje dobre lub nawet świetne wyniki. Mając współczynnik K > 6, jeśli ponadto wystarczy zasilać pompę ciepła prądem tylko w nocnej, tańszej taryfie, uzyskujemy rewelacyjnie niskie koszty ogrzewania – poniżej 1000 zł/rok dla domu ok. 250 m².

Wyjaśnijmy od razu, że pojęcie współczynnika wzmocnienia K wprowadziliśmy chwilowo dla bardziej dobitnego zaakcentowania, że pompa ciepła jest wzmacniaczem energii. Nasz współczynnik wzmocnienia K w literaturze fachowej ma inną nazwę – **współczynnik efektywności** i jest oznaczany symbolem **COP** (ang. Coefficient of Performance). Zwykle podaje się, że COP osiąga wartości w przedziale od 3 do 5 lub przyjmuje

Schemat działania pompy ciepła



Działanie pompy ciepła polega na cyklicznej zmianie stanu fizycznego czynnika (najczęściej jest to freon) krążącego w obiegu termodynamicznym - sprężanie, skraplanie, rozprężanie, parowanie. Sprężarka zasilana prądem elektrycznym spręża parę freonu, w wyniku tego wzrasta temperatura tej pary. W skraplaczu gorąca para oddaje swoje ciepło wodzie krążącej w instalacji ogrzewania i w wyniku ochładzania para ulega skropleniu. Następnie ciekły i sprężony freon przepływa przez zawór rozprężny i w procesie rozprężania następuje jego gwałtowne ochłodzenie. Zimny freon, przepływający pod niskim ciśnieniem przez parownik ogrzewa się pobierając ciepło od czynnika roboczego (wody lub solanki) dolnego źródła. W wyniku ogrzania freon odparowuje i gorąca para jest zasysana przez sprężarkę i cały cykl się powtarza.



2 W wielu źródłach literaturowych podaje się wyliczenia zniechęcające do stosowania pomp ciepła, gdyż według tych danych (przykład na rysunku) nawet w 15-letnim okresie eksploatacji pompa ciepła jest sposobem ogrzewania domu droższym niż gaz. W rzeczywistości pompa ciepła jest najtańszym systemem ogrzewania, gdyż koszty inwestycyjne i eksploatacyjne mogą być kilkakrotnie niższe, jeśli zastosuje się optymalne rozwiązania

Współczynnik COP bez nadinterpretacji

COP jest nazywany **współczynnikiem efektywności** lub **sprawnością**, a te nazwy rodzą pokusę następujących interpretacji (przykładowy cytat z literatury fachowej): „Współczynnik efektywności COP osiąga zazwyczaj wartość od 3 do 4,5. Trzeba tu podkreślić, że współczynnik efektywności tradycyjnych systemów grzewczych przyjmuje wartości od 0,5 do 0,99. Spośród dostępnych w handlu urządzeń grzewczych, pompy ciepła mają najwyższą *sprawność*”.

Otóż sprawność kotła nie ma fizycznie nic wspólnego ze *sprawnością* pompy ciepła. W fizyce sprawność ma zawsze wartość mniejszą od 1, gdyż nie istnieje *perpetuum mobile*. Przetwarzając energię z jednej postaci w inną (np. energię chemiczną paliwa w ciepło) nigdy nie otrzymamy więcej energii na wyjściu niż było na wejściu tego procesu. Natomiast w pompie ciepła energia cieplna otrzymywana na wyjściu nie pochodzi z dostarczanej energii elektrycznej, lecz jest pobierana z innego źródła (wody, gruntu lub powietrza). Dlatego wolalibyśmy nazywać COP wzmocnieniem niż sprawnością, by nie kusiło do porównywania rzeczy nieporównywalnych. Pompy ciepła nie potrzebują takiej „trikowej” propagandy, że niby są 5 ÷ 10 razy „sprawniejsze” niż np. kotły gazowe.

się po prostu COP = 4. A ponieważ „jednym tchem” dodaje się, że pompa ciepła to droga inwestycja (zwykle padają liczby 60.000 ÷ 80.000 zł), to analiza ekonomiczna nie wypada zachęcająco – suma kosztów inwestycji i eksploatacji, nawet w 15-letnim okresie eksploatacji, jest wyższa niż dla ogrzewania gazowego **2**. Takie uproszczone informacje utrwalają typowy pogląd o pompach ciepła jako pewnej „ciekawostce ekologicznej”, której stosowanie nie ma przekonującego uzasadnienia ekonomicznego. Prawda jest jednak taka, że można osiągnąć COP powyżej 5, inwestycja może być 2 ... 3 razy tańsza, a do tego pobór prądu ograniczony niemal wyłącznie do II taryfy i wówczas **pompa ciepła jest bezkonkurencyjnym, najtańszym rozwiązaniem ogrzewania domu jednorodzinnego**. I nie chodzi tu o jakiś rewelacyjny typ

pompy. Istotne jest kompleksowe dostosowanie wszystkich rozwiązań w budynku, również konstrukcyjnych i technologicznych, do ogrzewania pompą ciepła. Zamierzamy tego dowieść w tym artykule, dlatego nadaliliśmy mu formę wykładu – w jego głównym wątku skupimy się na rozwiązaniach optymalnych, a rozszerzające informacje techniczne umieścimy w ramkach.

Wybieramy system woda – woda

Systemy grzewcze z wykorzystaniem pomp ciepła bazują w rzeczywistości na energii słonecznej, zbieranej i magazynowanej w doskonałym naturalnym kolektorze, którym jest nasza ziemia. Grunt, a więc również woda gruntowa, na głębokości większej niż 6 m ma w zasadzie stałą temperaturę, która wynosi w Polsce ok. 0 °C, niezależnie czy jest zima czy lato (można się liczyć ze zmianami w przedziale 7 – 12 °C). Najrozsądniejszym, najtańszym inwestycyjnie sposobem pobierania ciepła z gruntu jest pompowanie wody z głębokości poniżej 6 m (oczywiście, lustro wody gruntowej może być na poziomie wyższym, np. 1 lub 2 m pod powierzchnią gruntu). System grzewczy oparty na wodzie gruntowej jako źródle ciepła, jest nazywany **systemem woda – woda**, gdyż ciepło pobierane z jednej wody (gruntowej) jest przekazywane w pompie ciepła innej wodzie, krążącej w układzie zamkniętym ogrzewania podłogowego **3**. Musimy zbudować 2 studnie – jedną do poboru wody, drugą do odprowadzenia (zrzutu) wody schłodzonej, która wypły-

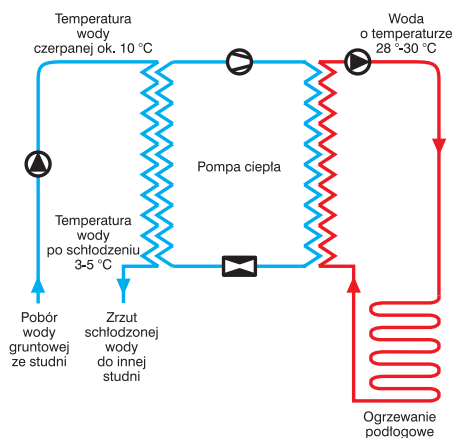
wa z pompy ciepła. W typowych warunkach geologicznych, gdy woda jest czerpana z warstwy wodonosnej na głębokości 6 ÷ 30 m, koszt budowy takich dwóch studni wynosi ok. 2000 zł. Uwaga – na studnie o głębokości większej niż 30 m wymagane jest pozwolenie wodnoprawne. Odległość między studnią czerpalną i studnią zrzutową powinna być jak największa (co najmniej 15 m), żeby chłodna woda zrzucana nie mieszała się z wodą czerpaną, niekorzystnie obniżając jej temperaturę. Często podaje się w literaturze „dobrą radę”, żeby zwrócić uwagę, jaki jest kierunek przepływu wody w warstwie wodonosnej i „idąc z nurtem” studnia czerpalna powinna być przed studnią zrzutową. Nie wiem tylko, w jaki sposób można wyznaczyć ten kierunek (czyżby z pomocą różdżki?).

Warto ćwiczyć liczenie „na palcach”, bo tak naprawdę, tyle rozumiemy ile potrafimy policzyć.

Policzmy więc „na palcach”, w jakim tempie trzeba pompować wodę gruntową, aby pobierać z niej wystarczającą ilość ciepła. Do ogrzewania współcześnie zbudowanego domu jednorodzinnego, czyli domu spełniającego obecne normy termoizolacji, potrzebna jest moc grzewcza 50 W/m², a w budownictwie energooszczędnym zaledwie 30 W/m². Zatem zapotrzebowanie na moc cieplną do ogrzewania domu o powierzchni 200 m² wynosi ok. 10 kW (200 m² x 50 W/m²). Źródło ciepła o takiej mocy dostarczy w ciągu godziny 10 kWh energii cieplnej. Przeliczmy to na kalorie. Trzeba sobie przypomnieć ze szkoły, że 1 cal (kaloria) = 4,2 J (dżula), a 1 J = W·s.

Zatem 10 kWh = 10.000 W · 3.600 s = 36.000.000 J, stąd 36.000.000 J : 4,2 J = 8.500.000 cal, czyli 8.500 kcal. Zatem w ciągu godziny powinniśmy pobrać z wody gruntowej 8.500 kcal ciepła. Ile do tego trzeba wody? Jeśli założymy, że czerpiemy z gruntu wodę o temperaturze 10 °C i schładzamy ją do 5 °C, to każdy liter wody oddaje 1.000 cm³ · (10 °C - 5 °C) = 5 kcal.

Jeśli 1 liter wody gruntowej odda nam 5 kcal ciepła, a w ciągu godziny potrzebujemy do ogrzewania domu 8500 kcal, to ilość wody, jaką trzeba wpompować w ciągu godziny wynosi 8500 kcal : 5 kcal/l = 1700 l, czyli wydajność pompowania po-



3 System grzewczy woda-woda

Rodzaje systemów ogrzewania pompą ciepła

Idea ogrzewania pompą ciepła sprowadza się najogólniej do pobierania ciepła z tzw. **źródła dolnego** i przekazywania tego ciepła do pomieszczeń przez tzw. **źródło górne**. Źródłem górnym może być układ centralnego ogrzewania z bateriami, ale rozwiązaniem zalecanym jest niskotemperaturowe ogrzewanie podłogowe.

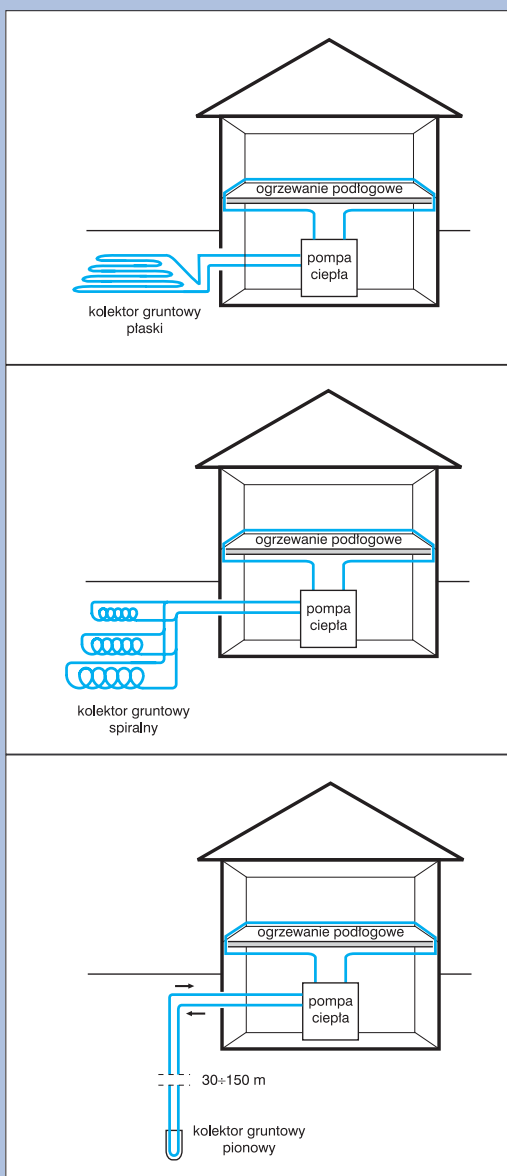
Najlepszym **źródłem dolnym** jest woda gruntowa, wówczas mówimy o systemie **woda – woda**. Jeśli nie ma możliwości korzystania z wody gruntowej to pozostaje nam zastosowanie systemu **grunt – woda** (inaczej nazywanym **solanka – woda**) lub **powietrze – woda**. W naszym klimacie, z surowymi zimami i temperaturą powietrza dochodzącą do -20°C , system powietrze – woda nie jest rozwiązaniem racjonalnym. Natomiast system grunt – woda wymaga zastosowania kolektora ziemnego jako źródła dolnego. Kolektorem jest rura o długości 100 – 300 m, wypełniona solanką i ułożona płasko (**kolektor płaski**), spiralnie (**kolektor spiralny**) lub pionowo (**kolektor pionowy**).

Kolektor płaski wykonuje się z rur PE o średnicy jednego cala, układanych w wykopie o głębokości 1,5 – 2 m, czyli poniżej strefy przemarzania. Jest to zwykle kilka odcinków rur o długości ok. 100 m. Przy odstępach między rurami rzędu $0,5 \div 0,8$ m z jednego m^2 gruntu z kolektorem otrzymuje się moc 10 do 40 W, w zależności od rodzaju gleby. Gliniasty i wilgotny grunt oddaje więcej ciepła niż piaszczysty, suchy. Stąd przy założeniu, że do ogrzewania domu potrzeba ok. 50 W/m^2 , kolektor płaski powinien zajmować powierzchnię 1,5 do 5 razy większą niż powierzchnia domu. Zatem do tego rozwiązania niezbędna jest duża powierzchnia działki (np. ok. 1000 m^2 dla domu o powierzchni netto ok. 250 m^2 , jeśli grunt jest piaszczysty).

Kolektor spiralny. Często twierdzi się, że jeśli powierzchnia działki nie pozwala na zainstalowanie kolektora płaskiego, to można zainstalować kolektor spiralny, czyli ułożyć rury spiralnie w wykopie o szerokości co najmniej 80 cm.

Jednak jest to twierdzenie błędne – w istocie, kolektor spiralny wymaga takiej samej powierzchni działki jak kolektor płaski, gdyż odległości między rowami nie powinny być mniejsze niż 3 m. Zaletą kolektora spiralnego jest to, że wykopanie kilku rowów o długości do 20 m jest łatwiejsze niż zdjęcie dwumetrowej warstwy gruntu z dużej powierzchni działki.

Kolektor pionowy. Najskuteczniejszym rozwiązaniem w przypadku ograniczonej ilości miejsca jest kolektor pionowy. Do odwiertów o głębokości 30 do 150 m (uwaga – konieczne jest zezwolenie) wkłada się rury zgięte w kształcie litery U. Z 1 m odwiertu można uzyskać $30 \div 100 \text{ W}$ energii cieplnej. Na przykład dla domu o powierzchni 200 m^2 potrzebną moc cieplną ($200 \text{ m}^2 \times 50 \text{ W/m}^2 = 10 \text{ kW}$) otrzymamy dla łącznej długości odwiertów ok. 200 m, czyli może to być 5 odwiertów o głębokości 40 m każdy. Odległość między odwiertami nie powinna być mniejsza niż 5 m.



winna wynosić $1,7 \text{ m}^3/\text{h}$ lub inaczej 28 l/min . Zwykle w literaturze fachowej podaje się, że wymagana wydajność studni czerpalnej powinna wynosić $1,5 \div 3 \text{ m}^3/\text{h}$. To proste obliczenie wskazuje, jakiej pompy wodnej potrzebujemy. Otóż wydajność ok. 30 l/min zapewnia mała pompa samozasysająca o mocy rzędu $100 \div 200 \text{ W}$. A znane są przypadki, gdy do pompy ciepła pobierającej $1,1 \text{ kW}$ mocy elektrycznej zastosowano pompę wodną o mocy $1,2 \text{ kW}$! To wielki błąd, takie dziesięciokrotne „przewymiarowanie” pompy wodnej powoduje, że za prąd zużywany na czerpanie wody zapłacimy tyle samo, co za energię elektryczną zużywaną przez pompę ciepła. Podobnie nieoptymalne jest korzystanie ze wspólnej pompy

wodnej – do wody użytkowej i do studni czerpalnej dla ogrzewania pompą ciepła.

Zwykle pompa wodna używana do wody użytkowej ma moc około 1 kW , a więc o wiele za dużą dla potrzeb systemu grzewczego z pompą ciepła.

Ograniczenia systemu woda - woda

System woda – woda jest najtańszym rozwiązaniem, ale nie zawsze warunki gruntowo-wodne są korzystne dla wyboru tego systemu. Podstawowym przeciwwskazaniem może być głęboki poziom lustra wody gruntowej, co zmusza do stosowania droższych rozwiązań – pomp głębinowych i głębokich wierceń.

Często wyrażane są obawy o niedługi czas życia studni – zarówno czerpalnej, której wydajność z czasem może się obniżyć, jak też zrzutowej, której chłonność może nie być wystarczająca po pewnym czasie. Jednak ewentualnej degradacji studni wierconej nie należy spodziewać się wcześniej niż po $15 \div 20$ latach. Jeśli już tak się stanie, to nie będzie wielkim problemem finansowym ani technicznym wywiercenie nowych studni, zatem tym ograniczeniem nie powinniśmy się nadmiernie przejmować. Innym kłopotem systemu woda – woda może być jakość wody – wielka zawartość żelaza i manganu jak również bardzo wysoka twardość. Do producenta pompy ciepła należy ocena, czy złe parametry jakościowe wody mogą istotnie

wpłynąć na zniszczenie lub złą pracę pompy ciepła.

Jeśli wymienione ograniczenia uniemożliwią budowę systemu ogrzewania woda – woda, to pozostaje nam budowa systemu grunt – woda z kolektorem poziomym, spiralnym lub pionowym (informacje w ramce p.t. „Rodzaje systemów ogrzewania pompą ciepła”). Oczywiście, te rozwiązania będą droższe inwestycyjnie od systemu woda – woda o 5 do 10 tysięcy złotych.

Jak największy COP, czyli ogrzewanie niskotemperaturowe

Współczynnik sprawności pompy ciepła, czyli stosunek dostarczonej energii cieplnej Q do pobranej energii elektrycznej Q_e , jest wyrażony zależnością:

$$COP = \frac{T_2}{T_2 - T_1} \eta_p + 100\%$$

gdzie T_1 i T_2 są wyrażonymi w kelwinach temperaturami źródła i odbiornika ciepła, a η_p jest wewnętrzną sprawnością pompy ciepła wyrażoną w procentach ($\approx 60\%$). Kapitalne znaczenie ma mianownik ułamka, gdyż wraz ze zmniejszaniem różnicy temperatur ($T_2 - T_1$) odbiornika (źródła górnego) i źródła ciepła (źródła dolnego) sprawność systemu ogrzewania pompy ciepła silnie rośnie. Rozważmy przykład instalacji grzewczej ze źródłem ciepła o temperaturze 5°C ($\approx 278\text{ K}$) i odbiornikiem o temperaturze 30°C ($\approx 303\text{ K}$). Instalacja taka może mieć sprawność ponad 800% , co oznacza ponad ośmiokrotny wzrost dostarczonej energii cieplnej w stosunku do zużywanej do napędu pompy ciepła energii elektrycznej. Rzeczywista sprawność całego systemu grzewczego jest nieco niższa, ze względu na konieczność zasilania urządzeń pomocniczych (pompa wodna i pompy obiegu). Z analizy wzoru na COP wynika, że największe korzyści ze stosowania pompy ciepła uzyskujemy przy niskotemperaturowym ogrzewaniu podłogowym (ok. $28\text{--}30^\circ\text{C}$) i zastosowaniu wody gruntowej jako dolnego źródła ciepła (ok. 10°C). W tej konfiguracji mianownik ($T_2 - T_1$) przyjmuje najmniejsze wartości (ok. 20 K), czyli współczynnik COP osiąga wartości największe, rzędu 800% .

Zdecydowanie należy odradzić stosowanie ogrzewania pompą ciepła wraz z kaloryferami lub z systemem mieszanym kaloryferowo – podłogowym. Minimalna temperatura źródła górnego (c.o. z kaloryferami) wynosi wówczas 50°C i współczynnik COP spada do wartości ok. 4. Jeśli ponadto dolnym źródłem będzie nie woda gruntowa (ok. 10°C) lecz solanka w kolektorze (ok. 0°C), to współczynnik COP spada do jeszcze niższych wartości $2,5 \div 3$. Przepada w ten sposób podstawowy walor pompy ciepła, jakim są niskie koszty ogrzewania. Zatem ogrzewanie domu pompą ciepła ma sens wyłącznie wtedy, gdy zdecydujemy się na zastosowanie w całym domu niskotemperaturowego ogrzewania podłogowego. Oczywiście, jest to decyzja z wyrażnymi dalszymi implikacjami – trzeba raczej zapomnieć o dywanach i polubić terakotę w całym domu, choć istnieje klepka drewniana nadająca się do ogrzewanej podłogi. Ogrzewanie podłogowe o temperaturze czynnika grzewczego ok. 28°C może być niewystarczające w łazienkach. Dla łazienek dobrym rozwiązaniem jest uzupełnienie wodnego ogrzewania podłogowego dodatkowym ogrzewaniem elektrycznym, włączanym jedynie w chwili korzystania z łazienki.

Zastosowanie niskotemperaturowego ogrzewania podłogowego (ok. 28°C) wraz z wodą gruntową jako dolnym źródłem ciepła (ok. 10°C) zapewnia nie tylko najwyższą sprawność COP, ale również najwyższą moc pompy ciepła. Trzeba o tym wiedzieć, aby nie przewymiarować mocy pompy ciepła i osiągnąć najniższe koszty ogrzewania. Zwykle w katalogach określa się moc pompy ciepła dla parametrów $50/0^\circ\text{C}$, czyli przy założeniu ogrzewania domu grzejnikami zasilanymi wodą o temperaturze 50°C i pobierania ciepła z gruntu za pośrednictwem solanki o temperaturze 0°C . Na przykład pompa ciepła WPWE8 dla takich parametrów ma moc $7,3\text{ kW}$ oraz $COP = 3,1$. Ta sama pompa dla parametrów $35/10^\circ\text{C}$ (ogrzewanie ścienne o temperaturze zasilania 35°C oraz woda gruntowa o temperaturze 10°C) osiąga moc $11,3\text{ kW}$ oraz $COP = 5,4$. Zarówno osiągana moc jak i COP będą jeszcze wyższe dla parametrów $28/10^\circ\text{C}$ – można przyjąć, że oba te parametry wzrosną ok. $1,3$ razy.

Zatem dobierając pompę ciepła zwróćmy uwagę, by jej moc nie była za duża dla

naszych konkretnych warunków pracy, tj. dla temperatur T_2, T_1 – źródła górnego i dolnego.

Optymalna konstrukcja domu

Bardzo istotne znaczenie dla kosztów ogrzewania domu pompą ciepła mają właściwości termiczne domu i wylewki ogrzewania podłogowego. Dla dowolnego systemu ogrzewania koszty grzania w oczywisty sposób zależą od termoizolacyjności budynku. W przypadku ogrzewania pompą ciepła chodzi jeszcze o coś więcej – o dużą bezwładność (pojemność) cieplną budynku, co pozwala na korzystanie głównie z tańszej, nocnej taryfy energii elektrycznej.

Może to być osiągnięte przez zastosowanie ścian wewnętrznych z materiałów o dużej gęstości (pełna cegła ceramiczna lub silikatowa, beton i inne) i masywnej płyty fundamentowej, izolowanej termicznie od ziemi, spełniającej równocześnie rolę wylewki grzewczej. **Wbrew często głoszonym poglądom, wysoka pojemność termiczna nie powoduje strat ciepła.** Jest bardzo korzystna, ponieważ zapewnia stabilność termiczną wnętrza domu. Termiczna stała czasowa dobrze zbudowanego domu może wynosić parę tygodni. W takim domu nagłe wydzielanie ciepła np. przez promieniowanie słoneczne, dobowe, a nawet kilkudniowe zmiany temperatury zewnętrznej powodują jedynie niewielki wzrost temperatury, który może być kompensowany pompą ciepła o mniejszej mocy, określonej przez uśrednione w okresie kilkudniowym potrzeby cieplne, a nie przez zapotrzebowanie chwilowe.

Szczególne znaczenie ma duża pojemność termiczna wylewki grzewczej. Wylewka o dużej pojemności wykonana z materiału o wysokim przewodnictwie cieplnym (beton) dobrze odbiera i magazynuje ciepło przekazywane przez niskotemperaturowy czynnik grzewczy. Zapobiega to fluktuacjom temperatury w czasie kolejnych cykli włączeń i wyłączeń pompy ciepła. Należy tu podkreślić, iż termiczna stała czasowa nawet dość masywnej wylewki grzewczej dla transportu ciepła do wnętrza domu jest dużo krótsza (kilka do kilkunastu godzin), niż stała czasowa domu, jako całości. Wynika to z wysokiego przewodnictwa cieplnego płyty grzewczej ($\approx 10\text{ W/m}^2\text{K}$) głównie przez promieniowanie termiczne do wnętrza domu. **Przy wylewce o dużej pojemności cieplnej możliwe jest ogrze-**

wanie jedynie w czasie nocnej taryfy energii elektrycznej, bez zauważalnych fluktuacji odczuwalnej temperatury.

Przykład

Na warszawskim Klądownie grupa przyjaciół zbudowała miniosiedle składające się z 7 domów o powierzchni 200 ÷ 300 m², ogrzewanych indywidualnie pompami ciepła „woda – woda”. Rozwiązania z tych domów naśladowało również kilkudziesięciu innych inwestorów. Zebrane doświadczenia opisaliśmy w **BD 1-2/03** w artykule napisanym przez promotora tych rozwiązań – Profesora Józefa Piotrowskiego. Warto przytoczyć z tego artykułu dane dotyczące kosztów inwestycji i eksploatacji systemu ogrzewania.

Koszty instalacji systemów grzewczych z pompami ciepła

Często słyży się argument o wysokich kosztach systemów grzewczych z pompami ciepła, co ma powodować, iż wysoki koszt instalacji zwróci się dopiero po wielu latach. Rzeczywiście, stosunkowo małe rozpowszechnienie systemów z pompami ciepła powoduje, że wykonawcy instalacji z pompami ciepła żądają często 40 000 do 60 000 zł za instalację pod klucz.

Czy tak musi być? Oto uproszczony kosztorys systemu dla domku o powierzchni użytkowej = 200 m².

- Najdroższym urządzeniem systemu jest pompa ciepła. Możliwe jest nabycie dobrej pompy ciepła o mocy 9 kW w warunkach pracy niskotemperaturowej za około 14 000 zł.

- Wykonanie 2 studni w dobrych warunkach geologicznych może kosztować poniżej 2000 zł. Jeżeli wykonanie studni jest niemożliwe, koszt kolektora pionowego wyniesie w najlepszym przypadku ok. 6000 zł, a często znacznie więcej.

- Kolejnym kosztownym (2000-3000 zł) urządzeniem jest zbiornik c.w.u. o pojemności 200 – 300 l z wężownicą o dużej powierzchni grzejnej.

Koszt tych trzech elementów należy porównać z kosztami przyłącza gazu i kotła (lub zbiornika oleju i kotła); koszt pozostałych elementów systemu jest podobny, jak w przypadku instalacji konwencjonalnej.

Biorąc pod uwagę konieczność wykonania przyłącza gazu w konwencjonalnym

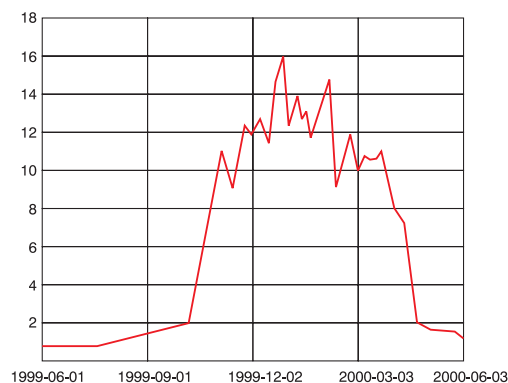
systemie grzewczym można stwierdzić, iż koszt instalacji systemu z pompą ciepła i studniami jest niewiele wyższy od kosztu instalacji konwencjonalnej. Znacząco droższa będzie jednak instalacja z kolektorem pionowym.

W budowanych przez nas domach należałoby wykonać przyłącza gazowe od ulicy znajdującej się w odległości kilkuset metrów. Koszty instalacji systemu grzewczego z pompami ciepła okazały się niższe...

Koszty ogrzewania i przygotowania c.w.u.

Rozpatrzmy przykład naszego osiedla. Składa się z domów wolno stojących lub bliźniaków o zwartej bryle. Podstawowe dane domów: powierzchnia użytkowa ok. 230 m² z garażem (2 x 230 m² dla bliźniaków), ściany dwuwarstwowe (gazobeton i izolacja termiczna 15 cm), izolacja dachów 25 cm, dobre okna. Domy były budowane na izolowanych termicznie od podłoża płytach fundamentowych o grubości ok. 25 cm. z dodatkową wylewką grzejną o grubości 10 cm, w której wykonano ogrzewanie podłogowe. Domy te zostały też wyposażone w wentylację mecha-

Zbiornik akumulacyjny 500 l z zestawu pompy ciepła ZIRIUS M2-5 (fot. Thermogolw)



4 Przykład rozkładu dobowego czasu pracy pompy ciepła w sezonie 1999/2000

niczną z odzyskiem ciepła (rekuperator) bądź z gruntowym wymiennikiem ciepła.

Przeprowadzone pomiary wykazały, że domy charakteryzują się izolacyjnością około 5-6 K/kW, co oznacza, że dla zapewnienia komfortu cieplnego przy temperaturze otoczenia -20 °C, średnia moc cieplna systemu grzewczego powinna wynosić ok. 7-8 kW. Stałe termiczne wylewek grzejnych wynoszą ok. 12 godzin, domu jako całości ok. 2 tygodnie. Dobrze zaprojektowane ogrzewanie podłogowe umożliwiało uzyskanie warunków komfortu cieplnego (temperatura powietrza 20 °C -21 °C) przy temperaturze zasilania poniżej 30 °C (w moim domu – pisze prof. J. Piotrowski – najwyższa jak dotąd temperatura wyniosła 28 °C w drugiej dekadzie stycznia 2003). Maksymalny dobowy czas pracy wynosi ok. 16 godzin, a latem dobowy czas pracy spada poniżej 1 godziny **4**.

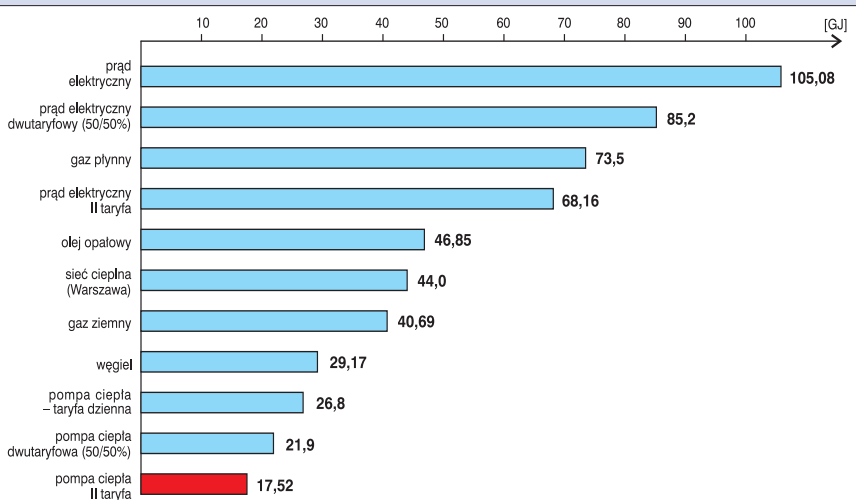
W domach tych zastosowano pompy ciepła o średniej mocy ok. 9 kW (warunki 27 °/4 °C). Moc pobierana przez pompę i urządzenia towarzyszące (pompowanie wody ze studni i pompa obiegowa instalacji grzewczej) i wynosi ok. 1,65 kW. W ciągu roku pompa ciepła pracuje ok. 1800-2200 godzin dostarczając około 16 000-20 000 kWh energii cieplnej. Roczne zużycie energii elektrycznej na zasilanie instalacji z pompą ciepła wynosi ok. 3000 kWh-3600 kWh, w większości w drugiej taryfie. Przyjmując średnią cenę energii elektrycznej 0,27 zł/kWh, roczny koszt ogrzewania i przygotowania c.w.u. wynosi 800-1000 zł, co oznacza **średnie koszty miesięczne 70-80 zł**. Miesięczny koszt ogrzewania w najchłodniejszych miesiącach roku dochodził do ok. 200 zł.

Nieco większy był koszt ogrzewania w domach na naszym osiedlu ze ścianami jednowarstwowymi, a także w domach, w których zastosowano hydrofor wspólny dla wody użytkowej i zasilania pompy ciepła.

Podsumowanie

Pompy ciepła są przyjazne ekologicznie, bez szkodliwych produktów ubocznych, wytwarzają ciepło z energii słonecznej zakumulowanej w ziemi. Mają też wiele innych zalet - pracują bezgłośnie, niezawodnie i bezobsługowo, nie wydzielają zanieczyszczeń do atmosfery.

Jednak uznanie dla tych walorów, a nawet wiedza, że jest to rozwiązanie nowoczesne, często stosowane na Zachodzie, nie przekonają nas do stosowania pomp ciepła, jeśli miałyby to być rozwiązanie droższe od innych. A tak się niestety dzieje, że w wielu publikacjach przedstawia się uporczywie pogląd o wielkich kosztach inwestycyjnych ogrzewania pompą ciepła, co przy niewielkiej sprawności pompy współpracującej z instalacją c.o. z grzejnikami (COP = 2 ÷ 4) sprawia, iż nawet po 20 latach eksploatacji inwestycja w pompę ciepła nie opłaca się. Na szczęście prawda jest inna - koszty inwestycyjne wcale nie muszą być większe niż dla ogrzewania gazem, a sprawność COP dla niskotemperaturowego ogrzewania podłogowego może osiągać wartości 6 ÷ 8, co razem powoduje, że **pompa ciepła jest najbardziej ekonomicznym systemem ogrzewania domu jednorodzinnego** [5]. Aby tak było trzeba jednak zachować określone zasady. Najważniejsze są następujące trzy sprawy.



5 Porównanie kosztów wytwarzania 1 GJ energii dla pomp ciepła i innych źródeł energii (według opracowania firmy HIBERNATUS)

1. Wybieramy system „woda - woda”, najłatwiejszy i najtańszy inwestycyjnie oraz dający względnie wysoką temperaturę źródła dolnego (10 °C), co ma wielkie znaczenie dla uzyskania wysokiej sprawności.

2. Wybieramy **niskotemperaturowe ogrzewanie podłogowe** (28 °C), więc różnica temperatury źródła górnego (28 °C) i źródła dolnego (10 °C) jest wielkością bardzo małą, dzięki czemu współczynnik sprawności COP może osiągnąć wysokie wartości, rzędu 6 ÷ 8.

3. Konstrukcja budynku, a w szczególności podłogi powinna charakteryzować się **dużą bezwładnością (pojemnością) cieplną**, co pozwala korzystać z poboru energii elektrycznej głównie w tańszej strefie nocnej.

Wymienione trzy sprawy mają zasadnicze znaczenie dla osiągnięcia bardzo niskich kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych systemu ogrzewania pompą ciepła. Warto ponadto zwrócić uwagę na kilka innych zagadnień:

- Dom o dobrej termoizolacji i dużej pojemności cieplnej powinien być wyposażony w wentylację mechaniczną, a w związku z tym „aż się prosi” wyposażyć tę wentylację w rekuperator, co sprzyja dalszej obniżce kosztów ogrzewania.

- Wytwarzanie ciepłej wody użytkowej (c.w.u.) wymaga pracy pompy ciepła przy znacznie wyższych temperaturach źródła górnego (≥45 °C) niż dla ogrzewania podłogowego. W tym trybie pracy pompa ciepła będzie miała znacznie mniejszą sprawność COP, ale na szczęście ilość energii cieplnej zużywanej do wytwarzania c.w.u. jest o rząd wielkości mniejsza niż ilość ciepła zużywanego na ogrzewanie domu.

Często stosuje się zresztą dodatkową grzałkę elektryczną do podgrzewania wody w zbiorniku c.w.u. Kusząca jest również idea zastosowania kolektorów słonecznych do c.w.u., ale można mieć wątpliwości co do sensu ekonomicznego takiego rozwiązania w domu ogrzewanym pompą ciepła.

Na zakończenie chcielibyśmy polecić Czytelnikom świetną książkę „**Kolektory słoneczne, pompy ciepła - na tak**”, wydaną ostatnio przez „Polską Ekologię”. Książka napisana jest niezwykle przystępnie i zapewne odpowie na wszelkie Państwa wątpliwości lub pytania dotyczące pomp ciepła. Można ją nabyć u wydawcy lub w Księgarni Wysyłkowej „Budujemy Dom”.

Kredyt na pompę ciepła

- **Bank Ochrony Środowiska S.A.** udziela kredytów na pompę ciepła w ramach współpracy z wojewódzkimi funduszami ochrony środowiska i gospodarki wodnej dotyczącej kredytów na zakup i instalację urządzeń wykorzystujących odnawialne źródła energii. System tych kredytów funkcjonuje w kilku województwach: kujawsko - pomorskim, śląskim, zachodnio - pomorskim, warmińsko - mazurskim i opolskim. Kredyty na atrakcyjnych warunkach są udzielane na długi okres - do 7,5 roku z okresem karencji w spłacie kapitału 6 do 12 miesięcy. W kredycie można uzyskać 50 do 70% wartości inwestycji. Niektóre firmy produkujące lub instalujące pompy ciepła mają porozumienie z **BOŚ** umożliwiające obniżenie oprocentowania zwykłego kredytu komercyjnego na zakup pompy. Informacje o tych firmach można uzyskać w oddziałach **BOŚ**.

- Kredyt można wziąć na **termomodernizację**, tj. wymianę starego systemu ogrzewania (np. kotła węglowego) na pompę ciepła. Kredyty termomodernizacyjne są udzielane przez 28 banków współpracujących z **BGK** (wykaz banków na stronie www.bgk.com.pl).