

Magazynowanie ciepła

– czy problem jest już rozwiązany?

Janusz Starościk

W dyskusjach o energetyce ciepło to najczęściej tylko temat poboczny. Najwięcej uwagi tradycyjnie poświęca się energii elektrycznej i paliwom transportowym. Tymczasem ciepło w bilansach energetycznych zajmuje czołowe miejsce – z udziałem zawsze powyżej 50%. W dobie intensywnego rozwoju energetyki odnawialnej kwestie jego magazynowania nabierają więc szczególnej wagi.

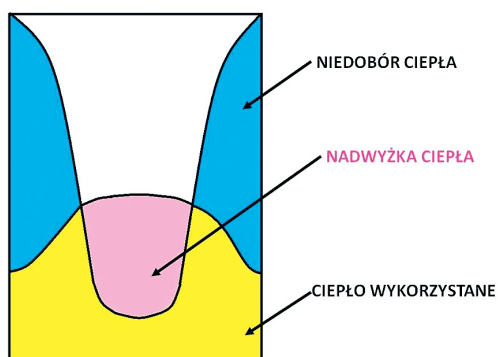
Często jako argumenty przeciwko szerszemu wykorzystaniu ciepła z odnawialnych źródeł energii, w tym przeciwko tworzeniu układów hybrydowych z OZE w systemach ciepłowniczych, podaje się brak stabilności tego typu źródeł, a następnie problemy techniczne związane z magazynowaniem uzyskanego z nich ciepła. Czy obecnie rzeczywiście stanowi to taki problem? – W energetyce magazynowanie ciepła jest już opanowane w zakresie technicznym, co więcej: do dyspozycji mamy wiele wariantów rozwiązań. Prawdą pozostaje jednak to, że optymalne wykorzystanie atutów energetyki odnawialnej jest ściśle związane z możliwościami technicznymi magazynowania ciepła, ponieważ aby zapewnić efektywne i stałe zasilanie systemu grzewczego w ciepło pochodzące z OZE, występuje konieczność jego akumulacji. Magazynowanie energii oczywiście odnosi się nie tylko do doraźnego jej gromadzenia w domowych zasobnikach c.w.u., ale przede wszystkim do działań w skali makro, czyli np. do tworzenia dużych, sezonowych magazynów ciepła, które

pozwalają na jego zbieranie w czasie, gdy jest pozyskiwane w nadmiarze, oraz odzysk w wielotygodniowym czy nawet wielomiesięcznym okresie. Dotyczy to również chłodu, a rozwiązanie jednego i drugiego problemu znacznie podwyższa efektywność energetyczną systemu.

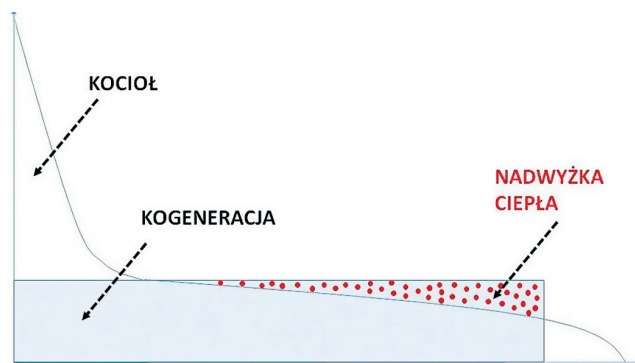
Nowe podejście do akumulacji

Magazynowanie ciepła nie jest rozwiązaniem stosowanym wyłącznie w dzisiejszych czasach. Przed laty swoistym magazynem ciepła były np. rozgrzewane w kominkach i piecach kamienie. Jeżeli weźmiemy pod uwagę konstrukcje pieców kaflowych, to także stanowią one lokalne magazyny ciepła, które dostarczają ciepło do pomieszczeń jeszcze długo po wygaśnięciu ognia. Obecne rozwiązania pozwalają jednak na odbiór zmagazynowanego ciepła nie tylko doraźnie, przez kilka godzin, i na ograniczonej przestrzeni, ale na korzystanie z niego przez tygodnie, a nawet miesiące po załadowaniu magazynu oraz na ogrzewanie dużych obiektów

lub zespołów budynków. Warto także zwrócić uwagę na to, że budynki same w sobie są magazynami ciepła. Ich pojemność cieplna ma znaczący wpływ na efektywność energetyczną. Współcześnie możliwości magazynowania ciepła wydają się praktycznie nieograniczone. Typowym przykładem (w połączeniu z OZE) są instalacje kolektorów słonecznych (rys. 1). Pozyskiwanie ciepła z promieniowania słonecznego ma tu charakter cykliczny, zarówno w skali dobowej, gdy jest ono determinowane tzw. godzinami słonecznymi czy też światłem dziennym, jak też w skali roku, gdy ciepło pozyskane w okresie letnim jest wykorzystywane w okresie jesienno-zimowym, charakteryzującym się wyraźnie krótszym czasem nasłonecznienia. Magazyny ciepła są również dobrym rozwiązaniem w przypadku mikrogeneracji. Równoczesne wytwarzanie energii elektrycznej i ciepła nie musi się pokrywać z zapotrzebowaniem na te dwa rodzaje energii. Nadmiar warto zmagazynować do późniejszego wykorzystania, gdy zapotrzebowanie będzie większe niż możliwości produkcyj-



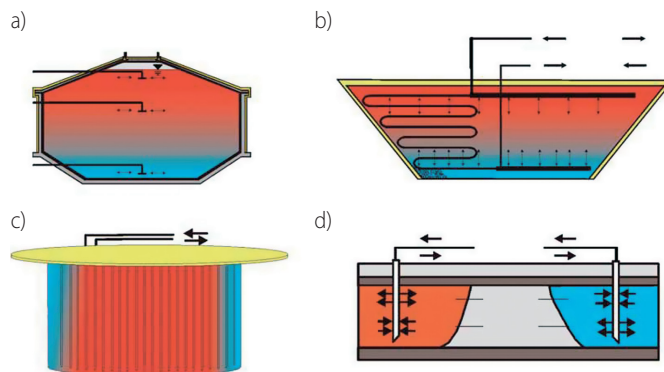
1. Zyski ciepła z promieniowania słonecznego nie pokrywają się z bieżącym zapotrzebowaniem na ciepło w ciągu doby; nadwyżka może być magazynowana w zasobnikach. Źródło: SPIUG



2. Równoczesna produkcja energii elektrycznej i ciepła w procesie kogeneracji nie pokrywa się z bieżącym zapotrzebowaniem na te dwa rodzaje energii. Źródło: opracowanie SPIUG



3. Prefabrykowany wodny magazyn ciepła instalowany w gruncie. Źródło: Sonnenhaus Institut



4. Różne rozwiązania sezonowych magazynów ciepła: a) zasobniku ciepła z c.w.u.; b) żwirowo-wodnym zasobniku ciepła; c) gruntowym magazynie ciepła; d) wodno-gruntowym magazynie ciepła. Źródło: Dr. W. Heidemann Uni Stuttgart

ne (rys. 2). Można również magazynować ciepło dostarczane przez pompę ciepła, kotły na biomasę czy kotły spalające odpady, a także wytworzone przy wykorzystaniu instalacji fotowoltaicznej – w tym wypadku energia elektryczna z instalacji PV zasila grzałkę do podgrzewania wody. Podobnie – w wypadku turbin wiatrowych.

Wykorzystanie ciepła jawnego

Klasyczny sposób magazynowania ciepła to rozwiązanie oparte na zasobniku wypełnionym wodą, ale podobne procesy wykorzystuje się w zasobnikach żwirowo-wodnych, gruntowych czy wodno-gruntowych, w których ładowanie i odzysk

Obecne rozwiązania pozwalają na odbiór zmagazynowanego ciepła nie tylko doraźnie, przez kilka godzin, i na ograniczonej przestrzeni, ale na korzystanie z niego przez tygodnie, a nawet miesiące po załadowaniu magazynu oraz na ogrzewanie dużych obiektów lub zespołów budynków.

odbywa się za pośrednictwem pomp ciepła i związanych z nimi dolnych źródeł ciepła. Zasada funkcjonowania takich magazynów jest prosta: dostarczane ciepło podnosi temperaturę medium, przy czym medium przez cały czas zachowuje ten sam stan skupienia. Przy zasilaniu i odzysku ciepła wykorzystuje się tzw. ciepło jawne.

W domach jedno- czy dwurodzinnych spotykane są przede wszystkim małe, wodne zasobniki ciepła. Ich rozwinięciem są betonowe, prefabrykowane lub wylewane na budowie, zasobniki zagłębione w gruncie, których pojemność waha się od 3 do 30 m³. Obsługują one nie tylko domy jedno- i dwurodzinne, ale i trzyrodzinne. Duże magazyny ciepła mają natomiast pojemność od kilkudziesięciu do nawet kilku tysięcy m³. Funkcjonują niezawodnie, jednak wciąż

trwają prace nad redukcją kosztów ich instalacji. Decyzja, jaki magazyn ciepła ma być zastosowany, zależy od specyfiki inwestycji, w tym od uwarunkowań geologicznych i hydrogeologicznych.

Betonowe, prefabrykowane lub wylewane na budowie magazyny ciepła. Mogą funkcjonować niezależnie od lokalnych warunków geologicznych, także te o małej pojemności, przeznaczone do magazynowania ciepła w krótkich okresach, liczonych w dniach lub tygodniach. Wypełniona wodą konstrukcja z betonu zbrojonego jest częściowo lub całkowicie zagłębiona w gruncie. W strefie przekrycia

i w ścianach bocznych zbiornika najczęściej jest wykonana izolacja termiczna. Wodoszczelne wyłożenie zbiornika we wcześniejszych rozwiązaniach było wykonywane ze stali nierdzewnej, co znacznie podwyższało koszty inwestycji. Obecnie, dzięki wykorzystaniu wodoszczelnych mieszanek betonowych, można z takiego wyłożenia zrezygnować.

Zbiorniki z tworzyw sztucznych wzmocnionych włóknem szklanym. Są alternatywą dla zbiorników betonowych. Wykorzystuje się je do eksploatacji bezciśnieniowej, w zakresie temperatury od 30 do 95°C. Aby nie dopuścić do mieszania się zawartości zbiornika podczas jego ładowania i rozładowywania, stosuje się specjalne rozwiązania gwarantujące dopływ

i odpływ bez występowania wirów i innych zaburzeń przepływu, np. deflektory.

Żwirowo-wodne magazyny ciepła. Wykonuje się je w wykopie wyłożonym wodoszczelną folią z tworzywa sztucznego, który wypełnia się mieszaną żwirowo-wodną stanowiącą medium do magazynowania ciepła. Statyczna konstrukcja nośna nie jest konieczna, ponieważ występujące obciążenia pochodzące od wody i żwiru są przekazywane bezpośrednio na grunt. Magazyn jest termoizolowany po bokach i na górze oraz – przy zachowaniu właściwej ściśliwości materiału izolacyjnego – także na dnie.

Popularnie stosowane folie uszczelniające pozwalają na maksymalną temperaturę eksploatacji do około 90°C. Ładowanie i rozładowanie odbywa się przez bezpośrednią wymianę wody albo za pośrednictwem rurowego wymiennika ciepła. Z powodu mniejszej pojemności cieplnej mieszanki żwirowo-wodnej niż wody, pojemność magazynu musi być o około 50% większa, aby zgromadzić taką samą ilość ciepła jak w zbiorniku z wodą.

Gruntowe magazyny ciepła. Stosuje się je głównie tam, gdzie występują gliny nasycone wodą lub zwarte gliny o małym lub znikomym przepływie wody. Typowe odwierthy pod dolne źródło ciepła dla magazynów gruntowych mają 100-200 mm średnicy, głębokość 20-100 m oraz są od siebie oddalone o około 1,5-3 m. Izolacja termiczna, jeżeli jest konieczna, to ogranicza się wyłącznie do górnej powierzchni magazynu.

Z powodu sporych strat ciepła (boki i dół), tego typu rozwiązanie jest opłacalne dla dużych pojemności, np. powyżej 50 000 m³, przy niskim stosunku powierzchni do pojemności.



5. Zabudowany magazyn ciepła w domu słonecznym pełni funkcję potężnej kolumny przy klatce schodowej. Źródło: Sonnenhaus Institut

Maksymalna temperatura magazynowania ciepła to 80°C, co wynika z konieczności ochrony sond stanowiących dolne źródło ciepła przed uszkodzeniem. Stosunkowo mała pojemność cieplna magazynu gruntowego oraz małe różnice temperatury w trakcie jego eksploatacji powodują, że taki magazyn musi być znacznie większy niż odpowiadający mu wydajnością magazyn z medium w postaci wody (od trzech do pięciu razy). Zaletą magazynu gruntowego w porównaniu do wodnego jest jednak niski koszt budowy oraz modularność pozwalająca np. na jego powiększenie zgodnie z postępem robót budowlanych na osiedlu, które ma być zasilane ciepłem z tego magazynu.

Wodno-gruntowe magazyny ciepła. Wykorzystują do magazynowania ciepła dostępne, zamknięte od góry i od dołu, warstwy wody gruntowej. Zasada jest prosta: przez odwiert studzienny, tzw. zimny, pobierana jest woda gruntowa, która następnie jest ogrzewana w wymienniku ciepła i tłoczona z powrotem przez tzw. ciepły odwiert. Odbiór ciepła odbywa się w efekcie zmiany kierunku przepływu.

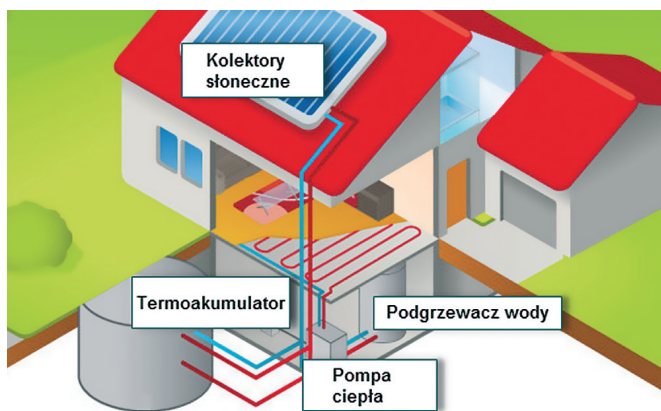
Wodno-gruntowe magazyny ciepła stawiają wysokie wymagania co do lokalnych warunków geologicznych w każdej lokalizacji, z uwagi na przepuszczalność wody, prędkość jej przepływu, skład chemiczny i biologiczny. Należy też zwrócić uwagę, że nie można izolować ich termicznie od otoczenia. Ponadto, przy temperaturze powyżej 50°C i w zależności od lokalnych warunków, może dojść do zmian biologicznych i geochemicznych w wodzie gruntowej, a to z kolei może prowadzić do tworzenia się

osadów na wymienniku ciepła i filtrach w otworach studzien-nych, co będzie skutkowało znacznym obniżeniem wydajności całego systemu. Aby do tego nie dopuścić, potrzebne jest uzdatnianie wody podczas eksploatacji.

Termoakumulatory chemiczne – ciepło utajone

W odmienny sposób niż opisane powyżej przebiegają procesy magazynowania ciepła w termoakumulatorach chemicznych, wykorzystujących tzw. PCM (ang. Phase Change Material). Dostarczanie ciepła nie podnosi w tym przypadku temperatury medium, zmienia się natomiast stan jego skupienia. Podczas zasilania PCM i odzysku ciepła wykorzystuje się tzw. ciepło utajone. Procesy te charakteryzują się większą efektywnością. Porównując np. ilość ciepła potrzebnego do stopienia lodu w temperaturze około 0°C, czyli dokonania przemiany fazowej wody, do ilości ciepła potrzebnej do podgrzania wody od temperatury 0°C do 80°C, można stwierdzić, że wykorzystanie zjawiska przemiany fazowej pozwala dostarczać i odbierać więcej ciepła, co oczywiście jest niezwykle ważne przy magazynowaniu.

Jednym z mediów wykorzystywanych w PCM jest octan sodu, nazywany potocznie „ciepłym lodem”. Nazwa tego związku chemicznego brzmi groźnie, ale bez obawy – jest to substancja bezpieczna dla zdrowia w myśl obowiązujących przepisów (występuje np. w żywności), niepalna i niewybuchowa. Nie wymaga regeneracji, a jej biodegradacja na poziomie 99% występuje już po 28 dniach. Do tego ma znacznie większą pojemność cieplną niż woda. Zastosowanie octanu sodu pozwala



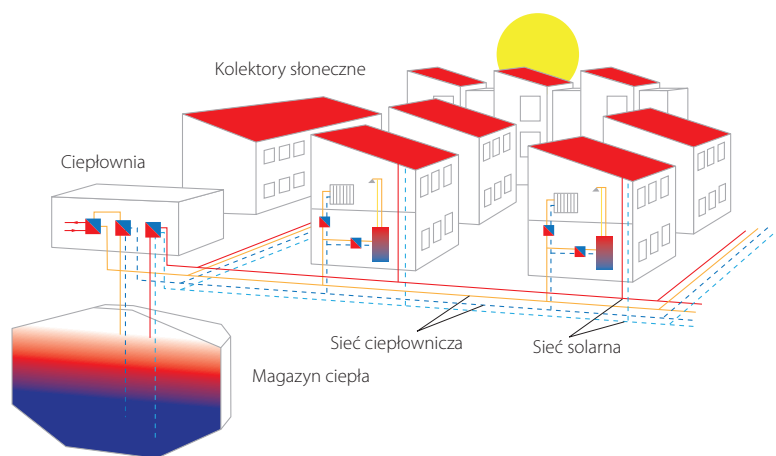
6. Wykorzystanie termoakumulatorów do zasilania instalacji grzewczej w budynku. Źródło: Isocal Heiz- KÜhlsysteme, Friedrichshafen

uzyskiwać temperaturę przemiany fazowej, czyli temperaturę topnienia, na poziomie do 58°C. Dzięki temu ta sama ilość ciepła może być zmagazynowana w niższej temperaturze.

Termoakumulatory można stosować np. do zasilania instalacji grzewczej budynku (rys. 6). Przykładowo, mogą mieć one postać zasobników zawierających 4-6 cel wypełnionych octanem sodu i mogą być umieszczane wewnątrz bądź na zewnątrz budynku. W pilotażowych instalacjach tego typu zakłada się, że zasilanie w ogrzewanie dotyczy niskoenergetycznego budynku jednorodzinnego o powierzchni całkowitej około 140 m², którego roczne zapotrzebowanie na ciepło wynosi 30 kWh/m². W budynku tym mieszkają 4 osoby, a każda zużywa 50 dm³ ciepłej wody dziennie. Zapotrzebowanie roczne na ciepło jest realizowane dzięki instalacji kolektorów słonecznych o powierzchni 50 m², wspomaganym przez zestaw 15 termoakumulatorów wypełnionych octanem sodu, co daje łącznie 60 cel.



7. Duży zasobnik ciepła montowany w tzw. domu słonecznym. Źródło: www.aktives-sonnenhaus.de



8. Lokalna cieć ciepłownicza z wykorzystaniem OZE i magazynu ciepła



9, 10. Przykłady wkomponowania dużych magazynów ciepła w nowoczesne wnętrza domów

Octan sodu jako medium do magazynowania ciepła z wykorzystaniem zjawiska przemiany fazowej jest jednak tylko jedną z wielu substancji, które mogą być stosowane w tym celu. Można też spotkać zasobniki ciepła, w których medium jest materiał zmiennofazowy zamknięty w kapsułkach. To rozwiązanie wykorzystywane jest np. w materiałach budowlanych, dzięki którym bryła budynku sama w sobie tworzy duży magazyn ciepła. Na rynku są np. zaprawy tynkarskie i płyty gipsowe z mikrokapsułkami wypełnionymi parafiną.

Zasobniki sorpcyjne

Do magazynowania ciepła stosowane są także zasobniki sorpcyjne. Akumuluje się w nich duża ilość ciepła, zarówno przy wykorzystaniu przemiany fazowej, jak i energii pochłaniania, czyli tzw. sorpcji. Do tego typu rozwiązań można zaliczyć akumulatory bazujące na sorbentach, takich jak zeolit lub silkożel, oraz wodzie jako substancji roboczej. Substancja robocza i sor-

bent są oddzielane przy ładowaniu ciepła. Przy odbiorze ciepła woda w procesie adsorpcji, czyli oddawania, łączy się z sorbentem, czego wynikiem jest wydzielanie się ciepła. Temperatura osiągnięta w wyniku tego procesu jest zależna od rodzaju zastosowanego sorbentu i waha się w zakresie od 30 do 200°C. Wysoka temperatura odzysku ciepła wiąże się z wysoką temperaturą ładowania magazynu ciepła, co należy brać pod uwagę przy doborze takiej instalacji.

Zasobniki chemiczne

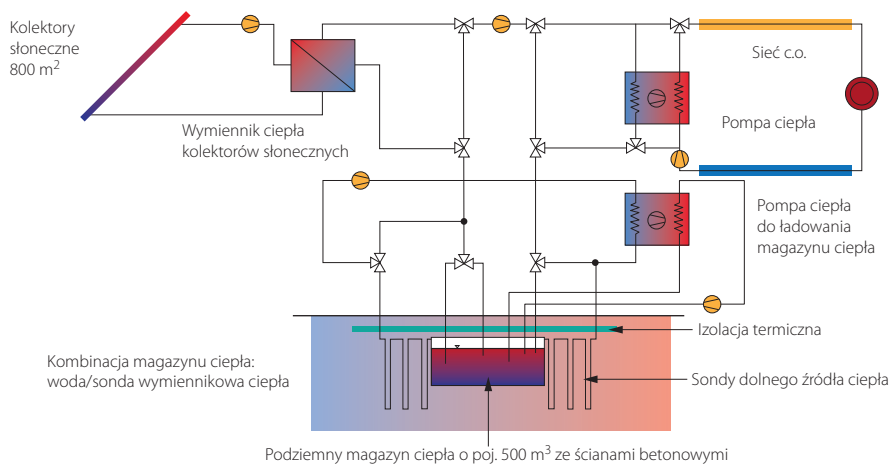
Kolejnym przyszłościowym rozwiązaniem są tzw. zasobniki chemiczne. Wykorzystuje się w nich ciepło endotermicznych reakcji chemicznych, podczas których związki chemiczne przechodzą w wyższy stan energetyczny. Substancje powstające podczas takiej reakcji są od siebie fizycznie oddzielone, a czas uwalniania się zmagazynowanej energii w reakcji egzotermicznej może być wybrany w sposób dowolny. Dzięki temu

zasobniki chemiczne nie wymagają dodatkowej izolacji termicznej. Ilość ciepła zmagazynowana przez nie w objętości materiału znacznie przewyższa możliwości magazynowania w wodzie lub nawet w zasobnikach zmiennofazowych. Zasobniki chemiczne nadają się także do sezonowego magazynowania ciepła.

Specjalnie do domów słonecznych

Przykładem budynku, który nie mógłby funkcjonować bez magazynu ciepła, jest tzw. dom słoneczny. Ważnym elementem instalacji jest w nim bardzo duży zasobnik wodny, który odgrywa rolę sezonowego magazynu ciepła pozyskiwanego z energii słonecznej nie tylko w określonym czasie, ale jest doładowywany na bieżąco (rys. 5, 7). Ciepło to jest przeznaczone na cele ogrzewania budynku oraz przygotowania c.w.u. i może być wykorzystywane przez wiele dni, a nawet tygodni, gdy dni są pochmurne i nie ma silnego promienowania słonecznego. W dni słoneczne taki magazyn ładuje się i odtwarza swoją pojemność cieplną bardzo szybko – także w zimie.. Pojemność zasobnika dobiera się zależnie od planowanego pokrycia zapotrzebowania na ciepło w budynku:

- dla domów słonecznych o rocznym pokryciu zapotrzebowania w granicach 50-80% przyjmuje się 150-250 litrów pojemności zasobnika na każdy metr kwadratowy zainstalowanej powierzchni kolektorów;
 - do domów, w których promieniowanie słoneczne ma zapewniać pełne pokrycie zapotrzebowania na ciepło, wybiera się jeszcze większe zasobniki – o pojemności około 40 m³.
- Duże znaczenie dla efektywności systemu z takim zasobnikiem ma rozgraniczenie wewnątrz niego warstw wody o różnej temperaturze, co uzyskuje się przede wszystkim przez odpowiedni sposób ładowania i odbierania ciepła. Właściwe rozłożenie stref temperaturowych zapewniają systemy magazynowania ze zintegrowaną instalacją do ładowania warstwowego. Ponadto rekomendowane są wąskie i wysokie zasobniki, a ostatnio – zasobniki dwupiętrowe, z dwustopniowym zasilaniem i pobieraniem ciepła do instalacji. Doładowywanie ciepłem może się odbywać za pomocą zewnętrznych lub wewnętrznych wymienników. Stosowane dla domów słonecznych magazyny ciepła mogą być zlokalizowane na zewnątrz ogrzewanych obiektów lub wewnątrz nich. Przy wewnętrznym usytuowaniu wyzwaniem dla architekta jest wkomponowanie magazynu ciepła w bryłę budynku (rys. 9, 10), ale taka lokalizacja



11. Schemat systemu grzewczego i magazynowania ciepła w lokalnej sieci ciepłowniczej w Attenkirchen

zacja właściwie likwiduje straty ciepła, ponieważ ewentualne jego ubytki i tak dogrzewają budynki. Zasobniki mają izolację termiczną o grubości 25-30 cm.

Na większą skalę

Magazyny ciepła coraz powszechniej są stosowane w Europie jako element lokalnych sieci ciepłowniczych bazujących na rozwiązaniach hybrydowych i wykorzystaniu odnawialnych źródeł energii (rys. 8). Gwarantują one elastyczność i efektywność funkcjonowania systemu grzewczego.



12. Umieszczony w piwnicy warstwowy zasobnik ciepła o pojemności 4000 l w domu jednorodzinnym o powierzchni 170m², pozwala na zaspokojenie w 85% całorocznego zapotrzebowania na ciepło i c.w.u. z promieniowania słonecznego

Sieć w Attenkirchen

Jedną z takich sieci znajduje się w Attenkirchen w Bawarii (rys. 11). System grzewczy, zasilany przez kolektory słoneczne i pompy ciepła, obejmuje tu 20 domów jednorodzinnych o powierzchni 260 m² każdy oraz 5 bliźniaków o powierzchni po 175 m². Do magazynowania ciepła z OZE wykorzystano układ hybrydowy. Pierwszym elementem tego układu jest wodny zasobnik ciepła w kształcie walca o głębokości 8,50 m i średnicy 9,00 m, mający pojemność 500 m³. Nie jest on uszczelniony liniowo i nie ma izolacji termicznej ścian i dna. Izolacja termiczna jest wbudowana tylko na przekroju zbiornika. Drugim elementem jest gruntowy magazyn ciepła o objętości 9850 m³, uformowany w pierścieniu otaczający zbiornik z wodą. Zasilanie magazynów i odbiór ciepła odbywa się przez sondy dolnego źródła ciepła umieszczone w 90 odwiertach o głębokości 30 m i średnicy 150 mm, rozmieszczonych co 2 m. Jako sondy zastosowano podwójne U-rurki z U-BHE 25x2,3 mm. Otwory są wypełnione mieszkanką bentonitu, cementu, piasku kwarcowego i wody. Na potrzeby systemu pracują:

- kolektory słoneczne o całkowitej powierzchni 836 m²;
- dwie pompy ciepła, które obsługują otworo-gruntowy magazyn ciepła;
- dwie pompy ciepła podłączone do sieci centralnego ogrzewania.

W zasilanych budynkach zastosowano niskotemperaturowe ogrzewanie podłogowe.

Sieć w Dronninglund

Innym przykładem zastosowania sezonowego magazynu ciepła jest instalacja w Dronninglund w Danii. Podstawą systemu są tutaj 2982 płaskie kolektory słoneczne o łącznej powierzchni



13. Zbiornik ciepła w biurcu słonecznym w Chemnitz

37 573 m². Gruntowy magazyn ciepła o objętości 61 700 m³ pozwala na zmagazynowanie ciepła pozyskanego przez kolektory w lecie na okres jesienno-zimowy. Zaspokaja to połowę rocznego zapotrzebowania na ciepło u 1350 odbiorców.

Korzystajmy z doświadczeń i licmy

Opisane w artykule metody magazynowania ciepła to tylko część istniejących obecnie możliwości w tym zakresie. Wszystkich nie sposób wskazać. Pominąłem również takie kwestie, jak np. znaczenie konstrukcji i architektury budynku jako magazynu ciepła, co ma kluczowe znaczenie w budynkach niskoenergetycznych, słonecznych i pasywnych. Niemniej jednak, korzystając z przykładów, chciałbym pokazać różnorodność oraz to, że technologie magazynowania ciągle się rozwijają. Zastosowanie magazynów ciepła z pewnością oznacza zwiększone koszty inwestycyjne, ale w trakcie eksploatacji te koszty się zwracają w wyniku bardziej efektywnego wykorzystania ciepła czy chłodu. Ponadto stale rosnące ceny energii przekładają się na skrócenie czasu zwrotu inwestycji. Problem w tym, że w dalszym ciągu można zaobserwować brak świadomości technicznej i energetycznej wśród inwestorów i wykonawców instalacji grzewczych, co wynika m.in. z braku wytycznych branżowych oraz ujednoliconych przepisów wykonawczych. ■

O AUTORZE

Janusz Starościk, prezes zarządu Stowarzyszenia Producentów i Importerów Urządzeń Grzewczych, członek Pool of Experts Switzerland Global Enterprise, Szwajcaria

