

Hybrydowe instalacje grzewcze wykorzystujące ciepło słoneczne – praktyczny kompromis

Abstrakt: Obecne działania mające na celu dekarbonizację energetyki i ogrzewnictwa oraz ograniczenie wykorzystania paliw kopalnych zmuszają do poszukiwania rozwiązań, które realnie pozwolą na stopniowe dochodzenie do tego celu bez narażenia użytkowników końcowych na niebezpieczeństwo wynikające z utraty pokrycia zapotrzebowania na ciepło. Zwiększanie udziału odnawialnych źródeł energii w ogrzewaniu jest uzasadnionym działaniem, jednak należy pamiętać, że ich zastosowanie wymaga podwyższenia efektywności energetycznej budynków, głównie poprzez ograniczenie ich zapotrzebowania na ciepło. W praktyce jest to trudne do wykonania w krótkim czasie z uwagi na skrajną niejednorodność w konstrukcjach budynków oraz inne czynniki, takie jak preferencje i zasoby finansowe użytkowników końcowych, parametry lokalnych systemów energetycznych i specyfika konstrukcji samych budynków. Dlatego szuka się rozwiązań, które z jednej strony pozwolą na stopniowe zmniejszenie udziału paliw kopalnych i energii elektrycznej ze źródeł konwencjonalnych w ogrzewaniu wraz z postępem realizowanej termomodernizacji, a z drugiej zapewnią odbiorcom bezpieczeństwo energetyczne. Takie rozwiązanie powinno również docelowo prowadzić do ograniczenia kosztów zakupu nośników energii przez zwiększenie udziału dostępnych lokalnie zasobów energii. Warunki te spełniają hybrydowe instalacje grzewcze – składające się z różnych uzupełniających się nawzajem źródeł ciepła połączonych w jeden układ, który automatycznie dostosowuje się do warunków podaży dostępnych lokalnie zasobów. Dobrym tego przykładem jest kombinacja kolektorów słonecznych z magazynem ciepła i dodatkowym źródłem ciepła, odgrywającym rolę źródła szczytowego, dzięki czemu istnieje możliwość zwiększenia udziału czystego bezemisyjnego ciepła pochodzącego z kolektorów słonecznych i zagwarantowania stałego komfortu ciepłego odbiorcom.

Słowa kluczowe: hybrydowe instalacje grzewcze, ciepło z energii słonecznej, bezpieczeństwo energetyczne, dywersyfikacja, lokalne zasoby energii

W ostatnim czasie dużo mówi się o konieczności transformacji energetycznej, która ma dotyczyć także ogrzewnictwa. Nie jest to zaskoczeniem, jeśli wziąć pod uwagę udział zużywanego ciepła w bilansie energetycznym, zarówno w gospodarce, jak i – a raczej przede wszystkim – w budynkach mieszkalnych. Ramy prawne dotyczące ogrzewania i budynków powinny uwzględniać wdrażanie odnawialnych systemów grzewczych, a ich wprowadzenie powinno

przyspieszyć – znajdującą się obecnie na bardzo niskim poziomie – wymianę starych i nieefektywnych urządzeń grzewczych, co ma zasadnicze znaczenie dla dekarbonizacji sektora. Jest to szczególnie istotne, jeśli wziąć pod uwagę, że samo ogrzewanie pomieszczeń i wody pochlania prawie 80% energii zużywanej w budynkach mieszkalnych.

Ponadto widząc, że obecnie wprowadzane wymagania związane z polityką klimatyczną oraz zwiększaniem efektywności energetycznej w budownictwie potwierdzają znaczenie wykorzystania efektywnych rozwiązań pozwalających na wzmocnienie udziału elektryfikacji ogrzewnictwa w bilansie źródeł zasilania tego sektora, należy zwrócić większą uwagę na to, jak realnie można ograniczyć niską emisję i emisję gazów cieplarnianych przy równoczesnym zagwarantowaniu bezpieczeństwa energetycznego odbiorcom. Promuje się wykorzystanie w przyszłości paliw odnawialnych pochodzenia biologicznego (RFNBO), które odegrają kluczową rolę w dekarbonizacji niektórych sektorów gospodarki, w tym budynków.

W rzeczywistości ogrzewnictwo jest trudnym obszarem do przeprowadzenia dekarbonizacji ze względu na skrajną niejednorodność ogrzewanych budynków pod kątem zapotrzebowania na ciepło i różnorodność czynników wpływających na wybory użytkowników budynków (indywidualne preferencje i środki finansowe), lokalne systemy energetyczne (rozmiar, dostęp do sieci energetycznych, lokalna dostępność zasobów odnawialnych) i same budynki (wiek, stopień termoizolacji, możliwość przeprowadzenia głębokich lub etapowych renowacji oraz związane z tym różne zapotrzebowanie na ciepło).

Należy pamiętać, że formalnie wprowadzane wymagania są wartościowe jedynie wtedy, kiedy można je realnie wprowadzać w życie, czyli przełożyć na działania praktyczne. Dodatkowo ostatnie miesiące charakteryzowały się znacznymi wzrostami cen nośników energii – zarówno elektrycznej, jak i gazu, węgla czy biomasy. Spowoduje to z pewnością znaczny wzrost kosztów eksploatacyjnych instalacji grzewczych.

Przejście w całości na ogrzewanie oparte na OZE wymaga głębokiej termomodernizacji milionów istniejących w Polsce budynków. Taka operacja wymaga wysokich nakładów kosztowych, czasu oraz mocy ekip wykonawczych. Obecna sytuacja jest następstwem zaniechań kolejnych ekip decydentów, którzy będąc pod wpływem lobby dużej energetyki i przemysłu wydobywczego, odwlekali w czasie rozpoczęcie procesu transformacji. Transformacja polegająca na zmniejszeniu udziału paliw kopalnych w bilansie energetycznym jest nieunikniona choćby dlatego, że zasoby tych paliw są wyczerpywalne, a im wcześniej zacznie się je zastępować OZE, tym większe są szanse, że transformacja będzie odbywała się w sposób zapewniający bezpieczeństwo energetyczne odbiorców, a w razie potrzeby paliw kopalnych wystarczy, aby zapewnić pełne bezpieczeństwo energetyczne do czasu całkowitego ustabilizowania pokrycia zapotrzebowania energią z OZE.

Dlatego warto szukać rozwiązań, które pozwolą na wykorzystanie OZE i ograniczanie zużycia paliw i energii elektrycznej w stopniu adekwatnym do możliwości, jakie daje konstrukcja i lokalizacja danego budynku, i pozwolą na płynne ograniczenie zapotrzebowania na zewnętrzne nośniki energii wraz z postępem realizowanej etapami termomodernizacji, jeżeli przeprowadzenie pełnej modernizacji od razu jest z różnych względów niemożliwe. Wybrane rozwiązanie powinno również docelowo prowadzić do ograniczenia kosztów zakupu nośników energii poprzez zwiększanie wykorzystania dostępnych lokalnie zasobów energii.

Takimi rozwiązaniami są hybrydowe instalacje grzewcze. Pierwotnie układ hybrydowy oznaczał kombinację źródeł energii, w których zasilanie jedną formą było zależne od zasilania tego źródła innym. Obecnie

przez pojęcie hybrydowych instalacji grzewczych rozumie się instalacje składające się z różnych, uzupełniających się nawzajem źródeł ciepła połączonych w jeden układ, który jest automatycznie sterowany i dostosowuje się do warunków podaży dostępnych lokalnie zasobów energii. Możliwości takich kombinacji jest wiele. W zależności od lokalnych warunków czynnikiem OZE dającym kontyngent darmowej energii może być instalacja kolektorów słonecznych, kolektorów hybrydowych PVT, pomp ciepła wspomaganých przez lokalną instalację PV albo elektrownię wiatrową lub wodną, kocioł na biomasę lub – przy sprzyjających warunkach – źródła geotermalne.

Najczęściej stosowane instalacje hybrydowe wykorzystujące kolektory słoneczne

Kolektory mogą być łączone w układy hybrydowe z kotłami gazowymi, olejowymi, na biomasę oraz z urządzeniami zasilanymi energią elektryczną. Podstawowy system ogrzewania jest włączany, najczęściej automatycznie, gdy system ogrzewania słonecznego nie generuje wystarczającej ilości ciepła do zasobnika ciepła, w którym temperatura spada poniżej pewnej minimalnej wartości. Wiele nowoczesnych kotłów gazowych ma fabryczne rozwiązania umożliwiające podłączenie kolektorów do systemu ogrzewania i tworzenie takich instalacji.

W układach hybrydowych istnieją dwa warianty zasilania instalacji. W pierwszym oba systemy zasilają wytwarzanym ciepłem wspólny zasobnik ciepła – dotyczy to głównie układów kolektorów z kotłami gazowymi, olejowymi, elektrycznymi i na biomasę oraz klasycznego wariantu z pompami ciepła. W drugim, stosowanym we współpracy z pompami ciepła, ciepło z kolektorów podgrzewa grunt wokół sondy gruntowej pompy ciepła, aby osiągnąć wyższą efektywność dolnego źródła ciepła.

Typowe komponenty instalacji kolektorów do przygotowania ciepłej wody użytkowej i wspomaganie ogrzewania to: kolektory słoneczne, instalacja

z obiegiem nośnika ciepła (płynu solarnego), grupa pompowa ze sterowaniem i wyposażeniem, zasobnik ciepłej wody z wymiennikiem ciepła oraz podstawowe źródło ciepła – zwykle istniejący kocioł lub pompa ciepła.

Większość wykorzystywanych w Polsce instalacji kolektorów słonecznych służy tradycyjnie tylko do przygotowania c.w.u. Jednak coraz częściej instalacja kolektorów słonecznych połączonych z buforem ciepła ma na celu także wspomaganie ogrzewania pomieszczeń. Na przykład w Niemczech początkowo kolektory również pracowały tylko na potrzeby c.w.u., a dziś ponad połowa takich instalacji wspomaga zasilanie c.o. Ciepło pozyskiwane z energii słonecznej jest obecnie wykorzystywane w czterech głównych obszarach:

- do wytwarzania ciepłej wody użytkowej,
- do dodatkowego wspomaganie systemu grzewczego,
- do podgrzewania basenów,
- do wspomaganie wytwarzania tzw. ciepła procesowego w przemyśle.

Nowe regulacje prawne promują korzystanie w nowych i remontowanych budynkach z energii odnawialnej, w tym słonecznej. Instalacje hybrydowe wykorzystujące kolektory słoneczne pozwalają nie tylko spełnić wymogi regulacyjne w celu zwiększenia efektywności energetycznej w budynkach oraz ograniczenia niskiej emisji, ale też realnie ograniczyć koszty ponoszone z tytułu przygotowania c.w.u. i ogrzewania pomieszczeń. Rozwiązania hybrydowe sprawdzają się w modernizowanych budynkach także dlatego, że przeprowadzenie pełnej termomodernizacji i całkowite przejście na ciepło ze źródeł odnawialnych często przekracza możliwości finansowe użytkowników i naraża ich na ryzyko utraty komfortu cieplnego w pomieszczeniach.

Instalacje hybrydowe wykorzystujące kolektory słoneczne mają duży potencjał pokrycia zapotrzebowania na ciepło, zwłaszcza w okresie przejściowym oraz przy łagodnych zimach. Latem system ogrzewania słonecznego może całkowicie pokryć zapotrzebowanie

na ciepło do przygotowania c.w.u. w domach jedno- i wielorodzinnych. Ogrzewanie słoneczne – z wyjątkiem nowych lub modernizowanych budynków, określanych jako „domy słoneczne”, które charakteryzują się odpowiednią architekturą i zaprojektowaną instalacją – w wypadku instalacji hybrydowej powinno zawsze być traktowane jako dodatkowe źródło ciepła. Efektywne działanie systemu hybrydowego z wykorzystaniem kolektorów słonecznych wymaga spełnienia kilku podstawowych warunków związanych z lokalizacją budynku, jego zorientowaniem względem kierunków geograficznych, możliwościami technicznymi do zainstalowania większego niż przeciętnie stosowany buforu ciepła. Odpowiedni dobór buforu ciepła jest istotny z uwagi na konieczność magazynowania ciepła przez możliwie długi okres oraz zapobiegania przegrzewania się instalacji w okresie letnim.

Instalacje kolektorów słonecznych jako dodatkowe źródło ciepła do wspomaganie systemu grzewczego są złożone i wymagają znacznej powierzchni dachu lub innej przestrzeni do montażu kolektorów słonecznych oraz miejsca w budynku na montaż zasobnika ciepła o wystarczającej objętości. Zaletą takich instalacji jest to, że przyczyniają się w znaczący sposób do pokrycia zapotrzebowania na c.w.u. i wsparcia ogrzewania domu bez ponoszenia dodatkowych kosztów z tytułu zakupu niezbędnych nośników energii.

O ile obliczenia dla instalacji kolektorów na potrzeby przygotowania c.w.u. nie są trudne, o tyle obliczenia dla instalacji kolektorów lub PVT do wspierania ogrzewania wymagają szerszych analiz. Jednak przyjmując kilka wartości orientacyjnych, można dokonać trafnej wstępnej oceny rentowności dla instalacji hybrydowych. W przypadku domu jednorodzinnego instalacja kolektorów na potrzeby ogrzewania działająca w układzie hybrydowym pozwala na oszczędność od 10% do 30%, a przy sprzyjających warunkach nawet do 40% całkowitych kosztów ogrzewania. Ta oszczędność będzie wzrastała wraz ze wzrostem cen nośników energii. Na potrzeby samej ciepłej wody użytkowej wystarczają mniejsze instalacje, które zwykle dają oszczędność do 60% rocznych kosztów przygotowania ciepłej wody. Podgrzewanie wody

w basenie może efektywnie wspomagać nawet mała i bardzo prosta instalacja tzw. basenowych kolektorów słonecznych, bez dodatkowej izolacji termicznej i zasobników ciepła, co jest tanie w realizacji. Szacunki co do oszczędności kosztów zmieniają się na korzyść instalacji hybrydowych wraz ze wzrostem cen nośników energii i paliw.

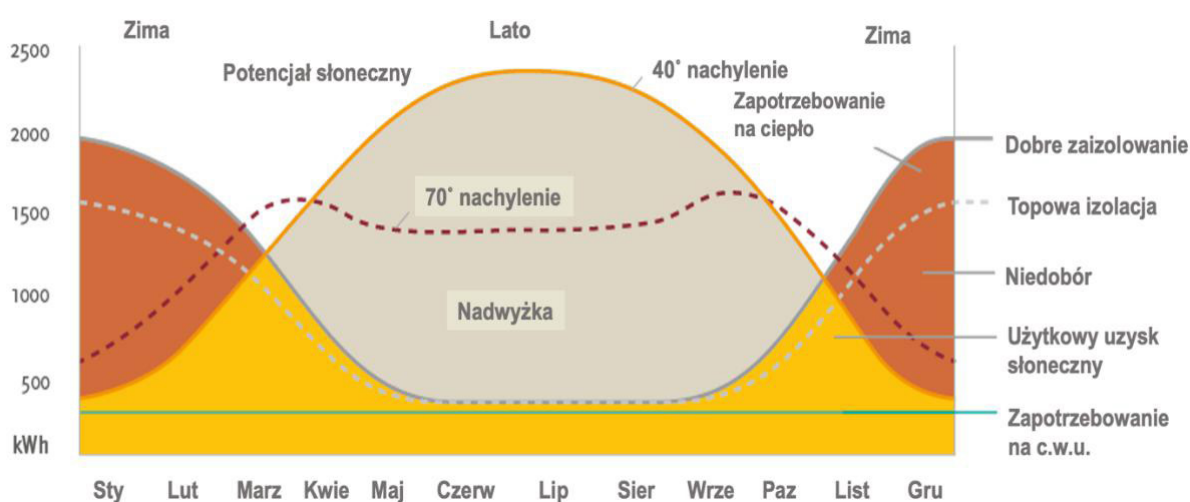
Zapotrzebowanie na ciepło w budynkach

W budynkach istniejących, o średnim zużyciu ciepła, nawet przy bardzo dużych instalacjach energia słoneczna zwykle pokrywa nie więcej niż 30–40% całkowitego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania. W nowych budynkach, o znacznie niższym zapotrzebowaniu na ciepło (domy niskoenergetyczne lub pasywne), można osiągnąć wyższy udział pokrycia zapotrzebowania na ciepło energią pozyskaną przez kolektory słoneczne, a w tzw. domach słonecznych ten stopień pokrycia wynosi powyżej 50%. Zwykle jest to od 70% do 90%, ale istnieją budynki, gdzie zapotrzebowanie na ciepło w skali roku dochodzi nawet do 100%.

Przed wymiarowaniem instalacji kolektorów słonecznych konieczne jest dokładne obliczenie zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania domu, np. na

podstawie rachunków za energię czy paliwo, a w projektowanych budynkach należy takie zapotrzebowanie oszacować na podstawie danych projektowych.

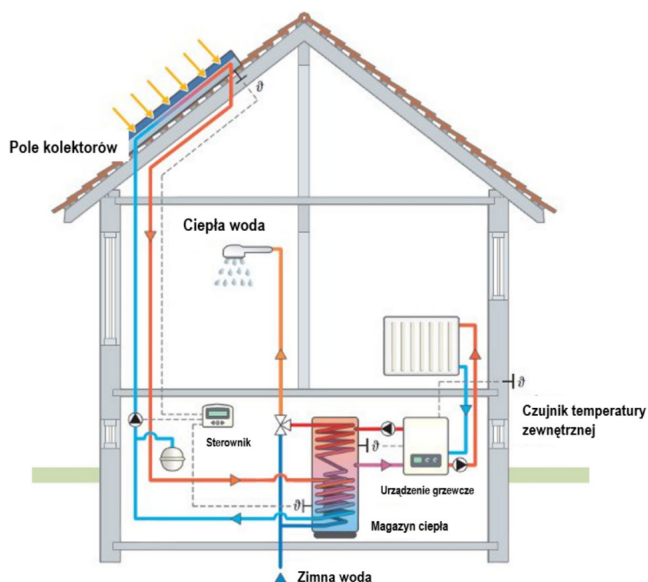
W istniejącym budynku utrzymanie pokrycia energią z kolektorów średniorocznego zapotrzebowania na ciepło na odpowiednim, założonym poziomie (co oznacza: nawet całkowite pokrycie zapotrzebowania na ciepło w okresach przejściowych) może być okresowo trudne, gdyż energia słoneczna jest zależna od warunków pogodowych i stopnia nasłonecznienia. Zwykle jest to od 20% do 40% całorocznego zapotrzebowania na ciepło, co już daje wymierne korzyści w postaci redukcji kosztów zakupu paliwa lub energii elektrycznej do dodatkowego źródła ciepła. Rys. 1 pokazuje bilans podaży ciepła słonecznego w odniesieniu do zapotrzebowania na ciepło w ciągu roku. Buforem bezpieczeństwa są odpowiednio pojemne magazyny ciepła. Zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania zależy nie tylko od powierzchni ogrzewanej, ale również od rodzaju instalacji c.o. (ogrzewanie powierzchniowe lub grzejniki), izolacji termicznej budynku oraz możliwości instalacji magazynu ciepła o optymalnej wielkości. Do dyspozycji są magazyny ciepła krótko- i średniookresowe, które przechowują ciepło przez kilka dni lub tygodni, oraz sezonowe magazyny ciepła pozwalające na magazynowanie ciepła w okresie wielu tygodni, a nawet miesięcy.



Rys. 1. Roczny bilans podaży ciepła słonecznego oraz zapotrzebowania na ciepło i ciepłą wodę użytkową (źródło: Sonnenhaus Institut)

Najczęściej stosowana w instalacjach hybrydowych w domach jednorodzinnych technologia magazynowania pozwala przechowywać energię słoneczną przez krótki czas, zwykle do tygodnia. Ze względu na szybki czas ponownego załadowania takiego magazynu ciepłem zwykle wystarczy, że wyjdzie słońce, ale ostateczny poziom uzupełnienia zasobów zależy od wielu czynników, np. lokalizacji i architektury budynku. Optymalnym rozwiązaniem jest zatem wykorzystanie energii słonecznej do wspomaganie systemu ogrzewania, po to aby darmowym ciepłem pozyskiwanym z promieniowania słonecznego zredukować ilość energii lub paliwa potrzebną do prawidłowego funkcjonowania takiego układu.

Do tego celu można też wykorzystać kolektory hybrydowe PVT. Taka instalacja dostarcza zarówno energię elektryczną, jak i ciepło do wspomaganie ogrzewania (i/lub zasilania urządzeń elektrycznych) z jednej powierzchni instalacji kolektorów. Schemat takiego rozwiązania został przedstawiony na Rys. 2.



Rys. 2. Optymalny schemat instalacji kolektorów słonecznych do przygotowania c.w.u. (źródło: materiały przekazane przez DGS)

Poniżej przedstawione zostały przykładowe warianty instalacji ogrzewania hybrydowego w konfiguracji kolektorów słonecznych z różnymi urządzeniami grzewczymi.

1. Kolektory i kotły gazowe

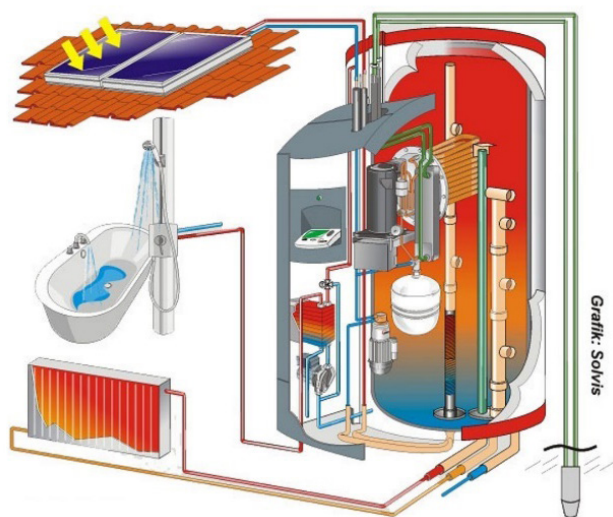
Połączenie gazu i ciepła z energii słonecznej może zmniejszyć zapotrzebowanie na gaz ziemny o około 30–40%. Po ostatnich podwyżkach cen gazu ten zakres oszczędności może być jeszcze wyższy. Praktycznie każdy nowoczesny kocioł gazowy może być połączony z systemem ogrzewania słonecznego. Jeśli kocioł gazowy jest stary, wysłużony i nie został dostosowany do możliwości współpracy z kolektorami słonecznymi, to warto dokonać modernizacji instalacji i skorzystać z możliwości dofinansowania wymiany kotła na bardziej efektywny energetycznie. Podłączenie instalacji kolektorów do stojących kotłów gazowych starszego typu, które zwykle charakteryzują się dużymi wymiarami, może być skomplikowane i wymaga dużo miejsca na buforowy magazyn ciepła. Zgodnie z obecnie rozważanymi planami unijnymi i krajowymi sieć gazowa może być w przyszłości zasilana mieszkanką wodoru i metanu, a po modernizacji lub przebudowie z czasem nawet czystym wodorem, który może być także wytwarzany i wykorzystywany na miejscu, co wydaje się bardziej korzystnym rozwiązaniem niż jego przesył na odległość. Uczyni to z układów hybrydowych (gdzie dodatkowym źródłem ciepła jest kocioł gazowy) całkowicie bezemisyjne instalacje korzystające z energii odnawialnej, czyli spełniające przyszłe wymagania.

2. Kolektory i pompy ciepła

W klasycznym układzie ogrzewania słonecznego ciepło jest wytwarzane zarówno przez kolektory słoneczne, jak i pompy ciepła. Stosuje się dwa obwody – taka kombinacja zapewnia wyższą ogólną efektywność energetyczną i eliminuje potrzebę stosowania tradycyjnego systemu c.o. i c.w.u., przynajmniej latem i w okresach przejściowych. Tego typu gotowe łączne systemy są już w ofercie producentów.

W układzie o charakterze pośrednim ciepło z kolektorów trafia także do gruntu wokół sondy gruntowej i tym samym pompa ciepła może mieć znacznie wyższą wydajność oraz potrzebuje mniej energii elektrycznej do wygenerowania wymaganej temperatury pracy. Pozwala to na dobór pompy ciepła o mniejszej

mocy, dzięki czemu redukuje się koszty inwestycyjne. A mniej włączeń i krótsza praca pompy zwiększa jej żywotność. Układ o charakterze pośrednim zwiększa też wydajność samych kolektorów, gdyż ich ciepło przejmuje grunt o niskiej temperaturze. Taki schemat jest pokazany na Rys. 3.



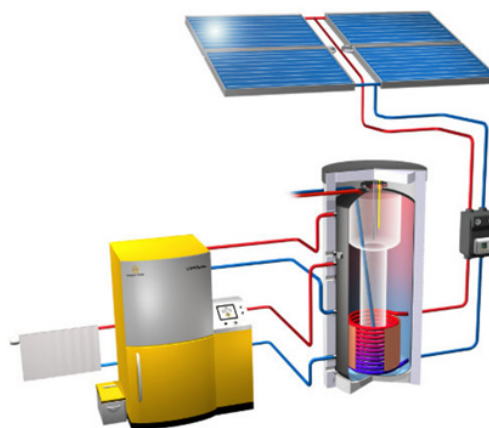
Rys. 3. Instalacja hybrydowa kolektorów słonecznych i pompy ciepła do ogrzewania (źródło: Solvis)

Połączenie pomp ciepła z systemami ogrzewania słonecznego jest szczególnie korzystne w dobrze izolowanych budynkach, gdyż pozwala na znaczne ograniczenie kosztów ogrzewania w zależności od dostaw zewnętrznych przy pokrywaniu potrzeb zaopatrzenia w ciepło. Ze względu na znaczne ograniczenie zapotrzebowania na energię elektryczną służącą zasilaniu pompy ciepła, potrzebną do jej zasilenia energią elektryczną można pokryć z lokalnego źródła (PV, turbiny wiatrowe czy mikroelektrownie wodne). Zapotrzebowanie na ciepło i ciepłą wodę użytkową można również pokryć w stu procentach ze źródeł odnawialnych, jeżeli stworzymy układ autonomiczny z lokalnym magazynem energii elektrycznej.

3. Kolektory i kotły na biomasę

Kolektory w połączeniu z kotłami na biomasę zmniejszają zużycie paliwa nawet o 30–40%. Kotły na pellet działają najefektywniej, gdy pracują w górnym zakresie mocy, więc warto przeanalizować

w przypadku takiej instalacji możliwość zmniejszenia ich mocy nominalnej. Trzeba też brać pod uwagę przestrzeń potrzebną do przechowywania pelletu i miejsce na duży zasobnik ciepła. Zaletą tego układu jest nieskomplikowane połączenie za pomocą dwuwężownicowego magazynu ciepła. Przy wymiarowaniu instalacji kolektorów należy dobrać zasobnik ciepła tak, aby uniknąć przegrzewania się instalacji w okresie letnim. Układ hybrydowy składający się z kolektorów słonecznych, magazynu ciepła i kotła na biomasę jako uzupełniającego źródła ciepła jest przedstawiony na Rys. 4.



Rys. 4. Instalacja hybrydowa kolektorów słonecznych z kotłem na pellet (źródło: Wagner Solar)

4. Kolektory i kocioł elektryczny

Zasada funkcjonowania takiej instalacji przypomina działanie kotłów gazowych i kotłów na pellet. Ciepło z kolektorów trafia do buforowego zbiornika ciepła, do którego z drugiej strony podłączony jest kocioł elektryczny. Jeżeli temperatura jest za niska, automatycznie włączany jest kocioł elektryczny, który dogrzewa wodę w zasobniku ciepła do temperatury gwarantującej komfort cieplny w ogrzewanych pomieszczeniach oraz ciepłą wodę użytkową w oczekiwanej przez użytkowników temperaturze. Taka instalacja może działać całkowicie bezobsługowo.

5. Dom słoneczny

Dom słoneczny, przedstawiony na Rys. 5, to koncepcja budowlana, która została opracowana kilkanaście

lat temu przez Sonnenhaus-Institut e.V. w Straubingu. Budynek charakteryzuje się tym, że zapotrzebowanie na c.o. i c.w.u. w 50% jest pokrywane z energii pochodzącej z kolektorów, a pozostała część zapotrzebowania na ciepło jest pokrywana przez drugie źródło ciepła energii odnawialnej – najczęściej z kotła na pellet. Do ogrzewania jest wykorzystywany duży magazyn ciepła i niskotemperaturowe ogrzewanie podłogowe lub ścienne. Straty ciepła nie mogą przekraczać $0,28 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, a zapotrzebowanie na energię pierwotną 15 kWh/m^2 na rok.



Rys. 5. Dom słoneczny – uwagę zwraca bardzo duży żółty zasobnik wewnątrz budynku (źródło: Sonnenhaus-Institut e.V.)

Kluczowa jest lokalizacja budynku i jego architektura. Budynek wymaga południowej orientacji powierzchni dachu oraz dużego magazynu ciepła – $150\text{--}200 \text{ dm}^3/\text{m}^2$ powierzchni kolektorów. Powierzchnia pola kolektorów często przekracza 40 m^2 i powinna być bardziej nachylona w porównaniu do klasycznego sposobu montażu. Dom słoneczny musi spełnić wiele wymagań, takich jak m.in. wysoki standard izolacji cieplnej przegród zewnętrznych budynku oraz stolarki. Dokładny opis konstrukcji, wytyczne dotyczące projektowania i wykonawstwa zostały zawarte w opracowaniu *Minimalizacja kosztów ogrzewania w praktyce – czy można ogrzać dom ciepłem słonecznym?* (Starościk 2020, rozdz. 4, 5 i 6).

Główne zasady obliczeń ogrzewania słonecznego

Obliczenia prowadzi się w celu określenia parametrów takich jak:

- stopień pokrycia zapotrzebowania na ciepło,
- wielkość powierzchni kolektorów,
- wielkość magazynu ciepła.

Głównym problemem do rozwiązania przy obliczeniach jest to, że instalacja uzyskuje dużą ilość ciepła wtedy, gdy nie ma zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania lub jest ono małe – czyli latem i we wczesnych okresach przejściowych. Pokazuje to wykres na Rys. 1, gdzie widzimy, jak w skali roku układa się zapotrzebowanie na ciepło i poziom promieniowania słonecznego.

W procesie doboru elementów instalacji trzeba znaleźć optymalną wielkość powierzchni kolektorów i optymalną wielkość magazynu ciepła, tak aby móc przechowywać je jak najdłużej i bez ryzyka awarii z powodu przegrzania. Największe zyski ciepła są latem – ze względu na wyższe koszty inwestycyjne i niższą sprawność całoroczną inwestycja w system kolektorów do ogrzewania nie zwraca się tak szybko jak w wypadku instalacji służącej tylko do przygotowania ciepłej wody użytkowej. Niemniej jednak zyski z takiej instalacji, przy wzrastających kosztach zakupu paliw, są znaczące.

Trudno przedstawić uniwersalną formułę wyznaczania wielkości instalacji, ponieważ jest to zależne od wielu indywidualnych czynników dla danego budynku i jego lokalizacji. W dalszej części artykułu pokazane są różne podejścia do szacowania wielkości elementów instalacji, stąd w poszczególnych przykładach mogą wystąpić pewne różnice wynikowe, ale ogólny poziom jest zbliżony.

Warunkiem wstępnym do efektywnego zastosowania systemu ogrzewania słonecznego jest dostępność odpowiedniej powierzchni dachu. Dach powinien być skierowany na południe, a ewentualne odchylenie od 15° do 30° od kierunku południowego nie ma znaczącego wpływu na uzysk ciepła.

Nachylenie połąci kolektorów słonecznych pracujących na potrzeby wsparcia ogrzewania powinno wynosić ok. 50°, co różni się od zalecanego nachylenia ok. 30° dla instalacji do c.w.u. lub instalacji PV. Wynika to z potrzeby ograniczenia ryzyka przegrzewania się kolektorów w okresie letnim i zwiększenia uzysku ciepła w okresach przejściowych i w zimie.

Wybór komponentów instalacji kolektorów słonecznych dla wsparcia ogrzewania jest bardzo ważny: ceny i jakość komponentów znacznie się między sobą różnią. Zalecane jest, żeby kolektory słoneczne posiadały certyfikat Solar Keymark lub inny równoważny, który potwierdza zgodność z normą PN-EN 12976 i często stanowi podstawę do ubiegania się o dofinansowanie.

Przy obliczaniu układu i parametrów instalacji hybrydowych z wykorzystaniem kolektorów słonecznych należy najpierw określić właściwe założenia dla instalacji. Ważne jest, aby wskazać zmienne potrzebne do indywidualnego podejścia przy projektowaniu danej instalacji. Szczególną uwagę należy zwrócić na:

- sposób zaopatrzenia w ciepłą wodę,
- wielkość budynku,
- dostępną powierzchnię dla kolektorów,
- nachylenie i orientację względem południa oraz potencjalne zacienienie dachu,
- lokalne warunki klimatyczne,
- stan izolacji budynku,
- sposób magazynowania ciepła,
- dobór rodzaju kolektorów słonecznych i ewentualnie fotowoltaiki lub kolektorów hybrydowych PVT.

Wpływ na instalację kolektorów do przygotowania c.w.u. i wsparcia ogrzewania mają następujące czynniki.

- Powierzchnia mieszkalna – im większe mieszkanie, tym większa powierzchnia kolektorów. Należy wziąć pod uwagę nieuniknione letnie nadwyżki ciepła. Wstępnie zakładanym celem jest pokrycie około 20–30% całkowitego zapotrzebowania na ciepło (dla c.o. i c.w.u. łącznie) energią słoneczną w skali roku.

- Termoizolacja budynku (włącznie z oknami i stolarką drzwiową) – im lepiej dom jest zaizolowany, tym większy będzie udział pokrycia zapotrzebowania na ciepło przez kolektory.
- Zapotrzebowanie na c.w.u. – 30 l na osobę oznacza zużycie niskie, zużycie średnie (bardziej prawdopodobne) wynosi 45 l na osobę, a wysokie – do 60 l; ciepła woda użytkowa oznacza w każdym przypadku wodę o temperaturze 45°C.
- Wybór rodzaju kolektora – kolektory próżniowe dzięki wyższej sprawności wymagają ok. 30% mniejszej powierzchni do instalacji.
- Pożądany udział pokrycia zapotrzebowania na ciepło energią słoneczną do ogrzewania i przygotowania c.w.u. – im wyższy stopień pokrycia zapotrzebowania, tym większa powierzchnia kolektorów i pojemność magazynu ciepła.
- Konstrukcja zbiornika magazynowego i jego wielkość dobrana do stopnia pokrycia zapotrzebowania na ciepło i powierzchni kolektorów – dla przeciętnego czteroosobowego gospodarstwa domowego przyjmuje się zbiornik o pojemności 700–1000 l.
- Zgodność z wymogami pod kątem uzyskania finansowych instrumentów wsparcia.

Typowa wielkość instalacji

Często stosowaną podstawą wymiarowania instalacji kolektorów jest wielkość zapotrzebowania na c.w.u. Zwykle kolektory pokrywają do 60% całkowitego zapotrzebowania na energię potrzebną do przygotowania c.w.u. Na przykład do przygotowania c.w.u. w typowym domu jednorodzinym niezbędne jest pozyskanie energii z kolektorów o powierzchni 7 m². Wielkość ta zależy też od liczby łazienek i korzystających z nich mieszkańców – przyjmuje się 1–1,5 m² kolektora na osobę.

Przy wymiarowaniu powierzchni kolektorów na potrzeby ogrzewania powierzchnię przewidywaną tylko do przygotowania c.w.u. mnoży się przez

współczynnik 2 lub 2,5. Wielkości te wynikają z praktyki i doświadczeń z eksploatacji. Zatem średnia powierzchnia instalacji do wsparcia c.o. wynosi od 14 m² do 17,5 m², do czego trzeba dodać powierzchnię wynikającą z cech indywidualnych budynków, takich jak ich zwiększone zapotrzebowanie na ciepło czy słabsza izolacja termiczna.

W procesie wymiarowania stosuje się też zgrubne określenie wielkości instalacji. Na każde 10 m² powierzchni ogrzewanej przyjmuje się 1 m² kolektora płaskiego lub 0,5 m² kolektora próżniowego. W zgrubnej metodzie pojemność zasobnika ciepła wyznacza się na 50 l na 1 m² powierzchni kolektora płaskiego i 50 l dla zapotrzebowania na c.w.u. na jedną osobę.

Priorytetem jest wsparcie ogrzewania budynku. Zakłada się, że w okresie letnim i wczesnoprzejsiowym instalacja powinna w pełni pokryć zapotrzebowanie na c.w.u., natomiast jesienią, wczesną wiosną i zimą priorytetem jest ogrzewanie. W praktyce, jeżeli mielibyśmy osobne instalacje do c.w.u. i do c.o., należałoby dodać do siebie powierzchnie instalacji przeznaczonej do wsparcia ogrzewania oraz instalacji do przygotowania c.w.u. w celu pokrycia całkowitego zapotrzebowania na ciepło w okresie grzewczym, ale podany zakres jest na tyle szeroki, że raczej można przyjąć całość jako wspólną instalację, z uwagi na stosunkowo mały udział c.w.u. w bilansie cieplnym w okresie grzewczym.

Na rynku dostępne są kolektory płaskie i rurowe. Te drugie potrzebują ok. 20% mniej miejsca na montaż, ale są droższe. W praktyce przyjmuje się 1,5 m² powierzchni płaskiego kolektora na potrzeby przygotowania c.w.u. dla jednej osoby. Minimalna objętość dla akumulacji ciepła na potrzeby uzyskania c.w.u. to 200% objętości odpowiadającej dziennemu zużyciu. Do pełnego wsparcia instalacji c.o. potrzeba 2,3 m² powierzchni kolektorów oraz 50 l pojemności zasobnika na każde 10 m² ogrzewanej powierzchni. Instalacja kolektorów słonecznych tylko na potrzeby przygotowania c.w.u. jest oczywiście tańszą opcją – wymaga mniejszej liczby kolektorów i mniejszego zasobnika.

Magazynowanie ciepła słonecznego

Ogrzewanie słoneczne wymaga magazynowania ciepła. Oprócz wielkości zbiornika należy wybrać jego odpowiedni rodzaj. Aby instalacja kolektorów słonecznych nie przegrzewała się latem, bufor ciepła powinien przechowywać od 1,5 raza do 2 razy większą ilość ciepła od dziennego zapotrzebowania. Ważna jest dobra izolacja termiczna zasobnika. Typowa wielkość zasobnika ciepła dla instalacji kolektorów do podgrzewania c.w.u. i wspomaganie c.o. wynosi 60 l/1 m² powierzchni kolektora płaskiego i 80 l/1 m² powierzchni kolektora próżniowego. W typowym domu jednorodzinym zwykle wymagany jest zbiornik o pojemności ok. 700 l, ale może być większy, jeżeli pozwalają na to warunki i założenia ekonomiczne. Gdy nie ma wystarczającej ilości ciepła słonecznego, zbiornik ciepła jest dogrzewany przez podstawowe urządzenie grzewcze – kocioł gazowy, pelletowy, pompę ciepła lub kocioł elektryczny. Dostępne na rynku zasobniki akumulujące ciepło z kolektorów słonecznych dla systemu grzewczego mają zwykle pojemność 500–1000 l. Są też większe, o pojemności kilku tysięcy litrów, przeznaczone do długiego magazynowania – to sezonowe zasobniki ciepła.

Wielkości zbiorników podane w tym tekście są szacunkowe i w praktyce zależą od wielu czynników indywidualnych i lokalnych. W zależności od obranego podejścia projektowego pojawiają się pewne różnice w ich wielkości. Generalna zasada jest taka, że bezpieczniej jest przyjąć nieco większą pojemność magazynu ciepła, aby zminimalizować niebezpieczeństwo przegrzania się instalacji w okresie letnim. Nie warto jednak przesadzać z przewymiarowaniem, gdyż przegrzaniu instalacji można zapobiegać przez nocne schładzanie kolektorami i odwracanie obiegu w instalacji – i w ten sposób obniżyć temperaturę wody w magazynie ciepła. W wielu krajach w programach wsparcia instalacji słonecznej na cele grzewcze wielkość zasobnika ma wpływ na możliwe do pozyskania środki, gdyż preferowane są efektywne instalacje kolektorów słonecznych pracujące dla wsparcia ogrzewania budynku, a nie tylko dla przygotowania c.w.u.

Często stosowane są zasobniki ciepła do c.o. i c.w.u., czyli „dwa w jednym”, które służą do magazynowania i jednoczesnego dostarczania ciepłej wody użytkowej i wody zasilającej układ grzewczy. Jest to możliwe dzięki kilku rozwiązaniom. W systemie „zbiornik w zbiorniku”, wewnątrz głównego zbiornika magazynującego ciepło z kolektorów słonecznych, w górnej jego części znajduje się dodatkowy, zamknięty zbiornik służący do przechowywania c.w.u. W ten sposób dwa obiegi wody – na cele c.o. i c.w.u. – są oddzielone od siebie, a ciepło z kolektora trafia do zbiornika c.w.u., który może też być podgrzewany z drugiego źródła ciepła.

W innym rozwiązaniu zasobnik frakcyjny jest bardzo wysoki i wąski. Przykład takiego rozwiązania jest pokazany na Rys. 6. Ciepła woda gromadzi się u góry zbiornika, a chłodniejsza na jego dnie. Stratyfikacja może być pasywna lub aktywna. Pasywna odbywa się za pomocą rur wymiennikowych w zasobniku z przepływem do góry. Aktywną stratyfikację tworzy się za pomocą wielu punktów zasilania węzownic (wymienników ciepła) na różnych wysokościach. Woda podgrzana przez kolektory jest kierowana do zasobnika dokładnie we właściwym miejscu. Dzięki temu woda chłodna nie miesza się z cieplejszą i średnia temperatura w zasobniku nie spada. Taki zasobnik znacznie rzadziej wymaga dogrzewania i ciepło z kolektorów jest efektywniej wykorzystywane.

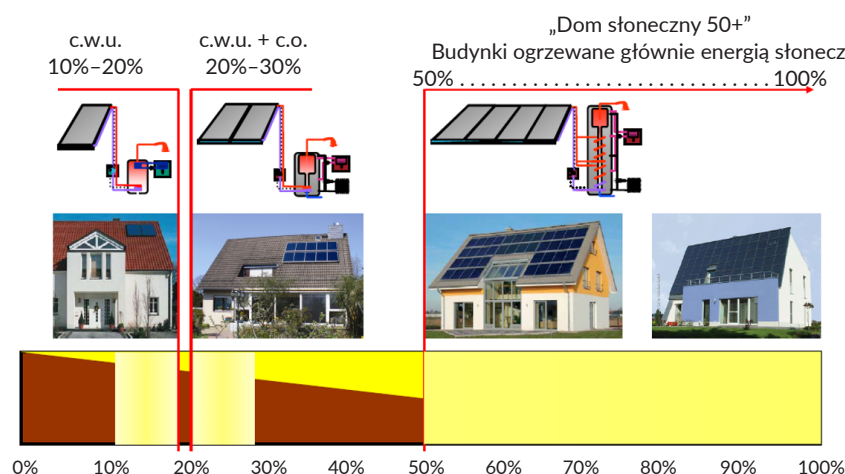


Rys. 6. Warstwowy magazyn ciepła (źródło: materiały Swiss Solartank)

Kalkulacja potencjału oszczędności

Oszczędność lub zakładany limit wydajności dla podgrzewania c.w.u. wspomaganego energią z kolektorów zwykle wynosi 60%. W przypadku modernizacji systemu grzewczego w celu wspomaganego instalacją kolektorów zakładana oszczędność wynosi 20–30% kosztów ogrzewania i będzie wzrastać wraz z podwyżkami cen nośników energii, chociaż według pokazanej na Rys. 7 klasyfikacji udział ciepła słonecznego z zaopatrzeniu budynków w ciepło może wynosić 50%. Natomiast w przypadku „domów słonecznych” udział ciepła słonecznego w zaopatrzeniu budynku mieszkalnego w całorocznym pokryciu zapotrzebowania na ciepło przekracza 50%. Potencjał oszczędności kosztów eksploatacyjnych wynikający z zastosowania instalacji hybrydowych z kolektorami słonecznymi rośnie wraz z wyższymi kosztami nośników energii. W wypadku obserwowanych obecnie znacznych podwyżek cen energii elektrycznej, gazu czy biomasy – te oszczędności mają bezpośredni wpływ na opłacalność inwestycji i skrócenie czasu jej amortyzacji.

Punktem wyjścia do określenia potencjału oszczędności wynikającej z zastosowania instalacji hybrydowej jest zakres inwestycji, na którym opiera się kalkulacja wsparcia kolektorami instalacji ogrzewania. Aby uzyskać równowagę między kosztem zakupu a zyskiem, należy uwzględnić potencjał oszczędności w trakcie eksploatacji jako czynnik amortyzacji. Im wyższa inwestycja początkowa, tym większe powinny być efekty oszczędności podczas bieżącej działalności. Doświadczenie z przeszłości pokazuje, że amortyzacja słonecznych instalacji pozyskujących ciepło do wspomaganego ogrzewania wynosiła od 10 do 15 lat. Okres ten skraca się dzięki dotacjom do instalacji OZE (w Niemczech nawet do pięciu lat). Przy obecnych cenach nośników energii ten okres może ulec znacznemu skróceniu. Dodatkowo zwiększa się efekt niezależności od zewnętrznych dostawców energii i paliw do ogrzewania, co ma duży wpływ na zapewnienie bezpieczeństwa energetycznego na podstawowym poziomie.



Rys. 7. Klasyfikacja udziału energii słonecznej w zaopatrzeniu budynku w ciepło i ciepłą wodę użytkową

Instalacje kolektorów słonecznych do wspomagania c.o. i przygotowania c.w.u. wymagają większych nakładów, ale dostarczają więcej energii, a tym samym ich potencjał oszczędności wynosi 20–30% rocznych kosztów eksploatacyjnych. Potencjał oszczędności instalacji tylko do przygotowania c.w.u. wynosi 55–60% rocznych kosztów.

Ceny instalacji i koszty eksploatacji

Z uwagi na brak wiarygodnego punktu odniesienia do cen w Polsce przyjęto ceny z rynku niemieckiego. Można założyć, że poziom cen w Polsce będzie niższy niż w Niemczech. Czasopismo branżowe „Sonne, Wind & Wärme”, z którym współpracuje SPIUG, na bieżąco monitoruje rynek pakietów solarnych, systemów ciepłej wody i systemów kombinowanych. W Tab. 1. zestawiono przykłady cen komponentów

instalacji. Do obliczeń przyjęto dom o powierzchni mieszkalnej 128 m² z ogrzewaniem powierzchniowym z zasilaniem o temperaturze 35°C i o zapotrzebowaniu na ciepło 9090 kWh rocznie.

Dane dotyczące kosztów eksploatacji i serwisu oraz kosztów inwestycyjnych są danymi z rynku niemieckiego. Bieżące koszty obejmują prace serwisowe, ubezpieczenie i koszty energii elektrycznej do obsługi pompy obiegowej i automatyki. Konserwacja instalacji do ogrzewania słonecznego powinna być przeprowadzana raz w roku i koszt takiej usługi wynosi od 50 EUR do 100 EUR. W Polsce można założyć, że wydatki na ten cel wyniosą ok. 100–150 PLN raz na dwa lata. Koszt zasilania pompy obiegowej to ok. 20 EUR. Ubezpieczenie obejmuje szkody spowodowane warunkami pogodowymi, kradzieżą lub aktami wandalizmu i kosztuje ok. 40 EUR rocznie. Raz na kilka lat, zależnie od wymagań producenta kolektorów, należy wymienić płyn solarny (glikol).

Tab. 1. Ceny przykładowych ofert urządzeń i osprzętu instalacji solarnej dla analizowanego budynku z 2021 r.

Przykładowe instalacje	Powierzchnia kolektorów [m ²]	Rodzaj kolektora	Stopień pokrycia zapotrzebowania na ciepło ciepłem słonecznym [%]	Pojemność buforu ciepła [l]	Koszt [EUR]
Instalacja 1	14,41	płaski	35,8	800	6000
Instalacja 2	9,28	płaski	21,9	806	6900
Instalacja 3	10,77	płaski	29,4	500	7400
Instalacja 4	5,66	próżniowy	19,1	900	5800
Instalacja 5	14,1	płaski	33,5	962	9600
Instalacja 6	16,72	płaski	37,8	1000	9400
Instalacja 7	18	próżniowy	49,8	1090	17 400

Podsumowanie

W wielu krajach europejskich można w tej chwili zaobserwować ponowny wzrost zainteresowania wykorzystywaniem ciepła z kolektorów słonecznych w innych celach niż tylko przygotowanie ciepłej wody użytkowej. Wynika to z coraz wyższych wymagań stawianych budynkom dotyczących redukcji emisji i korzystania z energii odnawialnej, a także z dążenia użytkowników do redukcji kosztów ogrzewania. W przyszłości, gdy będą obowiązywać ostre reguły wymuszające dekarbonizację w ogrzewnictwie, energia słoneczna będzie jednym z kluczowych rozwiązań. Przejście na ogrzewanie zasilane energią odnawialną wiąże się jednak z koniecznością głębokiej termomodernizacji istniejących budynków. Podwyższanie standardu efektywności budynków to proces wymagający czasu i nie wszędzie będzie to możliwe ze względów ekonomicznych lub technicznych. Dlatego wykorzystanie instalacji hybrydowych, które przynajmniej w części pozwolą ograniczyć zużycie paliw czy energii elektrycznej, a przez to ograniczyć emisję CO₂ do atmosfery, jest praktycznym rozwiązaniem, które można zaadaptować stosunkowo niskim kosztem do istniejących budynków i uzyskać praktycznie od razu wymierny efekt ekologiczny i ekonomiczny. W nowych budynkach instalacje kolektorów słonecznych są uzupełnieniem innych źródeł ciepła, co ma pozytywny wpływ na żywotność tych urządzeń i koszty ich eksploatacji (koszty zużywanych paliw lub energii elektrycznej).

Instalacje hybrydowe będą stosowane coraz częściej, także z uwagi na możliwość dywersyfikacji nośników energii oraz wykorzystania zasobów lokalnych. Transformacja energetyczna w UE i podnoszenie bezpieczeństwa energetycznego przy równoczesnym odchodzeniu od paliw kopalnych to plany, które mogą zostać wdrożone przy założeniu, że z elektryfikacji będzie pokryte ok. 30% zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania w przypadku budynków mieszkalnych oraz 50% w przypadku budynków komercyjnych.

Scenariusze rozwoju ogrzewnictwa wskazują, że znaczna część zapotrzebowania na ciepło w budynkach

mieszkalnych, których nie obejmie ogrzewanie zasilane energią elektryczną, będzie musiała korzystać z ciepła wytwarzanego z OZE, takich jak energia słoneczna, biomasa i biometan, oraz z gazów zdekarbonizowanych, w tym głównie wodoru, a także z technologii magazynowania ciepła.

Bibliografia:

- BDH Bundesverband der Deutschen Heizungsindustrie (2019), *Energetische Gebäudesanierung mit System. Anlagenbeispiele im Vergleich*, https://www.bdh-industrie.de/fileadmin/user_upload/Broschueren/BDH_Energetische_Gebaeudesanierung_mit_System_2017.pdf [dostęp: 11.02.2021].
- BDH Bundesverband der Deutschen Heizungsindustrie (2021), *Efficient Systems and Renewable Energies. Technology and Energy Panel*, https://www.bdh-industrie.de/fileadmin/user_upload/ISH2021/Broschueren/BDH_Efficient_systems_and_renewable_energies_2021.pdf [dostęp: 11.02.2021].
- Minergie (2015), *Sonnenkollektoren Dimensionierungshilfe*, https://www.swissolar.ch/fileadmin/user_upload/Fachleute/Solarwaerme_Merkblaetter/2015_EnergieSchweiz-MINERGIE-Dimensionierungshilfe-Sonnenkollektoren_d.pdf [dostęp: 11.02.2021].
- Net4Energy (2020), *Solarthermie: Saubere und nachhaltige Wärme. Dein net4energy-Essentials Guide*, <https://www.net4energy.com/de-de/solarthermie-essentials> [dostęp: 11.02.2021].
- Solar Heat Europe, Liquid Gas Europe (2021), *Solar Thermal and LPG to Decarbonise Local Heat – A Winning Case*, https://www.liquidgaseurope.eu/images/pdf/Solar_Thermal_and_LPG_final.pdf [dostęp: 11.02.2021].
- Solar Heat Europe ESTIF, *Solar Heat for Buildings (Residential and Commercial)*, <http://solarheateurope.eu/about-solar-heat/solar-heat-buildings-residential-commercial/> [dostęp: 11.02.2021].
- Solaranlagen-Portal, *Solarthermie*, <https://www.solaranlagen-portal.com/solarthermie> [dostęp: 11.02.2021].
- Sonnenhaus-Institut e.V. (2020), materiały techniczne, <https://www.sonnenhaus-institut.de/das-sonnenhaus.html> [dostęp: 11.02.2021].
- Starościk J. (2020), *Minimalizacja kosztów ogrzewania w praktyce: czy można ogrzać dom ciepłem słonecznym?*, <https://spiug.pl/raporty/czy-mozna-ogrzac-dom-cieplem-slonecznym-minimalizacja-kosztow-ogrzewania-w-praktyce/> [dostęp: 11.02.2021].
- Starościk J. (2021), *Instalacje kolektorów słonecznych do wspomaganie instalacji ogrzewania w budynkach*, <https://spiug.pl/raporty/planowanie-instalacji-kolektorow-slonecznych-do-wspomaganie-ogrzewania-w-budynkach/> [dostęp: 11.02.2021].

Hybrid heating installations using solar heat – a practical compromise

Abstract: Current activities aimed at decarbonization the energy and heating supply and reduction of the use of fossil fuels, force us to look for solutions that will realistically allow for a gradual achievement of this goal, without risking the security of covering the heat demand of end users. Increase the share of renewable energy sources in heating is a justified measure, but it should be remembered that their use requires increase the energy efficiency of buildings, mainly by reducing their heat demand. In practice, this is a difficult task to accomplish in a short time due to the extreme heterogeneity in building structures and other various factors such

as end-user preferences and their financial resources, available local energy systems and the resources of buildings themselves. Therefore, solutions are sought that will, on the one hand, allow for a gradual reduction in the share of fossil fuels and electricity from conventional sources in heating along with the progress of thermal modernization, and on the other hand, will ensure energy security for consumers. Such a solution should also ultimately lead to the reduction of the purchase costs of energy carriers by increasing the share of locally available energy resources. Hybrid heating installations are such solution. Currently, hybrid heating installations are installations consisting of various complementary heat sources combined into one system that automatically adjusts to the supply conditions of locally available resources. A good example of such an installation is a combination of solar collectors with a heat storage

and a supplementary additional heat source, acting as a peak source, thanks to which we have the opportunity to increase the share of clean, emission-free heat from solar collectors and guarantee constant thermal comfort to recipients.

Keywords: hybrid heating installations, solar thermal energy, safety of energy supply, diversification, local energy resources

Janusz Starościk

Prezes Zarządu Stowarzyszenia Producentów
i Importerów Urządzeń Grzewczych (SPIUG)
Prezes Stowarzyszenia Producentów
i Importerów Urządzeń Grzewczych



Energetyka Rozproszona

Czasopismo redagowane przez zespół projektu Rozwój energetyki rozproszonej w klastrach energii (KlastER) (www.er.agh.edu.pl) w ramach Strategicznego programu badań naukowych i prac rozwojowych „Społeczny i gospodarczy rozwój Polski w warunkach globalizujących się rynków” GOSPOSTRATEG.



KlastER

Redaktor naczelny:
Sławomir Kopec

Sekretarz redakcji:
Katarzyna Faryj

Członkowie redakcji:
Zbigniew Hanzelka
Andrzej Kaźmierski
Marek Kisiel-Dorohinicki
Ryszard Sroka
Wojciech Suwała
Tomasz Szmuc
Karol Wawrzyniak

Redaktor prowadząca
i korekta językowa:
Malwina Mus-Frosik

Skład:
MUNDA Maciej Torz

Projekt okładki i layoutu:
Tomasz Budzyń

Strona internetowa:
Sebastian Medoń
Jakub Mirek

Wydawca:

Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

Kontakt:

Energetyka Rozproszona
Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie
al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
tel. 12 888 55 29
e-mail: klaster_er@agh.edu.pl
www.er.agh.edu.pl
www.energetyka-rozproszona.pl
ISSN 2720-0973
<https://doi.org/10.7494/er>

© Wydawnictwa AGH, Kraków 2022
Creative Commons CC-BY 4.0



Ministerstwo
Rozwoju i Technologii



Narodowe Centrum
Badań i Rozwoju