

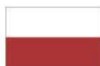


Przegląd technologii niskoemisyjnych dla systemów ciepłowniczych





Publikacja opracowana w ramach projektu „PPO WSL 2030. Utworzenie Regionalnego Obserwatorium Innowacji” współfinansowanego ze środków Unii Europejskiej w ramach programu Fundusze Europejskie dla Śląskiego 2021–2027





■ Spis treści

1. Omówienie różnych technologii niskoemisyjnych dla systemów ciepłowniczych	4
1.1 Pompy ciepła	4
1.2 Technologia P2H	6
1.3 Kolektory słoneczne wspomagające systemy ciepłownicze	7
1.4 Technologie wytwarzania i wykorzystania wodoru	8
1.5 Magazyny energii	10
1.6 Inteligentne systemy sterowania systemami ciepłowniczymi	11
1.7 Ciepło odpadowe	12
1.8 Energetyczne wykorzystanie ciepła geotermalnego	13
1.9 Sieci nowej generacji w systemach ciepłowniczych	14
2. Omówienie różnych technologii niskoemisyjnych dla systemów ciepłowniczych	15
3. Prezentacja przykładów wdrożeń technologii niskoemisyjnych w ciepłowniach systemowych	21
3.1 Ciepłownia przyszłości w Lidzbarku Warmińskim	21
3.2 PGE wdrożyło technologię P2H w PGE Energia Ciepła w Gdańsku	22
3.3 Enea wyprodukuje ciepło z zielonego wodoru	22
3.4 Magazyny energii	23
3.5 Inteligentne systemy sterowania systemami ciepłowniczymi	24
3.6 Ciepło odpadowe	25
3.7 Energetyczne wykorzystanie ciepła geotermalnego	27
3.8 Sieci nowej generacji w systemach ciepłowniczych	27
4. Bibliografia	28

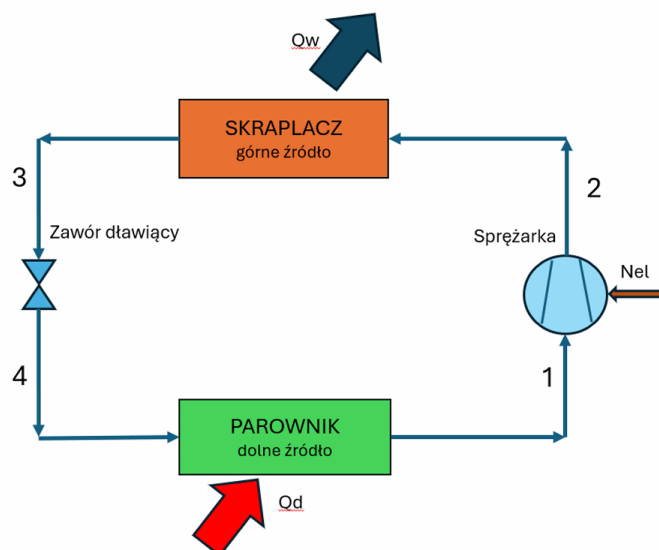




■ 1. Omówienie różnych technologii niskoemisyjnych dla systemów ciepłowniczych

■ 1.1 Pompy ciepła

Pompy ciepła należą do urządzeń kwalifikowanych jako obiegi lewobieżne, w skład których wchodzi m.in.: obieg chłodniczy, obieg pompy ciepła, obieg termodynamiczny maszyny roboczej. Czynnikiem roboczym w pompach ciepła jest najczęściej czynnik roboczy niskowrzący, którego zadaniem jest odebranie ciepła z pomieszczeń/przestrzeni o temperaturze niższej i przetransportowanie go do pomieszczeń/przestrzeni w temperaturze wyższej. Proces odbywa się wbrew naturalnemu kierunkowi przepływu ciepła, dzięki dostarczonej energii elektrycznej do sprężarki, a także dzięki odpowiednim właściwościom czynnika obiegowego. Zerowa zasada termodynamiki mówi, że ciepło przepływa zawsze od ciała o temperaturze wyższej do ciała o temperaturze niższej. Aby możliwe było transportowanie ciepła w odwrotnym kierunku wykorzystuje się sprężanie i rozprężanie (np. przez zawór dławiący) oraz czynnik o odpowiedniej temperaturze przemiany fazowej.





Rys 1. Przedstawia przykładowy schemat sprężarkowej maszyny roboczej realizującej obieg lewobieżny (tutaj: sprężarkowa pompa ciepła).

Omówienie działania PC

Do sprężarki dopływa para nasycona sucha (bez drobin) cieczy o niskim ciśnieniu i temperaturze (1), w sprężarce para ulega sprężeniu dzięki energii napędowej silnika sprężarki (Nel), dzięki temu procesowi wzrasta ciśnienie oraz temperatura czynnika (2).

Taki gorący gaz wpływa do skraplacza, w którym dzięki najczęściej prawidłowej fizyce rozgrzany gaz przekazuje ciepło do chłodnej przestrzeni jaką ma ogrzać, zwanej górnym źródłem ciepła (poprzez wymiennik ciepła, ogrzewanie podłogowe lub inne urządzenia z kategorii przeponowych wymienników ciepła). Za skraplaczem czynnik roboczy ma parametry cieczy nasyconej (stopień suchości pary $x = 0$) (3).

Kolejna przemiana realizowana jest w zaworze dławiącym, który czasami jest po prostu kapilarą. W zaworze tym następuje obniżenie ciśnienia czynnika roboczego oraz jego temperatury. Proces dławienia nazwany jest dławieniem izentalpowym. Niewielka ilość czynnika odparowuje (stopień suchości $x > 0$) (4).

Mieszanina ta dopływa do parownika, zwanego dolnym źródłem, gdzie do czynnika doprowadzane jest ciepło z dostępnego otoczenia (powietrze – dla powietrznych pomp ciepła, woda dla wodnych, grunt (górotwór) dla gruntowych pomp ciepła. Po odparowaniu w parowniku czynnik roboczy ma parametry pary nasyconej suchej (stopień suchości pary $x = 1$).

Miarą efektywności pomp ciepła jest współczynnik zwany efektywnością energetyczną $COP = \text{ciepło odprowadzone do górnego źródła (odebranego np. przez wodę podgrzewaną w skraplaczu)} / \text{mocy elektrycznej doprowadzonej do sprężarki}$.





■ 1.2 Technologia P2H

Najprościej rzecz ujmując P2H to elektroogrzewnictwo, czyli realizację koncepcji wykorzystania energii elektrycznej na cele ciepłownicze poprzez różne technologie pozwalające wprost zamienić prąd w ciepło. Można wyróżnić trzy (cztery) podstawowe technologie pozwalające zamienić prąd w ciepło:

Oparte na oporze przewodzenia elektrycznego – druta, przez który przepływa prąd o odpowiednim napięciu i natężeniu (mocy) powodując jego rozgrzewanie i przekazywanie ciepła do czynnika roboczego poprzez ściankę grzałki i ruch konwekcyjny omywającego płynu.

Wyróżniamy:

- kotły rezystancyjne elektryczne – oferujące moce od kilku kilowatów do kilku megawatów mocy cieplnej
- podgrzewacze rezystancyjne – grzałki oporowe, które używane są najczęściej do podgrzewania CWU (ciepłej wody użytkowej)

Oparte na elektrolizie – w wodzie z niewielką ilością soli lub w innym dobrze przewodzącym prąd elektryczny medium zanurzone są elektrody, przez które płynie prąd elektryczny. Przepływ prądu powoduje w medium zjawisko rozkładu wody na jony tlenu i wodoru (zjawisko elektrolizy). Trące o siebie jony powodują wydzielenie znacznej ilości ciepła, które podgrzewa wodę w kotle.

Zalety kotłów elektrodowych:

- wysoka sprawność – brak oporów i przepon, ciepło jest generowane bezpośrednio w wodzie,
- szybkie nagrzewanie (konsekwencją wysokiej sprawności),
- brak ruchomych części – stosunkowo niska awaryjność.

Wady kotłów elektrodowych:

- zwiększone wymagania dotyczące jakości wody – woda używana jako medium musi być specjalnie przygotowana, żeby zapobiec uszkodzeniu elektrod.



Oparte na zjawisku zmiany fazy – Pompy Ciepła – omówione zostały w ad 1.

1.3 Kolektory słoneczne wspomagające systemy ciepłownicze

Kolektory słoneczne są urządzeniami, które pozwalają na przeistoczenie energii słońca na energię wykorzystywaną np. do podgrzewania wody do domowych systemów CWU, a tutaj szczególnie zaakcentowane będzie ich wykorzystanie jako urządzenia wspomagające systemy ciepłownicze. Promienie słoneczne padają na absorber, płaski lub walcowy (w zależności od konstrukcji omówionej poniżej), który pokryty jest specjalną powłoką o bardzo dużym współczynniku emisyjności, który w bardzo dobry sposób absorbuje ciepło. Ciepło to przekazywane jest w dalszej kolejności czynnikowi robocznemu, który jest gospodarowany według parametrów (różnych dla różnych rozwiązań) i zapotrzebowania. Ze względu na bardzo wysokie temperatury rzadko czynnikiem roboczym jest sama woda, występuje ona z domieszkami które zapobiegają zamarzaniu w zimie i zbyt szybkiemu odparowaniu.

Wyróżnia się dwa podstawowe typy kolektorów słonecznych:

- płaskie (w postaci prostokątnych skrzyń wyposażonych w selektywną szybę i absorber o dużej emisyjności powierzchni – odznaczają się bardzo prostą konstrukcją, stosunkowo niskimi kosztami,
- próżniowe (w postaci rur ułożonych wertykalnie) – odznaczają się wysoką sprawnością, posiadają bowiem element próżniowy, który zabezpiecza absorber przed wychłodzeniem zimnym powietrzem np. zimą. W wymiennikach tych stosuje się także tzw. heat pipe – jako element odbierający ciepło z absorbera. Jest to zamknięta rurka miedziana, która wewnątrz posiada ciecz niskowrzącą odparowującą przy nagrzewaniu się absorbera, ciecz w postaci gazowej przemieszcza się samoczynnie do kolektora zbiorczego – skraplacza – gdzie oddaje ciepło czynnikowi robocznemu. Ów kierowany jest na kolejne wymienniki ciepła.

Kolektory słoneczne jako takie stosowane są bardzo często jako elementy podgrzewające CWU w domach jednorodzinnych/wspólnotach, jako urządzenia wspomagające do ogrzewania pomieszczeń, basenów, procesów technologicznych – takich jak np. suszarnie.



Prawidłowy dobór kolektorów słonecznych, powinien przede wszystkim koncentrować się na sprawności kolektora słonecznego, który wyraża się jako stosunek energii cieplnej uzyskanej z kolektora do energii promieniowania słonecznego. Najważniejszymi parametrami kolektorów są elementy wymienione poniżej, ściśle ze sobą powiązane:

- temperatura czynnika roboczego – im wyższa tym szersze zastosowanie,
- moc cieplna – określa ilość energii cieplnej dostarczanej przez kolektor w jednostce czasu,
- ilość energii cieplnej uzyskanej w ciągu roku – zależy od typu kolektora, położenie geograficzne (szczególnie szerokość geograficzna), orientacja kolektora, wyposażenie kolektorów w urządzenia nadążne, warunki atmosferyczne.

■ 1.4 Technologie wytwarzania i wykorzystania wodoru

Wodór ze względu na swoje bezemisyjne spalanie (produktem procesu spalania jest para wodna), zwany jest paliwem przyszłości.

Istnieją trzy podstawowe technologie produkcji wodoru:

Elektroliza wody – polega na doprowadzeniu do elektrolizera prądu elektrycznego, który rozkłada wodę na tlen i wodór.

Bezsprzeczną zaletą tego procesu jest wysoka czystość wodoru i możliwe, dowolne pozyskanie energii elektrycznej np. z technologii OZE. Największą wadą zaś wysokie zużycie energii elektrycznej.

Reforming parowy metanu – metan reaguje z parą wodną o wysokiej temperaturze, tworząc wodór i tlenek węgla.

Metoda ta jest bardzo dobrze znana, odznaczająca się stosunkowo niskimi kosztami produkcji. Wadą jest wysoka emisja CO₂ – chociaż realizowana w miejscu produkcji, więc możliwa do oczyszczenia przez odpowiednie instalacje. Dodatkowo tak wyprodukowany wodór wymaga dodatkowego procesowi oczyszczenia.



Zgazowanie biomasy – biomasa poddawana jest procesowi pirolizy w wysokiej temperaturze, przy udziale pary wodnej i tlenu tworząc gaz syntezowy. Gaz ten jest następnie oczyszczany i przekształcany w wodór.

W tym przypadku także wykorzystuje się technologię (materiały) OZE, ale proces jest bardziej energochłonny niż w przypadku reformingu parowego metanu poprzez mniejszą sprawność tego procesu oraz konieczność zastosowania procesów oczyszczania wodoru.

Spalanie bezpośrednie wodoru (w kotłach lub piecach) jest jednym z rodzajów przetwarzania wodoru, kolejnym jest reakcja wodoru z tlenem w ogniwach paliwowych.

Zasadę działania ogniwa paliwowego opiera się o trzy podstawowe elementy:

- anodę – doprowadzany do niej wodór w obecności katalizatora (którym może być np. platyna) ulega rozszczepieniu na dwa elementy: protony H^+ oraz elektrony e^- ,
- elektrolit (np. membrana polimerowa) – jej głównym zadaniem jest blokowanie elektronów, które przepływają przez obwód zewnętrzny, wytwarzając prąd elektryczny, oraz animację jonów wodorowych H^+ ,
- katodę – protony które przeszły przez elektrolit, łączą się z tlenem oraz z elektronami tworząc cząsteczki wody H_2O .

Efektem reakcji w ogniwie paliwowym jest produkcja prądu elektrycznego i ciepła. Tak wytworzony prąd może być wykorzystywany do zasilania pomp ciepła, wytworzone zaś ciepło jako dolne źródło ciepła w pompie ciepła.

Sprawność ogniwa określana jest jako stosunek wytworzonej energii elektrycznej do całkowitej energii możliwej do uzyskania w wyniku tej reakcji.

Sprawność ogniwa paliwowego silnie zależy od pobieranej mocy: im pobierana jednostkowa moc jest większa tym mniejsza jest sprawność ogniwa paliwowego. Straty całkowite wynoszą od 40 – 60%, czyli tylko (aż) 40 – 60% energii chemicznej paliwa wodorowego przekształcane jest na energię elektryczną. Reszta strat to głównie wytworzone ciepło.





Podstawową wadą układów wodorowych są stosunkowo duże nakłady na produkcję odpowiedniej ilości wodoru o odpowiedniej czystości oraz wszelkiego rodzaju zabezpieczenia. Wodór jest bowiem wysoce łatwopalny, a jego stężenie samozapłonu w atmosferze powietrznej wynosi tylko 4%.

■ 1.5 Magazyny energii

Magazyny energii są nowoczesnym rozwiązaniem jako uzupełnienie technologii OZE idealnie wpasowującym się w dysonans pomiędzy dziennym zapotrzebowaniem na ciepło/energię elektryczną w domostwach/systemach ciepłowniczych, a ich produkcją przy wykorzystaniu OZE. Zwiększają także efektywność wykorzystania energii, stabilizują system oraz wyrównują produkcję. Aby efektywnie można było je wykorzystać, niezbędne jest wykorzystanie zaawansowanych układów sterowania, w momencie kiedy mają optymalizować zużycie energii (i jednocześnie redukować koszty) muszą być połączone inteligentną siecią pomiarową.

Magazyny można podzielić na dwie podstawowe kategorie, cieplne i elektryczne, omówione poniżej:

- Ciepłne:

- Wodne – najczęściej stosowany czynnik roboczy, ze względu na swój uniwersalizm i wysoką pojemność cieplną właściwą wody. Magazynowany w zaizolowanych zbiornikach, doprowadzenie ciepła poprzez energię elektryczną – grzałki, albo bezpośrednio poprzez np. ciepłą wodę z kolektorów słonecznych.
- Materiały stałe – skały (np. magnezyt), betony akumulacyjne i inne materiały posiadające wysokie wartości pojemności cieplnej właściwej.
- Materiały zmiennej fazy (PCM) – substancje, które podczas topnienia i krzepnięcia mają możliwości akumulacji i oddawania dużej ilości ciepła przy stałej temperaturze (podczas zmiany fazy), ważnym aspektem jest wartość ciepła utajonego (parametr czynnika roboczego).

- Elektryczne:



- Baterie akumulatorów – energia elektryczna zmagazynowana jest w akumulatorach, bateriach różnego typu (litowo-jonowe, sodowo-siarkowe i inne) akumulujące prąd elektryczny w sposób bezpośredni.
- Elektrownie szczytowo – pompowe – magazynowanie energii elektrycznej odbywa się w sposób pośredni poprzez energię potencjalną wody lub innych czynników roboczych.

Możliwości wykorzystania magazynów energii w systemach ciepłowniczych są bardzo szerokie i sprowadzają się tak naprawdę do pokrycia zapotrzebowania na ciepło lub energię elektryczną w czasie kiedy jest ono potrzebne, co niejednokrotnie nie jest zbieżne z czasem jego produkcji.

Podstawowymi funkcjami magazynów energii są:

- Sezonowe/chwilowe/dzienne magazynowanie, wg. Algorytmu lato/zima, ochrona przed przerwami w dostawie ciepła/prądu, zaspokojenie porannego i wieczornego szczytu zapotrzebowania dzięki okołopołudniowej akumulacji nadwyżek.
- Zwiększenie efektywności systemów ciepłowniczych poprzez optymalizację źródeł ciepła/energii elektrycznej, zmniejszenie strat energii, przy wykorzystaniu zaawansowanych systemów predykcji i sterowania wraz z połączeniem z bezpośrednimi odczytami wartości pogodowych (temperatury, ciśnienia, opadów, szybkości wiatru) oraz przy wykorzystaniu wieloletnich pomiarów meteorologicznych.

■ 1.6 Inteligentne systemy sterowania systemami ciepłowniczymi

Systemy te, w nowoczesnych i rozwiniętych implementacjach, pozwalają na optymalizację działania systemów ciepłowniczych, ale i nade wszystko na zaspokojenie zapotrzebowania odbiorców końcowych.

Potrąfią przewidzieć zapotrzebowanie na moc (cieplną czy elektryczną) i z wyprzedzeniem dostosować pracę urządzeń ze względu na bezwładność sieci przy jednoczesnej minimalizacji kosztów i wpływu na środowisko.

Kluczowym elementem systemu jest jego architektura, składająca się zwyczajowo z 3 warstw:





Czujników (element zbierający dane), przetwarzania (algorytmy, modele matematyczne) oraz sterowników (czyli elementu wykonawczego).

Inteligentne systemy sterowania systemami ciepłowniczymi, działające w czasie rzeczywistym, powinny zawierać:

- Algorytmy optymalizacji, ze ściśle sprecyzowaną funkcją celu, rozwiązywaną dzięki wykorzystaniu algorytmów matematycznych.
- Elementy sztucznej inteligencji, szczególnie sieci neuronowe, które dzięki warstwie uczenia ciągle mogą się doskonalić dzięki dopływowi nowych informacji (warunki pogodowe mierzone obecnie, prognoza pogody).

Aby zapewnić kontrolę nad systemem użytkownikowi nadrzędnemu, system musi być wyposażony w kontrolę wyjścia/wejścia przy pomocy interfejsu użytkownika wraz z alertami czasu rzeczywistego, które pozwolą zaalarmować odpowiednie podmioty w sytuacjach awaryjnych (np. rozerwanie rury, spięcie w instalacji itp.).

Największą trudnością w tego typu rozwiązaniach jest osobniczo-zmienne preferencje i zwyczaje użytkownika końcowego oraz poziom zaufania prognozom pogody (które na szczęście dosyć dobrze zgadzają się jeśli analizujemy wyprzedzenie dobowe, 1- lub 2 -godzinne).

■ 1.7 Ciepło odpadowe

Ciepło odpadowe które jest efektem ubocznym różnych procesów technologicznych i przemysłowych, często jest niedoszacowane.

Jeżeli może być efektywnie wykorzystane tzn. źródło jego generacji znajduje się w określonej odległości, poziom temperaturowy jest dostatecznie wysoki i jest go dostatecznie dużo, należy zastanowić się nad jego wykorzystaniem.





Użycie ciepła odpadowego redukuje po części udział podstawowego źródła ciepła, zwiększenie efektywności energetycznej, ograniczenie, a nawet całkowitą redukcję emisji gazów cieplarnianych.

Technologie wykorzystania ciepła odpadowego można wykorzystać bezpośrednio i pośrednio poprzez:

- Turbiny parowe – w przypadku znacznej entalpii ciepła odpadowego, odpowiedniej temperatury i ciśnienia, może być wykorzystane bezpośrednio jako czynnik napędowy turbin sprężonych z turbiną i generatorem celem produkcji energii elektrycznej.
- Kotły odzyskowe – pozwalające wykorzystać energię cieplną ze spalin powstających w różnych procesach przemysłowych.
- Wymienniki ciepła, przeponowe i bezprzeponowe – urządzenia ogólnego zastosowania pozwalające na transport ciepła pomiędzy różnymi mediami. Stosowane np. w przypadku ciepła odpadowego silników kogeneracyjnych, zasilając np. dolne źródło pomp ciepła.

Nie każde ciepło odpadowe daje się wykorzystać, przed podjęciem jakichkolwiek działań zmierzających do jego wykorzystania należy obliczyć zasadność (także ekonomiczną) jego wykorzystania.

■ 1.8 Energetyczne wykorzystanie ciepła geotermalnego

Ciepło geotermalne dzieli się w szczególności ze względu na temperaturę oraz źródło pochodzenia:

- niskotemperaturowe zasoby geotermalne, wynikające z naturalnego strumienia ciepłego Ziemi, występującego powszechnie, o temperaturze poniżej 150C,
- rzadziej występujące wysokotemperaturowe występują w lokalizacjach, gdzie jeszcze niedawno dochodziło do ruchów tektonicznych płyt albo do aktywności wulkanicznej.

Charakteryzuje się różnymi poziomami temperatury i różną ilością, a przede wszystkim lokalnym występowaniem. W Polsce wody geotermalne mają od 20C skrajnie do 90C (100C).

Ze względu na duży potencjał wody te mogą być (i są) wykorzystywane w rozmaity sposób, wraz z produkcją ciepła i CWU przez systemy ciepłownicze. Woda po wykorzystaniu w wymiennikach ciepła jest



zatłaczana z powrotem do górotworu, a ciepło jest przekazywane czynnikowi robocznemu w wymiennikach ciepła.

Należy zauważyć, że ciepło płynące z geotermii można wykorzystać w różny sposób, kiedy bowiem mamy do dyspozycji ciepło przypowierzchniowe albo z wód płytkich, wykorzystuje się je jako dolne źródło ciepła w systemach pomp ciepła.

■ 1.9 Sieci nowej generacji w systemach ciepłowniczych

Nowoczesne sieci przesyłowe to rewolucyjne podejście do systemu ciepłownictwa, dzięki odpowiedniej strukturze i metodzie wytwarzania, pozwalają zredukować znacznie przede wszystkim poziomy temperatur i strumień czynnika grzejnego, jako odpowiedź na wykorzystanie niskotemperaturowych systemów ogrzewania w budynkach (np. ogrzewanie podłogowe). Stosunkowo niskie wartości temperatury czynnika roboczego w połączeniu z bardzo dobrą izolacją dają możliwość zastosowania niskotemperaturowych technologii OZE i innych wymienionych w tym dokumencie, których wartości entalpii czynnika grzejnego nie są zbyt wysokie.

Nowoczesne sieci przesyłowe to także sieci kablowe (najczęściej ziemne) spinające systemy ciepłownicze i odbiorców, dwukierunkowo (np. odbieranie nadwyżek energii elektrycznej od prosumentów – w przypadku instalacji PV).

Nowoczesne sieci przesyłowe wymagają także zastosowanie wyrafinowanego procesu pomiarowego, obliczeniowego oraz sterującego omówionego szerzej w punkcie **Inteligentne systemy sterowania systemami ciepłowniczymi**.

Całe opracowanie zawiera kompatybilne systemy produkcji, magazynowania i sterowania systemami ciepłowniczymi, które tworzą wspólną całość.

W kolejnym rozdziale przedstawione zostaną podstawowe wady i zalety odpowiednich rozwiązań.





■ 2. Omówienie różnych technologii niskoemisyjnych dla systemów ciepłowniczych

Technologia	Zalety	Wady
POMPY CIEPŁA	Możliwość wykorzystania niskotemperaturowego ciepła, także odpadowego (jako dolne źródło).	Zależność od energii elektrycznej.
	Wysoka efektywność (dla odpowiednio dobranego dolnego źródła).	Efektywność energetyczna (czyli miara uzysku ciepła) zależna od rodzaju PC oraz od temperatury otoczenia (szczególnie dla powietrznych pomp ciepła).

Technologia	Zalety	Wady
P2H	Elastyczność systemu energetycznego i zwiększenie udziału OZE w produkcji ciepła przez wykorzystanie prądu elektrycznego.	Zależność od dostępności energii elektrycznej, szczególnie pochodzącej z OZE.
	Zmniejszenie emisji CO ₂ do atmosfery.	Ograniczenia poziomu temperatury i mocy (wytworzanego ciepła) dla niektórych rozwiązań P2H (np. niskotemperaturowe ciepło dla PC).
		Niska sprawność niektórych technologii.



Technologia	Zalety	Wady
KOLEKTORY SŁONECZNE	W dniach o odpowiednim nasłonecznieniu możliwe pokrycie znacznej części zapotrzebowania na ciepłą wodę użytkową a nawet na ogrzewanie (w roli urządzenia wspomagającego).	Zależność od warunków pogodowych, wydajność zależna od szerokości geograficznej (lokalizacji).
		Zależnie od zastosowanego rozwiązania (kolektory płaskie lub próżniowe), mniejsze sprawności wytwarzania ciepła dla niższych temperatur otoczenia.
	Z reguły długa żywotność urządzeń, w przypadku kolektorów o większej sprawności – próżniowych, łatwa wymiana komponentów kolektora (rur próżniowych).	Jak w większości technologii OZE zależnej od słońca, produkcja ciepła tylko w pewnych godzinach w ciągu doby.

Technologia	Zalety	Wady
TECHNOLOGIE WYTWARZANIA I WYKORZYSTANIA WODORU	Niska bądź zerowa emisja zanieczyszczeń (przy procesie spalania bezpośredniego i w ogniach paliwowych).	Wodór jest łatwopalny i wybuchowy w zakresie 4 – 75% zawartości wodoru w powietrzu. Dlatego wymaga odpowiednich środków ostrożności podczas produkcji, transportu i składowania.
	Wysoka sprawność konwersji energii chemicznej na elektryczną, możliwość zagospodarowania ciepła odpadowego.	Dość wysokie koszty produkcji i dystrybucji wodoru, szczególnie, jeśli chodzi o jego zielone pochodzenie.



	Wodór jest swoistym magazynem energii, może być produkowany, składowany i wykorzystywany według potrzeb.	
--	--	--

Technologia	Zalety	Wady
MAGAZYNY ENERGII	Stabilizacja systemu, dzięki możliwości akumulowania prądu elektrycznego i ciepła w momencie kiedy jest jego/jej nadwyżka i oddawanie, kiedy jest taka potrzeba.	Dość wysokie nakłady inwestycyjne, na budowę nieraz wielkich gabarytowo akumulatorów i przez konieczność zastosowania odpowiedniej automatyki niezbędnej do sterowania urządzeniami.
	Zwiększenie wykorzystania OZE, dzięki możliwościom akumulacyjnym.	Straty energii, występujące szczególnie w cieplnych magazynach energii spowodowane niedoskonałą izolacją cieplną.
	Zwiększenie elastyczności systemu ciepłowniczego, który nie musi polegać tylko na dostawach z zewnątrz ale także korzystać ze swoich magazynów.	



Technologia	Zalety	Wady
INTELIGENTNE SYSTEMY STEROWANIA SYSTEMAMI CIEPŁOWNICZYMI	Warstwa inteligentna systemu i zarządzanie w oparciu o algorytmy samouczące pozwoli na redukcję strat ciepła/prądu elektrycznego co da wymierny zysk ekonomiczny.	Jak każdy system opierający się na zmiennych rzeczywistych – tak jak np. upodobania użytkowników końcowych (np. w aspekcie kąpeli, temperatury, strumienia wody itp.) będzie on obarczony błędem prognozowania w początkowej fazie uczenia maszynowego, nawet jeśli sieci neuronowe będą posiadały dostateczną ilość punktów pomiarowych, ze względu na randomizację samego zjawiska jakim może być kąpiel, nie zawsze nastąpi tzw. optymalizacja zużycia energii względem produkcji i zapotrzebowania.
	Optymalizacja działania systemu poprzez inteligentne algorytmy. Złożoność systemu automatyki (poziom zarządzania i ciepłowniczego (poziom produkcji) w połączeniu z odpowiednim por ołio możliwych do wykorzystania systemów produkujących ciepło/prąd OZE spowoduje ostatecznie zmniejszenie kosztów ogrzewania, przygotowania CWU.	Złożoność systemu, dodatkowe koszty inwestycyjne względem starszych systemów, zależność od zasilania.



	Szybsze wykrywanie anomalii użycia systemów ciepłowniczych oraz awarii, możliwa szybsza reakcja i potencjalne mniejsze straty.	
--	--	--

Technologia	Zalety	Wady
CIEPŁO ODPADOWE	Zwiększenie efektywności energetycznej systemu ciepłowniczego poprzez redukcję innych źródeł energii.	Ograniczenia lokalizacyjne, dostępność ciepła odpadowego w miejscu gdzie jest potrzebne.
	Redukcja emisji zanieczyszczeń, poprzez zaniechanie lub zmniejszenie produkcji gazów odlotowych w lokalnych systemach ciepłowniczych.	Możliwa niejednorodność dostaw ciepła odpadowego wynikającego np. z procesu technologicznego producenta tegoż.
	Nawet dla ciepła niskotemperaturowego potencjał wykorzystania poprzez wykorzystania go jako np. dolnego źródła w pompach ciepła.	Możliwa (dla odpowiednich procesów technologicznych) nadwyżka wyprodukowanego ciepła względem zapotrzebowania związana z preferencjami użytkowników, brakowi, przepełnienia systemów akumulacji ciepła i konieczność jego zagospodarowania.

Technologia	Zalety	Wady
ENERGETYCZNE WYKORZYSTANIE CIEPŁA GEOTERMALNEGO	Jeśli zostanie posadowiona w odpowiednim miejscu, energia geotermalna jest praktycznie	Lokalna dostępność związana z geologią Ziemi.



	niewyczerpana, odnawialna i zapewnia stabilność dostaw.	
	Stosunkowo niskie koszty eksploatacji, przy jednoczesnej niskiej emisji zanieczyszczeń.	Skomplikowany proces budowy (wiercenia), infrastruktury i złożoność technologiczna.
		Ryzyko nieotrzymania założonych parametrów (temperaturowych jak i przepływowych).

Technologia	Zalety	Wady
SIECI NOWEJ GENERACJI W SYSTEMACH CIEPŁOWNICZYCH	Większa efektywność energetyczna (dla różnych wartości temperatury i strumieni czynnika roboczego).	Sieci nowej generacji to nie tylko rury preizolowane (z odpowiednią izolacją) ale także sieci kablowe (najczęściej ziemne) działające dwukierunkowo (np. w aspekcie odbierania od prosumentów nadmiarowej energii elektrycznej z instalacji PV. Dlatego też wadą może być konieczność odpowiedniego, dodatkowego niż w przypadku starszych rozwiązań, wyposażenia sieci w automatykę (czujniki, algorytmy, elementy wykonawcze), co niesie za sobą potencjalne ryzyko awarii.
	Większa niezawodność, sposobność wykrywania awarii i anomalii przez mniejszą ilość połączeń niż w starych sieciach ciepłowniczych oraz zastosowanie odpowiednich czujników.	
	Uniwersalizm – sieci te to także sieci kablowe – najczęściej ziemne, mniej narażone na warunki atmosferyczne pozwalające na dwukierunkowy przepływ prądu.	



■ 3. Prezentacja przykładów wdrożeń technologii niskoemisyjnych w ciepłowniach systemowych

■ 3.1 Ciepłownia przyszłości w Lidzbarku Warmińskim

Przedsięwzięcie: „Ciepłownia przyszłości, czyli system ciepłowniczy z OZE” oraz „Elektrociepłownia w lokalnym systemie energetycznym” są współfinansowane ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach poddziałania 4.1.3 Innowacyjne metody zarządzania badaniami Programu Inteligentny Rozwój 2014-2020, w ramach projektu pozakonkursowego „Podniesienie poziomu innowacyjności gospodarki poprzez wdrożenie nowego modelu finansowania przełomowych projektów badawczych”

- Sercem Ciepłowni Przyszłości są nasze polskie pompy ciepła. W opracowanej innowacyjnej technologii Ciepłowni Przyszłości wydajne, **rewersyjne pompy ciepła zintegrowano z trzema dolnymi źródłami: z powietrznymi wymiennikami ciepła, z niskotemperaturowym magazynem gruntowym oraz z wysokotemperaturowym magazynem wodnym. System zasilany jest energią elektryczną produkowaną bezpośrednio na miejscu z hybrydowych kolektorów słonecznych PVT oraz z pobliskiej instalacji fotowoltaicznej. W zimowe noce system wspierany jest energią elektryczną dostarczaną z Krajowej Sieci Elektroenergetycznej, w tym zakupioną z gwarancją pochodzenia z odnawialnych źródeł energii w ramach kontraktów typu Power Purchase Agreement (w skrócie PPA) - wyjaśnia dr inż. Tomasz Walczak, CTO Euros Energy.**

Źródło: [Ciepłownia przyszłości w Lidzbarku Warmińskim](#) (dostęp: 28.09.2024)

(...) Do 2027 roku w Rzeszowie ma powstać wielkoskalowa pompa ciepła o mocy 14 MWt. To szansa na całkowite odejście od emisji CO₂ i tanią energię dla mieszkańców. (...)

Źródło: [Wielkoskalowa pompa ciepła powstanie w Rzeszowie. Źródłem energii będzie oczyszczalnia ścieków \(swiatoze.pl\)](#) (dostęp 29.09.2024)



(...) W Krakowie ciepło może być w przyszłości produkowane przez wielkoskalowe pompy ciepła. Umowę w tej sprawie podpisały PGE Energia Ciepła i krakowskie Miejskie Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej. (...)

Źródło: [Kraków odzyska ciepło ze ścieków dzięki pompie ciepła. PGE i MPEC podpisały umowę \(300gospodarka.pl\)](https://300gospodarka.pl) (dostęp 29.09.2024)

3.2 PGE wdrożyło technologię P2H w PGE Energia Ciepła w Gdańsku

(...) To pionierski projekt w zakresie elektryfikacji ciepłownictwa w Polsce. Technologia power-to-heat wpłynęła tej zimy po raz pierwszy na zmniejszenie zużycia węgla i emisji CO₂ w elektrociepłowni w Gdańsku.

Rok temu w gdańskiej elektrociepłowni, która należy do PGE Energia Ciepła, oddana została do eksploatacji nowa kotłownia o mocy 130 MW z pierwszymi w Polsce kotłami elektrodowymi zasilanymi energią elektryczną.

Kotły elektrodowe pełnią w elektrociepłowni funkcję rezerwowo-szczytową, gwarantując bezpieczeństwo dostaw ciepła w sytuacji zwiększonego zapotrzebowania przy niskich temperaturach. W tym przypadku energia elektryczna zasilająca kotły pochodzi bezpośrednio z produkcji w elektrociepłowni. W tej funkcji kotły przepracowały 430 godzin. (...)

Źródło: [PGE wdrożyło technologię power-to-heat. Jakie efekty? - Gramwzielone.pl](https://gramwzielone.pl) (dostęp 28.09.2024)

3.3 Enea wyprodukuje ciepło z zielonego wodoru

Enea Ciepło podpisała umowę z Narodowym Centrum Badań i Rozwoju na dofinansowanie prac badawczo-rozwojowych w zakresie wykorzystania zielonego wodoru w ciepłownictwie. Zadaniem konsorcjum, w którego skład wchodzi spółka z Grupy Enea, jest stworzenie koncepcji zasilania silnika gazowego zielonym wodorem wyprodukowanym w elektrolizerze dzięki energii elektrycznej pochodzącej w 100 proc. ze źródeł odnawialnych.



W konkursie Enea Ciepło, działając wspólnie z Zakładami Pomiarowo-Badawczymi Energetyki Energopomiar z Gliwic, wykona koncepcję zasilania silnika gazowego zielonym wodorem wyprodukowanym w elektrolizerze, który zasilany jest w 100 proc. energią elektryczną wyprodukowaną ze źródeł OZE.

W proponowanym przez konsorcjum z udziałem Enei Ciepło rozwiązaniu uwzględniono elektrolizer, magazyn wodoru, silnik gazowy, akumulator ciepła oraz kocioł szczytowy. Całkowita planowana zainstalowana moc cieplna to 1,1 MW, natomiast elektryczna wynosi 0,45 MW.

Źródło: [Enea Ciepło dzięki udziałowi w konkursie NCBR sprawdzi możliwości wykorzystania zielonego wodoru w ciepłownictwie | Informacje prasowe | Biuro Prasowe Grupy Enea](#) (dostęp 28.09.2024)

■ 3.4 Magazyny energii

Energia Wytwarzanie przygotowuje się do odłączenia swojego baterijnego magazynu energii od farmy wiatrowej Bystra. Zamiast tego, obiekt zostanie podłączony bezpośrednio do sieci dystrybucyjnej 110 kV i będzie uczestniczył w bilansowaniu Krajowego Systemu Elektroenergetycznego.

Źródło: [Największy baterijny magazyn energii w Polsce wchodzi do rynku mocy \(wnp.pl\)](#) (dostęp 28.09.2024)

Grupa PGE przygotowuje się do uruchomienia postępowania zakupowego na zaprojektowanie i budowę, w formule pod klucz, wielkoskalowego baterijnego magazynu energii elektrycznej, o mocy do 263 MW oraz pojemności minimalnej 900 MWh.

Źródło: [PGE uruchomi przetarg na budowę magazynu energii Żarnowiec \(gkpge.pl\)](#) (dostęp 28.09.2024)

Polska Grupa Energetyczna (PGE) ogłosiła największy w Europie przetarg na realizację rozproszonych magazynów energii elektrycznej. W ramach projektu powstanie 26 magazynów energii o mocach od 2 MW do 10 MW, co da łącznie 107 MW mocy i 214 MWh pojemności. To ważny krok w kierunku



zwiększenia elastyczności i stabilności polskiego systemu elektroenergetycznego, szczególnie w kontekście rosnącej roli odnawialnych źródeł energii (OZE).

Źródło: [PGE uruchamia największy w Europie przetarg na rozproszone magazyny energii - e-magazyny.pl](https://e-magazyny.pl)
(dostęp 28.09.2024)

■ 3.5 Inteligentne systemy sterowania systemami ciepłowniczymi

(...) Głównym systemem wspierającym monitorowanie pracy sieci jest telemetria, czyli zdalny dostęp do węzłów ciepłych oraz komór ciepłowniczych i odczyt parametrów tych urządzeń, co umożliwia ich regulację na odległość, uzupełnianie wody w instalacjach grzewczych odbiorców, a także przekazywanie informacji o zakłóceniach w pracy sieci i węzłów oraz lokalizacji awarii. (...)

Bytom

PEC Sp. z o.o. wyposaża węzły w sterowniki pozwalające dostosować pracę węzła do potrzeb klienta – np. zdalną regulację ilości i jakości ciepła. Dyspozytor przez całą dobę nadzoruje pracę węzłów, koryguje ją i reaguje na zakłócenia lub awarie.

Pomiary stanu sieci ciepłowniczych, które objęte są systemem nadzoru rurociągów preizolowanych (to około 90 proc. infrastruktury ciepłowniczej), pozwalają wychwycić pierwsze objawy awarii rurociągów.

PEC uruchomił [Radzionkowski i Bytomski Alarm Smogowy](#) – informacje dla mieszkańców o stanie powietrza oraz innych istotnych sprawach związanych z dostawą ciepła oraz ochroną środowiska.

Gliwice

PEC z końcem października 2020 roku uruchomił, oparty na wielowarstwowych jednokierunkowych sieciach neuronowych, samouczący się system sztucznej inteligencji zarządzający produkcją ciepła.

System decyduje o mocy, jaką należy zapewnić odbiorcom, analizując kluczowe zmienne: aktualne i prognozowane warunki pogodowe (temperaturę, zachmurzenie, prędkość wiatru, wilgotność).





Efekt: ograniczenie strat przesyłowych w rurociągach dystrybucji ciepła, a tym samym zwiększenie efektywności cieplnej PEC Gliwice. Dodatkowo, dzięki wdrożonemu układowi, zmniejszy się emisja dwutlenku węgla do atmosfery.

Zabrze

PEC Sp. z o.o. do obsługi części węzłów cieplnych wykorzystuje sterowniki swobodnie programowalne Saia oraz program SCADA ControlMaestro, co stanowi spójne środowisko sterowania, monitorowania i nadzoru nad węzłami cieplnymi oraz licznikami ciepła i wodomierzami. Przy awarii nadrzędnego systemu monitoringu węzłów cieplnych SCADA sterownik wyposażony w aplikację webową może przejąć lokalnie jego funkcje, dając możliwość zdalnego dostępu do wizualizacji pracy węzła oraz wszystkich danych zarówno bieżących, jak i historycznych (niezbędnych w czasie prac serwisowych). Zdalny dostęp do węzłów cieplnych umożliwia również dokonywanie zmian w programie sterującym w dowolnym czasie bez konieczności obecności serwisantów, co ma szczególne znaczenie w czasie pandemii, a dodatkowo znacznie skraca akcje naprawczo-serwisowe.

Źródło: [Magazyn Ciepła Systemowego - Ciepłownictwo inteligentne i zdalne \(magazyncieplasytemowego.pl\)](https://magazyncieplasytemowego.pl) dostęp (28.09.2024)

■ 3.6 Ciepło odpadowe

(...) PEC Ciechanów w 2022 roku zbudował kolejną, nową instalację ciepła odpadowego z przemysłu, prawdopodobnie unikatową w skali kraju. Konsekwentnie też dąży do uzyskania statusu efektywnej sieci ciepłowniczej.

Mając tą świadomość PEC Ciechanów w roku 2022 zbudował kolejną, nową instalację ciepła odpadowego z przemysłu, prawdopodobnie unikatową w skali kraju. Ciepło z procesów chłodzenia kondensatu pary wykorzystywanej do adsorpcji rozpuszczalnika jest wykorzystywane bezpośrednio, bez potrzeby podnoszenia jego parametrów na potrzeby systemu ciepłowniczego. Pomysł wykorzystania ciepła odpadowego z drukarni BPC Sp. z o.o. zrodził się w efekcie analizy możliwości zagospodarowania zasobów przemysłowych ciepła odpadowego. Każdy z otaczających ciepłownię zakładów przemysłowych ma



instalacje chłodnicze na potrzeby procesowe produkcji, często są to agregaty sprężarkowe, ponosi więc coraz większe koszty chłodzenia dysponując ciepłem odpadowym. Istotnym czynnikiem mającym wpływ na nasz wybór była odległość od sieci ciepłowniczej, istniejąca infrastruktura i parametry tego ciepła determinujące skalę niezbędnych nakładów. Ponieważ potrzeba zastąpienia dotychczasowego źródła ciepła odpadowego z przemysłu, o którym mowa dalej, była bardzo pilna z powodów ekonomicznych dla PEC Ciechanów i spotkała się z dużym zainteresowaniem tańszą opcją chłodzenia w dobie wzrostu kosztów paliw wynikającego z kryzysu energetycznego po stronie przedsiębiorstwa przemysłowego, bardzo szybko podjęto decyzję o wspólnej realizacji projektu. Przy proporcjonalnej partycypacji w nakładach. Zwrot inwestycji oszacowano wstępnie dla stron na około rok pracy instalacji. Drukarnia nie dysponowała jednak pomiarami jakości nośnika ciepła odpadowego i kalkulacje opierały się na szacunkach i krótkim pomiarze, ale mając na uwadze, że przy dużym obciążeniu produkcją instalacja odzysku ciepła ma szansę na rozbudowy o nowe moce. (...)

Źródło: [JAK PEC CIECHANÓW EFEKTYWNIE ZAGOSPODAROWAŁ CIEPŁO ODPADOWE \(nowoczesnecieplownictwo.pl\)](https://nowoczesnecieplownictwo.pl) dostęp (29.09.2024),

Ciepło odpadowe to także instalacje OZE w których dolnym źródłem jest oczyszczalnia ścieków. Można wykorzystać wtedy np. generowany biogaz, ale można także wykorzystać wodę szarą jako dolne źródło ciepła w pompach ciepła.

Realizacje:

Bytomskie Przedsiębiorstwo Komunalne Sp. z o.o. w dniu 14 czerwca 2024 roku podpisało umowę o dofinansowanie projektu pn. Budowa instalacji OZE opartej o biogaz na oczyszczalni ścieków „Centralna” w Bytomiu przy ul. Sikorskiego 5a w Radzionkowie.

Źródło: [Budowa instalacji OZE opartej o biogaz na oczyszczalni ścieków „Centralna” - Bytomskie Przedsiębiorstwo Komunalne Sp. z o.o. \(bpk.pl\)](https://bpk.pl) (dostęp 29.09.2024)



■ 3.7 Energetyczne wykorzystanie ciepła geotermalnego

Wykorzystanie jest różnorakie, pełna lista najnowszych inwestycji (zrealizowanych po roku 2021) znajduje się w publikacji B. Kępińskiej i M. Hajto:

[PRZEGLĄD-WYKORZYSTANIA-ENERGII-GEOTERMALNEJ.pdf \(kongresgeotermalny.pl\)](#) (dostęp 29.09.2024)

W publikacji wymieniono m. in:

- Suszenie drewna
- Pilotażową hodowlę alg
- Hodowlę łososia atlantyckiego i inn.

W aspekcie ciepłowniczym prof. B. Kępińska wymienia siedem systemów C.O. pracujących w Polsce, których łączna moc geotermalna. Wyniosła około 129MW, a produkcja ciepła 1122TJ. Udział ciepła geotermalnego waha się w tych systemach na poziomie 30-100%.

źródło: Wykorzystanie energii geotermalnej w Polsce w latach 2019–2021 Beata Kępińska, Przegląd Geologiczny, vol. 69, nr 9, 2021.

■ 3.8 Sieci nowej generacji w systemach ciepłowniczych

(...) Tauron uruchomił mikrosieć, czyli małą sieć elektroenergetyczną pozwalającą na zagwarantowanie, nawet w sytuacjach ekstremalnych, dostaw energii elektrycznej dla odbiorców do niej przyłączonych. Uruchomiony w Bytomiu system dysponuje mocami wiatrowymi, panelami fotowoltaicznymi oraz stabilizującymi system magazynem energii i agregatorem gazowym. Tauron zapewnia, że jest to pierwszy w Polsce funkcjonujący układ mikrosieci. (...)

Źródło: [W Bytomiu powstała mikrosieć bazująca na OZE - Gramwzielone.pl](#) (dostęp 29.09.2024)



■ 4. Bibliografia

Rozdział 1. Pompy ciepła

1. OBIEGI TERMODYNAMICZNE OBIEG LEWOBIEŻNY – POMPA CIEPŁA, Laboratorium, termodynamika. AGH, dr inż. Jerzy Wojciechowski
2. Termodynamika, Jan Szargut, Wydawnictwo Naukowe PWN
3. Pompy ciepła, Janusz Strzyżewski, Wiedza i Praktyka, 2023
4. [Pompa ciepła - zasada działania | Poradnik projektanta](#) dostęp: 30.09.2024
5. [Pompa ciepła - czym jest i jakie ma zalety | Buderus Polska](#) dostęp: 30.09.2024

Rozdział 2. P2H

1. [Instalacje P2H \(sefako.pl\)](#) dostęp: 30.09.2024
2. [JAKI JEST POTENCJAŁ TECHNOLOGII POWER-2-HEAT? \(nowoczesnecieplownictwo.pl\)](#) dostęp: 30.09.2024
3. [Combined Heat & Power \(CHP\) \(lowtemp.eu\)](#) dostęp 30.09.2024

Rozdział 3. Kolektory słoneczne

1. Kolektory słoneczne. Podstawy teoretyczne, budowa, badania, Jacek Zimny, Rafał Brzegowy, Sebastian Bielik
2. [Kolektory słoneczne na ciepłą wodę, solary do podgrzewania wody - Hewalex](#) dostęp 30.09.2024
3. [Kolektory słoneczne - zestawienie najważniejszych faktów | Viessmann PL](#) dostęp: 30.09.2024

Rozdział 4. Technologie wytwarzania i wykorzystania wodoru

1. [Czym są technologie wodorowe i jakie stwarzają możliwości? - Elektronika, elektryka i technologia \(ewektor.pl\)](#) dostęp: 30.09.2024
2. [Eco-Prius - Elektroliza i ogniwa paliwowe \(ecoprius.pl\)](#) dostęp: 30.09.2024
3. [Elektroliza wody – produkcja zielonego wodoru. Przebieg procesu i obszary zastosowania - Ses Hydrogen](#) dostęp: 30.09.2024

Rozdział 5. Magazyny Energii

1. ENERGETYKA ODNAWIALNA W BUDOWNICTWIE. MAGAZYNOWANIE ENERGII, red., L. DO, CHWIEDUK, M. JAWORSKI. PWN
2. [Magazyny energii w systemie elektroenergetycznym - Energetyka.plus](#) dostęp 30.09.2024
3. Magazyny energii niezbędnym elementem transformacji energetycznej Barbara Adamska, Energetyka Rozproszona zeszyt 7, <https://doi.org/10.7494/er.2022.7.55>



Rozdział 6. Inteligentne systemy sterowania systemami ciepłowniczymi

1. [NFOŚiGW chce digitalizować sieci ciepłownicze - GLOBENERGIA](#) dostęp 30.09.2024
2. [INTELIGENTNE SIECI CIEPŁOWNICZE – SPOSÓB NA TRANSFORMACJĘ \(nowoczesnecieplownictwo.pl\)](#) dostęp 30.09.2024

Rozdział 7. Ciepło odpadowe

1. [Ciepło odpadowe jako źródło ogrzewania - innowacyjne podejście do zrównoważonej energetyki | Fortum](#) dostęp 30.09.2024
2. [Jak maksymalnie wykorzystać ciepło odpadowe w instalacjach? Sprawdzone metody i technologie \(onninen.pl\)](#) dostęp 30.09.2024
3. [Energetyka-Rozproszona](#) dostęp 30.09.2024

Rozdział 8. Ciepło geotermalne

1. PRZEGLĄD WYKORZYSTANIA ENERGII GEOTERMALNEJ W POLSCE W LATACH 2022–2023, B. Kępińska, M. Hajto. VII Ogólnopolski kongres geotermalny 2023
2. [Geotermia w Polsce - PSG - Polskie Stowarzyszenie Geotermiczne \(energia.geotermalna.org.pl\)](#) dostęp 30.09.2024
3. PRZEGLĄD STANU WYKORZYSTANIA ENERGII GEOTERMALNEJ W POLSCE W LATACH 2016 2018, Beata Kępińska, Technika Poszukiwań Geologicznych, Geotermia, Zrównoważony Rozwój, nr 1/2018

Rozdział 9. Sieci nowej generacji w systemach ciepłowniczych.

1. [Sieci coraz nowszej generacji - Sieci coraz nowszej generacji \(magazynieplsystemowego.pl\)](#) dostęp 30.09.2024
2. [Dekarbonizacja ciepłownictwa systemowego w Polsce – szanse i wyzwania | EY Polska](#) dostęp 30.09.2024
3. [Rozwój sieci i systemów ciepłowniczych jednym z kluczowych wyzwań przyszłości – Energetykacieplna.pl](#) dostęp 30.09.2024

