



Dekarbonizacja systemów grzewczych poprzez zastępowanie grzałek elektrycznych źródłem biomasowym w instalacjach z pompą ciepła

Decarbonization of heating systems by replacing electric heaters with a biomass source in heat pump installations



Mgr inż. Ireneusz Bauma

ORCID ID: [0009-0009-6488-9308](https://orcid.org/0009-0009-6488-9308)

Wydział Inżynierii Środowiska

i Energetyki

Politechnika Poznańska

ireneusz.bauma@doctorate.put.poznan.pl

Słowa kluczowe: pompa ciepła, dekarbonizacja, wodór, H2 Ready, biwalentny system grzewczy, biomasa, pellet

Streszczenie

W artykule przedstawiono analizę możliwości wykorzystania pomp ciepła do dekarbonizacji systemów grzewczych poprzez zastępowanie grzałek elektrycznych źródłami odnawialnymi (gazowymi i biomasowymi). Omówiono aktualne uwarunkowania transformacji energetycznej w Polsce i Unii Europejskiej, ze szczególnym uwzględnieniem wykorzystania gazu ziemnego, wodoru oraz biomasy w budownictwie indywidualnym. Dodatkowo zaprezentowano analizę techniczną biwalentnych systemów grzewczych opartych na pompach ciepła z dodatkowymi źródłami szczytowymi: kotłami elektrycznymi, gazowymi i biomasowymi (pellet drzewny). Zastosowanie biomasy w układach hybrydowych pozwala na dalsze ograniczenie emisji CO₂ przy zachowaniu wysokiej efektywności energetycznej pomp ciepła. Autor prezentuje również koncepcję kotła kondensacyjnego małej mocy na biomasę, opracowywanego w ramach programu „Doktorat Wdrożeniowy”, który może zaistnieć w nowoczesnych systemach niskoemisyjnych.

Keywords: heat pump, decarbonisation, hydrogen, H2 Ready, hybrid heating system, biomass, pellets

Abstract

The article analyses the potential of heat pumps to support the decarbonisation of heating systems by replacing electric resistance heaters with gas-fired and biomass-based heat sources. It discusses the current conditions shaping the energy transition in Poland and the European Union, with particular emphasis on the use of natural gas, hydrogen, and biomass in individual residential buildings. In addition, a technical analysis is presented of bivalent heating systems based on heat pumps combined with supplementary peak-load heat sources, namely electric, gas-fired, and biomass-fired boilers using wood pellets. The use of biomass in hybrid systems enables further reductions in CO₂ emissions while maintaining the high energy efficiency of heat pumps. The article also presents a concept for a small-capacity biomass condensing boiler, currently being developed under Poland's "Implementation Doctorate" programme, which could serve as an auxiliary heat source in modern low-emission heating systems.

Wstęp

Podstawowym elementem walki z globalnymi zmianami klimatycznymi jest redukcja emisji dwutlenku węgla (CO₂) oraz innych gazów cieplarnianych (GHG – *ang. greenhouse gases*) do atmosfery. W odpowiedzi na zaostrzone regulacje środowiskowe, prowadzące do stopniowego wycofywania paliw kopalnych, w sektorze ogrzewnictwa coraz większego znaczenia nabiera integracja technologii odnawialnych źródeł energii (OZE) z wysokosprawnymi systemami grzewczymi. W tym kontekście gaz ziemny pełni rolę paliwa przejściowego, a jego przyszłość coraz częściej związana jest z możliwością współspalania z wodorem lub zastępowania biometanem i biogazem (Ciupek i in., 2019; Rogowska & Pajda, 2020; Vakylabad i in., 2023; Salim i in., 2024).

Gaz ziemny stanowi obecnie dominujące paliwo w sektorze ogrzewania budynków w Unii Europejskiej (UE), odpowiadając za około 30,9% całkowitego zużycia energii.

W niektórych krajach, takich jak Holandia (66,2%), Włochy (49,8%), Węgry (49,2%) czy Luksemburg (46,2%), udział ten przekracza 40%. W konsekwencji sektor budynków w UE generuje około 34% emisji gazów cieplarnianych związanych z energią, przy czym znaczną część stanowią emisje wynikające z bezpośredniego spalania paliw kopalnych w systemach grzewczych. Szacuje się, że roczna emisja CO₂ w UE wynikająca z wykorzystania gazu ziemnego na cele grzewcze wynosi około 220 milionów ton (Lipiäinen i in., 2023).

W Polsce, zgodnie z dokumentem *Polityka Energetyczna Polski do 2040 roku* (Ministerstwo Klimatu i Środowiska, 2021), planowana transformacja sektora grzewczego opiera się na rozwoju OZE oraz zastępowaniu nieefektywnych źródeł ciepła urządzeniami niskoemisyjnymi. Przykładowe dane Centralnej Ewidencji Emisyjności Budynków (CEEB) wskazują, że aż 56,08% budynków jednorodzinnych w kraju ogrzewanych jest paliwami stałymi (3 390 016 domów), z czego 46,85% wykorzystuje urządzenia niespełniające

Tabela 1. Udział źródeł ciepła w systemach ogrzewania stosowanych w Polsce (Główny Urząd Nadzoru Budowlanego, 2026)
Table 1. The share of heat sources in heating systems used in Poland (Główny Urząd Nadzoru Budowlanego, 2026)

Źródła ciepła	Liczba źródeł ciepła	Udział procentowy
Kocioł gazowy / bojler gazowy / podgrzewacz gazowy przepływowy / kominiek gazowy	4 914 184	28
Kocioł na paliwo stałe (węgiel, drewno, pellet lub inny rodzaj biomasy) z ręcznym podawaniem paliwa / zasypowy	2 889 587	16
Ogrzewanie elektryczne / bojler elektryczny	2 643 625	15
Kominiek / koza / ogrzewacz powietrza na paliwo stałe (drewno, pellet lub inny rodzaj biomasy, węgiel)	1 588 594	9
Kocioł na paliwo stałe (węgiel, drewno, pellet lub inny rodzaj biomasy) z automatycznym podawaniem paliwa / z podajnikiem	1 368 749	8
Miejska sieć ciepłownicza / ciepło systemowe / lokalna sieć ciepłownicza	1 089 582	6
Piec kaflowy na paliwo stałe (węgiel, drewno, pellet lub inny rodzaj biomasy)	1 057 225	6
Trzon kuchenny / piecokuchnia / kuchnia węglowa	836 479	5
Kolektory słoneczne do ciepłej wody użytkowej lub z funkcją wspomaganie ogrzewania	477 518	3
Pompa ciepła	421 140	3
Kocioł olejowy	134 553	1
Suma:	17 421 236	100

norm emisyjnych klasy 5. Szczegółowy udział poszczególnych źródeł ciepła przedstawiono w Tabeli 1.

Mimo rozwoju programów wsparcia, takich jak *Czyste Powietrze*, modernizacja systemów grzewczych w Polsce nadal napotyka na bariery techniczne i ekonomiczne. Niestabilność cen energii elektrycznej, gazu, węgla i pelletu w ostatnich latach utrudnia inwestorom wybór technologii grzewczych. Coraz większą uwagę zwracają zatem rozwiązania łączące pompy ciepła z dodatkowymi źródłami ciepła, tworząc biwalentne układy grzewcze, które łączą wysoką efektywność energetyczną z elastycznością eksploatacyjną.

Równolegle rozwija się koncepcja technologii *H₂Ready*, umożliwiającej częściowe zastąpienie gazu ziemnego wodorem. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2024/1788 z dnia 13 czerwca 2024 r. dopuszcza mieszanie wodoru z gazem ziemnym, choć nie określa jednoznacznego stężenia referencyjnego. W poszczególnych krajach UE przyjęto różne limity: Niemcy – do 10% objętości, Francja – 6%, Austria – 4%, Szwajcaria – 2% (Lipiäinen i in. 2023).

Celem niniejszego artykułu jest ocena możliwości technicznych i środowiskowych integracji pomp ciepła z nowoczesnymi źródłami ciepła, w tym z kotłami gazowymi typu *H₂Ready* oraz kotłami biomasowymi, w kontekście dekarbonizacji ogrzewnictwa indywidualnego. Zakres badań wykonanych przez autora obejmuje ocenę perspektyw wdrożenia kondensacyjnego kotła biomasowego małej mocy współpracującego z pompą ciepła. Z punktu widzenia przemysłu grzewczego praca ma znaczenie praktyczne:

- wskazuje możliwości technicznego wykorzystania istniejących instalacji gazowych w systemach niskoemisyjnych,
- umożliwia optymalizację kosztów eksploatacyjnych poprzez zastąpienie energii elektrycznej innymi nośnikami, np. biomasą lub gazem z domieszką wodoru,
- stanowi podstawę do rozwoju krajowych rozwiązań w obszarze hybrydowych systemów *H₂Ready* i biomasowych układów kondensacyjnych, które mogą być produkowane w Polsce.

Analiza techniczna rozwiązań

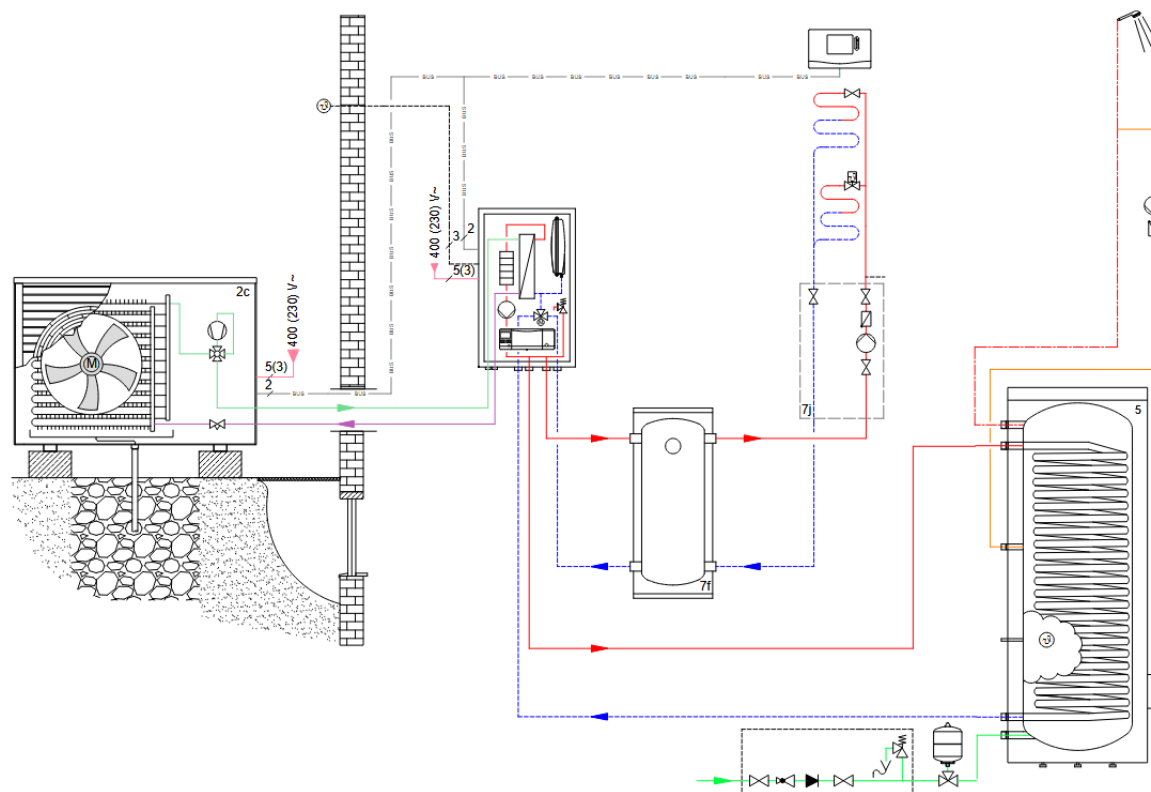
Biwalentne systemy grzewcze oparte na powietrznych pompach ciepła

Monowalentne systemy grzewcze, w których jedynym źródłem ciepła jest powietrzna pompa ciepła, charakteryzują się zmienną efektywnością pracy sprężarki w ciągu roku. Efektywność ta jest silnie uzależniona od warunków eksploatacyjnych, w tym od temperatury i wilgotności powietrza zewnętrznego. Z uwagi na konieczność zapewnienia komfortu cieplnego użytkownikom końcowym, w praktyce rynkowej powszechnie stosuje się biwalentne systemy grzewcze. W konfiguracji biwalentnej powietrzna pompa ciepła jest wspomagana przez dodatkowe źródło ciepła, najczęściej w postaci elektrycznej grzałki zintegrowanej z układem hydraulicznym jednostki wewnętrznej lub oddzielnego kotła elektrycznego.

Konstrukcyjne założenie dodatkowego źródła ciepła polega na wspieraniu lub zastępowaniu pracy pompy ciepła w sytuacjach, gdy system operuje poniżej temperatury biwalentnej. Niemniej istotną funkcją jest zapewnienie rezerwowego źródła ciepła w przypadku awarii jednostki zewnętrznej pompy ciepła, co gwarantuje ciągłość ogrzewania.

Pompa ciepła z grzałką lub kotłem elektrycznym

Elektryczne grzałki wspomagające (Rysunek 1.) charakteryzują się prostą integracją z systemami pomp ciepła. Jednakże ich eksploatacja wiąże się z wysokimi kosztami operacyjnymi, wynikającymi z rosnących cen energii elektrycznej. Ekonomiczne konsekwencje ich użycia są szczególnie dotkliwe dla inwestorów w przypadkach niedowymiarowania mocy pompy ciepła w stosunku do zapotrzebowania cieplnego budynku. W połączeniu z występowaniem niskich temperatur zewnętrznych i wysokiej wilgotności powietrza, skutkuje częstym uruchamianiem dogrzewania elektrycznego. Ponadto, zastosowanie grzałek elektrycznych, zwłaszcza w konfiguracji jednofazowej, może prowadzić do znaczącego obciążenia lokalnych sieci elektroenergetycznych, szczególnie w obszarach o wysokiej gęstości instalacji pomp ciepła podłączonych



Rysunek 1. Schemat hydrauliczny pompy ciepła z grzałką elektryczną (Vaillant Saunier Duval Sp. z o.o., 2024)
Figure 1. Hydraulic diagram of a heat pump with an electric heater (Vaillant Saunier Duval Sp. z o.o., 2024)

Tabela 2. Ceny gazu ziemnego TTF UE-Holandia w okresie 2010–2025 (Trading Economics)
Table 2. Natural gas prices TTF UE- Netherlands for 2010–2025 (Trading Economics)

Obecna	Poprzednia	Najwyższa	Najniższa	Jednostka
35,38	35,37	345,00	3,37	EUR/MWh

w analogiczny sposób. Nierównomierne obciążenie faz zasilających może skutkować przeciążeniem i awaryjnym wyłączeniem transformatorów dystrybucyjnych lub uruchomieniem zabezpieczenia głównej instalacji odbiorcy (np. ogranicznika prądowego o wartości 25 A) podczas pracy systemu w okresach charakteryzujących się niskimi wartościami temperatury zewnętrznej. Ponadto, w przypadku systemu elektroenergetycznego o wysokiej emisyjności, uruchamianie elektrycznego źródła szczytowego współpracującego z pompą ciepła zwiększa się zużycie energii elektrycznej, a tym samym pośrednią emisję CO₂ związaną z jej wytwarzaniem. Wielkość tej emisji zależy od aktualnego miksu energetycznego oraz emisyjności źródeł wykorzystywanych do pokrycia zwiększonego zapotrzebowania na energię elektryczną.

Pompa ciepła z kotłem gazowym

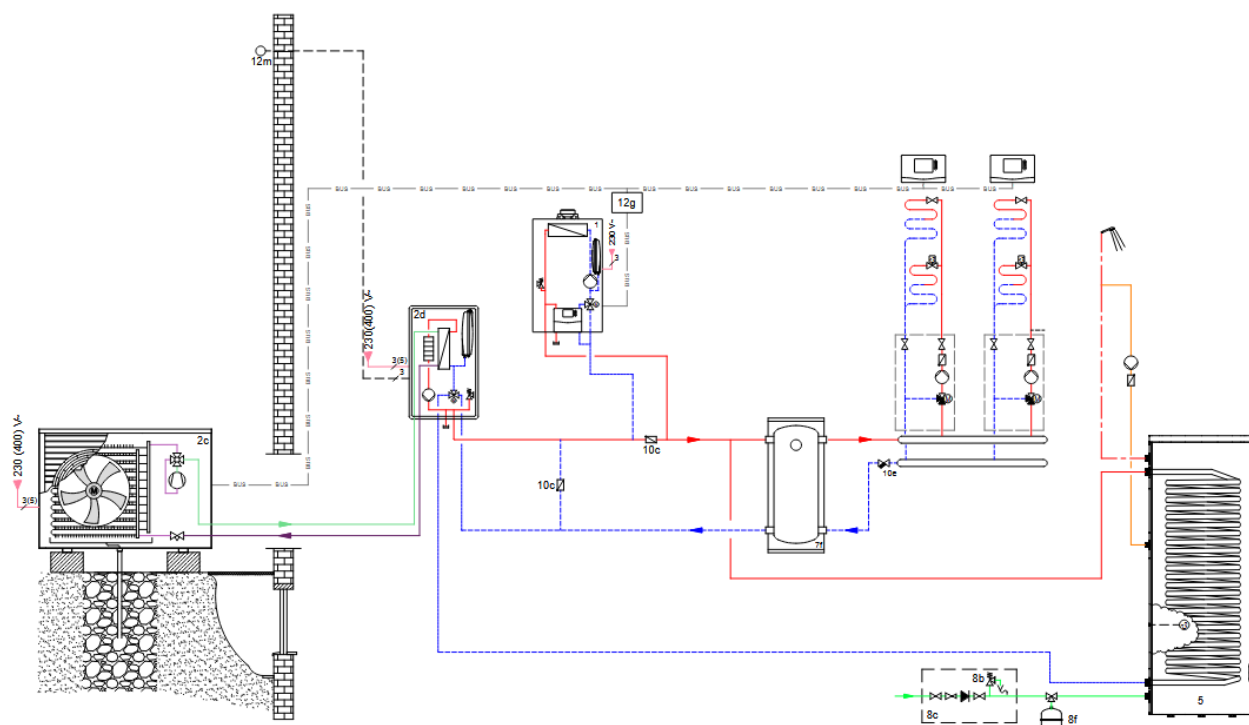
W latach 2021–2023 modernizacja systemów grzewczych w Polsce charakteryzowała się dominującym trendem zastępowania istniejących kotłów na paliwa stałe i kotłów gazowych starszej generacji pompami ciepła lub integrowania pomp ciepła z istniejącymi instalacjami hydraulicznymi. Rozwiązania te zyskały popularność na rynku wykonawczym przede wszystkim w odpowiedzi na ograniczoną dostępność oraz wzrost cen paliw kopalnych, takich jak węgiel kamienny, gaz ziemny i olej opałowy, wynikające m.in. z globalnych wydarzeń geopolitycznych i gospodarczych (Tabela 2.).

Aktualne rozwiązania prawne umożliwiają zwiększenie udziału energii odnawialnej poprzez dodawanie do gazu

ziemnego wodoru wytwarzanego z wykorzystaniem nadwyżek energii z OZE. Urządzenia oferowane przez producentów kotłów są oznaczane etykietą H₂-Ready lub PtG (ang. Power to Gas). Na Rysunku 2 przedstawiono hybrydowy układ pompy ciepła współpracującej z kotłem gazowym. Kocioł z otwartą lub zamkniętą komorą spalania będzie w tym układzie źródłem wysokotemperaturowym, natomiast kocioł kondensacyjny może pracować jako źródło niskotemperaturowe. W przypadku modernizacji układu kotłowego polegającej na dołączeniu powietrznej pompy ciepła w układzie zastosowano dodatkowy bufor ciepła.

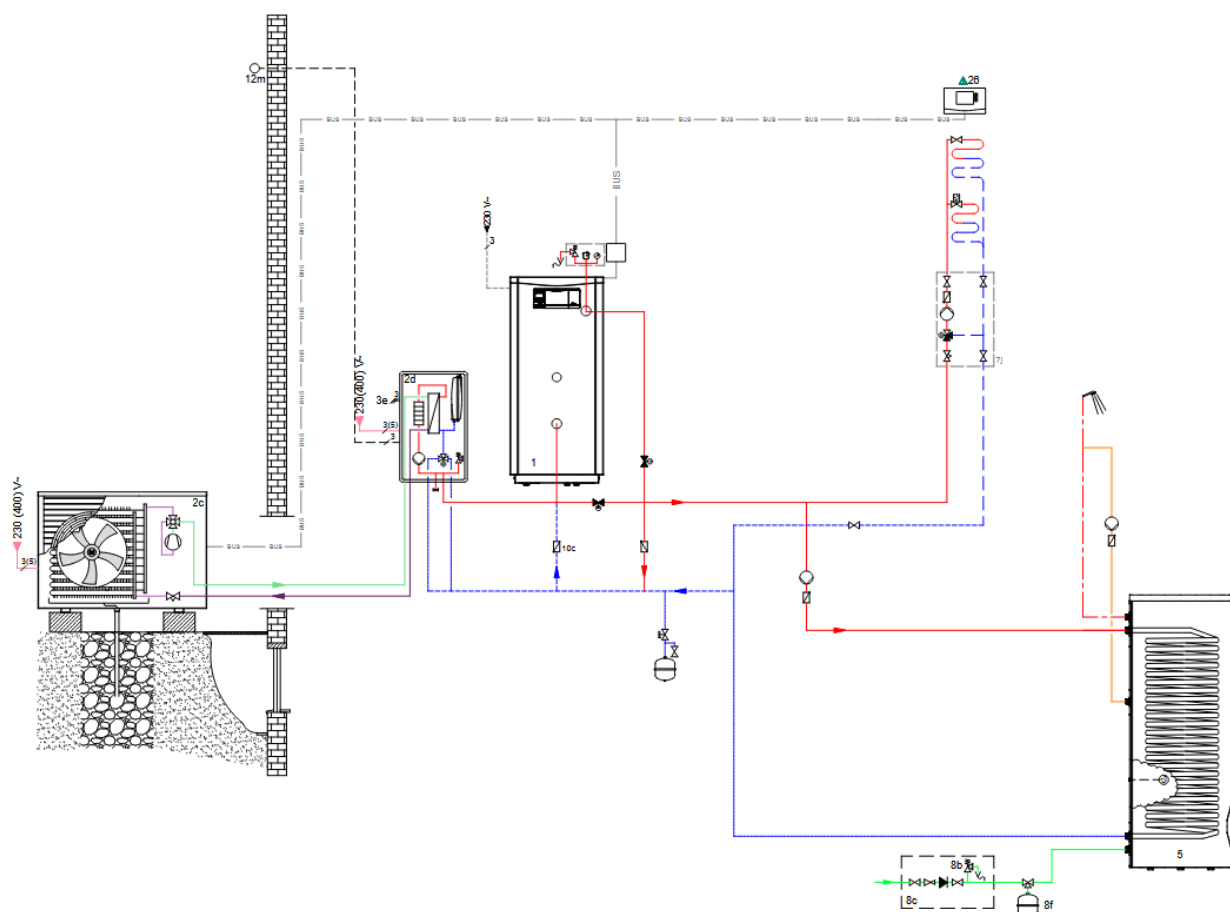
Tematyka wykorzystania wodoru wciąż pozostaje niedoceniana zarówno w technologii kotłów grzewczych, jak i w zastosowaniach przemysłowych. W aktualnych warunkach funkcjonowania krajowego systemu elektroenergetycznego, szczególnie w okresach wiosennych i jesiennych, obserwuje się częste ograniczanie pracy źródeł odnawialnych. W celu stabilizacji sieci operator systemu przesyłowego (PSE) jest zmuszony do czasowego ograniczania pracy instalacji wiatrowych i fotowoltaicznych z powodu nadpodaży energii elektrycznej.

W takich warunkach zasadne wydaje się wykorzystanie nadwyżek energii z OZE do produkcji wodoru, tzw. zielonego wodoru. Paliwo to, wytwarzane z wykorzystaniem energii wiatrowej i słonecznej, może być magazynowane pod ciśnieniem, a następnie wykorzystywane w okresach deficytu mocy w systemie – zarówno w ogniach paliwowych, jak i w turbinach gazowych czy kotłach przystoso-



Rysunek 2. Schemat hydrauliczny układu hybrydowego pompy ciepła z wiszącym kotłem gazowym (Vaillant Saunier Duval Sp. z o.o., 2024)

Figure 2. Hydraulic diagram of a hybrid heat pump system with a wall-mounted gas boiler (Vaillant Saunier Duval Sp. z o.o., 2024)



Rysunek 3. Schemat hydrauliczny układu hybrydowego pompy ciepła z stojącym kotłem gazowym (Vaillant Saunier Duval Sp. z o.o., 2024)

Figure 3. Hydraulic diagram of a hybrid heat pump system with an existing gas boiler (Vaillant Saunier Duval Sp. z o.o., 2024)

Tabela 3. Ceny pelletu drzewnego (Klasa ENplus A1). Źródło: opracowanie własne
Table 3. Wood pellets prices (Class ENplus A1). Source: authors' own study

Obecny	Poprzedni	Najwyższa	Najniższa	Daty	Jednostka
1265,00	1800,00	4000,00	600,00	2010 – 2025	PLN/t

wanych do jego spalania. Dzięki temu możliwe staje się nie tylko bilansowanie pracy sieci elektroenergetycznej, lecz także zapewnienie bardziej ciągłej i efektywnej pracy instalacji OZE w ciągu roku.

Z ekonomicznego punktu widzenia wytwarzanie i wykorzystanie wodoru może przynosić szereg korzyści. Ograniczenie emisji CO₂ pozwala zmniejszyć koszty związane z opłatami ETS i ETS2, a dodatkowo produkcja wodoru może stanowić źródło przychodów dla właścicieli instalacji energii odnawialnych. W skali gospodarstw domowych, przedsiębiorstw przemysłowych oraz całej gospodarki może się to przełożyć na obniżenie kosztu wytwarzania 1 kWh energii cieplnej.

Rozwój technologii wodorowych ma również strategiczne znaczenie dla bezpieczeństwa energetycznego kraju. Wodór, pełniąc funkcję nośnika i magazynu energii, może stanowić uzupełnienie niestabilnych źródeł odnawialnych. Jednocześnie stwarza możliwość wdrażania nowych rozwiązań technologicznych, takich jak kotły przystosowane do spalania czystego wodoru (np. systemy H₂GO), co wpisuje się w długofalową transformację sektora ciepłowniczego i elektroenergetycznego w kierunku zeroemisyjności.

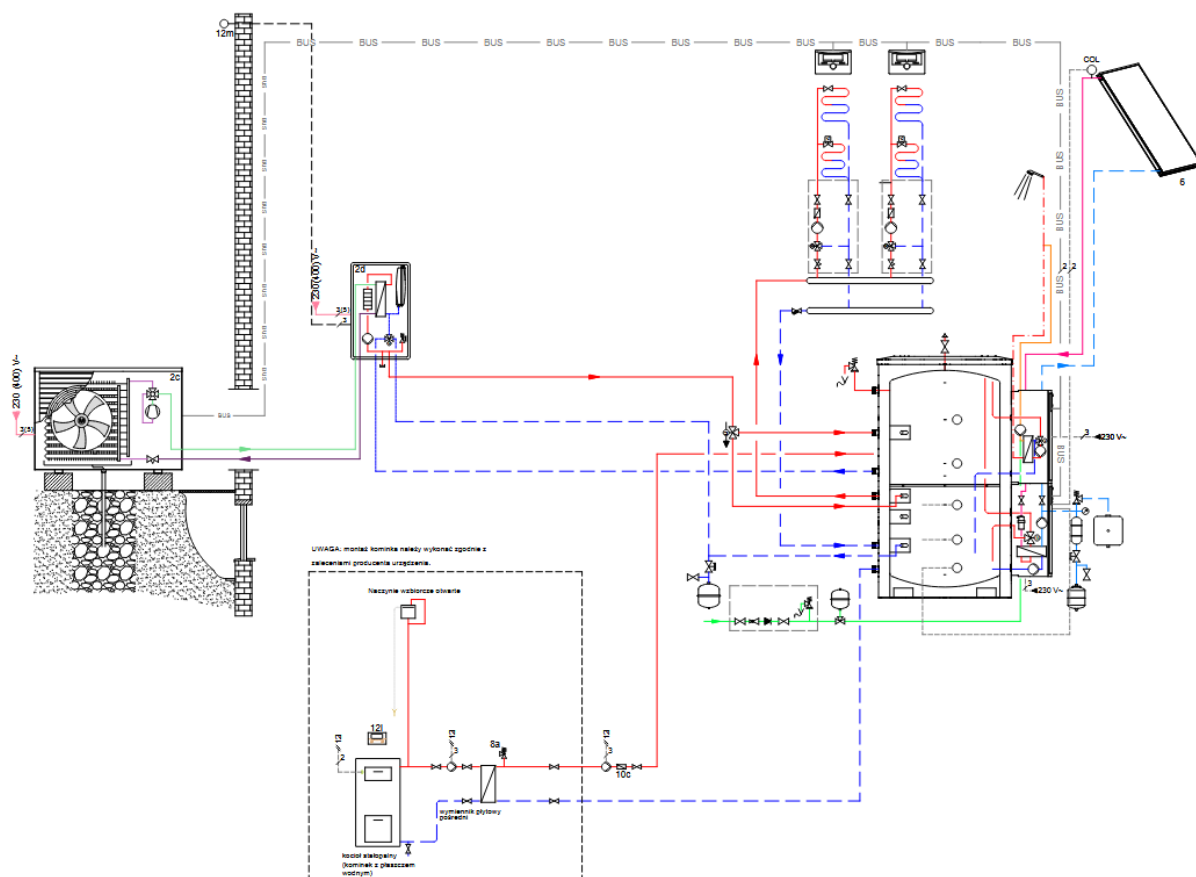
Na Rysunku 3 przedstawiono hybrydowy układ pompy ciepła współpracującej z kotłem gazowym. W tym przy-

padku kocioł kondensacyjny może pracować jako źródło niskotemperaturowe. W przypadku modernizacji układu kotłowego polegającej na dołączeniu powietrznej pompy ciepła wymiennik ciepła kotła o pojemności 80 litrów może pełnić funkcję bufora ciepła.

Pompa ciepła z kotłem na paliwo stałe spalającym pellet drzewny

Biomasa jest uznawana w Unii Europejskiej za odnawialne źródło energii. Przyjmuje się, że jej wykorzystanie energetyczne może charakteryzować się zbliżonym do zerowego bilansem emisji dwutlenku węgla w cyklu biogenicznym (Ciupek, 2023). Rośliny w okresie wzrostu pochłaniają dwutlenek węgla, który jest następnie uwalniany podczas ich spalania. Biomasa składa się najczęściej z celulozy, hemicelulozy, ligniny, pektyn, wosków i tłuszczów, natomiast analiza elementarna obejmuje oznaczenie zawartości takich pierwiastków, jak węgiel (C), wodór (H), tlen (O), azot (N), siarka (S) i chlor (Cl).

Ze względu na swój skład chemiczny biomasa jest paliwem o niższym stopniu uwęglania niż węgiel kamienny oraz węglowodory gazowe i ciekłe. W konsekwencji jej wartość opałowa jest istotnie niższa, co przekłada się na mniejszą gęstość energetyczną paliwa. Podczas spalania biomasy w kotłach grzewczych para wodna zawarta



Rysunek 4. Schemat hydrauliczny układu hybrydowego pompy ciepła z kotłem stałopalnym, elektrycznym i kolektorami słonecznymi (Vaillant Saunier Duval Sp. z o.o., 2025)

Figure 4. Hydraulic diagram of a hybrid heat pump system with a solid fuel boiler, electric boiler and solar collectors (Vaillant Saunier Duval Sp. z o.o., 2025)

w spalinach jest zazwyczaj odprowadzana bezpośrednio do komina, co uniemożliwia odzyskanie ciepła jej kondensacji.

Jednym z kierunków zwiększania sprawności cieplnej urządzeń biomasowych jest odzysk ciepła kondensacji pary wodnej zawartej w spalinach. Analiza literatury (Ciupek, 2023) wskazuje, że dotychczasowe badania koncentrowały się głównie na paliwach gazowych i ciekłych, co przyczyniło się do rozwoju kondensacyjnych urządzeń grzewczych zasilanych tymi paliwami. Prowadzone prace badawcze skupiały się przede wszystkim na optymalizacji wymiany ciepła poprzez udoskonalanie konstrukcji wymienników oraz dobór materiałów o odpowiednich właściwościach cieplnych i odporności na korozję.

Zmienność cen oraz dostępność paliw mają istotny wpływ na wybór technologii grzewczych przez użytkowników końcowych. W ostatnich latach zjawisko to dotyczyło również paliw biomasowych, w szczególności pelletu drzewnego, którego ceny wykazywały znaczną dynamikę zmian (Tabela 3).

Obecnie kotły na biomasę stosowane w domach jednorodzinnych są, ze względu na swoją konstrukcję, źródłami wysokotemperaturowymi, dlatego w układach hybrydowych mogą pełnić funkcję źródła szczytowego (rysunek 4). Parametry ich pracy są bardziej przewidywalne dzięki wymaganiom jakościowym dotyczącym paliw. *Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 8 maja 2025 r.* określa m.in. wymagania w zakresie wartości opałowej, zawartości popiołu oraz maksymalnej zawartości wilgoci w biomasie wprowadzanej do obrotu, wynoszącej 10% w stanie roboczym (Minister Klimatu i Środowiska, 2025). Obecnie na rynku nie są powszechnie dostępne urządzenia grzewcze małej mocy zasilane biomasą, w których proces kondensacji pary wodnej zawartej w spalinach jest wykorzystywany do zwiększenia sprawności.

Kierunki dalszych prac rozwojowych

W ramach programu „Doktorat Wdrożeniowy” zostanie zaprojektowany, zbudowany i przebadany prototyp kotła kondensacyjnego małej mocy, o mocy cieplnej w zakresie 3–9 kW, zasilanego biomasą w postaci pelletu drzewnego. Wybór zakresu mocy urządzenia wynika z możliwości jego współpracy z pompą ciepła w charakterze źródła szczytowego – jest to rozwiązanie nowatorskie, dotychczas niestosowane na szeroką skalę przemysłową. W ramach pracy doktorskiej planowane jest przeprowadzenie badań mających na celu określenie:

- wpływu stopnia kondensacji pary wodnej zawartej w spalinach ze spalania biomasy na intensywność wymiany ciepła oraz wartości współczynników przemian ciepła przez konwekcję i promieniowanie w kondensacyjnych kotłach na biomasę, przy temperaturze spalania poniżej 900°C;
- emisji substancji szkodliwych z kondensacyjnych kotłów na biomasę, m.in. C_xH_y , SO_2 , NO_x , CO i PM;
- wpływu stopnia kondensacji pary wodnej zawartej w spalinach na ilość wytrączanych pyłów.

Koncepcja kotła kondensacyjnego na pellet drzewny jako układu wspomagającego pompę ciepła

Praktyczne wykorzystanie ciepła utajonego w wymienniku kondensacyjnym kotła na biomasę stanowi zagadnienie o istotnym znaczeniu badawczym i aplikacyjnym. Celem prac jest zaprojektowanie układu spełniającego obowiązujące wymagania prawne, a jednocześnie zapewniającego stabilną i bezawaryjną pracę w zakładanym okresie eksploatacji.

Z punktu widzenia doboru materiałów konstrukcja wymiennika ciepła musi charakteryzować się odpornością na oddziaływanie środowiska o podwyższonej wilgotności, kwaśnym odczynie i wysokim zapyleniu. Warunki te istotnie komplikują proces projektowania ze względu na konieczność zastosowania materiałów odpornych na korozję chemiczną i oddziaływania termiczne. Jednocześnie geometria wymiennika powinna umożliwiać jego wykonanie w warunkach przemysłowych przy zachowaniu racjonalnych kosztów produkcji oraz konkurencyjnej ceny urządzenia.

Z perspektywy eksploatacyjnej istotne znaczenie ma uwzględnienie wilgotności paliwa. W przypadku pelletu drzewnego jej dopuszczalna wartość wynosi około 10%. W układach niskotemperaturowych zawartość wilgoci w paliwie wpływa na ilość pary wodnej w spalinach, a tym samym na możliwość odzyskania ciepła utajonego w procesie kondensacji. Zapewnienie stabilnych warunków tego procesu może również wpływać na powtarzalność parametrów emisji zanieczyszczeń podczas spalania pelletu wytwarzanego z biomasy o różnym pochodzeniu i składzie.

Projektowany wymiennik ciepła (kondensacyjny) musi jednocześnie spełniać wymagania norm dotyczących kotłów grzewczych, m.in. w zakresie mocy cieplnej, wytrzymałości mechanicznej i bezpieczeństwa eksploatacji. Charakter pracy urządzenia, obejmujący okresowe zmiany temperatury spalin oraz obciążenia cieplnego, wymaga optymalizacji parametrów konstrukcyjnych, takich jak grubość ścianek wymiennika i wymagana pojemność bufora ciepła.

Dodatkową zaletą proponowanego rozwiązania jest możliwość jego zastosowania w układach autonomicznych (ang. *off-grid*), również w warunkach długotrwałego braku zasilania z sieci elektroenergetycznej. Niewielkie zapotrzebowanie na energię elektryczną układu automatyki, zaworu mieszającego i pomp obiegowych umożliwia ich zasilanie z akumulatora przez czas zależny od ilości zgromadzonej w nim energii. Rozwiązanie to zwiększa niezależność energetyczną systemu oraz jego odporność na przerwy w dostawie energii elektrycznej.

Wnioski

Zastąpienie grzałki elektrycznej kotłem grzewczym, np. na pellet lub gaz ziemny, w hybrydowym systemie z pompą ciepła jest technicznie możliwe i może być ekonomicznie uzasadnione. Wymaga jednak starannego zaprojektowania systemu z uwzględnieniem lokalnej dostępności i cen paliw, zapotrzebowania na ciepło oraz aspektów środowiskowych.

Powietrzne pompy ciepła charakteryzują się wysoką efektywnością energetyczną, jednak przy bardzo niskiej temperaturze powietrza zewnętrznego mogą wymagać wsparcia dodatkowego źródła ciepła. Najczęściej funkcję tę pełnią grzałki elektryczne. Są one kompaktowe, łatwe w instalacji i szybko reagują na zmiany zapotrzebowania na ciepło, jednak ich użytkowanie może generować wysokie koszty, szczególnie przy rosnących cenach energii elektrycznej.

Alternatywnym rozwiązaniem jest zastosowanie kotła na biomasę. Do jego zalet należą wysoka sprawność cieplna, możliwość ograniczenia emisji CO₂ w całym cyklu życia paliwa oraz praca w trybie automatycznym. Wadami tego rozwiązania są natomiast wyższe koszty inwestycyjne, konieczność zapewnienia miejsca do magazynowania paliwa oraz wykonania instalacji odprowadzania spalin.

Integracja kotła na pellet z układem hybrydowym może wymagać montażu lub wymiany bufora ciepła w celu zapewnienia właściwej współpracy źródeł, zastosowania układu automatycznego rozruchu i modulacji mocy, a także rozbudowy instalacji o system odprowadzania spalin. Badania wskazują, że hybrydowe systemy wyposażone w kotły na pellet mogą osiągać wyższą całkowitą efektywność energetyczną oraz niższą emisję CO₂ niż systemy wykorzystujące wyłącznie grzałki elektryczne. Zastosowanie układu odzysku ciepła ze spalin (ang. *flue gas heat recovery*) może dodatkowo zwiększyć efektywność energetyczną całego systemu.

Podziękowania

Badania te zostały sfinansowane ze środków Politechniki Poznańskiej przeznaczonych na działalność statutową. Numery grantów: 0712/SBAD/5297 i 0712/SBAD/5298.

Składam podziękowania Ministerstwu Nauki i Szkolnictwa Wyższego za sfinansowanie doktoratu wdrożeniowego.

Składam serdeczne podziękowania Panu Stefanowi Żuchowskiemu, Vaillant Saunier Duval sp. z o.o., ul. Al. Jerozolimskie 195A, 02-222 Warszawa, za pomoc w przygotowaniu schematów technicznych instalacji pomp ciepła.

Bibliografia

- Ciupek, B. (2023). Kotły grzewcze na paliwa stałe. Wybrane aspekty budowy i eksploatacji, ISBN 978-83-7775-721-5, *Politechnika Poznańska*
- Ciupek, B., Judt, W., Urbaniak, R., & Kłosowiak, R. (2019). The Emission of CO and NO_x from Boilers Supplied by a Pellet Under the Influence of Changes in the Air-Fuel Equivalence Ratio. *Journal of Ecological Engineering*, 20(10), 34–38. <https://doi.org/10.12911/22998993/112748>

- Główny Urząd Nadzoru Budowlanego. (2026). Struktura źródeł ciepła [Dane z 21 lipca 2026 r.]. https://zone.gunb.gov.pl/pl/raporty/raport_zrodel_ciepła (Dostęp: 23.07.2025)
- Lipiäinen, S., Lipiäinen, K., Ahola, A., & Vakkilainen, E. (2023). Use of existing gas infrastructure in European hydrogen economy. *International Journal of Hydrogen Energy*, 48(80), 31317–31329. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.04.283>
- Mertins, A., Heiker, M., Rosenberger, S., & Wawer, T. (2023). Competition in the conversion of the gas grid: Is the future of biogas biomethane or hydrogen? *International Journal of Hydrogen Energy*, 48(83), 32469–32484. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.04.270>
- Minister Klimatu i Środowiska (2025). Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 8 maja 2025 r. w sprawie wymagań jakościowych dla biomasy pozyskanej z drzew i krzewów wprowadzanej do obrotu lub obejmowanej procedurą celną dopuszczenia do obrotu w postaci brykietu lub peletu. *Dziennik Ustaw*, poz. 618.
- Ministerstwo Klimatu i Środowiska. (2021). Polityka energetyczna Polski do 2040 r. <https://www.gov.pl/web/klimat/polityka-energetyczna-polski-do-2040-r> (Dostęp: 08.05.2025)
- Rogowska, D., & Pajda, M. (2020). Applications of sustainable biogas. *Nafta-Gaz*, 76(10), 750–756. <https://doi.org/10.18668/ng.2020.10.11>
- Salim, S. S., Luxembourg, S. L., Longa, F. D., & Van Der Zwan, B. (2024). Decarbonisation scenarios for the European residential sector. *Building and Environment*, 269, 112408. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.112408>
- Trading Economics. Gaz ziemny UE – kurs, wykres, dane historyczne i aktualności. <https://pl.tradingeconomics.com/commodity/eu-natural-gas> (Dostęp: 23.07.2025)
- Vaillant Saunier Duval Sp. z o.o. (2024). Wykaz schematów typowych aroTHERM split. <https://www.vaillant.pl/podreczniki-schematow/pompy-ciepła/podrecznik-schematow-arotherm-split-2971996.pdf> (Dostęp: 23.07.2025)
- Vaillant Saunier Duval Sp. z o.o. (2025). Podręcznik schematów: Systemy wieloźródłowe. <https://www.vaillant.pl/podreczniki-schematow/pompy-ciepła/podrecznik-wielozrodlowy-09-10-2025-3073136.pdf> (Dostęp: 23.07.2025)
- Vakylabad, A. B., & Saberi, A. (2023). Application of hydrogen as a fuel in domestic appliances. *Elsevier eBooks*, 171–186. <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-93940-9.00141-9>

Zastrzeżenie: Oświadczenia, opinie i dane przedstawione w publikacjach są wyłączną odpowiedzialnością ich autorów i nie odzwierciedlają stanowiska redakcji *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja*. Redakcja nie ponosi odpowiedzialności za jakiegokolwiek szkody dotyczące osób lub mienia wynikające z idei, metod, zaleceń lub produktów omawianych w treści publikacji. Artykuł udostępniony na licencji Creative Commons CC BY 4.0.

Disclaimer: The statements, opinions, and data presented in the publications are the sole responsibility of their authors and do not necessarily reflect the views of the editorial board of *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja*. The editorial board assumes no responsibility or liability for any injury to persons or damage to property resulting from any ideas, methods, instructions, or products referred to in the content of the publications. The article is distributed under the Creative Commons CC BY 4.0 license.