

Innowacyjne rozwiązanie w buforach instalacji pomp ciepła

Innovative buffer solution for heat pump systems

DAMIAN PĘDZIWIATR

DOI: 10.17512/INSTAL.2026.02.03

W artykule przedstawiono innowacyjne rozwiązanie zasobnika buforowego oraz zaprezentowano rezultaty badań oceniających jego wpływ na efektywność energetyczną instalacji pompy ciepła. Innowację stanowi układ regulacji przepływu zintegrowanego z zasobnikiem buforowym, który umożliwia skuteczne ograniczenie negatywnych skutków procesu mieszania. W publikacji omówiono także typowe problemy standardowych rozwiązań – w szczególności zjawisko mieszania się strumieni zasilania i powrotu w układach hydraulicznych, które powoduje obniżenie temperatury zasilania w obiegu wtórnym, a w konsekwencji pogorszenie efektywności energetycznej pompy ciepła. Przeprowadzone badania dowiodły, że zastosowanie opracowanego rozwiązania umożliwia poprawę efektywności energetycznej o 9,9%, w najbardziej niekorzystnym wariancie, tj. gdy przepływ w obiegu wtórnym przekracza wartość przepływu w obiegu pierwotnym.

Słowa kluczowe: zasobniki buforowe, pompy ciepła, efektywność energetyczna

This article presents an innovative solution for a buffer tank and reports on the results of tests assessing its impact on the energy efficiency of heat pump installations. The innovation is an integrated flow control system that effectively minimises the impact of the mixing process. The research also addresses common issues associated with standard solutions, particularly the mixing of supply and return flows in hydraulic systems. This decreases the supply temperature in the secondary circuit and consequently reduces the energy efficiency of the heat pump. Using the developed solution has been shown to improve the energy efficiency by 9.9% in the worst-case scenario, i.e. when the flow in the secondary circuit exceeds that in the primary circuit.

Keywords: buffer tanks, heat pumps, energy efficiency

Wstęp

Jak wskazują badania [4] rozwiązania z zasobnikami buforowymi obciążone są wadami m.in. w postaci wyższych kosztów inwestycyjnych, czy obniżania temperatury zasilania w obiegu wtórnym. Zasobniki buforowe pełnią jednak istotne role. Jedną z nich jest zwiększenie pojemności instalacji wodnej, co w systemach grzejnikowych wydłuża czas jednego cyklu pracy pompy ciepła i tym samym ogranicza liczbę załączeń i wyłączeń sprężarki. Ważną rolę zasobnika buforowego jest również funkcja sprzęgła hydraulicznego, zapewniającego wymagane przepływy w obiegu pierwotnym (jednostka wewnętrzna pompy ciepła) oraz w obiegu wtórnym (instalacja centralnego ogrzewania). Stanowi to kluczowy warunek stabilnej pracy całego systemu. Problem ten szeroko został przedstawiony w pracy [8]. Proponowane badania przeprowadzone zostały jednak tylko dla równoległego podłączenia zasobnika buforo-

wego, ponieważ układ szeregowy, który potencjalnie wyklucza problem obniżenia temperatury zasilania, niestety nie pełni funkcji sprzęgła hydraulicznego. Wykazano, że wadą równoległego podłączenia zasobnika buforowego jest spadek temperatury wody w obiegu wtórnym, tj. po stronie instalacji centralnego ogrzewania. Konsekwencją takiego stanu jest konieczność podniesienia temperatury wody wylotowej z pompy ciepła (w obiegu pierwotnym), co niekorzystnie wpływa na jej efektywność energetyczną. Przyjmuje się, że każdy wzrost temperatury skraplania o 1 K powoduje spadek współczynnika wydajności energetycznej (COP) o około 1,5–3%. Szczegółowa problematyka doboru zbiorników buforowych i ich współpracy z pompami ciepła jest przedstawiona m.in. w pracach [1-7]. W ramach wcześniejszych badań projektowych ujętych w pracy [4] analizowano wpływ konstrukcji zbiornika buforowego na wielkość spadku temperatury zasilania w zależności od stosunku przepływów

w obiegu wtórnym i pierwotnym. Przeprowadzono porównawcze badania dla standardowego jednokomorowego zasobnika buforowego oraz wariantu dwukomorowego, który do pewnego stopnia oddziela strefę zasilania (wyższa temperatura) od strefy powrotnej. O ile dla wariantów, w których przepływ obiegu pierwotnego jest wyższy niż w obiegu wtórnym, różnica temperatur zasilania jest niewielka i wynosi 1,86-2,27 K dla zasobnika standardowego i 0,2-0,34 K dla dwukomorowego, to problem pojawia się kiedy przepływ pierwotny był niższy od wtórnego. Wprawdzie zbiornik dwukomorowy wypadł korzystniej – odnotowano spadek temperatury o 3,52 K (dla standardowego bufora było to 5,02 K), co daje różnicę COP rzędu 3% na korzyść konstrukcji dwukomorowej. Jednakże tak duże obniżenie temperatury zasilania obiegu wtórnego przekładało się w obu wariantach na spadek COP mieszczący się w zakresie od 5,6% do aż 10,5%. Nie jest to zaskakujące, gdyż spadek temperatury

zasilania wynikał przede wszystkim z częściowej recyrkulacji strumienia powrotnego w obiegu wtórnym. Dlatego też, kolejnym krokiem było opracowanie takiego układu zasobnika buforowego, który rozwiąże ten problem w sytuacji, gdy przepływ w obiegu wtórnym przewyższa przepływ w obiegu pierwotnym. W niniejszej publikacji zaprezentowano układ opracowany w wyniku realizacji projektu badawczego w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014–2020 (Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego) – „Opracowanie prototypu nowej generacji pomp ciepła typu powietrze/woda z innowacyjnymi rozwiązaniami technologicznymi w skali nieznannej i niestosowanej dotychczas”. Głównym celem tego projektu było opracowanie oraz przebadanie rozwiązania technicznego, które zminimalizuje spadek temperatury zasilania w obiegu wtórnym.

Opis badań opracowanego rozwiązania

Na rysunku 1 przedstawiono schemat stanowiska badawczego z opisem poszczególnych punktów pomiarowych wraz z ich przyporządkowaniem do odpowiednich obiegów.

Przedstawione na rysunku 1 stanowisko badawcze umożliwia przeprowadze-

nie badań porównawczych efektywności energetycznej opracowanego rozwiązania, tj. dwukierunkowego układu regulacji przepływu w zasobniku buforowym o pojemności 0,08 m³ z rozwiązaniem klasycznym. Ogólny układ obiegów pierwotnego i wtórnego w stanowisku pozostał niezmienny. Zmodyfikowano jedynie sposób podłączenia zasobnika buforowego poprzez zainstalowanie proponowanego rozwiązania. Przyjęty zakres pracy dla temperatur zasilania T_z to 40-45°C, wydajność grzewcza pompy ciepła wyznaczona została ze wzoru:

$$Q_{pc} = \frac{(T_z - T_p) \cdot q \cdot c_p \cdot g_w}{3600} \quad (1)$$

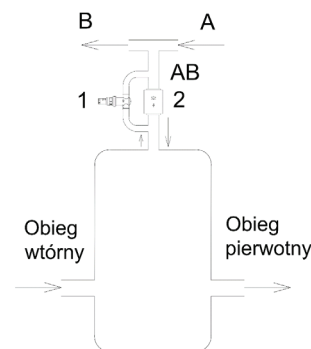
gdzie: q – przepływ wody [m³h⁻¹], ciepło właściwe, c_p [J kg⁻¹ K⁻¹], g_w – gęstość wody [kg m⁻³].

Wydajność grzewcza Q_{pc} [W] oraz pomiar mocy elektrycznej N_{el} [W], pozwolił na wyznaczenie wartości COP:

$$COP = \frac{Q_{pc}}{N_{el}} \quad (2)$$

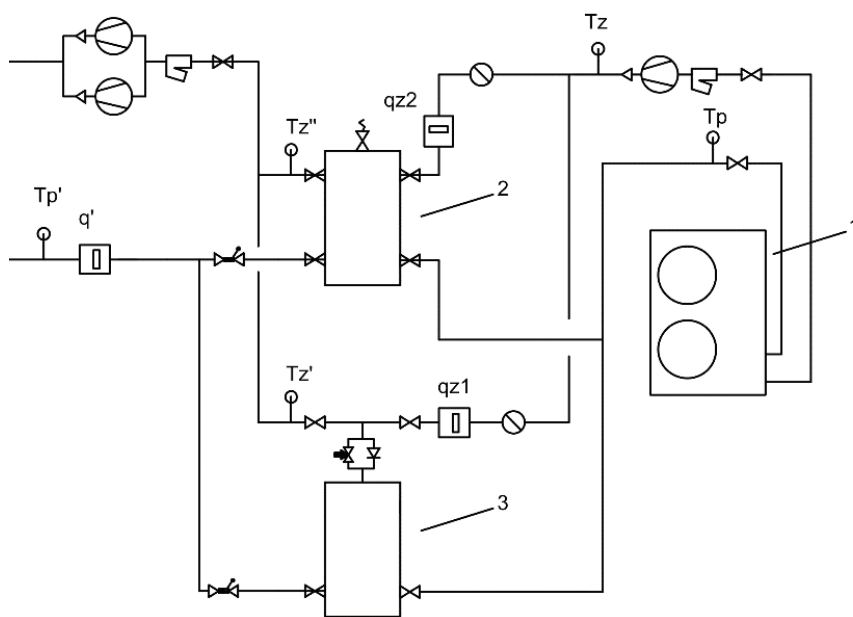
Zależność temperatury zasilania T_z od COP, przedstawiono w publikacji [4], z której wynika, że dla przyjętego zakresu temperatur, wzrost T_z o 1K obniża COP

o średnio 2,1%. Stąd głównym wyznacznikiem efektywności innowacyjnego rozwiązania była różnica T_z-T_{z'}. Czas serii pomiarowej wynosił 4h. Na rysunku 2, w celu objaśnienia zasady działania, przedstawiono uproszczony schemat innowacyjnego układu regulacji przepływu zintegrowanego z zasobnikiem buforowym.



Rys. 2. Opracowane rozwiązanie - dwukierunkowy układ regulacji przepływu w buforze: 1 – zawór regulujący opór przepływu; 2 – zawór zwrotny; A – kanał zasilający z obiegu pierwotnego, B – kanał zasilający obieg wtórny, AB – wspólny kanał, dwukierunkowy, zasilanie/powrót z/do zasobnika buforowego
Fig. 2. The developed solution – a two-way flow control system in the buffer: 1 – Flow resistance control valve; 2 – Check valve; A – primary circuit supply channel, B – secondary circuit supply channel, AB – common two-way channel, supply/return from/to buffer tank

Kluczową cechą analizowanego układu przedstawionego na rysunku 2 jest integracja zaworu regulacji przepływu z możliwością nastawy oporu, zaworu zwrotnego oraz otwartego przepływowego zasobnika buforowego. W przypadku, gdy przepływ w obiegu wtórnym jest wyższy niż w obiegu pierwotnym, mechanizm działania układu polega na tym, że w trakcie przepływu wody grzewczej z kanału A do kanału B zawór regulacyjny dławia przepływ medium z zasobnika buforowego (kanałem AB) w kierunku kanału B. Rozwiązanie to zapobiega mieszanemu się strumienia zasilającego ze strumieniem powrotnym. Przepływ po stronie wtórnej, kosztem zwiększonego obciążenia, wymusza wzrost przepływu w obiegu pierwotnym (w jednostce pompy ciepła). Ograniczenie mieszania strumieni powrotnego i zasilającego – przy jedynie nieznacznym zwiększeniu przepływu w obiegu pierwotnym pozwala na poprawę współczynnika efektywności energetycznej pompy ciepła. W przypadku mniejszego lub zerowego przepływu w obiegu wtórnym medium jest swobodnie kierowane z kanału A przez kanał AB do zasobnika buforowego za pośrednictwem zaworu zwrotnego. Dzięki temu rozwiązanie nie stanowi istotnego oporu dla przepływu w obiegu pierwotnym, spełniając w pełni funkcję sprzęgła hydraulicznego i zapew-



- Tz - temp. zasilania wody w obiegu pierwotnym (przed buforem)
- Tp - temp. powrotu wody w obiegu pierwotnym (przed buforem)
- Tz' - temp. zasilania wody w obiegu wtórnym (za buforem dwukomorowym)
- Tz'' - temp. zasilania wody w obiegu wtórnym (za buforem standardowym)
- Tp' - temp. powrotu wody w obiegu wtórnym (za buforami)
- qz1 - przepływ wody w obiegu pierwotnym (przed buforem dwukomorowym)
- qz2 - przepływ wody w obiegu pierwotnym (przed buforem standardowym)
- q' - przepływ wody w obiegu wtórnym (za buforami)
- 1 - Źródło ciepła (pompa ciepła)
- 2 - zasobnik buforowy standardowy
- 3 - zasobnik buforowy wraz z układem regulacji przepływu

Rys.1. Schemat stanowiska badawczego
Fig. 1. Research station diagram

niając tym samym swobodną pracę pompy obiegowej pompy ciepła. Należy jednak pamiętać, że zastosowanie takiego rozwiązania wiąże się z pewnymi ograniczeniami:

- pompa obiegowa w obiegu pierwotnym nie powinna być wyłączana, gdy pracują pompy obiegu wtórnego,
- zawór regulujący opór przepływu powinien być tak wyregulowany, aby pompy obiegowe podczas pracy nie wychodziły poza zakres swojej charakterystyki pracy.

Opisywane rozwiązanie zostało objęte zgłoszeniem patentowym P.443486.

Wyniki badań

Wyniki analiz porównawczych zaprezentowano dla najbardziej niekorzystnego scenariusza, w którym przepływ w obiegu wtórnym przewyższa przepływ w obiegu pierwotnym zgodnie ze wzorem:

$$q'_z > q_z \quad (3)$$

gdzie: q'_z – wartość przepływu w obiegu wtórnym, q_z – wartość przepływu w obiegu pierwotnym.

Określenie zależności T_z od COP pozwala, na podstawie różnicy temperatur:

$$\Delta T_z = T_z - T'_z \quad (4)$$

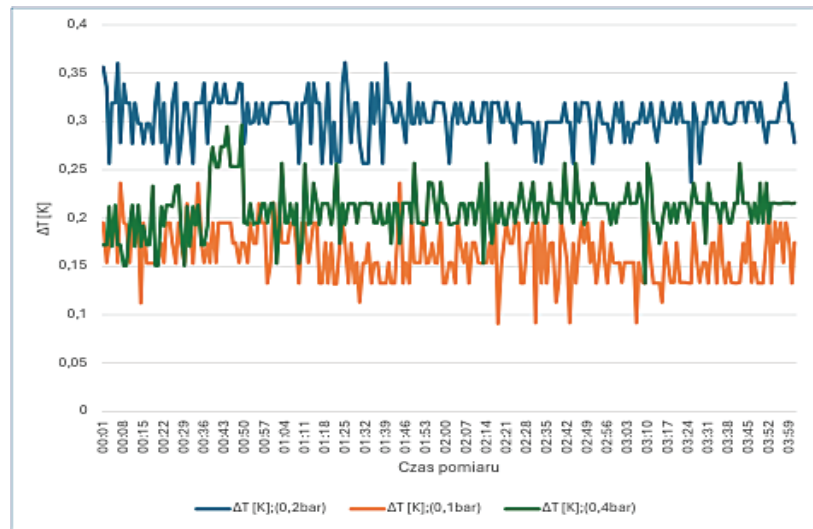
wskazać wpływ zastosowanego rozwiązania na wartość COP.

Pomiary ΔT_z wykonano dla nastaw ciśnienia zaworu regulacyjnego w zakresie od 0,1-0,4 bar. W zestawieniu uwzględniono zarówno parametry nastaw, jak i dwa poziomy przepływu: w konfiguracji z pełną separacją obiegów, gdzie niezależnie ustawiono przepływ w obiegu pierwotnym i wtórnym, oraz w układzie z dwukierunkową regulacją przepływu.

Na rysunku 3 przedstawiono rozkład różnic temperatur ΔT_z w funkcji czasu dla następujących nastaw zaworu regulacyjnego: 0,1 bar, 0,2 bar oraz 0,4 bar. Stosunek przepływów w wariancie bez układu regulacji, mieścił się w zakresie:

- 0,93-1,43 dla obiegu pierwotnego,
- 1,53-1,71 dla obiegu wtórnego, natomiast podczas pracy z dwukierunkowym układem regulacji przepływu:
- 0,93-1,43 dla obiegu pierwotnego,
- 1,53-1,71 dla obiegu wtórnego.

Zaprezentowane w Tabeli 1 wyniki wykazują, że przy zastosowaniu proponowanej innowacji, średnie różnice pomiędzy temperaturami zasilania ΔT_z mieściły się



Rys. 3. Rozkład różnicy temperatur zasilania ΔT_z w funkcji czasu, dla obiegu pierwotnego i wtórnego przy nastawie zaworu regulacyjnego w zakresie 0,1-0,4 bar

Fig. 3. Distribution of the supply temperature difference ΔT_z as a function of time, for the primary and secondary circuits with the control valve set in the range of 0.1-0.4 bar

Tabela 1. Wyniki pomiarów różnicy ΔT_z w układzie innowacyjnym i różnice temperatur zasilania ($T_z - T'_z$) w standardowym zasobniku buforowym

Table 1. Results of ΔT_z measurements in the innovative system and supply temperature differences ($T_z - T'_z$) in a standard buffer tank

Nastawa zaw. reg. (tylko dla wariantu z innowacyjnym układem) [bar]	ΔT_z [K]	$(T_z - T'_z)$ [K]
0,1	0,1-0,23	5,02
0,2	0,24-0,36	
0,4	0,13-0,3	

w zakresie 0,16 - 0,3K, dla wariantu, gdzie obieg wtórny jest wyższy od pierwotnego, co w porównaniu do rozwiązania standardowego, gdzie różnica temperatury zasilania wynosiła 5,02K, daje nam wzrost COP o 9,9%.

Podsumowanie

Analiza uzyskanych wyników badań potwierdziła, że zaproponowane innowacyjne rozwiązanie układu regulacji przepływu zintegrowanego z zasobnikiem buforowym korzystnie wpływa na efektywność całej instalacji pompy ciepła. Należy zaznaczyć, że sama korekta nastaw zaworu regulacyjnego pomiędzy 0,1-0,4bar nie wykazała logicznej zależności w stosunku do ΔT_z . Efekt ten mógł być spowodowany bardzo niewielkimi różnicami temperatur. Do obliczania wzrostu COP przyjęta została najwyższa średnia tj. $\Delta T_z = 0,3K$. Niemniej jednak w wyniku wyeliminowania konieczności utrzymywania podwyższonej temperatury zasilania przez pompę ciepła, opracowany dwukierunkowy układ regulacji przepływu przyczynił się do poprawy efektywności energetycznej instalacji o 9,9%. Uzyskany wzrost efektywności energetycznej instalacji z pompą ciepła jest na tyle istotny, że w dłuższej perspekty-

wie czasowej będzie przynosić znaczne oszczędności.

Literatura

- [1] Glembin Jens, Christoph Büttner, Jan Steinweg and Gunter Rockendorf "Thermal Storage Tanks in High Efficiency Heat Pump Systems – Optimized Installation and Operation Parameters." Energy Procedia (2015)
- [2] Hao Li, Qiang Yang, Zhaowei Xu, Shuangquan Shao, Zhichao Wang, Xiaoyu Sun, Yichao Wang, Ce Xu, Wenyuan Zhao "Impact of water volume on the energy saving potential of air source heat pump systems" International Journal of Refrigeration (2021)
- [3] Harald Fonfara, Florian Leibrecht "Zbiornik buforowy." PATENT PL/EP 2527777, (2012)
- [4] Pędziwiatr Damian „Efektywne rozwiązywanie w zasobnikach buforowych instalacji pomp ciepła. Część 1” Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja (2024)
- [5] Pšić Dragan, Aleksandar Vičovac, Marko Nešković "The analysis of a sustained oscillation in the heat pump system with buffer tank." X International Conference "Heavy Machinery-HM 2021", (2021)
- [6] Rutkowski Kazimierz, Jan Vogelgesang, Hubert Latała, Krzysztof Kempkiewicz „Efektywność pompy ciepła współpracującej ze zbiornikiem buforowym o zmiennej pojemności." Inżynieria Rolnicza (2013)
- [7] Rutkowski Kazimierz, Jan Vogelgesang, Hubert Latała, Krzysztof Kempkiewicz „Procedura optymalizacji doboru zbiornika buforowego współpracującego z pompą ciepła." Inżynieria Rolnicza (2013)
- [8] Żarski Kazimierz „Warunki efektywnego działania pomp ciepła" INSTAL (2025)