

Kinga Nogaj

Politechnika Częstochowska
e-mail: k.nogaj@is.pcz.pl

WPLYW ZASTOSOWANIA ZMIENNOFAZOWEGO MAGAZYNU CIEPŁA NA TEMPERATURĘ W SIECI CIEPŁOWNICZEJ*

THE INFLUENCE OF USING HEAT STORAGE WITH PCM ON INLET AND OUTLET TEMPERATURES IN SUBSTATION IN DISTRICT HEATING SYSTEM

DOI: 10.15611/pn.2017.494.15

JEL Classification: Q410

Streszczenie: W artykule wskazano kierunki rozwoju nowych generacji systemów ciepłowniczych z wykorzystaniem materiałów zmiennofazowych oraz przedstawiono kryteria istotne przy wyborze materiału zmiennofazowego. Za cel pracy przyjęto określenie wpływu zastosowania zmiennofazowego magazynu ciepła na temperaturę powrotu z instalacji do sieci ciepłowniczej. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że wybór najkorzystniejszego materiału akumulującego ciepło zależy od temperatury powrotu sieci ciepłowniczej. Wprowadzenie zmiennofazowego magazynu ciepła do systemu ciepłowniczego pozwala na uzyskanie temperatury powrotu z instalacji na poziomie temperatury zgodnej z przyjętą tabelą regulacyjną dla temperatur zewnętrznych standardowego sezonu ogrzewczego.

Słowa kluczowe: system ciepłowniczy, sieć ciepłownicza, zmiennofazowy akumulator ciepła.

Summary: The article indicates the directions of development of new generations of heating systems using phase-change materials and presents the criteria relevant for the selection of phase-change material. The purpose of the work was to determine the impact of using a phase-change heat store on the return temperature from the installation to the heating network. Based on the conducted tests, it was found that the selection of the most advantageous heat accumulating material depends on the return temperature of the heating network. The introduction of a phase-changing heat store into the heating system allows to obtain a return temperature from the installation at the temperature level in accordance with the adopted control table for external temperatures of the standard heating season.

Keywords: heating system, heating network, PCM heat accumulator.

* Artykuł został przygotowany w ramach badań statutowych Politechniki Częstochowskiej dotyczących „Magazynowania ciepła w systemie ciepłowniczym” BS/MN-407-301/16.

1. Wstęp

Poprzez zmiany w sektorze budownictwa, tj. intensywne termomodernizacje budynków istniejących i wznoszenie budynków o coraz niższym zapotrzebowaniu na energię, a szczególnie ciepło do ogrzewania, dalsze wykorzystanie systemów ciepłowniczych związane jest z powstawaniem znacznych różnic pomiędzy produkowanym a rzeczywistym zapotrzebowaniem na ciepło. Skutkiem tego jest wzrost strat ciepła na przesyśle, co prowadzi do zakłóceń pracy sieci ciepłowniczej, a w konsekwencji do spadku sprawności systemu ciepłowniczego. Dlatego też zgodnie z literaturą [Turski, Sekret 2015a; Turski, Sekret 2015b; Jaworski 2016] wymagana jest reorganizacja systemów ciepłowniczych. Reorganizacje systemów ciepłowniczych polegają m.in. na:

- modernizacji źródeł ciepła poprzez wymianę wyeksploatowanych jednostek na nowe oraz stosowaniu wysokosprawnej kogeneracji [Wojdyga 2008],
- modernizacji sieci przesyłowych polegających na wymianie przewodów naziemnych na nowe, wykonane w technologii kanałowej [Śnieżyk 2011, s. 1-15], czy stosowaniu technologii preizolowanej,
- modernizacji węzłów ciepłowniczych polegających m.in. na zastąpieniu węzłów zbiorczych węzłami indywidualnymi [Jachura, Sekret 2013],
- zwiększeniu udziału źródeł odnawialnych i ciepła odpadowego [Piechocki 2006].

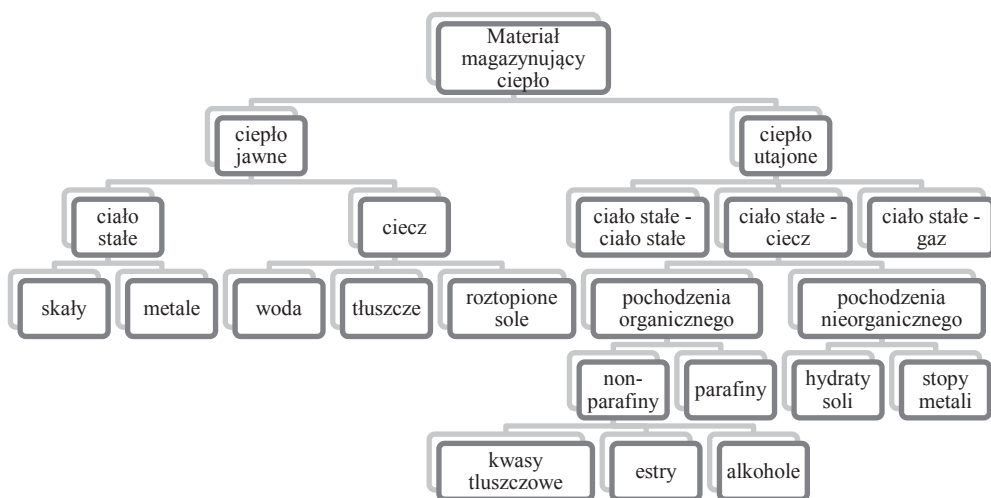
Jednak szczególnie interesującym aspektem jest magazynowanie ciepła ze względu na to, że najtańsza energia to energia odpadowa jako energia użyteczna lub zaoszczędzona [Jurkiewicz; Nogaj 2016a]. Dlatego też autor niniejszej pracy skupia się na aspekcie magazynowania ciepła w systemie ciepłowniczym. Szacuje się, że w krajowych systemach ciepłowniczych, w których produkcja ciepła wyniosła 421,3 PJ, a emisja zanieczyszczeń CO₂ wyniosła 43 mln ton w skali roku, teoretyczny potencjał ciepła odpadowego możliwego do zmagazynowania wynosi 53,5 PJ, co obecnie stwarza potencjał oszczędności finansowych na poziomie 2,4 mld zł na rok [Regulski 2014; Radca Ambasady 2009]. Obserwowanym skutkiem zwiększenia strat ciepła w systemie ciepłowniczym jest obniżenie jego sprawności całkowitej, a co za tym idzie również efektywności ekonomicznej. Na sprawność całkowitą systemu ciepłowniczego (η_c) składają się: sprawność wytwarzania ciepła (η_w), sprawność przesyłu ciepła (η_p), sprawność regulacji (η_r) oraz sprawność wykorzystania ciepła (η_u), co określa poniższa zależność:

$$\eta_c = \eta_w \cdot \eta_p \cdot \eta_r \cdot \eta_u \quad (1)$$

W literaturze przedmiotu badań występują propozycje nowych technologii służących zwiększeniu sprawności pracy systemu, jednak są to głównie rozwiązania w obrębie jednej sprawności, np. próby przyłączenia kolektorów słonecznych do sieci [Piechocki 2006; Rudniak 2015], kogeneracja [Śnieżyk 2011], trójgeneracja [Jurkiewicz], stosowanie przewodów preizolowanych [Chwieduk 2010] czy wy-

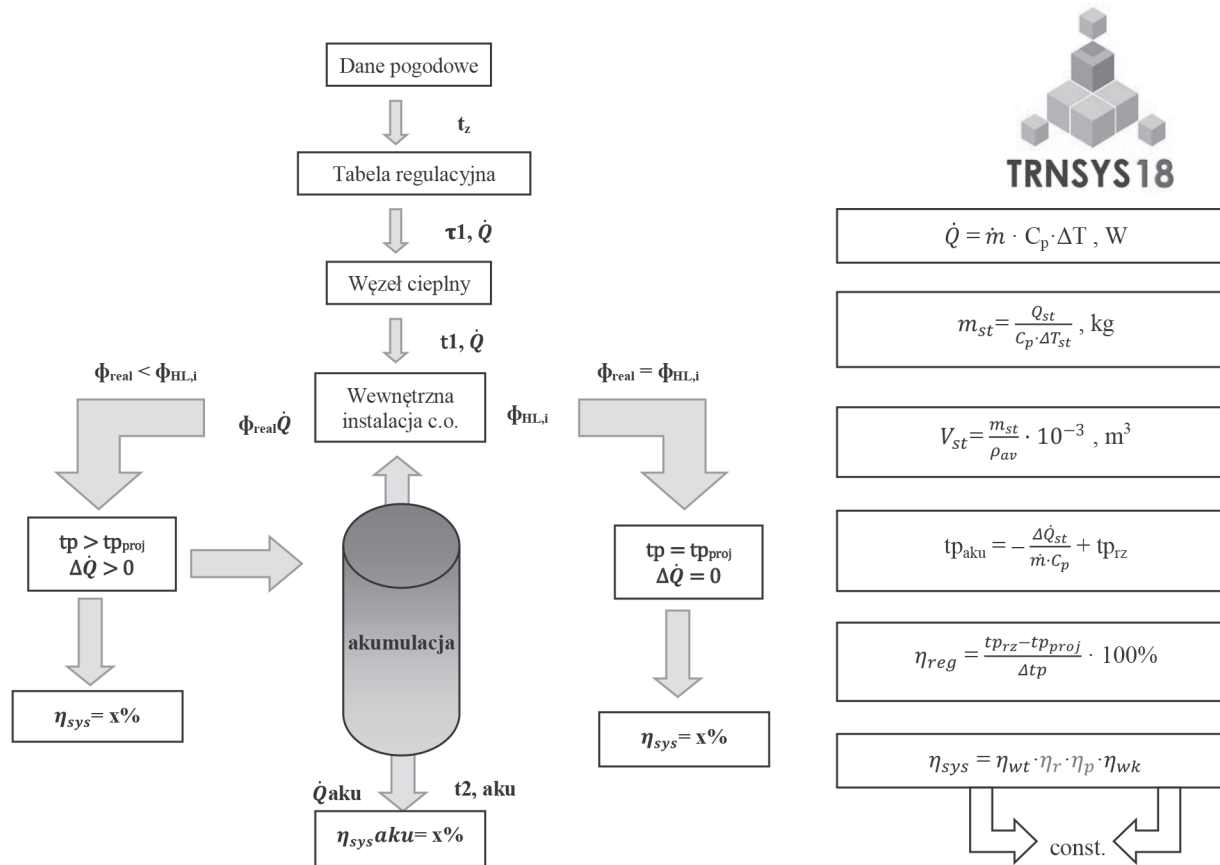
korzystanie pomp ciepła [De Carli i in. 2014]. Na chwilę obecną nie ma rozwiązań technologicznych poprawiających kompleksowo sprawność całego systemu. Dlatego szczególnie interesującym elementem poprawy sprawności pracy systemu ciepłowniczego jest magazynowanie ciepła. Obecnie dla procesu magazynowania ciepła stosowane są rozwiązania zasobników wodnych zlokalizowanych przy źródle [Nogaj 2016a]. Ich zadaniem jest obniżenie mocy szczytowej źródła. Jednak zastosowanie rozproszonego akumulatora ciepła jest w stanie zapewnić poprawę sprawności całego systemu ciepłowniczego [Turski, Sekret 2015b]. W badaniach zostały zastosowane rozproszone akumulatory ciepła zlokalizowane w węzłach ciepłych. Wykorzystanie wodnych magazynów ciepła wymaga znacznych objętości, co przekłada się na gabaryty zasobników i problemy z ich montażem. Dlatego też zasobniki wodne zostały zastąpione akumulatorami zmiennofazowymi, które wymagają mniejszych objętości.

Magazynowanie ciepła w akumulatorze zmiennofazowym polega na przyjmowaniu i oddawaniu ciepła w wyniku zmiany stanu skupienia materiału akumulującego ciepło [Xu, Wang, Li i in. 2014]. Najczęściej stosowanymi materiałami są te, które charakteryzują się zmianą fazy ze stanu stałego w ciecz i odwrotnie, ponieważ przez topienie i krzepnięcie mogą akumulować znaczną ilość ciepła wykorzystywanego do procesów ogrzewania i chłodzenia w obecnych systemach budowlano-instalacyjnych [Shannaq, Farid i. in. 2015]. Materiały zmiennofazowe występują jako materiały organiczne i nieorganiczne. Materiały organiczne to m.in. parafina czy non-parafina (np. kwasy tłuszczowe). Materiały nieorganiczne obejmują hydraty soli, kompozyty solankowe oraz stopy metali [Streicher i in. 2008]. Klasyfikacja materiałów zmiennofazowych została przedstawiona na rys. 1.



Rys. 1. Klasyfikacja materiałów zmiennofazowych

Źródło: [Nogaj, Turski, Sekret 2017a].



Rys. 2. Schemat logiczny rozwiązania wraz z metodyką

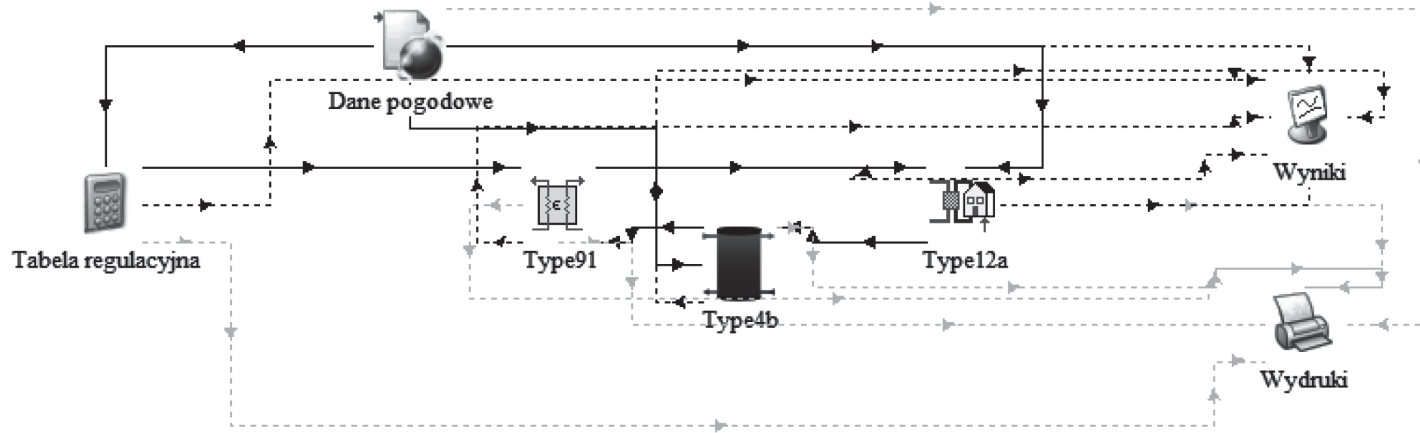
Źródło: opracowanie własne.

Warunkiem wyboru materiału wykorzystującego ciepło przemiany fazowej możliwego do wykorzystania w akumulatorze ciepła jest przyjęcie kryteriów oceniających poszczególne aspekty. Materiały zmiennofazowe muszą się charakteryzować dużym ciepłem utajonym i wysoką przewodnością cieplną. Temperatura topnienia materiałów wykorzystujących ciepło przemiany fazowej powinna się mieścić w przedziale ich eksploatacyjnych warunków pracy [Jachura, Sekret 2013]. Materiały te powinny ulegać topnieniu przy minimalnym przechłodzeniu oraz powinny być stabilne chemicznie, nietoksyczne oraz nie powinny powodować korozji. W zależności od zastosowania materiały wykorzystujące ciepło przemiany fazowej powinny być wybrane na podstawie ich temperatury topnienia [Piechocki 2006]. Do celów akumulacji ciepła w systemie ciepłowniczym największym dopasowaniem właściwości cechują się hydraty soli oraz parafiny [Nogaj, Turski, Sekret 2017b]. Stwierdza się, że możliwe jest usprawnienie systemów ciepłowniczych przez utrzymanie na projektowanym poziomie temperatury wody powrotnej w sieci z użyciem rozproszonych akumulatorów PCM. Efektami poprawy sprawności systemów ciepłowniczych są m.in. obniżenie negatywnego wpływu na środowisko przez zmniejszenie emisji zanieczyszczeń CO_2 , SO_2 , NO_x i pyłów czy zmniejszenie zużycia paliw i kosztów produkcji ciepła. W związku z tym zaproponowano badania zgodnie ze schematem logicznym przedstawionym na rys. 2.

2. Metodyka i obiekt badań

W celu przeprowadzenia badań zostały wykorzystane dane eksploatacyjne wybranego węzła cieplnego miejskiej sieci ciepłowniczej. Na podstawie opracowanej koncepcji integracji magazynu ciepła wykorzystującego ciepło przemian fazowych zostały przeprowadzone symulacje z wykorzystaniem oprogramowania TRNSYS, co przedstawiono na rys. 3. Parametry zastosowane w symulacji to: t_z – temperatura powietrza zewnętrznego, t_1 – temperatura czynnika grzewczego, Q – ilość ciepła doprowadzona do systemu, t_1 – temperatura zasilania po stronie instalacji, Φ_{real} – zapotrzebowanie na ciepło w warunkach rzeczywistych, $\Phi_{\text{HL, i}}$ – zapotrzebowanie na ciepło w warunkach projektowych, t_p – temperatura powrotu, t_p proj – projektowa temperatura powrotu, $t_{2\text{storage}}$ – temperatura po zmagazynowaniu, Q_{storage} – ilość ciepła zmagazynowana, η_{sys} – sprawność całego systemu, $\eta_{\text{sys storage}}$ – sprawność systemu magazynowania.

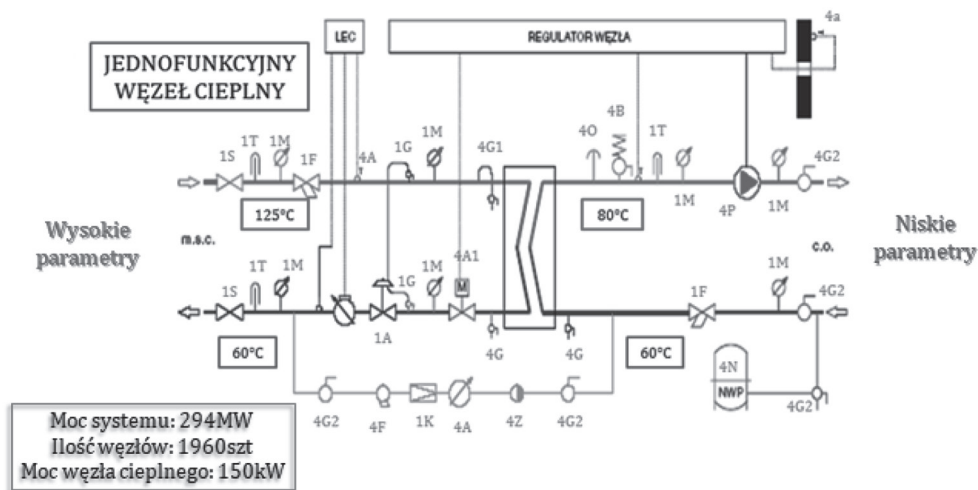
Przyjęty do analizy system ciepłowniczy zlokalizowany był w III strefie klimatycznej. Zakres regulacji pracy sieci ciepłowniczej mieścił się w przedziale temperatur powietrza zewnętrznego od -20°C do $+12^\circ\text{C}$. Charakterystyka analizowanej sieci ciepłowniczej przedstawiała się następująco: zasilanie 120°C , powrót 60°C . Analizowany system ciepłowniczy zlokalizowany był na powierzchni około 160 km^2 , zaopatrywał w ciepło około 240 tys. mieszkańców. Łączna długość miejskiej sieci ciepłowniczej wynosiła około 170 km. Analizie poddano węzeł cieplny, który był węzłem pośrednim (wymyennikowym). Był to węzeł jednofunkcyjny, w którym



Rys. 3. Symulacja według opracowanej koncepcji integracji magazynu ciepła wykorzystującego ciepło przemian fazowych z miejskim systemem ciepłowniczym w układzie rozproszonym

Źródło: opracowanie własne.

ciepła woda użytkowa jest przygotowywana w podgrzewaczach elektrycznych (rysunek 4). Pominęto dodatkowe koszty na pokrycie oporów przepływu przez wymiennik zasobnika ciepła i strat ciepła samego akumulatora.



1S – zawór kulowy kołnierzowy, 1T – termometr techniczny, 1M – manometr, 1F – filtr siatkowy, 1G – zawór kulowy gwintowany, 1A – regulator różnicy ciśnień, 4A – czujnik temperatury wody instalacyjnej, 4O – odpowietrznik automatyczny, 4B – zawór bezpieczeństwa membranowy, 4P – pompa obiegowa c.o., 4F – filtr siatkowy gwintowany z wkładem magnetycznym, 4G2 – zawór kulowy gwintowany, 4A – presostat – załączanie pompy ładowania zładu, 4N – naczynie zbiorcze przeponowe c.o., 4a – regulator temperatury, LEC – czujnik temperatury zewnętrznej, 1K – przepływomierz.

Rys. 4. Jednofunkcyjny węzeł ciepły – obiekt badań

Źródło: opracowanie własne.

Analiza została przeprowadzona w trzech etapach. Pierwszy etap dotyczył wyznaczenia parametrów pracy w relacji z temperaturą zewnętrzną do doboru materiału wykorzystującego ciepło przemian fazowych. W drugim etapie określono ilość ciepła możliwą do zmagazynowania w systemie ciepłowniczym. W trzecim etapie określono optymalną objętość magazynu ciepła w celu utrzymania temperatury powrotu na stałym poziomie, odpowiadającym tabeli regulacyjnej.

W pierwszym etapie analizy określono temperaturę powrotu w sieci ciepłowniczey w warunkach rzeczywistych, która w porównana z warunkami projektowymi pozwala określić ilości nieodebranego ciepła przez użytkowników końcowych (ilość ciepła do zmagazynowania). Parametry pracy sieci ciepłowniczey zostały ustalone zgodnie z tabelą regulacyjną dla temperatur zewnętrznych standardowego sezonu ogrzewczego. Następnie uzyskane dane porównano z projektowymi wartościami. Na podstawie otrzymanych wyników dobrano materiał zmiennofazowy dla analizowanego przypadku.

W drugim etapie wyznaczenie obliczeniowej wartości zużycia ciepła przez użytkowników końcowych pozwoliło określić ilość ciepła możliwego do zmagazynowania w sieci ciepłowniczej. Temperatury powrotu sieci ciepłowniczej były wartościami wynikowymi ciepła dostarczonego do odbiorców końcowych. Stan dynamiczny systemu ciepłowniczego umożliwił również obliczenie wartości strumienia ciepła do pokrycia potrzeb cieplnych odbiorców końcowych w zależności od temperatury powietrza zewnętrznego. Strumień masy w przeprowadzonej analizie wyniósł 1206,30 kg/s.

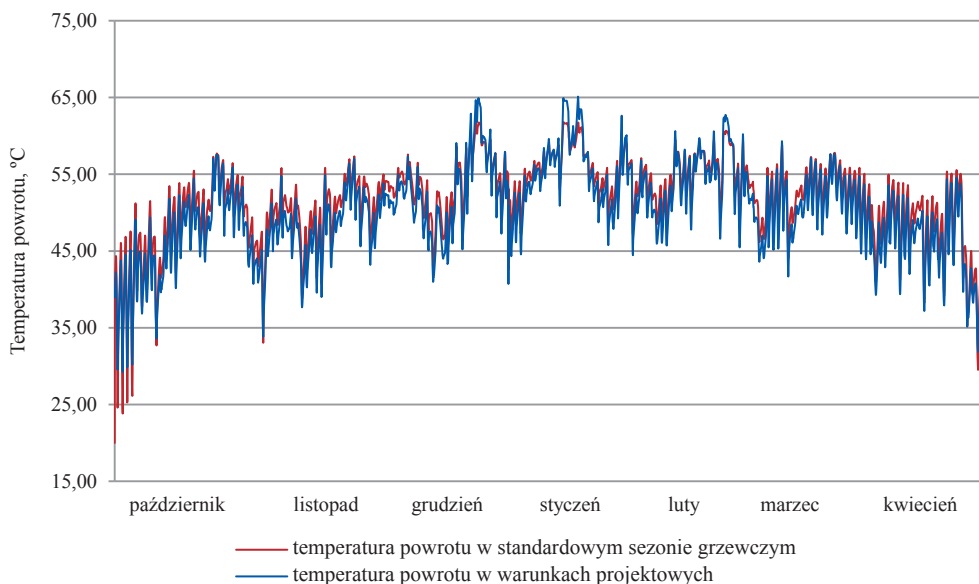
W trzecim etapie dobór objętości magazynu ciepła został dokonany z uwzględnieniem oszacowanej ilości ciepła możliwego do zmagazynowania w węźle cieplnym, która zależała od ciepła właściwego materiału PCM zarówno w stanie stałym, jak i ciekłym oraz od zmiany entalpii podczas przemiany fazowej.

3. Wyniki i ich analiza

Przystępując do doboru materiału zmiennofazowego możliwego do zastosowania w magazynach ciepła w sieci ciepłowniczej, w pierwszej kolejności należało wyznaczyć temperaturę powrotu sieci ciepłowniczej. Na rys. 5 przedstawiono wartości temperatury powrotu dla warunków projektowych (kolor niebieski) oraz dla standardowego sezonu ogrzewczego (kolor czerwony). Warunki projektowe wody powrotnej sieci ciepłowniczej ustalone zostały w zależności od temperatury zewnętrznej przy założeniu 100% odbioru ciepła przez użytkowników. Standardowy sezon ogrzewczy odnosił się do rzeczywistych wartości, które były uzależnione od odbioru ciepła w związku z zapotrzebowaniem na ciepło w relacji z temperaturą zewnętrzną.

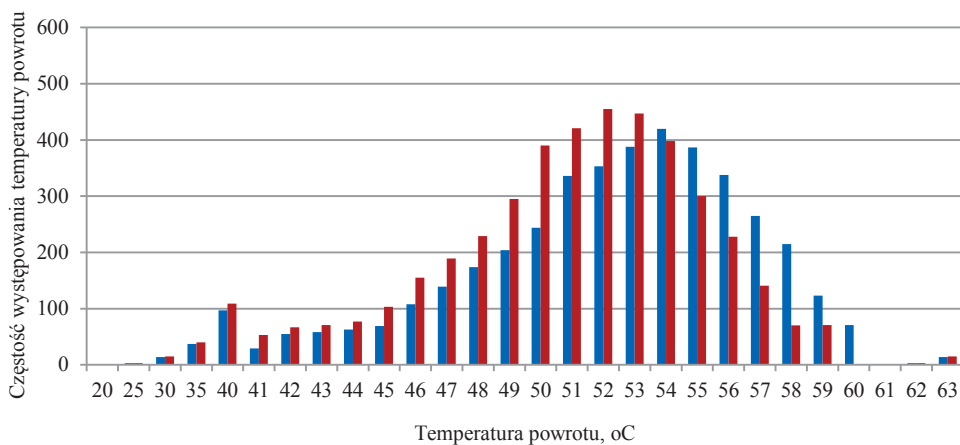
Zestawiając wartości dwóch stanów sieci ciepłowniczej zauważono, że temperatura powrotu w obu przypadkach (standardowy sezon grzewczy – kolor niebieski i projektowe wartości temperatury powrotu w sieci ciepłowniczej – kolor czerwony) mieściły się w zakresie temperatur od 46°C do 57°C, co przedstawiono na rys. 6. Powyższe temperatury występowały z największą częstotliwością w miesiącach: od grudnia do marca. Pozostałe miesiące sezonu ogrzewczego charakteryzowały się nieco niższymi temperaturami powrotu (poniżej 46°C). Wartości temperatury powrotu dla sezonu standardowego były o 3% wyższe niż dla warunków projektowych pracy systemu.

Bez względu na przyczyny tej rozbieżności oceniono, że możliwa jest redukcja rozbieżności w wyniku zastosowania rozproszonych magazynów ciepła zlokalizowanych na końcówkach sieci ciepłowniczej.



Rys. 5. Zestawienie temperatury powrotu sieci ciepłowniczej dla standardowego sezonu ogrzewczego i projektowych wartości temperatury powrotu

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 6. Wykres uporządkowany częstości występowania temperatury powrotu sieci ciepłowniczej

Źródło: opracowanie własne.

3.1. Wybór materiału zmiennofazowego dla reprezentatywnego systemu

Na podstawie analizy częstości występowania temperatury powrotu w sieci ciepłowniczej określono temperaturę przejścia fazowego, jaką musi spełniać materiał wykorzystujący ciepło przemian fazowych w celu akumulacji ciepła w systemie ciepłowniczym. Z analizy wynikało, że najczęściej występującą temperaturą powrotu w sieci ciepłowniczej był zakres od 46°C do 57°C, i to dla niej należało dobrać materiał wykorzystujący ciepło przemian fazowych.

W tabeli 1 zestawiono hydraty soli i parafiny o liczbie atomów węgla od 23 do 26. Wszystkie wybrane materiały ulegają przemianom fazowym w wyznaczonym zakresie temperatur pracy systemu oraz mają określone parametry fizyczne, chemiczne i techniczne. Kolorem szarym zaznaczone zostały te związki, które zgodnie z zaproponowaną metodą w pracy [Nogaj, Turski, Sekret 2017b] uzyskały największą liczbę punktów.

Tabela 1. Temperatura topnienia i utajone ciepło przemiany fazowej: hydraty soli i parafiny

Materiał	Temperatura topnienia (°C)	Utajone ciepło przemiany fazowej (kJ/kg)	Przewodność cieplna (W/m·K)	Gęstość (kg/m ³)	Uzyskane punkty wybranych materiałów (wg metodyki zaproponowanej przez [Nogaj, Turski, Sekret 2017a])
1	2	3	4	5	6
Mg(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	47	142	0,125	552	385,5
Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	47	153	0,191	540	385,5
Fe(NO ₃) ₃ ·9H ₂ O	47	155	Brak danych	Brak danych	367,5
Na ₂ SiO ₃ ·4H ₂ O	48	168	0,265	Brak danych	376,5
K ₂ HPO ₄ ·3H ₂ O	48	99	Brak danych	Brak danych	376,5
Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O	48,5	210	Brak danych	Brak danych	367,5
MgSO ₄ ·7H ₂ O	48,5	202	0,163	490	367,5
Ca(NO ₃) ₂ ·3H ₂ O	51	104	Brak danych	Brak danych	385,5
Zn(NO ₃) ₂ ·H ₂ O	55	68	Brak danych	Brak danych	367,5
FeCl ₃ ·2K ₂ O	56	90	Brak danych	Brak danych	367,5

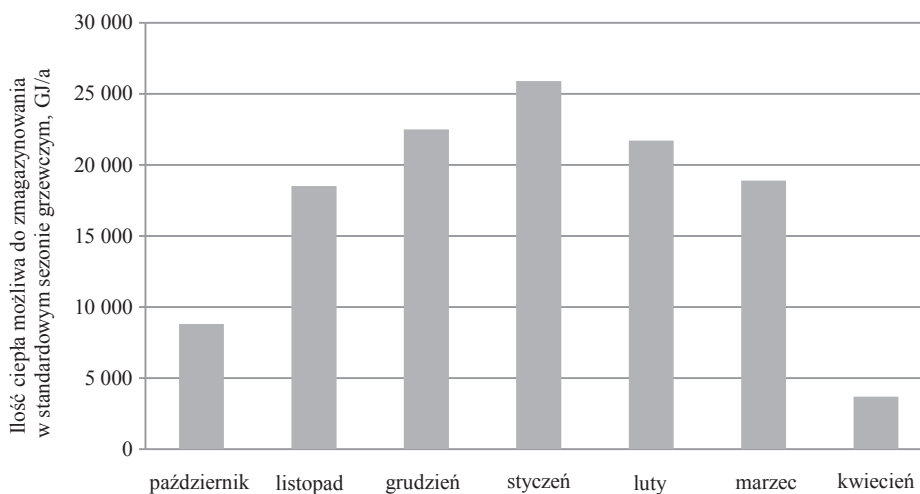
Tabela 1, cd.

1	2	3	4	5	6
$\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	57	169	Brak danych	Brak danych	367,5
Parafina o liczbie atomów węgla 23	47,5	232	0,21	910	382,5
Parafina o liczbie atomów węgla 24	50,6	255	0,21	910	382,5
Parafina o liczbie atomów węgla 25	49,4	238	0,21	910	382,5
Parafina o liczbie atomów węgla 26	56,3	256	0,21	910	382,5

Źródło: [Nogaj, Turski, Sekret 2017b].

3.2. Ilość ciepła do zmagazynowania w analizowanym systemie

W standardowym sezonie grzewczym największe ilości ciepła możliwe do zmagazynowania, czyli powyżej 20 000 GJ/a (gdzie GJ/a oznacza GJ ciepła na sezon ogrzewczy), zaobserwowano w grudniu, styczniu i lutym, co przedstawiono na rys. 7. W pozostałych miesiącach ilość ciepła możliwa do zmagazynowania wahała



Rys. 7. Ilość ciepła możliwa do zmagazynowania w standardowym sezonie grzewczym

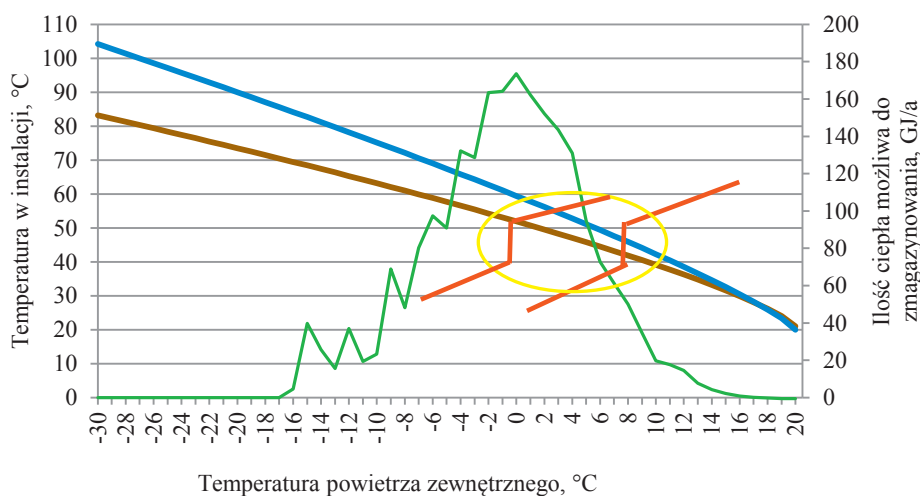
Źródło: opracowanie własne.

się pomiędzy 3700 GJ/a a 19 000 GJ/a. Biorąc pod uwagę brak danych dotyczących pełnych miesięcy października i kwietnia (analiza dotyczyła sezonu ogrzewczego, tj. okresu liczonego od 10 października do 8 kwietnia), stwierdzono, że najwyższe ilości ciepła możliwe do zmagazynowania przypadają na szczyt sezonu grzewczego (grudzień 22 500 GJ/a, styczeń 25 900 GJ/a, luty 21 700 GJ/a), a najniższe na okres przejściowy (marzec i listopad po około 19 000 GJ/a, październik 8800 GJ/a oraz kwiecień 3700 GJ/a).

3.3. Dobór objętości magazynu ciepła z wykorzystaniem materiału zmiennofazowego

Dla analizowanego węzła cieplnego oszacowano, że największe ilości ciepła możliwego do zmagazynowania występują wtedy, kiedy temperatura zewnętrzna powietrza osiąga zakres od -2°C do $+5^{\circ}\text{C}$. Dla tego też zakresu zaobserwowano temperaturę powrotu w instalacji na poziomie $46-57^{\circ}\text{C}$.

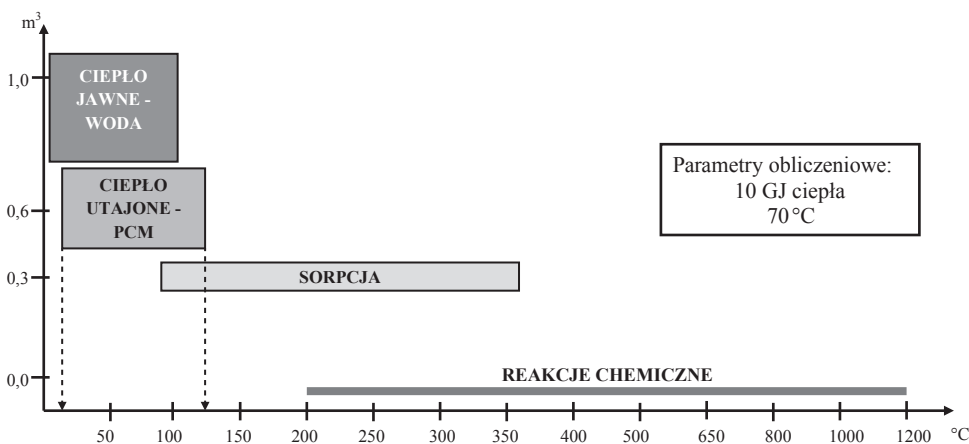
Dobór objętości magazynu ciepła z wykorzystaniem ciepła przemian fazowych został przedstawiony na rys. 8. Kolorem niebieskim zaznaczono temperaturę wody zasilającej instalację, a kolorem brązowym temperaturę wody powrotnej. Wykreślono również charakterystykę ilości ciepła możliwego do zmagazynowania w analizowanej instalacji, którą przedstawia krzywa zielona. Przebieg przemiany fazowej materiału magazynującego ciepło w wyznaczonym zakresie temperatur pracy instalacji ($46-57^{\circ}\text{C}$) w relacji z temperaturą powietrza zewnętrznego (-2°C do 5°C) został zaznaczony kolorem czerwonym.



Rys. 8. Dobór objętości magazynu ciepła dla analizowanego węzła cieplnego

Źródło: opracowanie własne.

Podczas magazynowania energii cieplnej w systemach wykorzystujących ciepło przemian fazowych największy wpływ na ilość pochłanianego ciepła w trakcie procesów ładowania i rozładowania ma zmiana temperatury pracy systemu. Do momentu osiągnięcia oczekiwanej temperatury w instalacji, czyli temperatury przejścia fazowego, magazyn ciepła wykorzystuje ciepło właściwe wody. W ściśle określonym zakresie temperatury (analizowany przypadek 46°C - 57°C , gdzie $\Delta T = 7\text{K}$) następuje przemiana fazowa i właściwe magazynowanie ciepła. Po przekroczeniu zakresu optymalnych warunków dla przemiany fazowej ciepło znów jest magazynowane z wykorzystaniem ciepła właściwego wody znajdującej się w magazynie.



Rys. 9. Schemat porównawczy: ciepło utajone i ciepło jawne

Źródło: opracowanie własne.

Przewaga ciepła utajonego nad ciepłem jawnym jest łatwa do oszacowania, jeśli porówna się chociażby objętość i masę wymaganą do magazynowania pewnej ilości ciepła (tu 10 GJ ciepła). W odniesieniu do jednostki masy i objętości wykorzystanie materiałów zmiennofazowych w magazynach ciepła sieci ciepłowniczej pozwala na zwiększenie o 30% ilości ciepła możliwego do zmagazynowania względem wodnych magazynów ciepła, co przedstawiono na rys. 9.

4. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonej analizy stwierdzono, że wybór najkorzystniejszego materiału akumulującego ciepło zależy od temperatury powrotu sieci ciepłowniczej. Dlatego też w każdym przypadku wybór materiału wykorzystującego ciepło przemian fazowych powinien być przeprowadzany indywidualnie.

W przeprowadzonej analizie najkorzystniejszymi materiałami magazynującymi ciepło z wykorzystaniem ciepła przemiany fazowej w sieci ciepłowniczej zostały

hydraty soli, tj. $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ i $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ oraz parafiny o liczbie atomów węgla 24 i 26.

Analiza wykazała również, że dla analizowanego systemu ciepłowniczego występują znaczne ilości wytworzonego, a nieodebranego ciepła (ok. 120 000 GJ na okres ogrzewczy), które można zakumulować i wykorzystać w okresie zwiększonego zapotrzebowania na ciepło. Ilość ta stanowi około 5% całej produkcji ciepła.

Magazynowanie ciepła z wykorzystaniem materiału zmiennofazowego zapewnia znacznie wyższą gęstość magazynowania przy mniejszej różnicy temperatur pomiędzy ładowaniem a rozładowaniem magazynu ciepła.

Zastosowanie magazynów ciepła wykorzystujących ciepło przemiany fazowej pozwala na utrzymanie temperatury powrotu z instalacji na założonym poziomie zgodnie z tabelą regulacyjną.

Literatura

- Chwieduk D., 2010, *Solar energy use for thermal application in Poland*, Polish Journal of Environmental Studies, vol. 19, no. 3, s. 473-478.
- De Carli M., Galgaro A., Pasqualetto M., Zarrella A., 2014, *Energetic and economic aspects of a heating and cooling district in a mild climate based on closed loop GrodnuSkurce heat pump*, Applied Thermal Engineering, 71, s. 895-904.
- Jachura A., Sekret R., 2013, *Analiza zapotrzebowania na moc cieplną i zużycie ciepła w budynkach edukacyjnych. Część II. Wpływ różnych parametrów na zużycie ciepła i opracowanie współczynników korekcyjnych*, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, nr 10.
- Jaworski L., 2016, *Niskotemperaturowe sieci ciepłownicze i analiza polskich systemów ciepłowniczych zasilanych z elektrociepłowni*, Materiały XXX Konferencji z cyklu Zagadnienia surowców energetycznych i energii w gospodarce krajowej, Zakopane, 9-12.10.2016 r.
- Jurkiewicz A., *Decentralizacja systemów ciepłowniczych jako metoda na obniżanie kosztów produkcji i dostawy ciepła i możliwość zastosowania odnawialnych źródeł energii i urządzeń rozproszonej energetyki (OZE/URE)*, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, nr 43/5, s. 183-186.
- Nogaj K., 2016a, *Magazynowanie ciepła w systemie ciepłowniczym*, Badania i Rozwój Młodych Naukowców w Polsce. Energia, Wydawnictwo Młodzi Naukowcy, Poznań 2016.
- Nogaj K., 2016b, *Możliwości rozproszonego magazynowania ciepła w systemie ciepłowniczym poprzez wykorzystanie technologii domów słonecznych*, Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, nr 461, s. 157-169.
- Nogaj K., Turski M., Sekret R., 2017a, *Wykorzystanie materiałów zmiennofazowych PCM do akumulacji ciepła w systemach ciepłowniczych. Część I. Metodyka wyboru materiału PCM*, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, nr 48(2), s. 47-52. Nogaj K., Turski M., Sekret R., 2017b, *Wykorzystanie materiałów zmiennofazowych PCM do akumulacji ciepła w systemach ciepłowniczych. Część II. Analiza wybranej sieci ciepłowniczej*, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, nr 48(3), s. 91-95.
- Piechocki J., 2006, *Praktyczne aspekty wykorzystania odnawialnych źródeł energii*, Podlaska Fundacja Rozwoju Regionalnego, 118.
- Radca Ambasady Gunnar Haglund, 2009, *Ambasada Szwecji. Informacje ogólne*, s. 1-14.
- Regulski B., Ziembicki P., Bernasiński J., Węglarz A., 2014, *Rynek ciepłowniczy w Polsce*, Rynek Energii, sierpień.

- Rudniak J., Sekret R., 2015, *Wykorzystanie energii promieniowania słonecznego a magazynowanie ciepła*, Rynek Energii, nr 6(121), s. 86-92.
- Shannaq R., Farid M.M., 2015, *Microencapsulation of phase change materials (PCMs) for thermal energy storage systems*, Advances in Thermal Energy Storage Systems, s. 247-284.
- Streicher W., Heinz A., Bony J., Citherlet S., Cabeza L., Schultz J.M., Furbo S., 2008, *Results of IEA SHC Task 32: Subtask C: Phase Change Materials: Advanced storage concepts for solar and low Energy buildings*, IEA-SHC 2008.
- Śniezyk R., 2011, *Parametry dostawy ciepła w systemach ciepłowniczych latem – podstawa wymiarowania układu kogeneracyjnego*, Energetyka, nr 8, s. 1-15.
- Turski M., Sekret R., 2015a, *Konieczność reorganizacji systemów ciepłowniczych w świetle zmian zachodzących w sektorze budowlano-instalacyjnym*, Rynek Energii, nr 4(119), s. 27-34.
- Turski M., Sekret R., 2015b, *Nowe rozwiązania dla hybrydowych systemów zaopatrzenia budynków w energię*, [w:] Kaproń H. (red.), *Rynek ciepła. Materiały i studia*, Wydawnictwo KAPRINT, Lublin.
- Wojdyga K., 2008, *Prognozowanie zapotrzebowania na moc cieplną w systemach ciepłowniczych*, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, nr 11.
- Xu J., Wang R.Z., Li Y., 2014, *A review of available technologies for seasonal thermal energy storage*, Solar Energy, no. 103, s. 610-638.