



Algorytm szacowania zredukowanych temperatur zasilania i powrotu sieci ciepłowniczej na potrzeby transformacji energetycznej

A method for calculating reduced supply and return temperatures in district heating networks for the purpose of energy transformation



Prof. dr hab. inż. Robert Sekret

ORCID ID: 0000-0003-4694-2717
Wydział Infrastruktury i Środowiska
Politechnika Częstochowska
robert.sekret@pcz.pl



Mgr inż. Arkadiusz Lipiński

Specjalista z zakresu sieci i węzłów ciepłowniczych

Słowa kluczowe: miejski system ciepłowniczy, poprawa efektywności energetycznej, obniżanie temperatury, termomodernizacja budynków, metoda oceny potencjału energetycznego

Streszczenie

Artykuł przedstawia algorytm obliczeniowy do wyznaczania zredukowanych nominalnych temperatur zasilania i powrotu systemu ciepłowniczego. W tym celu wykorzystano nadmiarowość ciepło-przepływową systemu ciepłowniczego oraz obniżenie zapotrzebowania na ciepło budynków w wyniku ich termomodernizacji. Badania zrealizowano na systemie ciepłowniczym o wyjściowej mocy cieplnej wynoszącej 327 MW. Badany system ciepłowniczy skutecznie zmniejszył temperaturę zasilania z 150°C do 118°C oraz temperaturę powrotu z 80°C do 60°C. Obniżenie temperatury pozwoliło na 19% poprawę sprawności przesyłu i regulacji sieci ciepłowniczej bez przekroczenia w niej nominalnego przepływu nośnika ciepła. Potwierdzono, że algorytm jest użytecznymi narzędziami do oceny potencjału gotowości danego systemu ciepłowniczego do wdrażania ciepłownictwa 4 generacji.

Keywords: district heating system, improving energy efficiency, lowering temperatures, thermal modernization of buildings

Abstract

This paper presents an algorithm for calculating the reduced nominal supply and return temperatures of a district heating system. To achieve this, the thermal and flow excess of the district heating system, as well as the reduction in heat demand resulting from the thermal modernization of buildings, were considered. The research was conducted on a district heating system with an initial heat output of 327 MW. This system effectively reduced the supply temperature from 150°C to 118°C and the return temperature from 80°C to 60°C. This reduction in temperature allowed for a 19% improvement in the efficiency of transmitting and regulating the district heating network, without exceeding the nominal heat carrier flow rate. The algorithm was confirmed to be a useful tool for assessing the readiness of a given district heating system to implement fourth-generation district heating.

Wykaz oznaczeń

A	pole powierzchni obiektów zasilanych z sieci ciepłowniczej (m^2)
C_p	ciepło właściwe nośnika ciepła w sieci ciepłowniczej ($kJ\ kg^{-1}\ K^{-1}$)
EPE	wykładnik charakterystyki energetycznej systemu ciepłowniczego (-)
$\dot{m}$	strumień nośnika ciepła w sieci ciepłowniczej (kg/s), ($m^3\ h^{-1}$)
$\dot{Q}_{sc}$	moc cieplna sieci ciepłowniczej (MW)
$\dot{Q}_{oc}$	moc cieplna odbiorców ciepła (MW)
S	straty ciepła w sieci ciepłowniczej
t	temperatura
U	zastępczy współczynnik przejmowania ciepła przez odbiorców ciepła ($W\ m^2\ K$)
Greek Symbols	
α	stopień regulacji ilościowej nośnika ciepła w SC (-)
Δ	przyrost
η	sprawność
Φ	współczynnik wykorzystania nominalnej mocy cieplnej (-)

Subscripts

B	warunki bazowe, wyjściowe – Test B systemu SC
SC	dot. sieci ciepłowniczej
e	powietrze zewnętrzne
g	grunt
OC	dot. odbiorców ciepła
RD	regulacja dostawy ciepła
PC	przesył ciepła
w	średnia temperatura powietrza wewnętrznego w budynkach
max	maksymalna/nominalna wartość
n	średnia temperatura w sieci ciepłowniczej
p	nośnik ciepła na powrocie sieci ciepłowniczej
z	nośnik ciepła na zasilaniu sieci ciepłowniczej
RT	stan pracy sieci ciepłowniczej po obniżeniu temperatur

Abbreviations

SC	sieć ciepłownicza
OC	odbiorcy ciepła

Wprowadzenie

Ciepłownictwo postrzegane jest jako efektywne kosztowo rozwiązanie zapewniające ogrzewanie budynków zlokalizowanych w gęstej zabudowie miejskiej. Efekt ten jest wynikiem między innymi konkurencyjnej ceny ciepła przy niskim szkodliwym wpływie na środowisko. W ramach transformacji energetycznej systemów ciepłowniczych realizuje się wiele prac zwiększających efektywność energetyczną i środowiskową. Źródła ciepła dostosowuje się do nowych norm emisyjnych, wykorzystuje się nowe paliwa (biomasę i odpady), czy zwiększa się udział skojarzonego wytwarzania energii elektrycznej i ciepła. W zakresie przesyłu i dystrybucji ciepła prace te dotyczą m.in.: wymiany sieci kanałowych na sieci preizolowane, modernizacji lub wymiany węzłów cieplnych, czy poprawę szczelności sieci ciepłowniczych. Z kolei po stronie odbiorców ciepła realizuje się intensywne procesy termomodernizacyjne budynków, które prowadzą do obniżenia zapotrzebowania na ciepło a w tym również konieczności obniżenia temperatur zasilania i powrotu wewnętrznych instalacji grzewczych. Należy zaznaczyć, że prace są realizowane często jako działania nie powiązane ze sobą pomiędzy poszczególnymi częściami systemu ciepłowniczego (źródło ciepła, przesył i dystrybucja ciepła, odbiorcy ciepła), tj. bez efektu synergii. Dalsza transformacja energetyczna ciepłownictwa wymusza konieczność pracy przy niższych temperaturach zasilania i powrotu, niż dotychczasowe. Zastosowanie systemów niskotemperaturowych w ciepłownictwie pozwala na: obniżenie zużycia energii elektrycznej przez pompy ciepła, wzrost ilości ciepła odpadowego w systemie ciepłowniczym, wzrost udziału ciepła ze źródeł odnawialnych w systemie ciepłowniczym, wzrost odzysku ciepła w procesie kondensacji spalin w źródle ciepła, wzrost produkcji energii elektrycznej w elektrociepłowni, wyższą zdolność magazynowania ciepła, niższe straty przesyłu i dystrybucji ciepła, możliwość stosowania rur z tworzyw sztucznych zamiast rur stalowych, czy zwiększenie żywotności przewodów ciepłowniczych.

Główny problem rozwoju niskotemperaturowych systemów ciepłowniczych dotyczy układów, które zaprojektowano jako wysokotemperaturowe. Istniejące systemy ciepłownicze drugiej i trzeciej generacji pracują przy temperaturze zasilania powyżej 130°C. Bezkrtyczne obniżenie temperatury zasilania sieci ciepłowniczych (SC) prowadzić będzie do problemów eksploatacyjnych istniejącego systemu ciepłowniczego, zarówno w zakresie przesyłu i dystrybucji ciepła, węzłów ciepłowniczych, czy wewnętrznych instalacjach grzewczych w budynkach. Należy mieć świadomość, że system ciepłowniczy to rozległa infrastruktura podziemna i naziemna na terenie zurbanizowanym o dużej bezwładności cieplnej i wysokich kosztach inwestycyjnych (Millar et al., 2021, Lund et al., 2017). Szeroki przegląd strategii obniżenia temperatury zasilania w istniejących sieciach ciepłowniczych przedstawiono w badaniach (Lund et al., 2017, Averfalk et al., 2017, Agner et al., 2025). Stwierdzono w nich, że przyjęcie długoterminowego planowania i etapowego wdrażania jest niezbędne do pomyślnego osiągnięcia celów dekarbonizacji systemów ciepłowniczych. Praktyczne wytyczne dla wdrażania niskotemperaturowych systemów ciepłowniczych prezentują m.in. badania (Averfalk et al., 2025).

Przy transformacji sieci wysokotemperaturowych do niskotemperaturowych w sposób efektywny kosztowo konieczne jest pozyskanie na wstępie informacji o potencjale efektywnościowym danego systemu. Badania (Lund et al., 2017, Capone et al., 2023, Brange et al., 2019) wskazują, że na podstawie oceny tego potencjału można określić zakres koniecznych prac i ich koszty ekonomiczne. Z drugiej strony badania (Su et al., 2022) wskazują, że obecnie najczęściej planowany zakres prac modernizacyjnych bazuje na wiedzy eksperckiej specjalistów zajmujących się bezpośrednio eksploatacją danego systemu ciepłowniczego. Nadal brakuje narzędzi do szybkiej analizy tego typu systemów, które wykorzystują nie tylko wiedzę ekspercką, ale również szybkie metody obliczeniowe bazujące na historii pracy systemu ciepłowniczego.

Istotnym elementem procesu transformacji energetycznej systemu ciepłowniczego jest wiedza o możliwej najniższej temperaturze zasilania sieci ciepłowniczej, jaką możemy przyjąć wykorzystując istniejące przewymiarowanie systemu ciepłowniczego. Wiedza ta pozwala z jednej strony już na początku procesu transformacji na poprawę efektywności istniejącego systemu przy niskich kosztach i w krótkim czasie realizacji a z drugiej strony stanowi istotną informację o warunkach początkowych do wykonania modelowania cieplno-przepływowego całego systemu na potrzeby ustalenia zakresu prac wysokokosztowych i wdrażania zaawansowanych rozwiązań. Do wysokokosztowych rozwiązań należy zaliczyć: modernizację źródeł ciepła, budowę magazynów ciepła, prace zwiększające przepustowość sieci ciepłowniczych, wymianę węzłów cieplnych, czy regulację wewnętrznych instalacji grzewczych w budynkach.

W związku z tym, w artykule zaprezentowano zestaw podstawowych zależności do oceny potencjału obniżenia temperatury zasilania i powrotu dla istniejącego systemu ciepłowniczego. Metoda ta w swoim założeniu wykorzystuje nadmiarowość cieplno-przepływową systemu ciepłowniczego i redukcję zużycia ciepła budynków poddanych procesom termomodernizacji. Metoda ta, jako narzędzie do wstępnej oceny systemu ciepłowniczego, na podstawie rzeczywistych danych z pracy systemu ciepłowniczego, pozwoli na wskazanie zredukowanych nominalnych temperatur zasilania i powrotu SC możliwych do osiągnięcia w warunkach bezpiecznej eksploatacji.

Wyznaczenie nowych temperatur zasilania i powrotu systemu ciepłowniczego

Założenia do metody

Założono, że podstawą zaproponowanej metody określenia nowych nominalnych temperatur zasilania i powrotu sieci ciepłowniczej będzie efekt zmniejszającej się mocy cieplnej systemu ciepłowniczego przy nieprzekraczaniu maksymalnego projektowego strumienia masy nośnika ciepła w sieci ciepłowniczej. Wynika to z intensywnych procesów termomodernizacyjnych budynków, działań zwiększających efektywność energetyczną w zakresie wykorzystania ciepła (zarządzania energią), częstości występowania minimalnych temperatur powietrza zewnętrznego, czy braku jednoczesności występowania zapotrzebowania na moc nominalną u odbiorców ciepła (OC). Czynniki te sprawiają, że rzeczywiste zapotrzebowa-

Tabela 1. Dane wejściowe i szukane w proponowanym algorytmie obliczeniowym, Źródło: opracowanie własne
Table 1. Input data and unknowns in the proposed computational algorithm, Source: authors' own study

Szukane	
$t_{z,RT,max}$	nowa nominalna temperatura zasilania (°C)
$t_{p,RT,max}$	nowa nominalna temperatura powrotu (°C)
$EPE_{RT,max}$	nowy wykładnik charakterystyki energetycznej SC
$\Delta\eta_{(PC+RD)}$	przyrost sprawności przesyłu i regulacji SC
Dane wejściowe – dane z SC w stanie przed obniżeniem temperatur	
t_w	temperatura wewnętrzna (°C)
$\dot{m}$	strumień masy nośnika ciepła (kg s ⁻¹)
A	pole powierzchni ogrzewanej odbiorców ciepła (m ²)
$EPE_{B,max}$	wykładnik charakterystyki energetycznej SC
α	stopień regulacji ilościowej
S_B	straty ciepła w sieci ciepłowniczej – pomiar
t_e	temperatura zewnętrzna (°C)
t_g	temperatura gruntu (°C)
$t_{z,B,max}$	bazowa temperatura zasilania (°C)
$t_{p,B,max}$	bazowa temperatura powrotu (°C)
$\dot{Q}_{OC,max}$	nominalna moc cieplna odbiorców ciepła OC (MW)
$\dot{Q}_{SC,max}$	nominalna moc cieplna sieci ciepłowniczej SC (MW)

nie na moc cieplną SC jest niższe niż wynikające z sumy projektowych obciążeń cieplnych poszczególnych odbiorców ciepła (Yang et al., 2023). Dopuszczalne jest lokalne doregulowanie ilościowe w wyniku zwiększenia przepustowości przyłączy do budynku poprzez zmniejszenie stopnia dławienia przepływu (usunięcie/korekta kryz lub zmiana nastaw zaworów stałego ciśnienia).

Algorytm wyznaczenia nowych temperatur zasilania i powrotu

Algorytm wyznaczania nowych temperatur zasilania i powrotu sieci ciepłowniczej bazuje na 6 zależnościach opisanych wzorami (od 1 do 6):

$$t_{z,RT,max} = t_w + \frac{\dot{Q}_{SC,B,max}}{2 \cdot \dot{m}_{max} \cdot c_p} + \left(\frac{\dot{Q}_{SC,B,max}}{A} \right)^{\frac{1}{1+EPE_{RT,max}}} \quad (1)$$

$$t_{p,RT,max} = t_{z,RT,max} - \frac{Q_{SC,B}}{\dot{m}_{max} \cdot c_p} \quad (2)$$

$$EPE_{RT,max} = EPE_{B,max} \cdot e^{((1+EPE_{B,max}) \cdot \alpha \cdot \Delta\eta_{(PC+RD)})} \quad (3)$$

$$\Delta t_{(n-w),RT,max} = \frac{t_{z,RT,max} + t_{p,RT,max}}{2} - \frac{t_e + t_g}{2} \quad (4)$$

$$\Delta t_{(n-w),B,max} = \frac{t_{z,B,max} + t_{p,B,max}}{2} - \frac{t_e + t_g}{2} \quad (5)$$

$$\Delta\eta_{PC+RD} = \frac{\left(1 - S_B \cdot \frac{\Delta t_{(n-w),RT,max}}{\Delta t_{(n-w),B,max}} \right) \cdot 1 - (1 - S_B) \cdot \frac{\dot{Q}_{OC,max}}{\dot{Q}_{SC,max}}}{(1 - S_B) \cdot \frac{\dot{Q}_{OC,max}}{\dot{Q}_{SC,max}}} \quad (6)$$

W tab. 1 przedstawiono wymagane dane wejściowe charakteryzujące dany system ciepłowniczy celem rozwiązania zależności od (1) do (6).

Obiekt i metodyka badań

Obiekt badań

Jako obiekt badań wybrano miejski system ciepłowniczy o wyjściowej mocy cieplnej 327 MW zlokalizowany na powierzchni ok. 160 km² i zaopatrujący w ciepło ok. 120 000 mieszkańców. Zapotrzebowanie na moc cieplną na potrzeby budownictwa mieszkaniowego wynosi 254 MW, dla obiektów użyteczności publicznej 56 MW oraz dla przemysłu i usług komercyjnych 17 MW.

Metoda badań

Z punktu widzenia analizy systemu ciepłowniczego jako obiektu badawczego nie ma konieczności wyznaczania bilansów i charakterystyk energetycznych kolejno dla wszystkich obiektów zasilanych z sieci ciepłowniczej. Bardzo często są to znaczące zbiorowości budynków. Założenie, że wszyscy odbiorcy ciepła to jeden odbiornik ciepła, dla którego należy wyznaczyć zastępczą charakterystykę cieplną i zbadać jej przebieg jest na tym etapie analiz wystarczające. Podstawową zależność na strumień ciepła przejmowanego przez odbiorców można zapisać jako iloczyn pola powierzchni ogrzewanych budynków, współczynnika przejmowania ciepła przez odbiorców ciepła oraz różnicy temperatur pomiędzy siecią ciepłowniczą a przestrzenią ogrzewanych:

$$\dot{Q}_{SC} = A \cdot U \cdot \Delta t_{n-w}, \quad (7)$$

gdzie obliczeniowa różnica temperatur pomiędzy siecią ciepłowniczą a odbiorcami ciepła jest opisana zależnością:

$$\Delta t_{n-w} = \frac{t_z + t_p}{2} - t_w \quad (8)$$

Wykorzystany w zależności (7) współczynnik U jest charakterystycznym parametrem danego systemu ciepłowniczego i rozumiany jest jako zastępczy współczynnik przejmowania ciepła odniesiony do całości odbiorców ciepła. Współczynnika U ujęto w funkcji średniej różnicy temperatur w postaci zależności:

$$U = (\Delta t_{n-w})^{EPE} \quad (9)$$

Wykładnik charakterystyki energetycznej EPE jest indywidualnym parametrem danego systemu ciepłowniczego. Wzrost wartości EPE jest tutaj rozumiany jako wzrost efektywności energetycznej odbioru ciepła przez układ grzewczy. W związku z tym uzyskano zależność na strumień ciepła przejmowany przez odbiorców w postaci zależności:

$$\dot{Q}_{SC} = A \cdot \left(\frac{t_z + t_p}{2} - t_w \right)^{1+EPE} \quad (10)$$

Kluczowym parametrem w określaniu nowych nominalnych temperatur zasilania i powrotu sieci ciepłowniczej jest wykładnik EPE dla systemu ciepłowniczego przed obniżeniem temperatur zasilania i powrotu wody sieciowej, charakterystyczny dla danego systemu ciepłowniczego i jego stanu pracy. Przekształcenie zależności (10) względem EPE daje zależność:

$$EPE = \frac{\ln\left(\frac{\dot{Q}_{SC}}{A}\right)}{\ln(\Delta t_{n-w})} - 1 \quad (11)$$

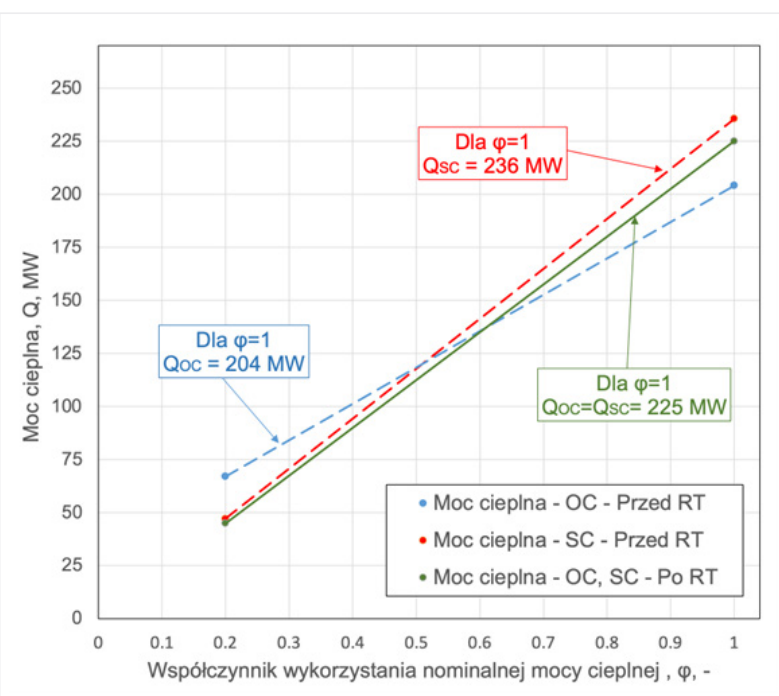
Wyznaczenie EPE wymaga znajomości rozkładu zarejestrowanych w godzinowym interwale czasowym parametrów pracy systemu ciepłowniczego dla wybranych sezonów grzewczych przed procesem obniżenia temperatury sieci ciepłowniczej, tj. temperatury zasilania, temperatury powrotu, strumienia masy nośnika ciepła, mocy cieplnej oraz temperatury powietrza zewnętrznego. Współczynnik wykorzystania nominalnej mocy cieplnej (obciążenia cieplnego) opisano zależnością:

$$\varphi = \frac{\dot{Q}_{SC}}{\dot{Q}_{SC,max}} \quad (12)$$

Wyniki badań in-situ

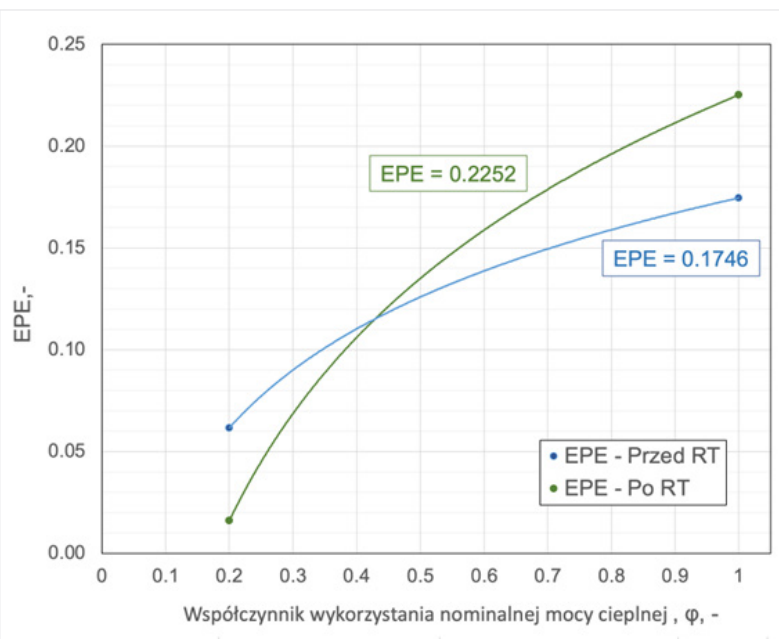
Na rys. 1 przedstawiono rozkłady mocy cieplnej w funkcji współczynnika przed i po obniżeniu temperatury SC. Uzyskane rozkłady współczynnika EPE w funkcji współczynnika przed i po obniżeniu temperatury SC przedstawiono na rys. 2. Jak wynika z rys. 1 dla uzyskanego rozkładu zapotrzebowania ma moc cieplną w warunkach eksploatacyjnych uzyskano moc cieplną odbieraną przez OC równą 204 MW. Moc cieplna sieci ciepłowniczej wyniosła 236 MW. Jak wynika z rys. 2, dla nominalnej mocy cieplnej EPE wyniosło 0,1746. Wartość projektowa współczynnika EPE badanego systemu ciepłowniczego wynosi 0,2. Istotna różnica pomiędzy wartością eksploatacyjną a projektową dla systemu pracującego przy temperaturach 150/80°C wskazuje na znaczne niższe ilości przejmowanego ciepła przez odbiorców w porównaniu do strumienia ciepła dostarczanego przez sieć ciepłowniczą. Ze względu na cieplejszy sezon grzewczy niż sezon standardowy nie osiągnięto nominalnego stanu pracy systemu ciepłowniczego. Na podstawie wiedzy eksperckiej zaproponowano nowe nominalne temperatury zasilania i powrotu ma poziomie 119°C i 59°C oraz oszacowano wzrost wykładnika charakterystyki energetycznej SC dla nowego stanu pracy obiektu badawczego do wartości 0,2164 oraz wzrost sprawności przesyłu i regulacji SC o 23,95%. Jak wynika z rys. 1, w wyniku obniżenia temperatury zasilania i powrotu sieci ciepłowniczej uzyskano porównywalne rozkłady mocy cieplnej sieci ciepłowniczej i odbiorców ciepła w funkcji współczynnika (linia zielona).

W tab. 2 przedstawiono porównanie szacunków eksperckich, danych eksperymentalnych uzyskanych w ramach badań in-situ wybranego systemu ciepłowniczego z wynikami uzyskanymi z opracowanego algorytmu obliczeniowego. Wygenerowane parametry SC w oparciu o zaproponowany algorytm wyniosły: temperatura zasilania 119°C, temperatura powrotu 60°C, Rozbieżność z wartościami uzyskanymi w badaniach in-situ wynoszą od 0,2% do 5,3% i nie są istotne z punktu widzenia skali badanego systemu ciepłowniczego. Dla badanego systemu ciepłowniczego można zauważyć zbieżność przyrostu sprawności przesyłu i regulacji z poziomem zrealizowanych termomodernizacji u odbior-



Rys. 1. Rozkład mocy cieplnej dla pracy systemu ciepłowniczego przed i po obniżeniu temperatury SC, Źródło: Opracowanie własne

Fig. 1. Thermal power distribution for the operation of the district heating system before and after lowering the supply temperature, Source: authors' own study



Rys. 2. Rozkład współczynnika EPE dla systemu ciepłowniczego przed i po obniżeniu temperatury SC, Źródło: Opracowanie własne

Fig. 2. Distribution of the EPE coefficient for the district heating system before and after lowering the supply temperature, Source: authors' own study

ców ciepła. Stopień termomodernizacji, a co za tym idzie stopień obniżenia mocy cieplnej systemu ciepłowniczego, wyniósł 18%. Jak wskazały badania i wdrożenie parametrów pracy DHS 118/57°C poprawa sprawności przesyłu i regulacji wyniosła 19,18%.

Obniżanie temperatury nośnika ciepła w sieci ciepłowniczego uwzględniające rzeczywiste zapotrzebowania na ciepło odbiorców, jest istotnym elementem procesu zwiększenia dyspozycyjności i żywotności istniejących systemów ciepłowniczych oraz obniżania strat ciepła, czy

Tabela 2. Porównanie wyników badań, Źródło: opracowanie własne
Table 2. Comparison of research results, Source: authors' own study

Parametr	Przed obniżeniem, B	Wartość oszacowana – wiedza ekspercka	Wartość z badań in-situ, W	Wartość z algorytmu, A	Błąd W-A
temperatura zasilania (°C)	150	119	118	119	0,8%
temperatura powrotu (°C)	80	59	57	60	5,3%
EPE	0,1746	0,2164	0,2252	0,2174	3,5%
przyrost sprawności przesyłu i regulacji SC (%)		22,31	19,18	19,00	0,2%

łagodzenia tempa wzrostu cen ciepła. Kluczowy element, który wpływa na możliwość obniżania temperatury nośnika ciepła w sieci ciepłowniczej, to zwiększenia tempa termomodernizacji istniejących budynków oraz konieczność weryfikacji regulacji hydraulicznej wewnętrznych instalacji grzewczych u OC w warunkach pracy przy zredukowanych temperaturach SC.

Ograniczeniem zaproponowanej metody jest wymiana przewodów magistralnych sieci ciepłowniczych na nowe o niższej średnicy. Zastosowanie niższych średnic wynika z uwzględnienia przy ich doborze niższego strumienia ciepła przesyłanego do odbiorców jako efekt termomodernizacji części budynków. Podstawowym założeniem zaproponowanej metody jest wykorzystanie przewymiarowania sieci ciepłowniczej w stosunku do obecnych potrzeb. Ograniczeniem zaproponowanej metody jest również udział i stopień rozproszenia budynków, które jeszcze nie zostały poddane procesom termomodernizacji a należy je dostosować do obniżonych temperatur pracy sieci ciepłowniczej. Nowe obniżone temperatury sieci ciepłowniczej są kompromisem pomiędzy oczekiwanymi niższymi temperaturami pracy sieci dla budynków docieplonych i nowych a istniejących niedocieplonych z możliwością pracy przy niższych temperaturach, niż by to wynikało z ich projektowego bilansu cieplnego.

Na potrzeby realizacji wdrożenia nowych temperatur, po ich wyznaczeniu należy dokonać sprawdzenia krytycznych odbiorców (najdalej odległych od źródła ciepła), zwłaszcza tych nie docieplonych. Weryfikacja ta może polegać m.in. na uzyskaniu informacji bezpośrednio o odbiorcy ciepła o zapewnieniu lub braku zapewnienia oczekiwanego komfortu cieplnego.

Podsumowanie

W wyniku przeprowadzonych badań i analiz uzyskanych wyników zaproponowano algorytm wyznaczenia nowych obniżonych nominalnych temperatur zasilania i powrotu sieci ciepłowniczej. Algorytm zweryfikowano w oparciu o badania in-situ dla systemu ciepłowniczego o wyjściowej mocy cieplnej 327 MW. Jako efekt wdrożenia nowych narzędzi do oceny potencjału proefektywnościowego wybrany system ciepłowniczy z powodzeniem przesunął temperaturę pracy na zasilaniu z 150°C do 118°C, jak również temperaturę powrotu z poziomu 80°C na 57°C. W związku z tym potwierdzono wykonalność, z zachowaniem wszystkich procedur dostawy ciepła do odbiorców końcowych, obniżenia temperatury sieci ciepłowniczej. Należy zaznaczyć, że udział budynków nie przygotowanych na obniżone parametry nośnika ciepła w sieci ciepłowniczej był niski. Zaistniałe przypadki nie-

doregulowania dotyczyły głównie wydajności przyłącz ciepłowniczych lub konieczności regulacji wewnętrznej instalacji grzewczej w budynkach.

Jak wskazały wyniki badań, obniżanie temperatury nośnika ciepła w systemach ciepłowniczych poddawanych transformacji w kierunku systemów ciepłowniczych 4 generacji jest silnie uzależnione od intensywności procesów termomodernizacyjnych u odbiorców końcowych oraz wprowadzania systemów zarządzania energią. Zaproponowany algorytm bazuje na wykorzystaniu redukcji mocy cieplnej odbiorców ciepła. Uwzględniając znaczące zróżnicowanie charakterystyk energetycznych poszczególnych elementów składowych obecnych systemów ciepłowniczych, obniżenie temperatur wody sieciowej jest zadaniem indywidualnym dla każdej sieci ciepłowniczej. Przeprowadzone badania wskazały, że obniżenie temperatur pracy systemu ciepłowniczego spowodowało znaczne zmniejszenie liczby awarii na sieci ciepłowniczej i w węzłach ciepłowniczych, a co za tym idzie zwiększenia dyspozycyjności i żywotności systemów ciepłowniczych. Obniżenie temperatury przyniosło poprawę sprawności przesyłu i regulacji systemu ciepłowniczego. W badanym przypadku poprawa sprawności przesyłu i regulacji wyniosła 19,18%.

Opracowany algorytm powstał w oparciu zarówno o wiedzę ekspercką z zakresu eksploatacji sieci ciepłowniczej, jak i danych eksperymentalnych. Rezultatem jest interpretowalny i pozostający w zgodzie z ograniczeniami fizycznymi algorytm do szacowania możliwej redukcji temperatur zasilania i powrotu sieci ciepłowniczej. Szybka i niskokosztowa analiza wskazująca potencjał efektywnościowy danego systemu ciepłowniczego jest bardzo istotna dla właściwego określenia zakresu prac jego dalszej transformacji energetycznej.

Bibliografia

- Agner, F., Trabert, U., Rantzer, A., & Orozaliyev, J. (2025). A data-based comparison of methods for reducing the peak flow rate in a district heating system. *Smart Energy*, 17, 100168. <https://doi.org/10.1016/j.segy.2024.100168>
- Averfalk, H., Benakopoulos, T., Best, I., Dammel, F., Engel, C., Geyer, R., Gudmundsson, O., Lygnerud, K., Nord, N., Oltmanns, J., Ponweiser, K., Schmidt, D., Schrammel, H., Skaarup Østergaard, D., Svendsen, S., Tunzi, M., & Werner, S. (2021). Low-temperature district heating implementation guidebook: Final report of IEA DHC Annex TS2: Implementation of low-temperature district heating systems (K. Lygnerud & S. Werner, Eds.). Fraunhofer Verlag. https://www.iea-dhc.org/fileadmin/documents/Annex_TS2/IEA_DHC_Annex_TS2_Transition_to_low_temperature_DH.pdf

Averfalk, H., Werner, S., Felsmann, C., Rühling, K., Wiltshire, R., Svendsen, S., Li, H., Faessler, J., Mermoud, F., & Quiquerez, L. (2017). Transformation roadmap: District heating and cooling systems (IEA-DHC Annex XI Final Report). International Energy Agency – District Heating and Cooling. https://www.iea-dhc.org/fileadmin/documents/Annex_XI/IEA-DHC-Annex_XI_Transformation_Roadmap_Final_Report_April_30-2017.pdf

Brange, L., Sernhed, K., & Thern, M. (2019). Method for addressing bottleneck problems in district heating networks. International Journal of Sustainable Energy Planning and Management, 20. <https://doi.org/10.5278/ijsepm.2020.19.4>

Capone, M., Guelpa, E., & Verda, V. (2023). Potential for supply temperature reduction of existing district heating substations. Energy, 285, 128597. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.128597>

Lund, R. S., Østergaard, D. S., Yang, X., & Mathiesen, B. V. (2017). Comparison of low-temperature district heating concepts in a long-term energy system perspective. International journal of sustainable energy planning and management, 12, 5-18. <https://doi.org/10.5278/ij-sepm.2017.12.2>

Millar, M. A., Yu, Z., Burnside, N., Jones, G., & Elrick, B. (2021). Identification of key performance indicators and complimentary load profiles for 5th generation district energy networks. Applied Energy, 291, 116672. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116672>

Su, L., Nie, T., Ho, C. O., Yang, Z., Calvez, P., Jain, R. K., & Schwegler, B. (2022). Optimizing pipe network design and central plant positioning of district heating and cooling System: A Graph-Based Multi-Objective genetic algorithm approach. Applied Energy, 325, 119844. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.119844>

Yang, J., Peng, M., Zhao, T., & Cui, M. (2023). Modeling and validation of a novel load model considering uncertain thermal disturbance in the district heating system. Energy and Buildings, 289, 113055. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113055>

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.



16–19 czerwca 2026

Artus Resort

ul. Wilcza 9

58-540 Karpacz



airandheat.pl



Konferencja

Air, Heat and Energy

XVII edycja międzynarodowej konferencji z cyklu **Air, Heat and Energy**

pamięci prof. dr. inż. Gerarda Jana Beslera

Organizatorzy



Politechnika Wrocławska

Wydział Inżynierii Środowiska



Partner wydarzenia



Patronat honorowy



Patronat medialny
i czasopisma



OGRZEWNICTWO | WENTYLACJA | CIEPŁOWNICTWO | KLIMATYZACJA | MIKROKLIMAT | MAGAZYN Y ENERGII
SIECI I INSTALACJE SANITARNE I GAZOWE | EFEKTYWNOŚĆ ENERGETYCZNA | JAKOŚĆ POWIETRZA WEWNĘTRZNEGO

Szczegóły na stronie: airandheat.pl