

Bartłomiej CIAPAŁA<sup>1</sup>, Mirosław JANOWSKI<sup>1</sup>, Jakub JURASZ<sup>2</sup>

## SUPERNISKOTEMPERATUROWA SIĘĆ CIEPŁOWNICZA Z INDYWIDUALNYM ŹRÓDŁEM SZCZYTOWYM W KONTEKŚCIE ZAOPATRZENIA W CIEPŁO BUDYNKU WYKONANEGO W TECHNOLOGII TRADYCYJNEJ

### STRESZCZENIE

Sieci ciepłownicze są postrzegane jako istotne rozwiązanie mające na celu przeciwdziałanie zmianom klimatu, poprawienie jakości życia oraz przede wszystkim ograniczenie zanieczyszczenia powietrza na skutek tzw. niskiej emisji. W większości zasilane są na podstawie źródeł konwencjonalnych, a ich parametry techniczne zakładają wysoką temperaturę medium. Trendy światowe wskazują na coraz powszechniejszą tendencję projektowania sieci niskotemperaturowych. Rozwiązania te pozwalają na obniżenie strat przesyłowych oraz wykorzystanie powszechnie występujących źródeł o niskiej entalpii.

W artykule przedstawiono model matematyczny oraz założenia dotyczące parametrów superniskotemperaturowej sieci ciepłowniczej. Na podstawie godzinowych wartości temperatury dla typowego roku meteorologicznego (warunki polskie) wyznaczono minimalną temperaturę medium sieci ciepłowniczej dla budynku jednorodzinnego o projektowanej stracie ciepła na poziomie  $100 \text{ W/m}^2$  przy ograniczeniu, że źródło szczytowe zużyje mniej energii niż pompa ciepła o wskaźniku sezonowej efektywności na poziomie 5.

W wyniku przeprowadzonych obliczeń wskazano, że najniższa akceptowalna temperatura to  $42,5^\circ\text{C}$  i pozwala ona na uzyskanie współczynnika obciążenia na poziomie 60% przy równoczesnym zaspokojeniu 80% zapotrzebowania na ciepło w budynku.

---

<sup>1</sup> AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Katedra Surowców Energetycznych, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; e-mail: bciapala@agh.edu.pl, janowski@agh.edu.pl

<sup>2</sup> AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Zarządzania, Katedra Inżynierii Zarządzania, ul. Antoniego Gramatyka 10, 33-332 Kraków; e-mail: jakubkamiljurasz@gmail.com

## SŁOWA KLUCZOWE

Sieć ciepłownicza, ogrzewanie niskotemperaturowe, straty w sieci ciepłowniczej

\* \* \*

## WPROWADZENIE

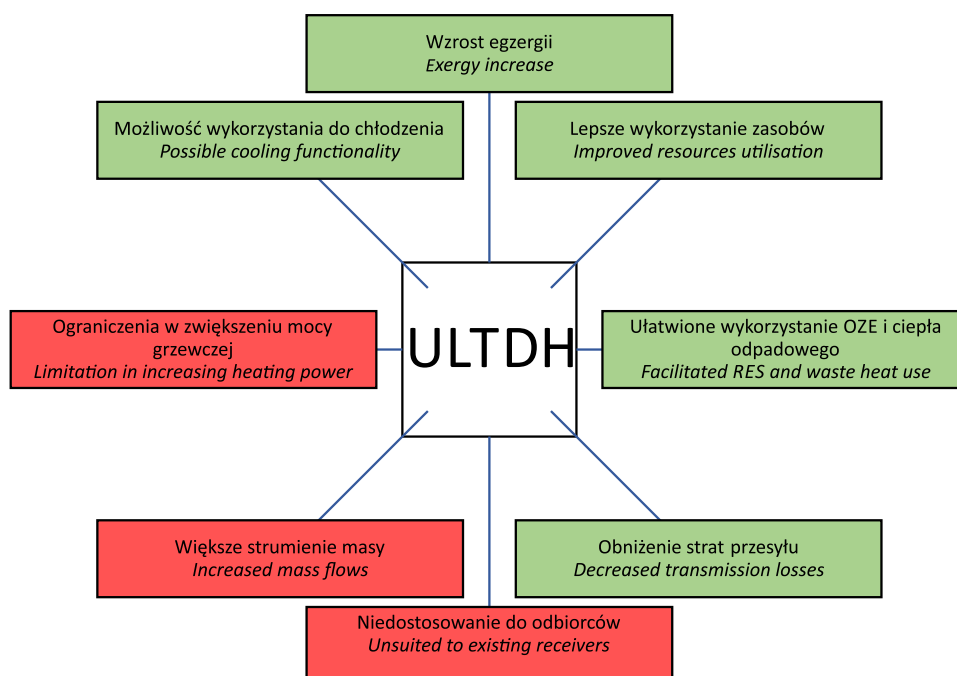
Sieci ciepłownicze są w Polsce rozwinięte w skali niespotykanej w większości państw Unii Europejskiej. W 2015 roku sprzedały one ponad 345 600 TJ ciepła (Prezes Urzędu Regulacji Energetyki 2016), a w 2016 – ponad 369 800 TJ ciepła (Prezes Urzędu Regulacji Energetyki 2017). Choć w znakomitej większości są one związane z większymi i mniejszymi miastami, często ich zasięg jest ograniczony do najbardziej gęsto zabudowanych terenów zurbanizowanych. Znaczna część systemów ciepłowniczych zaprojektowana została dla stosunkowo wysokich temperatur panujących w ciepłociągu, do takich też dopasowani są ich odbiorcy. Stąd, obniżanie tak temperatury zasilania, jak i temperatury powrotu, jest mocno utrudnione, a jest to trend znany i wskazywany jako konieczny dla dalszego rozwoju sieci ciepłowniczych (Turski i Sekret 2015). Główne przesłanki przemawiające za przeprowadzeniem tego zabiegu to:

- a) obniżanie strat występujących podczas transmisji energii bez konieczności prac modernizacyjnych w samym ciepłociągu (Li i Wang 2014) – zauważalne zwiększenie efektywności systemu ciepłowniczego,
- b) możliwość wykorzystania źródeł ciepła produkujących czynniki o niższej entalpii (Turski i Sekret 2015; Østergaarda i Svendsen 2017; Brand i Svendsen 2013),
- c) zwiększenie efektywności wykorzystania zasobów takich jak ciepło geotermalne, pompy ciepła lub ciepło solarne (Østergaarda i Svendsen 2017).

Obecnie, dzięki rosnącej doskonałości materiałów izolacyjnych, powszechnie dostępnym rurociągom preizolowanym oraz stopniowym zaniku napowietrznych sieci ciepłowniczych, znaczenia nabiera druga z wymienionych przesłanek. Możliwość wykorzystania ciepła odpadowego z procesów technologicznych bardziej rozpowszechnionych aniżeli procesy wysokotemperaturowe (głównie hutnicze) oraz rozszerzona sposobność wykorzystania ciepła z odnawialnych źródeł energii (szczególnie zasobów geotermalnych), to powody, dla których m.in. w Danii niskotemperaturowe systemy ciepłownicze (ang. *Low-Temperature District Heating*, LTDH), nazywane też systemami piątej generacji (5G) (Jaworski 2016), są szeroko rozważane jako następcy klasycznych sieci ciepłowniczych (Turski i Sekret 2015). Definiuje się je w literaturze międzynarodowej jako systemy ciepłownicze o temperaturze zasilania 50–55°C i temperaturze powrotu o 30°C niższej (Brand i Svendsen 2013; Dalla Rosa i Christensen 2011), choć pojawiają się zakresy temperatur odbiegające od tej normy (Jaworski 2016). Dalszym krokiem w drodze do poprawy sprawności transferu ciepła i rozszerzania spektrum możliwych do wykorzystania źródeł energii jest wprowadzanie super-

niskotemperaturowych sieci ciepłowniczych (ang. *Ultra-Low-Temperature District Heating*, ULTDH), znanych również jako sieci ciepłownicze szóstej generacji (6G) (Jaworski 2016). Jej definicja odnosząca się do zakresu temperatur nie jest jeszcze w literaturze międzynarodowej jednoznacznie ustalona, jednak jej opisowa wersja wskazuje na niewystarczalność samej tylko sieci ciepłowniczej do przygotowania ciepłej wody użytkowej (Gudmundsson i in. 2014).

Standardy sieci ciepłowniczej o obniżonych parametrach można rozważać jako szansę na doprowadzenie ciepła systemowego do obiektów oddalonych od magistral, obszarów o niskiej gęstości zabudowy lub coraz bardziej powszechnych osiedli domów energooszczędnych. Rysunek 1 prezentuje najważniejsze walory i mankamenty superniskotemperaturowych sieci ciepłowniczych.



Rys. 1. Najważniejsze cechy superniskotemperaturowej sieci ciepłowniczej

Fig. 1. The most important features of ultra-low-temperature district heating system

Sieci ciepłownicze, aby sprostać zmieniającym się realiom rynku (zmniejszanie zapotrzebowania na ciepło w istniejących budynkach dzięki termomodernizacji) oraz klimatu (cieplejsze zimy), będą musiały w niedalekiej przyszłości dostarczać nie tylko ciepło, ale również chłód (Turski i Sekret 2015). Innymi słowy – staną się one nie tylko źródłem, ale i odbiornikiem ciepła. Wysokotemperaturowe sieci ciepłownicze niższych generacji mogą to zadanie realizować np. poprzez zastosowanie pomp ciepła zasilanych ciepłem (Turski i Sekret 2015), jednak palącym problemem staje się zrzut ciepła związanego z chłodzeniem. Zarówno krajo-

wa (Jaworski 2016; Turski i Sekret 2015), jak i zagraniczna literatura (Persson i Werner 2010; Li i Svendsen 2012; Brand i Svendsen 2013; Li i Wang 2014) wskazuje na duży potencjał wykorzystania odnawialnych źródeł energii, które mogłyby dostarczać większość potrzebnej energii. Zastosowanie systemu ciepłowniczego do odbioru nadmiarowego ciepła np. z chłodzenia pomieszczeń lub cykli technologicznych może zaś pozwolić na wykorzystanie potencjału źródeł ciepła dotychczas pomijanych w kontekście sieci ciepłowniczych.

Znane są z literatury zagranicznej przykłady pilotażowe, w których nowoczesna sieć ciepłownicza współpracuje z nowo powstałymi budynkami w pełni przystosowanymi do tego specyficznego rodzaju zasilania. Jednak podstawowym problemem, przeszkodą i równocześnie szansą dla sieci niskotemperaturowych nie tylko w Polsce, ale też innych krajach (Østergaard i Svendsen 2017), jest konieczność współpracy z budynkami już istniejącymi. Są one zazwyczaj przystosowane do współpracy ze źródłami ciepła zapewniającymi stosunkowo wysokie temperatury zasilania. Z drugiej strony, już istniejące, jednorodzinne zazwyczaj budynki w zabudowie rozproszonej to szansa dla znaczącego rozwoju sieci niskotemperaturowych. Wynika to z trzech przesłanek – obniżenia strat związanych z przesyłem energii, zbliżającej się nieuchronnie konieczności zredukowania niskiej emisji zanieczyszczeń oraz wymaganego i koniecznego wzrostu wykorzystania odnawialnych źródeł energii w ogólnym zużyciu energii (co najłatwiej zrealizować przez zmianę źródła ciepła na mniej emisyjne) (Kaczmarczyk red. 2015). Jednak nowoczesne, przyjazne środowisku źródła ciepła często wymagają znacznych modyfikacji w budynku oraz odpowiedniej obsługi i serwisu, a wymienione obowiązki spoczywają na właścicielach tychże źródeł (Kaczmarczyk red. i in. 2017). Utrudnia to przejście na nowoczesne indywidualne źródła ciepła. W tym momencie ujawnia się duża zaleta sieci ciepłowniczej – jej serwis oraz utrzymanie ruchu pozostają w całości domeną operatora sieci ciepłowniczej, zapewniając użytkownikowi komfort i stabilność dostaw ciepła.

## 1. CEL

Niewyjaśnione dla polskich warunków klimatycznych pozostaje, jaka temperatura zasilania jest minimalną, dla której doprowadzenie sieci niskotemperaturowej ma energetyczny (sic!) sens. Z tego względu autorzy niniejszej publikacji podjęli próbę wstępnego oszacowania minimalnej temperatury, jaka powinna zostać dostarczona do budynków różnych typów tak, by odpowiednik znanego z dziedziny pomp ciepła współczynnik SPF (ang. *Seasonal Performance Factor*) był nie niższy niż 5,0. Stąd warunek energetycznej opłacalności można zapisać jako:

$$\sum E_{el} \leq \sum E_{el. PC@SFP=5,0} \quad (1)$$

Ilość energii elektrycznej zużytej w ciągu roku do zapewnienia ciepła w budynku, do którego doprowadzono niskotemperaturową sieć ciepłowniczą, powinna być nie większa niż energia elektryczna potrzebna do zasilania pompy ciepła pracującej z  $SPF = 5,0$ . Jeśli ten

warunek nie jest spełniony, należy poważnie rozważyć zastosowanie innego źródła ciepła. Oczywiście, postawiony warunek bierze pod uwagę energię jedynie na poziomie budynku, nakłady energetyczne na utrzymanie cyrkulacji w rurociągach, sterowanie itd. pozostają poza niniejszymi rozważaniami, jednak ze względu na wysoki SPF wybrany do porównania, nawet ich wliczenie ukaze energetycznie satysfakcjonujący model działania.

Niniejszy artykuł ma na celu zobrazowanie, jaka minimalna temperatura zasilania budynku jest w stanie zapewnić efektywne energetycznie ogrzewanie w przypadku domu jednorodzinnego o przeciętnej projektowej stracie ciepła, ukształtowanej na poziomie  $100\text{W/m}^2$ . Jest to moc nieco powyżej typowej dla budynku pochodzącego z przełomu lat 80. i 90. (Bronk i in. 2015).

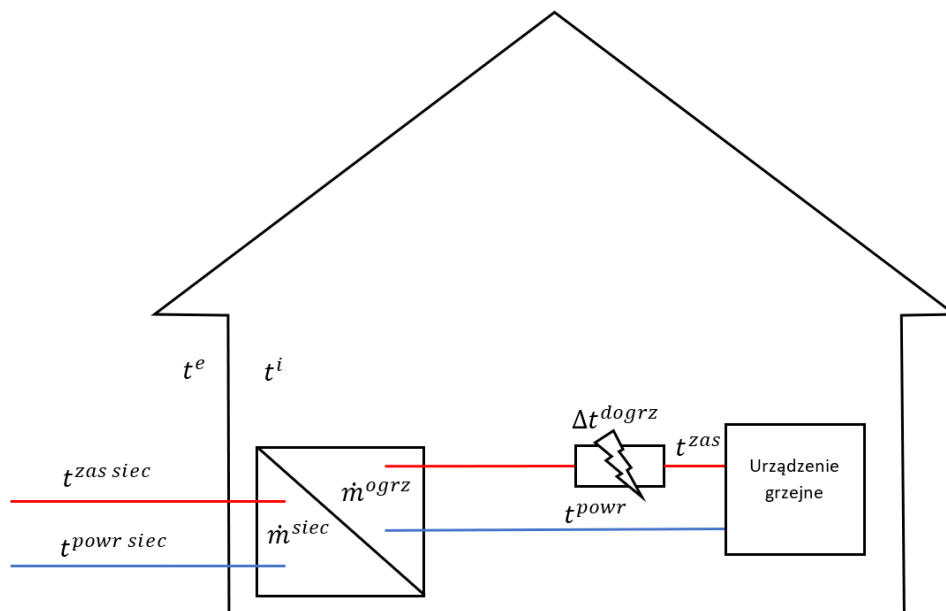
## 2. METODY

Dla wstępnych analiz przyjęto wykorzystanie grzejników o rozbudowanej powierzchni wymiany ciepła, ogrzewania połaciowego lub klimakonwektorów zasilanych wodą o temperaturze  $45^\circ\text{C}$  ( $t_p^{zas}$ ) i temperaturze powrotu  $25^\circ\text{C}$  ( $t^{powr}$ ) (oznaczenia por. rys 2). Natomiast woda w rurociągu zawsze osiąga temperaturę powrotu  $t^{powr\ siec} = 30^\circ\text{C}$ , zaś wstępnie przyjęta maksymalna projektowa temperatura zasilania sieci ( $t_p^{zas\ sieci}$ ) wynosi  $50^\circ\text{C}$ . Gdy temperatura otoczenia  $t_i^e$  jest wyższa niż projektowa temperatura otoczenia  $t_p^e$ , chwilowo dostarczana do budynku temperatura  $t_i^{zas\ siec}$  jest niższa, przy czym, o ile to możliwe bez przekraczania maksymalnej temperatury projektowej, zawsze o  $10^\circ\text{C}$  wyższa niż chwilowa  $t_i^{zas}$ . Takie określenie temperatury zasilania w sieci ciepłowniczej z definicji szereguje ją jako superniskotemperaturową sieć ciepłowniczą (ULTDH). Na potrzeby niniejszych, wstępnych rozważań – nie rozpatrywano przygotowania ciepłej wody użytkowej poza sezonem grzewczym.

Należy jasno stwierdzić, że proponowana sieć ciepłownicza jest niedowymiarowana w stosunku do zapotrzebowania na moc wszystkich odbiorców. Jednakże, niekoniecznie należy taką jej cechę rozpatrywać jako wadę, a wręcz można wskazać istotne zalety tak wymiarowanej sieci. Po pierwsze, przez stosunkowo długi okres w roku będzie ona pracowała z pełną mocą lub w pobliżu tej wartości (por. wykres rys. 5). Uzyskany w ten sposób wysoki współczynnik CF (*Capacity Factor*, współczynnik obciążenia) pozwala spodziewać się stosunkowo szybkiego zwrotu z inwestycji w sieć superniskotemperaturową. Ponadto, biorąc pod uwagę możliwość poprawy efektywności energetycznej po stronie odbiorcy (zmniejszenie zapotrzebowania na ciepło wskutek np. termomodernizacji) – ograniczone zostaje ryzyko znacznego przewymiarowania rurociągu w przyszłości, co skutkuje zwiększeniem procentowych strat ciepła w rurociągach, a to z kolei prowadzi do podniesienia opłat stałych.

Gdy temperatura  $t_i^e$  jest niższa niż  $t_p^e$ , zakładane jest uruchomienie szczytowego źródła ciepła (ang. *booster*) – grzałki elektrycznej. Takie rozwiązanie jest proponowane w literaturze (Østergaarda i Svendsen 2017; Yang i in. 2016a; Yang i in. 2016b) w celu przygotowania ciepłej wody użytkowej, jednakże według najlepszej wiedzy autorów – nie były jak dotąd postulowa-

Tabela oznaczeń	
$\dot{Q}_p$	– moc projektowa [W, W/m <sup>2</sup> ]
$\dot{Q}_i$	– moc chwilowa [W, W/m <sup>2</sup> ]
$t_p^i$	– temperatura wewnętrzna projektowa [°C]
$t_i^i$	– temperatura wewnętrzna chwilowa [°C]
$t_p^e$	– temperatura zewnętrzna projektowa [°C]
$t_i^e$	– temperatura zewnętrzna chwilowa [°C]
$t_p^{zas}$	– projektowa temperatura zasilania instalacji grzewczej [°C]
$t_i^{zas}$	– wymagana chwilowo temperatura zasilania instalacji grzewczej [°C]
$t^{powr}$	– temperatura powrotu instalacji grzewczej [°C]
$t^{zas\ siec}$	– temperatura zasilania dostarczana przez sieć [°C]
$t^{powr\ siec}$	– temperatura powrotu z sieci [°C]
$\Delta t^{dogrz}$	– różnica temperatur wymagana do pokrycia ze źródła szczytowego [°C]
$\dot{m}$	– strumień masy [kg/s]
$c_w$	– ciepło właściwe czynnika obiegowego [kWh/(kg*K)]



Rys. 2. Schemat – temperatury i strumienie masy w sieci ciepłowniczej i ogrzewanym budynku

Fig. 2. Temperatures and mass flows inside the heating system and an example house – scheme

ne w ogrzewaniu pomieszczeń. Wykorzystanie indywidualnych źródeł szczytowych pozwala na równoczesne zapewnienie komfortu cieplnego w budynku oraz obniżenie strat związanych z niedoskonałą izolacją ciepłociągów (w stosunku do centralnego szczytowego źródła ciepła). Zastosowanie kotła gazowego w tym kontekście jest pozbawione sensu ze względu na konieczność spełnienia wymogów formalnych dla kotłowni gazowej, a dla kotła na paliwa stałe całe rozważanie jest bezprzedmiotowe. Źródło szczytowe usytuowane bezpośrednio u odbiorcy

ciepła ma dodatkową zaletę w stosunku do centralnego źródła szczytowego – energia uzyskana z konwencjonalnych nośników energii nie jest tracona podczas przesyłu energii niedoskonale zaizolowanym ciepłociągiem. Należy zwrócić uwagę na powszechnie przyjętą koncepcję rozproszonych źródeł ciepła dla niskotemperaturowej i super-niskotemperaturowej sieci ciepłowniczej (Li i Wang 2014; Persson i Werner 2010; Lygnerud i Peltola-Ojala 2009). Oznacza to, że czynnik obiegowy nie będzie transportowany na dalekie odległości, a raczej w podsieciach (połączonych ze sobą hydraulicznie), dzięki czemu nawet znaczny strumień masy będzie wiązał się ze stosunkowo niewielkimi oporami przepływu.

Bazując na szeregu czasowym temperatur roku typowego dla Warszawy (Ministerstwo Infrastruktury i Budownictwa), sprawdzono, jaka jest minimalna możliwa do wykorzystania w ciepłociągu temperatura zasilania, która gwarantuje spełnienie warunku zapisanego w równaniu (1), na potrzeby obliczeń komputerowych wyrażonego w sposób jak w równaniu (2), gdzie optymalizacji podlega parametr  $t^{zas\ siec}$ , a  $t^{dogrz}$  to różnica pomiędzy temperaturą wymaganą chwilowo przez instalację grzewczą a maksymalną temperaturą projektową sieci ciepłowniczej.

$$\sum_{n=1}^i \dot{m} \cdot c_w \cdot (t_i^{zas} - t^{powr}) = 5 \cdot \sum_{n=1}^i \dot{m} \cdot c_w \cdot (\Delta t^{dogrz}) \quad (2)$$

$$\Delta t^{dogrz} = t_i^{zas} - t^{zas\ siec} - 10 \quad (3)$$

Przyjmuje się stały strumień masy w układzie, co jest pewnym przybliżeniem dla małego zapotrzebowania na ciepło. Jednakże, w kontekście możliwości zrztu nadmiarowego ciepła do sieci ciepłowniczej – niekoniecznie znacząco odbiegającym od spodziewanego rzeczywistego sposobu pracy niskotemperaturowej sieci ciepłowniczej – cyrkulacja musiałaby zostać utrzymana ze względu na odbiorców wykorzystujących sieć do chłodzenia. Ze stałego strumienia masy utrzymanego w sieci ciepłowniczej wynika, że moc cieplna rozprawdzana w budynku będzie regulowana za pomocą zmiany temperatury zasilania urządzenia grzejnego  $t^{zas}$ .

W pierwszej kolejności obliczono chwilowe jednostkowe zapotrzebowanie na moc, przyjmując, że moc 100 W będzie wymagana przy temperaturze zewnętrznej  $-20^{\circ}\text{C}$ . Na podstawie równania:

$$\frac{t^i - t^{zas}}{t^i - t^{zas}} \cdot \dot{Q}_p = \dot{Q}_i \quad (4)$$

obliczono, jaka jest chwilowa wymagana moc grzewcza dla każdej z godzin, w których temperatura otoczenia  $t_i^e \leq 15^{\circ}\text{C}$ .

Następnie, przekształcając podstawowy wzór (5):

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c_w \times (t_i^{zas} - t^{powr}) \quad (5)$$

obliczono, jaka jest chwilowa wymagana moc grzewcza dla każdej z godzin, w których  $t_i^e \leq 15^\circ\text{C}$  w dniach, w których średnia zewnętrzna temperatura dobowa jest wyższa niż  $15^\circ\text{C}$ .

W pierwszej kolejności obliczono chwilowe jednostkowe zapotrzebowanie na moc przyjmując, że moc 100 W będzie wymagana przy temperaturze zewnętrznej  $-20^\circ\text{C}$ . Na podstawie równania:

$$\frac{t^i - t_i^{zas}}{t^i - t_p^{zas}} \cdot \dot{Q}_p = \dot{Q}_i \quad (6)$$

Następnie, przekształcając podstawowy wzór (7):

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c_w \cdot (t_i^{zas} - t^{powr}) \quad (7)$$

otrzymano wzór (8) na chwilowo wymaganą temperaturę zasilania instalacji grzewczej wewnątrz budynku:

$$t_i^{zas} = \frac{t^{powr} \cdot \dot{m} \cdot c_w + \dot{Q}_i}{\dot{m} \cdot c_w} \quad (8)$$

Przyjmując równocześnie, że:

$$\forall (t_i^{zas} \leq 40^\circ\text{C}) (t_i^{zas\ siec} = t_i^{zas} + 10^\circ\text{C}) \quad (9)$$

i

$$\forall (t_i^{zas} > 40^\circ\text{C}) (t_i^{zas\ siec} = 50^\circ\text{C}) \quad (10)$$

obliczono chwilowo wymaganą temperaturę zasilania w ciepłociągu oraz niedobory temperatury, których uzupełnienie będzie konieczne z indywidualnego źródła szczytowego.

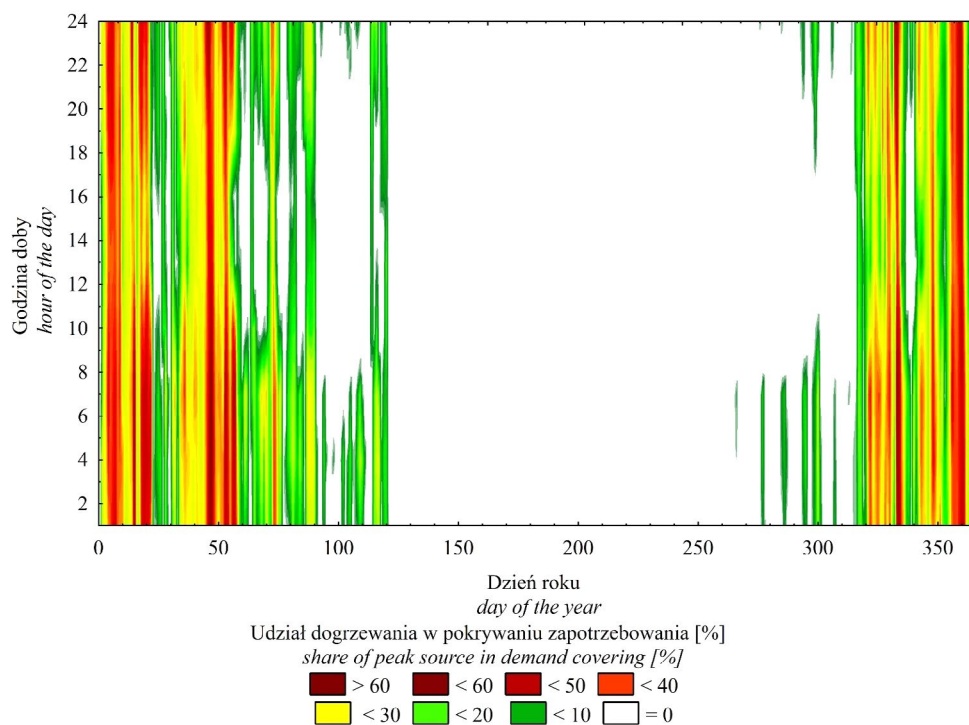
Następnie, korzystając z dodatku Solver dla programu Excel 2016, wybrano stałą temperaturę zasilania w sieci ciepłowniczej taką, by zaspokajała kryterium wyrażone w równaniu (1).

### 3. WYNIKI

Dla przedstawionych warunków i sposobu postępowania uzyskano wynik  $42,5^\circ\text{C}$  jako akceptowalną najniższą temperaturę możliwą do wykorzystania w superniskotemperaturowej sieci ciepłowniczej, współpracującą z budynkami o parametrach zbliżonych do opisanych w rozdziale Cel. Udział energii, jaka musi być w danej godzinie dostarczona ze źródła szczytowego w danej godzinie, została zobrazowana na wykresie (rys. 3). Analiza



statystyczna energii pobieranej ze źródła dodatkowego wskazuje na dominujący stosunkowo niewielki udział indywidualnego źródła szczytowego, co ukazano na histogramie (rys. 4). Należy zwrócić uwagę, że temperatura określona w procesie optymalizacji jest możliwa do osiągnięcia nie tylko z konwencjonalnych źródeł energii, ale także do uzyskania z ciepła odpadowego, odnawialnych źródeł energii oraz spalania gazów palnych z efektywnym procesem kondensacji.

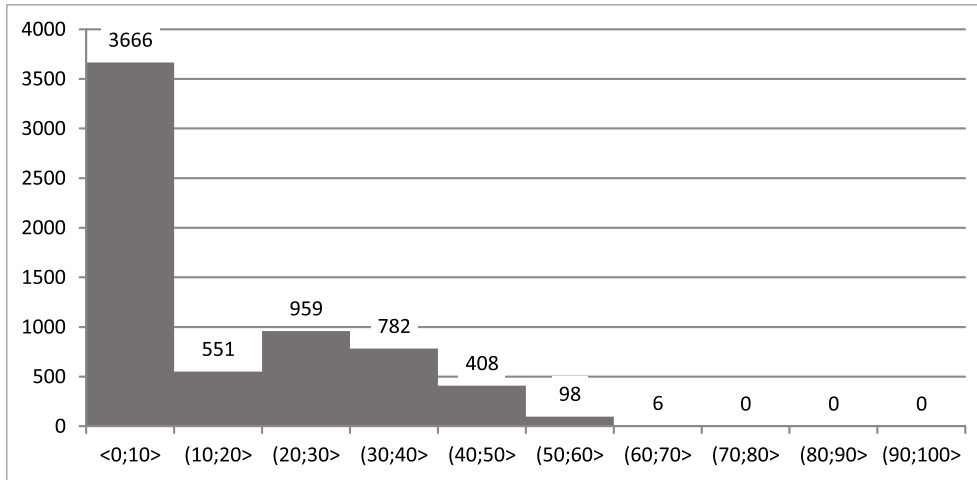


Rys. 3. Stopień pokrycia zapotrzebowania na moc grzewczą z użyciem szczytowego źródła ciepła

Fig. 3. Share of heat demand covered by peak heat source

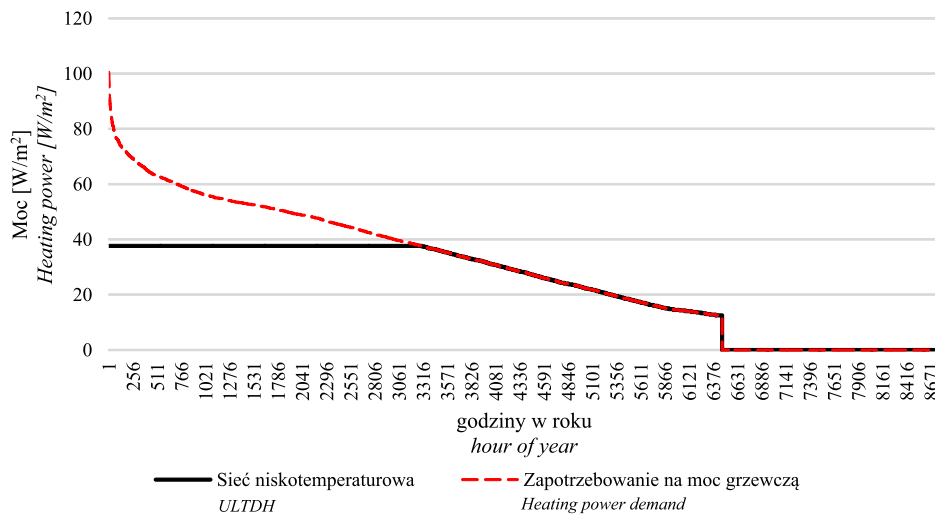
Zapotrzebowanie na energię cieplną w poszczególnych godzinach w porównaniu z energią wnoszoną ze źródła szczytowego prezentuje wykres (rys. 5). Pole pod wykresem kreślonym linią czerwoną reprezentuje ilość energii, jaka zostanie dostarczona do budynku przez grzałkę elektryczną. Nigdy nie przekracza ona wartości 63 W, zaś obszar pomiędzy wykresem reprezentuje ilość energii dostarczoną przez sieć ciepłowniczą. Ogółem, dla zaproponowanej konfiguracji sieć ciepłownicza uzyskała CF na poziomie 60% w skali roku, co jest wynikiem co najmniej korzystnym.

Przy założeniu, że temperatura w ciepłociągu nie może przekroczyć 50°C, z obliczeń wynika, iż nie ma możliwości pełnego zaspokojenia potrzeb energetycznych budynku o zapotrzebowaniu na moc rzędu 100 W/m<sup>2</sup> przy parametrach sieci ciepłowniczej i systemu ogrzewania bez zastosowania szczytowego źródła ciepła.



Rys. 4. Histogram – udział źródła szczytowego w pokryciu zapotrzebowania na moc grzewczą – godziny sezonu grzewczego

Fig. 4. Histogram – share of energy demand covered by peak heat source



Rys. 5. Zapotrzebowanie na moc grzewczą w porównaniu z mocą chwilową sieci superniskotemperaturowej. Wykres uporządkowany

Fig. 5. Heating power demand compared with temporary power of ULTDH. Arranged in ascending order

#### 4. WNIOSKI

W artykule wykazano, że superniskotemperaturowa sieć ciepłownicza z lokalnym, szczytowym źródłem ciepła w postaci grzałki elektrycznej jest w stanie zaspokoić potrzeby energetyczne budynku o zapotrzebowaniu  $100 \text{ W/m}^2$ , w skali roku wykorzystując nie więcej niż 20% energii pochodzącej ze źródła zasilanego energią elektryczną. Zastosowanie sieci superniskotemperaturowej pozwala na wykorzystanie źródeł ciepła do tej pory nieużytecznych w kontekście zbiorowego ciepłownictwa oraz obniżenie strat ciepła w ciepłociągu. Sieć superniskotemperaturowa oparta na powyższych założeniach jest niedowymiarowana w stosunku do potrzeb odbiorców, jednak przez przeszło 3200 godzin w roku typowym będzie pracowała z pełną mocą, co jest korzystne z punktu widzenia zwrotu inwestycji. Wobec takiego stanu rzeczy – obniżenie mocy (niedowymiarowanie) sieci ciepłowniczej pozwala na zmniejszenie mocy źródła centralnego i jego większe roczne wykorzystanie.

#### PODSUMOWANIE

Artykuł stanowi wstęp do rozważań na temat zastosowania sieci superniskotemperaturowych na terytorium Polski. Wskazano na główne walory tego typu sieci oraz sposoby mitygacji problemów w kontekście literatury międzynarodowej i krajowej. W rozważaniach ujęto sieć o stałym strumieniu objętości, w której sterowanie mocą realizowane jest poprzez zmianę temperatury strumienia cieczy, a sieć ciepłownicza wykorzystywana jest wyłącznie w sezonie grzewczym. W przyszłości należy przeanalizować konsekwencje energetyczne i inwestycyjne zwiększonego wymaganego strumienia masy cyrkulującego w rurociągu i wpływ modulowanego strumienia masy na efektywność energetyczną sieci ciepłowniczej.

Praca wykonana w ramach realizacji grantu AGH nr 15.11.140.206.

#### LITERATURA

- Brand, M. i Svendsen, S. 2013. Renewable-based low-temperature district heating for existing buildings in various stages of refurbishment. *Energy* nr 62, s. 311–319.
- Bronk i in. 2015 – Bronk, L., Korpikiewicz, J., Tarnawski, D., Marjański, S. i Szuca, M. 2015. *Kalkulator energetyczny dla jednostek samorządu terytorialnego*. Gdańsk: Instytut Energetyki Instytut Badawczy, oddział Gdańsk, Zakład Strategii i Rozwoju Systemu.
- Dalla Rosa, A. i Christensen, J.E. 2011. Low-energy district heating in energy-efficient building areas. *Energy* 12, s. 6890–6899.
- Gudmundsson i in. 2014 – Gudmundsson, O., Brand, M. i Thorsen, J.E. 2014. Ultra-low temperature district heating and micro heat pump application – economic analysis. *The 14<sup>th</sup> International Symposium on District Heating and Cooling*, Stockholm.

- Jaworski, J. 2016. Niskotemperaturowe sieci ciepłownicze i analiza polskich systemów ciepłowniczych zasilanych z elektrociepłowni. *Materiały XXX Konferencji z cyklu Zagadnienie surowców energetycznych i energii w gospodarce krajowej*. Zakopane.
- Kaczmarczyk, M. red. 2015. *Niska emisja: od przyczyn występowania do sposobów eliminacji*. Kraków: Geosystem Burek, Kotyza S.C.
- Kaczmarczyk, M. red. i in. 2017. *Niska emisja. Efektywność energetyczna w gminach i samorządach*. Kraków: Globenergia Sp. z o.o.
- Li, H. i Svendsen, S. 2012. Energy and exergy analysis of low temperature district heating network. *Energy* nr 45, s. 237–246.
- Li, H. i Wang, S.J. 2014. Challenges in Smart Low-Temperature District heating Development. *Energy Procedia* nr 61, s. 1472–1475.
- Lygnerud, K. i Peltola-Ojala, P. 2009. Factors impacting district heating companies' decision to provide small house customers with heat. *Applied Energy* nr 87, s. 185–190.
- Ministerstwo Infrastruktury i Budownictwa. *Typowe lata meteorologiczne i statystyczne dane klimatyczne do obliczeń energetycznych budynków*. 2015.
- Østergaarda, D. i Svendsen, S. 2017. Space heating with ultra-low-temperature district heating – a case study of four single-family houses from the 1980s. *The 15th International Symposium on District Heating and Cooling*.
- Prezes Urzędu Regulacji Energetyki. *Energetyka Ciepła w Liczbach – 2015*. Warszawa: Urząd Regulacji Energetyki, 2016.
- Prezes Urzędu Regulacji Energetyki. *Energetyka Ciepła w Liczbach – 2016*. Warszawa: Urząd Regulacji Energetyki, 2017.
- Persson, U. i Werner, S. 2010. Heat distribution and the future competitiveness of district heating. *Applied Energy* nr 88, s. 568–576.
- Shimoda i in. 2008 – Shimoda, Y., Nagota, T., Isayama, N. i Mizuno, M. 2008. Verification of energy efficiency of district heating and cooling system by simulation considering design and operation parameters. *Building and Environment* 4, nr 43, s. 569–577.
- Turski, M. i Sekret R. 2015. Konieczność reorganizacji systemów ciepłowniczych w świetle zmian zachodzących w sektorze budowlano-instalacyjnym. *Rynek Energii* 4, nr 119, s. 27–34.
- Yang i in. 2016a – Yang, X., Li, H. i Svendsen, S. 2016a. Energy, economy and exergy evaluations of the solutions for supplying domestic hot water from low-temperature district heating in Denmark. *Energy Conversion and Management* nr 122, s. 142–152.
- Yang i in. 2016b – Yang, X., Li, H. i Svendsen, S. 2016b. Evaluations of different domestic hot water preparing methods with ultra-low-temperature district heating. *Energy* nr 109, s. 248–259.

# ULTRA-LOW-TEMPERATURE DISTRICT HEATING WITH INDIVIDUAL PEAK HEAT SOURCE IN CONTEXT OF COVERING TYPICAL DETACHED HOUSE HEAT DEMAND

## ABSTRACT

District heating networks are seen as an important solution to combat climate change, improve the quality of life and, above all, reduce air pollution due to so-called low emission. Most of them are powered by conventional sources and their technical parameters assume high medium temperature. However, global trends indicate an increasingly common tendency to design and utilize low-temperature networks. These solutions seem to reduce transmission losses and make it possible to use commonly available low-enthalpy sources.

The article presents a mathematical model and assumptions regarding the parameters of a ultra-low-temperature district heating. Based on the hourly temperature values for a typical meteorological year (Polish conditions), the minimum temperature of the heating network medium for a single-family building with designed heat loss of  $100 \text{ W/m}^2$  was determined with the restriction that the peak source should consume less energy than a heat pump with a seasonal performance factor at level 5.

As a result of the carried out calculations, it was indicated that the lowest acceptable temperature is  $42.5^\circ\text{C}$  and it allows to obtain a capacity factor of 60% while providing 80% of energy required in the building.

## KEYWORDS

District heating system, low-temperature heating, district heating heat losses

