

PROGNOZOWANIE ZAPOTRZEBOWANIA ENERGII CIEPLNEJ SIECI CIEPŁOWNICZEJ WZGLĘDEM OKREŚLONYCH WARUNKÓW EKSPLOATACYJNYCH TEJ SIECI – MODEL MATEMATYCZNY

W artykule przedstawiono system działań prognozowania zapotrzebowania energii cieplnej sieci ciepłowniczej wodnej względem określonych warunków eksploatacyjnych. Wskazano ogólne działania tego prognozowania, a także sposób dekomponowania sieci ciepłowniczej na jej charakterystyczne elementy oraz określono wielkości charakteryzujące warunki eksploatacyjne dla tych elementów. Następnie wskazano na potrzebę wykonywania okresowych weryfikacji wartości określonych prognozowanych wielkości. Całość, tzn. działania odnoszące się do ww. prognozowania, określania warunków eksploatacyjnych dla zdekomponowanych elementów sieci ciepłowniczej i okresowa weryfikacja wartości określonych wielkości prognozowanych, stanowi system działań ww. prognozowania.

Słowa kluczowe: energetyka ciepła, prognozowanie, sieci ciepłownicze, badania eksploatacyjne.

WSTĘP

Utrzymywanie wysokiej sprawności energetycznej systemu ciepłego w czasie jego długotrwałej eksploatacji jest zagadnieniem ważnym i aktualnym dla energetyki cieplnej z punktu widzenia ponoszonych kosztów eksploatacji tego systemu związanych bezpośrednio z kosztami paliwa, ilością jego zużycia, a dalej emisją CO₂ do środowiska przyrodniczego. Z tak postrzeganego zagadnienia wynikają następujące problemy techniki odnośnie do sieci ciepłowniczych: jak minimalizować różnicę pomiędzy aktualnym zapotrzebowaniem na energię ciepłą jej odbiorców w określonym czasie a ilością tej energii cieplnej dostarczaną przez sieć ciepłowniczą w tym czasie? Jak prognozować zapotrzebowanie energii cieplnej sieci ciepłowniczej względem określonych warunków eksploatacyjnych tej sieci? Z tak postawionych problemów techniki wynika następujący problem naukowy: jak stworzyć system modeli relacji między wyróżnionymi wielkościami w rozważanym prognozowaniu?

W opracowaniu modelu prognozowania zużycia ciepła uwzględnia się prognozowanie zużycia ciepła u odbiorców końcowych [15]. Natomiast w metodach doświadczalnych dla wcześniej założonego modelu układu wyznacza się jedynie parametry tego modelu na podstawie doświadczalnej identyfikacji modelu. Zaproponowano tu zastosowanie sieci neuronowych do prognozowania zapotrzebowania

na moc cieplną zespołu budynków Politechniki Warszawskiej z wyprzedzeniem od 1 do 4 godzin w zależności od występujących warunków meteorologicznych, tzn. temperatury otoczenia, promieniowania słonecznego oraz siły i kierunku wiatru. Wskazano również, że rozważane prognozowanie jest tym trudniejsze, im dłuższy będzie okres prognozowania.

Firma Transition [7] wdrożyła system prognozujący wartości następujących wielkości: mocy cieplnej dostarczonej do sieci, przepływu pary technologicznej i gorącej wody oraz ich temperatur na zasilaniu, powrocie. W prognozowaniu tym wykorzystuje się wartości historyczne m.in. tych wielkości oraz uwzględnia się prognozy meteorologiczne.

Z użyciem systemu informatycznego TERMIS [6] wykonuje się symulację prognostyczną opartą na zbudowanym modelu odwzorowującym sieć cieplną dla określonego okresu prognozowania na podstawie prognozy pogody, tzn. temperatury zewnętrznej i siły wiatru.

Zapotrzebowanie strumienia ciepła do ogrzewania pomieszczeń wynika z różnicy między strumieniem ciepła traconego do otoczenia a strumieniem ciepła wydzielanego w tych pomieszczeniach przez m.in. funkcjonujące urządzenia, oświetlenie, ludzi [3].

W publikacji [4] wskazano, że zachowania odbiorców ciepła mają istotny wpływ na pobór ilości ciepła, a następnie – również na prognozowanie jego zużycia [15].

W celu określenia rzeczywistych, wynikających z zastosowanych rozwiązań technicznych oraz ze sposobu eksploatacji, potrzeb cieplnych budynku przeprowadza się monitoring energetyczny, polegający na pomiarze i rejestracji wielkości fizycznych, które pozwalają określić ilość energii elektrycznej, ciepła i/lub paliwa dostarczanych do budynku w określonych przedziałach czasowych [8].

System eGain forecastingTM [5] do regulacji ogrzewania budynków wykorzystuje dane:

- dotyczące m.in. właściwości fizycznych budynku oraz istniejących instalacji,
- lokalną prognozę pogody, w tym: temperaturę powietrza, opady, kierunek i prędkość wiatru, nasłonecznienie, kąt padania i odbicia promieni słonecznych.

W artykule [11] przedstawiono zależność „intensywności przebiegu strat ciepła” systemów ciepłowniczych od ich obciążenia cieplnego. Straty ciepła w miejskich systemach ciepłowniczych według [10] wynoszą około 10–20% w sezonie grzewczym i 25–40% w sezonie letnim.

Z rozpoznania stanu wiedzy wynika, że opracowanie systemu działań, a dalej tworzenie systemu stosownych modeli prognozowania zapotrzebowania energii cieplnej sieci ciepłowniczych w określonym czasie ich eksploatacji z uwzględnieniem zmiennych warunków eksploatacyjnych tych sieci, powinno brać pod uwagę zarówno intensywność generowania, przez odbiorców tej energii cieplnej, wewnętrznych źródeł ciepła obniżających realne zapotrzebowanie energii cieplnej z sieci ciepłowniczej w okresie zimowym, jak i prognozowanie strat ciepła sieci ciepłowniczej względem określonych warunków eksploatacyjnych oraz okresową weryfikację ww. prognozowania w określonym czasie eksploatacji tej sieci ciepłowniczej.

1. SPOSÓB UTWORZENIA MATEMATYCZNEGO MODELU PROGNOZOWANIA ZAPOTRZEBOWANIA NA ENERGIĘ CIEPLNĄ DLA OKREŚLONEJ SIECI CIEPŁOWNICZEJ

W celu minimalizowania różnicy pomiędzy aktualnym zapotrzebowaniem na energię ciepłą jej odbiorców w określonym czasie a ilością tej energii cieplnej dostarczaną przez sieć ciepłowniczą w tym czasie w określonych różnych warunkach eksploatacyjnych tej sieci ciepłowniczej należy wyróżnić następujące główne działania, które odnoszą się do:

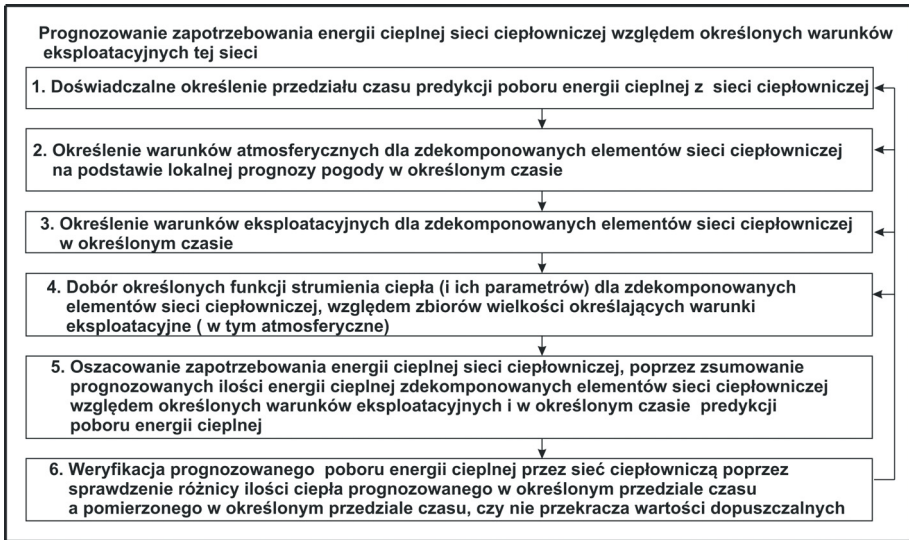
- prognozowania poboru energii cieplnej z sieci ciepłowniczej do ogrzewania istniejących budynków (mieszkalnych, administracji i użyteczności publicznej, zakładów pracy) i do ogrzewania ciepłej wody użytkowej na podstawie pomiarów poboru tej energii w rzeczywistych warunkach eksploatacyjnych,
- prognozowania strat ciepła do otoczenia z sieci ciepłowniczej podczas dystrybucji energii cieplnej do odbiorców na podstawie pomiarów tej energii w rzeczywistych warunkach eksploatacyjnych.

Tworzony system działań, a dalej system modeli relacji między wyróżnionymi wielkościami, wynika z następujących relacji:

- między warunkami atmosferycznymi a poborem energii cieplnej z sieci ciepłowniczej do ogrzewania określonych budynków,
- między zachowaniami ludzi przebywających w określonych budynkach a generowaniem wewnętrznych źródeł ciepła, które obniżają pobór energii cieplnej z sieci ciepłowniczej do ogrzewania tych budynków,
- między zachowaniami ludzi przebywających w określonych budynkach a ilością energii cieplnej pobranej z sieci ciepłowniczej do podgrzania zużywanej ilości wody użytkowej w tych budynkach,
- między warunkami otoczenia a ilością energii cieplnej traconej do tego otoczenia od zdekomponowanych i określonych elementów sieci ciepłowniczej w określonych warunkach eksploatacyjnych tej sieci.

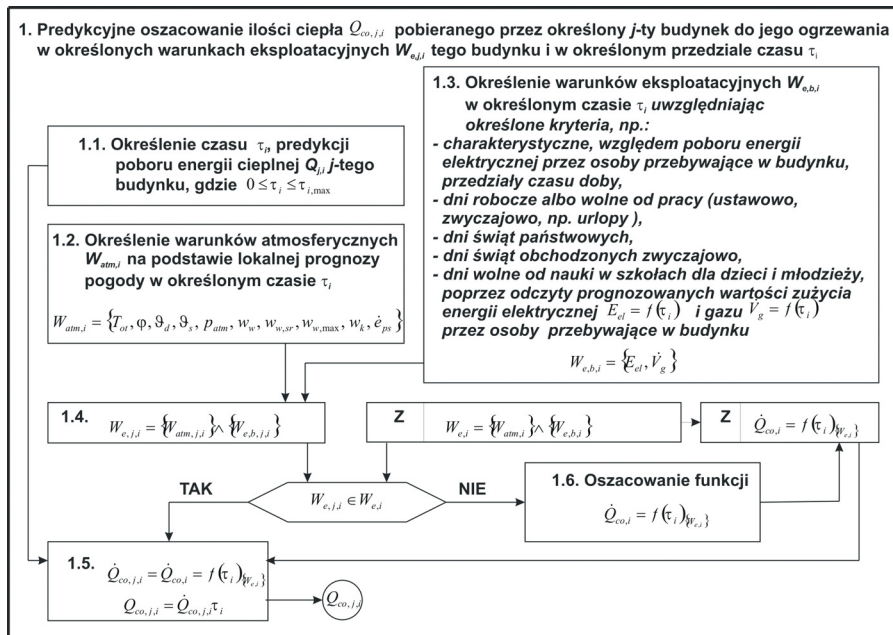
Rysunek 1 przedstawia ogólny schemat prognozowania zapotrzebowania energii cieplnej sieci ciepłowniczej względem określonych warunków eksploatacyjnych tej sieci.

Przedstawiony na rysunku 2 algorytm stanowi przykład predykcyjnego oszacowania ilości ciepła $Q_{co,j,i}$ pobieranego przez określony j -ty budynek do jego ogrzewania w określonych warunkach eksploatacyjnych $W_{e,j,i}$ tego budynku i w określonym przedziale czasu τ_i . Należy tu zwrócić uwagę, że przedział czasu predykcji oszacowuje się na podstawie przeprowadzonych badań empirycznych, które charakteryzują czas transportu energii cieplnej do najdalej zlokalizowanych odbiorców tej energii, możliwości regulacyjne zarówno źródła ciepła określonej sieci ciepłowniczej, jak i samej sieci ciepłowniczej.



Rys. 1. Ogólny schemat prognozowania zapotrzebowania energii cieplnej sieci ciepłowniczej względem określonych warunków eksploatacyjnych tej sieci

Fig. 1. General forecasting scheme of heating energy amount in thermal distribution network towards specified service conditions of this network



Rys. 2. Ogólny schemat prognozowania zapotrzebowania energii cieplnej j -tego budynku na potrzeby jego ogrzewania w określonym przedziale czasu w określonych warunkach eksploatacyjnych

Fig. 2. General forecasting scheme of heating energy demand necessary for heating purpose of a given building in a definite time interval and in specified service conditions

Oszacowanie i -tej funkcji strumienia ciepła pobieranego przez określony budynek na potrzeby jego ogrzewania wynika z relacji między czasem τ_i a strumieniem $\dot{Q}_{co,i}$ pobieranego ciepła z sieci ciepłowniczej do ogrzania tego budynku w określonych warunkach eksploatacyjnych $W_{e,i}$:

$$\dot{Q}_{co,i} = f(\tau_i)_{\{W_{e,i}\}}, \quad (1)$$

gdzie czas τ_i należy do i -tych przedziałów czasu $0 \leq \tau_i \leq \tau_{i,max}$, a warunki eksploatacyjne wyraża następujący zbiór wielkości $W_{e,i}$:

$$W_{e,i} = \{W_{atm,i}\} \wedge \{W_{e,b,i}\}, \quad (2)$$

w którym warunki atmosferyczne $W_{atm,i}$ charakteryzują następujące wielkości:

$$W_{atm,i} = \{T_{ot}, \varphi, \vartheta_d, \vartheta_s, p_{atm}, w_w, w_{w,sr}, w_{w,max}, w_k, \dot{e}_{ps}\}, \quad (3)$$

gdzie:

- T_{ot} – temperatura otoczenia (powietrza atmosferycznego) [K],
- φ – wilgotność względna powietrza [%],
- ϑ_d, ϑ_s – opad deszczu, śniegu [(kg/m²)/h],
- p_{atm} – ciśnienie atmosferyczne zredukowane do poziomu morza [Pa],
- $w_w, w_{w,sr}, w_{w,max}, w_k$ – prędkość wiatru: chwilowa, średnia, maksymalna, w określonym kierunku [m/s],
- $\dot{e}_{ps}$ – energia promieniowania słonecznego (wartość średnia dla określonego przedziału czasu τ_i) [kW/m²].

Warunki eksploatacyjne $W_{e,b,i}$ określonego budynku w czasie τ_i determinuje całkowity strumień ciepła $\dot{Q}_{wew,i}$ od źródeł ciepła wygenerowanych wewnątrz tego budynku. Wartość $\dot{Q}_{wew,i}$ zależy od zachowań ludzi przebywających w danym budynku w określonym czasie, co w bezpośredni sposób przekłada się na wygenerowanie wewnętrznych źródeł ciepła, np. liczbę włączonych żarówek, włączonego sprzętu RTV AGD. Wartość $\dot{Q}_{wew,i}$ jest bardzo trudna do oszacowania ze względu na to, że w budynkach znajduje się znaczna liczba różnego rodzaju urządzeń elektrycznych, dlatego do wielkości charakteryzujących warunki eksploatacyjne budynku należą następujące wielkości:

$$W_{e,b,i} = \{E_{el}, \dot{V}_g\}, \quad (4)$$

gdzie:

- E_{el} – całkowita ilość energii elektrycznej zużywana przez ludzi przebywających w określonym j -tym budynku [kWh],
- $\dot{V}_g$ – całkowite objętościowe natężenie przepływu gazu zużywanego przez osoby przebywające w j -tym budynku, jeśli gaz jest doprowadzany do budynku (wartość średnia dla określonego przedziału czasu τ_i) [m³/h].

Funkcję (1) oszacowuje się na podstawie przeprowadzonych badań empirycznych, które odnoszą się do pomiarów całkowitego strumienia ciepła pobieranego z sieci ciepłowniczej przez określony budynek do jego ogrzewania w określonych warunkach eksploatacyjnych i w określonym czasie. Takie badania charakteryzują zarówno właściwości fizyczne określonego budynku, jak i zachowania osób w nim przebywających, które mają wpływ na generowanie wewnętrznych źródeł ciepła. W praktyce inżynierskiej standardowo wykonuje się pomiary pobieranej energii cieplnej, w określonym czasie (np. z użyciem MULTICAL 601, firmy Kamstrup), przez budynki podłączone do sieci ciepłowniczej.

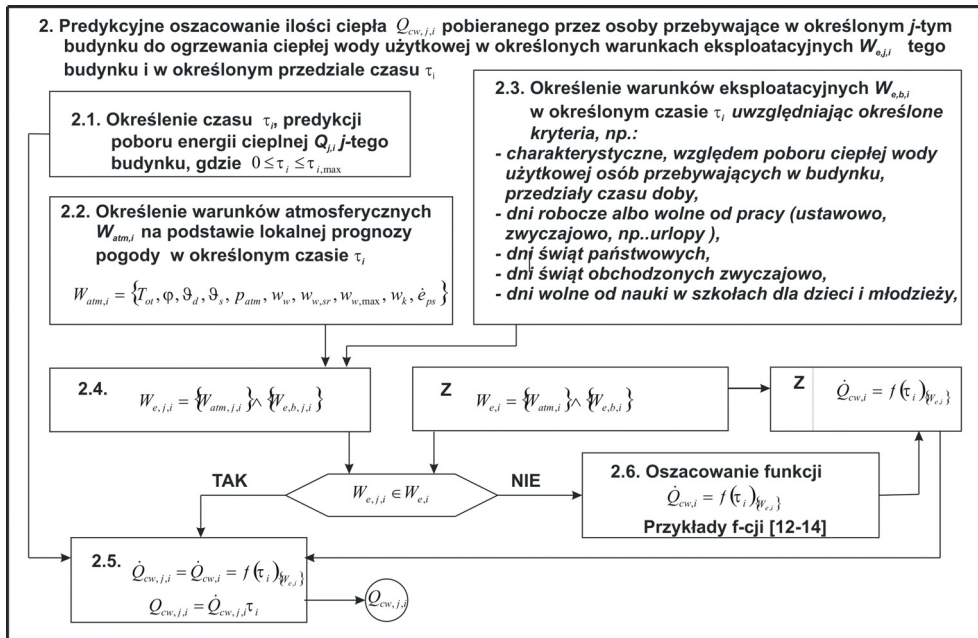
Okresowej weryfikacji wyznaczonych i -tych funkcji $\dot{Q}_{co,i}$ dokonuje się poprzez sprawdzenie, czy różnica między wartościami ilości ciepła $Q_{co,j,i,p}$ pozyskanymi z pomiarów (indeks p) rzeczywistego poboru ilości ciepła w określonym przedziale czasu τ_i eksploatacji j -tych budynków w określonych warunkach $W_{e,j,i}$ a wartościami ilości ciepła $Q_{co,j,i}$ prognozowanych w tych warunkach, nie przekracza wartości dopuszczalnych ΔQ_{dop} , tzn.

$$|Q_{co,j,i,p} - Q_{co,j,i}| \leq \Delta Q_{dop}, \quad (5)$$

które wynikają z zastosowanych metod pomiarowych i dokładności pomiarów określonych wielkości. Okresową ww. weryfikację należy wykonywać, ponieważ w długim okresie eksploatacji j -tych budynków mogą występować znaczące zmiany ich warunków eksploatacyjnych $W_{e,b,i}$, m.in. mogą się zmieniać właściwości fizyczne budynków, np. z powodu wykonywanych ich modernizacji albo występujących degradacji tych budynków, następnie wskutek występującej okresowej migracji osób zamieszkujących w określonych budynkach albo zwiększającej się liczby pustostanów.

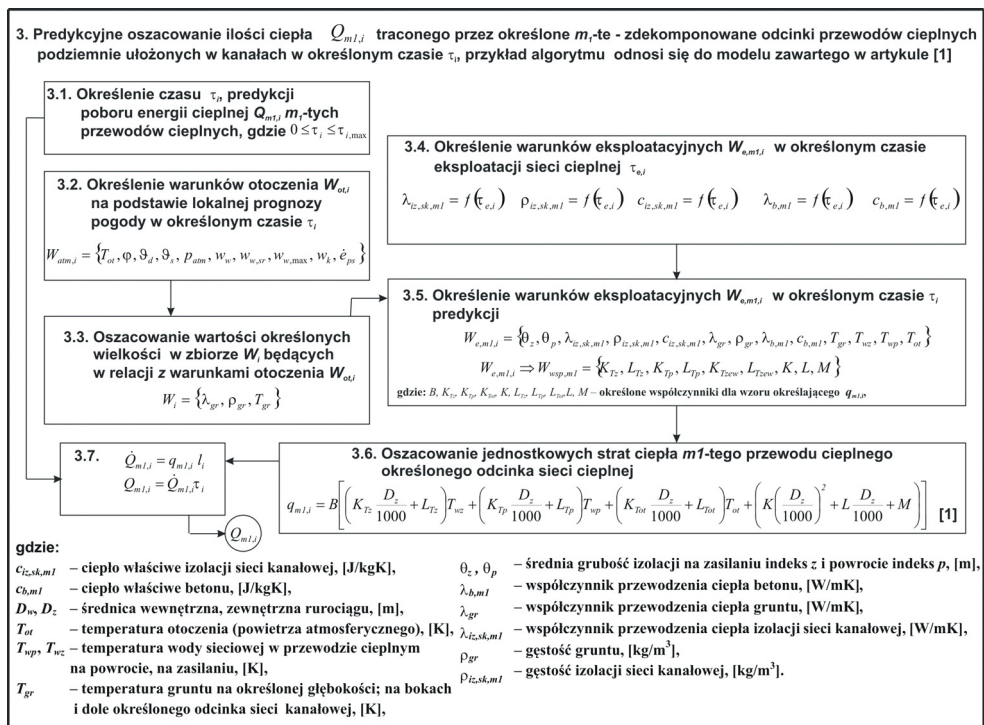
Analogiczne jest postępowanie odnoszące się do predykcyjnego oszacowania ilości ciepła $Q_{cw,j,i}$ pobieranego przez osoby przebywające w określonym j -tym budynku do ogrzewania ciepłej wody użytkowej w określonych warunkach eksploatacyjnych $W_{e,j,i}$ tego budynku i w określonym przedziale czasu τ_i – rysunek 3.

Przewody ciepłne sieci ciepłowniczej dekomponuje się względem określonych rodzajów przewodów (izolacji) cieplnych, a dalej określony rodzaj przewodu dekomponuje się na odcinki względem występujących charakterystycznych warunków otoczenia dla danej sieci ciepłowniczej, np. naziemne przewody ciepłne dekomponuje się na odcinki przechodzące przez obszar zabudowany, otwartą przestrzeń, przez las. Przykłady oszacowania ilości ciepła $Q_{m1,i}$, $Q_{m2,i}$, $Q_{m3,i}$ traconego przez określone m -te odcinki określonych 1, 2, 3 rodzajów przewodów cieplnych w określonych warunkach eksploatacyjnych $W_{e,i}$ i w określonym przedziale czasu τ_i przedstawiono na rysunkach 4, 5, 6.



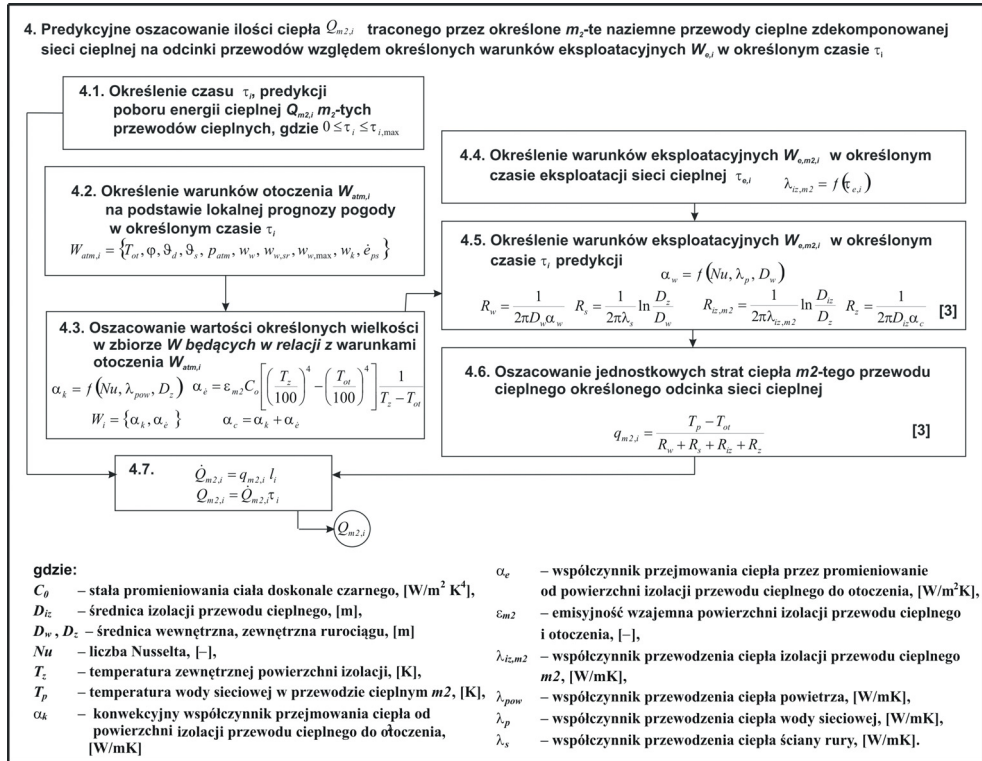
Rys. 3. Ogólny schemat prognozowania zapotrzebowania energii cieplnej dla j -tego budynku na potrzeby ogrzewania ciepłej wody użytkowej w określonym przedziale czasu w określonych warunkach eksploatacyjnych

Fig. 3. General forecasting scheme of thermal energy demand for a given building for the purpose of heating daily use water in a definite time interval and specified service conditions



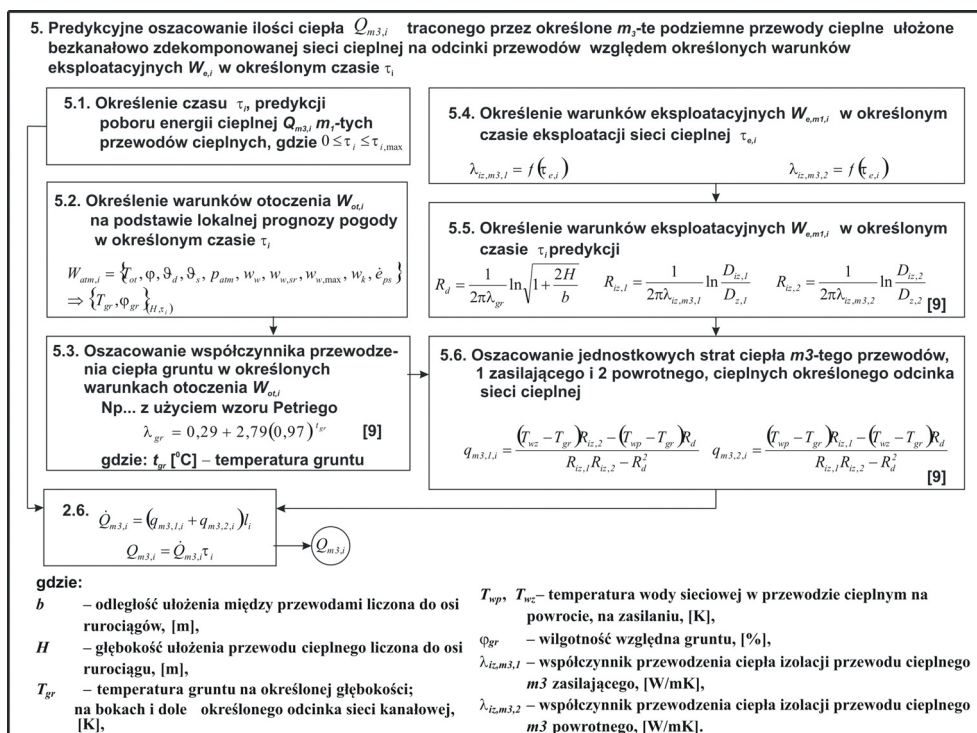
Rys. 4. Ogólny schemat prognozowania ilości energii cieplnej traconej przez przewody ciepłe ułożone w kanałach w określonym przedziale czasu i w określonych warunkach eksploatacyjnych

Fig. 4. General forecasting scheme of thermal energy amount lost through thermal pipes arranged in channels of definite time interval and specified service conditions



Rys. 5. Ogólny schemat prognozowania ilości energii cieplnej traconej przez naziemne przewody ciepłone w określonym przedziale czasu w określonych warunkach eksploatacyjnych

Fig. 5. General forecasting scheme of thermal energy amount lost through ground based thermal pipes of the heating network towards specified service conditions

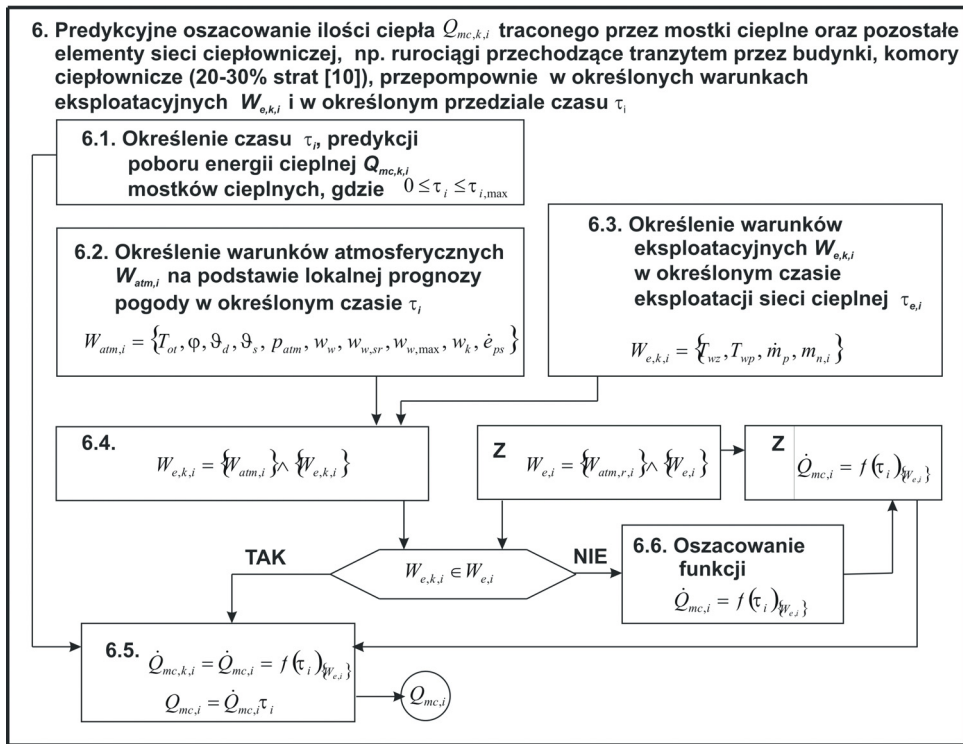


Rys. 6. Ogólny schemat prognozowania ilości energii cieplnej traconej przez przewody ciepłone ułożone bezkanałowo w określonym przedziale czasu w określonych warunkach eksploatacyjnych

Fig. 6. General forecasting scheme of heating energy amount lost through thermal pipes arranged in non-channel sequence in a definite time interval and specified service conditions

Osobno należy traktować działanie oszacowania ilości ciepła $Q_{mc,i}$ traconego przez mostki ciepłone (konstrukcyjne, montażowe, eksploatacyjne, technologiczne [2]) oraz te elementy sieci ciepłowniczej, które nie były brane pod rozagę jako elementy charakteryzujące sieć ciepłowniczą, np. rurociągi przechodzące tranzytem przez budynki, komory ciepłownicze, przepompownie.

Przykład ww. oszacowania przedstawiono na rysunku 7.



Rys. 7. Ogólny schemat prognozowania ilości energii cieplnej traconej przez mostki cieplne oraz pozostałe elementy sieci ciepłowniczej w określonym przedziale czasu w określonych warunkach eksploatacyjnych

Fig. 7. General forecasting scheme of thermal energy amount lost through thermal bonds and the remaining elements of heating network in a definite time interval and specified service conditions

Oszacowanie funkcji

$$\dot{Q}_{mc,i} = f(\tau_i)_{W_{e,i}}, \quad (6)$$

wynika z relacji między czasem τ_i a strumieniem ciepła $\dot{Q}_{mc,i}$ pobieranego z sieci ciepłowniczej i traconego do otoczenia przez mostki cieplne w określonych warunkach eksploatacyjnych $W_{e,i}$:

$$W_{e,i} = \{W_{atm,r,i}\} \wedge \{W_{e,i}\}. \quad (7)$$

Warunki atmosferyczne $W_{atm,r,i}$ są średnimi wartościami wyróżnionych wielkości dla całego regionu sieci ciepłowniczej:

$$W_{atm,r,i} = \{T_{ot}, \phi, \vartheta_d, \vartheta_s, p_{atm}, w_w, w_{w,sr}, w_{w,max}, w_k, \dot{e}_{ps}\}, \quad (8)$$

gdzie oznaczenia jak w (3),

natomiast warunki eksploatacyjne $W_{e,i}$ odnoszą się do głównych przewodów ciepłych sieci ciepłowniczej:

$$W_{e,i} = \{T_{wz}, T_{wp}, \dot{m}_p, m_{n,i}\}, \quad (9)$$

gdzie:

- T_{wp}, T_{wz} – temperatura wody sieciowej w przewodzie cieplnym na powrocie, na zasilaniu [K],
 $\dot{m}_p$ – masowe natężenie przepływu wody sieciowej [t/h],
 $m_{n,i}$ – masa ubytków wody sieciowej w określonym przedziale czasu τ_i [kg].

Okresowej weryfikacji i -tych funkcji $\dot{Q}_{mc,i}$ dokonuje się poprzez sprawdzenie, czy różnica między wartościami ilości ciepła $Q_{mc,i,p}$ oszacowanymi na podstawie pomiarów (indeks p) określonych wielkości (11) w określonym przedziale czasu τ_i eksploatacji i w określonych warunkach $W_{e,i}$ a wartościami ilości ciepła $Q_{mc,i}$ prognozowanymi w tych warunkach, nie przekracza wartości dopuszczalnych ΔQ_{dop} , tzn.

$$|Q_{mc,i,p} - Q_{mc,i}| \leq \Delta Q_{dop}. \quad (10)$$

Należy tu podkreślić, że wartość $Q_{mc,i,p}$ oblicza się z następującej zależności:

$$Q_{mc,i,p} = Q_{zc,i,p} - \left(\sum_{j=1}^J Q_{co,j,i,p} + \sum_{j=1}^J Q_{cw,j,i,p} + \sum_{m=1}^M Q_{m1,i,p} + \sum_{m=1}^M Q_{m2,i,p} + \sum_{m=1}^M Q_{m3,i,p} + Q_{n,i,p} \right), \quad (11)$$

gdzie:

- $Q_{mc,i,p}$ – oszacowana ilość ciepła traconego przez mostki cieplne sieci ciepłowniczej oraz przez pozostałe przewody cieplne i nieszczelności tej sieci na podstawie pomiarów określonych wielkości w określonych warunkach eksploatacyjnych $W_{e,i}$ i w określonym przedziale czasu τ_i [J],
 $Q_{zc,i,p}$ – zmierzona ilość ciepła pobieranego przez określoną sieć ciepłowniczą ze źródła ciepła w określonych warunkach eksploatacyjnych $W_{e,i}$ i w określonym przedziale czasu τ_i [J],
 $Q_{co,j,i,p}$ – zmierzona ilość ciepła pobieranego przez określony j -ty budynek do jego ogrzewania w określonych warunkach eksploatacyjnych $W_{e,j,i}$ tego budynku i w określonym przedziale czasu τ_i [J],
 $Q_{cw,j,i,p}$ – zmierzona ilość ciepła pobieranego przez osoby przebywające w określonym j -tym budynku do ogrzewania ciepłej wody użytkowej w określonych warunkach eksploatacyjnych $W_{e,j,i}$ tego budynku i w określonym przedziale czasu τ_i [J],
 $Q_{m1,i,p}, Q_{m2,i,p}, Q_{m3,i,p}$ – zmierzona ilość ciepła traconego przez określone m -te odcinki określonych przewodów cieplnych (odpowiednio indeksy 1, 2, 3) w określonych warunkach eksploatacyjnych $W_{e,i}$ i w określonym przedziale czasu τ_i [J],
 $Q_{n,i,p}$ – oszacowana ilość ciepła pobieranego do podgrzania zmierzonej ilości masy ubytków wody sieciowej $m_{n,i,p}$ w określonych warunkach eksploatacyjnych $W_{e,i}$ i w określonym przedziale czasu τ_i [J].

Należy tu zwrócić jeszcze uwagę, że funkcja (6) (albo jej parametry) może ulegać częstym zmianom ze względu na zwiększanie się (zmniejszanie po okresowych pracach remontowych) w czasie liczby mostków cieplnych eksploatacyjnych.

Podsumowując, prognozowane i -te zapotrzebowanie energii cieplnej $Q_{sc,i}$ sieci ciepłowniczej z określonym wyprzedzeniem τ_{pr} i w określonym przedziale czasu τ_i predykcji względem określonych warunków eksploatacyjnych $W_{e,i}$ tej sieci oszacowuje się z zależności:

$$Q_{sc,i} = \sum_{j=1}^J Q_{co,j,i} + \sum_{j=1}^J Q_{cw,j,i} + \sum_{m=1}^M Q_{m1,i} + \sum_{m=1}^M Q_{m2,i} + \sum_{m=1}^M Q_{m3,i} + Q_{mc,i}, \quad (12)$$

gdzie oznaczenia są analogiczne j.w.

Okresowej weryfikacji prognozowanych poborów energii cieplnej $Q_{sc,i}$ z sieci ciepłowniczej dokonuje się poprzez sprawdzenie, czy różnica między wartościami ilości ciepła $Q_{sc,i,p}$ pozyskanymi z pomiarów rzeczywistych poborów ilości ciepła w określonym przedziale czasu τ_i eksploatacji sieci ciepłowniczej oraz w określonych warunkach eksploatacyjnych $W_{e,i}$ a wartościami ilości ciepła $Q_{sc,i}$ prognozowanymi w tych warunkach, nie przekracza wartości dopuszczalnych $\Delta Q_{dop,i}$, tzn.

$$|Q_{sc,i,p} - Q_{sc,i}| \leq \Delta Q_{dop,i}, \quad (13)$$

które wynikają z zastosowanych metod pomiarowych, dokładności pomiarów określonych wielkości oraz możliwości regulacyjnych źródła ciepła.

WNIOSKI

1. Przedstawiony system działań prognozowania zapotrzebowania energii cieplnej sieci ciepłowniczej w zadanym czasie umożliwia oszacowanie zapotrzebowania energii źródłowej sieci ciepłowniczej względem aktualnego w czasie zapotrzebowania odbiorców na tę energię oraz wobec rzeczywistych strat tej energii cieplnej w czasie jej dystrybucji w różnych warunkach eksploatacyjnych tej sieci.
2. Prognozowanie zapotrzebowania energii cieplnej sieci ciepłowniczej z uwzględnieniem określonych warunków eksploatacyjnych jest istotnym działaniem w celu efektywnego dostarczania energii cieplnej do jej odbiorców, tzn. minimalizującego różnicę pomiędzy aktualnym zapotrzebowaniem na energię ciepłą a jej dostarczaniem.

LITERATURA

1. Falba Ł., Pietrzyk Z., Smyk A., Twarowski A., *Wykorzystanie metody numerycznej MES oraz pomiarów strumienia ciepła do obliczania strat ciepła w miejskiej sieci ciepłowniczej*, I Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna HYPOCAUSTUM, Warszawa, 12–13.05.2009.
2. Gargula M., *Analiza strat ciepła przez mostki termiczne w izolacjach rurociągów*, rozprawa doktorska, Kraków 2011.

3. Górecki J., *Sieci ciepłne*, WPW, Wrocław 1997.
4. Hoes P., Hensen J.L., Loomans M.G.L.C., de Vries B., Bourgeois D., *User behavior in whole building simulation*, Energy and Buildings, 2009, 41, p. 295–302.
5. <http://www.egain.se/pl-pl/>, 2013.
6. <http://www.terno.kelvin.pl>, 2013.
7. <http://www.tt.com.pl>, 2013.
8. Kasperkiewicz K., *Metoda oceny zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania istniejących budynków mieszkalnych*, Prace Instytutu Techniki Budowlanej, R. 34, 2005, nr 3, s. 15–29.
9. Krygier K., *Sieci ciepłownicze*, WPW, Warszawa 2001.
10. Narowski P., Wiszniewski A., *Konsekwencje wprowadzenia termicznej dezynfekcji instalacji ciepłej wody zasilanych z miejskich systemów ciepłowniczych*, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, 2005, nr 11, s. 5–9.
11. Niemyjski O., *Straty ciepła sieci ciepłowniczych przy zmiennym obciążeniu systemów ciepłowniczych*, INSTAL, 2003, 12, s. 25–28.
12. Popescu D., *Simulation of space heat demand*, 6th International Conference on Electromechanical and Power Systems, Chisinau (Moldova), October 4–6, 2007, s. 243–246.
13. Popescu D., Serban E., *Simulation of domestic hot-water consumption using tme-series models*, 6th International Conference on Heat Transfer, Thermal Engineering and Environment (HTE'08) Rhodes (Greece), August 20–22, 2008, s. 277–282.
14. Popescu D., Ungureanu F., Serban E., *Simulation of consumption in district heating systems*, WSEAS International Conference on Urban Rehabilitation and Sustainability, Environmental Problems and Development, 2008, s. 50–55.
15. Wojdyga K., *Prognozowanie zapotrzebowania na ciepło w miejskich systemach ciepłowniczych*, OWPW, Warszawa 2007.

FORECASTING THE DEMAND FOR THERMAL ENERGY OF THE HEATING DISTRIBUTION NETWORK WITH REGARD TO THE SPECIFIED OPERATIONAL CONDITIONS OF THIS NETWORK – MATHEMATICAL MODEL

Summary

This paper presents the system of activities that aim at forecasting the demand for thermal energy of the heating distribution network with regard to its operational conditions. First, general aspects of these forecasting activities are identified, then the way of decomposing the heating network into its characteristic elements is viewed and quantities characterizing the operational conditions of these elements are determined. Finally, the need to verify periodically the determined values of the forecasted quantities is emphasized. All these activities related to forecasting, identification of the operational conditions for decomposed elements of the heating network and verification of the values of the forecasted quantities constitute the above mentioned system of forecasting activities.

Keywords: thermal energetics, forecasting, heating network, operating research.