

Janusz SKOREK, Rafał KRUPPA

Instytut Techniki Ciepłej

Henryk FOIT, Piotr LUBINA

Katedra Ogrzewnictwa, Wentylacji i Techniki Odpylania

Politechnika Śląska

skorek@itc.ise.polsl.gliwice.pl , hfoit@kowito.ise.polsl.gliwice.pl,

kruppa@itc.ise.polsl.gliwice.pl, plubina@polsl.gliwice.pl

WYBRANE ASPEKTY ENERGETYCZNE I EKOLOGICZNE STOSOWANIA NISKOTEMPERATUROWYCH UKŁADÓW GRZEWczyCH

Streszczenie. Stosowanie niskich temperatur w sieciach grzewczych umożliwia zmniejszenie zużycia energii w źródle ciepła i strat ciepła z sieci przesyłowych, a ponadto pozwala zmniejszyć zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania budynku. W pracy przedstawiono analizę energetyczną stosowania niskotemperaturowych układów ogrzewania budynku mieszkalnego: z kotłem gazowym oraz ze sprężarkową pompą. Wyznaczono zależności pomiędzy temperaturą wody grzejnej a bezpośrednim zużyciem energii i skumulowanym zużyciem paliw pierwotnych. Określono również zmniejszenie zużycia energii cieplnej przez instalację centralnego ogrzewania na skutek obniżania temperatury czynnika grzewczego. Dla budynku mieszkalnego wyposażonego w grzejniki tradycyjne wyznaczono minimalne temperatury czynnika w funkcji stanu ochrony cieplnej.

SELECTED TECHNICAL AND ECOLOGICAL ASPECTS OF LOW TEMPERATURE HEATING SYSTEMS

Summary. Temperature of the water in heating systems influences both energy consumption in the heat source and the fuel consumption in the scale of the whole country economy. The use of the low water temperature in heating installation allows us to decrease of energy consumption in the heat source and heat losses during heat transportation. It is also possible to decrease the heat losses from the building to the environment. On the other hand low water temperature requires special solutions for heat supply within the rooms, what generally increases the investment cost of heating installation. The paper presents energy analysis of low temperature domestic heating systems for two typical heat sources: gas boiler and compressor heat pump. Relationships between the water temperature and direct and cumulative energy consumption are derived. For typical building supplied with traditional convective heaters the minimal average water temperature was calculated taking into account the state of building thermal protection.

1. Wstęp

Celem działania systemu ogrzewania jest produkcja wymaganej ilości ciepła grzejnego Q_g przy użyciu pewnej ilości energii napędowej E_N w postaci energii chemicznej (kocioł gazowy), energii elektrycznej lub pracy mechanicznej (sprężarkowa pompa ciepła). Dla zadanej ilości ciepła grzejnego Q_g sprawność energetyczna całego systemu określona jest przez zużycie bezpośrednie energii E_N (tzn. energii napędowej). Zmiany systemu ogrzewania powinny przede wszystkim prowadzić do zmniejszenia zużycia energii napędowej E_N poprzez na przykład zmniejszenie zapotrzebowania na ciepło, zwiększenie sprawności wytwarzania ciepła oraz poprzez ograniczenie strat ciepła podczas transportu nośnika ciepła od źródła do odbiorcy.

W ostatnich latach dynamicznie rozwija się koncepcja zmniejszania zużycia energii w systemach grzewczych poprzez stosowanie niskotemperaturowych systemów grzewczych. Do badań stosowana jest tu między innymi analiza energetyczna jak i egzergetyczna [2, 3]. Badaniom tym poświęcony jest np. międzynarodowy projekt badawczy o nazwie LowEx. [5]. Analiza egzergetyczna pomaga w identyfikacji miejsca powstawania strat w systemie, określeniu ich wielkości i wskazaniu sposobów poprawy sprawności systemu.

W prezentowanej pracy dokonano analizy celowości i możliwości zmniejszania temperatury wody w instalacji grzewczej w celu zwiększenia efektywności energetycznej układu ogrzewania pomieszczeń mieszkalnych. Przeanalizowano zarówno wpływ zmian temperatury wody na efektywność energetyczną źródła ciepła, jak i na wielkość zapotrzebowania na ciepło dla ogrzewanych pomieszczeń. Obliczenia wykonano dla dwóch źródeł ciepła stosowanych powszechnie w małych układach grzewczych: kotła opalanego gazem ziemnym oraz sprężarkowej pompy ciepła zasilanej energią elektryczną.

W pracy wyznaczono zużycie energii napędowej przez układ grzewczy w funkcji założonych charakterystyk temperaturowych źródeł ciepła. Wyznaczono ponadto skumulowane zużycie paliw pierwotnych w celu oceny globalnego efektu zwiększania sprawności układu grzewczego.

Zaprezentowano również wybrane wyniki badań zmierzających do określenia efektów energetycznych uzyskiwanych na skutek obniżania temperatury w instalacji centralnego ogrzewania oraz wyznaczenia minimalnych średnich nominalnych temperatur czynnika grzewczego dla typowych budynków mieszkalnych w zależności od stopnia ich ochrony cieplnej.

2. Analiza energetyczna systemu ogrzewania

Podstawową wielkością wpływającą na doskonałość systemu jest zużycie energii napędowej w źródle ciepła potrzebnej do wyprodukowania wymaganej ilości ciepła grzejnego Q_g . Dla znanej sprawności energetycznej źródła ciepła η_{Ezr} zużycie energii napędowej E_N może być wyznaczone z definicji sprawności:

$$\eta_{Ezr} = \frac{Q_g}{E_N} \Rightarrow E_N = \frac{Q_g}{\eta_{Ezr}} \quad (1)$$

W przypadku źródła zasilanego paliwem kopalnym energia napędowa E_N jest energią chemiczną paliwa, natomiast w przypadku sprężarkowej pompy ciepła jest to energia elektryczna E_{el} zużyta do napędu sprężarki pompy ciepła.

Zapotrzebowanie na moc cieplną zależy od temperatury zewnętrznej t_z . Do obliczeń przyjęto, że temperatura otoczenia zmienia się w czasie według uporządkowanego wykresu temperatur zewnętrznych 4. Temperatura zewnętrzna wpływa na aktualne zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania i w konsekwencji na temperaturę wody w instalacji, która z kolei jest określona przez charakterystykę konkretnej sieci.

Główne założenia przyjęte do dalszych analiz są następujące:

- znane jest maksymalne zapotrzebowanie na moc cieplną do ogrzewania,
- moc grzewcza systemu jest regulowana za pomocą temperatury wody,
- energia elektryczna jest wytwarzana w elektrowni zawodowej,
- dolnym źródłem ciepła dla pompy jest grunt, którego temperatura jest stała.

Roczne zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania jest wyznaczone na podstawie chwilowego zapotrzebowania na ciepło wynikającego z temperatury zewnętrznej:

$$Q_g = \int_0^{\tau_0} \dot{Q}_g(t_z(\tau)) d\tau \quad (2)$$

2.1. Analiza energetyczna źródeł ciepła

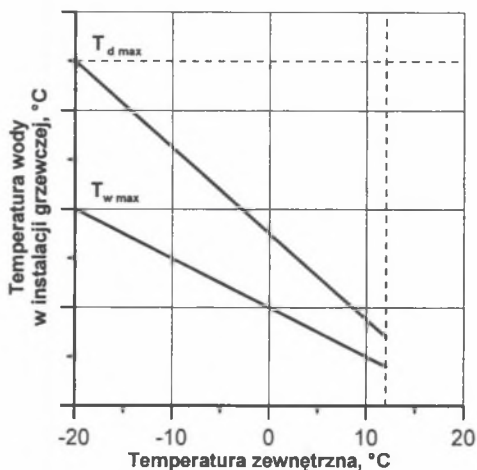
Analiza energetyczna dla kotła gazowego i pompy grzewczej jest bardzo podobna. Przepływ wody w systemie grzewczym obliczono na podstawie maksymalnego zapotrzebowania na ciepło, które odpowiada minimalnej temperaturze zewnętrznej:

$$\dot{G}_w = \frac{\dot{Q}_{\max}}{c_w(t_{d,\max} - t_{w,\max})}, \quad (3)$$

gdzie: c_w – pojemność cieplna właściwa wody, $t_{d,\max}$ i $t_{w,\max}$ - nominalna temperatura wody zasilającej i powrotnej w instalacji grzewczej.

Dla wyższych temperatur zewnętrznych t_z zapotrzebowanie na ciepło zmniejsza się zgodnie z przyjętą charakterystyką sieci (rys. 1):

$$\dot{Q}_g = \dot{G}_w(t_d - t_w) \quad (4)$$



Rys. 1. Przykładowa charakterystyka sieci ciepłej

Fig. 1. Sample characteristic of heating network

W następnej kolejności wyznaczono zużycie energii napędowej w źródle. Do tego celu wykorzystano charakterystyki energetyczne urządzeń. Przykładowe charakterystyki energetyczne kotła gazowego i pompy ciepła przedstawiono na rys. 2 i 3.

a) Kocioł gazowy

Znając zapotrzebowanie na ciepło grzejne Q_g i sprawność kotła η_k wyznacza się bezpośrednie zużycie energii chemicznej paliwa w kotle E_k z definicji sprawności energetycznej kotła:

$$\eta_k = \frac{Q_g}{E_k} \Rightarrow E_k = \frac{Q_g}{\eta_k} \quad (5)$$

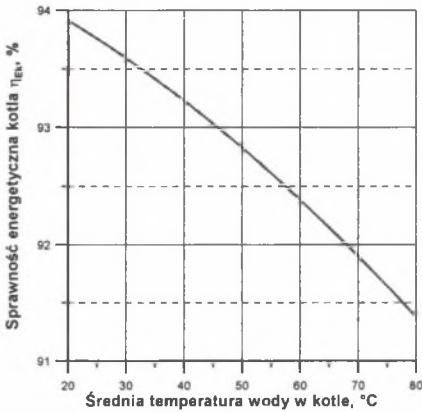
Sprawność energetyczna kotła gazowego zależy od średniej temperatury wody w kotle i jest określona przez charakterystykę energetyczną urządzenia (rys. 1).

b) Pompa ciepła

Dla zadanej ilości ciepła grzejnego Q_g bezpośrednio zużycie energii elektrycznej E_{pc} wynika z definicji współczynnika efektywności cieplnej pompy ciepła ε_{pc} :

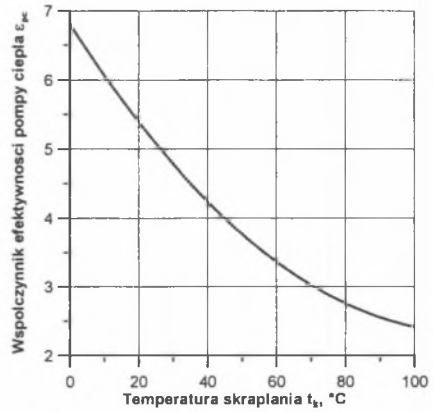
$$\varepsilon_{pc} = \frac{Q_g}{E_{pc}} \Rightarrow E_{pc} = \frac{Q_g}{\varepsilon_{pc}} \quad (6)$$

Współczynnik efektywności cieplnej pompy ciepła ε_{pc} jest funkcją aktualnej temperatury wody określoną poprzez charakterystykę energetyczną urządzenia (rys. 2).



Rys. 2. Charakterystyka energetyczna kotła gazowego

Fig. 2. Energy characteristic of gas boiler



Rys. 3. Charakterystyka energetyczna pompy ciepła

Fig. 3. Energy characteristic of heat pump

2.2. Zużycie energii pierwotnej w układzie grzewczym

Analizowane w pracy układy ogrzewania są zasilane różnymi nośnikami energii. Kocioł zasilany jest paliwem pierwotnym, natomiast energia elektryczna do pompy ciepła produkowana jest z paliw pierwotnych w procesach konwersji energii (np. w elektrowni czy elektrociepłowni) i dostarczana do odbiorców. Zużycie energii w różnych systemach powinno polegać na porównywaniu zużycia paliw pierwotnych lub skumulowanego zużycia paliw pierwotnych. W przypadku pompy ciepła należy uwzględnić w obliczeniach sprawność produkcji energii elektrycznej z paliwa pierwotnego w elektrowni jak również sprawności jej przesyłania i transformacji. Dla pompy ciepła zużycie energii pierwotnej E_{el}'' wynika z relacji:

$$E_{pc}'' = \frac{E_{el}}{\eta_{E,el} \eta_{tr}}, \tag{7}$$

gdzie: $\eta_{E,el}$ - sprawność energetyczna produkcji energii elektrycznej w elektrowni, η_{tr} - sprawność transformacji i przesyłania energii elektrycznej z elektrowni do odbiorcy (pompy ciepła). W przypadku kotła gazowego zużycie energii pierwotnej jest równe bezpośrednio zużyciu paliwa:

$$E_k = E_k'' \tag{8}$$

Jeżeli elektrownia i kocioł zasilane są różnymi paliwami (np. węglem kamiennym i gazem ziemnym), należy porównać skumulowane zużycie energii E^* , co pozwala uwzględnić energetyczne koszty pozyskania paliwa w złożu, przetworzenia i transportu do odbiorcy (np. do kotła czy elektrowni) 4:

$$E^* = \frac{E''}{\eta_E^*}, \tag{9}$$

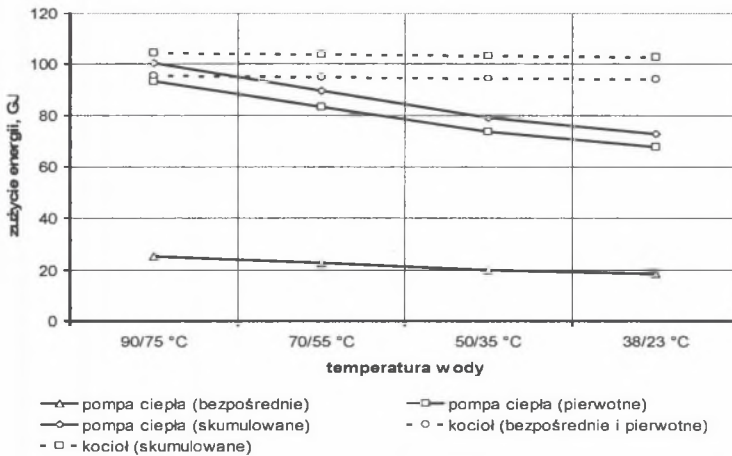
gdzie: η_E^* , η_B^* - skumulowana sprawność energetyczna pozyskania, przetworzenia i transportu paliwa, tzn. gazu ziemnego i węgla.

3. Wyniki obliczeń

W celu bezpośredniego porównania analizowanych systemów przyjęto jednolite założenia do obliczeń:

- minimalna temperatura zewnętrzna: $t_{z\ min} = -20\ ^\circ\text{C}$,
- temperatura w pomieszczeniach: $t_g = +20\ ^\circ\text{C}$,
- temperatura początku sezonu grzewczego: $t_{zg} = +12\ ^\circ\text{C}$,
- długość sezonu grzewczego: $\tau_o = 5600\ \text{h}$,
- maksymalne zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania: $Q_g = 10\ \text{kW}$,
- sprawność energetyczna produkcji energii elektrycznej w elektrowni: $\eta_{E,el} = 36\ \%$,
- sprawność transformacji i przesyłania energii elektrycznej: $\eta_{tr} = 87\ \%$,
- skumulowana sprawność energetyczna pozyskania, przetworzenia i transportu gazu ziemnego: $\eta_E^* = 98\ \%$,
- skumulowana sprawność energetyczna pozyskania i transportu węgla: $\eta_B^* = 94\ \%$.

Charakterystyka temperaturowa instalacji grzewczej ma bezpośredni wpływ na zużycie energii napędowej w źródłach ciepła. W obliczeniach uwzględniono cztery charakterystyki o maksymalnych temperaturach wody grzewczej: $T_{f,max}/T_{r,max} = 90/75\ ^\circ\text{C}$, $70/55\ ^\circ\text{C}$, $50/35\ ^\circ\text{C}$, $38/23\ ^\circ\text{C}$. W każdym przypadku maksymalna różnica temperatury wody wynosi $\Delta T_{max} = 15\ \text{K}$. Zużycie energii bezpośredniej, energii pierwotnej oraz skumulowane zużycie energii przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Roczne zużycie energii (bezpośredniej, pierwotnej i skumulowane) w kotle gazowym i pompie ciepła

Fig. 4. Annual energy consumption (direct and cumulative) in gas boiler and heat pump

4. Efekty energetyczne działania niskotemperaturowych systemów grzewczych w odniesieniu do instalacji grzewczych

Zastosowanie niskotemperaturowych systemów grzewczych daje oprócz zmniejszenia zużycia energii w źródle również inne pozytywne efekty energetyczne. Uzyskuje się bowiem zmniejszenie strat ciepła w trakcie jego przesyłu ze źródła do instalacji, strat przekazania ciepła instalacji grzewczej do powietrza wewnętrznego ogrzewanych pomieszczeń oraz regulacji wydajności instalacji. Na skutek tego wzrasta sprawność wykorzystania ciepła z wewnętrznych źródeł, a także ciepła promieniowania słonecznego docierającego do wnętrza pomieszczenia. Zwiększenie stopnia wykorzystania ciepła wewnętrznego i promieniowania słonecznego jest wynikiem zmniejszenia strat zbędnego przekazywania ciepła przez instalacje grzewcze do pomieszczeń, jak również obniżenia energii ruchów konwekcyjnych powietrza w pomieszczeniu na skutek niskiej temperatury powierzchni grzewczych.

W przypadku poprawy izolacyjności cieplnej zewnętrznej powłoki budynku (wymuszonej chęcią stosowania niskotemperaturowych układów grzewczych) obniża się również wymagana, ze względu na komfort cieplny, temperatura wewnętrzna powietrza z powodu podwyższonej temperatury wewnętrznej powierzchni przegród otaczających ogrzewane pomieszczenia.

Obniżanie temperatury czynnika grzewczego skutkuje także wzrostem samoregulacji wydajności cieplnej instalacji centralnego ogrzewania.

5. Polepszenie komfortu cieplnego na skutek zastosowania niskotemperaturowej instalacji grzewczej

Poprawa komfortu cieplnego związana jest z wyrównaniem rozkładu temperatury i prędkości w obszarze przebywania ludzi w ogrzewanych pomieszczeniach na skutek generowania przez instalację grzewczą słabszych strumieni konwekcyjnych. Zmniejszenie gęstości strumienia emisji długofalowej z elementów grzewczych, przy jednoczesnym rozwinięciu powierzchni tych elementów w stosunku do instalacji tradycyjnych, zmniejsza nierównomierność przestrzennej zależności bilansu promieniowania długofalowego.

Zastosowanie instalacji niskotemperaturowych związane jest z podwyższeniem średniej temperatury powierzchni wewnętrznych ogrzewanych pomieszczeń poprzez znaczne rozwinięcie powierzchni grzejników.

Dalsze podwyższenie temperatury wewnętrznej powierzchni przegród otaczających ogrzewane pomieszczenia wynika zazwyczaj z polepszenia izolacyjności cieplnej przegród zewnętrznych w związku ze stosowaniem niskotemperaturowych układów grzewczych. Wzrost temperatury wewnętrznej powierzchni przegród poprawia stan środowiska wewnętrznego ogrzewanych pomieszczeń lub umożliwia obniżenie temperatury wewnętrznej warunkującej stan komfortu cieplnego.

Obniżenie temperatury powierzchni grzewczych zmniejsza intensywność lub całkowicie eliminuje suchą destylację pyłów pokrywających te powierzchnie.

6. Problemy badawcze związane ze stosowaniem niskotemperaturowych systemów grzewczych

Zakładając, że niskotemperaturowe systemy grzewcze budynków będą zawierały dostępne obecnie na rynku urządzenia w celu określenia warunków stosowania tych systemów, pozostają do rozwiązania między innymi następujące problemy:

- wyznaczenie względnych sezonowych strat przesyłu, rozdziału i przekazania ciepła oraz regulacji wydajności instalacji grzewczej w funkcji temperatury nominalnej instalacji,
- propozycje rozwiązań niskotemperaturowych instalacji grzewczych dla budynków mieszkalnych z uwzględnieniem układów przygotowania ciepłej wody użytkowej i wentylacji budynku,
- określenie minimalnej nominalnej temperatury proponowanych instalacji grzewczych ze względu na możliwość zabudowy elementów instalacji w ogrzewanych pomieszczeniach,
- określenie optymalnej postaci instalacji c.o. (c.w.u.) i źródła ciepła (oraz ewentualnie stanu ochrony cieplnej ogrzewanego budynku) tworzących niskotemperaturowe systemy grzewcze budynków,

W dalszej części omówiono bliżej dwa z wymienionych problemów, a mianowicie określenie względnych sezonowych strat regulacji wydajności ciepła instalacji grzewczej oraz określenie minimalnej temperatury nominalnej instalacji grzewczych ze względu na możliwość zabudowy elementów instalacji w ogrzewanych pomieszczeniach.

7. Wyznaczenie względnego sezonowego zużycia ciepła przez instalację grzewczą w funkcji temperatury nominalnej instalacji

W celu określenia względnego sezonowego zużycia ciepła (z pominięciem strat przesyłu) przez instalację centralnego ogrzewania w funkcji temperatury nominalnej instalacji przyjęto model matematyczny [6] oparty na następujących ogólnych założeniach:

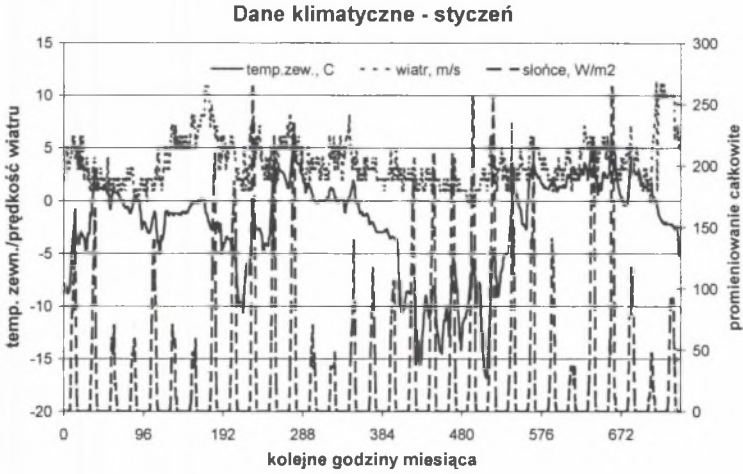
- Rozpatrywana jest nieustalona wymiana ciepła między instalacją c.o., wnętrzem ogrzewanych pomieszczeń a środowiskiem zewnętrznym z dynamicznie zmienną intensywnością wentylacji.
- Uwzględnianymi elementami środowiska zewnętrznego (oddziałującego na budynek) są godzinowe przebiegi dobowe dla poszczególnych dni roku średniego: temperatury powietrza zewnętrznego, prędkości wiatru, wilgotności powietrza i natężenia promieniowania słonecznego (całkowitego i rozproszonego).
- Na powierzchniach zewnętrznych i wewnętrznych przegród budowlanych rozpatrywana jest wymiana ciepła przez konwekcję i promieniowanie długofalowe, przepływ ciepła przez przezroczyste elementy przegród zewnętrznych analizowany jest z uwzględnieniem pochłaniania promieniowania słonecznego przez szyby.
- W pomieszczeniach odtwarzane jest dynamiczne działanie wewnętrznych źródeł ciepła.
- Instalacja c.o. zaopatrzona jest w zawory termostatyczne (regulatory proporcjonalne) lub pozbawiona zaworów termostatycznych i może zawierać klasyczne grzejniki lub grzejniki podłogowe.

Instalacja c.o. może działać z osłabieniem nocnym, a nadążna za t_c temperatura zasilania może być korygowana dodatkowo na podstawie pomiaru temperatury t_i w pomieszczeniu kontrolnym.

Wykorzystując opracowany na podstawie modelu matematycznego program cyfrowy DYNINST przeprowadzono wstępne badania wpływu temperatury nominalnej instalacji na stan względnych sezonowych strat regulacji wydajności ciepła instalacji grzewczej. Wykorzystując znany program ESP-r [7] dokonano sprawdzenia programu DYNINST. Przebiegi zapotrzebowania ciepła pomieszczenia (opisanego dalej) dla miesiąca stycznia przedstawiono na rys. 7.

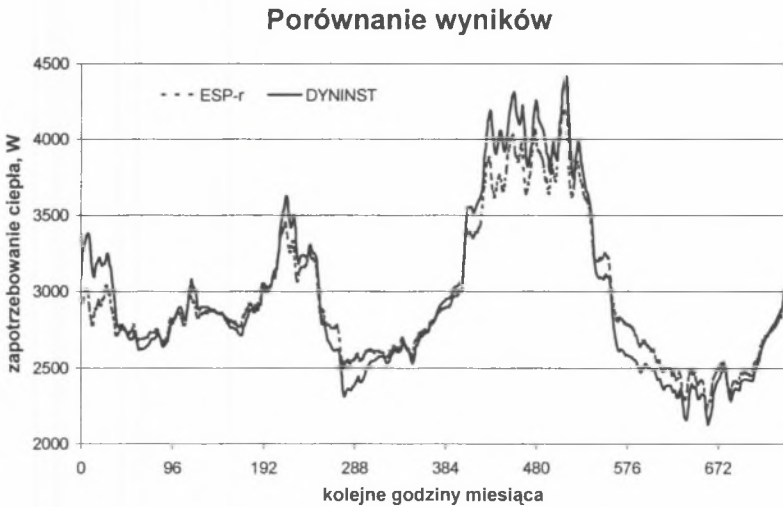
Badania wykonano dla mieszkania (o powierzchni $71,4 \text{ m}^2$) zawierającego 4 pomieszczenia (plus przedpokój) i stanu klimatu zewnętrznego w postaci roku średniego dla Sulejowa. Przebiegi temperatury powietrza zewnętrznego, prędkości wiatru i średniego natężenia promieniowania całkowitego na płaszczyznę poziomą dla kolejnych godzin miesiąca stycznia zestawiono na rys. 6. Przyjęto, że przegrody zewnętrzne wykonane są jako dwustronnie otynkowany mur z cegły pełnej o grubości $0,40 \text{ m}$ bez warstwy izolacji cieplnej. Budynek zaopatrzone jest w okna (o współczynnikach przenikania ciepła $2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$) rozmieszczone następująco: w kierunku S – 2 okna o powierzchni $4,05 \text{ m}^2$ oraz 2 okna w kierunku N o powierzchni $4,95 \text{ m}^2$.

Dla tak przyjętego mieszkania przeprowadzono badania wpływu temperatury nominalnej instalacji c.o. na sezonowe zużycie ciepła przez instalację c.o. Instalacja c.o. zaopatrzone w lekkie grzejniki konwekcyjne zasilana była wodą o temperaturach nominalnych $90/70^\circ\text{C}$ $55/45^\circ\text{C}$, $40/30^\circ\text{C}$. Średnią zadaną temperaturę wewnątrz pomieszczeń przyjęto jako 20°C , a minimalna temperatura dla okresu osłabienia nocnego wynosiła 15°C . Nastawę zaworu termostaticznego korygowano przy każdej zmianie temperatury nominalnej. Dla każdego poziomu temperatur nominalnych przyjmowano grzejniki zwymiarowane zgodnie z obowiązującymi zasadami (zawsze zakładano 15% przewymiarowanie ze względu na obecność zaworów termostaticznych). Temperatura czynnika zasilającego zmieniana była nadążnie za temperaturą powietrza zewnętrznego z uwzględnieniem schłodzenia czynnika w sieci dosyłowej. Przebiegi wydajności cieplnej instalacji c.o., temperatury wewnętrznej dla wybranego miesiąca, miesięcy sezonu grzewczego i całego roku przedstawiono na rys 5 - 8.



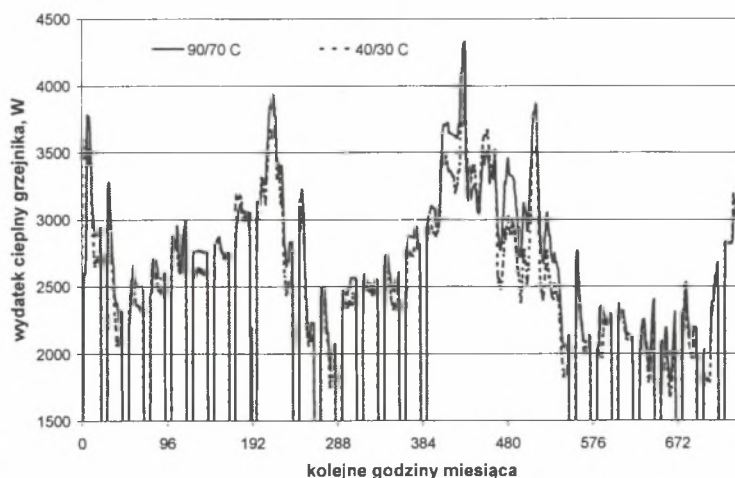
Rys. 5. Przykładowe dane klimatyczne

Fig. 5. Sample climatic data



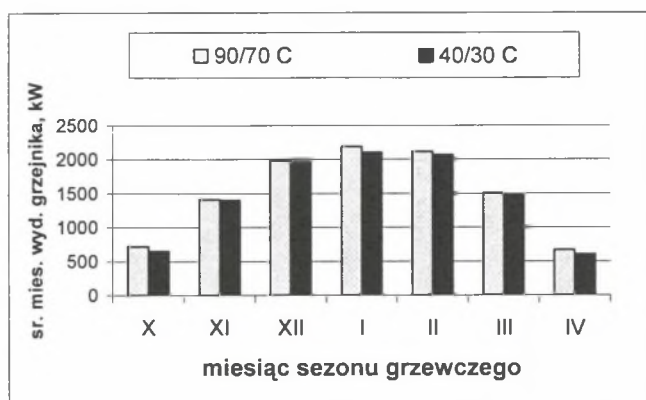
Rys. 6. Porównanie wyników obliczeń programów ESP-r oraz DYNINST

Fig. 6. Comparison of the result for computer codes ESP and DYBINST



Rys. 7. Porównanie wydatków cieplnych grzejnika dla różnych nominalnych parametrów wody grzejnej

Fig. 7. Comparison of the heater thermal outlay for different nominal parameters of heating water



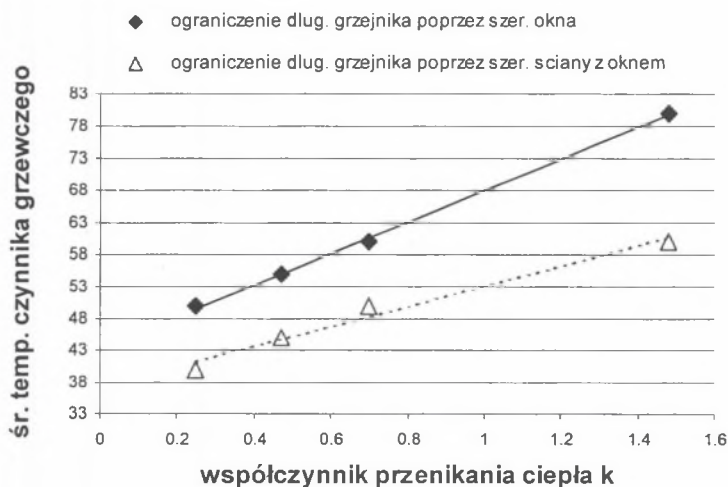
Rys. 8. Porównanie średnich miesięcznych wydatków grzejnika dla różnych parametrów nominalnych wody grzejnej

Fig. 8. Comparison of the heater average monthly thermal outlay for different nominal parameters of heating water

8. Określenie minimalnej nominalnej temperatury instalacji grzewczej, ze względu na możliwość zabudowy grzejników przy ścianie z oknem w ogrzewanych pomieszczeniach

W celu określenia minimalnej średniej nominalnej temperatury instalacji grzewczych ze względu na możliwość zabudowy elementów instalacji w ogrzewanych pomieszczeniach przeprowadzono wyznaczenie nominalnego zapotrzebowania ciepła i wymaganej wielkości grzejników dla typowego wielorodzinnego budynku mieszkalnego położonego w 3 strefie klimatycznej. W badaniach uwzględniano różne stany izolacji cieplnej budynku związane z obowiązującymi w przeszłości i obecnie wymaganiami ochrony cieplnej. Przyjęto, że instalacja wyposażona jest w typowe grzejniki umieszczone pod oknem, a ich wielkość ograniczona jest wysokością zamontowania parapetu okiennego w stosunku do podłogi (ograniczenie wysokości grzejnika) i szerokością okna lub długością ściany zewnętrznej, w której znajduje się otwór okienny – ograniczenie długości grzejnika. Nie zakładano ograniczenia powierzchni grzejnika w łazienkach, przyjmując, że zapotrzebowanie ciepła dla tych pomieszczeń mogą kompensować typowe grzejniki łazienkowe i grzejniki podłogowe.

Zależność minimalnej, dopuszczalnej ze względu na ograniczenie długości grzejnika, średniej nominalnej temperatury czynnika grzejnego $t_{1,2}$ od współczynnika przenikania ciepła k przegród pionowych zewnętrznych (określają stan ochrony cieplnej) dla analizowanego budynku mieszkalnego wielorodzinnego i typowych grzejników konwekcyjnych przedstawiono na rys. 9.



Rys. 9. Zależność minimalnej nominalnej temperatury czynnika grzejnego od współczynnika przenikania ciepła przegród zewnętrznych budynku

Fig. 9. Minimum nominal temperature of heating water as the function of the overall heat transfer coefficient of the outer walls of building

9. Wnioski

W pracy przeprowadzono analizę energetyczną działania układu ogrzewania zasilanego ze źródła ciepła w postaci kotła gazowego lub pompy grzewczej. Szczególną uwagę położono na wyznaczenie wpływu temperatury wody grzewczej na zużycie energii w samym źródle ciepła, jak również energii pierwotnej i skumulowanej w skali gospodarki całego kraju. Na podstawie wyników obliczeń można sformułować następujące wnioski:

- dla wysokiej temperatury wody grzewczej skumulowane zużycie energii oraz zużycie energii pierwotnej jest bardzo podobne dla obu analizowanych źródeł ciepła,
- wraz ze zmniejszaniem temperatury wody zużycie energii w pompie ciepła znacząco się zmniejsza, natomiast w kotle zmiany te są znikome,
- bezpośrednie zużycie energii napędowej jest w przypadku pompy ciepła znacznie mniejsze niż dla kotła gazowego. Porównując jednak skumulowane zużycie energii różnice te ulegają zmniejszeniu.

Zastosowanie niskiej temperatury wody grzewczej wymaga specjalnych układów wyprowadzenia ciepła w ogrzewanych pomieszczeniach (ogrzewanie podłogowe, ogrzewanie ścienne itd.), które zwykle wpływają na wzrost kosztów inwestycyjnych systemu ogrzewania, dlatego zastosowanie ich powinno być oparte na szczegółowej analizie ekonomicznej. Zastosowanie niskotemperaturowej instalacji grzewczej zamiast instalacji obliczonej na wyższe parametry czynnika grzewczego umożliwia zmniejszenie zużycia energii przez instalację, przy założeniu uzyskania porównywalnego stanu środowiska wewnętrznego. Obniżaniu temperatury czynnika grzewczego w instalacji zawierającej tradycyjne grzejniki towarzyszy znaczne rozwinięcie powierzchni grzejników, co wywołuje trudności ich zintegrowania z przedmiotami wyposażenia wewnętrznego ogrzewanych pomieszczeń. W typowym budynku mieszkalnym z grzejnikami konwekcyjnymi zlokalizowanymi pod oknami minimalna średnia nominalna temperatura czynnika grzewczego wynosi 50°C, przy zachowaniu ochrony cieplnej budynku zgodnej z obowiązującymi wymaganiami.

Bibliografia

1. Kruppa R.: *Techniczno-ekonomiczna analiza zastosowania sprężarkowej pompy ciepła do ogrzewania budynków*. Praca dyplomowa magisterska, Gliwice 1999
2. Skorek J., Kruppa R.: *Analysis of Exergy Losses in Domestic Heating Systems*. Materiały międzynarodowej konferencji „Energy Conservation in Buildings and Community Systems. Kraków, listopad 2001, s. 81 – 90.
3. Skorek J., Kruppa R.: *Analysis of Exergy Losses in Domestic Heating Systems*. Materiały międzynarodowej konferencji „ECOS”, Berlin 2002, s. 1465 – 1462.
4. Szargut J., Ziębik A.: *Podstawy gospodarki cieplnej*. PWN, Warszawa 1998
5. *LowEx – Low exergy systems for heating and cooling of buildings*, IEA ECBCS Annex 37

6. Foit Henryk, Lubina P.: *Model matematyczny przekazania ciepła do ogrzewanego mieszkania przez wodną instalację c.o.* Gliwice 2002
7. *ESRU 1999. ESP-r: a building and plan energy simulation environment*, User Guide. Version 9 Series. ESRU Publication, University of Strathclyde, Glasgow