

Symulacja stanów eksploatacyjnych węzła ciepłego w budynku o niskim zużyciu energii do ogrzewania

Simulation of the operating conditions of the district heating substation (dhs) for a low energy consumption building

KAZIMIERZ ŻARSKI

DOI 10.36119/15.2021.9.1

Przepisy prawne obowiązujące w Polsce [4,7] wymagają projektowania budynków i ich infrastruktury z zachowaniem zasad oszczędności energii i racjonalności przyjętych rozwiązań. Zapotrzebowanie na moc cieplną do ogrzewania budynków spełniających wysoki standard ochrony cieplnej jest znacznie mniejsze niż zapotrzebowanie na moc cieplną do przygotowania ciepłej wody, nawet jeśli jako miarodajne do doboru wymiennika ciepła przyjąć warunki 20 minutowego zapotrzebowania [1,5]. W artykule przedstawiono wyniki symulacji stanów eksploatacyjnych wymiennikowego węzła ciepłego w budynku mieszkalnym o 18 mieszkaniach w 3 wybranych warunkach klimatycznych sezonu grzewczego. Wykazano, że węzeł w budynku o wysokim standardzie ochrony cieplnej charakteryzuje się dużą dobową zmiennością strumienia masy nośnika ciepła i niewielką zmiennością maksymalnego dobowego strumienia masy w przekroju rocznym.

Słowa kluczowe: węzeł ciepły, priorytet ciepłej wody, symulacja hour by hour, zmiany przepływu

Law regulations in Poland [4,7] require the design of buildings and their infrastructure with energy saving principles and rationality. Energy consumption (heat load) for heating buildings that meet the high standard of thermal protection is much lower than the demand of heat flux for preparing hot water, even if the conditions of the 20-minute demand [1,5] are used as a reliable condition for the selection of the heat exchanger. The article presents the results of simulation of the operating conditions of a heat exchanger substation in a residential building with 18 apartments at 3 selected climatic conditions of the heating season. It has been shown that a DHS in a building with a high standard of thermal protection is characterized by a high daily variability of mass flow in a district heating network. There is a small variability of the maximum daily mass flow in a year.

Keywords: district heating substation, domestic warm water priority, simulation hour by hour, variation of mass flow

Wstęp

W roku 2017 ukazała się nowelizacja normy PN-EN 12831 [7], która w odniesieniu do poprzedniej edycji z 2006 roku [6] wprowadza dość istotne zmiany:

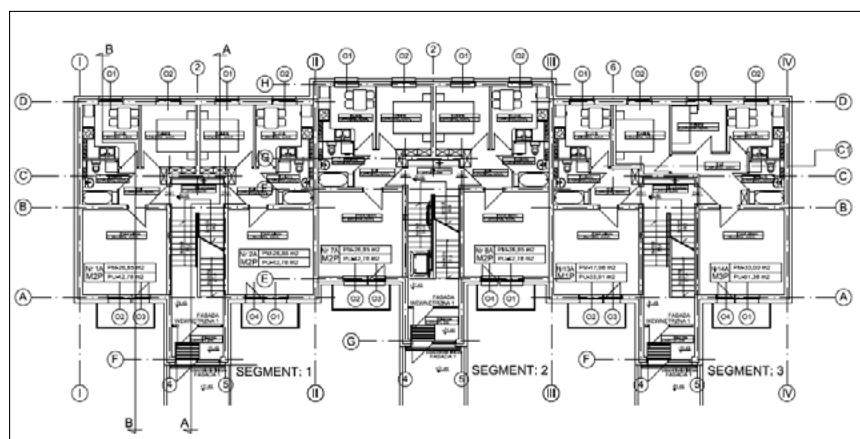
- Norma z 2017 roku [7] ogranicza wpływ mostków cieplnych w nowo budowanym budynku do $0.02 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$, w poprzedniej edycji było to $0.10 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$,
- Norma z 2017 roku określa sposób ogrzewania budynku z ostabieniem lub z przerwami jako rozwiązanie **niezalecane**, wymagające zgody właściciela (użytkownika) budynku,
- Norma z 2017 roku podaje jako zalecaną (w metodzie uproszczonej, ale autor artykułu proponuje przeniesienie tej zasady na metodę dokładną) krotkość wymiany powietrza w budynku jako 0.25 h^{-1} .
(w poszczególnych pomieszczeniach przyjmuje się 0.5 h^{-1}).

Stosując procedury obliczeniowe z edycji 2006 i 2017, otrzymamy znacz-

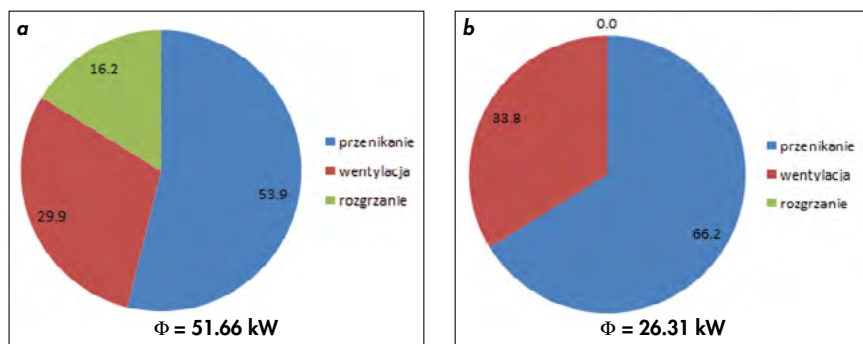
nie różniące się wielkości projektowego obciążenia cieplnego. Na rys. 1 pokazano rzut kondygnacji budynku [15] (budynek ma 3 kondygnacje i piwnice), na rys. 2 wielkość zapotrzebowania na moc cieplną i strukturę zapotrzebowania przy zastosowaniu procedur obliczeniowych zgodnych z dwiema edycjami normy. W obu przy-

padkach przyjęto takie same wartości współczynnika przenikania ciepła przegrod budynku.

Podjęcie do projektowania zgodnie z PN-EN 12831:2017 spowodowało ok. dwukrotne zmniejszenie projektowego obciążenia cieplnego budynku.



Rys. 1.
Rzut kondygnacji budynku (do przykładu obliczeniowego) [15]
Fig. 1. Floor layout of building (for calculation example) [15]



Rys. 2. Projektowe obciążenie cieplne i jego struktura przy obliczeniu zgodnym z edycją normy: a. 2006, b. 2017

Fig. 2. Heat load and their structure according to the standard edition: a. 2006, b. 2017

Dane wejściowe do obliczeń

Dane wejściowe do obliczeń węzła cieplnego zestawiono w tabeli 1.

Tab. 1. Dane wejściowe do obliczeń węzła cieplnego

Tab. 1. Input data for DHS calculation

Zapotrzebowanie na moc cieplną do ogrzewania	Φ_{∞}	26.31	kW
Liczba mieszkańców	l_m	54	
Liczba mieszkań	l_M	18	
Średnie dobowe zapotrzebowanie na c.w.	m_{srd}	2700.0	kg/d
Średnie godzinowe zapotrzebowanie na c.w.	m_{srh}	112.5	kg/h
Maksymalne, 20 minutowe zapotrzebowanie na c.w.	m_{20}	632.4	kg/h
Chwilowy strumień objętości w instalacji c.w. (wg PN-EN 806)	q	1.01	dm ³ /s
Temperatura ciepłej wody	t_{cw}	60	°C
Temperatura wody zimnej	t_{wz}	10	°C
Zapotrzebowanie na moc do c.w. 20 minutowe	Φ_{cw20}	62.92	kW
Zapotrzebowanie na moc do c.w. chwilowe	Φ_{cwmax}	209.72	kW
Współczynnik zmniejszający przepływ c.o. przy priorytecie c.w.	β	0.50	

Parametry operacyjne sieci i instalacji podano w tabeli 2.

Tab. 2. Parametry operacyjne węzła cieplnego

Tab. 2. Operating parameters of DHS

Obliczeniowa temperatura zasilania w sieci – zima	T_{zz}	120.0	°C
Obliczeniowa temperatura powrotu w sieci – do doboru wymiennika c.o.	T_{pco}	60.0	°C
Obliczeniowa temperatura zasilania w sieci – lato i poza punktem załamania	T_{zl}	70.0	°C
Obliczeniowa temperatura powrotu w sieci – lato	T_{pl}	25.0	°C
Temperatura zasilania instalacji c.o.	T_{zico}	70.0	°C
Temperatura powrotu instalacji c.o.	T_{pico}	50.0	°C

Parametry projektowe węzła obliczono programem WEZEL [1,9] i podano poniżej:

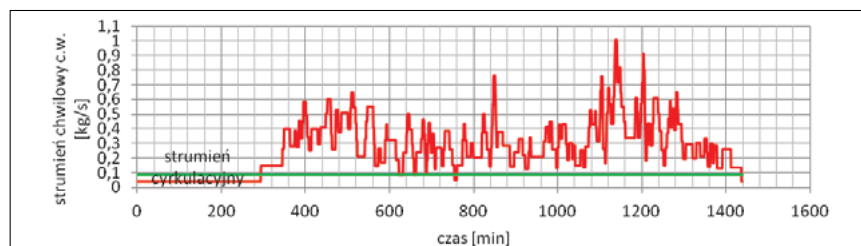
Obliczeniowy strumień masy wody sieciowej (łącznie)	m_{smax}	1.32	t/h
Obliczeniowy strumień masy wody sieciowej (ogrzewanie)	m_{sco}	0.41	t/h
Obliczeniowy strumień masy wody sieciowej (ciepła woda)	m_{scw}	1.20	t/h

Węzeł zaprojektowano z priorytetem ciepłej wody o w spólczynniku 0.5, a więc strumień wody sieciowej jest obliczony jako suma strumienia masy w sekcji ciepłej wody i 50% strumienia masy w sekcji ogrzewania [1,9].

Model obliczeniowy

Przyjęto następujące procedury obliczeniowe i założenia do symulacji:

– Rozkład zapotrzebowania na ciepłą wodę w ciągu typowej doby pokazano na rysunku 3.



Rys. 3. Rozkład chwilowego (1 minutowego) zapotrzebowania na ciepłą wodę w budynku [12]

Fig. 3. Distribution of temporary (1 minute) warm domestic water (WDW) demand [12]

– Strumień objętości wody cyrkulacyjnej przyjęto jako 0.1 strumienia chwilowego ciepłej wody [1]. Założono, że przy 20% chwilowego zapotrzebowania na c.w. układ cyrkulacji się wyłącza. Temperaturę wody przed wymiennikiem ciepłej wody wyznaczono z bilansu masy i entalpii i zestawiono w tab. 3.

Tab. 3. Temperatura wody przed wymiennikiem ciepłej wody

Tab. 3. Input temperature of water supplying a heat exchanger

m_{cw}	0	180.7	361.4	722.9	1084.3	1445.7	1807.2	2168.6	2530.0	2891.5	3252.9	3614.3
t_{wym}	50	40	30	10	10	10	10	10	10	10	10	10

m_{cw} – strumień masy ciepłej wody [kg/h],
 t_{wym} – temperatura przed wymiennikiem ciepła [°C].

– Temperaturę wody zasilającej w sieci ciepłowniczej i instalacji ogrzewania obliczono za pomocą programu „wykres_regulacyjny” [1,11]. Temperatura wody zasilającej w sieci ciepłowniczej jest ustalana co 4..6 godzin, w zależności od szybkości zmiany temperatury powietrza zewnętrznego.

– Wewnętrzne zyski ciepła (pochodzące od użytkownika budynku) przyjęto w wysokości 4 W/m² przy obecności większości lokatorów, w okresie dnia 2 W/m², w okresie nocy 1 W/m² [8].

– Zyski ciepła od nasłonecznienia obliczono na podstawie danych meteorologicznych dla strefy klimatycznej o temperaturze obliczeniowej powietrza zewnętrznego – 20 °C [13].

– Temperaturę tłumioną powietrza zewnętrznego przyjęto jako średnią ruchomą z okresu [n-10,n-20] powiększoną o 1/7 przyrostu temperatury od n-9 do n-10, gdzie n jest numerem godziny w czasie rzeczywistym [1,13]. Wymiana ciepła przez przegrody w wyniku przenikania jest funkcją temperatury tłumionej, składowa wentylacyjna jest obliczana na podstawie temperatury w czasie rzeczywistym. Bilans zapotrzebowania na moc cieplną budynku określono metodą hour by hour (opracowanie autora).

– Temperaturę zasilania w sieci ciepłowniczej i instalacji przyjęto w funkcji tłumionej temperatury powietrza zewnętrznego [1,11].

– Temperaturę wody powrotnej w instalacji wyznaczono za pomocą programu MEDIUM [1,10,11], stosownie do bilansu chwilowego i udziału zysków ciepła.

– Temperaturę wody powracającej do sieci ciepłowniczej z sekcji ogrzewania i przygotowania ciepłej wody wyznaczono

za pomocą programu CAS200 (opcja PERFORMANCE [2,8].

Wyniki symulacji

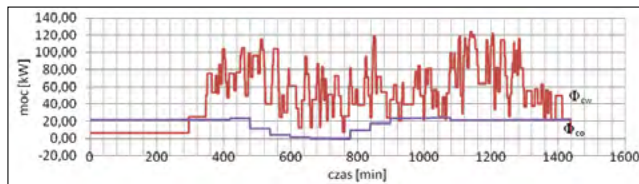
Na rysunku 4 pokazano wykres mocy cieplnej w czasie doby o obliczeniowej temperaturze powietrza zewnętrznego (-20 °C), na rys. 5 w wybranym dniu sezonu grzewczego (o średniej temperaturze powietrza zewnętrznego - 8.8 °C), na rys. 6 w dniu o średniej temperaturze 10 °C.

W dniu o średniej temperaturze +10 °C instalacja ogrzewania charakteryzuje się niewielkim zapotrzebowaniem na moc cieplną, budynek jest w stanie równowagi cieplnej z otoczeniem zewnętrznym. Z uwagi na znacznie większą moc cieplną do przygotowania ciepłej wody w stosunku do mocy cieplnej do ogrzewania sumaryczna łączna moc cieplna wężła cieplnego niewiele się różni w różnych wartościach temperatury powietrza zewnętrznego. Na rys. 7,8,9 zilustrowano strumień

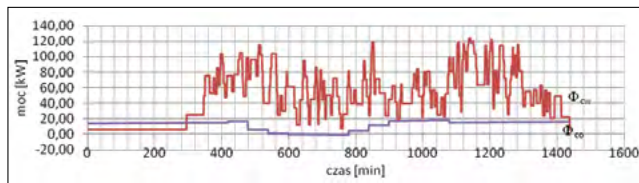
masy nośnika ciepła w obiegu pierwotnym: ogrzewania, ciepłej wody i całkowity.

Rysunki 10,11,12 przedstawiają temperaturę wody zasilającej instalację ogrzewania w ciągu doby.

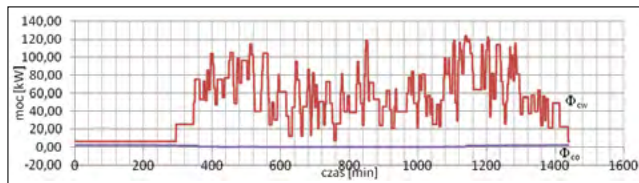
Przy zasilaniu wężła wodą o wysokiej temperaturze (bliskiej obliczeniowej) nie występują warunki uruchomienia funkcji priorytetu ciepłej wody. W wyniku działania priorytetu ciepłej wody w wyższej temperaturze powietrza zewnętrznego i niższej temperaturze wody zasilającej temperatura



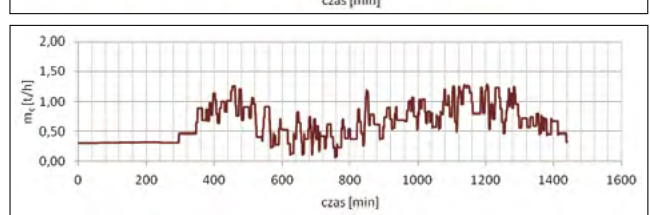
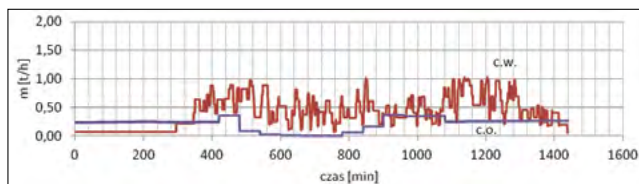
Rys. 4.
Moc do ogrzewania i przygotowania ciepłej wody przy temperaturze powietrza zewnętrznego - 20 °C
Fig. 4. Heat load and WDW heat demand in time at the outdoor temperature - 20 °C



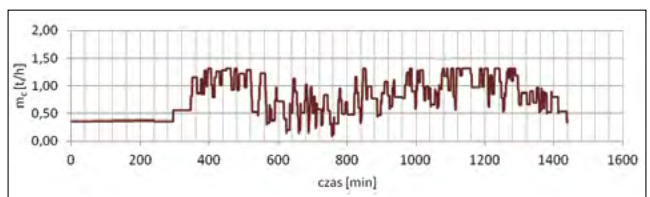
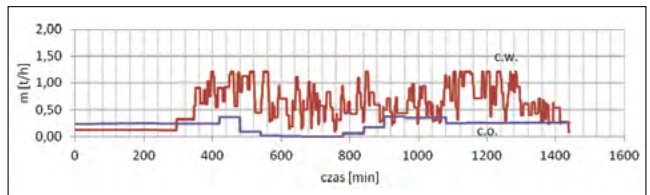
Rys. 5.
Moc do ogrzewania i przygotowania ciepłej wody przy średniej temperaturze powietrza zewnętrznego - 8.8 °C
Fig. 5. Heat load and WDW heat demand in time at the mean outdoor temperature - 8.8 °C



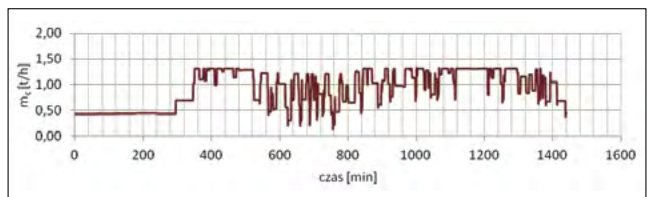
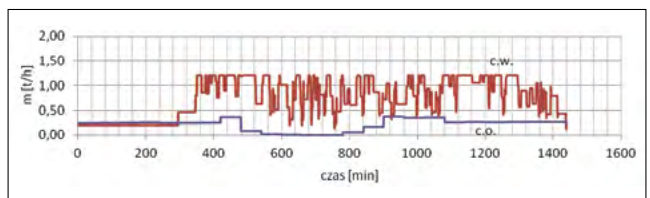
Rys. 6.
Moc do ogrzewania i przygotowania ciepłej wody przy średniej temperaturze powietrza zewnętrznego +10 °C
Fig. 6. Heat load and WDW heat demand in time at the mean outdoor temperature +10 °C



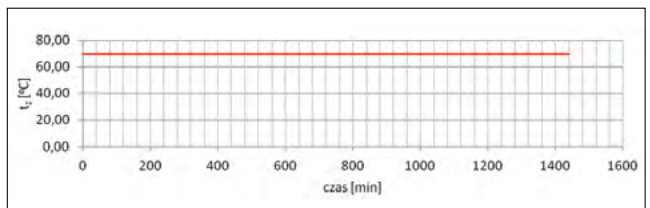
Rys. 7.
Strumień masy nośnika ciepła w obwodach pierwotnych ogrzewania, ciepłej wody i całkowity (m) przy temperaturze powietrza zewnętrznego - 20 °C
Fig. 7. Mass flow in primary circuit: heating, WDW and total mass flow (m) in time at the outdoor temperature - 20 °C



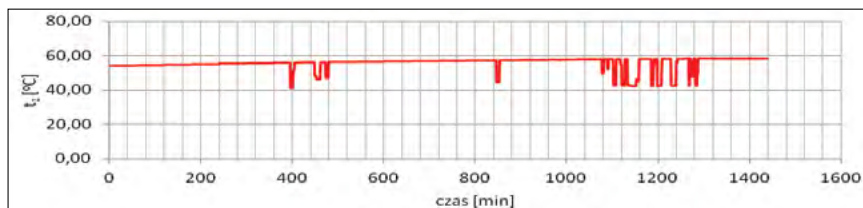
Rys. 8.
Strumień masy nośnika ciepła w obwodach pierwotnych ogrzewania, ciepłej wody i całkowity przy średniej temperaturze powietrza zewnętrznego - 8.8 °C
Fig. 8. Mass flow in primary circuit: heating, WDW and total in time at the mean outdoor temperature - 8.8 °C



Rys. 9.
Strumień masy nośnika ciepła w obwodach pierwotnych ogrzewania, ciepłej wody i całkowity przy temperaturze powietrza zewnętrznego +10 °C
Fig. 9. Mass flow in primary circuit: heating, WDW and total in time at the mean outdoor temperature +10 °C



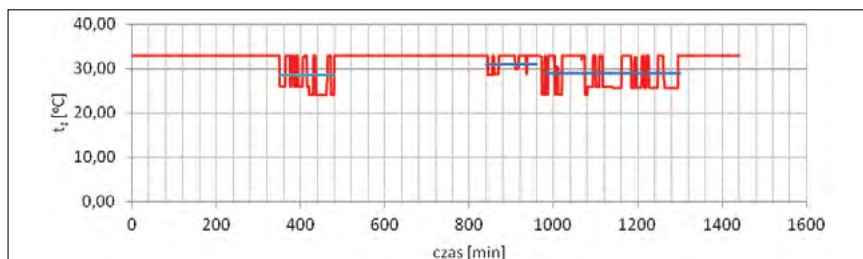
Rys. 10.
Temperatura wody zasilającej instalację ogrzewania przy temperaturze powietrza zewnętrznego - 20 °C
Fig. 10. Supply temperature of water in heating installation in time at the outdoor temperature - 20 °C



Rys. 11.

Temperatura wody zasilającej instalację ogrzewania przy średniej temperaturze powietrza zewnętrznego – 8,8 °C

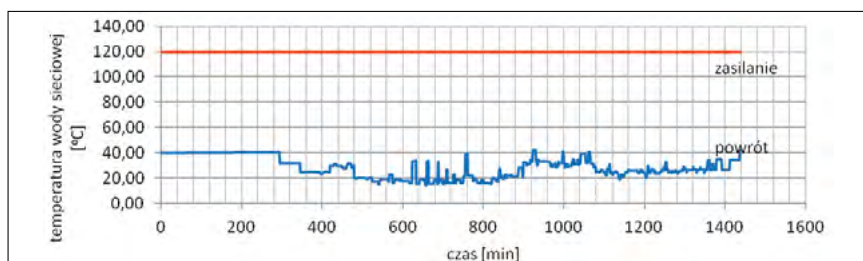
Fig. 11. Supply temperature of water in heating installation in time at the mean outdoor temperature – 8,8 °C



Rys. 12.

Temperatura wody zasilającej instalację ogrzewania przy średniej temperaturze powietrza zewnętrznego +10 °C (linia niebieska – wartość średnia)

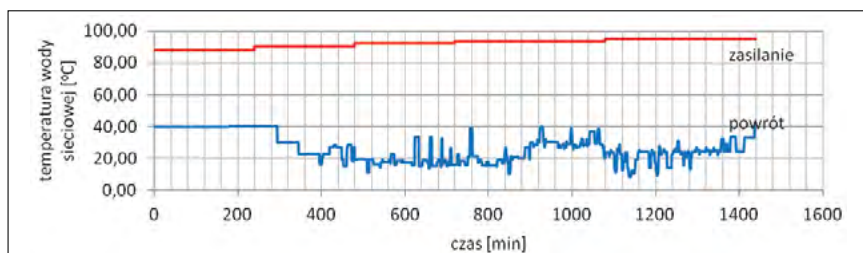
Fig. 12. Supply temperature of water in heating installation in time at the mean outdoor temperature +10 °C (blue line – mean value)



Rys. 13.

Temperatura wody zasilającej i powrotnej w sieci ciepłej przy temperaturze powietrza zewnętrznego – 20 °C

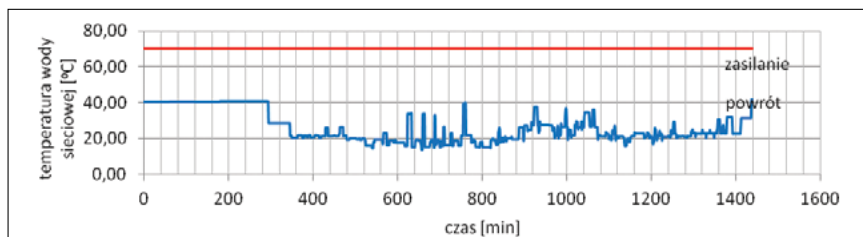
Fig. 13. Supply and return temperature of water in district heating network in time at the outdoor temperature – 20 °C



Rys. 14.

Temperatura wody zasilającej i powrotnej w sieci ciepłej przy średniej temperaturze powietrza zewnętrznego – 8,8 °C

Fig. 14. Supply and return temperature of water in district heating network in time at the mean outdoor temperature – 8,8 °C



Rys. 15.

Temperatura wody zasilającej i powrotnej w sieci ciepłej przy średniej temperaturze powietrza zewnętrznego +10 °C

Fig. 15. . Supply and return temperature of water in district heating network in time at the mean outdoor temperature +10 °C

wody zasilającej instalację ogrzewania obniża się średnio o 2-8 K w okresach o szczytowym zapotrzebowaniu na ciepłą wodę. Ta odchyłka jest kompensowana ok. 10..15% nadmiarem powierzchni grzejnika, który zazwyczaj występuje w ogrzewanych budynkach. Ponadto, największe odchyłki temperatury zasilania występują przy najwyższej temperaturze powietrza zewnętrznego, zatem wówczas, gdy budynek znajduje się w równowadze cieplnej z otoczeniem zewnętrznym, czyli skutki obniżenia intensywności ogrzewania są pomijalne. Odpowiedzią instalacji na zmniejszenie strumienia masy wody sieciowej jest zwiększenie przepływu w instalacji (otwierają się zawory termostatyczne), w wyniku czego wzrasta temperatura wody powrotnej w instalacji i – stopniowo – temperatura wody zasilającej [1,10].

Rysunki 13,14,15 ilustrują temperaturę wody zasilającej i powrotnej w obwodzie wspólnym (przyłączeniowym) węzła ciepłego.

Temperatura wody wracającej do sieci ciepłej jest mocno zróżnicowana – zależy od chwilowej mocy do przygotowania ciepłej wody. W każdych warunkach temperatury powietrza zewnętrznego w znacznym okresie doby temperatura wody powrotnej jest zbliżona do 20 °C. Jedynie w okresie braku i bardzo małego zapotrzebowania na ciepłą wodę jest wyższa, co wynika z udziału strumienia wody cyrkulacyjnej w wymianie ciepła w wymienniku do przygotowania ciepłej wody.

Podsumowanie

– Wysokie wymagania ochrony cieplnej budynków wynikające z [4,7] generują niewielkie zapotrzebowanie na moc cieplną do ogrzewania w porównaniu z mocą cieplną potrzebną do przygotowania ciepłej wody. Implikuje to nierównomierność przepływu (strumienia masy) nośnika ciepła w przekroju dobowym w obwodzie pierwotnym węzła ciepłego. Zmniejszenie mocy do ogrzewania budynków z jednej strony jest zjawiskiem korzystnym (możliwość włączenia większej liczby obiektów), z drugiej może rodzić problemy eksploatacyjne w sieci ciepłowniczej (nadmierne schłodzenie nośnika ciepła) i w źródle (nierównomierność odbioru mocy i duże wahania przepływu). Antydotum na to może być drastyczne zmniejszenie temperatury wody zasilającej w sieci (do 70-80 °C) i obniżenie temperatury obliczeniowej ciepłej wody, np. do 45 °C. Wymagania higieniczne odnośnie do wysokości temperatury ciepłej wody są **wyjątkowo nieuzasadnione** z powodu

względnie niewielkiej liczby przypadków legionellozy (w roku 2019 legionellozę stwierdzono w Polsce w 87 przypadkach, tj. w 0.22 przypadkach na 100000 ludności). Przyczyną tak niewielkiej liczby przypadków nie jest podwyższona temperatura ciepłej wody (od 2002 roku) [4- wersja 2002], gdyż w latach przed wprowadzeniem obowiązku podgrzewania wody do 55-60 °C liczba przypadków legionellozy była znacznie mniejsza [14].

– Zasilanie obszarów ciepłowniczych o niskim zużyciu energii wymaga zastosowania elastycznych źródeł ciepła, z kotłami (przynajmniej szczytowymi) opalonymi paliwem płynnym.

– Z uwagi na dominującą w węźle ciepłym moc do przygotowania ciepłej wody maksymalny przepływ w sieci ciepłej zmienia się w niewielkim stopniu w przekroju rocznym.

– Funkcja tłumionej temperatury powietrza zewnętrznego oparta na średniej ruchomej, pozwala na wolniejsze zmiany temperatury wody zasilającej w dniach o zmiennym klimacie, co odpowiada dynamice oddziaływania budynku z otoczeniem zewnętrznym (tłumienie amplitudy temperatury i przesunięcie fazowe tworzą efekt „filtra dolnoprzepustowego”, eliminującego zmiany temperatury o wysokiej częstotliwości).

– Przeprowadzone symulacje wykazały uzasadnienie projektowania priorytetu ciepłej wody ze współczynnikiem 0.5 do strumienia masy w sekcji ogrzewania. W wielu obiektach ten współczynnik może być jeszcze mniejszy.

– Z przeprowadzonych symulacji wynika brak uzasadnienia do stosowania węzłów dwustopniowych, które w dalszym ciągu są projektowane i eksploatowane w Polsce, podczas gdy nie ma już przynajmniej od 25 lat przesłanek do ich stosowania. Zgodnie z wytycznymi EuroHeat&Power [5] węzły dwustopniowe mogą być stosowane przy temperaturze wody zasilającej wymiennik I stopnia nie mniejszej niż 45 °C. Taka sytuacja nie wystąpi przy ogrzewaniu budynków o niskim zużyciu energii przy prawidłowo zaprojektowanej instalacji ciepłej wody i cyrkulacji.

Specyfika projektowania systemów ciepłowniczych zasilających budynki o niskim zużyciu energii wymaga podjęcia odpowiednich kroków przy ich eksploatacji i przy planowaniu rozwoju, aby móc dostosować parametry systemów ciepłowniczych do charakterystyki zasilanych budynków.

LITERATURA

[1] Żarski K. „Węzły ciepłe w miejskich systemach ciepłowniczych”, Ośrodek Informacji „Technika Instalacyjna w Budownictwie”, 2014 r.

- [2] Żarski K.: „Charakterystyka cieplna i hydrauliczna wymienników płytowych w układach przygotowania ciepłej wody”, XIII Konferencja Ciepłowników „Efektywność dystrybucji i wykorzystania ciepła”, Rzeszów-Jawor 27-29.09. 2001 r.
- [3] Żarski K.: “Influence of heat gains in building on pumping energy consumption in boiler plant”, China-USA Business Review, No 3/2014, p. 206-215
- [4] Rozporządzenie Ministra Inwestycji i Rozwoju z dnia 7 czerwca 2019 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. poz. 1065)
- [5] Euroheat&Power: Guidelines for district heating substations, 2008
- [6] PN-EN 12831:2006 Instalacje ogrzewcze w budynkach. Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego
- [7] PN-EN 12831:2017 Charakterystyka energetyczna budynków. Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego
- [8] Program CAS200 doboru wymienników płytowych
- [9] Program do obliczeń węzłów ciepłych, oprac. autora
- [10] Program do symulacji stanów eksploatacyjnych ogrzewania wodnego „MEDIUM”, oprac. autora
- [11] Program „wykres_regulacyjny”
- [12] Badania zużycia ciepłej wody w budynku w budynkach mieszkalnych Torunia
- [13] Dane meteorologiczne roku porównawczego w strefie klimatycznej o obliczeniowej temperaturze powietrza wewnętrznego – 20°C
- [14] https://legionella.pl/choroba-legionistow/dostep_07.2021
- [15] Projekt architektoniczny budynku wielorodzinnego w ...