

Rzeczywiste straty ciepła w instalacji ciepłej wody w wybranych placówkach medycznych

Actual heat losses in hot water installations in selected medical facilities

MARTYNA BOCIAN

DOI 10.36119/15.2022.11.2

Udział zużycia energii w systemach ciepłej wody w całkowitym zużyciu energii w budynkach ciągle rośnie. Liczba szczegółowych badań terenowych dotyczących systemów ciepłej wody jest ograniczona w porównaniu z systemami grzewczymi i chłodniczymi. W artykule wskazano problem nadmiernych strat ciepła w przewodach cyrkulacyjnych c.w. w budynku szpitala i przychodni specjalistycznej zasilanych z sieci ciepłowniczej.

W artykule zaprezentowano wyniki obliczeń mocy wymienników ciepłej wody, udziałów procentowych strat ciepła w przewodach cyrkulacyjnych oraz dokonano analizy zapotrzebowania na ciepło do celów ciepłej wody na przestrzeni dnia, miesiąca, roku oraz w przeliczeniu na powierzchnię budynku oraz liczbę pacjentów.

Strata ciepła wynikająca z cyrkulacji ciepłej wody w szpitalu dla całego okresu letniego wyniosła 50,54%, natomiast w przychodni 79,04%. Największy udział strat cyrkulacyjnych w szpitalu odnotowano w soboty (65,04%), natomiast w przychodni w niedziele (90,40%). Na podstawie przeprowadzonych obliczeń wnioskować można, iż straty ciepła wynikające z konieczności podtrzymania parametrów ciepłej wody są stosunkowo duże. Uzależnione są one w dużej mierze od ilości pobieranej wody i charakteru budynku.

Słowa kluczowe: straty ciepła, ciepła woda, system podgrzewania wody

The share of energy consumption in domestic hot water systems in the total energy consumption of buildings is still increasing. The amount of detailed field research on hot water systems is limited compared to heating and cooling systems. The article indicates the problem of excessive heat losses in the circulation lines of domestic hot water installations in the building of the hospital and specialist clinic powered by the heating network.

The article presents the results of calculations of the power of hot water exchangers, percentage of heat losses in circulation pipes, and an analysis of the heat demand for domestic hot water over the course of a day, month, year and per building area and the number of patients.

The heat loss resulting from the circulation of hot water in the hospital for the entire summer period was 50.54%, while in the clinic it was 79.04%. The largest share of circulation losses in hospitals was recorded on Saturdays (65.04%), and in the clinic – on Sundays (90.40%). Based on the calculations performed, it can be concluded that heat losses resulting from the need to maintain hot water parameters are relatively high. They depend largely on the amount of water consumed and the nature of the building.

Keywords: heat losses, domestic hot water, water heating system

Oznaczenia:

- C_p – ciepło właściwe wody [J/(kgK)],
 n – liczba pomiarów z pojedynczego dnia, dla których wystąpił minimalny bądź zerowy pobór ciepłej wody,
 E_{cwu}^d – ilość ciepła dostarczonego do instalacji ciepłej wody w ciągu doby (bez uwzględnienia cyrkulacji) [kWh],
 E_{cyrk}^d – ilość ciepła dostarczonego do instalacji ciepłej wody związana tylko z cyrkulacją we wszystkich godzinach doby [kWh],
 ρ – gęstość czynnika grzewczego w temperaturze uśrednionej [kg/m³],

- ΣQ_{cwu} – suma mocy cieplnej tylko na cele przygotowania ciepłej wody ze wszystkich pomiarów przeprowadzonych w ciągu doby [kW],
 ΣQ_{cyrk} – suma mocy cieplnej cyrkulacji ze wszystkich pomiarów przeprowadzonych w ciągu doby [kW],
 $Q_{cwu\ sr}$ – średnia dobową moc cieplną związaną z przygotowaniem ciepłej wody (łącznie z cyrkulacją) w godzinach jej poboru [kW],
 $Q_{cwu\ sr}^d$ – średnia dobową moc cieplną związaną z przygotowaniem ciepłej wody (łącznie z cyrkulacją) we wszystkich godzinach doby [kW],
 $Q_{cyrk\ sr}^d$ – średnia dobową moc cieplną związaną z cyrkulacją w godzi-

- nach o minimalnym lub zerowym poborze ciepłej wody [kW],
 t_p – temperatura powrotu czynnika grzewczego po stronie sieciowej [K],
 t_z – temperatura zasilania czynnika grzewczego po stronie sieciowej [K],
 U_{cwu} – udział zużycia ciepła na cele przygotowania ciepłej wody w ciągu doby [%],
 U_{cyrk} – udział zużycia ciepła na cele cyrkulacji ciepłej wody w ciągu doby [%],
 $\dot{v}$ – przepływ objętości czynnika grzewczego [m³/h],
 x – liczba przeprowadzonych pomiarów w ciągu doby.

mgr inż. Martyna Bocian <https://orcid.org/0000-0003-2572-1878> – Katedra Jakości Powietrza Wewnętrznego i Zewnętrznego, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Lubelska. Adres do korespondencji / Corresponding Author: m.bocian@pollub.pl

Wprowadzenie

W dzisiejszych czasach coraz więcej uwagi poświęca się efektywności energetycznej. Wynika to z chęci zwiększenia oszczędności, a także wyczerpywania się nieodnawialnych zasobów paliw [1]. W celu poprawy efektywności energetycznej systemu ciepłowniczego głównymi podejmowanymi działaniami są: wdrażanie koncepcji inteligentnych sieci ciepłowniczych [2], wzrost udziału źródeł odnawialnych, oszczędność energii równoległe z rozwojem sieci ciepłowniczych, zwiększenie udziału kogeneracji w produkcji energii [3] oraz obniżenie temperatury wody w systemach grzewczych [4]. Ważne jest przy tym stosowanie zasad zrównoważonego rozwoju, a także zwiększenie żywotności rurociągów i zmniejszenie strat ciepła podczas przesyłu [5].

Straty ciepła w okresie letnim w wysokotemperaturowych sieciach ciepłowniczych mogą sięgać nawet 30%. Problemy te mogą zagrozić opłacalności ekonomicznej tradycyjnych sieci o wysokiej wydajności, a także zmniejszeniu zapotrzebowania na ciepło w wyniku renowacji istniejących budynków i instalacji [6, 7]. Cholewa i in. [8] wykazali, że znaczna część ciepła w instalacjach przygotowania ciepłej wody jest tracona w obiegu i sięga nawet od 56,7% do 70,1%, natomiast według Bugała i Grzywacz [9] wynosi ona około 51,3%.

Straty ciepła w układach c.w. wynikają z rozwiązań technicznych instalacji i węzła cieplnego, stanu izolacji instalacji, jak również z rzeczywistej temperatury ciepłej wody, bowiem straty ciepła rosną wraz ze wzrostem średniej temperatury wody w instalacji [10].

W instalacji ciepłej wody należy zapewnić temperaturę $55 \div 60^{\circ}\text{C}$, co powoduje znaczne straty ciepła na przewodach, zwłaszcza w okresie letnim, a także skutecznie uniemożliwia zastosowanie niskotemperaturowych źródeł ciepła [11]. Budynki z węzłami cieplnymi dwustopniowymi 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, dlatego projektowanie węzłów dwustopniowych jest nieopłacalne i zaleca się stosowanie węzłów cieplnych jednostopniowych [12].

Cyrkulacja ciepłej wody ma duży wpływ na wzrost temperatury powrotu medium sieciowego [13]. Prawie 80%

energii przeznaczonej na przygotowanie ciepłej wody wykorzystywane jest do jej podgrzewania [14].

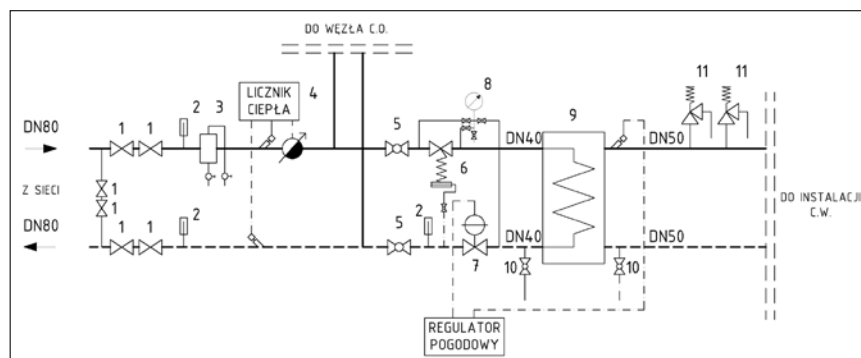
Wciąż jednak brakuje dokładnych badań dotyczących instalacji ciepłej wody, na podstawie których zostanie opracowana dokładna i prosta metoda oceny efektywności energetycznej systemów c.w. w konkretnym budynku i będzie mogła być ona szeroko stosowana w różnego rodzaju budynkach.

Charakterystyka budynków przyjętych do analizy

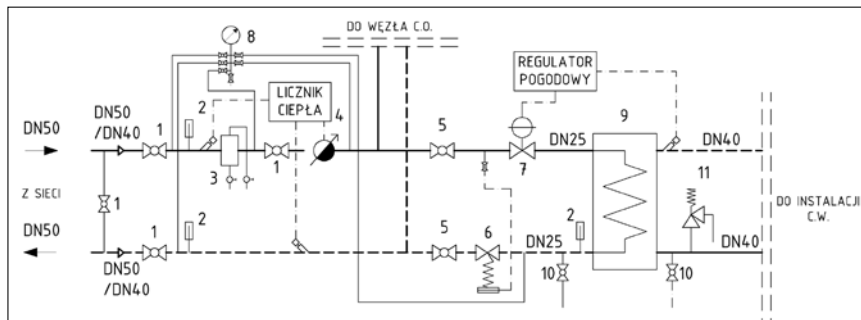
Straty ciepła związane z cyrkulacją ciepłej wody zostały przeanalizowane na podstawie danych pomiarowych zużycia ciepła w dwóch obiektach: szpitalu oraz przychodni specjalistycznej. Zestawienie danych dla budynków przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Zestawienie budynków objętych analizą
Table 1. List of included in the analysis buildings

Budynek	Szpital	Przychodnia
Kubatura [m^3]	50 822	13 897
Powierzchnia [m^2]	14 821	1385
Rok budowy	1983	1969
Liczba kondygnacji nadziemnych	3	3
Liczba użytkowników	166	brak danych
Czas poboru c.w. [h/d]	18	18
Typ węzła cieplnego	kompaktowy typu AS.CO.CWU.1 o łącznej mocy 1370 kW	kompaktowy typu AS.CO.CWU.0 o łącznej mocy 280 kW
Rodzaj wymiennika ciepła	płytowy typu GLP-008-5-SI-42 firmy „Taret”, o mocy 170 kW	płytowy typu GC-8Plx18 firmy SWEF o mocy 80 kW
Typ ciepłomierza	Kamstrup Multical 602	Kamstrup Multical 601
Parametry czynnika sieciowego dla zimy	130/65°C	130/65°C
Parametry czynnika sieciowego dla lata	70/35°C	70/35°C
Parametry czynnika sieciowego do doboru wymiennika	65/35°C	brak danych
Parametry wody instalacyjnej	60/10°C	55/5°C
Rodzaj przewodów sieciowych	rury stalowe bez szwu według PN-80/H-74219 o połączeniach spawanych 2x DN80	rury stalowe bez szwu według PN-80/H-74219 o połączeniach spawanych 2x DN50
Rodzaj przewodów w instalacji c.w.	rury stalowe ocynkowane według PN-79/H-74200 o połączeniach śrubunkowych. Przewód wody ciepłej DN50, przewody wody zimnej i cyrkulacji DN40, zabezpieczone przed korozją	rury stalowe ocynkowane według PN-79/H-74200 o połączeniach śrubunkowych. Przewód wody ciepłej i zimnej DN40, przewód cyrkulacji DN32, zabezpieczone przed korozją



Rys. 1.
Schemat węzła cieplnego po stronie sieciowej dla szpitala
Fig. 1. Diagram of a heat node on the network side for the hospital



Rys. 2. Schemat węzła cieplnego po stronie sieciowej dla przychodni
Fig. 2. Diagram of a heat node on the network side for the clinic

Do określenia strat ciepła w cyrkulacji z uwagi na zainstalowany jeden ciepłomierz główny w węźle ciepłowniczym wyznaczono okres letni i na jego podstawie dokonano dalszej analizy. Wyznaczone przedziały czasowe trwania okresu letniego dla przychodni i szpitala podano w tabeli 2. Jest to okres, w którym ciepło dostarczane jest tylko na potrzeby ciepłej wody bez ogrzewania. Moce wymiennika wyznaczono przy pomocy równania (1).

Tabela 2. Przedziały czasowe okresów letnich dla szpitala i przychodni
Table 2. Summer periods for the hospital and the clinic

Obiekt	Szpital	Przychodnia
Początek sezonu letniego	3.05.2018 r.	21.04.2018 r.
Koniec sezonu letniego	30.09.2018 r.	27.09.2018 r.

$$Q_{CWUs} = \dot{V} \cdot \rho \cdot \frac{1}{3600} \cdot C_p \cdot (t_z - t_p) \quad [\text{W}] \quad (1)$$

Zapotrzebowanie na c.w. w ciągu nocy było znacznie niższe, gdyż pobór wody był znikomy, a ciepło wykorzystywane było tylko do celów cyrkulacji ciepłej wody. Na tej podstawie wstępnie oszacowano uśrednione moce cieplne dla obiektów na cele cyrkulacji dla całego okresu letniego na następującym poziomie:

- szpital – 30 kW,
- przychodnia – 7,7 kW.

Udziały cyrkulacyjnych strat ciepła dla rozważanych budynków określone zostały przy pomocy wzorów (2) do (8).

$$Q_{cyrk\,sr} = \frac{\sum Q_{cyrk}}{n} \quad [\text{kW}] \quad (2)$$

$$Q_{cwu\,sr} = \frac{\sum Q_{cwu}}{x - n} \quad [\text{kW}] \quad (3)$$

$$Q_{cwu\,sr}^d = \frac{\sum Q_{cyrk} + \sum Q_{cwu}}{24} \quad [\text{kW}] \quad (4)$$

$$E_{cyrk}^d = x \cdot Q_{cyrk\,sr} \quad [\text{kWh}] \quad (5)$$

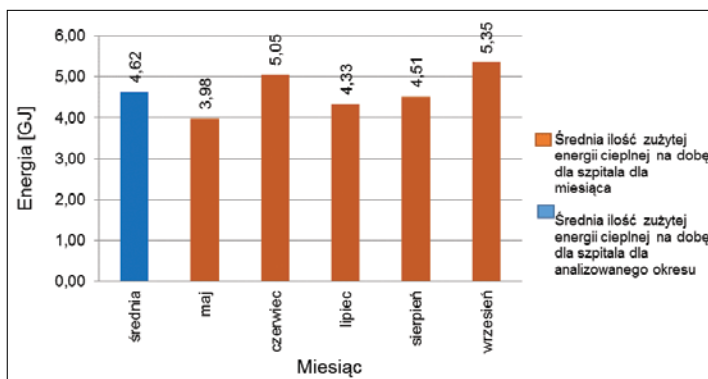
$$E_{cwu}^d = x \cdot Q_{cwu\,sr}^d - E_{cyrk}^d \quad [\text{kWh}] \quad (6)$$

$$U_{cwu} = \frac{E_{cwu}^d}{x \cdot Q_{cwu\,sr}^d} \cdot 100 [\%] \quad (7)$$

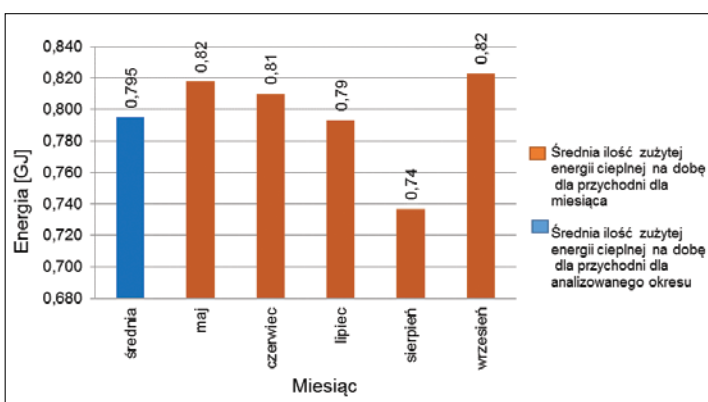
$$U_{cyrk} = \frac{E_{cyrk}^d}{x \cdot Q_{cyrk\,sr}^d} \cdot 100 [\%] \quad (8)$$

Na podstawie wartości udziałów strat ciepła na cyrkulację ciepłej wody oraz udziałów zużycia ciepła do przygotowania ciepłej wody dokonano wyliczeń, przedstawiając zużycie ciepła w odniesieniu do poszczególnych dni, miesięcy, całego sezonu letniego, a także w odniesieniu do powierzchni oraz w przeliczeniu na liczbę osób korzystających z usług medycznych. Dodatkowo dla obiektu przychodni oraz szpitala udziały mocy analizowano w zależności od dnia tygodnia, z podziałem na dni robocze oraz soboty i niedziele.

Rys. 3. Średnie dzienne zużycie ciepła na cele ciepłej wody dla szpitala dla poszczególnych miesięcy
Fig. 3. Average daily heat consumption for domestic hot water purposes for the hospital for individual months



Rys. 4. Średnie dzienne zużycie ciepła na cele ciepłej wody dla przychodni dla poszczególnych miesięcy
Fig. 4. Average daily heat consumption for domestic hot water purposes for the clinic for individual months



Analiza zużycia ciepła dostarczonego do budynków

- Średnie dzienne zużycie ciepła na cele ciepłej wody dla szpitala dla poszczególnych miesięcy

Analizy zużycia ciepła przeznaczonego na cele ciepłej wody dokonano na podstawie zużycia ciepła w różnym czasie, a także w przeliczeniu na powierzchnię danego budynku oraz liczbę osób mogących skorzystać z usługi medycznej.

Wartości średniego miesięcznego zużycia ciepła na cele ciepłej wody dla szpitala przedstawiono na rys. 3. Średnio największe wartości zużycia energii w stosunku do całego analizowanego okresu (4,62 GJ/d) odnotowano we wrześniu (5,35 GJ/d). Prawdopodobnym jest, iż jest to konsekwencją niższych temperatur zewnętrznych. Miesiącem o najmniejszym średnim dziennym zużyciu energii jest maj (3,98 GJ/d).

Spadki zużycia ciepłej wody występują głównie w dni świąteczne i niedziele. Świadczyć o tym może chociażby spadek zużycia ciepłej wody z dnia 31.05.2018 roku, w który przypadało święto kościelne (Boże Ciało), a także spadek z dnia 3.05.2018 roku, spowodowany przerwą majową. Widoczne są również nagłe wzrosty zużycia ciepłej wody w takich dniach, jak: 25.09.2018, 2.07.2018, a także 25.06.2018. Są to dni robocze, przez co nie można założyć żadnej powtarzalności.

Wartości średniego miesięcznego zużycia ciepła na cele ciepłej wody dla przychodni przedstawiono na rys. 4. Średnio największe wartości zużycia energii w stosunku do całego analizowanego okresu (0,795 GJ/d) odnotowano we wrześniu i w maju (0,82 GJ/d), natomiast miesiącem o najmniejszym średnim dziennym zużyciu energii był sierpień (0,74 GJ/d).

- Zużycie ciepła na cele ciepłej wody dla szpitala i przychodni dla każdego miesiąca i dnia analizowanego okresu w przeliczeniu na powierzchnię obiektu oraz liczbę łóżek

Zużycie ciepła na cele ciepłej wody dla szpitala i przychodni dla każdego miesiąca analizowanego okresu w przeliczeniu na powierzchnię obiektu oraz liczbę łóżek czy pacjentów przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Średnie dzienne dla miesiąca zużycie ciepła na cele ciepłej wody dla szpitala i przychodni w przeliczeniu na powierzchnię obiektu oraz liczbę łóżek / pacjentów
Table 3. Average daily consumption of heat for the purposes of domestic hot water for the hospital and the clinic per month, per facility area and the number of beds / patients

The time per month per facility area and the number of beds / patients				
Miesiąc	Szpital		Przychodnia	
	Zużycie ciepła na cele ciepłej wody w przeliczeniu na:			
	Powierzchnię [GJ/(d · m ²)]	1 łóżko [GJ/(d · 1 łóżko)]	Powierzchnię [GJ/(d · m ²)]	1 pacjenta [GJ/(d · 1 pacjenta)]
Średnia	0,00031	0,0274	0,00056	0,0258
Maj	0,00025	0,0221	0,00058	0,0267
Czerwiec	0,00034	0,0305	0,00059	0,0270
Lipiec	0,00029	0,0257	0,00056	0,0259
Sierpień	0,00031	0,0276	0,00052	0,0240
Wrzesień	0,00035	0,0310	0,00055	0,0254

Uśredniona wartość zużycia ciepła na cele ciepłej wody w przeliczeniu na m² dla przychodni jest znacznie wyższa niż dla szpitala. Można na tej podstawie wnioskować, iż instalacja ciepłej wody w przychodni jest dużo bardziej zagęszczona lub przewody z ciepłą wodą są lepiej zaizolowane. Może to być również spowodowane różnicami w ustawionych trybach pracy pompy cyrkulacyjnej i odchyłu od zadanych temperatur.

Do rozważań zużycia ciepła przeznaczonego na przygotowanie ciepłej wody w przeliczeniu na jedno łóżko bądź pacjenta, oszacowano, że przychodnia przystosowana jest do obsługi 30 pacjentów. Na tej podstawie stwierdzić można, że zużycie ciepła jest na podobnym poziomie z niewielką przewagą zużycia ciepła w szpitalu. Wynikać to może z faktu, iż w szpitalu pobór ciepłej wody przeznaczony jest dodatkowo na kąpiele pacjentów, obsługę kuchni szpitalnej, a także na cele użytkowe bardziej licznej obsługi medycznej.

Średnia dzienna wartość zużycia ciepła, dla całego analizowanego okresu, dla

Tabela 4. Porównanie rzeczywistej oraz projektowej nominalnej mocy wymiennika ciepłej wody
Table 4. Comparison of the actual and design nominal power of the domestic hot water exchanger

Budynek	Projektowa maksymalna moc cieplna wymiennika [kW]	Rzeczywista maksymalna moc cieplna wymiennika [kW]	Rzeczywista średnia moc cieplna wymiennika [kW]	Rzeczywista średnia dzienna minimalna moc cieplna wymiennika [kW]
Szpital	170	231,18	54,24	27,01
Przychodnia	80	27,71	9,29	1,82

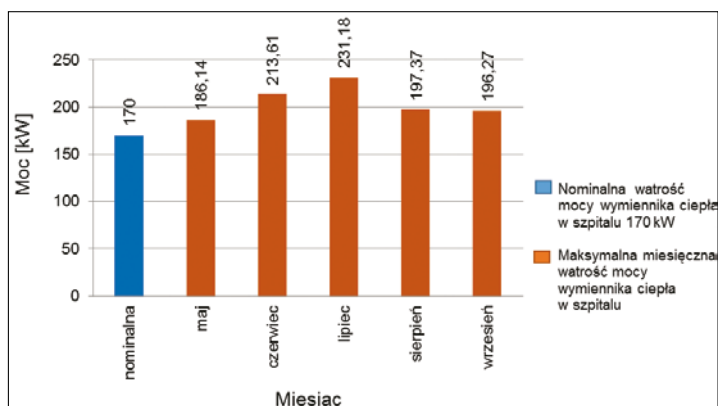
szpitala wyniosła 0,0274 [GJ/(d · 1 łóżko)], natomiast dla przychodni 0,0258 [GJ/(d · 1 pacjenta)]. Wartości te w niewielkim stopniu przewyższają wartości podawane przez [16], oszacowane na poziomie od 0,015 do 0,025 [GJ/(d · 1 łóżko)] dla obiektów medycznych zlokalizowanych w Europie. Odstępstwo od danych literaturowych może być konsekwencją stosowania technologii medycznych wymagających większej ilości ciepłej wody.

Porównanie projektowej i rzeczywistej mocy cieplnej wymienników ciepłej wody

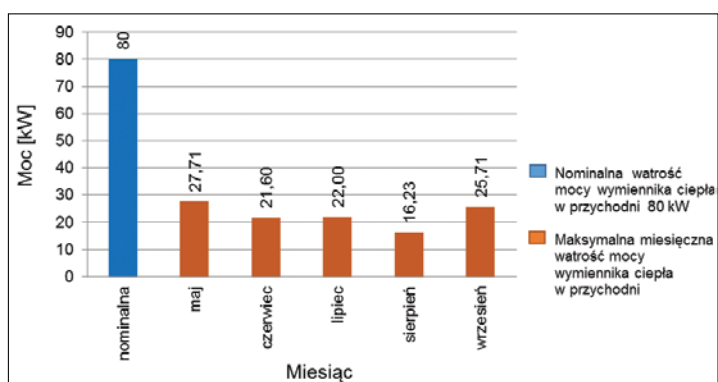
Moce tak odległe od średniej rzeczywistej mocy wymiennika mogą być efektem przeprowadzania dezynfekcji termicznej instalacji ciepłej wody lub też prac szpitalnych wymagających dużej ilości ciepłej wody. Wnioskować to można na podstawie, iż są to rzadkie, lecz stosunkowo cykliczne skoki mocy, z reguły znacząco odbiegające od mocy wymiennika z pozostałej części doby. W tabeli 4 porównano rzeczywistą i projektową moc wymiennika c.w.

Na rys. 5 przedstawiono chwilowe maksymalne wartości mocy wymiennika ciepła w poszczególnych miesiącach dla szpitala. Przez 60% analizowanego okresu moc rzeczywista nie przekracza średniej mocy wymiennika, a moc powyżej 15 kW stanowi zaledwie 10 % analizowanego okresu. Takie przewymiarowanie ma na celu zapewnienie ciągłości dostawy i stałości parametrów wody. Wymiennik, pracując na tak niskich mocach w stosunku do

Rys. 5. Chwilowe maksymalne wartości mocy wymiennika ciepła w poszczególnych miesiącach dla szpitala
Fig. 5. Instantaneous maximum heat exchanger power values in individual months for the hospital



Rys. 6. Chwilowe maksymalne wartości mocy wymiennika ciepła w poszczególnych miesiącach dla przychodni
Fig. 6. Instantaneous maximum heat exchanger power values in individual months for the clinic



mocy nominalnej, osiąga jednak mniejsze sprawności wymiany ciepła.

Na rys. 6 przedstawiono chwilowe maksymalne wartości mocy wymiennika ciepła w poszczególnych miesiącach dla przychodni. Uzasadnieniem dla tak przewymiarowanego wymiennika może być zamysł rozbudowy obiektu, bądź też koncepcja przeprowadzania zabiegów medycznych z wykorzystaniem znacznej ilości ciepłej wody.

Analiza strat ciepła w przewodach cyrkulacyjnych

Analiza strat ciepła w przewodach cyrkulacyjnych przedstawiona została dla różnych okresów, a także w zależności od dnia tygodnia.

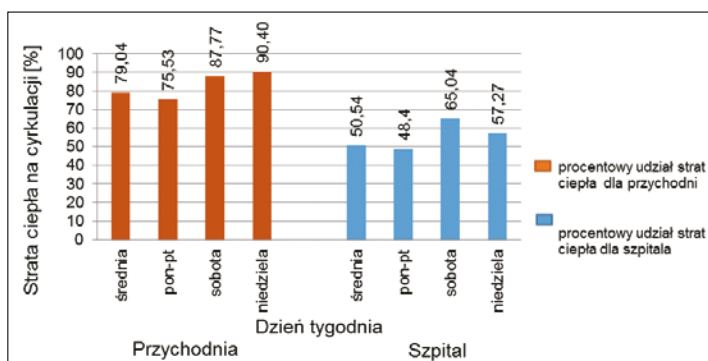
Średni miesięczny udział strat ciepła na cyrkulacji dla przychodni wynosi 79,04%, natomiast dla szpitala 50,54%. Zarówno dla przychodni, jak i szpitala miesiącami o najmniejszym udziale strat cyrkulacyjnych były miesiące: czerwiec oraz wrzesień. Wartości udziałów dla przychodni dla tych miesięcy wyniosły odpowiednio 77,15% oraz 77,16%, natomiast dla szpitala 40,95% oraz 47,55%. Największy udział strat dla przychodni odnotowano w sierpniu (86,44%), natomiast dla szpitala miesiącem tym był maj (54,74%). Na rys. 7 przedstawiono wartości cyrkulacyjnych strat ciepła w zestawieniu miesięcznym. Na rys. 8 przedstawiono

wartości udziału ciepła przeznaczonego na przygotowanie ciepłej wody.

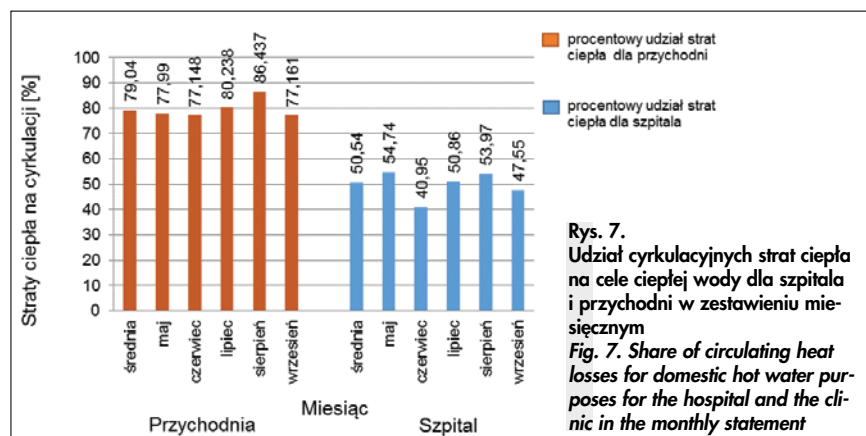
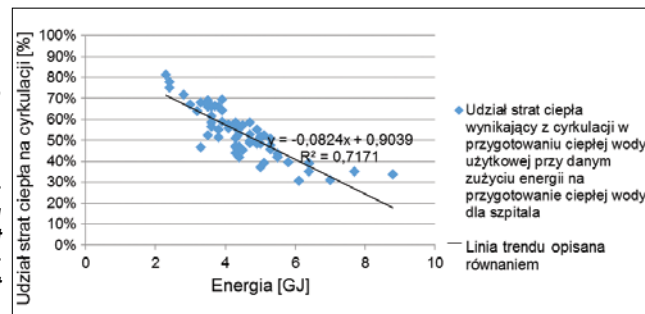
Na rys. 9 zestawiono średnie udziały mocy przeznaczonej na cyrkulację w zależności od dnia tygodnia. Największe straty występują w niedzielę na poziomie 90,40%. Wynika to z faktu, że przychodnia w te dni nie obsługuje pacjentów, tak więc pobór ograniczony jest w dużej mierze do podtrzymania pracy instalacji. W soboty natomiast uśredniona wartość

strat ciepła wyniosła 87,77%, co uzasadnić można skróconym czasem pracy przychodni. Natomiast w dni robocze od poniedziałku do piątku uśredniona wartość udziału cyrkulacji wynosiła 75,53%. Jest to stosunkowo duża wartość mocy wykorzystanej w sposób nieefektywny. Wynika to ze specyfiki obiektu. Zużycie ciepłej wody w takich obiektach ogranicza się z reguły do umycia rąk czy też kwestii higienicznych związanych z małymi dziećmi. Po-

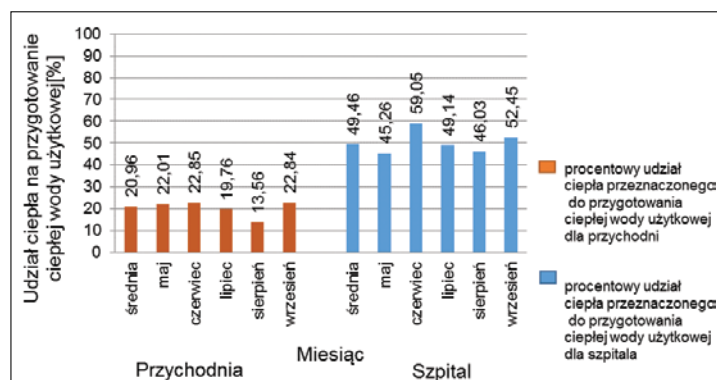
Rys. 9. Udział strat ciepła na cyrkulacji w poszczególnych dniach tygodnia
Fig. 9. Share of heat losses in circulation on individual days of the week



Rys. 10. Dobowy udział strat cyrkulacyjnych w zależności od ilości zużytego ciepła do przygotowania ciepłej wody użytkowej dla szpitala
Fig. 10. Daily share of circulation losses depending on the amount of heat consumed for the preparation of domestic hot water for the hospital



Rys. 7. Udział cyrkulacyjnych strat ciepła na cele ciepłej wody dla szpitala i przychodni w zestawieniu miesięcznym
Fig. 7. Share of circulating heat losses for domestic hot water purposes for the hospital and the clinic in the monthly statement



Rys. 8. Miesięczne udziały ciepła na przygotowanie ciepłej wody
Fig. 8. Monthly shares of heat for the preparation of domestic hot water

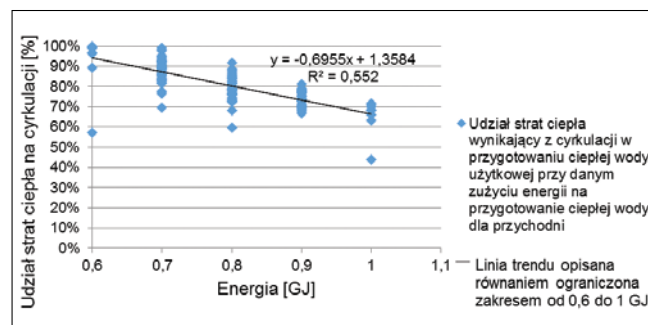
nieważ przychodnia charakteryzuje się niewielkimi poborami ciepłej wody, wahań strat ciepła są również niewielkie.

Dla szpitala największe straty występują w sobotę na poziomie 65,04%. Tak duża wartość, przy stosunkowo dużym poborze wody, zwłaszcza w godzinach porannych jest konsekwencją korzystania z ciepłej wody przez krótki okres. W godzinach popołudniowych pobór ten znacząco maleje. W niedzielę strata ciepła również znajduje się na wysokim poziomie i wynosi 57,27%. W dni od poniedziałku do piątku strata wyniosła 48,4% i może być to konsekwencją bardziej zróżnicowanego i rozłożonego w czasie poboru wody.

Dobowy udział strat cyrkulacyjnych w zależności od ilości zużytego ciepła do przygotowania ciepłej wody dla szpitala opisuje równanie prostej linii trendu oraz współczynnik determinacji R^2 , który pokazany został na rys. 10.

Dla szpitala zależność strat ciepła od ilości ciepła do przygotowania ciepłej wody opisuje równanie $y = -0,0824x + 0,9039$, a wartość współczynnika determinacji R^2 wynosi 0,7171.

Udział cyrkulacyjnych strat ciepła w przygotowaniu ciepłej wody w stosunku do zużycia energii na przygotowanie ciepłej wody dla przychodni opisuje równanie prostej trendu oraz współczynnik determinacji R^2 . Przedstawiony został on na rys. 11.



Dla przychodni zależność strat ciepła od ilości ciepła do przygotowania ciepłej wody opisuje równanie $y = -0,6955x + 1,3584$, a wartość współczynnika determinacji R^2 równa jest 0,552.

Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzono analizę wielkości strat ciepła w przewodach cyrkulacyjnych instalacji ciepłej wody dla szpitala oraz dla przychodni podstawowej opieki zdrowotnej. Analizie poddane zostały nie tylko straty ciepła wynikające z cyrkulacji wody, lecz także rzeczywista moc wymiennika ciepła oraz wielkość zapotrzebowania na ciepło na cele przygotowania ciepłej wody.

Średnia rzeczywista moc wymiennika na cele ciepłej wody dla szpitala znacząco odbiega od mocy nominalnej zainstalowanego wymiennika wynoszącej 170 kW i wynosi 54,24 kW. Z kolei dla budynku przychodni nominalna moc projektowa wymiennika ciepła na cele ciepłej wody wynosi 80 kW, a jego średnia moc w warunkach rzeczywistych wynosi 9,29 kW.

Średni procentowy udział strat ciepła w stosunku do mocy całkowitej wymiennika ciepła na cele ciepłej wody dla szpitala wynosi 50,54%, natomiast dla przychodni jest to wartość 79,04%.

Dla rozpatrywanych budynków dokonana została także analiza udziałów strat cyrkulacyjnych z podziałem na poszczególne dni. Dla szpitala w dni robocze obliczono 48,40% udziału strat cyrkulacyjnych, dla sobót 65,04% natomiast dla niedziel 57,27%. W przychodni dla dni od

poniedziałku do piątku średni udział procentowy strat ciepła wyniósł 75,53%, dla sobót 87,77%, natomiast dla niedziel średni udział procentowy wyniósł 90,40%.

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń wynika, że cyrkulacyjne straty ciepła są relatywnie wysokie. W dużej mierze są one uzależnione od ilości zużywanej wody. Zależność ta jest odwrotnie proporcjonalna. Wobec tego zasadne jest zastosowanie działań zwiększających sprawność instalacji wody ciepłej i cyrkulacji.

W budynku szpitala występuje duży i mało stabilny profil poborów ciepłej wody. Odnotowano znaczne dobowe różnice w zapotrzebowaniu na energię do celów przygotowania ciepłej wody. Zapotrzebowanie to w niedziele i dni świąteczne jest znacznie niższe niż w pozostałe dni tygodnia. Natomiast dla przychodni stwierdzić można nieduże dobowe zapotrzebowanie ciepłej wody.

Praca sfinansowana z Funduszu Ogólnego o numerze FD-20/IS-6/999.

LITERATURA

- [1] Ibrahim O., Fardoun F., Younes R., Louahlia-Gualous H., 2014, Review of water-heating systems: General selection approach based on energy and environmental aspects, *Building and Environment*, vol. 72, s. 259-286
- [2] Świętecki M., Maleszyk P., 2022, LPEC S.A. wdraża koncepcję inteligentnej sieci ciepłowej

- [3] Sekret R., 2021, Problematyka obniżania temperatury nośnika ciepła w sieci ciepłowniczej, *Instal*, 2 (426), s. 13-17
- [4] Soletti G., Zimmerman N., Morini M., Kyriacou K., Gambarotta A., 2022, A control-oriented scalable model for demand side management in district heating aggregated communities, *Applied Thermal Engineering*, vol. 201, 117681
- [5] Averfalk H., Möllerström E., Ottermo F., 2021, Domestic hot water design and flow measurements, *Energy Reports*, vol. 7, s. 304-310
- [6] Buffa S., Cozzini M., D'antoni M., Baratieri M., Fedrizzi M., 2019, 5th generation district heating and cooling systems: A review of existing cases in Europe, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 104, s. 504-522
- [7] Bergstraesser W., Hinz A., Braas H., Orozaliyev J., Vajen K., 2021, Lessons learned from excess flow analyses for various district heating systems, *Smart Energy*, vol. 1, 100005
- [8] Cholewa T., Siuta-Olcha A., Anasiewicz R., 2019, On the possibilities to increase energy efficiency of domestic hot water preparation systems in existing buildings – Long term field research, *Journal of Cleaner Production*, vol. 217, s. 194-203
- [9] Bugata A., Grzywacz M., 2022, Straty ciepła w obiegu cyrkulacyjnym instalacji ciepłej wody użytkowej, *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja*, 6 (53), s. 18-22
- [10] Szaflik W., *Projektowanie instalacji ciepłej wody w budynkach mieszkalnych*, Ośrodek Informacji „Technika instalacyjna w budownictwie”, Warszawa 2011
- [11] Romanowski R., 2022, Węzły grupowe w systemach ciepłowniczych, *Instal*, 4 (439), s. 17-18
- [12] Żarski K., 2021, Symulacja stanów eksploatacyjnych węzła cieplnego w budynku o niskim zużyciu energii do ogrzewania, *Instal*, 9 (432), s. 12-16
- [13] Lidberg T., Olofsson T., Ödlund L., 2019, Impact of Domestic Hot Water Systems on District Heating Temperatures, *Energies*, 12, 4694; doi:10.3390/en12244694
- [14] Klimczak, M., Bartnicki, G., Ziembicki, P., 2022, Energy Consumption by DHW System with a Circulation Loop as an Energy Efficiency Component, Based on an Example of a Residential Building, *Energies*, 15, 3952. <https://doi.org/10.3390/en15113952>
- [15] Gryczan R., 2020, Określenie strat ciepła związanych z cyrkulacją ciepłej wody użytkowej w budynkach szpitali oraz zakładów opieki medycznej. Praca dyplomowa magisterska wykonana pod kierunkiem Siuta-Olcha A., Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Lubelska
- [16] Bujak J., 2010, Heat consumption for preparing domestic hot water in hospitals, *Energy and Buildings*, vol. 42, s. 1047-1055