

Wpływ ulepszeń systemów c.w. na całkowite zużycie ciepła i obniżenie kosztów

The impact of improvements to domestic hot water systems on overall heat consumption and cost reductions

GRZEGORZ BARTNICKI, BOGDAN NOWAK, MARCIN KLIMCZAK

DOI 10.36119/15.2025.3.2

W artykule przedstawiono wyniki analiz trzech instalacji c.w., które charakteryzuje różny stan techniczny i wyposażenie oraz problemy eksploatacyjne. Problemy te skłoniły do wykonania pomiarów i przeprowadzenia analizy efektywności energetycznej instalacji przy wykorzystaniu do jej oceny współczynnika nakładu ciepła HIF [2]. Uzyskane wyniki porównano z wartością teoretycznie obliczoną dla instalacji c.w. o podobnej wielkości i wyposażeniu. Ponadto pomiary w kompleksie budynków N (2 budynki) potwierdziły brak zapewnienia wymaganej temperatury c.w. Przede wszystkim jednak problemem tej instalacji jest bardzo duża wartość współczynnika HIF (0,42-0,48 GJ/m³), wskazująca na nieodpowiednią (niską) efektywność energetyczną. Pomimo rozbudowanej geometrii instalacji (3 budynki) i tylko nieznacznie mniejszej liczby mieszkań w kompleksie budynków A, wyznaczony na podstawie pomiarów współczynnik HIF jest dużo mniejszy (0,28 GJ/m³). Ta instalacja wyposażona jest w termostatyczne zawory podpionowe. Ograniczają one czas pracy obiegów cyrkulacyjnych. Takie ulepszenie zmniejsza straty ciepła, co najmniej o 10%. W artykule zwrócono też uwagę na możliwość wykorzystywania współczynnika HIF do identyfikacji stanu awarii II typu (nadmierne zużycie ciepła), dużo trudniejszych do diagnozowania niż przerwanie dostawy ciepła lub c.w.

Słowa kluczowe: efektywność energetyczna, instalacja cyrkulacyjna, współczynnik nakładu ciepła, modelowanie zużycia energii

The article presents the results of analyses of three DHW installations, which differ in technical condition, equipment and operational problems. These problems prompted the performance of measurements and analysis of the installation energy efficiency using the heat input factor – HIF [2] for its assessment. The obtained results were compared with the value theoretically calculated for DHW installations of similar size and equipment. Moreover, measurements in the building complex N (2 buildings) confirmed the lack of ensuring the required DHW temperature. However, the problem of this installation is the very high value of the HIF factor (0.42-0.48 GJ/m³), indicating low energy efficiency. Despite the extensive geometry of the installation (3 buildings) and only slightly smaller number of apartments in the building complex A, the HIF factor determined on the basis of measurements is much lower (0.28 GJ/m³). This installation is equipped with thermostatic riser valves. They limit the operating time of the circulation. Such an improvement reduces heat losses by at least 10%. The article draws attention to the possibility of using the HIF factor to identify type II failure conditions (excessive heat consumption), which are much more difficult to diagnose than an interruption in the supply of heat or domestic hot water.

Keywords: energy efficiency, circulation installation, Heat Input Factor, energy consumption modeling

Wstęp

Instalacja ciepłej wody wraz z układem jej przygotowania (tworzące razem system c.w.) ma za zadanie zapewnienie odpowiedniej ilości ciepłej wody, o wymaganej jakości (w tym temperaturze i ciśnieniu), w miejscach jej poboru (punktach czerpalnych). W literaturze krajowej i zagranicznej opisane zostały różne zasady, które powinny zapewnić bezpieczne i skuteczne użytkowanie takich instalacji. W [9] autorzy re-

komendują za wytycznymi brytyjskimi, aby temperatura wody za podgrzewaczem utrzymywana była na poziomie 60°C. Woda w instalacji cyrkulacyjnej powinna natomiast mieć temperaturę 55°C. Temperatura 55°C powinna być też uzyskiwana w punktach poboru wody nie później niż 1-2 minuty po otwarciu punktu czerpalnego. Wg tych autorów należy unikać dłuższych okresów stagnacji wody w instalacji c.w. (nie precyzując jednak dopuszczalnego czasu przerwy cyrkulacji) oraz występowa-

nia fragmentów instalacji, w których w ogóle nie ma możliwości cyrkulacji wody. Autorzy [9], powołując się tym razem na francuskie wytyczne, sugerują utrzymywanie w instalacji minimalnej prędkości wody (cyrkulacja) nie mniejszej niż 0,2 m/s i nie większej niż 0,5 m/s. Prędkość wody cyrkulującej w instalacji powinna być przy tym tak dobrana, aby wychłodzenie wody nie było większe niż 5K [9]. W Finlandii [1] temperatura wody zasilającej instalację c.w. powinna wynosić nie mniej niż 55°C

dr inż. Grzegorz Bartnicki <https://orcid.org/0000-0002-4482-6950>; e-mail: grzegorz.bartnicki@pwr.edu.pl

dr inż. Bogdan Nowak <https://orcid.org/0000-0002-9764-5555>; e-mail: bogdan.nowak@pwr.edu.pl

dr inż. Marcin Klimczak <https://orcid.org/0000-0001-7498-1663>; e-mail: marcin.klimczak@pwr.edu.pl – Katedra Klimatyzacji, Ogrzewnictwa, Gazownictwa i Ochrony Powietrza, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Wrocławska

i nie więcej niż 65°C, a projektowa temperatura c.w. mieści się zazwyczaj w zakresie 55–60°C. Autor [7] zwraca uwagę, że kluczem do prawidłowego zaprojektowania systemu zaopatrzenia w c.w. jest dobra identyfikacja ilości, temperatury i charakterystyki czasowej zapotrzebowania na ciepłą wodę. Celem powinno być skrócenie czasu oczekiwania na ciepłą wodę w punktach jej poboru do 10 sekund lub mniej od momentu otwarcia armatury. Czas oczekiwania wynoszący od 11 do 30 sekund jeszcze jest uważany za akceptowalny (jako wartość graniczna), a 30 sekund lub więcej jest już niedopuszczalne. Zaleca się w tym podręczniku projektować temperaturę c.w. (za podgrzewaczem) równą 60°C (140°F), wychłodzenie c.w. do najdalszego punktu odbioru 5K (10°F), a od tego punktu do wymiennika ciepła (cyrkulacja) również ok. 5K (10°F) [7]. Wg pkt 9.31.6.1. Kodeksu Budowlanego Stanu Ontario (Kanada) w budynkach wielorodzinnych należy wykonać instalację zapewniającą każdej jednostce mieszkalnej odpowiednią ilość c.w. o temperaturze w zakresie od 45°C do 60°C. Elektryczne podgrzewacze pojemnościowe powinny mieć ustawioną temperaturę c.w. (magazynowania) co najmniej na 60°C [17]. Jest to przykład wytycznych dopuszczających możliwość niższej temperatury c.w. niż 55°C. Taki warunek był w Polsce dopuszczalny przed 2002 r., to jest do czasu wprowadzenia przepisów rozporządzenia [22]. Rekomendację obniżenia temperatury c.w. można również spotkać w przypadku niektórych zagranicznych wytycznych projektowania układów przygotowania c.w. z wykorzystaniem OZE [13].

Warto jeszcze zwrócić uwagę na decyzję ministerstwa właściwego ds. budownictwa Nowej Zelandii, które od 2 listopada 2024 r. dla nowo budowanych instalacji obniżyło maksymalną temperaturę c.w. w punktach jej poboru z 55°C na 50°C m.in. dla budynków mieszkalnych [19]. Dla szkół, szpitali i domów opieki wynosi ona nawet tylko 45°C. Decyzja ta ma jednak tutaj na celu zmniejszenie ryzyka poparzeń gorącą wodą, szczególnie dzieci. Kontakt wody o temperaturze 55°C przez 3,2 s. ze skórą dziecka może wywołać oparzenie 2-go stopnia, a przez 8 s. oparzenie 3-go stopnia. Dla wody o temperaturze 60°C czas ten skraca się odpowiednio do 0,7 i 1,5 s. Ryzyko oparzeń również występuje u osób dorosłych (jednak przy dłuższym czasie kontaktu skóry z gorącą wodą). Nie oznacza to jednak, że w wyniku tej decyzji ograniczono równocześnie termiczną ochronę instalacji przed rozwojem bakterii rodzaju Le-

gionella. W Nowej Zelandii wymaga się nadal, aby magazynowana w zasobnikach/podgrzewaczach c.w. miała temperaturę 60°C, a woda cyrkulacyjna powracająca do układu przygotowania c.w. temperaturę 55°C [19].

Polskie przepisy ustalają, że w budynkach (z wyjątkiem jednorodzinnych, zagrodowych i rekreacji indywidualnej) w instalacji c.w. powinien być zapewniony stały obieg wody, w tym na odcinkach przewodów o objętości wewnątrz przewodu powyżej 3 dm³ prowadzących do punktów czerpalnych [12, 22, 25]. Temperatura c.w. w punktach jej poboru nie powinna być natomiast niższa niż 55°C i nie wyższa niż 60°C.

Mając na uwadze ochronę instalacji przed rozwojem w niej bakterii z rodzaju Legionella i ogólne wytyczne Światowej Organizacji Zdrowia (WHO), wymagana w instalacji c.w. temperatura wody rekomendowana jest na poziomie 55–60°C (130–140°F), pomimo tego, że ze względu na koszty eksploatacji, efektywność energetyczną i możliwości wykorzystania OZE jako źródła ciepła, niższa temperatura c.w. jest technicznie bardziej korzystna.

Utrzymanie wymaganej temperatury c.w. w instalacji przed punktami jej poboru wiąże się z dużymi stratami ciepła. Można je obliczyć teoretycznie, np. wg zasad przytoczonych w [7, 15, 25, 29], w istniejących budynkach zmierzyć (gdy dysponujemy odpowiednimi układami pomiarowymi) lub oszacować. Wg rozporządzenia [23] średnia roczna sprawność przesyłu ciepła ze źródła ciepła do zaworów czerpalnych zależy od zaizolowania pionów instalacyjnych, rodzaju systemu przygotowania c.w. (obiegi cyrkulacyjne z ograniczeniem czasu pracy) oraz wielkości instalacji (mierzonej liczbą punktów czerpalnych). W przypadku centralnego przygotowania c.w. oraz ciągłej pracy instalacji cyrkulacyjnej i instalacji c.w. z zaizolowanymi pionami, średnia roczna sprawność przyjęta jest w [23] w zakresie 0,70–0,50, tym mniejsza im większa jest instalacja. W przypadku okresowego ograniczenia czasu pracy obiegów cyrkulacyjnych wartości są trochę większe i mieszczą się w zakresie 0,80–0,60. Ze względu na uproszczenia tej metodyki, jest to tylko przybliżone oszacowanie występujących w instalacji c.w. strat ciepła, które w rzeczywistości mogą być znacząco większe, szczególnie w przypadku źle działających instalacji lub nietypowych warunków użytkowania instalacji (np. okres zasiedlania budynku [25]). Badania przeprowadzone w 24 budynkach w Danii wykazały, że większość ciepła dostar-

zanego przez układ przygotowania c.w. jest tracona w wyniku cyrkulacji wody i strat ciepła rurociągów (rozpraszających i cyrkulacyjnych). Sprawność zbadanych instalacji wyniosła 0,30–0,77 (straty ciepła 70–23%) w budynkach mieszkalnych i tylko 0,11–0,46 w budynkach biurowych [8, 15]. Dla analizowanego w artykule [25] obiektu jego autorzy ustalili straty ciepła w kolejnych miesiącach działania instalacji w zakresie 99–36% (szczególnie wysokie w okresie początku użytkowania budynku, gdy tylko niewielka liczba mieszkańców korzystała z c.w., a równocześnie instalacja zapewniała pełną gotowość jej dostawy). Mając na uwadze skalę problemu, efektywność energetyczna instalacji c.w. i straty ciepła są coraz częściej przedmiotem badań i analiz (jako odrębne zagadnienie, jako element badań całej instalacji wodociągowej lub jednego z elementów systemu zaopatrzenia w ciepło budynków) [1, 2, 3, 5, 9, 11, 12, 14, 16, 18, 20, 26, 27, 30]. Temat ten będzie coraz bardziej istotny, gdyż udział ciepła wykorzystywanego przez układy przygotowania c.w. w bilansie energii wzrasta wraz z ograniczaniem zużycia ciepła na ogrzewanie i wentylację (w efekcie coraz lepszej ochrony cieplnej budynków). O ile trudno szukać oszczędności w samym zużyciu ciepłej wody (wynika ono z potrzeb sanitarno-higienicznych), to trzeba ograniczać straty ciepła wynikające z konieczności ciągłego utrzymywania odpowiednio wysokiej temperatury c.w. w instalacji lub rozważyć alternatywę (szczególnie dla nowych budynków) np. w postaci miejscowego przygotowania c.w. Dążenie do zmniejszenia zapotrzebowania na energię końcową ma wiele uzasadnień, nie tylko ekonomicznych. Konieczna jest coraz lepsza wiedza na temat możliwych do podjęcia działań, jak również o benchmarkach pozwalających ocenić, czy w danej instalacji występują nadmierne i nieuzasadnione straty ciepła [2]. Odrębnym kierunkiem badań i analiz są też koszty ciepła ponoszone przez zarządców i użytkowników budynków [3, 5] oraz ich podział pomiędzy użytkowników lokali (w przypadku budynków wielolokalowych) [5, 10, 25], jak i możliwość ich minimalizowania.

Straty ciepła w systemie w systemie c.w. zależą od wielu czynników, w tym technicznych i eksploatacyjnych. Są proporcjonalne do długości rurociągów rozdzielczych i cyrkulacyjnych, ich średnicy, różnicy temperatur wody i otoczenia rurociągu, zależą od liczby pionów, grubości izolacji cieplnej i jakości jej wykonania, skuteczności działania instalacji cyrkulacyjnej, wyposażenia w dodatkową armaturę, sposobu regulacji

systemu c.w., warunków użytkowania c.w. przez odbiorców itp. Autorzy [2] zaproponowali do monitorowania i oceny jakości systemów c.w. wykorzystanie współczynnika HIF (Heat Input Factor), analogicznego do wskaźnika FIF (Fuel Input Factor [6]), który wykorzystywany jest do oceny efektywności kotłowni i optymalizacji ich działania. Jest to współczynnik, który można wyznaczyć w oparciu o wyniki pomiarów (lub oszacować na bazie teoretycznych obliczeń wartości, dla których nie dysponuje się danymi pomiarowymi), pozwalający na ocenę wydatku/nakładu ciepła niezbędnego do wytworzenia jednostki ciepłej wody. Podobny wskaźnik, pod nazwą wskaźnik zużycia ciepła do przygotowania 1 m³ ciepłej wody w_{cw} opisany jest w [28, 29], jednak bez jego różnicowania z uwagi na czas, dla którego jest on obliczany.

Wartość diagnostyczna współczynnika HIF jest duża, zarówno dla diagnostyki konkretnego systemu c.w., jak i przy porównaniu systemów oraz dla oceny zasadności wielkości zużycia energii czy ponoszonych kosztów ciepła. Znaczenie takiego miernika wzrasta wraz z coraz większym stopniem skomplikowania systemu rozliczeń kosztów ciepła. Autorzy [25] słusznie zwrócili uwagę, że koszt jednostkowy przygotowania c.w. wyznaczany wyłącznie w oparciu o proste przeliczenie kosztu zakupu ciepła na ilość zużytej c.w. nie obciąża użytkowników nie korzystających z c.w. kosztami utrzymania instalacji w gotowości do dostarczania im c.w. o wymaganej temperaturze. Koszt jednostkowy przygotowania c.w., poza podziałem kosztu zakupu ciepła lub zakupu paliwa gazowego pomiędzy użytkowników lokali w budynkach wielolokalowych, pełni również rolę diagnostyczną i porównawczą. Należy jednak mieć na uwadze, że przy źródłach ciepła dla budynków tego samego typu, o koszczie zakupu ciepła decydują różne taryfy (nawet w obrębie tego samego zarządcy nieruchomości – np. dużej spółdzielni mieszkaniowej) [3, 4], możliwość negocjowania warunków umowy na zakup paliwa gazowego [3], lokalne wykorzystanie energii z OZE (której udział w bilansie energii będzie wzrastał z uwagi na realizację Europejskiego Zielonego Ładu), a przede wszystkim to, że na wartość wskaźnika jednostkowego mogą mieć wpływ różne mechanizmy i procedury rozliczenia kosztów [3, 4, 25]. O ile może on więc służyć zarządcom nieruchomości do rozliczeń, to koszt jednostkowy raczej nie powinien być obecnie jedynym elementem diagnostycznym, a tym bardziej przestaje być przydatny do porównań w zakresie efektywności energetycznej systemów c.w.

Tę rolę może i powinien przejąć współczynnik nakładu ciepła HIF.

Mając na uwadze konieczność faktycznego ograniczania zużycia energii, niezbędna jest również zmiana sposobu definiowania awarii systemów zaopatrzenia w ciepło i c.w. Przerwanie dostawy ciepła czy c.w. (awaria I typu) zdarza się dość rzadko, ale jest łatwe do identyfikacji zarówno przez użytkowników instalacji jak i przez zarządcę budynku – na skutek łatwego do stwierdzenia braku gorącej wody. Coraz częściej taką awarię identyfikuje bezpośrednio operator źródła ciepła w oparciu o własny system monitoringu. Czas reakcji służb serwisowych jest krótki ze względu na łatwość komunikacji (narzędzia komunikacji – sygnał poprzez sieć GSM czy Internet), jak i konkretne warunki umów na serwisowanie. Tego typu awarie, choć mogą być dotkliwe i kłopotliwe dla użytkowników, to zazwyczaj jest dla nich dość łatwo zidentyfikować przyczyny i metodę ich usunięcia. Nie identyfikuje się natomiast awarii, których efektem jest nadmierne zużycie ciepła czy pogorszenie efektywności energetycznej (awaria II typu). W zasadzie są one niemożliwe do wykrycia przez użytkowników instalacji, ponoszących bezpośrednio koszty jej eksploatacji. Są one również bardzo trudne do szybkiego zdiagnozowania przez zarządcę nieruchomości, szczególnie gdy nie monitoruje i nie analizuje danych historycznych, poza składnikami kosztowymi. Utrzymywanie się zużycia ciepła i opłat na porównywalnym do historycznie obserwowanych poziomów nie musi wcale oznaczać, że system działa poprawnie, gdyż np. pogorszeniu efektywności energetycznej może towarzyszyć mniejsze zużycie ciepła przez lokale, prowadząc do tej samej wielkości zużycia energii pierwotnej. Współczynnik HIF staje się więc dobrym, chociaż nie jedynym narzędziem do wstępnej diagnostyki i analiz w kierunku identyfikacji awarii II typu (np. awaria podpionowych zaworów termostaticznych, rozregulowanie hydrauliczne cyrkulacji, niewłaściwe parametry pracy pompy cyrkulacyjnej itp.).

Charakterystyka badanych instalacji

Pomiary przeprowadzone zostały w 2024 r. w kompleksie trzech budynków wielorodzinnych zasilanych w ciepło z lokalnej kotłowni gazowej (**kompleks budynków A** [2]). Dwa budynki połączone są wspólną halą garażową przez którą, pod stropem, prowadzone są przewody instalacji. Do trzeciego budynku rurociągi instalacji (c.o., c.w. i cyrkulacji) ułożone są

w gruncie, w technologii rur preizolowanych. W kompleksie A znajduje się 129 mieszkań i kilka pomieszczeń techniczno-usługowych, w których też wykorzystywana jest c.w. Kotłownia gazowa dostarcza ciepło do ogrzewania pomieszczeń oraz ciepłą wodę (c.w.). Brak jest układu pomiarowego do mierzenia zużycia c.w. (ciepła) w poszczególnych budynkach. Jest natomiast zamontowany ciepłomierz (na obiegu czynnika grzewczego) do pomiaru ciepła dostarczanego do układu przygotowania c.w. Układ przygotowania c.w. składa się z dwóch pionowych podgrzewaczy pojemnościowych połączonych równolegle. W połowie 2024 r. nastąpiła wymiana podgrzewaczy na mniejsze, ale o większej powierzchni węzownicy. Do momentu tej modernizacji c.w. była przygotowywana i magazynowana w podgrzewaczach o pojemności 1000 dm³ i powierzchni węzownicy 4,5 m² każdy. Wymienione one zostały na dwa podgrzewacze, każdy o pojemności 750 dm³ i powierzchni węzownicy 7,00 m². Wpływ tej zmiany na wahania temperatury c.w. w instalacji opisany został w [2]. Instalacja c.w. wyposażona jest w podpionowe zawory termostaticzne, ustawione na temperaturę średnio ok. 50°C. Spadek temperatury wody przed zaworem poniżej nastawionej wartości powoduje jego otwarcie, przekroczenie wartości nastawy – zamknięcie (regulacja dwustawna). W przypadku zaworów termostaticznych podpionowych trzeba mieć na uwadze, aby temperatura c.w. za układem przygotowania c.w. była na tyle wysoka, żeby po wychłodzeniu się w przewodach rozprowadzających gwarantowała zamykanie się tych zaworów. W [2] autorzy zwrócili uwagę, że jeżeli jest otwarty więcej niż jeden zawór podpionowy, to woda cyrkulacyjna kieruje się przede wszystkim do obiegu pionów o najmniejszej oporności (piony zlokalizowane najbliżej źródła ciepła), ograniczając jednocześnie strumień cyrkulacyjny płynący przez pozostałe piony, do czasu zamknięcia się zaworów w pionach "uprzywilejowanych hydraulicznie". Na układ ciśnień w instalacji (i rozkład temperatury c.w.) mają też wpływ chwilowe przepływy c.w., wynikające z poboru wody przez użytkowników. Warunki przepływu c.w. w okresie jej zwiększonych rozbiórów są przy tym odmienne od pracy instalacji w okresie, gdy występuje tylko (lub dominuje) strumień wody cyrkulacyjnej (dużo mniejszy od przepływów obliczeniowych czy maksymalnych godzinowych).

W kompleksie budynków A ilość ciepła dostarczanego do układu przygotowania c.w. mierzona jest za pomocą licznika ciepła zamontowanego w kotłowni,

zużycie c.w. wodomierzem na przewodzie wody zimnej przed podgrzewaczami pojemnościowymi. Mierzona jest też temperatura c.w. (za podgrzewaczami c.w.) i temperatura wody zimnej.

Pomiary i badania efektywności energetycznej systemu c.w. wykonano również w drugim kompleksie budynków mieszkalnych (**kompleks budynków N**). Są to 2 budynki (5 kondygnacji mieszkalnych), w których jest sumarycznie 165 lokali mieszkalnych i jeden lokal usługowy. Źródłem c.w. jest jednofunkcyjna kotłownia gazowa (tylko na potrzeby systemu c.w.) o mocy 220 kW. W kotłowni zainstalowano 5 podgrzewaczy pojemnościowych o pojemności 1000 dm³ i powierzchni węzownicy 4,5 m² każdy (dla 80/60/10°C moc węzownicy 110 kW). Dwa podgrzewacze z pięciu zainstalowanych są obecnie odłączone. Rurociągi instalacji poprowadzone są pod stropem piwnic, a pomiędzy budynkami fragment instalacji c.w. i cyrkulacji poprowadzony został w gruncie (system preizolowany).

W kompleksie budynków N pomiar zużycia ciepłej wody jest realizowany za pomocą wodomierza na wodzie zimnej, przed układem przygotowania c.w. Źródło ciepła jest własnością przedsiębiorstwa ciepłowniczego, wodomierz jest obsługiwany i jest własnością spółdzielni mieszkaniowej. Zużycie ciepła jest ustalane na podstawie wskazań ciepłomierza zainstalowanego na dopływie czynnika grzewczego do baterii podgrzewaczy pojemnościowych. Odczyty urządzeń pomiarowych są wykonywane co miesiąc.

Przyczyną udostępnienia obiektu do badań są duże problemy eksploatacyjne w tej instalacji. W obrębie pionów brak jest jakiegokolwiek armatury (nawet odcinającej). Wyniki pomiaru temperatury c.w. i wody w instalacji cyrkulacyjnej przedstawiono na rys. 1. Temperatura c.w. nie osiągała wartości 50°C, a momentami obniżała się ona nawet poniżej 40°C (24.12.2024 r. w godzinach popołudniowych zaobserwowana temperatura wyniosła tylko ok. 35°C). Wyłłodzenie wody w instalacji rozprowadzającej i cyrkulacyjnej wynosi 1-3K. Jest to pomiar temperatury w ostatnim pionie instalacji, który tylko potwierdza brak skuteczności działania instalacji cyrkulacyjnej i problemy z działaniem całego systemu. Użytkownicy c.w. sygnalizują od dawna zarówno niską temperaturę c.w., jak też konieczność długiego oczekiwania na ciepłą wodę po otwarciu armatury czerpalnej. Pomiary dla tego budynku pochodzą z okresu 2019 – 2024 r.

Trzecia z badanych instalacji c.w. znajduje się w dużym budynku wielorodzinnym



Rys. 1

Temperatura c.w. i wody w instalacji cyrkulacji w jednym z pionów instalacji kompleksu budynków N
Fig. 1 The DHW temperature and the circulating water temperature in the on of the installation riser of the building complex N

z 107 mieszkaniami (**budynek S**) zasilanym w ciepło z dwufunkcyjnej dachowej kotłowni gazowej (2 kotły 225 kW każdy). C.w. przygotowywana jest w baterii trzech równoległe połączonych podgrzewaczy o pojemności 750 dm³ i mocy węzownicy 77 kW (80/60/10°C) każdy (układ przygotowania c.w. zaprojektowany przy założeniu 375 mieszkańców). Na pionach instalacji cyrkulacyjnej zamontowane są termostatyczne zawory cyrkulacyjne Danfoss MTCV (wersja podstawowa). Badania w tym budynku wykonano w okresie grudzień 2023 r. – styczeń 2024 r. Pomiar ilości wody odbywa się za pomocą wodomierza zainstalowanego na dopływie wody zimnej do układu przygotowania c.w. Ilość ciepła jest określana metodą różnicową, jako różnica między zużyciem mierzonym przez ciepłomierz główny, a zużyciem ciepła na centralne ogrzewanie mierzonym ciepłomierzem zainstalowanym na obiegu tej instalacji odbiorczej. Ciepłomierz główny jest zainstalowany za kotłami, na wejściu czynnika grzewczego do rozdzielacza instalacji odbiorczych.

Pomiary prowadzone były dla różnych okresów oraz w instalacjach o różnej geometrii i wyposażeniu. Dla porównania ich efektywności wykorzystano współczynnik nakładu ciepła HIF, opisany w [2].

Współczynnik nakładu ciepła HIF jest określony jako jednostkowa ilość ciepła (odniesiona do jednostki objętości c.w. pobranej z instalacji w przyjętym okresie) dostarczonego do układu przygotowania c.w. Można go opisać wzorem [2]:

$$HIF_i = \frac{E_i^{DHW}}{V_i} \quad (1)$$

gdzie:

HIF_i – współczynnik nakładu ciepła dla i -tej jednostki czasu (doba, tydzień, miesiąc, rok), GJ/m³
 E_i^{DHW} – ciepło dostarczone do układu przygotowania ciepłej wody w danej jednostce czasu, GJ
 V_i – zużycie ciepłej wody w danej jednostce czasu, m³

Wartość E_i^{DHW} najlepiej wyznaczać w trakcie eksploatacji systemu c.w. w oparciu o pomiar ciepła (ciepłomierz na obiegu czynnika grzewczego zasilającego wymienniki c.w. w kotłowni lokalnej, ciepłomierz w węźle cieplnym na wodzie sieciowej). Zużycie c.w. może być wyznaczone w oparciu o pomiary z wodomierzy mieszkaniowych (szczególnie w przypadku gdy wszystkie miejsca poboru wody są opomiarowane, a system odczytu pozwala na jego przeprowadzenie w krótkim czasie) lub o pomiar wodomierzem wody zimnej przed układem przygotowania c.w. Wartość współczynnika HIF obliczana cyklicznie pozwala zarządcy budynku na monitorowanie działania systemu c.w. Jest on także przydatny na poziomie użytkowym (operacyjny), np. do wykrycia awarii typu II.

Na potrzeby analiz (np. na etapie analizy projektowanej instalacji) można też zaproponować przekształcenie wzoru (1), z wykorzystaniem w nim zależności na ciepło niezbędne do przygotowania c.w. o temperaturze t_{cw} czerpanej w punktach jej poboru wg wzoru:

$$Q_{cw} = V_{cw} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (t_{cw} - t_{wz}) \quad (2)$$

gdzie:

Q_{cw} – ciepło potrzebne do przygotowania c.w., kJ

V_{cw} – objętość ciepłej wody użytkowej, m³

t_{cw} – temperatura c.w.u., °C
 t_{wz} – temperatura wody zimnej, °C
 ρ – gęstość wody, kg/m³
 c_p – ciepło właściwe wody, kJ/(kg K)
 wyodrębniając "nieodczyny" składnik bilansu ciepła, związany z podniesieniem temperatury wody (od zimnej do ciepłej) oraz komponent związany z dystrybucją c.w. i ogólnie funkcjonowaniem instalacji c.w. z centralnym przygotowaniem c.w.:

$$HIF_i = \frac{V_i \cdot \rho \cdot c_p \cdot (t_{cw} - t_{wz}) + E_i^{inst}}{V_i} = \rho \cdot c_p \cdot (t_{cw} - t_{wz}) + \frac{E_i^{inst}}{V} \quad (3)$$

gdzie:

E_i^{inst} – ciepło zużyte w procesie dystrybucji i cyrkulacji (straty ciepła), GJ

Idealny (doskonały energetycznie) system c.w. będzie mieć E_i^{inst} równe 0. Wówczas współczynnik nakładu ciepła dla takiego systemu obliczyć można ze wzoru:

$$HIF_d = \rho \cdot c_p \cdot (t_{cw} - t_{wz}) \quad (4)$$

Przy przyjęciu temperatury wody zimnej równą 10°C i temperatury c.w. równą 55°C (jako minimum wymagane w punkcie poboru c.w.), jego wartość liczbową ("stała") wynosi 0,187 GJ/m³.

Objętość pobranej z instalacji c.w. jest dość prosta do pomiaru (np. w oparciu o pomiar wodomierzem wody zimnej przed układem przygotowania c.w.). Bardziej złożonym zagadnieniem w typowych instalacjach są wartości temperatury. W przypadku braku układów pomiarowych, zazwyczaj przyjmuje się temperaturę wody zimnej w oparciu o wytyczne określone w normie PN-B-01706:1992 [21] lub wg założeń do obliczeń charakterystyki energetycznej budynków [23] (10°C). W rzeczywistości temperatura wody zimnej jest zazwyczaj wyższa. Wg Państwowej Inspekcji Sanitarnej należy utrzymywać temperaturę wody zimnej poniżej 20°C (a kategorycznie nie powinna przekraczać 25°C) z uwagi na zapobieżenie warunkom korzystnym dla rozwoju bakterii. Temperaturę c.w. można natomiast przyjąć np. wg nastawy układu regulacji wymiennika ciepła (55 lub 60°C). Trzeba jednak pamiętać, że nie będzie to temperatura c.w. w punktach jej poboru, gdyż pomiędzy układem przygotowania c.w. a punktami poboru następuje wychłodzenie c.w., którego wielkość zależy też od strumienia przepływu c.w. w tym fragmencie instalacji. Pomiaru na obiektach rzeczywistych wskazują na wahania temperatury c.w., szczególnie w przypadku

zastosowania podgrzewaczy pojemnościowych [2], które wynikają m.in. z opóźnień i histerezy układu regulacji, podmieszania wody cyrkulacyjnej oraz pojemności cieplnej wody magazynowanej w podgrzewaczu pojemnościowym.

W celu oszacowania wartości porównawczych (określających ilościowy wpływ wybranych ulepszeń systemu c.w. na całkowite zużycie ciepła) wyznaczono teoretyczne orientacyjne wartości HIF_{365} w oparciu o stałą HIF_d i podaną w [23] średnią roczną sprawność przesyłu ciepła, przy założeniu temperatury wody zimnej 10°C i 20°C. Tak obliczone wartości przedstawiono w tab. 1.

Tabela. 1 Teoretyczny roczny współczynnik nakładu ciepła HIF_{365} , przy założeniu temperatury wody zimnej 10°C i 20°C

Table 1. Theoretic annual Heat Input Factor HIF_{365} , assuming cold water temperature of 10°C and 20°C

Lp.	Rodzaj centralnego systemu c.w., z izolacją pionów i z izolacją przewodów rozprowadzających,	średnia roczna sprawność przesyłu ciepła od źródła ciepła do zaworów czerpialnych [23]	$HIF_{365/d(10^\circ C)}$ $t_{wz} = 10^\circ C$ GJ/m ³	$HIF_{365/d(20^\circ C)}$ $t_{wz} = 20^\circ C$ GJ/m ³
1	z obiegami cyrkulacyjnymi, liczba punktów poboru c.w. do 30	0,70	0,267	0,207
2	z obiegami cyrkulacyjnymi, liczba punktów poboru c.w. 30 do 100	0,60	0,311	0,242
3	z obiegami cyrkulacyjnymi, liczba punktów poboru c.w. powyżej 100	0,50	0,374	0,290
4	z obiegami cyrkulacyjnymi z ograniczeniem czasu pracy, liczba punktów poboru c.w. do 30	0,80	0,233	0,181
5	z obiegami cyrkulacyjnymi z ograniczeniem czasu pracy, liczba punktów poboru c.w. 30 do 100	0,70	0,267	0,207
6	z obiegami cyrkulacyjnymi z ograniczeniem czasu pracy, liczba punktów poboru c.w. powyżej 100	0,60	0,311	0,242

Stałą $HIF_{d(10^\circ C)}$ i wartości $HIF_{365/d(10^\circ C)}$ w tab. 1 można traktować jako poziom porównania (odniesienia) dla wartości rzeczywistych HIF wyznaczonych dla analizowanego systemu c.w. w oparciu o dane eksploatacyjne. Należy zaznaczyć, że $HIF_{d(10^\circ C)}$ nie wyznacza dolnej granicy zmienności, gdyż większa niż 10°C temperatura wody zimnej zmniejsza nakład ciepła. Często też, szczególnie w starych instalacjach (projektowanych przed wejściem w życie przepisów rozporządzenia [22] temperatura wody w układzie jej przygotowania ustawiana jest na wartość niższą niż 55-60°C.

Przy założeniu temperatury wody zimnej równej 20°C stała $HIF_{d(20^\circ C)}$ wynosi już "tylko" 0,145 GJ/m³. Zbyt małe wartości współczynnika nakładu ciepła mogą więc diagnozować awarię układów pomiarowych, ale również zagrożenie ryzykiem rozwoju bakterii Legionella w instalacji wody zimnej, ze względu na jej nadmierne podgrzewanie się w rurociągach instalacji prowadzonych w przestrzeniach o temperaturze powietrza wyższej niż 15-20°C (piwnice, węzeł cieplny, przestrzenie garażowe – latem, przestrzenie techniczne, w których prowadzone są również przewody instalacji c.o. itp.).

Aby zminimalizować wpływ innych strat ciepła lub zakłóceń, ciepłomierz do pomiaru ilości ciepła dostarczanego do układu przygotowania c.w. powinien być zainstalowany po stronie czynnika grzewczego, jak najbliżej wymiennika ciepła. W przypadku braku bezpośredniego pomiaru ciepła wykorzystywanego przez układ przygotowania c.w. (np. węzeł cieplny z głównym licznikiem ciepła i licznikiem ciepła na obiegu c.o.) technicznie możliwe i dopuszczalne jest też ustalenie ilości ciepła metodą różnicową:

$$E_i^{DHW} = E_i - \sum_{n=1}^m E_i^n \quad (5)$$

gdzie:

E_i^{DHW} – ciepło dostarczone do układu przygotowania c.w. w danej jednostce czasu, GJ

E_i – zużycie ciepła w źródle ciepła (kotłownia, węzeł ciepłowniczy) w danej jednostce czasu, GJ

E_i^n – zużycie ciepła w poszczególnych obiegach odbiorczych innych niż układ przygotowania c.w.u. w danej jednostce czasu, GJ

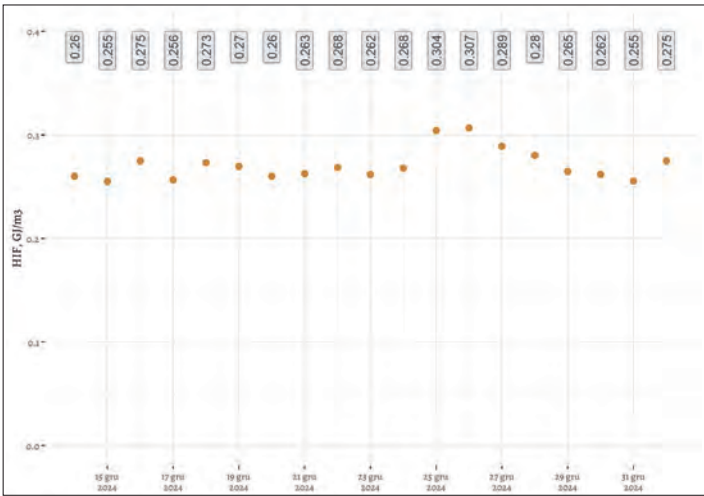
m – liczba obiegów zasilanych z rozpatrywanego źródła ciepła innych niż układ przygotowania c.w.

Zastrzec jednak należy, że wpływ sposobu ustalania ilości ciepła dostarczonego do układu c.w. może mieć wpływ na wynikową wartość HIF. Pomiar bezpośredni w oczywisty sposób wydaje się być najlepszy, jednak nie zawsze technicznie jest możliwy.

Wyniki pomiarów i ich analiza

Budynek S i kompleks budynków N

W okresie prowadzonych pomiarów instalacji c.w. dla budynku S wyznaczono wartości $HIF_{(doba)}$ dla kolejnych dni. Wyniki obliczeń przedstawione są na rys. 2. Poza okresem świątecznym (święta Bożego



Rys. 2
Wartości współ-
czynnika HIF^{doba}
dla budynku S
w okresie
14 grudnia 2024
– 1 stycznia
2025
Fig. 2 HIF_{day}
indicator values
for the building S
in the period
from
December 14,
2024 to
January 1, 2025

Narodzenia), wartości są mniejsze od 0,30 GJ/m³ i mieszczą się w zakresie od 0,255 do 0,290 GJ/m³. Chociaż są to dość duże wartości, to porównując je z wyliczoną wartością teoretyczną w tab. 1 (instalacja z izolacją pionów i przewodów rozprowadzających, z ograniczeniem czasu pracy cyrkulacji w efekcie działania podpionowych zaworów termostatycznych, przy liczbie punktów poboru c.w. powyżej 100, t_{wz} 10°C) równą 0,311 GJ/m³, można je uznać za dopuszczalne. Wg informacji uzyskanych od zarządcy budynku, poza awariami I typu, nie są sygnalizowane przez użytkowników zastrzeżenia do temperatury c.w., a układ regulacji kotłowni utrzymuje ją na poziomie 55°C. Konieczna jest jednak dalsza obserwacja tej instalacji i identyfikacja działań, które mogłyby bardziej ograniczać straty ciepła w układzie dystrybucji.

Dużo gorsza sytuacja jest w przypadku kompleksu budynków N. Wyznaczony na podstawie pomiarów współczynnik HIF (dla kolejnych miesięcy) zawiera się w przedziale od 0,350 do 0,600 GJ/m³ (rys. 3). Średnie roczne wartości wskaźnika wyraźnie przekraczają 0,4 GJ/m³ (tab. 2). Wyniki, porównując je z wyliczoną wartością teoretyczną podaną w tab. 1 dla instalacji z izolacją pionów i przewodów roz-

prowadzających, bez ograniczenia czasu pracy cyrkulacji, z liczbą punktów poboru c.w. powyżej 100 (w zależności od przyjętej temperatury wody zimnej 0,374 lub 0,290 GJ/m³) potwierdzają niską efektywność energetyczną tej instalacji. W obliczeniach teoretycznych średnia roczna wartość HIF została wyznaczona przy założeniu temperatury c.w. równej 55°C. W badanej instalacji temperatura c.w. jest jednak niższa (rys. 1), co mając na uwadze wzory (1) i (2) pogarsza jeszcze bardziej przeprowadzoną diagnozę.

Tabela. 2 Średnia roczna wartość współczynnika nakładu ciepła HIF dla kompleksu budynków N w okresie 2019-2024
Table. 2 HIF average annual values for the building complex N in the period 2019-2024

Rok	Średnioroczna wartość HIF GJ/m ³
2019	0.435
2020	0.442
2021	0.44
2022	0.461
2023	0.477
2024	0.423

Kompleks budynków A

Dla kompleksu A wartości współczynnika HIF wyznaczone dla kolejnych miesięcy roku 2024 w oparciu o wyniki po-

miarów instalacji przedstawiono w tab. 3. Zestawiono w niej również obliczone na podstawie zmierzonych średnich temperatur wody zimnej i ciepłej oraz ilości zużytej c.w. jednostkowe ciepło niezbędne do przygotowania 1 m³ c.w. Q_{cw}^{jedn} obliczone zgodnie ze wzorem (1), odniesione do ilości zużytej c.w. W kolejnej kolumnie podany jest współczynnik Ratio, liczony jako:

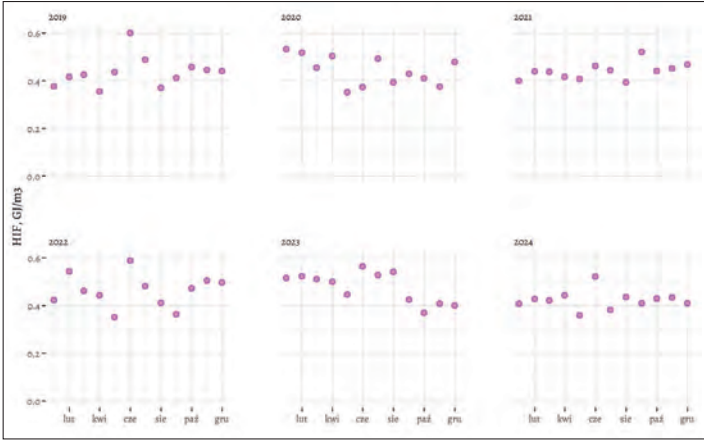
Ratio = $\frac{HIF}{Q_{cw}^{jedd}}$ (6)

Tabela. 3 Współczynnik nakładu ciepła (Heat Input Factor) HIF dla kompleksu budynków A
Table 3. Heat Input Factor (HIF) for the building complex A

jednostka czasu	HIF	Q _{cw} ^{jedd}	Ratio
	GJ/m ³	GJ/m ³	
2024 r. (365 dni)	0.283	0.153	1.860
styczeń	0.297	0.174	1.702
luty	0.286	0.169	1.692
marzec	0.274	0.159	1.722
kwiecień	0.275	0.144	1.901
maj	0.264	0.130	2.020
czerwiec	0.249	0.120	2.071
lipiec	0.256	0.118	2.147
sierpień	0.283	0.130	2.161
wrzesień	0.276	0.141	1.954
październik	0.306	0.167	1.827
listopad	0.317	0.184	1.716
grudzień	0.329	0.196	1.681

Dla systemu c.w. z izolacją pionów i przewodów rozprowadzających, z ograniczeniem czasu pracy cyrkulacji w efekcie działania podpionowych zaworów termostatycznych, przy liczbie punktów poboru c.w. powyżej 100, wg wartości podanych w tab. 1 (poz. 6), teoretycznie wyliczony średni roczny współczynnik HIF_{365/d(10°C)} wynosi 0,311 GJ/m³. Rzeczywisty, wyznaczony w oparciu o pomiary współczynnik nakładu ciepła jest mniejszy od tej wartości, z wyjątkiem listopada i grudnia, dla których został przekroczony. W październiku, listopadzie i grudniu wartości współczynnika wzrosły powyżej 0,300 GJ/m³, co można wiązać z wymianą podgrzewaczy pojemnościowych (przeprowadzoną w połowie 2024 r.) i korektą układu regulacji [2]. Większe wartości współczynnika są m.in. wynikiem zwiększenia temperatury c.w. po tej modernizacji, co również ma wpływ na wzrost wartości jednostkowego ciepła niezbędnego do przygotowania c.w. zestawionego w kolejnej kolumnie tab. 3. W efekcie wymiany podgrzewaczy uzyskano lepszą jakość wody dostarczanej do jej odbiorców (wyższa temperatura).

Warto zwrócić uwagę, że jednostkowe ciepło niezbędne do przygotowania



Rys. 3
Wartości współ-
czynnika HIF^{msc}
dla kompleksu
budynków N
w latach 2019 –
2024
Fig. 3 HIF_{month}
factor values for
the building
complex N in the
period 2019–
2024

c.w. Q_{cw}^{jedn} w okresie od kwietnia do września jest mniejsze od stałej $HIF_{d(20^{\circ}C)}$ ($0,145 \text{ GJ/m}^3$). Wynika to zarówno z wyższej od $10^{\circ}C$ temperatury wody zimnej, jak przede wszystkim z mniejszej wartości średniej temperatury c.w., niż przyjęta w obliczeniu tej stałej.

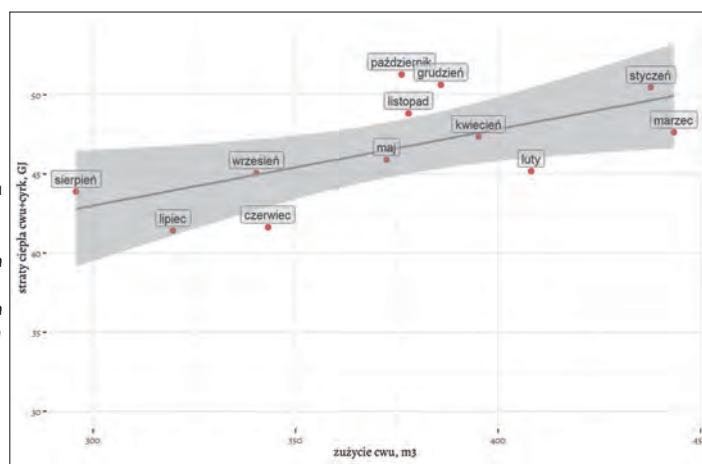
Mając na uwadze rozległość instalacji (3 budynki) i wielkość systemu (129 mieszkań) można uznać, że osiągane wartości współczynnika HIF są satysfakcjonujące, szczególnie gdy się je porówna z pomiarami instalacji wykonanymi w kompleksie budynków N. Są to jednak bardzo duże straty ciepła i zasadne jest dążenie w przyszłości do ich zmniejszenia (np. regulacja hydrauliczna instalacji cyrkulacyjnej, dobór nastawy temperatury c.w.). Mając na uwadze ustalenia opisane przez Autorów [25], ze względu na duży udział w bilansie ciepła strat ciepła w przewodach rozpraszających i cyrkulacyjnych, w systemie rozliczania za ciepło (podział kosztów zakupu paliwa gazowego) kompleksu budynków A należy też rozważyć zmianę regulaminu rozliczeń kosztów ciepła i wyodrębnienie opłaty zmiennej za ciepło w postaci zużytej c.w. oraz opłaty stałej (niezależnej od wielkości zużytej c.w.).

Dla zilustrowania istotności problemu zmienności strat ciepła w ciągu kolejnych miesięcy roku, dla kompleksu budynków A w oparciu o dane pomiarowe wyznaczono ciepło zużyte w procesie dystrybucji i cyrkulacji E_i^{inst} . Wynik tych obliczeń przedstawiono na rys. 4.

W obliczeniach i w literaturze dotyczącej działania instalacji cyrkulacyjnej przyjmuje się najczęściej założenie upraszczające o braku zależności strat ciepła dystrybucji c.w. i cyrkulacji od zużycia c.w. [7, 15, 25]. Dla kompleksu budynków A, w oparciu o uzyskane w trakcie badania instalacji pomiary, na rys. 5 przedstawiono graficznie zależność ciepła zużytego w procesie dystrybucji i cyrkulacji E_i^{inst} od zużycia c.w. Im większe jest zużycie wody, tym większe są też straty

Rys. 5
Zależność zużycia ciepła w procesie dystrybucji c.w. i cyrkulacji w kompleksie budynków A od wielkości zużycia c.w.

Fig. 5
The relationship between heat used for DHW distribution and circulation in the building complex A on the amount of DHW consumption



ciepła. Pewien wpływ ma również okres roku (miesiąc), co można wiązać z wpływem temperatury zewnętrznej np. na straty ciepła w przestrzeni garażowej (przez którą prowadzone są przewody instalacji) lub do gruntu (łącznik pomiędzy budynkami – przewody prowadzone są powyżej głębokości przemarzania). Punkty dla października, listopada i grudnia odstają od tego trendu, co można wytłumaczyć jako skutek wspomnianej już wcześniej modernizacji układu przygotowania c.w. Z uwagi na niewielką jeszcze liczbę danych pomiarowych po zmianie układu podgrzewaczy, problem ten będzie przedmiotem dalszych analiz i badań.

Symulacje identyfikacji stanów awarii II typu

Na podstawie zgromadzonych danych pomiarowych dla kompleksu budynków A przeprowadzono teoretyczną analizę wpływu zmian ilości ciepła zużytego w procesie dystrybucji i cyrkulacji E_i^{inst} na wartość HIF. Taka zmiana może być efektem awarii II typu, np. na skutek wadliwego działania podpiętych zaworów termostatycznych lub nieskutecznej regulacji hydraulicznej obiegów cyrkulacyjnych.

Z ilości ciepła dostarczonego do układu c.w. wyodrębniono ciepło zużyte

w procesie dystrybucji i cyrkulacji E_i^{inst} . Przeprowadzono następnie symulację zmniejszenia i zwiększenia tego składnika dla przyjętych stopni redukcji φ_{red} zgodnie z zależnościami:

- Ciepło przed redukcją:

$$E_{DHW} = V_i \cdot \rho \cdot c_p \cdot (t_{cw} - t_{wz}) + E_i^{inst} \quad (7)$$

- Ciepło po redukcji (po uwzględnienia stopnia redukcji φ_{red}):

$$E_{zred}^{DHW} = V_i \cdot \rho \cdot c_p \cdot (t_{cw} - t_{wz}) + \varphi_{red} \cdot E_i^{inst} \quad (8)$$

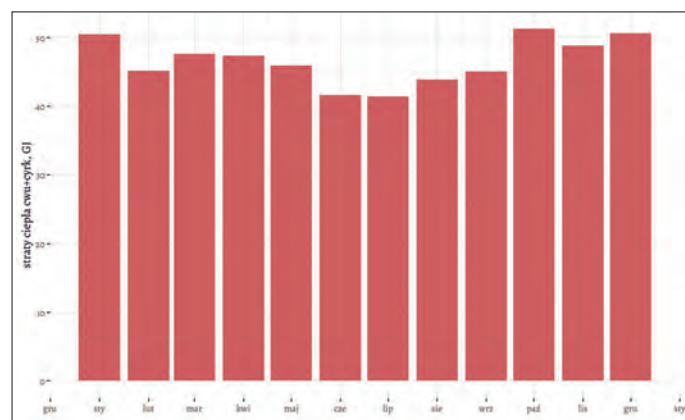
Wartości dodatnie redukcji wskazują na to, że ciepło zużyte w procesie dystrybucji i cyrkulacji E_i^{inst} jest mniejsze niż w wariancie bazowym (którym jest stan aktualny, z pomiarów). Wartości ujemne oznaczają, że zużycie ciepła w systemie wzrasta.

Mając na uwadze zmienność wartości współczynnika HIF w kolejnych miesiącach roku (tab. 3), na rys. 6 przedstawiono zmianę współczynnika HIF dla stopnia redukcji 0,7.

W tab. 4 przedstawiono natomiast wyniki symulacji wpływu zmiany strat ciepła i zmiany temperatury wody zimnej na wartość współczynnika HIF (wartość ujemna zmiany temp. wody zimnej przyjęta w tych obliczeniach oznacza większą ilość ciepła na przygotowanie c.w., niż w wariancie bazowym).

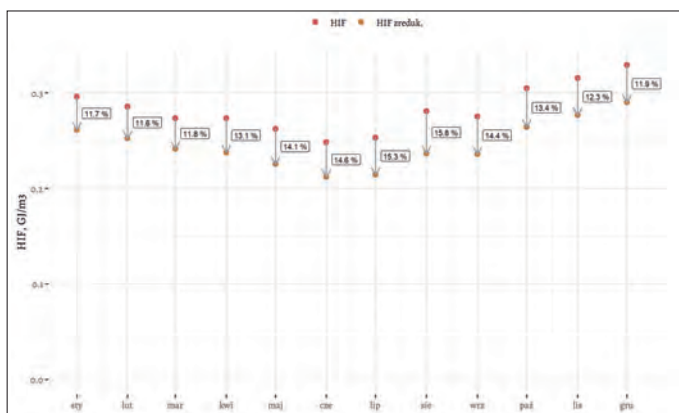
Wpływ zmiany temperatury wody zimnej na wartość HIF jest dość ograniczony. Jest to czynnik, na który zresztą operator instalacji nie ma wpływu.

Ta prosta symulacja miała na celu pokazanie wpływu lokalnych warunków działania danego systemu c.w. (głębokość ułożenia wodociągu, warunki prowadzenia instalacji wody zimnej w budynku, izolacja przewodów wody zimnej itp.) na mierzone w konkretnym systemie c.w. wartości współczynnika HIF i ich przedział zmienności, który należy brać pod uwagę,



Rys. 4
Ciepło zużyte w kolejnych miesiącach w kompleksie budynków A w procesie dystrybucji c.w. i cyrkulacji

Fig. 4
Heat used for DHW distribution and circulation in the building complex A, in the following months of 2024



Rys. 6
Zmniejszenie wartości współczynnika HIF przy założeniu zmniejszenia ilości ciepła zużytego w procesie dystrybucji c.w. i cyrkulacji, przy stopniu redukcji 0,7

Fig. 6 HIF factor assuming a reduction in the heat used for DHW distribution and circulation (ratio 0.7)

Tabela 4. Symulacja zmiany współczynnika HIF i zużycia ciepła
Table 4. Simulation of the change in the HIF factor and heat consumption

Zmiana t_{wz}	5	5	10	10
Stopień redukcji ϕ_{red}	1	1,93	1	1,93
Średnioroczny HIF, GJ/m ³	0,304	0,421	0,325	0,442
Względna redukcja HIF, %	-7,439	-48,809	-14,882	-56,252
E_{zred}^{DHW} , GJ	137,21	1892,31	1466,4	1986,5
Redukcja ciepła, GJ	-94,21	-614,31	-188,4	-708,51

nawet gdy wyznaczony na podstawie danych pomiarowych współczynnik osiąga korzystne wartości.

Całkowite zużycie ciepła i jego koszt

Przy założeniu wystąpienia warunków przyjętych w powyżej opisanej symulacji (tab. 4) np. na skutek awarii II typu lub niekorzystnych warunków użytkowania instalacji, zużycie ciepła może wzrosnąć w kompleksie budynków A nawet o 700 GJ. W 2024 r. całkowite zużycie ciepła na przygotowanie c.w. i utrzymanie jej temperatury w kompleksie budynków A wyniosło 3129,519 GJ. Byłby to więc wzrost o ok. 22%. Zakładając na potrzeby tego oszacowania średnią cenę wytwarzania ciepła z rekompensatą, w kwocie 150,95 zł/GJ (netto) [4], spowodowałoby to wzrost kosztów o 130 tys. zł (brutto). Koszt ciepła na potrzeby przygotowania c.w. jest oczywiście zależny zarówno od konkretnych dla danego systemu grzewczego kosztów zakupu ciepła lub paliwa, ich podziału pomiędzy ogrzewanie i c.w., jak i regulaminu rozliczeń stosowanego przez zarządcę nieruchomości.

Kierując się wartościami podanymi w tab. 1, efekt wprowadzenia rozwiązań technicznych prowadzących do skutecznego ograniczenia czasu pracy obiegów cyrkulacyjnych (przekładający się na zmniejszenie strat ciepła w układzie dystrybucji c.w. i cyrkulacji) powinien się przełożyć na zmniejszenie nakładu ciepła o 0,063 GJ/m³ (zmniejszenie o 17%). Przy założeniu, tak jak wyżej, cenie jednostkowej ciepła, będzie to zmniejszenie kosztu jednostkowego o 11,70 zł/m³ (brutto). Tym lepszy efekt finansowy może

być osiągnięty, im efektywność energetyczna systemu jest gorsza, niż np. przyjęte za [23] wskaźniki. Z takim właśnie przypadkiem mamy do czynienia w kompleksie budynków N, gdzie średni roczny współczynnik HIF w 2024 r. jest o 36% większy niż wartość w poz. 6 z tab. 2, a o 13% większy niż w poz. 3.

Termostatyczne zawory podpionowe mogą odgrywać istotną rolę w czasowym ograniczeniu cyrkulacji i regulacji przepływu. Żle ustawiona i niewyregulowana armatura może jednak nieumyślnie zwiększyć wartość współczynnika HIF. Armatura ta wymaga również okresowych przeglądów i serwisowania, o czym często zapominają zarządcy i ich służby eksploatacyjne. Poprawa regulacji hydraulicznej i jakości konserwacji układów cyrkulacyjnych są kluczowe dla zapewnienia optymalnej wydajności i akceptowalnych kosztów dostarczania c.w. jej odbiorcom.

Regularne monitorowanie parametrów systemu zaopatrzenia w c.w. jest konieczne w celu zidentyfikowania wszelkich odchyśleń od oczekiwanych wskaźników wydajności lub wartości, które były uzyskiwane w dotychczasowym okresie użytkowania. Pozwala to na szybką interwencję, zanim drobne problemy przerodzą się w poważne awarie. Identyfikacja awarii typu II umożliwia natychmiastowe podjęcie działań naprawczych, minimalizując w ten sposób koszt c.w.

Skupiając się na regulacji hydraulicznej, utrzymaniu warunków zapewniających odpowiednią temperaturę c.w. przed punktami jej poboru, ciągłym monitorowaniu parametrów systemu c.w. i zapewnieniu szybkiej identyfikacji awarii, można znacznie poprawić funkcjonalność i efektywność instalacji c.w.

Podsumowanie i wnioski

Przedstawione w artykule wyniki badań w obiektach rzeczywistych wskazują zarówno na problem z zapewnieniem odpowiedniej efektywności energetycznej instalacji, jak i na zmienność wartości temperatury c.w. i wody cyrkulacyjnej, której przebieg zależy od indywidualnych cech instalacji. Projektowanie, budowa i eksploatacja w budynkach, w tym w budynkach mieszkalnych, systemów c.w. powinny zapewniać m.in.:

- odpowiednią ilość wody o wymaganej temperaturze, szczególnie w godzinach dużego jej poboru;
- efektywność energetyczną i niskie zużycie energii (ciepło, energia elektryczna);
- wysoką sprawność wytwarzania ciepła w źródle ciepła i wymiany ciepła w wymiennikach;
- jak najmniejsze straty ciepła w instalacji dystrybucji c.w. i cyrkulacji oraz w układzie przygotowania (magazynowania) c.w.;
- brak ryzyka rozwoju bakterii Legionella;
- brak ryzyka poparzenia użytkownika (w tym dzieci) gorącą wodą;
- brak niekontrolowanych ubytków (strat) wody;
- zabezpieczenie instalacji przed osadami mineralnymi i biologicznymi;
- zabezpieczenie instalacji przed korozją elektrochemiczną i biologiczną.

Jednym z kluczowych aspektów każdego systemu zaopatrzenia w ciepło i systemu c.w. zarówno z punktu widzenia kosztów eksploatacji, jak i oddziaływania na środowisko jest efektywność energetyczna. Dotyczy to zarówno nowych obiektów, jak i już istniejących. Aby osiągnąć racjonalnie uzasadnione zużycie energii, konieczne jest przede wszystkim ograniczenie strat ciepła w całym układzie dystrybucji c.w. i cyrkulacji oraz w systemach jej magazynowania. Skuteczna izolacja i odpowiednie decyzje na etapie projektowania są kluczowymi czynnikami w utrzymaniu wymaganej temperatury i zwiększeniu niezawodności systemu. Wdrażając odpowiednią strategię zarządzania i monitoringu systemu c.w. (a szerzej – systemu zaopatrzenia w ciepło budynku) można osiągnąć znaczącą redukcję zarówno zużycia ciepła, jak i powiązanych z nim kosztów przygotowania c.w.

Jak wynika z analiz opisanych w artykule, a wcześniej w [2], dobrym i skutecznym miernikiem poprawności działania systemu może być współczynnik HIF, szczególnie gdy dla instalacji c.w. dysponuje się bazą danych historycznych. Jego okresowa kontrola pozwala na szybkie identyfikowanie awarii II typu, które w innym przypadku nie są zauważane, nawet gdy znacząco wzrastają koszty i opłaty

za c.w. Awaryjne II typu mogą prowadzić do znacznego wzrostu wartości współczynnika HIF, co w konsekwencji podnosi koszty eksploatacji, które obciążają użytkowników c.w. Awaryjne te często wynikają z nieefektywności lub usterek w systemach, które wymagają ciągłej obserwacji i natychmiastowej reakcji w przypadku wystąpienia, w celu złagodzenia ich wpływu na wydatki operacyjne.

Odniesienie kosztów przygotowania c.w. tylko bezpośrednio do całkowitego zużycia ciepła w budynku lub kompleksie budynków (co jest praktyką wielu zarządców nieruchomości) często prowadzi do błędnych wniosków. W okresie znaczących zmian cen ciepła i energii [3, 4], wzrost opłat za c.w. tłumaczony jest wzrostem tego czynnika. W ten sposób pomijany może być rzeczywisty wpływ pogorszenia działania instalacji i układu przygotowywania c.w. Prowadzić to będzie do zaniechania prac w zakresie niezbędnych napraw i modernizacji w obrębie systemu c.w. Sprzyja temu też system bezpośredniego przeniesienia kosztów ciepła na użytkowników i właścicieli lokali, którzy nawet jeśli tworzą wspólnotę, to mają ograniczoną wiedzę i możliwości wpływu na działania związane z utrzymaniem i modernizacją infrastruktury budynku. Do tego, w budynkach wielorodzinnych taki wzrost kosztów rozkłada się na dużą liczbę mieszkań i zróżnicowane w czasie zużycie c.w.

Wyznaczoną w oparciu o dane pomiarowe z instalacji c.w. wartość współczynnika HIF wstępnie można porównać z wartościami przedstawionymi w tab. 1. Im będą one mniejsze, tym lepiej należy ocenić badany system. Wraz z gromadzeniem bazy danych pomiarowych z kolejnych okresów, należy również obserwować odchylenia od wcześniej zaobserwowanych wartości. Warto również wykończyć do oceny porównawczej wartości z innych obiektów, jako tzw. benchmarki. Poza samą wartością współczynnika HIF, pod uwagę brana powinna być też temperatura wody zimnej, temperatura oraz zużycie c.w. Wymagane jest przy tym indywidualne zidentyfikowanie procesów, tak aby dokładnie ocenić, w jaki sposób związane z nimi wydatki na ciepło odnoszą się konkretnie do analizowanego systemu c.w. i poszczególnych jego elementów. Pomiarom poszczególnych parametrów i analizie ich wyników sprzyjać powinny wymagania przepisów rozporządzenia [24].

Zajęcie się takimi aspektami, jak skuteczne zmniejszenie zużycia ciepła, szybka identyfikacja oraz eliminacja awarii II typu i ponowne przeanalizowanie wydatków na ciepło może ukierunkować lokalny system zaopatrzenia w ciepło na poprawę efektywności i obniżenia kosztów związa-

nych z przygotowaniem c.w. Może też ułatwiać podejmowanie decyzji o modernizacji instalacji w celu eliminacji jej mankamentów. Takimi ulepszeniami może być poprawa ochrony cieplnej rurociągów (izolacja nieizolowanych fragmentów, armatury i urządzeń, zwiększenie grubości izolacji), montaż podpionowej armatury termostatycznej, wyposażenie instalacji w sterowniki, termiczne i hydrauliczne równoważenie instalacji, czasowe sterowanie pracą pompy cyrkulacyjnej, korekta średnic (np. w przypadku wymiany niedrożnych, starych rurociągów) itd.

LITERATURA

- [1] Ahmed K., Pylsy P., Kurnitski J., Monthly domestic hot water profiles for energy calculation in Finnish apartment buildings. *Energy and Buildings* nr 97. 2015, s. 77-85, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.03.051>
- [2] Bartnicki G., Klimczak M., Nakład ciepła na przygotowanie ciepłej wody użytkowej na podstawie pomiarów eksploatacyjnych w budynkach wielokondygnacyjnych, *INSTAL* 1/2025, s. 14-22. DOI 10.36119/15.2025.1.2
- [3] Bartnicki G., Nowak B., Zmienność kosztów zakupu paliwa gazowego dla odbiorcy końcowego w okresie 2019-2024, *INSTAL* 11/2024, s. 26-32. DOI 10.36119/15.2024.2
- [4] Bartnicki G., Nowak B., Zmienność i struktura kosztów zakupu ciepła sieciowego dla odbiorcy końcowego w latach 2019-2024, *INSTAL* 2/2025, s. 6-14. DOI 10.36119/15.2025.2.1
- [5] Bartnicki G., Nowak B., Koniec sezonu grzewczego a efektywność energetyczna instalacji odbioru ciepła, *INSTAL* 4/2020, s. 2-11. DOI 10.36119/15.2024.4.1
- [6] Bartnicki G., Klimczak M., Ziembicki P., Evaluation of the effects of optimisation of gas boiler burner control by means of an innovative method of Fuel Input Factor, *Energy* nr 263(PD), 2023, DOI:10.1016/j.energy.2022.125708
- [7] Bhatia A., Design considerations for hot water plumbing, Course No: M06-029, Continuing Education and Development Inc., <https://www.cedengineering.com/userfiles> (dostęp 20.12.2024)
- [8] Bohm B., Production and distribution of domestic hot water in selected Danish apartment buildings and institutions. Analysis of consumption, energy efficiency and the significance for energy design requirements of buildings, *Energy Conversion and Management* nr 67, 2013, s. 152-159, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2012.11.002>
- [9] Boppe I., Bédard E., Taillandier C., Lecellier D., Nantel-Gauvin M. A., Villion M., Prévost M., Investigative approach to improve hot water system hydraulics through temperature monitoring to reduce building environmental quality hazard associated to Legionella, *Building and Environment* nr 108, 2016, s. 230-239, <https://doi.org/10.1016/j.builenv.2016.08.038>
- [10] Dudziński K., Nowa dyrektywa wzmacnia możliwości oszczędnego gospodarowania ciepłem w budynkach mieszkalnych, *INSTAL* 2/2019, s. 26-28.
- [11] Ferrantelli A., Ahmed K., Pylsy P., Kurnitski J., Analytical modelling and prediction formulas for domestic hot water consumption in residential Finnish apartments, *Energy and Buildings* nr 143(C), 2017, s. 53-60, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.03.021>
- [12] Fijewski M., Możliwość energetycznej poprawy pracy instalacji cyrkulacyjnej ciepłej wody, *INSTAL* 12/2023, s. 67-73. DOI 10.36119/15.2023.12.10

- [13] Fraga C. i inni, Heat pump systems for multifamily buildings: Potential and constraints of several heat sources for diverse building demands. *Applied Energy*, 2018, vol. 225, p. 1033-1053, DOI: 10.1016/j.apenergy.2018.05.004
- [14] Fuentes E., Arce L., Salom J., A review of domestic hot water consumption profiles for application in systems and buildings energy performance analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* nr 81, 2018, s. 1530-1547, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.229>
- [15] Grasmanis D., Talcis N., Grekis A., Heat consumption assessment of the domestic hot water systems in the apartment buildings, *Proceedings of REHVA Annual Conference 2015 "Advanced HVAC and Natural Gas Technologies"* Riga, Latvia, May 6 - 9, 2015.
- [16] Jaszevska M., Szaflik W., Zużycie ciepłej i zimnej wody w gospodarstwach domowych w Szczecinie w latach 2006 - 2019, *INSTAL* 4/2020, str. 22-25. DOI 10.36119/15.2020.4.4
- [17] The Ontario Building Code 2017, <https://www.buildingcodeonline.ca> (dostęp 21.12.2024)
- [18] Liu L., Fu L., Jiang Y., Application of an exhaust heat recovery system for domestic hot water, *Energy*, nr 35, 2010, s. 1476-1481, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.12.004>
- [19] Ministry of Business, Innovation & Employment, New Zealand, Building code compliance. G12 Water supplies. <https://www.building.govt.nz/building-code-compliance/g-services-and-facilities/g12-water-supplies/preventing-scalding-from-tap-water>
- [20] Okubanjo A., Ofualagba G., Oshevir P., Hybrid technologies for water heating applications: a review, *GU Journal of Science* nr 37(1), 2024, s. 183-209, DOI: 10.35378/gujs.1192114
- [21] PN-B-01706:1992 Instalacje wodociągowe - Wymagania w projektowaniu.
- [22] Rozporządzenie ministra infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, *Dz.U.* nr 75 z 2002 r., poz. 690 z późn. zm.
- [23] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej, *Dz.U.* z 2015 r., poz. 376 z późn. zm.
- [24] Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 7 grudnia 2021 r. w sprawie warunków ustalania technicznej możliwości i opłacalności zastosowania ciepłomierzy, podzielników kosztów ogrzewania oraz wodomierzy do pomiaru ciepłej wody użytkowej, warunków wyboru metody rozliczania kosztów zakupu ciepła oraz zakresu informacji zawartych w indywidualnych rozliczeniach, *Dz.U.* z 2021 r., poz. 2273.
- [25] Szaflik W., Stachel A., Rozliczanie kosztów zużytej ciepłej wody w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych, *INSTAL* 12/2024, s. 31 - 37. DOI 10.36119/15.2024.12.6
- [26] Szaflik W., Zużycie wody w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych, *INSTAL* 10/2020, s. 18 - 21. DOI 10.36119/15.2020.10.2
- [27] Szaflik W., Współpraca cyrkulacyjnych podpionowych zaworów termoregulacyjnych z instalacją ciepłej wody i ich dobór, *COW* 12/2007, s. 16-18.
- [28] Szaflik W., Projektowanie instalacji ciepłej wody w budynkach mieszkalnych, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Szczecińskiej, Szczecin 2008.
- [29] Szaflik W., Projektowanie instalacji ciepłej wody w budynkach mieszkalnych, Ośrodek Informacji Technika Instalacyjna w budownictwie, Warszawa 2011.
- [30] Żarski K., Symulacja stanów eksploatacyjnych węzła ciepłego w budynku o niskim zużyciu energii do ogrzewania, *INSTAL* 9/2021, s. 12 - 16. DOI 10.36119/15.2021.9.1