

# Nakład ciepła na przygotowanie ciepłej wody na podstawie pomiarów eksploatacyjnych w budynkach wielolokalowych

Heat input for preparing domestic hot water based on operational measurements in multi-unit buildings

GRZEGORZ BARTNICKI, MARCIN KLIMCZAK

DOI 10.36119/15.2025.1.2

W artykule przedstawiono wyniki badań instalacji c.w. w dwóch kompleksach wielorodzinnych budynków mieszkalnych. Pomiary skupiły się na monitoringu temperatury c.w. i wody cyrkulacyjnej w wybranych punktach instalacji oraz w układzie przygotowania c.w. Wykazano wahania temperatury wody w układzie przygotowania c.w., większe w przypadku układu z podgrzewaczami pojemnościowymi. Pomimo wyposażenia instalacji w termostaticzne zawory podpionowe, analogicznie do zmian temperatury c.w. w układzie jej przygotowania, występowały również zmiany temperatury wody cyrkulacyjnej powracającej z instalacji. Zwrócono również uwagę na to, że nakład energetyczny na przygotowanie c.w. pobranej z instalacji jest dużo większy niż samo ciepło w postaci zużytej ciepłej wody. Duże znaczenie ma więc nie tylko właściwe zaprojektowanie instalacji c.w. i cyrkulacji, ale również ich ochrona cieplna (izolacja, trasa prowadzenia przewodów itp.) oraz prawidłowa regulacja hydrauliczna.

*Słowa kluczowe: efektywność energetyczna, instalacja cyrkulacyjna, odnawialne źródła energii, modelowanie*

The article presents the results of research of domestic hot water (DHW) installations in two complexes of multi-family residential buildings. The measurements focused on monitoring the DHW temperature and circulating water in selected points of the installations and in the DHW preparation system. Fluctuations in temperature in the DHW preparation system were demonstrated, which were greater in the case of the system with storage heaters. Despite the installation being equipped with thermostatic riser valves, changes in the temperature of circulating water returning from the installation occurred in the same way as changes in the temperature of DHW in its preparation system. It was also noted that the energy input for the preparation of DHW taken from the installation is much greater than the heat in the form of used hot water. Therefore, proper design of the domestic hot water and circulation installation of great importance but also its thermal protection (insulation, pipe routing, etc.) and proper hydraulic regulation.

*Keywords: energy efficiency, circulation installation, renewable energy sources, energy consumption modeling*

## Wstęp

Dążenie do zmniejszenia zapotrzebowania na energię końcową ma wiele uzasadnień, nie tylko ekonomicznych. W tym zakresie wzrost wymagań dotyczących ochrony cieplnej i poprawy izolacyjności przegród budowlanych jest zauważalny, a nawet bardzo dynamiczny, zarówno w regulacjach wspólnotowych (UE), jak i w przepisach krajowych. Wytyczne i wymagania w zakresie zmniejszenia zużycia ciepła na potrzeby przygotowania ciepłej wody (c.w.) nie są już tak jasne, a zmiany prowadzące do osiągnięcia tego celu są mniej oczywiste. Przyczyn takiego stanu rzeczy należy upatrywać w fakcie, że

zmniejszenie zużycia ciepła na przygotowanie c.w., na poziomie fizyki zjawiska, bezpośrednio związane jest ze zmniejszeniem zużycia wody. Inne składowe są zazwyczaj pomijane.

Uważa się też, że przede wszystkim zużycie ciepła do ogrzewania pomieszczeń stanowi istotną część zużycia energii w budynkach i to zagadnienie przede wszystkim znajduje się w kręgu zainteresowania badań naukowych czy regulacji dotyczących poprawy efektywności energetycznej systemów zaopatrzenia w ciepło. Autorka [30] podkreśla, że w Polsce do 2008 r. koncentrowano się jedynie na potrzebach energetycznych osłony budowlanej, bez szczegółowego analizo-

wania wpływu systemu ogrzewania i przygotowania c.w. oraz rodzaju wykorzystywanego paliwa na pokrycie potrzeb energetycznych. Udział ciepła do ogrzewania pomieszczeń w odniesieniu do całkowitego zużycia ciepła zależy w istotny sposób od standardu izolacyjności cieplnej przegród budowlanych, a standard ten jest mocno skorelowany z wiekiem budynku. Niezależnie jednak od stopnia izolacyjności przegród zewnętrznych nie jest on na tyle dominujący, by pomijać straty ciepła w układzie centralnego przygotowania i dystrybucji c.w. Wg danych GUS ciepło na potrzeby ogrzewania pomieszczeń budynków mieszkalnych stanowi ok. 65% zużycia

Tabela 1. Struktura zużycia energii w gospodarstwach domowych według kierunków użytkowania wg GUS [14]

Table 1. Energy consumption in households structure by type of use according to the Polish Central Statistical Office – GUS [14]

		2012	2015	2018	2021
		%	%	%	%
1	OGRZEWANIE POMIESZCZEŃ	68,8	65,5	65,1	65,1
2	PRZYGOTOWANIE CIEPLEJ WODY	14,8	16,2	16,6	17,3
3	PRZYGOTOWANIE POSILKÓW	8,3	8,5	8,5	8,5
4	OŚWIETLENIE (RAZEM Z URZ. ELEKTR.)	8,1	9,8	9,8	9,0
5	OGRZEWANIE POMIESZCZEŃ tylko w sumie C.O.+C.W.	82,30	80,17	79,68	79,00
6	PRZYGOTOWANIE C.W. tylko w sumie C.O.+C.W.	17,70	19,83	20,32	21,00

energii gospodarstw domowych [14]. Po wyodrębnieniu tylko zużycia ciepła na ogrzewanie (c.o. + c.w.) stanowi ono ok. 80%, a ciepło na potrzeby przygotowania c.w. ok. 20% (tab. 1).

Przedstawiona w tab. 1 struktura zużycia energii wynika ze stosowanej przez GUS metodyki zbierania danych i ich przetwarzania. Jak komentują te dane autorzy w [2], mając na uwadze nie tylko samo zużycie ciepła w postaci c.w., ale również ciepło niezbędne na utrzymanie jej temperatury (cyrkulacja) czy jakości (dezynfekcja termiczna), należy się liczyć, że nakład energii na centralne przygotowanie c.w. w budynkach mieszkalnych jest dużo większy niż 20% ciepła wytworzonego w źródle ciepła. Badania obiektów rzeczywistych wskazują, że może on sięgać nawet 50% [2, 11, 19, 20]. Oczywiście zależy to też od wielu czynników, w tym okresu, w którym zaprojektowany był budynek. Na przestrzeni lat ulegały zmianie zarówno wymagania ochrony cieplnej budynków (prowadzące do ograniczenia strat ciepła bryły budynku), jak i warunki projektowania instalacji c.w. (np. od 2002 r. konieczność izolowania ciepłego pionów instalacji c.w. [22], stosowanie termostatycznej armatury podpionowej itp.). Zmieniają się też potrzeby użytkowników, a pomimo wykazywania ogólnych prawidłowości, każdy badany obiekt charakteryzuje się indywidualnym przebiegiem zjawiska poboru wody i zużycia ciepła [3, 16, 19, 20, 24, 30].

Zużycie wody w instalacjach wodociągowych i zużycie ciepła na przygotowanie c.w. są tematem szeregu badań i analiz, zarówno w Polsce np. [7, 10, 16, 19, 20, 24, 25, 26, 29, 30] jak i na świecie np. [1, 5, 9, 11, 12, 13, 15, 17, 18]. Przedmiotem badań są zarówno instalacje w budynkach mieszkalnych, jak i o innym przeznaczeniu. W ostatnich latach coraz częściej celem jest nie tylko lepsze poznanie zjawisk zachodzących w instalacjach, ale również poszukiwanie rozwiązań i działań prowadzących do zmniejszenia zużycia wody, energii oraz ograniczenia emisji CO<sub>2</sub> (Europejski Zielony Ład [2, 6,

8], Europejski Niebieski Ład itp.). Mając na uwadze rosnące ceny energii wytwarzanej w oparciu o spalanie paliw kopalnych, konieczność obniżenia kosztów przygotowania c.w. oraz zmniejszenia zużycia ciepła, często rekomenduje się wykorzystanie OZE w układach przygotowania c.w. [7, 11, 17, 18, 21, 28, 30]. Nie zawsze możliwe jest zastosowanie wyłącznie takich źródeł i wówczas projektowane są układy hybrydowe, jako połączenie źródła OZE i NZE.

Zastosowanie pomp ciepła w układach przygotowania c.w., szczególnie w budynkach wielorodzinnych w Polsce wiąże się też z pewnymi trudnościami. Warunki techniczne dla projektowania i budowy wymagają zapewnienia temperatury c.w. (w punktach jej poboru), która jest (zbyt) wysoka dla powszechnie produkowanych pomp ciepła i urządzenia te nawet w lecie mają ograniczoną efektywność energetyczną (COP).

Również wiele problemów stwarza wykorzystanie wodnych kolektorów słonecznych (zabezpieczenie przed zamrażaniem, brak rozbioru c.w. w okresach dużego nasłonecznienia itp.). Szeroka dostępność paneli fotowoltaicznych (PV) i szybki rozwój ich technologii sprzyja wykorzystywaniu wytwarzanej w nich energii elektrycznej do przygotowania c.w., najczęściej w układach hybrydowych [21]. To rozwiązanie wydaje się być ciekawą alternatywą dla wykorzystywania tej energii z OZE w systemach elektroenergetycznych. Z uwzględnieniem akumulacji ciepła w postaci podgrzanej wody, profil produkcji energii dość dobrze pasuje do zużycia ciepła w postaci c.w. w budynkach mieszkalnych.

W badaniach instalacji i układów przygotowania c.w. bardzo często pomija się aspekt współdziałania instalacji c.w. i cyrkulacyjnej. Obie instalacje są traktowane jako jeden obieg lub analizowana jest tylko jedna z nich. W wielu przypadkach w nakładzie energii na przygotowanie c.w. uwzględniane jest nadal tylko ciepło w postaci zużytej c.w. W Polsce jeszcze do niedawna straty ciepła będące

efektem cyrkulacji wody w instalacji traktowano jako zyski ciepła do ogrzewania pomieszczeń, co jest wynikiem archaicznej już lokalizacji nieizolowanych pionów instalacji wodociągowej – bezpośrednio w pomieszczeniach łazienek.

Proponowane są różne działania techniczne i eksploatacyjne, które umożliwiają ograniczenie zużycia ciepła w układzie przygotowania i dystrybucji c.w. [10, 13]. Jednym z nich jest montaż armatury podpionowej, która charakteryzuje się różnymi rozwiązaniami, w zależności od typu i producenta. Może ona służyć wyłącznie równoważeniu hydraulicznemu lub umożliwiać termostatyczną regulację instalacji cyrkulacyjnej. Każde z tych urządzeń ma swoją specyfikę działania i cel jaki realizuje.

### Nakład energii w układzie przygotowania c.w.

Wyznaczenie ilości ciepła niezbędne do przygotowania w wymienniku ciepła c.w. z punktu widzenia rachunkowego jest proste. Wylicza się je ze wzoru:

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

gdzie:

$Q_{cw}$  – ciepło potrzebne do przygotowania ciepłej wody, kJ

$V_{cw}$  – objętość ciepłej wody, m<sup>3</sup>

$t_{cw}$  – temperatura ciepłej wody, °C

$t_{wz}$  – temperatura wody zimnej, °C

$\rho$  – gęstość wody, kg/m<sup>3</sup>

$c_p$  – ciepło właściwe wody, kJ/(kg K)

Pomiar wartości wielkości podstawianych do powyższego równania jest jednak zagadnieniem dużo bardziej złożonym, gdyż przez wymiennik ciepła układu przygotowania c.w. przepływa woda zimna zmieszana z wodą z instalacji cyrkulacyjnej. Zmienny jest zarówno strumień wody cyrkulacyjnej (przyjmowany tylko w obliczeniach do projektowania jako stały), jak i jej temperatura. W przypadku podgrzewacza pojemnościowego opis zjawiska i jego założeń obliczeniowych jest jeszcze trudniejszy, gdyż temperatura wody wokół węzłownicy wynika również z temperatury wody akumulowanej w podgrzewaczu. Objętość podgrzanej c.w. może przy tym być mierzona jako suma przepływów zmierzonych przez wodomierze w lokalach, w których następuje rozbiór wody (wodomierze mieszkaniowe), przepływ wody zimnej na odcinku przed układem przygotowania c.w. lub rozwiązanie, które nie powinno być stosowane, w którym przepływomierz byłby zamontowany za trójnikiem, w którym następuje zmieszanie

wody zimnej z wodą cyrkulacyjną (to rozwiązanie ujmowało by w pomiarze strumienia wody cyrkulacyjnej).

Przy ustalaniu relacji pomiędzy zużyciem ciepła na przygotowanie c.w. a całkowitym zużyciem ciepła w budynku istotną jest metoda określania każdej z tych wielkości. Dla zapewnienia rozliczenia pomiędzy dostawcą ciepła, a instytucjonalnym odbiorcą ciepła (wspólnota mieszkaniowa, spółdzielnia mieszkaniowa, inne) wymagany jest układ pomiarowy, który pozwala na określenie całkowitej ilości ciepła dostarczonej do odbiorcy, jak i na podział zużycia ciepła pomiędzy potrzeby ogrzewania pomieszczeń i przygotowanie c.w. [23]. W przypadku budynków zasilanych z systemu ciepłowniczego rozliczenie pomiędzy dostawcą ciepła, a odbiorcą końcowym odbywa się w oparciu o wskazania ciepłomierza lub ciepłomierzy. Układ pomiarowy pozwala wówczas na bezpośredni pomiar dostarczanego do instalacji ciepła. Bardziej skomplikowany jest przypadek, gdy system zaopatrzenia w ciepło budynku lub budynków wykorzystuje ciepło wytwarzane w lokalnej kotłowni gazowej. Głównym urządzeniem pomiarowym dla bilansowania wytworzonego w kotłowni ciepła jest wówczas gazomierz, a rzadko montowane są dodatkowe urządzenia pomiarowe umożliwiające nie tylko podział sumarycznego ciepła pomiędzy ogrzewanie pomieszczeń i przygotowanie c.w., ale również np. sprawność wytwarzania i dystrybucji ciepła w systemie zaopatrzenia w ciepło budynku lub budynków. Nadal powszechny jest (szczególnie w istniejących już budynkach) pośredni pomiar zużycia ciepła na przygotowanie c.w. wodomierzem zamontowanym na wodzie zimnej przed układem przygotowania c.w., który uwzględnia tylko ilość zużytej c.w., pomijając ilość energii wykorzystanej do jej przygotowania (rzeczywiste temperatury w.z. i c.w.) i utrzymania wymaganej temperatury (straty ciepła w instalacji cyrkulacyjnej). Układ pomiarowy c.w. oparty na wodomierzu warto rozbudować o pomiar i rejestrację temperatury wody zimnej, ciepłej i cyrkulacji. Dzięki temu zapewniona będzie lepsza diagnostyka instalacji, możliwość monitorowania jej efektywności energetycznej, jak i dane dla wymiarowania w przyszłości układów OZE. Zysk z posiadania tych danych (szczególnie zgromadzonych w długich przedziałach czasu) znacznie przewyższa nakłady inwestycyjne.

Analogicznie do wskaźnika FIF (Fuel Input Factor [4]), który wykorzystywany jest do oceny efektywności kotłowni i opty-

malizacji jej działania, w oparciu o wyniki pomiarów zaproponowano wyznaczenie współczynnika pozwalającego na ocenę wydatku/nakładu ciepła niezbędnego do wytworzenia jednostki ciepłej wody, który nazwano Heat Input Factor (HIF).

$$HIF_i = \frac{E_i^{DHW}}{V_i}$$

gdzie:

$HIF_i$  – współczynnik nakładu ciepła dla i-tej jednostki czasu (dzień, miesiąc, rok), GJ/m<sup>3</sup>

$E_i^{DHW}$  – ciepło dostarczone do układu przygotowania ciepłej wody w danej jednostce czasu, GJ

$V_i$  – zużycie ciepłej wody w danej jednostce czasu, m<sup>3</sup>

Bardzo podobny wskaźnik, który wykorzystywany może być do oceny efektywności energetycznej instalacji i rozliczeń kosztów c.w. opisany został m.in. w [26] pod nazwą wskaźnik zużycia ciepła do przygotowania 1 m<sup>3</sup> ciepłej wody w<sub>cw</sub>.

Do wyznaczenia wartości tego współczynnika można wykorzystać pomiary zużycia ciepła w procesie przygotowania i dostarczenia c.w. oraz ilości wody, która została zużyta przez jej odbiorców, np. wyznaczona w oparciu o wskazania wodomierza zainstalowanego bezpośrednio przed układem przygotowania c.w. Ciepłomierz do pomiaru ilości ciepła powinien być zainstalowany po stronie czynnika grzewczego jak najbliżej układu przygotowania c.w., aby zminimalizować wpływ innych strat ciepła lub zakłóceń. Technicz-

nie możliwe i dopuszczalne jest też ustalenie ilości ciepła metodą różnicową:

$$E_i^{DHW} = E_i - \sum_{n=1}^m E_i^n$$

gdzie:

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

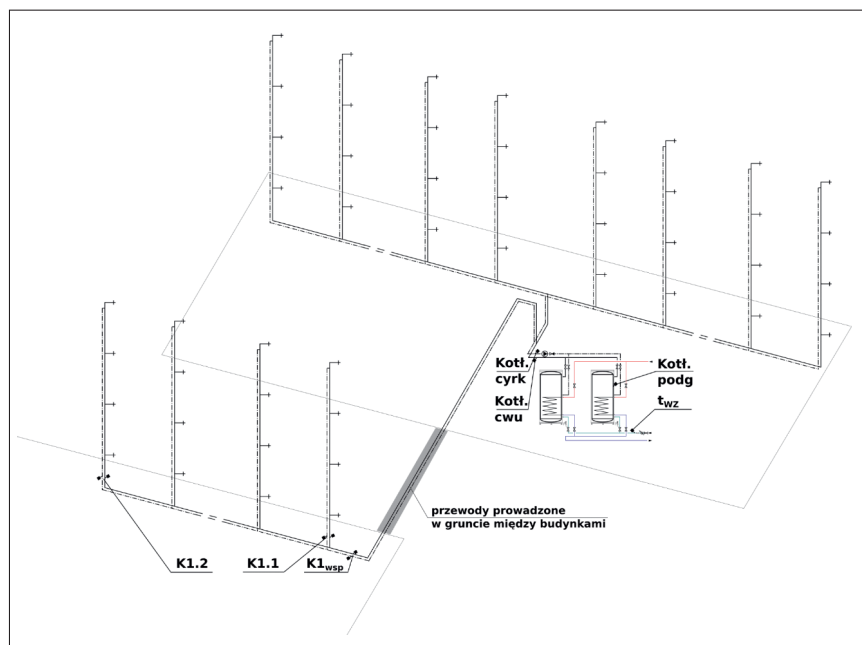
$E_i$  – zużycie ciepła w źródle ciepła (kotłownia, węzeł ciepłowniczy) w danej jednostce czasu, GJ

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

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

## Charakterystyka badanych instalacji

Badania zostały przeprowadzone w dwóch kompleksach budynków (oznaczonych jako A i B). Trzy budynki wielorodzinne kompleksu A zasilane są w ciepło z lokalnej kotłowni gazowej. Kotłownia dostarcza ciepło do ogrzewania pomieszczeń oraz ciepłą wodę (c.w.), przy czym dwa budynki połączone są wspólną halą garażową (przez którą poprowadzone są przewody instalacji). Do trzeciego budynku (budynek K) rurociągi instalacji c.o., c.w. i cyrkulacji ułożone są w gruncie, w technologii rur preizolowanych. Przewody rozprowadzające i cyrkulacji, w tym



Rys. 1 Schemat układu pomiarowego w kompleksie budynków A (kotłownia gazowa, 2 podgrzewacze pojemnościowe)  
Fig. 1 Diagram of the measurement system in the building complex A (gas boiler room, 2 storage hot water heaters)

piony mają wykonaną izolację cieplną (o grubości wynikającej z wymagań warunków technicznych). Układ przygotowania c.w. składa się z dwóch pionowych podgrzewaczy pojemnościowych połączonych równolegle. W okresie prowadzenia badań dokonana została wymiana podgrzewaczy. Do połowy 2024 r. (Q2'2024) zamontowane były dwa podgrzewacze, każdy o pojemności 1000 dm<sup>3</sup> i powierzchni wężownicy 4,5 m<sup>2</sup>. Od drugiego półrocza 2024 r. (Q3'2024) zamontowane są dwa podgrzewacze, każdy o pojemności 750 dm<sup>3</sup> i powierzchni wężownicy 7,00 m<sup>2</sup>. Dla uwzględnienia wymiany podgrzewaczy – badania dla kompleksu A zostały podzielone na dwa okresy pomiarowe.

Miejsce pomiaru temperatury wody cyrkulacyjnej oznaczono na rys. 1 jako K1.wsp i jest ono zlokalizowane na przewodzie wspólnym, którym woda cyrkulacyjna z budynku K wraca do źródła ciepła. Mierzono również temperaturę wody cyrkulacyjnej (wody zmieszanej, powracającej z 3 budynków) bezpośrednio przed miejscem włączenia cyrkulacji do baterii podgrzewaczy (miejsce oznaczono na rys. 1 jako Kotł.cyrk). Temperatura c.w. mierzona jest w zbiorniku jednego z podgrzewaczy pojemnościowych (Kotł.podg). Dodatkowo, mierzona jest temperatura c.w. na wspólnym dla wszystkich trzech budynków przewodzie wychodzącym z kotłowni (Kotł.cwu) – w tym miejscu mierzona jest temperatura c.w. po zmieszaniu strumieni wody z obu podgrzewaczy.

Dwa budynki tworzące kompleks B zasilane są w ciepło z dwufunkcyjnego węzła cieplnego (rys. 2). Węzeł cieplowniczy zlokalizowany jest w wydzielonym

pomieszczeniu na poziomie hali garażowej jednego z budynków. Pomiedzy budynkami instalacja zewnętrzna ułożona została w gruncie, w technologii rur preizolowanych. Węzeł cieplny został uruchomiony w trzecim kwartale 2022 r. (Q3'2022). Układ przygotowania c.w. jest przepływowy (bez akumulacji ciepła). Wcześniej dla budynków kompleksu B ciepło wytwarzane było w kotłowni gazowej, a c.w. w podgrzewaczach pojemnościowych (podobnie jak w kompleksie A). Wyniki badań w kompleksie B zostały zaprezentowane również dla dwóch okresów, pierwszego (do Q2'2022) – z kotłownią gazową i od Q3'2022 – z węzłem cieplnym.

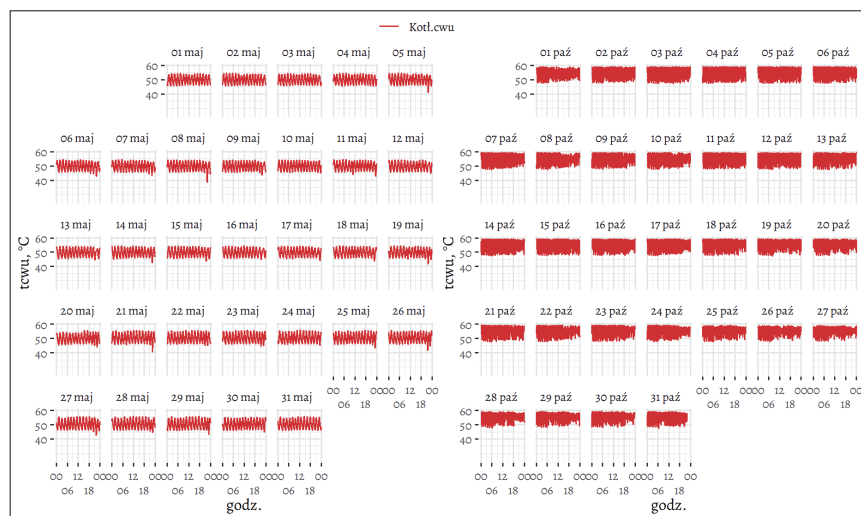
Układ pomiarowy w kompleksie B umożliwia rejestrację temperatur c.w. w instalacji budynku bez węzła cieplowniczego, w wybranych pionach (F1.1, F2.1, F2.2.) oraz w przewodach zbiorczych (woda płynąca z i do źródła ciepła) –

F1.wsp, F2.wsp. Po uruchomieniu węzła cieplowniczego prowadzone są również pomiary w samym źródle ciepła.

## Wyniki badań i pomiarów

### Zmienność temperatur przy układzie pojemnościowym

Na rys. 3 (a dla wybranego jednego dnia z tego okresu – na rys. 4) przedstawiono wyniki pomiarów temperatury c.w. w podgrzewaczu pojemnościowym (kompleks A) w maju (przed wymianą podgrzewaczy) i październiku (po wymianie). Zmiany temperatury charakteryzowały się dużą regularnością. Duża zmienność temperatury w ciągu doby i specyficzny przebieg tych zmian wynika z zastosowania układu pojemnościowego oraz nastawy histerezy układu regulacji, jak i dużej bezwładności takiego układu. Zakres zmian wynosi ok. 10 K. Na rys. 4 dodatkowo naniesiony jest przebieg zmian temperatu-

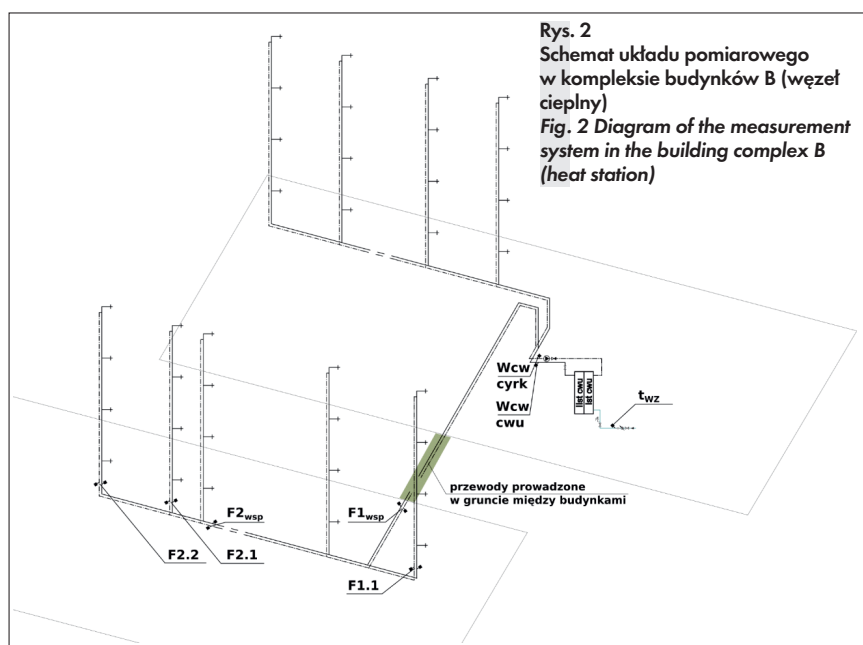


Rys. 3

Porównanie zmienności temperatury c.w. w zasobniku (podgrzewaczu pojemnościowym) mierzonej czujnikiem zamontowanym w połowie wysokości zbiornika, przed i po wymianie wężownicy dla całego miesiąca (maj / październik 2024).

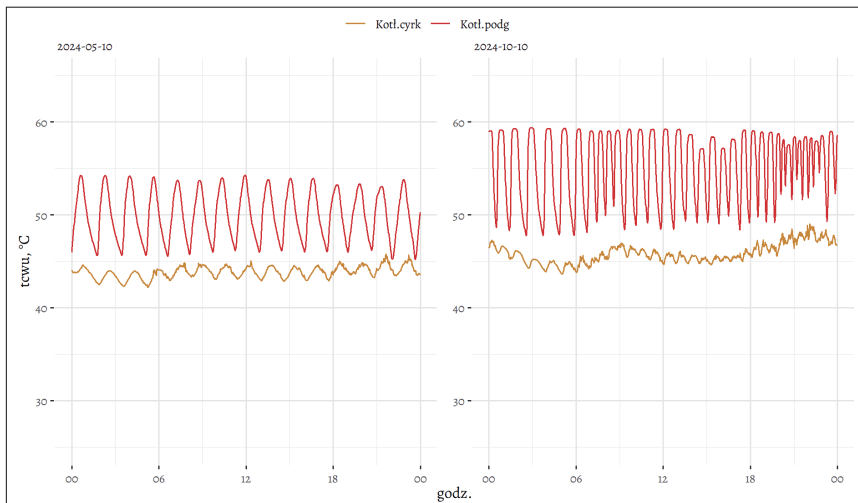
Fig. 3 Comparison of the DHW temperature variability in the tank (water heater) measured with a sensor mounted halfway up the tank, before and after replacing the coil for the May / October 2024

ry wody cyrkulacyjnej powracającej do podgrzewaczy. Wymiana podgrzewaczy pojemnościowych wpłynęła na zmianę wartości i przebiegu zmienności temperatury c.w., pomimo dokonania jednocześnie korekty nastaw w UAR. Nowe zasobniki mają większą powierzchnię wymiany ciepła (moc) i mniejszą o 25% pojemność. Przy porównywalnej temperaturze czynnika grzewczego szybciej następuje podgrzanie objętości wody zgromadzonej



Rys. 2

Schemat układu pomiarowego w kompleksie budynków B (węzeł cieplny)  
Fig. 2 Diagram of the measurement system in the building complex B (heat station)



**Rys. 4**  
Zmienność temperatury c.w. w zasobniku (podgrzewacz pojemnościowy) mierzonej czujnikiem zamontowanym w połowie wysokości zbiornika, przed i po wymianie wężownicy, dla jednej doby (10.05.2024 / 10.10.2024). oraz zmienność temperatury wody cyrkulacyjnej w kotłowni  
**Fig. 4** DHW temperature variability in the tank (water heater) measured with a sensor mounted halfway up the tank, before and after replacing the coil for one day (10.05.2024 / 10.10.2024) and the variability of the circulation water temperature in the boiler room

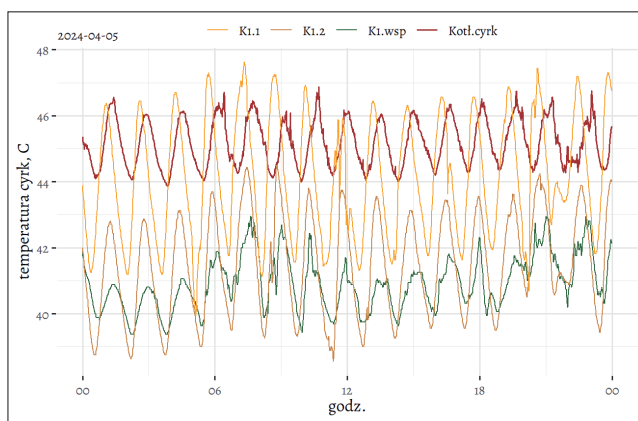
w zasobniku, ale równocześnie szybciej następuje też jej obniżenie w wyniku napływu zimnej wody. Zwiększyła się częstość włączeń ładowania zasobników, a uzyskiwane temperatury c.w. są wyższe. Może to być związane też ze zmianą położenia czujnika temperatury (względem wysokości zasobnika) – który został zlokalizowany wyżej (pomiar temperatury wody, w miejscu bardziej zbliżonym do wlotu do instalacji). Większe jest też opóźnienie zatrzymania przyrostu temperatury wody w podgrzewaczu po wyłączeniu pompy ładującej (bezwładność), wymiana ciepła zachodzi dłużej i intensywniej po wyłączeniu pompy (w odniesieniu do starych wymien-

ników) i powoduje wzrost temperatury powyżej ustawionej na regulatorze.

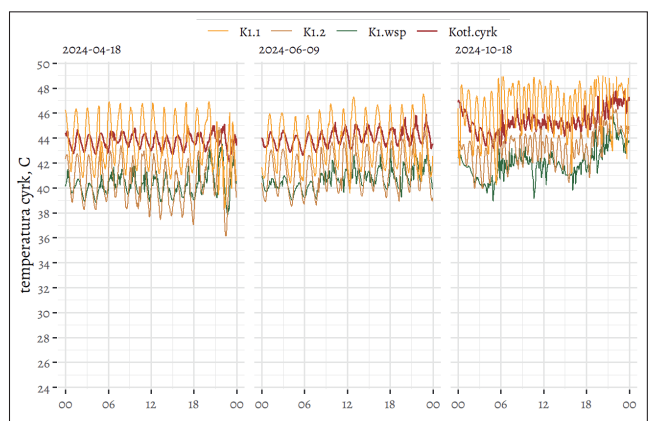
Temperatura wody w instalacji cyrkulacyjnej jest powiązana z temperaturą c.w. Maksima i minima są jednak przesunięte w czasie (w odniesieniu do wahań temperatury wody w podgrzewaczu), co wynika z drogi, jaką pokonuje woda w instalacji, aby powrócić z powrotem do podgrzewacza. W konsekwencji, zmiany temperatury w zasobniku przekładają się na analogiczne przebiegi temperatury w instalacji c.w. oraz w instalacji cyrkulacyjnej. Wartości temperatury wody cyrkulacyjnej oraz amplituda zmian są niższe, ze względu na zachodzącą wymianę ciepła z otocze-

niem i wynikające z tego wychłodzenie wody. Po wymianie urządzeń układu przygotowania c.w. widoczne są na rys. 4 dwa niewielkie obniżenia wykresu temperatury wody cyrkulacyjnej, które tłumaczyć można zmniejszeniem się w tym czasie rozbiórów wody (i tym samym większym wychłodzeniem wody cyrkulacyjnej).

Pod pionami instalacji cyrkulacyjnej zamontowane są zawory termostatyczne, o możliwym zakresie nastaw temperatury wody cyrkulacyjnej 50-60°C. Spadek temperatury wody poniżej ustawionej temperatury (średnie ustawienie zaworów na temperaturę ok. 50°C), związany również z cyklicznymi wahaniami temperatury c.w. w podgrzewaczu, powoduje otwarcie podpionowych zaworów termostatycznych. Jeżeli jest otwarty więcej niż jeden zawór podpionowy, to woda cyrkulacyjna kieruje się przede wszystkim do obiegu pionów o najmniejszej oporności (zazwyczaj są to piony zlokalizowane najbliżej źródła ciepła), ograniczając strumień płynący przez piony o największej oporności, do czasu zamknięcia się zaworu termostatycznego. Dwustawne podpionowe zawory termostatyczne nie równoważą więc hydraulicznie instalacji i ograniczają przez to skuteczność działania instalacji cyrkulacyjnej. Efektem tego, z punktu widzenia użytkownika może być wydłużony okres oczekiwania na c.w. o właściwych parametrach w punkcie poboru, w części pionów instalacji (najczęściej – najbardziej oddalonych od źródła). Tym bardziej problem jest dotkliwy, im jest większa pojemność przewodów instalacji c.w. i cyrkulacji (duże średnice). W przypadku budynków



**Rys. 5**  
Zmienność temperatury wody cyrkulacyjnej w czterech punktach (jedna doba – 05-04-2024): Kotł.cyrk – woda cyrkulacyjna powracająca do podgrzewaczy; K1.1 – woda cyrkulacyjna w budynku K w pionie 1; K1.2 – woda cyrkulacyjna w budynku K w pionie 2; K1.wsp – woda cyrkulacyjna w budynku K na przewodzie wspólnym z wszystkich pionów  
**Fig. 5** The circulating water temperature variability at four points (one day – 05-04-2024): Kotł.cyrk – the circulating water returning to the heaters; K1.1 – the circulating water in building K in riser 1; K1.2 – the circulating water in building K in riser 2; K1.wsp – the circulating water in building K in the common pipe of all risers



**Rys. 6** Zmienność temperatury wody cyrkulacyjnej w czterech punktach (wybrane 3 doby): Kotł.cyrk – temperatura wody cyrkulacyjnej powracającej do podgrzewaczy; K1.1 – temperatura wody cyrkulacyjnej w budynku K w pionie 1; K1.2 – temperatura wody cyrkulacyjnej w budynku K w pionie 2; K1.wsp – temperatura wody cyrkulacyjnej w budynku K na przewodzie wspólnym z wszystkich pionów  
**Fig. 6** The circulating water temperature variability at four points (selected 3 days): kotł.cyrk – the circulating water returning to the heaters; K1.1 – the circulating water in building K in riser 1; K1.2 – the circulating water in building K in riser 2; K1.wsp – the circulating water in building K in the common pipe of all risers

kompleksu A mamy do czynienia z pionami instalacji c.w. + cyrkulacji w trzech budynkach, co jeszcze bardziej komplikuje hydraulicznie ten układ.

Nie rozwiązuje tego problemu zwiększenie nastawy temperatury na zaworze cyrkulacyjnym termostaticznym (np. na 51-52°C). Powodowałoby to, że w pionie K1.2 zawory będą praktycznie otwarte w sposób ciągły (temperatura wody cyrkulacyjnej nie osiągnie tej wartości). W pionie K1.1 zawór będzie też otwarty przez większą część doby. W efekcie braku zrównoważenia hydraulicznego równoległe połączonych obiegów, większy strumień wody będzie kierowany do pionu K1 (gdy w danej chwili zawory będą otwarte jednocześnie na obu pionach). Obniżenie nastawy (w tym przypadku niemożliwe) skutkować natomiast będzie tym, że w przewodach cyrkulacyjnych nie będzie przepływu, a c.w. będzie miała zbyt niską temperaturę (co wydłuży czas oczekiwania użytkowników instalacji na c.w. o właściwej temperaturze). Z punktu widzenia działania instalacji cyrkulacyjnej, w przypadku przygotowania c.w. w podgrzewaczach pojemnościowych, działanie termostaticznych zaworów podpionowych komplikuje dodatkowo duże wahanie temperatury c.w. i odpowiadające mu wahanie temperatury wody cyrkulacyjnej. Zarządzanie taką instalacją jest więc trudne i w zasadzie lepszym rozwiązaniem jest instalacja cyrkulacyjna wyposażona w zawory równoważące (równoważenie hydrauliczne poprzez krzyżowanie instalacji).

Z tych powodów, temperatura wody cyrkulacyjnej w źródle ciepła (po zmieszaniu strumieni wody z wszystkich pionów) ma niewielką wartość diagnostyczną. Trudno na jej podstawie formułować wnioski o pracy pojedynczych pionów instalacji cyrkulacyjnej. Sterowanie pracą pompy cyrkulacyjnej w oparciu o jej pomiar skutkować może nieprawidłową pracą niektórych pionów cyrkulacyjnych, nawet gdy będą one wyposażone w termostaticzne zawory podpionowe.

Jak widać to na rys. 5 i 6, temperatura wody cyrkulacyjnej powracającej do podgrzewacza była zawsze wyższa od temperatury na powrocie z budynku K. W samym budynku K obserwowane było duże zróżnicowanie temperatury wody cyrkulacyjnej w poszczególnych pionach. W pionach K1.1 i K1.2 temperatura ta była wyższa niż temperatura w punkcie K1.wsp. (połączony strumień z wszystkich pionów). W pozostałych pionach w tym budynku była więc niższa temperatura niż w dwóch opomiarowanych pionach. Zmiany dokonane w układzie podgrze-

waczy nie zmieniły istotnie warunków pracy całej instalacji cyrkulacyjnej, choć trzeba zauważyć, że przebieg zmienności oraz same wartości temperatur uległy zmianie. Widać też zmiany temperatury spowodowane przez ograniczenia przepływu na poszczególnych pionach w przypadku wzrostu temperatury na cyrkulacji powyżej nastawionych 50°C.

Przed okresem, w którym rozpoczęto pomiary, obserwowano duże problemy zarówno z samą instalacją c.w. (brak zapewnienia odpowiedniej temperatury wody, szczególnie w budynku K), jak i z działaniem instalacji cyrkulacyjnej. Monitoring oparty o pomiar temperatury wody cyrkulacyjnej powracającej do podgrzewaczy nie potwierdzał jednak nieprawidłowości działania, a temperatura wody cyrkulacyjnej była dość wysoka. Montaż układów pomiarowych w wybranych punktach instalacji, przeprowadzone modernizacje układu przygotowania c.w. oraz samej instalacji znacząco ograniczyły te problemy.

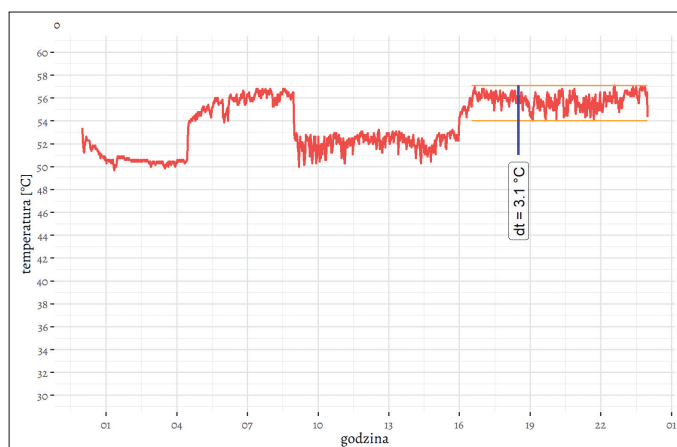
### Zmienność wartości temperatury przy układzie przepływowym

Na rys. 7 i 8 przedstawiono wyniki pomiarów temperatury c.w. (dla wybranej jednego dnia okresu badań) za przepływowym wymiennikiem ciepła węzła

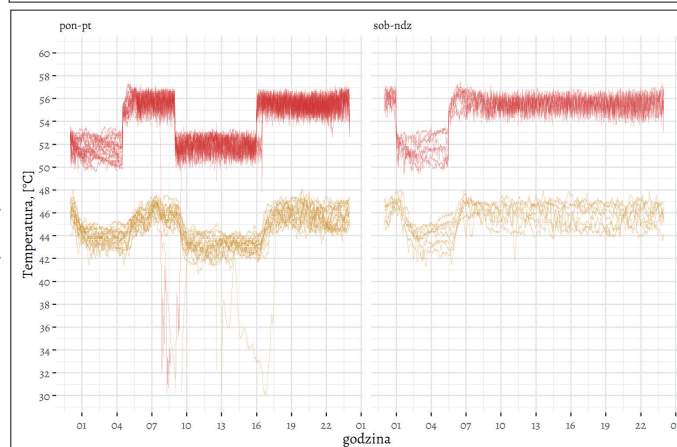
ciepłego (kompleks B). Widoczne są też wahania temperatury, ale znacznie mniejsze (ok. 3 K) niż w przypadku układu z podgrzewaczami pojemnościowymi. Trzeba też mieć na uwadze odmienny układ regulacji temperatury. W przypadku podgrzewaczy pojemnościowych – następuje to poprzez włączanie i wyłączenie pompy w obiegu kotłowni zasilającym węzłownicę podgrzewaczy, w węźle ciepłym zawór regulacyjny dokonuje zmiany strumienia wody sieciowej przepływającej przez wymiennik. Widoczne na rysunku okresowe obniżenie temperatury c.w. wynika z nastawy układu regulacji, który utrzymuje tę temperaturę w okresach zmniejszonego poboru c.w. na trochę niższym poziomie (dni robocze, godz. 8-16 – 52°C; dni robocze i dni wolne, godz. 0:30-4:30 – 50°C). W tym kompleksie zastosowane są inne zawory termostaticzne c.w. niż w kompleksie A, umożliwiające nastawę temperatury w zakresie 38-60°C (średnia nastawa ok. 45°C).

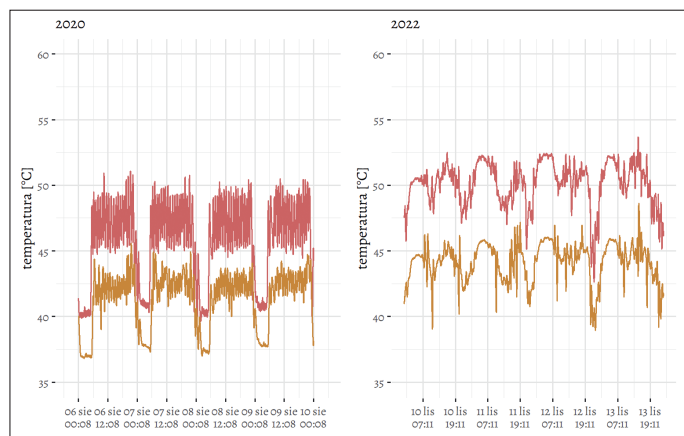
Na rys. 9 i 10 przedstawiono wykres zmian temperatury c.w. przed pionami, dla których prowadzono pomiary (F2.1 i F2.2) oraz temperatury wody cyrkulacyjnej. Temperatura c.w. przed pionem F2.1 była wyższa, średnio o 1.91 K niż przed pionem F2.2. W przewodzie wspólnym (punkt F2.wsp) temperatura c.w. była wyższa niż

**Rys. 7**  
Temperatura c.w. za przepływowym wymiennikiem ciepła (kompleks B) – dzień roboczy  
**Fig. 7** DHW temperature after the flow heat exchanger (complex B) – working day

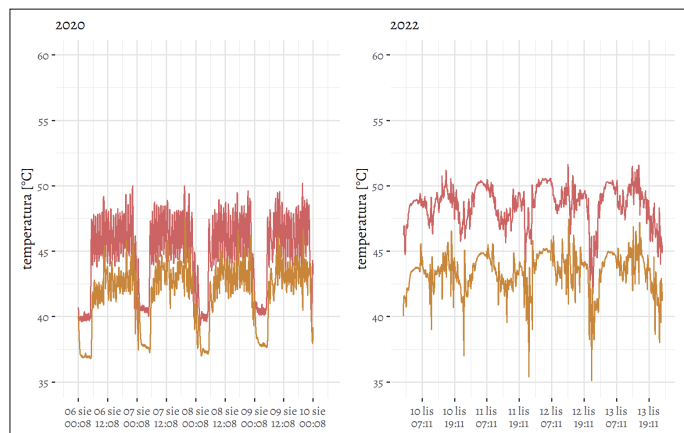


**Rys. 8**  
Temperatura c.w. za przepływowym wymiennikiem ciepła (kompleks B) – dni robocze (pon-pt) i wolne (sob-ndz)  
**Fig. 8** Domestic hot water temperature after the flow heat exchanger (complex B) – working days (Mon – Fri) and days off (Sat – Sun)





**Rys. 9**  
Zmienność temperatury c.w. i cyrkulacji w punkcie pomiarowym F2.1  
**Fig. 9 DHW and circulation water temperature variability at measurement point F2.1**



**Rys. 10**  
Zmienność temperatury c.w. i cyrkulacji w punkcie pomiarowym F2.2  
**Fig. 10 DHW and circulation water temperature variability at measurement point F2.2**

w punkcie F2.1 średnio o 1.38 K (pomiarzy 1.01.2022 – 01.12.2022 r.). Świadczyć to może o istotnym wychłodzeniu wody w poziomych przewodach rozprowadzających budynku K i niewłaściwej ich izolacji, choć może to też być skutkiem innych wartości temperatury wody cyrkulacyjnej powracającej z poszczególnych pionów. Wysokie spadki temperatur świadczą o tym, że izolacja cieplna przewodów c.w. i cyrkulacji jest ważnym elementem decydującym zarówno o efektywności energetycznej systemu zaopatrzenia w ciepło budynków mieszkalnych, jak i o nakładzie energetycznym na przygotowanie c.w. i utrzymanie jej temperatury.

### Nakład ciepła na przygotowanie c.w.

W kompleksie A ilość ciepła wykorzystana na podgrzanie c.w. oraz utrzymania jej temperatury mierzona jest za pomocą licznika ciepła zamontowanego w kotłowni. Metodę różnicową zastosowano przy wyznaczaniu HIF dla kompleksu B. Współczynnik nakładu ciepła HIF (Heat Input Factor) obliczono dla kompleksu A i dla kompleksu B dla kolejnych miesięcy roku 2024. Dla kompleksu A ciepło mierzone jest ciepłomierzem w kotłowni, dla kompleksu B zastosowano metodę różnicową (dysponując pomiarem z ciepłomierza głównego i ciepłomierza zainstalowa-

nego dla obiegu c.o.). Wyniki przedstawiono w tab. 1. i tab. 2. Najniższe wartości współczynnika HIF osiąga w miesiącach letnich, choć w sierpniu w kompleksie A wartość ta była na poziomie lutego. Wpływ na tak dużą wartość nie tyle miały temperatury wody, ale udział strat ciepła na cyrkulację w stosunku do zużycia wody (znacząco zmniejszonego w wyniku okresu urlopowego). Większymi wartościami HIF od kompleksu A charakteryzuje się kompleks budynków B. Dla porównania, w tab. 1 i 2 podano również jednostkowy nakład ciepła obliczony w oparciu o zmierzone zużycie ciepłej wody (wodomierz przed układem przygotowania c.w.) i mie-

**Tabela. 1 Współczynnik nakładu ciepła (Heat Input Factor – HIF) dla kompleksu A**  
**Table 1. Heat Input Factor (HIF) for complex A**

Miesiąc	HIF GJ/m <sup>3</sup>	względne Q <sub>CW</sub> GJ/m <sup>3</sup>	Ratio
	(1)	(2)	(1)/(2)
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	1.913
maj	0.264	0.130	2.022
czerwiec	0.249	0.120	2.069
lipiec	0.256	0.118	2.161
sierpień	0.283	0.130	2.178
wrzesień	0.276	0.141	1.957
październik	0.306	0.167	1.834
listopad	0.317	0.184	1.720

zoną temperaturę wody zimnej i ciepłej. Nie uwzględnia on zatem strat ciepła na cyrkulację.

Roczny (dla 11 miesięcy 2024 r.) HIF dla kompleksu A wynosi 0,280 GJ/m<sup>3</sup>.

**Tabela. 2 Współczynnik nakładu ciepła (Heat Input Factor – HIF) dla kompleksu B**  
**Table 2. Heat Input Factor (HIF) for complex B**

Miesiąc	HIF GJ/m <sup>3</sup>	względne Q <sub>CW</sub> GJ/m <sup>3</sup>	Ratio
	(1)	(2)	(1)/(2)
styczeń	brak danych	brak danych	brak danych
luty	0.355	0.197	1.802
marzec	0.339	0.184	1.842
kwiecień	0.328	0.184	1.783
maj	0.289	0.164	1.762
czerwiec	0.272	0.143	1.902
lipiec	0.269	0.124	2.169
sierpień	0.279	0.123	2.268
wrzesień	brak danych	brak danych	brak danych
październik	0.298	0.153	1.948
listopad	0.374	0.178	2.084

### Dyskusja i konkluzje

Zmniejszenie lub zwiększenie wartości HIF w okresie letnim może być mylące. Przykładem może być HIF dla miesiąca sierpnia w kompleksie A, gdzie wzrost jego wartości informuje o pogorszeniu efektywności energetycznej, ale jednocześnie zmalało również całkowite zużycie ciepła (na skutek zmniejszenia zużycia c.w.). Przy zmniejszeniu wartości HIF może też następować pogorszenie efektywności energetycznej. W tym okresie temperatura wody zimnej dopływającej do układu przygotowania c.w. jest wyższa i w rzeczywistości względny nakład ciepła (odniesiony do obliczonego teoretycznie) dość istotnie rośnie. Dla każdego miesiąca można wyliczyć teoretyczne ciepło na c.w. z uwzględnieniem temperatury wody wodociągowej (zimnej). Na podstawie takich pomiarów można wyznaczyć ile dodatkowej energii (ciepła) jest kierowane do układu, w odniesieniu do wartości teoretycznej. W okresie lata wartości te wychodzą duże i pokazują jak dużo ciepła wykorzystywane jest na cyrkulację oraz straty ciepła ogólnie. Wymaga to dalszych badań i analiz, jak i przyszłych analiz wymagają inne problemy napotkane w czasie opisanych w artykule prac badawczych. M.in. po modernizacji źródła ciepła w kompleksie budynków B obserwowano awarie zaworu regulacyjnego c.w. w nowym węźle cieplnym (stałe otwarcie zaworu). Awaria taka nie skutkowała brakiem c.w. dla odbiorców, więc była trudna do szybkiej identyfikacji. W przypadku węzła cieplnego ciepło na przygotowanie c.w. wyznaczono metodą

różnicową, co też mogło mieć wpływ na dokładność uzyskiwanych wyników.

## Wnioski i podsumowanie

Przedstawione w artykule wyniki badań w obiektach rzeczywistych pokazują na zmienność wartości temperatury c.w. i wody cyrkulacyjnej, której przebieg zależy od indywidualnych cech instalacji, ale również od rodzaju źródła ciepła i układu przygotowania c.w. Większe wahania temperatur występują w instalacjach z pojemnościowymi podgrzewaczami c.w. Ponieważ w Polsce rzadkością są instalacje wyposażone w baterie termostacyjne, zmienność temperatury c.w. raczej nie wpływa na strumień pobieranej c.w., ale na temperaturę mieszaniny powstającej w baterii czepalnej, najczęściej bez zaważenia takich zmian przez użytkownika instalacji.

Pomimo postępu technologicznego, coraz lepszej izolacji przewodów instalacji c.w. oraz wyposażania instalacji w regulacyjną armaturę podpionową, nadal obserwowane są problemy z zapewnieniem wymaganej temperatury c.w. u jej odbiorców, w postaci zbyt niskiej temperatury w punktach poboru lub zbyt długiego okresu oczekiwania (konieczność zrzutu przez mieszkańca wody wychłodzonej). Zawory termostacyjne nie zawsze zapewniają prawidłowego równoważenia hydraulicznego instalacji c.w., a w przypadku otwarcia większej ich liczby, przepływ wody cyrkulacyjnej może odbywać się przez obiegi o najmniejszym oporze (piony najbliższe źródła ciepła). Jest to istotny problem, szczególnie gdy układ przygotowania c.w. jest wspólny dla kilku budynków oraz w instalacji występują znaczne wahania temperatury ciepłej wody (histereza w sterowaniu pracą instalacji z podgrzewaczami c.w.).

Rzeczywisty nakład ciepła na przygotowanie c.w., jej dostarczenie i zapewnienie komfortu użytkownika jest znacznie większy niż wynika to z założeń teoretycznych przyjmowanych do bilansu ciepła. Uwzględnienie rzeczywistych wartości temperatury wody zimnej na wejściu do układu przygotowania c.w. dodatkowo wpływa na obniżenie efektywności energetycznej systemu, która w większości analiz obliczana jest na podstawie projektowej temperatury wody zimnej (5 lub 10°C).

Możliwości poprawy efektywności energetycznej instalacji c.w. (a tym samym również systemów zaopatrzenia w ciepło budynków) należy szukać w dalszej poprawie izolacyjności przewodów wody ciepłej i cyrkulacji (większa staranność wy-

konania, lepsze materiały, większa grubość izolacji, zastosowanie zaworów termostacyjnych z dodatkową funkcją regulacji statycznej, itp.), a na etapie projektowania budynku również poprzez ograniczenie długości przewodów instalacji i prowadzenie ich w przestrzeniach, w których będzie jak najmniejsze oddziaływanie niskich temperatur otoczenia. Prace te można wykonać w zasadzie wyłącznie na etapie budowy obiektu. Później jest już ograniczona możliwość naprawy czy modernizacji, zarówno poprzez brak dostępu do przestrzeni, przez które poprowadzono instalację, jak i konieczność zapewnienia niezbędnych prześwitów, wysokości lub szerokości minimalnych w obszarach komunikacji (np. hale garażowe). Trudniej jest też zapewnić ciągłość izolacji.

Zapewnienie prawidłowej pracy instalacji cyrkulacyjnej nie tylko umożliwia utrzymanie wymaganej temperatury c.w., ale również może prowadzić do obniżenia nakładu ciepła na przygotowanie c.w. Niezbędne jest współdziałanie zaworów termostacyjnych i elementów dławiących (np. zawory równoważące, ewentualnie kryzy). Ważne jest też utrzymywanie armatury w odpowiednim stanie technicznym i funkcjonalnym, jak i okresowa kontrola nastaw. Z uwagi na jakość wody wodociągowej precyzyjna armatura regulacyjna z czasem zarasta kamieniem kotłowym, postępuje korozja, co prowadzi do awarii (nie zawsze prostych do wykrycia). W starych instalacjach kamień kotłowy może prowadzić do zatkania przewodów instalacji cyrkulacyjnej. Takie stany nieprawidłowej pracy elementów instalacji nie muszą skutkować brakiem dostępu do c.w., a zatem nie skutkują zgłaszaniem przez użytkowników. Są niewidoczne, więc też nie są naprawiane. Okresowa regulacja instalacji cyrkulacyjnej również może wpłynąć na poprawę działania, a przede wszystkim na zmniejszenie zużycia ciepła.

W obu kompleksach budynków, w których prowadzono badania, przeprowadzona została regulacja hydrauliczna instalacji. Tym można wyjaśnić dość niskie wartości wskaźników HIF w obu kompleksach budynków. Badania, wstępnie wykonywane w innych obiektach (od lat bez regulacji) wskazują na znacznie większe wartości (0,450-0,540 GJ/m<sup>3</sup>) tego wskaźnika. Będzie to jednak dopiero przedmiotem kolejnych badań i analiz.

Z punktu widzenia monitorowania efektywności energetycznej budynków zasadne jest zapewnienie pomiaru temperatury wody zimnej. Powszechne wykorzystywanie w obliczeniach stałej (projek-

towej) temperatury wody zimnej może prowadzić do pomijania problemów występujących w instalacji i przyczyniać się do błędnych wniosków, zaniechania działań naprawczych, przy równoczesnym utrzymywaniu przez lata wysokiego nakładu ciepła na przygotowanie c.w. Dla użytkowników i właścicieli lokali korzystających z wody i ciepła prowadzi to do zawyżonych rachunków i opłat. Jako użytkownicy końcowi nie mają oni jednak żadnych instrumentów i metod aby stwierdzić, a tym bardziej zdiagnozować stan takich "bezobjawowych" awarii. Dlatego duża odpowiedzialność spoczywa na administratorach i zarządcach budynków, jak również na środowiskach naukowych, które powinny identyfikować zarówno metody monitoringu, jak i standardy odpowiedniego utrzymania instalacji, gwarantujące wysoką efektywność energetyczną i niezawodność.

Bez poprawy działania w takich obszarach będzie trudno uzyskiwać wysokie rzeczywiste wskaźniki efektywności, ograniczać zużycie ciepła, zmniejszać emisję CO<sub>2</sub>. Dobór OZE do takich nieefektywnych systemów nie tylko będzie kosztowny (np. przewymiarowanie), ale również prowadzić będzie do utrudnionej ich eksploatacji.

## 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., 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
- [3] 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
- [4] 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
- [5] 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.buildenv.2016.08.038>
- [6] Dudziński K., Nowa dyrektywa wzmacnia możliwości oszczędnego gospodarowania ciepłem w budynkach mieszkalnych, INSTAL 2/2019, s. 26-28.
- [7] Dutkiewicz E., Fidorów-Kaprawy N., The energy analysis of a hybrid hot tap water preparation system based on renewable and waste sources, *Energy* nr 127, 2017, s. 198-208, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.03.061>



- [8] Dwojak A., Przed dekarbonizacją, INSTAL 11/2024, s. 13-19.
- [9] 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>
- [10] Fijewski M., Możliwość energetycznej poprawy pracy instalacji cyrkulacyjnej ciepłej wody, INSTAL 12/2023, s. 67-73. DOI 10.36119/15.2023.12.10
- [11] Fraga C. i inni, Heat pump systems for multifamily buildings: Potential and constraints of several heat sources for diverse building demands, *Applied Energy*, vol. 225, 2018, s. 1033-1053, DOI 10.1016/j.apenergy.2018.05.004
- [12] 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>
- [13] Grismanis I 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
- [14] GUS, Zużycie nośników energii w gospodarstwach domowych w 2021 r., 29.04.2024, [stat.gov.pl](http://stat.gov.pl) (dostęp 25.11.2024)
- [15] Iglesias F., Palensky P., Profile-based control for central domestic hot water distribution. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 2014, <https://doi.org/10.1109/TII.2013.2275032>
- [16] Jaszewska 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] Kachalowski Y., Matuska Tomas M., Performance of heat pump system for water heating in European climate, *E3S Web of Conferences*, Vol. 182, 03006, 2020, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202018203006> CPEEE
- [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] Nowak B., Bartnicki G., Rzeczywista charakterystyka energetyczna systemu zaopatrzenia w ciepło, *Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, COW* 7-8/2008, s. 11 – 14.
- [20] Nowak B., Bartnicki G., Klimczak M., Efektywność energetyczna lokalnego systemu ogrzewczego zaopatrującego w ciepło budynki mieszkalne, *COW* 2/2011, s. 65 – 68.
- [21] Okubanjo A., Ofulagba 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
- [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 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.
- [24] Szaflik W., Zużycie wody w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych, INSTAL 10/2020, s. 18 – 21. DOI 10.36119/15.2020.10.2
- [25] Szaflik W., Współpraca cyrkulacyjnych podpionowych zaworów termoregulacyjnych z instalacją ciepłej wody i ich dobór, *COW* 12/2007, s. 16 – 18
- [26] Szaflik W., Projektowanie instalacji ciepłej wody w budynkach mieszkalnych, *Ośrodek Informacji „Technika instalacyjna w budownictwie”*, 2011.
- [27] Urban F., Geall S., Wang Y., Solar PV and solar water heaters in China: Different pathways to low carbon energy, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* nr 64, 2016, s. 531-542, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.06.023>
- [28] Wojtkowiak J., Oleszkowicz-Popiel C., Investigations of hot water temperature changes at the pipe outflow, *E3S Web of Conferences*, 2017, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20172200186>
- [29] 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
- [30] Życzwińska A., Analiza zmienności charakterystyki energetycznej na przykładzie budynku wielorodzinnego, *Monografie – Politechnika Lubelska, Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej*, Lublin 2019