

Możliwości energetycznej poprawy pracy instalacji cyrkulacyjnej ciepłej wody

Possibilities of refinement of hot water recirculation system in terms of energy demand

MICHAŁ FIJEWSKI

DOI 10.36119/15.2023.12.10

W artykule przedstawiono analizę danych obrazujących pracę instalacji cyrkulacyjnej ciepłej wody w budynku mieszkalnym wielorodzinnym, a także szczegółowe wytyczne i ocenę ich wpływu na pracę pompy cyrkulacyjnej. Opisano wpływ instalacji cyrkulacji ciepłej wody na wskaźnik energii nieodnawialnej EP oraz koncepcję sterowania programowego w instalacji cyrkulacji c.w. z przeglądem urządzeń do sterowania programowego pracą pompy. W części badawczej przybliżono charakterystykę budynku, w którym przeprowadzone zostały pomiary jego układu przygotowania ciepłej wody. Wyniki badań opracowano oraz zaprezentowano w postaci wykresów w taki sposób, by możliwa była ocena pracy układu przygotowania c.w. oraz oszacowanie możliwości sterowania instalacją cyrkulacyjną. W końcowej części artykułu przedstawione zostały wytyczne do energetycznej poprawy pracy instalacji cyrkulacji ciepłej wody, takie jak wybór urządzenia sterującego, sposób jego wpięcia do układu oraz wytyczne pracy. Przeprowadzono również ocenę energetycznej poprawy pracy instalacji cyrkulacyjnej na podstawie wpływu wprowadzonego sposobu sterowania na wskaźnik EP oraz zużycie i koszty energii elektrycznej.

Słowa kluczowe: cyrkulacja ciepłej wody, instalacja cyrkulacyjna, pompa cyrkulacyjna, sterowanie programowe

The article presents an analysis of data showing the operation of a circulation system in a multi-family residential building. It also presents detailed guidelines and an assessment of their impact on the quality of the circulation pump's operation. The article discusses the impact of a hot water circulation system on the EP primary energy index and the concept of programme control in a hot water circulation system with an overview of devices for programme control of pump operation. In the research part, the characteristics of the building in which measurements of its hot water preparation system were made were presented. The results of the measurements were developed and presented in the form of graphs which enable the evaluation of the quality of operation of the domestic hot water preparation system and the estimation of the possibility of controlling the circulation installation. The final part of the article presents guidelines for improving the energy efficiency of hot water circulation installations, such as selection of the control device, its connection to the system, and operating guidelines. An evaluation of the energy improvement in the quality of the circulation installation was also carried out on the basis of the impact of the introduced control method on the EP index as well as electricity consumption and costs.

Keywords: hot water circulation, circulation system, circulation pump, program control

Istota stosowania cyrkulacji c.w.

Stosowanie cyrkulacji ciepłej wody związane jest przede wszystkim z komfortem użytkowników poprzez skrócenie do minimum czasu oczekiwania na wodę o odpowiedniej temperaturze. Przy braku cyrkulacji c.w. od momentu otwarcia punktu poboru do pojawienia się w nim ciepłej wody czas oczekiwania to od kilkunastu sekund do nawet kilku minut, w zależności od rozległości instalacji, co odpowiada stratom od 7 do nawet 20 litrów wody przy jednorazowym poborze [1]. Oprócz znacznego podniesienia komfortu użytkownika instalacji c.w. i skrócenia do minimum czasu oczekiwania na wodę o odpowiedniej temperaturze, instalacja cyrkulacyjna przynosi również wymierne korzyści w postaci niższych wskazań na wodomierzach, a tym samym niższych rachunków za dostarczoną wodę oraz odprowadzone ścieki. Przy założeniu, że punkty czerpalne uruchamiane są przez trzy-

osobową rodzinę 20 razy dziennie, otrzymać można oszczędności na poziomie od 24,40 do 69,70 złotych miesięcznie na rachunku za wodę oraz od 26,82 do 76,63 złotych miesięcznie na rachunku za odprowadzenie ścieków [2]. Jest to więc rozwiązanie zarówno proekologiczne jak i ekonomiczne.

Z uwagi na zalety związane ze stosowaniem cyrkulacji w instalacji c.w., polskie przepisy narzucają jej wykonywanie w wielorodzinnych budynkach mieszkalnych, co zapisano w „Rozporządzeniu...” [3], że „w budynkach, z wyjątkiem jednorodzinnych, zagrodowych i rekreacji indywidualnej, w instalacji ciepłej wody powinien być zapewniony stały obieg wody, także na odcinkach przewodów o objętości wewnątrz przewodu powyżej 3 dm³ prowadzących do punktów czerpalnych”.

Ważnym aspektem, zarówno w kontekście prawnym jak i w bezpiecznej eksploatacji instalacji, jest zachowanie odpowiedniej

jakości c.w. Priorytetem w utrzymaniu czystości wody jest zwalczanie bakterii z rodzaju Legionella. Według Światowej Organizacji Zdrowia, liczba ofiar śmiertelnych Legionelli sięga od 20 do 100 tys. osób rocznie [4]. Przeprowadzane badania wykazały, że bakteria występuje w 12÷70% systemach dystrybucji wody. Temperatura sprzyjająca kolonizacji bakterii mieści się w zakresie 25÷45°C, a najintensywniejsze rozmnażanie występuje w zakresie temperatur 37÷43°C [5]. W wyższych temperaturach liczba bakterii zmniejsza się. Czas zdziesiątkowania wynosi: około 10 minut w temperaturze 55°C oraz około 2 minut w temperaturze 60°C, pół minuty w 70°C [5]. Zgodnie z wymogami dyrektywy UE 2020/2184 [6] wymaga się identyfikacji tzw. punktów krytycznych, w tym wypadku warunków, które mogą sprzyjać występowaniu i namnażaniu się bakterii z rodzaju Legionella w wewnętrznych instalacjach wodociagowych oraz podjęcia działań naprawczych

mających na celu ograniczenie lub eliminowanie występowania warunków sprzyjających namnażaniu się Legionella sp. [7].

Istniejące przepisy przewidują więc konieczność utrzymania temperatury ciepłej wody na poziomie 55÷60°C oraz okresowe przeprowadzanie dezynfekcji termicznej przy temperaturze 70°C. Wymuszając jej obieg w przewodach pozwala się nie tylko na utrzymanie wymaganej temperatury przez wystarczająco długi czas, by zminimalizować ryzyko rozwoju bakterii, ale również eliminuje się zjawisko powstawania zastoin będących dogodnym miejscem do namnażania się mikroorganizmów.

Wpływ cyrkulacji na wskaźnik energii nieodnawialnej EP

Wskaźnik energii nieodnawialnej EP to wskaźnik określający roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną, który zamieszczany jest na świadectwie charakterystyki energetycznej budynku lub jego części. Rozporządzenie [8] określa maksymalne wartości wskaźnika EP na potrzeby ogrzewania, wentylacji oraz przygotowania ciepłej wody dla budynków mieszkalnych wielorodzinnych jako 65 kWh/(m²·rok) oraz metodologię wyznaczania charakterystyki energetycznej.

W kontekście cyrkulacji ciepłej wody istotna jest sprawność przesyłu. Jeżeli nie są dostępne dane umożliwiające jej wyznaczenie, należy odczytać je z rozporządzenia [8]. Fragmentaryczne zestawienie (dotyczące tematyki artykułu) uwzględniające wpływ cyrkulacji przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Wartości średniej rocznej sprawności $\eta_{W,d}$ przesyłu ciepła od źródła ciepła do punktów czerpalnych

Lp.	Rodzaj systemu przygotowania ciepłej wody	$\eta_{W,d}$
5	Centralne przygotowanie c.w. – z obiegami cyrkulacyjnymi, z izolacją pionów i z izolacją przewodów rozprowadzających	
5.1	Liczba punktów poboru ciepłej wody: a) do 30, b) powyżej 30 do 100, c) powyżej 100	0,70 0,60 0,50
6	Centralne przygotowanie c.w. – z obiegami cyrkulacyjnymi z ograniczeniem czasu pracy, z izolacją pionów i z izolacją przewodów rozprowadzających	
6.1	Liczba punktów poboru ciepłej wody: a) do 30, b) powyżej 30 do 100, c) powyżej 100	0,80 0,70 0,60

Zapotrzebowanie systemu przygotowania ciepłej wody na energię pomocniczą końcową $E_{el,pom,W}$ w kWh/rok opisane jest zależnością:

$$E_{el,pom,W} = \sum_i q_{el,W,i} \cdot t_{el,i} \cdot A_f \cdot 10^{-3} \quad (1)$$

gdzie:

$q_{el,W,i}$ – zapotrzebowanie j-tego urządzenia pomocniczego systemu przygotowania ciepłej wody na moc elektryczną, W/m²;

$t_{el,i}$ – czas działania j-tego urządzenia pomocniczego systemu przygotowania ciepłej wody, h/rok ;

A_f – ogrzewana powierzchnia, m².

Czas działania $t_{el,i}$ pomp cyrkulacyjnych będących urządzeniami pomocniczymi systemu przygotowania c.w. należy przyjąć jako 8760 godzin w przypadku pracy ciągłej, bądź według przyjętego sposobu ich działania. Zapotrzebowanie pomp cyrkulacyjnych na moc elektryczną $q_{el,W,i}$ oblicza się na podstawie ich mocy z uwzględnieniem współczynników korekcyjnych dla struktury sieci przewodów, jej zrównoważenia hydraulicznego oraz sposobu sterowania. Jeśli dane do wyznaczenia $t_{el,i}$ oraz $q_{el,W,i}$ nie są dostępne, należy przyjąć wartości według rozporządzenia [8]. Zestawienie wielkości istotnych z punktu widzenia cyrkulacji c.w. przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Wartości zapotrzebowania na moc elektryczną do napędu urządzeń pomocniczych q_{el} [W/m²] oraz wartości czasu ich działania t_{el} [h/rok]

Lp.	Rodzaj urządzenia pomocniczego	q_{el} [W/m ²]	t_{el} [h/rok]
1	Pompy cyrkulacyjne systemu przygotowania c.w.:	0,15	8760
	a) o działaniu ciągłym w budynku o powierzchni A_f do 250 m ² ,	0,04	7300
	b) o pracy przerywanej do 4 godzin na dobę w budynku o powierzchni A_f powyżej 250 m ² ,	0,04	5840
	c) o pracy przerywanej do 8 godzin na dobę w budynku o powierzchni A_f powyżej 250 m ²		

Sterowanie programowe w instalacji cyrkulacji c.w.

Koncepcja sterowania programowego pracy pompy cyrkulacyjnej

Zadaniem stawianym współczesnym instalacjom cyrkulacyjnym jest zapewnienie jak najkrótszego czasu oczekiwania na c.w. w punkcie czerpalnym oraz możliwie jak największej oszczędności energii. W każdym budynku – nawet wielorodzinnym – występują momenty, w których pobór wody jest na tyle duży, że nie ma potrzeby utrzymywania cyrkulacji ciepłej wody. Ergooszczędność można osiągnąć wprowadzając programowe sterowanie pracą obiegu cyrkulacyjnego. Rozwiązanie takie, poprzez ograniczenie poboru energii elektrycznej i ciepła, przynosi wymierne korzyści ekonomiczne. Jeśli istnieje możliwość wyłączenia pompy cyrkulacyjnej przykładowo na 6 godzin w ciągu doby, można tym samym uzyskać oszczędności na poziomie 25% energii elektrycznej.

W niektórych przypadkach wdrożenie sterowania programowego cyrkulacją nie wymaga nakładów finansowych na sprzęt, a jedynie przeprowadzenia prac inżynierskich. Zależnie od poziomu zautomatyzowania pracującego w instalacji źródła ciepła, sterowanie można zrealizować w następujący sposób [9]:

- Wprowadzając zewnętrzny zegar sterujący pracą pompy cyrkulacyjnej;
- Zastępując pompę cyrkulacyjną pompą z zegarem sterującym;
- Wykorzystując istniejący regulator źródła ciepła do sterowania godzinowego pompą;

- Wykorzystując istniejący regulator źródła ciepła do sterowania pompą według harmonogramu dobowego lub tygodniowego;

- Wykorzystując istniejący w budynku układ BMS (Building Management System) lub BEMS (Building Energy Management System);

- Dostosowując w inny sposób do warunków zastanych w budynku.

Automatyczna regulacja pozwala na tak zwaną inteligentną pracę pompy, umożliwiając jej tym samym [10]:

- Pracę według zadanych scenariuszy z uwzględnieniem sprzężenia zwrotnego określonych parametrów (np. różnicy temperatury);
- Sterowanie zdalne (np. z aplikacji mobilnej);
- Włączenie do układu BMS lub BEMS pozwalającego na współpracę urządzeń oraz archiwizację danych pozwalających korygować pracę instalacji.

Przykładowym rozwiązaniem sterowania programowego może być konfiguracja, w której sterownik, dzięki sygnałowi z odpowiedniego czujnika, wykrywa brak przepływu wody i załącza pompę, której praca zapewnia utrzymanie właściwej temperatury ciepłej wody przed punktem czerpalnym. Przy jednoczesnej kontroli temperatury w gałęzi cyrkulacyjnej, sterownik załącza pompę tylko w przypadku obniżenia jej wartości poniżej zadanej. Taka organizacja minimalizuje straty ciepła i czas pracy pompy oraz zapewnia oszczędność energii.

Wprowadzanie sterowania programowego w każdym rodzaju budynku – także wielorodzinnym, należy przeprowadzić z koniecznym uwzględnieniem następujących aspektów [9]:

- Czasowy harmonogram załączania i wyłączania pompy musi być dostosowany do rzeczywistego harmonogramu użytkownika instalacji;
- Korzystanie z instalacji c.w. powinno być ekonomiczne oraz komfortowe dla użytkowników;
- Instalacja wymaga zabezpieczenia przed przekroczeniem granicznych wartości poszczególnych parametrów, a także zabezpieczenia przed zamazaniem.

Opracowanie ekonomicznego a zarazem komfortowego sterowania programowego pompą cyrkulacyjną osiągnąć można w oparciu o rzeczywisty profil rozbioru ciepłej wody oraz właściwości dynamiczne obsługiwanej przez pompę instalacji c.w. Wymaga to przeprowadzenia monitoringu zużycia ciepłej wody oraz pomiarów wykonanych w eksploatowanym obiekcie.

Przegląd sposobów sterowania programowego

Jednym z podstawowych sposobów minimalizacji strat powstających podczas funkcjonowania obiegu cyrkulacyjnego jest sterowanie termostatyczne. Realizuje się je poprzez

zamontowanie tzw. termostatu na przewodzie powrotnym cyrkulacji. Jego zadaniem jest pomiar temperatury wody lub przewodu przy pomocy czujnika oraz wyłączenie pompy cyrkulacyjnej, gdy mierzona temperatura osiągnie zadaną wartość, a następnie załączenie jej gdy mierzona wartość spadnie poniżej dopuszczalnej [11].

Przykładowym urządzeniem pozwalającym zrealizować takie zadanie jest sterownik temperaturowy SP-04 C.W.U. producenta KG Elektronik. Zakres regulacji temperatury sterownika to 10-90°C z histerezą 5°C. Pozwala on również na realizację zabezpieczenia instalacji przed przegrzaniem w postaci alarmu przy 90°C. Pod względem konstrukcyjnym składa się z: korpusu, na którym znajduje się potencjometr, wyłącznika ręcznego trybu pracy pompy, wyłącznika zasilania, diody sygnalizującej pracę pompy oraz diody sygnalizującej zasilanie, a także z czujnika temperatury, przewodu zasilania pompy oraz przewodu zasilania [12].

Kolejnym sposobem organizacji pracy układu cyrkulacji jest zastosowanie harmonogramu pracy pompy, np. tygodniowego. Można go wprowadzić przy pomocy sterownika zegarowego pompy cyrkulacyjnej wyłączającego ją w wyznaczonych uprzednio okresach zwiększonego poboru wody. Sterownik zegarowy umożliwia również sterowanie interwałowe, które polega na naprzemiennym załączaniu i wyłączaniu pompy na określony czas. Osiągany w wyniku takiego sterowania efekt jest zbliżony do sterowania temperaturowego. Sterowanie czasowe pozwalają wprowadzić zarówno urządzenia mechaniczne z obrotową tarczą jak i sterowniki elektroniczne. Przy wyborze rodzaju urządzenia należy wziąć pod uwagę, że sterowniki mechaniczne wymagają korekty czasu po każdej przerwie w dostawie prądu, natomiast urządzenia elektroniczne mogą samodzielnie przeprowadzić reset ustawień oraz oferują szerszy zakres funkcji [11].

Za przykład urządzenia pozwalającego prowadzić pracę instalacji według harmonogramu może posłużyć zegar sterujący tygodniowy PCZ-521.3 PLUS producenta F&F. Jest to jednokanałowy, programowalny zegar sterujący, który posiada pamięć 500 kroków programu. Zegar ten może pracować w trybie ręcznym lub automatycznym w cyklu tygodniowym. Programowanie urządzenia może odbywać się bezpośrednio w nim bądź też zdalnie za pomocą aplikacji mobilnej, gdyż zegar wyposażony jest w moduł komunikacji bezprzewodowej NFC. W przypadku braku zasilania zewnętrznego, jego ustawienia podtrzymuje wymienna bateria. Kontrolę pracy sterownika ułatwia wyświetlacz z regulowanym poziomem jasności oraz kontrastu a także wskaźnik poziomu naładowania baterii. Zegar sterujący PCZ-521.3 PLUS załącza i wyłącza obsługiwany obwód elektryczny zgodnie z wprowadzonym cyklem tygodniowym o zaprogramowanych porach. Daje możliwość ustawienia programów z powta-

rzalnością dzienną, tygodniową lub w wybranych dniach np. z podziałem na dni robocze od poniedziałku do piątku oraz wolne od soboty do niedzieli. Zapewnia również automatyczne przełączenie pomiędzy czasem zimowym i letnim [13].

Alternatywą może być uruchamianie układu cyrkulacji „na żądanie” tzn. w okresach braku lub małego poboru wody ciepłej. W takim rozwiązaniu urządzenie sterujące musi otrzymać odpowiedni sygnał związany z przepływem, by załączyć lub wyłączyć pracę pompy cyrkulacyjnej. Elementem sterującym w tym przypadku może być czujnik przepływu zainstalowany na przewodzie zasilającym instalacji c.w.

Powyższy sposób sterowania instalacją cyrkulacji c.w. umożliwia np. sterownik ST-11 Eco Circulation producenta TECH Sterowniki. Urządzenie to wyposażone jest w czujnik przepływu, dwa czujniki temperatury oraz wyświetlacz LCD. Kontroluje zadaną przez użytkownika temperaturę w gałęzi cyrkulacyjnej i tylko w przypadku obniżenia jej poniżej wartości zadanej oraz jednoczesnego otrzymania z czujnika przepływu sygnału o braku poboru ciepłej wody uruchamia pompę. Rozwiązanie takie minimalizuje straty ciepła w instalacji c.w., zużycie energii elektrycznej, wody oraz samej pompy cyrkulacyjnej. Czas pracy pompy może być zadany indywidualnie w zależności od potrzeb użytkowników. Drugi czujnik temperatury pozwala na jej kontrolowanie w źródle ciepła i umożliwia sterownikowi zabezpieczenie instalacji przed przegrzaniem poprzez uruchomienie pompy. Ponadto urządzenie to realizuje funkcję antystop zabezpieczając pompę przed zablokowaniem się jej wirnika [14].

Badania instalacji c.w. i cyrkulacji w wielorodzinnym budynku mieszkalnym

Charakterystyka budynku

Pomiary zużycia c.w. oraz ciepła dostarczonego i pobranego na potrzeby jej przygotowania wykonane zostały w rzeczywistym obiekcie – wielorodzinnym budynku mieszkalnym zlokalizowanym we Wrocławiu. W obiekcie tym znajdują się łącznie 144 lokale mieszkalne.

Wodne instalacje wewnętrzne w całości wykonane zostały z polipropylenu. Istniejący w budynku układ przygotowania ciepłej wody opiera się na współpracy układu pomp z układem wymiennikowo-zasobnikowym oraz instalacją cyrkulacji c.w.

Pomiary

W obiekcie dokonano pomiarów następujących wielkości:

- Strumienia przepływu wody grzewczej na zasilaniu wymienników c.w.;
- Strumienia przepływu ciepłej wody ;
- Strumienia przepływu wody cyrkulacyjnej;
- Temperatury wody w grzewczej na zasilaniu wymienników c.w.;

- Temperatury wody w grzewczej na powrocie z wymienników c.w.;
- Temperatury wody ciepłej wody;
- Temperatury wody zimnej;
- Temperatury wody w instalacji cyrkulacji;
- Temperatury otoczenia.

Do wykonania pomiarów powyższych wielkości wykorzystano bezinwazyjne urządzenia ultradźwiękowe:

- przy pomiarach przepływu wody w instalacji wody ciepłej i grzewczej oraz przy pomiarach temperatury wody zimnej i ciepłej oraz zasilania i powrotu użyto przenośnego przepływomierza ultradźwiękowego FLUXUS F601 ;
- przy pomiarach przepływu cyrkulacyjnego użyto przenośnego przepływomierza ultradźwiękowego FUJI;
- przy pomiarach temperatury wody cyrkulacyjnej oraz temperatury otoczenia użyto bezprzewodowego systemu rejestracji temperatury WISENSYS.

Parametry wody ciepłej, zimnej i grzewczej rejestrowane były przez miernik FLUXUS w odstępach 10 minutowych. Przepływ wody cyrkulacyjnej rejestrowany był przez miernik FUJI co minutę. Miernik WISENSYS natomiast rejestrował temperaturę wody cyrkulacyjnej oraz temperaturę pomieszczenia co minutę. Pomiary obejmowały okres od lipca 2018 roku do lutego 2019 roku. Do analiz w niniejszym artykule wybrano trzy tygodnie:

- 20 – 26. sierpnia – jako poglądowy tydzień okresu letniego;
- 07 – 13. stycznia – jako poglądowy tydzień okresu zimowego;
- 22 – 28. grudnia – jako poglądowy tydzień okresu świątecznego.

Opracowanie wyników

Ocena pracy układu przygotowania c.w.

W budynkach wielorodzinnych chwilowe zużycie c.w. jest zmienne w ciągu doby, przez co wydatek ciepła w instalacji c.w. ulega zmianom w ciągu doby. Z uwagi na charakter potrzeb użytkowników, pobór ciepłej wody w punktach czerpalnych odbywa się przez czas stosunkowo krótki i w sposób losowy, instalacja natomiast musi być nieustannie gotowa do zapewnienia odpowiedniej ilości wody o wymaganej temperaturze.

Na określenie ilości ciepła potrzebnej do przygotowania ciepłej wody pozwala bilans ciepła. Całkowity strumień ciepła niezbędny do przygotowania c.w. wyrażony jest wzorem:

$$Q_{dost} = Q_{CW} + Q_{SW} + Q_{SI} \quad (2)$$

gdzie:

Q_{CW} – strumień ciepła potrzebny do podgrzania wody zimnej do wymaganej temperatury;

Q_{SW} – strumień strat ciepła w węźle;

Q_{SI} – strumień ciepła niezbędny do podtrzymania wymaganej temperatury ciepłej wody (wynikający ze strat na przesyle c.w. oraz instalacji cyrkulacji).

Graficzne zobrazowanie wyników umożliwia dobowy wskaźnik sprawności układu przygotowania ciepłej wody. Wskaźnik ten zdefiniowany jest jako stosunek ilości ciepła pobranego przez użytkowników z ciepłą wodą $Q_{c.w.}$ do całkowitej ilości ciepła dostarczonego do układu przygotowania ciepłej wody ciepła Q_{dost} , wyrażony następującym wzorem:

$$\eta = \frac{Q_{c.w.}}{Q_{dost}} \quad (3)$$

gdzie:

$Q_{c.w.}$ – strumień ciepła pobrany przez użytkowników z ciepłą wodą;

Q_{dost} – strumień ciepła dostarczony do układu przygotowania ciepłej wody.

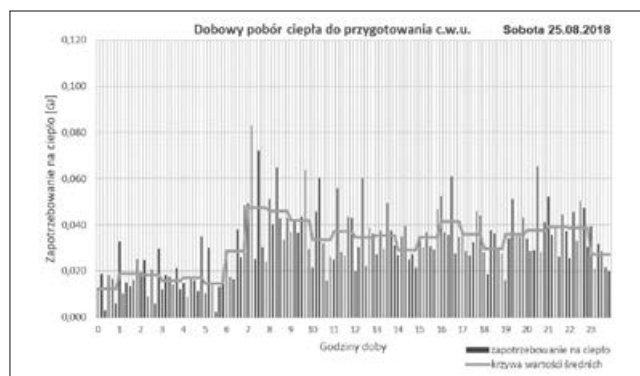
Analizując przykładowe wykresy przedstawione na rysunkach 1÷2, obrazujące zapotrzebowanie na ciepło oraz pobór c.w. w badanym budynku wielorodzinnym zaobserwować można następujące tendencje:

ści mieszkańców, jak na przykład poranna toaleta, przygotowywanie posiłków lub porządki w godzinach popołudniowych oraz kąpiele w godzinach wieczornych oraz zwyczajnie tygodniowe [15];

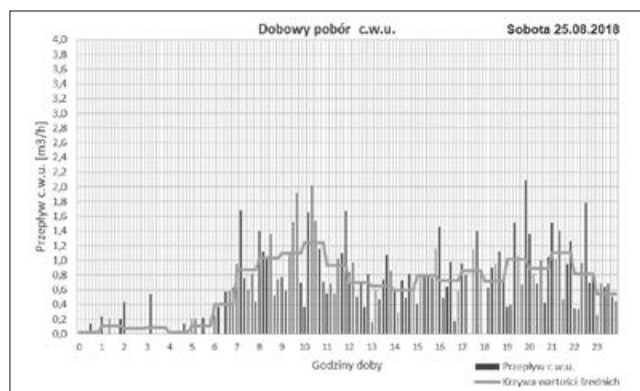
- Aktywności mieszkańców w weekend przesuwać się na godziny późniejsze w stosunku do dni powszednich;
- Możliwe jest zaobserwowanie osłabienia rozbioru c.w. w godzinach nocnych;
- Nocne osłabienie rozbioru najwyraźniejsze jest w dni świąteczne, ponieważ różnica między zapotrzebowaniem w ciągu dnia i w ciągu nocy jest największa. W okresie zimowym nocne osłabienie rozbioru jest nadal wyraźnie widoczne, latem natomiast różnica zapotrzebowania w ciągu dnia i w nocy jest mniejsza;
- Długość trwania nocnego osłabienia rozbioru c.w. jest mniejsza w dni robocze, natomiast większa w weekendy i święta;

stawiono na rysunku 3, pozwalają oszacować średnią tygodniową sprawność układu przygotowania ciepłej wody w badanym obiekcie na ok. 50÷60% w zależności od badanego okresu. Ponadto powyższe wykresy pozwalają zauważyć, że sprawność układu c.w. jest wprost proporcjonalna do zużycia przez użytkowników ciepłej wody – wraz ze wzrostem zużycia obserwuje się wzrost sprawności układu sięgającej nawet 75%. Zależność ta wskazuje na istotny (w tym przypadku negatywny) wpływ pracy instalacji cyrkulacji c.w. w energetycznym procesie przygotowania ciepłej wody – im mniejszy jest udział strumienia cyrkulacyjnego w całkowitym strumieniu ciepłej wody, tym wyższa jest całkowita sprawność układu przygotowania c.w.

W badanym budynku mieszkalnym wielorodzinnym instalacja cyrkulacji c.w. pracowała bez przerw – 24 godziny w ciągu doby, 7 dni w tygodniu. Pompa cyrkulacyjna, a tym



Rysunek 1. Dobowy pobór ciepła do przygotowania c.w. w przykładowy dzień weekendu okresu letniego

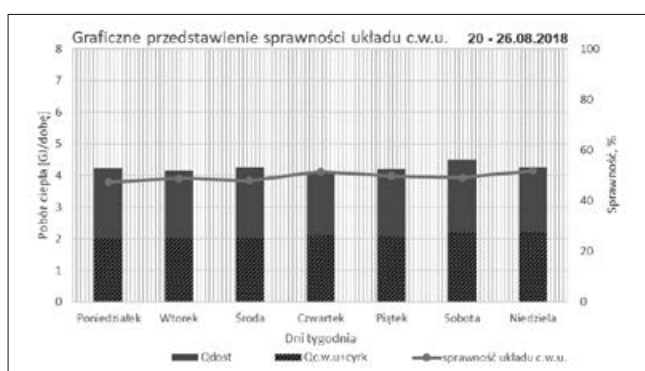


Rysunek 2. Dobowy pobór c.w. w przykładowy dzień weekendu okresu letniego

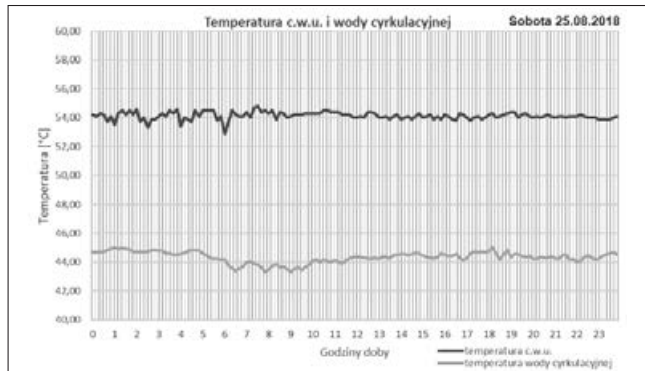
- Zapotrzebowanie na ciepło do przygotowania c.w. w okresie letnim jest najmniejsze. Większe wartości występują w okresie zimowym, a szczególnie wysokie w dni świąteczne. Wówczas zaobserwować można wartości poboru niemalże trzykrotnie większe niż w okresie letnim oraz dwukrotnie większe niż w okresie zimowym, a także skumulowanie rozbioru w środkowej części dnia;
- Rozbiór c.w. w ciągu doby ma charakter w dużej mierze losowy, jednak da się zauważyć pewne tendencje w aktywno-

- W oparciu o charakter poboru w analizowanych dniach można przyjąć, że w okresie letnim pobór ciepłej wody zanika od godziny 24 do godziny ok. 6 w zależności od dnia tygodnia;
- W oparciu o charakter poboru w analizowanych dniach przyjęto, że w okresie zimowym pobór ciepłej wody zanika od godziny 2 do godziny ok. 7 w zależności od dnia tygodnia.

Opracowane wyniki badań, których graficzną przykładową interpretację przed-



Rysunek 3. Graficzne przedstawienie sprawności układu c.w. – przykładowy tydzień okresu letniego



Rysunek 4. Temperatura c.w. i wody cyrkulacyjnej w przykładowy dzień weekendu okresu letniego

samym całą instalacją cyrkulacyjną nie posiadała żadnego sterowania, strumień cyrkulacyjny jest stały. Stan ten stwarza możliwość zmiany w pracy układu przygotowania ciepłej wody w budynku poprzez wprowadzenie odpowiedniego systemu sterowania pracą pompy cyrkulacyjnej i równocześnie całej instalacji. Modyfikacja taka pozwoli na zwiększenie sprawności instalacji, podniesienie wskaźników efektywności energetycznej oraz wygenerowanie oszczędności energii obniżając ponoszone przez mieszkańców budynku koszty eksploatacyjne.

Oszacowanie możliwości sterowania instalacją cyrkulacji c.w.

Odpowiednio dobrany sposób sterowania pracą instalacji cyrkulacyjnej powinien stanowić kompromis między maksymalnymi oszczędnościami, a zapewnieniem użytkownikom jak najwyższego komfortu korzystania z instalacji.

W celu doboru odpowiedniego rodzaju sterowania pracą pompy cyrkulacyjnej w badanym obiekcie, przeprowadzono analizę następujących parametrów: [16]

- Strumienia przepływu wody w instalacji cyrkulacyjnej;
- Temperatury wody w instalacji cyrkulacyjnej za pompą cyrkulacyjną;
- Temperatury c.w. na wyjściu z węzła przygotowania c.w.;
- Strumienia przepływu c.w.

Pompa cyrkulacyjna zainstalowana w układzie to pompa jednobiegowa o stałej wydajności, co znalazło odzwierciedlenie w pomiarach strumienia przepływu wody cyrkulacyjnej. Średnia wartość strumienia przepływu w gałęzi cyrkulacyjnej w trzech analizowanych tygodniach wynosi odpowiednio:

- 2,6 m³/h w okresie letnim;
- 2,3 m³/h w okresie zimowym;
- 2,3 m³/h w okresie świątecznym.

Pomimo zaobserwowanych zmian w wartości strumienia cyrkulacyjnego można jednak przyjąć, że mamy do czynienia ze stałym strumieniem cyrkulacyjnym w układzie. Z tego względu odpada możliwość sterowania pracą pompy cyrkulacyjnej w oparciu o jej wydajność.

Temperaturę wody w zbiorczym przewodzie cyrkulacyjnym za pompą cyrkulacyjną w obrębie węzła oraz temperaturę c.w. na wyjściu z układu przygotowania c.w. w wybranym okresie przedstawiono na rysunku 4.

Całościowo, wykresy te pokazują, że temperatura ciepłej wody w okresie letnim przyjmuje w ciągu doby wartości z zakresu 53 ÷ 55°C. W okresie zimowym natomiast zaobserwowano obniżenie temperatury ciepłej wody i w ciągu doby przyjmuje ona wartości od ok. 51°C do 54°C. W przypadku temperatury wody w gałęzi cyrkulacyjnej zaobserwowano analogiczną tendencję – w okresie letnim waha się ona w ciągu doby od ok. 43°C do 45°C, a w okresie zimowym obniża się do wartości od 41°C do 44°C. Sporządzone wykresy pozwalają zaobserwować, że przebieg zmian temperatury wody cyrkulacyjnej w poszczególnych godzinach doby jest odzwierciedleniem przebiegu temperatury c.w. oraz strumienia cyrkulacyjnego, który w tym obiekcie charakteryzuje się niewielkimi zmianami. Różnica między mierzonymi wartościami temperatury wody ciepłej i cyrkulacyjnej utrzymuje się na poziomie 10°C. Wartość ta opisuje spadek temperatury strumienia cyrkulacyjnego w instalacji między punktami pomiarowymi znajdującymi się w węźle przygotowania c.w. Wahania temperatury zarówno wody ciepłej jak i cyrkulacyjnej w ciągu doby mają charakter losowy i utrzymują się na poziomie 2÷3°C, co

stanowi różnice zbyt niskie, by oprzeć na nich scenariusz sterowania pracą pompy cyrkulacyjnej. Wynika to z faktu, że urządzenia pomiarowe, choć ich dokładność jest stosunkowo wysoka, narażone są na pewną bezwładność – elementy pomiarowe nagrzewają się i ochładzają przez pewien czas, co mogłoby zaburzyć proces sterowania. Również wymagane jest uwzględnienie strefy histerezy określającej różnicę jaka dopuszczalna jest między zadaną temperaturą a temperaturą mierzoną, i po przekroczeniu której sterowane urządzenie jest ponownie załączane lub wyłączane. Przy zaobserwowanych różnicach temperatur nie ma więc możliwości wskazania właściwej wartości sterowania.

Natomiast przeprowadzone analizy poboru ciepłej wody w obiekcie (rysunek 2) stwarzają przestrzeń dla zastosowania sterowania pracą instalacji cyrkulacyjnej w oparciu o harmonogram czasowy. Obniżony pobór wody ciepłej w okresie nocnym stanowi obszar, w którym bezwzględnie konieczna jest praca pompy cyrkulacyjnej. Natomiast w okresach zwiększonego poboru wody możliwe jest jej wyłączenie. Proponowane przedziały czasowe stanu pracy pompy cyrkulacyjnej pozwolą na natychmiastowe uzyskanie wymaganej temperatury wody na wypadek wystąpienia niespodziewanego poboru wody w nocy (praca pompy), a także ograniczyć udział cyrkulacji w dobowym bilansie energetycznym układu ciepłej wody (pompa wyłączona).

W celu określenia wartości przepływu, względem której możliwe będzie zaprogramowanie pracy pompy cyrkulacyjnej, na podstawie pomiarów poboru w ciągu każdych kolejnych 10 minut wyznaczono wartości średniego przepływu c.w. w czasie 10 minut w ciągu doby dla poszczególnych dni poglądowych. Wartości te zestawiono w tabeli 3.

Istnieje możliwość uzależnienia pracy instalacji cyrkulacyjnej od wartości przepływu ciepłej wody w określonej jednostce czasu, np. 10 minut, poprzez wskazanie jego wartości granicznej, po przekroczeniu której praca pompy cyrkulacyjnej zostanie przerwana. Sterowanie tego typu umożliwiają sterowniki wyposażone w czujnik przepływu, przerywające elektryczny obwód zasilania pompy w przypadku wystąpienia zadanej wartości granicznej. W przypadku omawianej instalacji za wartość graniczną strumienia przepływu przyjęto 0,58 m³/h. Metoda ta pozwala na dokładne dopasowanie pracy instalacji cyrkulacyjnej do występującego poboru wody ciepłej.

Alternatywą tego rozwiązania może być sterowanie czasowe w oparciu o zadany harmonogram opracowany w taki sposób, by czas wyłączenia pompy możliwie dokład-

nie pokrywał się z występowaniem poboru większego niż zadana wartość graniczna. W rzeczywistości, by z dużą dokładnością wskazać harmonogram pracy wymagane są pełne badania instalacji obrazujące charakter użytkowania obiektu w całym roku. Jest to metoda łatwa w zastosowaniu i tania inwestycyjnie. Dodatkowo pojawia się możliwość prostego oszacowania wpływu przyjętego sterowania na sprawność energetyczną pracy instalacji przygotowania c.w.

Poprawa sprawności energetycznej pracy instalacji cyrkulacyjnej

Na podstawie, przedstawionej analizy wyników pomiarów rzeczywistych, przeprowadzonych w budynku mieszkalnym wielorodzinnym oraz w celu umożliwienia dalszej oceny energetycznej poprawy działania instalacji cyrkulacyjnej w badanym budynku, przewidziano wprowadzenie sterowania instalacją cyrkulacji c.w. w oparciu o sterowanie pracą pompy cyrkulacyjnej według harmonogramu czasowego [16]. Podczas opracowania harmonogramu pracy pompy za wartość graniczną strumienia przepływu wody ciepłej przyjęto 0,58 m³/h.

Wytyczne do energetycznej poprawy pracy instalacji cyrkulacyjnej

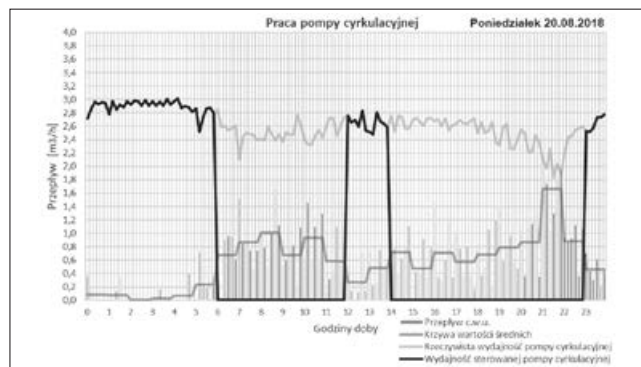
Wybrana metoda sterowania pracą pompy cyrkulacyjnej według harmonogramu czasowego polega na przerwaniu jej pracy w okresie, kiedy zatrzymanie obiegu wody w pętli cyrkulacyjnej jest uzasadnione – na przykład, gdy wystarczająco regularnie i w odpowiednich ilościach występuje pobór ciepłej wody w punktach czerpalnych. Czas pracy oraz przerwania pracy pompy cyrkulacyjnej jest wcześniej zaplanowany oraz uporządkowany w cyklu dostosowane do właściwości instalacji c.w., stanowi wartość zadaną dla układu sterowania pracą pompy.

Przeprowadzona powyżej analiza dobowego zużycia c.w. w wybranych okresach w badanym budynku pozwoliła wskazać tendencje w rozbiórce ciepłej wody oraz wyodrębnić momenty w ciągu doby, w których pobór wody w punktach czerpalnych nie występuje lub występuje sporadycznie a także, w których pobór jest wystarczająco intensywny i regularny. Obserwacje te stanowią punkt wyjścia do opracowania harmonogramu pracy instalacji cyrkulacji c.w.

Harmonogram pracy instalacji cyrkulacyjnej został opracowany w oparciu o cykl tygodniowy z podziałem na dni robocze – od poniedziałku do piątku oraz wolne od

Tabela 3. Wartości średniego dobowego przepływu c.w. w czasie 10 minut w ciągu doby dla poszczególnych dni poglądowych

Dzień poglądowy	20.08.2012 poniedziałek okresu letniego	07.01.2013 poniedziałek okresu zimowego	24.12.2012 poniedziałek okresu świątecznego	25.08.2012 sobota okresu letniego	12.01.2013 sobota okresu zimowego	Wartość średnia bez okresu świątecznego
Średni przepływ 10-minutowy w ciągu doby [m ³ /h]	0,57	0,75	1,31	0,64	0,92	0,58



Rysunek 5.
Wykres sterowanej
pracy pompy cyrkula-
cyjnej
*Figure 5. Diagram of
the controlled operation
of the circulation pump*

pracy – sobota i niedziela. Przewidziano również podział na czas letni oraz zimowy.

W okresie letnim praca pompy cyrkulacyjnej przetrwana zostanie w godzinach od 6:00 do 12:00 oraz od 14:00 do 23:00 w dni robocze oraz od 7:00 do 23:00 w dni wolne od pracy, natomiast w okresie zimowym jej praca przetrwana zostanie w godzinach od 7:00 do 24:00 w dni robocze oraz od 9:00 do 24:00 w dni wolne od pracy.

Wykres pracy pompy cyrkulacyjnej w przykładowy dzień roboczy okresu letniego, przedstawiony został na rysunku 5. Obrazuje on pobór c.w. w ciągu doby, rzeczywistą wydajność z jaką pracowała pompa cyrkulacyjna oraz wydajność z jaką pracowałaby po wprowadzeniu sterowania czasowego.

Kroki przerywania i wznowiania pracy pompy sprowadzają się do przerywania oraz załączenia jej obwodu elektrycznego. Zadanie to realizowane jest przez odpowiedni sterownik. Do realizacji sterowania czasowego w badanym obiekcie np. można wykorzystać zegar sterujący programowalny PCZ – 521.3 PLUS producenta F&F, którego specyfikację przybliżono wcześniej.

Zegar ten umożliwia zaprogramowanie do 500 poleceń dla pojedynczych jak i dla większej liczby wybranych dni tygodnia, co pozwala zrealizować sterowanie z podziałem na dni robocze oraz weekend. Ustawienie daty i godziny oraz programów załączania i wyłączania pompy cyrkulacyjnej można przeprowadzić z poziomu dedykowanej aplikacji PCZ Konfigurator [17].

W omawianym budynku mieszkalnym wielorodzinnym pompa cyrkulacyjna, zamiast tradycyjnego zasilania, zasilana będzie z obwodu sterowanego przez zegar sterujący – prosty i mało inwazyjny sposób podłączenia do istniejącej instalacji elektrycznej.

Ocena energetycznej poprawy pracy instalacji cyrkulacyjnej

Wpływ sterowania na wskaźnik EP

Przewidziany sposób energetycznej poprawy pracy instalacji cyrkulacji c.w. w omawianym budynku mieszkalnym wielorodzinnym, polegający na wprowadzeniu sterowania czasowego pracą pompy cyrkulacyjnej, a tym samym pracą instalacji cyrkulacyjnej, wpłynie na niektóre składowe wielkości pozwalające na wyznaczenie wskaźnika

Tabela 4. Wartości średniej rocznej sprawności $\eta_{W,d}$ przesyłu ciepła od źródła ciepła do punktów czerpalnych przed i po wprowadzeniu sterowania pracą pompy cyrkulacyjnej

Przed		Po	
Rodzaj systemu przygotowania ciepłej wody	$\eta_{W,d}$	Rodzaj systemu przygotowania ciepłej wody	$\eta_{W,d}$
Centralne przygotowanie c.w. – z obiegami cyrkulacyjnymi, z izolacją pionów i z izolacją przewodów rozprowadzających. Liczba punktów poboru ciepłej wody powyżej 100.	0,5	Centralne przygotowanie c.w. – z obiegami cyrkulacyjnymi z ograniczeniem czasu pracy, z izolacją pionów i z izolacją przewodów rozprowadzających. Liczba punktów poboru ciepłej wody powyżej 100.	0,6

Tabela 5. Wartości zapotrzebowania na moc elektryczną do napędu urządzeń pomocniczych q_{el} [W/m²] oraz wartości czasu ich działania t_{el} [h/rok] przed i po wprowadzeniu sterowania pracą pompy cyrkulacyjnej

Przed			Po		
Rodzaj urządzenia pomocniczego	q_{el} [W/m ²]	t_{el} [h/rok]	Rodzaj urządzenia pomocniczego	q_{el} [W/m ²]	t_{el} [h/rok]
Pompy cyrkulacyjne systemu przygotowania c.w. o działaniu ciągłym	0,04	8760	Pompy cyrkulacyjne systemu przygotowania c.w. o pracy przerywanej	0,04	3010

EP, tj. na zmianę średniej rocznej sprawności $\eta_{(W,d)}$ przesyłu ciepła (tabela 4) oraz zmianę czasu pracy urządzeń pomocniczych t_{el} (tabela 5) uwzględniając zaproponowany harmonogram czasu pracy pompy cyrkulacyjnej. Ze względu na brak informacji w rozporządzeniu [8] dotyczącej zapotrzebowania na moc elektryczną do napędu urządzeń pomocniczych q_{el} przy pracy ciągłej dla budynków większych niż 250m² przyjęto na potrzeby analizy porównawczej wartość taką, jak dla układu o pracy przerywanej.

Wpływ sterowania na zużycie energii elektrycznej

Podjęto próbę oszacowania oszczędności w rachunkach za energię elektryczną wynikających z wprowadzenia sterowania harmonogramowego pracą pompy cyrkulacyjnej w opisywanym budynku mieszkalnym.

Energię elektryczną zużywaną przez pompę cyrkulacyjną, będącą urządzeniem pomocniczym układu przygotowania c.w., przed $E_{el,pom,WI}$ oraz po wprowadzeniu sterowania $E_{el,pom,WII}$ obliczono zgodnie z zależnością (1). Otrzymało następujące wartości:

$$E_{el,pom,WI} = 0,04 \text{ W/m}^2 \cdot 8760 \text{ h/rok} \cdot 2400 \text{ m}^2 \cdot 10^{-3} = 840,96 \text{ kWh/rok} \quad (4)$$

$$E_{el,pom,WII} = 0,04 \text{ W/m}^2 \cdot 3010 \text{ h/rok} \cdot 2400 \text{ m}^2 \cdot 10^{-3} = 288,96 \text{ kWh/rok} \quad (5)$$

Struktura opłat za energię elektryczną w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych uwzględnia zakup energii elektrycznej oraz usługi jej dystrybucji w rozbiću podziałowym na składnik opłaty stałej i zmiennej. Ponieważ wszelkie opłaty stałe wyznaczane są w opar-

ciu o moc zamówioną oraz doliczane niezmiennie w każdym miesiącu okresu rozliczeniowego, w przeprowadzonej analizie uwzględniono jedynie stawki zmienne uzależnione od zużycia energii elektrycznej. Przy założeniu taryfy G11 opłata zmienna za zużycie energii zostanie wyznaczona z uwzględnieniem następujących składników:

- cena energii elektrycznej całodobowa, zł/kWh
- składnik zmienny stawki sieciowej całodobowej, zł/kWh

- stawka opłaty jakościowej, zł/kWh
 - stawka opłaty OZE, zł/MWh
 - stawka opłaty kogeneracyjnej, zł/MWh
- Opłata zmienna za zużycie energii netto przyjmuje więc wartość następującą:

$$O_Z = A + B + C + D + E$$

$$O_Z = 0,4097 + 0,1824 + 0,0095 + 0,9 \cdot 10^{-3} + 4,06 \cdot 10^{-3} = 0,61 \text{ zł/kWh} \quad (6)$$

Opłata roczna za energię elektryczną zużywaną przez pompę cyrkulacyjną jako urządzenie pomocnicze przed $O_{ZE,el,pom,WI}$ oraz po $O_{ZE,el,pom,WII}$ wprowadzeniu sterowania czasowego pracą pompy przedstawia się następująco:

$$O_{ZE,el,pom,WI} = E_{el,pom,WI} \cdot O_Z = 840,96 \cdot 0,61 = 513 \text{ zł/rok} \quad (7)$$

$$O_{ZE,el,pom,WII} = E_{el,pom,WII} \cdot O_Z = 288,96 \cdot 0,61 = 176 \text{ zł/rok} \quad (8)$$

Uproszczona analiza kosztów energii elektrycznej zużywanej przez pompę cyrkulacyjną działającą w omawianym budynku bez jakiegokolwiek sterowania pracą pokazała, że utrzymywały się one na poziomie $O_{ZE,el,pom,WI} = 513 \text{ zł/rok}$. Natomiast uproszczona analiza kosztów energii elektrycznej zużywanej przez pompę cyrkulacyjną w omawianym budynku, której praca sterowana jest według harmonogramu czasowego, pokazała, że będą się one utrzymywać na poziomie $O_{ZE,el,pom,WII} = 176 \text{ zł/rok}$. Efektem wprowadzenia sterowania pracą pompy cyrkulacyjnej jest trzykrotne obniżenie rachunków za zużywaną przez nią energię elektryczną oraz otrzymanie oszczędności na poziomie $\Delta O_{ZE,el,pom,W} = 340 \text{ zł/rok}$.

Podsumowanie i wnioski

Badania instalacji c.w. i cyrkulacji dotyczyły wielorodzinnego budynku mieszkalnego zlokalizowanego na jednym z wrocławskich osiedli. W obiekcie dokonano pomiarów szeregu wielkości charakterystycznych takich, jak strumień przepływu wody w instalacji grzewczej, strumień przepływu wody w instalacji c.w., strumień przepływu wody w instalacji cyrkulacji, temperatura wody w instalacji grzewczej, temperatura wody w instalacji c.w., temperatura wody w instalacji cyrkulacji, temperatura otoczenia. Pomiarzy wykonane zostały przy pomocy urządzeń bezinwazyjnych. Obejmowały one okres od lipca do lutego (2018/2019r.), natomiast do analizy wybrano trzy tygodnie stanowiące poglądowe tygodnie okresu letniego, zimowego oraz świątecznego. Opracowanie wyników obejmowało ocenę pracy układu przygotowania c.w., pozwalającą oszacować średnią tygodniową sprawność układu przygotowania ciepłej wody w badanym obiekcie na ok. 50÷60% oraz wskazać istotny udział pracy instalacji cyrkulacji c.w. w energetycznym procesie przygotowania ciepłej wody – większe wartości sprawności układu przygotowania c.w. występowały przy mniejszym udziale instalacji cyrkulacyjnej. Dalsze opracowanie i analiza wyników pozwoliły na oszacowanie możliwości sterowania instalacją cyrkulacji c.w., która nie wymagałaby ingerencji w istniejącą instalację oraz ponoszenia związanych z tym dużych nakładów finansowych. W celu doboru odpowiedniego rodzaju sterowania pracą pompy cyrkulacyjnej w badanym obiekcie, przeprowadzono analizę parametrów, takich jak strumień przepływu wody w gałęzi cyrkulacyjnej, temperatura wody w gałęzi cyrkulacyjnej, temperatura c.w. oraz strumień przepływu c.w. Poczynione obserwacje stworzyły przestrzeń dla sterowania pracą instalacji cyrkulacyjnej w badanym obiekcie w oparciu o harmonogram czasowy.

Przedstawiono wytyczne do energetycznej poprawy pracy instalacji cyrkulacyjnej w badanym obiekcie. Wprowadzono sterowanie instalacją cyrkulacji c.w. w oparciu o sterowanie pracą pompy cyrkulacyjnej według harmonogramu czasowego. Do realizacji sterowania czasowego wykorzystano zegar sterujący programowalny PCZ – 521.3 PLUS producenta F&F wpinany szeregowo w układ elektrycznego zasilania pompy cyrkulacyjnej. W celu osiągnięcia kompromisu między maksymalnymi oszczędnościami, a zapewnieniem użytkownikom jak najwyższego komfortu korzystania z instalacji, harmonogram pracy instalacji cyrkulacyjnej został opracowany w oparciu o cykl tygodniowy z podziałem na dni robocze – od poniedziałku do piątku oraz wolne od pracy – sobota i niedziela. Przewidziano również podział na czas letni oraz zimowy. W okresie letnim praca pompy cyrkulacyjnej przerwana zostanie w godzinach od 6:00 do 12:00 oraz od 14:00 do 23:00 w dni robocze oraz od 7:00 do 23:00 w dni wolne od pracy, natomiast w okresie zimowym jej praca prze-

rwana zostanie w godzinach od 7:00 do 24:00 w dni robocze oraz od 9:00 do 24:00 w dni wolne od pracy.

Ocena energetycznej poprawy pracy instalacji cyrkulacyjnej obejmowała wpływ przewidzianego sterowania na wskaźnik EP oraz na zużycie i koszty energii elektrycznej. Sterowanie pracą pompy cyrkulacyjnej według harmonogramu czasowego wpłynęło na składowe wskaźnika EP takie jak sprawność dystrybucji układu przygotowania ciepłej wody w omawianym budynku oraz czas jej pracy w skali roku przyczyniając się do jego zmniejszenia.

Dalsza ocena obejmowała bezpośredni wpływ sterowania czasowego na zużycie i koszty energii elektrycznej. Energia elektryczna zużywana przez pompę cyrkulacyjną, będącą urządzeniem pomocniczym układu przygotowania c.w., przed oraz po wprowadzeniu sterowania utrzymywała się odpowiednio na poziomie $E_{el,pom,WI} = 840,96$ zł/rok oraz $E_{el,pom,WI} = 288,96$ zł/rok. Przyjęto, że obiekt będący przedmiotem opracowania rozliczany jest według taryfy G11 i na podstawie aktualnych cenników za rok 2022 lokalnego operatora sieci energetycznej wyznaczono opłatę za zużycie energii netto o wartości $O_Z = 0,61$ zł/kWh. Przeprowadzona prosta analiza kosztów energii elektrycznej zużywanej przez pompę cyrkulacyjną pokazała, że w pierwotnym stanie utrzymywały się one na poziomie $O_{ZE_{el,pom,WI}} = 513$ zł/rok, natomiast po uwzględnieniu zaplanowanych zmian na poziomie $O_{ZE_{el,pom,WI}} = 176$ zł/rok. Efektem wprowadzonego sterowania pracą pompy cyrkulacyjnej jest trzykrotne obniżenie rachunków za zużywaną przez nią energię elektryczną oraz otrzymanie oszczędności na poziomie $\Delta O_{ZE_{el,pom,WI}} = 340$ zł/rok.

W przeprowadzonej analizie nie uwzględniono dodatkowych oszczędności wynikających ze zmniejszenia zużycia energii do podgrzewu wody cyrkulacyjnej w okresach kiedy pompa nie pracuje. Należy jednak zauważyć, że w miesiącach zimowych stała praca instalacji cyrkulacyjnej (wychłodzenie wody) jest swobodnym rodzajem źródłem ogrzewania budynku, co w bilansie energetycznym obiektu wpływa na obniżenie udziału potrzeb grzewczych. Oczywiście w miesiącach letnich takie oszczędności nie wystąpią.

Wprowadzenie sterowania programowego pracą pompy cyrkulacyjnej, a tym samym całej instalacji cyrkulacji c.w., w postaci sterowania czasowego w oparciu o sporządzony harmonogram może przynieść korzyści w postaci poprawy efektywności pracy układu przygotowania ciepłej wody składającej się na efektywność energetyczną całego budynku mieszkalnego wielorodzinnego, zlokalizowanego we Wrocławiu. Dla jego mieszkańców prognozowane są również wymierne korzyści ekonomiczne w postaci obniżenia rachunków za energię elektryczną.

Wyniki obliczeń wraz z propozycją sterowania instalacją cyrkulacyjną zostały przedstawione w spółdzielni mieszkaniowej. To pro-

ste i mało kosztowne rozwiązanie cieszy się sporym zainteresowaniem. Co bardzo ważne, jest to rozwiązanie nieinwazyjne nie wymagające żadnych przeróbek instalacyjnych.

Przeprowadzona szczegółowo analiza poboru wody ciepłej daje możliwość wstępnego zaprojektowania ustawień sterownika, która może być później łatwo zmieniana i dopasowywana do charakterystyki instalacji.

Aktualnie trwają prace, których celem jest wprowadzenie sugerowanych w artykule zmian. Z uwagi na to, że sprawa dotyczy spółdzielni mieszkaniowej wymaga to jednak czasu. Po wprowadzeniu zmian w układzie sterowania instalacją oraz w uzyskaniu wyników pomiarów określone zostaną realne oszczędności wynikające ze zmian oraz ewentualne niedogodności pojawiające się po stronie odbiorców.

LITERATURA

- [1] <https://kb.pl/porady/cyrkulacja-ciepłej-wody-uzytkowej-w-domu/>
- [2] <https://mpwik.wroc.pl/strefa-klienta/taryfy-i-cenniki/>
- [3] Rozporządzenie ministra Infrastruktury z dnia 15 kwietnia 2022 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, Dz.U. 2022 poz. 1225.
- [4] <https://legionella.pl/>
- [5] Szaflik Wł., *Projektowanie instalacji ciepłej wody użytkowej w budynkach mieszkalnych*, Wydawnictwo Instal, 2011.
- [6] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2020/2184 z dnia 16 grudnia 2020 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020L2184&from=PL>
- [7] Matuszewska R., Nowe wymagania dotyczące wewnętrznych systemów wodociągowych według dyrektywy 2020/2184 w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi, Instal 3/2023; s.32-35; DOI: 10.36119/15.2023.3.5
- [8] 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. 2015 poz. 376 z późniejszymi zmianami.
- [9] Jadwiszczak P., Polarczyk I., Ograniczenie Energochłonności Cyrkulacji C.W.U. w Budynkach Użytkowanych Okresowo, Air Heat Energy in Buildings, s. 385 – 390.
- [10] Ryńska J., Rola pomp obiegowych i cyrkulacyjnych w energooszczędności budynku, Rynek instalacyjny 1/2, 2019.
- [11] Jamońkowski A., *Cyrkulacja ciepłej wody użytkowej – zasada działania, schematy, Budujemy dom*.
- [12] <https://www.kgelektronik.pl/strona/sp-04,50>
- [13] <https://www.fif.com.pl/pl/zegary-sterujace-programowalne/1128-zegar-programowalny-tygodniowy-pcz-5213-plus.html>
- [14] <https://www.techsterowniki.pl/p/st-11-eco-circulation>
- [15] Szaflik W., Nejranowski J., *Zmienność maksymalnego godzinowego poboru ciepłej wody w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych*, Instal 6/2023; s.24-28; DOI: 10.36119/15.2023.6.4
- [16] Beksa K., *Analiza jakości pracy pompy cyrkulacyjnej w budynku mieszkalnym na podstawie wyników badań bezpośrednich*, praca dyplomowa, PWR Wrocław 2022.
- [17] Zegar sterujący programowalny 1-kanalowy PCZ-521.3, Materiały informacyjne producenta F&F.