

Koniec sezonu grzewczego a efektywność energetyczna instalacji odbioru ciepła

The end of the heating season versus the energy efficiency of the heating installation

GRZEGORZ BARTNICKI, BOGDAN NOWAK

DOI 10.36119/15.2020.4.1

Artykuł przedstawia wyniki badań działania systemów zaopatrzenia w ciepło budynków wielorodzinnych, w końcu sezonu grzewczego. Pomiary przeprowadzono w 2019 r. dla nietypowego sezonu grzewczego, wydłużonego do końca maja. W oparciu o przeprowadzone pomiary wyznaczono efektywność energetyczną instalacji dystrybucji ciepła. Straty ciepła w samej instalacji centralnego ogrzewania oszacowano na 27-60%, w zależności od okresu, którego dotyczyły te obliczenia. Wykazano również, że w odbiorze ciepła uczestniczyła tylko część mieszkań.

10-30% mieszkań odpowiadało za ponad 70% zużycia ciepła na ogrzewanie. Zwrócono uwagę na konieczność wyłączenia instalacji ogrzewania na okres lata, jak również na znaczenie dla ograniczenia zużycia ciepła trafności decyzji o zakończeniu sezonu grzewczego i przestawienia źródła ciepła na pracę dla warunków lata.

Słowa kluczowe: dystrybucja ciepła, straty ciepła, budynek wielorodzinny

The article presents the results of research on the heat supply systems for multi-family buildings at the end of the heating season. The measurements were carried out in 2019 for the atypical heating season, extended until the end of May. Based on the measurements carried out, the energy efficiency of the heat distribution system was calculated. Heat losses in the central heating installation were estimated at 27-60%, depending on the measurements period. It was also shown that only part of the apartments participated in the heat using. 10-30% of flats accounted for over 70% of heat consumption for heating. Attention was drawn to the need to turn off the heating system for the summer, as well as the accuracy of the decision to end the heating season and switching the heat source to work for summer conditions.

Keywords: heat distribution, heat loss, multi-family building

Wstęp

Znacząca liczba publikacji krajowych i zagranicznych analizuje skutki środowiskowe sektora energetycznego oraz możliwości ich ograniczenia. Dotyczą one zarówno źródeł rozproszonych (indywidualnych), jak również systemów scentralizowanych. Część z nich odnosi się zarówno do jednej, jak i do drugiej grupy systemów zaopatrzenia w ciepło. Wyniki badań, rozwój technologii, a przede wszystkim działania wdrożeniowe już przekładają się na poprawę efektywności energetycznej i ograniczenie emisji gazów cieplarnianych. Wg [26, 10], w Unii Europejskiej w drugiej dekadzie XXI. wieku w systemach ciepłowniczych osiągnięto udział 27% energii odnawialnej i ciepła odpadowego (energia geotermalna, biomasa i biogaz, ciepło odpadowe, energia słoneczna) a 56% ciepła wytwarzane jest w kogeneracji, co też przekłada się na bardziej efektywne wykorzystanie energii pierwotnej. W każdym z krajów członkowskich sytu-

acja się różni. Kolejne cele do osiągnięcia wyznaczane są przede wszystkim przez kraje przodujące w tym rozwoju, z uwzględnieniem ograniczeń i uwarunkowań pozostałych krajów członkowskich. Propagowanie budownictwa niskoenergetycznego [1, 25], czy zeroemisyjnego [28] odnosi się przede wszystkim do nowych obiektów. Jest to niezwykle ważne, ale dużo większą grupę stanowią istniejące już budynki i instalacje, które jeszcze przez wiele dziesięcioleci będą stanowić większość użytkowanej infrastruktury. W Danii szacuje się, że w 2030 r. udział budynków wybudowanych w starych technologiach wynosić będzie aż ok. 85-90% [14]. W Polsce, gdzie zastępowalność zasobów mieszkaniowych ocenia się na poziomie ok. 1% w skali roku, trzeba się liczyć z podobną perspektywą. Dla dalszej poprawy efektywności energetycznej, przede wszystkim więc, znaczenie mają metody umożliwiające zarówno zmniejszenie zapotrzebowania na ciepło, jak i jego zużycie. Wiążą się one zazwyczaj

z koniecznością poniesienia w krótkim okresie znacznych kosztów inwestycyjnych, które prowadzą później do oszczędności operacyjnych rozłożonych w dłuższej perspektywie czasowej [2]. Odrębnym zagadnieniem jest też wpływ takiego zmniejszenia zapotrzebowania na ciepło na efektywność (zarówno finansową, jak i energetyczną) całego systemu ciepłowniczego. Problemem dla termomodernizacji budynków pozostaje też nadal pozyskanie kapitału inwestycyjnego i ryzyka towarzyszące takiej inwestycji. W przypadku zasobów spółdzielni lub wspólnot mieszkaniowych trudno jest więc przekonać organ podejmujący decyzję, jak i samych mieszkańców do decyzji. Takie uwarunkowania powodują, że poszukiwane są również inne rozwiązania pozwalające poprawiać efektywność energetyczną istniejących systemów zaopatrzenia w ciepło, bez konieczności angażowania znacznych środków finansowych. Mogą to być przedsięwzięcia wymagające nakładów, ale już mniej kapitałochłonnych. Efekty również można osiągnąć poprzez

dr inż. Grzegorz Bartnicki, <https://orcid.org/0000-0002-4482-6950>; dr inż. Bogdan Nowak, <https://orcid.org/0000-0002-9764-5555>
- Katedra Klimatyzacji, Ogrzewnictwa, Gazownictwa i Ochrony Powietrza, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Wroclawska.
Adres do korespondencji / Corresponding author: grzegorz.bartnicki@pwr.edu.pl

właściwą organizację i zarządzanie systemem zaopatrzenia w ciepło. Nadal dominują jednak w Polsce działania, dla których priorytetem jest zapewnienie dostawy ciepła (nawet w nadmiarze), gdyż eliminuje się w ten sposób skargi użytkowników na niedogrzewanie pomieszczeń. Pomija się w ten sposób zarówno koszty (które przenoszone są na odbiorców ciepła) czy dodatkowe straty energii. Bez kolejnych badań i publikacji prezentujących wyniki i analizy w tym zakresie, trudno oczekiwać znaczących zmian.

Sezon grzewczy

Pojęciem sezonu grzewczego można potocznie określić tę część roku, w której instalacja centralnego ogrzewania powinna być lub jest użytkowana, aby zapewnić wymaganą temperaturę przestrzeni ogrzewanych. Zadaniem ogrzewania jest zapewnienie w pomieszczeniach, niezależnie od zmieniających się warunków zewnętrznych, właściwej (zadanej) temperatury powietrza w przypadku odczuwalnego obniżenia się temperatury powietrza na zewnątrz budynku. O ile są ustalone zasady określenia projektowej temperatury powietrza w pomieszczeniach, to nie jest jednoznacznie określona temperatura zewnętrzna, która wymusza uruchomienie ogrzewania. Wg nieobowiązującego od dawna Zarządzenia Głównego Inspektora Gospodarki Energetycznej z dnia 2 września 1985 r. w sprawie terminów ogrzewania budynków i pomieszczeń [27] (uchylone w 1998 r. na mocy przepisów Prawa energetycznego) sezon grzewczy zdefiniowany był jako okres **od 15 października do 25 kwietnia** roku następnego. Zarządzenie to stanowiło też, że rozpoczęcie ogrzewania mogło nastąpić, jeżeli temperatura zewnętrzna o godz. 19.00 w ciągu trzech kolejnych dni była niższa (w oparciu o dane meteorologiczne) od $+12^{\circ}\text{C}$ w okresie sezonu grzewczego, a poza sezonem grzewczym od $+10^{\circ}\text{C}$ i jednocześnie prognoza meteorologiczna nie przewidywała ocieplenia. Przerwanie ogrzewania powinno natomiast nastąpić, jeżeli temperatura zewnętrzna o godz. 19.00 w ciągu trzech kolejnych dni była w sezonie grzewczym wyższa od $+12^{\circ}\text{C}$, a poza sezonem grzewczym $+10^{\circ}\text{C}$. Zarządzenie [27] zobowiązywało też do niezwłocznego przerwania ogrzewania, jeżeli nastąpiło znaczne ocieplenie. Organem uprawnionym do podejmowania decyzji był właściwy miejscowo wojewoda. Rozpoczęcie lub przerwanie ogrzewania budynków przyłączonych do wspólnej sieci ciepłowniczej mogło w uzasadnionych wypadkach nastąpić pomimo niespełnienia ustalonych w zarządzeniu warunków, jeżeli wynikało to z miejsco-

wych warunków atmosferycznych, wielodobowej prognozy meteorologicznej lub rozległości sieci ciepłowniczej i liczby przyłączonych do niej budynków. Wyłączeniu z ogólnych zasad podlegały też jednostki lecznictwa otwartego i zamkniętego, żłobki, domy małych dzieci, domy dziecka, przedszkola i domy rencisty, w których ogrzewanie mogło być rozpoczęte, jeżeli temperatura wewnętrzna w pomieszczeniach była niższa od $+20^{\circ}\text{C}$, a powinno być przerwane, jeżeli ta temperatura była wyższa od $+20^{\circ}\text{C}$ [27]. Rozporządzenie w sprawie szczegółowych warunków przyłączenia podmiotów do sieci ciepłowniczej [21], które zaczęło obowiązywać w 1998 r. określiło inną definicję sezonu grzewczego, ustalając, że jest to okres **między wrześniem a majem roku następnego**, w którym warunki atmosferyczne powodują konieczność ciągłego dostarczania ciepła w celu ogrzewania obiektów. Przepis ten nie wprowadził jednak kryterium warunkującego uruchomienie ogrzewania. Delegował te kompetencje przedsiębiorstwu ciepłowniczemu, które powinno określić takie zasady w umowie sprzedaży ciepła i w umowie o świadczenie usług przesyłowych (m.in. termin rozpoczęcia dostarczania ciepła oraz szczegółowe warunki ustalania terminów rozpoczynania i przerywania dostarczania ciepła w celu ogrzewania i dla innych potrzeb). Warunki pracy sieci ciepłowniczej w sezonie grzewczym i w okresie letnim powinny też zostać określone przez przedsiębiorstwo ciepłownicze w programie pracy sieci ciepłowniczej [21]. Rozporządzenie z 2000 r. [20] zachowało tą samą definicję sezonu grzewczego, natomiast w kolejnym rozporządzeniu (z 2004 r.) z definicji sezonu grzewczego usunięto ramy czasowe, pozostawiając tylko ogólną zasadę, **że jest to okres, w którym warunki atmosferyczne powodują konieczność ciągłego dostarczania ciepła w celu ogrzewania obiektów** [22]. Taka definicja jest również w obowiązującym obecnie rozporządzeniu [19]. W gospodarce rynkowej pozostawienie swobody w kształtowaniu relacji pomiędzy dostawcą i odbiorcą ciepła jest w pełni zrozumiałe. Rodzić może to jednak określone skutki, zarówno w przypadku systemów scentralizowanych, jak i lokalnych źródeł ciepła. Brak regulacji prawnych przenosi całkowicie ryzyko podejmowanych decyzji na podmiot odpowiadający za dostawę ciepła. Nie skłania to do zachowań i decyzji minimalizujących zużycie ciepła, ale prowadzących np. do niedotrzymania w krótkich okresach warunków komfortu (na początku czy końcu sezonu grzewczego), wzorem np. zasad regulowanych w [27]. Wyniki badań przedstawione dla Krakowa w [17] pokazują, że w latach

1961-2000 początek sezonu grzewczego określony wg warunków [27] przypadał ściśle w pierwszych dwóch tygodniach października. Dużo większa zmienność dotyczyła końca sezonu, który dla tych wszystkich lat wypadał pomiędzy 22 marca a 17 maja. 72,5% przypadków wyłączenia ogrzewania dotyczyło jednak kwietnia. W przypadku sześciu sezonów grzewczych wystąpiła konieczność ogrzewania mieszkań do końca maja. Najkrótszy sezon grzewczy trwał 154 dni a najdłuższy 235 dni [17]. Zapewnienie w źródłach ciepła (kotłownia, węzeł ciepłowniczy) układów automatycznej regulacji, w których można ustawić temperaturę zewnętrzną, przy której regulator włączy lub wyłączy ogrzewania, teoretycznie rozwiązują problem podziału roku na sezon grzewczy i okres lata. Regulator nie wykorzystuje jednak prognoz meteorologicznych, choć może być wyposażony w algorytmy oparte na sztucznej inteligencji. W większości systemów zaopatrzenia w ciepło w celu ograniczenia ryzyka uruchomienia ogrzewania latem (np. na skutek awarii układu pomiarowego lub w efekcie niskiej temperatury zewnętrznej nocą i dużych jej wahań w ciągu doby) fizycznie odłącza się instalację centralnego ogrzewania od źródła ciepła. Cykliczne uruchamianie i wyłączanie lub działanie ogrzewania w okresie końca sezonu grzewczego ma też określone skutki przekładające się na efektywność energetyczną instalacji (np. straty na nagrzanie i wychłodzenie instalacji o określonej pojemności cieplnej), szczególnie, że w tym okresie tylko część użytkowników budynku będzie z niej korzystała (np. mając na uwadze koszty ogrzewania, preferując niższe temperatury czy intensywnie przewietrzając mieszkanie – przy w pełni wyłączonym ogrzewaniu).

Uwarunkowania

W [15] autorzy potwierdzają zależność znaną również z innej literatury, że sezonowe zmiany obciążenia cieplnego są powodowane głównie temperaturą zewnętrzną, a w ciągu doby zmiany wynikają zarówno z pory dnia, jak i zmian temperatury zewnętrznej. W tej publikacji autorzy potwierdzili również, że sam wpływ dni tygodnia był znikomy. Powołując się też na ustalenia w innych artykułach podkreślili, że najistotniejszym czynnikiem pogodowym wpływającym na ilość ciepła zużytego na ogrzewanie w okresie zimy jest właśnie temperatura zewnętrzna [15]. Wpływ promieniowania słonecznego oraz prędkości wiatru jest mniejszy niż 10%. Zastrzegli jednocześnie, że czynniki te powinny być jednak brane pod uwagę przy dokładnym modelowaniu obciążenia

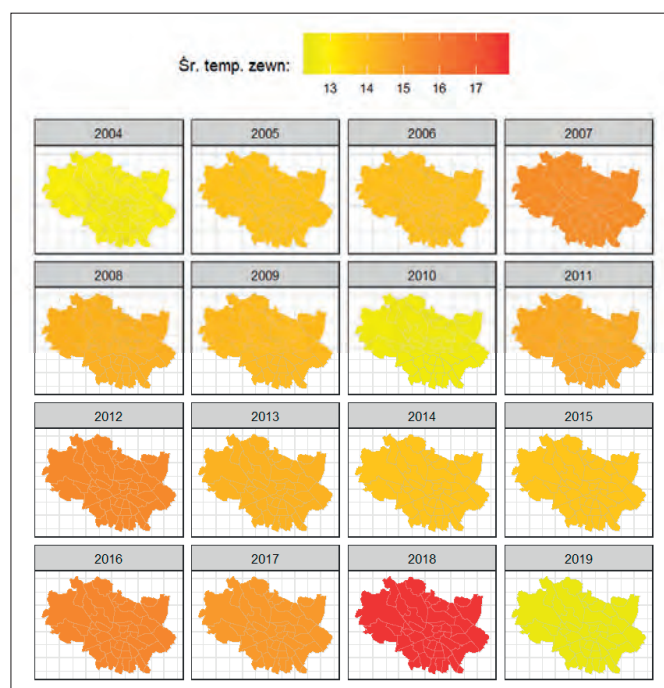
systemów zaopatrzenia w ciepło. W [7] potwierdzono, że dobowe zmiany obciążenia cieplnego w systemach ciepłowniczych wynikają ze zwyczajowych zachowań klientów i są uwarunkowane społecznie. Trzeba jednak też mieć na uwadze, że obciążenie cieplne w systemie zaopatrzenia w ciepło jest sumą zużycia ciepła na potrzeby ogrzewania i na przygotowanie c.w. Zależności wynikające z wpływu zużycia ciepła na cele c.w. są tym bardziej zauważalne, im wyższe są temperatury zewnętrzne. Warunki działania i efektywność energetyczna systemu zaopatrzenia w ciepło zależą więc od wielu czynników, w tym m.in. od jakości izolacji cieplnej przegród zewnętrznych budynków zasilanych w ciepło, warunków użytkowania pomieszczeń, intensywności wentylacji, efektywności energetycznej źródła ciepła, systemu dystrybucji oraz skuteczności układu regulacji i sterowania [13]. Autorzy w [13] zwrócili uwagę na dość istotny problem istniejących instalacji. Zainstalowana moc grzewcza jest zazwyczaj przewymiarowana, i to co najmniej o 30% od wartości wynikających z bilansu cieplnego. Dobór źródeł o dużo większej mocy był też dość powszechny w Polsce. Wyjaśnić to można zarówno doбором urządzeń w oparciu o typoszereg katalogowy, powszechną w przeszłości tendencją do przewymiarowania urządzeń czy instalacji, stosowaniem w obliczeniach współczynników zwiększających, jak i sumowaniem maksymalnych potrzeb poszczególnych instalacji odbioru ciepła, pomimo braku jednoczesności występowania tych obciążeń. W 1996 r. oszacowano też, że aż ok. 90% systemów grzewczych w Wielkiej Brytanii działa nieefektywnie z powodu nieodpowiedniej regulacji i sterowania. Wyliczono, że kosztowało to przemysł i handel dodatkowe 500 mln funtów rocznie [4]. Nowsze badania [3] pokazują, że sytuacja ta nie uległa poprawie w ciągu kolejnych siedmiu lat. Podobny problem, dotyczący układów regulacji kotłowni gazowych w USA przedstawił autor [8], odnosząc się jednak tylko do bardzo ograniczonej liczby obiektów, dla której przeprowadzono takie analizy. Dokonane w tych kotłowniach proste działania naprawcze doprowadziły do znaczącej poprawy sprawności. Bez odpowiednich układów automatycznej regulacji i dostosowania ich nastaw do pracy konkretnego systemu zaopatrzenia w ciepło znaczące ilości ciepła mogą być więc niepotrzebnie tracone, nawet wówczas, gdy prawidłowo zaprojektowano i zbudowano instalację oraz zastosowano w niej wysokosprawne urządzenia. Autorzy [12] zwracają uwagę na to, że wraz z szybkim rozwojem technologicznym, jaki jest obserwowany w ostat-

nich latach, każdy z elementów instalacji czy też systemu grzewczego staje się coraz bardziej efektywny energetycznie. Jednocześnie brakuje badań i publikacji odnoszących się do takich systemów jako całości, złożonej ze współpracujących ze sobą wysokosprawnych urządzeń. Jest to o tyle istotne, że dopiero współdziałanie tych wszystkich elementów połączonych w jeden system daje efekt końcowy, zarówno od strony niezawodności dostawy ciepła, jak też efektywności wykorzystania energii. Z punktu widzenia zarządcy budynku podstawowym celem wyznaczonym dla źródła ciepła jest zapewnienie dostawy ciepła do odbiorców, nawet jeśli będzie się to wiązało z jego nadmiarem w stosunku do chwilowych potrzeb. Ten nadmiar jest najczęściej nieefektywnie tracony. Możliwości ograniczenia zużycia ciepła są traktowane w sposób uproszczony i pobieżny, gdyż łączone są z ryzykiem ograniczenia dostępności ciepła i skarg na chwilowe warunki dyskomfortu. W ramach standardowych regulatorów lub dodatkowych aplikacji dostępne są algorytmy poprawiające proces wytwarzania lub przekazywania ciepła (np. w kotłowniach optymalizacja rozruchu i zatrzymania [5], sekwencyjne załączanie kotłów [11] i inne), a mimo to wiele źródeł ciepła ma ustawione w układach automatycznej regulacji jedynie podstawowe rozwiązania (nawet gdy zakupiony został regulator umożliwiający zastosowanie bardziej skomplikowanych algorytmów). Wpływ działania regulatorów węzłów ciepłowniczych na wychłodzenie wody sieciowej opisano m.in. w [18, 24]. Autorzy [16] podkreślają, że instalatorzy popełniają często błędy w ustawieniach np. przez pozostawienie nastaw fabrycznych i rezy-

gnąc z dostosowania warunków pracy urządzenia do konkretnego obiektu. Częściowo usprawiedliwić można wykonawców tym, że dokumentacja projektowa nie zawsze zawiera szczegóły i wytyczne dotyczące nastaw regulatora. Na paradoks pozornej dokładności, choć w aspekcie innych systemów, zwraca uwagę autor [23]. Na te wszystkie ułomności nakładają się jeszcze określone decyzje użytkownika obiektu, nie zawsze dysponującego odpowiednią wiedzą czy doświadczeniem w zakresie użytkowania urządzeń cieplnych, a szczególnie z punktu widzenia poprawy ich efektywności energetycznej. Jednym z istotnych parametrów decydującym o zużyciu ciepła na ogrzewanie w okresie późnej wiosny i jesieni, jak i o efektywności działania systemu zaopatrzenia w ciepło jest temperatura uruchomienia lub wyłączenia ogrzewania, zarówno w trybie nastaw układu automatycznej regulacji, jak i ostatecznego zakończenia (czy rozpoczęcia) sezonu grzewczego poprzez przestawienie trybu pracy źródła ciepła wyłącznie na potrzeby c.w.

W zasobach mieszkaniowych objętych programem badań, których wyniki przedstawiono w artykule, decyzję o zakończeniu lub rozpoczęciu uruchomienia i wyłączenia instalacji centralnego ogrzewania podejmuje zarząd wspólnoty mieszkaniowej w konsultacji z administratorem. Opisywany przypadek dotyczy końca sezonu grzewczego w 2019 r. Dwie grupy budynków wielorodzinnych zasilane są w ciepło z własnych kotłowni gazowych (kotłownie A5 i A6). Dodatkowo, w celu porównania przedstawiono wyniki pomiarów dla dwóch kolejnych grup budynków (zasilanych w ciepło z kotłowni E1 i E2).

Rys. 1. Średnia miesięczna temperatura powietrza zewnętrznego we Wrocławiu, dla maja (w latach 2004-2019) – w oparciu o pomiary IMGW-PIB. Fig. 1. Average monthly outside air temperature in Wrocław, for May (2004-2019) - based on IMGW-PIB measurements.

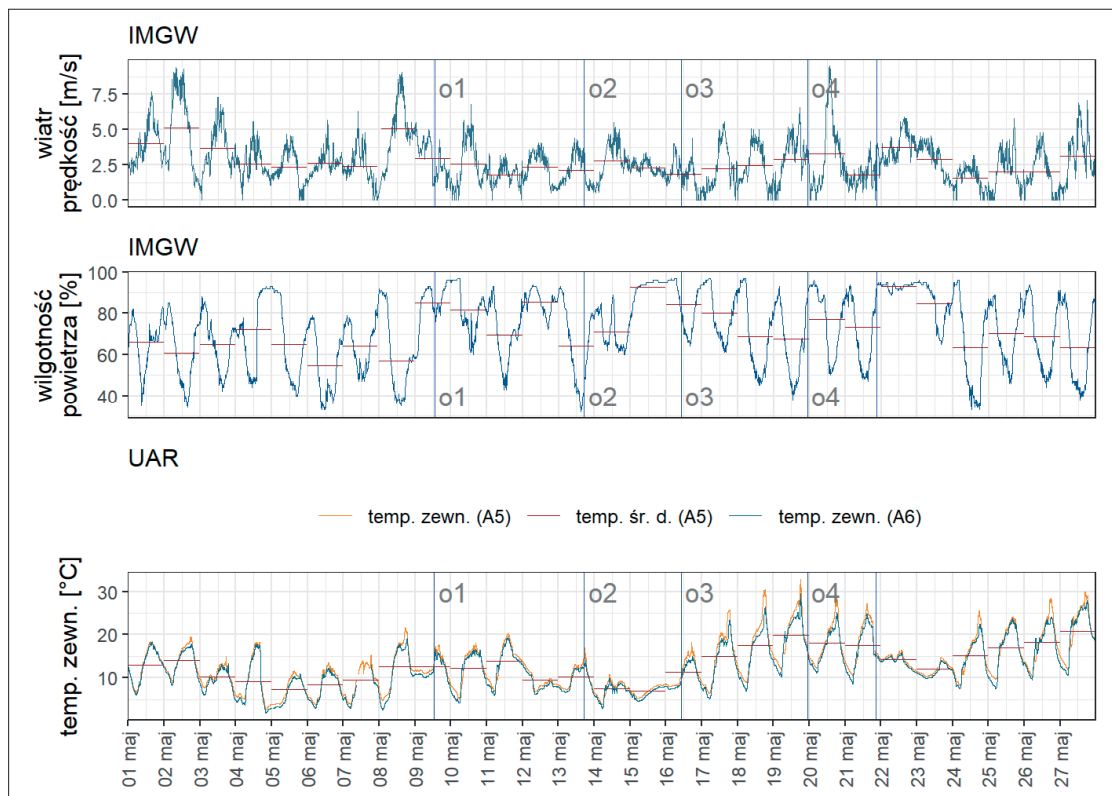


Doświadczenia lat wcześniejszych wskazywały na celowość odcięcia dostaw ciepła w okresie lata, a wyłączenie ogrzewania następowało pod koniec kwietnia. W sezonach grzewczych, w których tego nie dokonano, obserwowano duże i niekontrolowane zużycie ciepła w tzw. częściach wspólnych (stanowiące realne straty ciepła), jak i zużycie ciepła występujące tylko w pojedynczych (nielicznych) mieszkaniach. Takie korzystanie w mieszkaniach z ogrzewania w okresie lata wytłumaczyć można różnymi przyczynami, zarówno świadomym działaniem (otwarcia zaworu termostatycznego w nocy, w łazience, w celu wykorzystania grzejnika jako suszarki itp.), jak i niezamierzonym (nieświadome pozostawienie odkręconej głowicy w pozycji maksymalnego otwarcia, jej uszkodzenie, zabawa dzieci itp.). Na rys. 1 przedstawiono średnią temperaturę powietrza zewnętrznego we Wrocławiu w maju w latach 2004-2019. Jak widać na tym rysunku, w 2018 r. w maju temperatura była nietypowo wysoka, a w poprzednich latach średnia temperatura była dość typowa i powtarzalna. Tak niska temperatura, jak w 2019 r. wystąpiła w ciągu tych 16 lat tylko jeszcze 2 razy. W 2019 r. zarządy wspólnot, w uzgodnieniu z administratorem osiedla, podjęły decyzję o wyłączeniu ogrzewania od 26 kwietnia. W dniach poprzedzających podjęcie takiej decyzji utrzymywały się korzystne warunki pogodowe, a wielodniowe prognozy pogody na maj nie zapowiadały zmiany tej sytuacji.

W ostatnich dniach kwietnia 2019 r. nastąpiło jednak niezapowiedziane i gwałtowne załamanie pogody (obniżenie temperatury zewnętrznej, prowadzące do przymrozków w godzinach nocnych, opady deszczu i silny wiatr). Na skutek tych warunków wpłynęły zarówno do administratora, jak i do zarządu wspólnoty liczne skargi mieszkańców na brak możliwości korzystania z ogrzewania. Dodatkowym argumentem podnoszonym w tych skargach był brak analogicznego wyłączenia ogrzewania w innych zasobach mieszkaniowych na terenie miasta (część spółdzielni mieszkaniowych, zasoby komunalne, inne wspólnoty), chociaż należy zaznaczyć, że część zarządców podjęła analogiczne decyzje o wyłączeniu ogrzewania. Ze względu na wypadające w 2019 r. połączenie dni wolnych i świątecznych na początku maja (i tzw. długi weekend) decyzja o ponownym włączeniu ogrzewania mogła zapaść z opóźnieniem. Nastąpiło to pomiędzy 7 i 8 maja, a uruchomiono ogrzewanie dopiero 9 maja około godz. 13-tej. Wcześniej brak było możliwości podjęcia decyzji kolegialnej, a taki sposób procedowania jest wymagany ze względu na konsekwencje finansowe wpływające na koszt eksploatacji nieruchomości. W wyniku tego zbiegu okoliczności sezon grzewczy 2018/2019 przeciągnął się prawie do końca maja, chociaż temperatura powietrza zewnętrznego nie zawsze uzasadniała konieczność tak długiego działania ogrzewania (rys. 2). Mając na uwadze ten nietypowy przypadek wydtu-

żenia sezonu grzewczego, poza normalnymi odczytami układów pomiarowych dokonywanymi co miesiąc, dodatkowo w okresie od 9 do 21 maja wykonano odczyty kontrolne układów pomiarowych, których celem było sprawdzenie zużycia ciepła w poszczególnych mieszkaniach. Ciepło z kotłowni A5 i A6 dostarczane jest do 272 wyodrębnionych lokali, w tym do 259 mieszkańców. 13 ciepłomierzy zamontowanych jest w pomieszczeniach dodatkowych (świetlica, siłownia, pomieszczenia gospodarcze, lokale wynajmowane). Wykonany monitoring pozwolił również wyznaczyć krótkookresową efektywność energetyczną systemu dystrybucji ciepła z dwóch badanych kotłowni w okresie końca sezonu grzewczego (tabela 3). W kotłowniach A5 i A6 zamontowane są też ciepłomierze bezpośrednio za kotłami (co umożliwia pomiar ciepła dostarczanego do instalacji i monitoring warunków ich działania). Wspólnota Mieszkaniowa korzysta też z telemetrii oferowanej przez Polską Spółkę Gazownictwa sp. z o.o. (PSG) w celu obserwowania na bieżąco zużycia gazu w kotłowniach. Stany ciepłomierzy mogą być rejestrowane w cyklu 1-minutowym (i później agregowane), zużycie gazu rejestrowane jest w cyklu co godzinę. Tak skonfigurowany układ pomiarowy pozwala wyznaczać sprawność procesu wytwarzania ciepła w jednostkach kotłowych oraz w systemie dystrybucji ciepła. Zużycie c.w. rejestrowane jest natomiast z częstotliwością 1-minutową jako wskazanie wodomierza zamontowanego

Rys. 2. Temperatura zewnętrzna w okresie badań rejestrowana przez czujniki temperatury zewnętrznej kotłowni A5 i A6 oraz wilgotność względna powietrza zewnętrznego i prędkość wiatru – w oparciu o pomiary IMGW-PIB.
Fig. 2. The outside temperature during the research period recorded by the outside temperature sensors of the A5 and A6 boiler rooms as well as the relative humidity and the wind speed - based on IMGW-PIB measurements.



przed układem podgrzewaczy pojemnościowych.

Wyniki badań

Zmiany temperatury zewnętrznej w ciągu doby przedstawiono na rys. 3, gdzie pomiary dla kotłowni A5 i A6 zostały zaprezentowane odrębnie. Pomimo tego, że kotłownie i budynki znajdują się od siebie w niewielkiej odległości, zaobserwowano pewne różnice mierzonych temperatur – i nie jest to błąd pomiaru. Pierwsze dni maja 2019 r. charakteryzowały się dość niską temperaturą zewnętrzną (5 maja – 7,4°C), a odczucie chłodu było wzmocniane niskimi temperaturami zewnętrznymi w nocy (4 maja – 2,7°C) oraz sporadycznymi i tylko krótkimi okresami wyższych temperatur w ciągu dnia (8 maja – 21,8°C). Średnia temperatura zewnętrzna w tym okresie wyniosła 10,6°C. Dla celów analizy, ze względu na zróżnicowanie zmian warunków cieplnych i terminy dokonania odczytów kontrolnych, tę część maja, w której działało ogrzewanie podzielono na 4 okresy (różnej długości) oznaczone odpowiednio od o1 do o4. Ich opis zestawiono w tabeli 1. W okresie pierwszym (o1), w którym po przerwie i wychłodzeniu budynków ponownie zostało uruchomione ogrzewanie (poprzez otwarcie zaworów odcinających, włączenie pomp obiegowych i przedstawienie nastaw układu automatycznej regulacji), pogoda kształtowała się podobnie jak w pierwszych dniach maja. Okres

Tabela 1. Podstawowe dane dotyczące poszczególnych okresów badawczych dla kotłowni A5 i A6.
Table 1. Basic data on separate research periods for boiler rooms A5 and A6

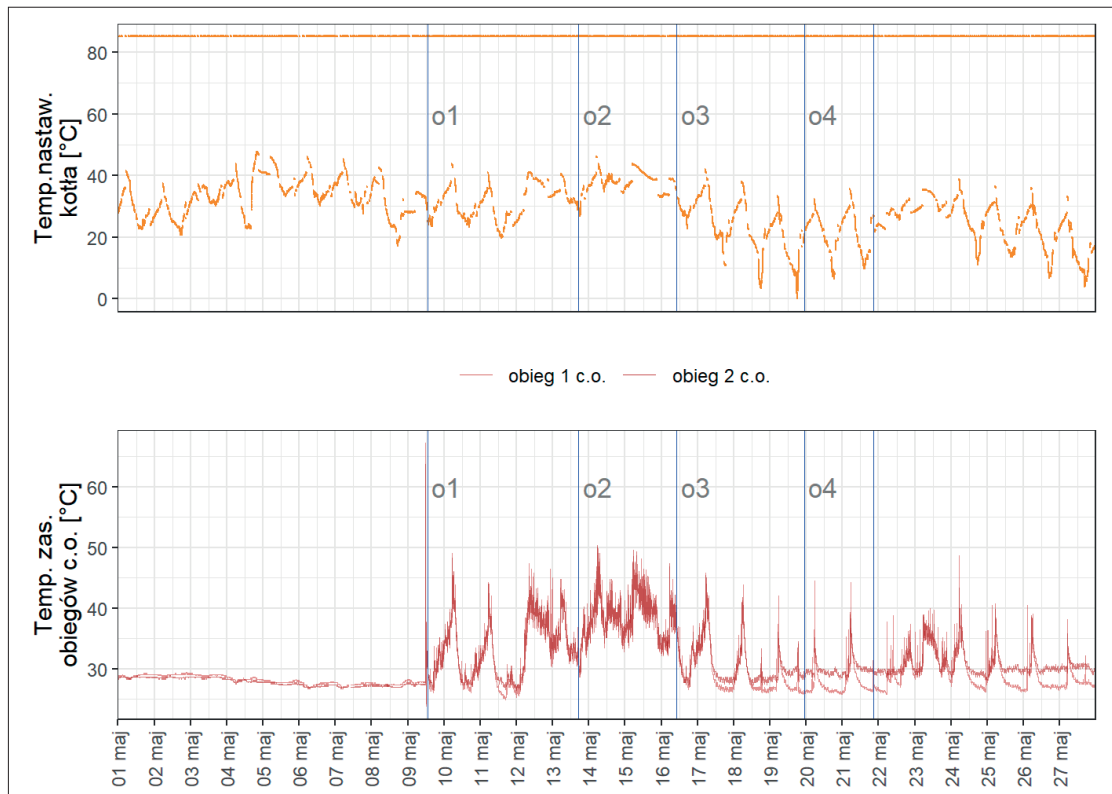
	9-13 maja o1	13-16 maja o2	16-19 maja o3	19-21 maja o4
Charakterystyka czasowa	od 9 maja ok. g. 13 do 13 maja 17:19	od 13 maja 17:19+0:17 do 16 maja 10:05	od 16 maja 10:05+0:13 do 19 maja 22:42	do 19 maja 22:42+0:14 do 21 maja 20:49
Czas odczytu wszystkich lokali, min	17	13	14	16
Długość okresu, h	100	65	85	46
Średnia temperatura zewnętrzna	11,8	7,77	16,8	18,0
Liczba lokali (mieszkań) ze zużyciem ciepła równym 0 GJ	73 (67)	63 (57)	90 (84)	150 (143)
Liczba lokali (mieszkań) ze zużyciem ciepła ponad 0,1 GJ	88 (84)	110 (106)	25 (23)	1 (0)
Łącznie zużycie ciepła do ogrzewania pomieszczeń – wg pomiaru w źródle ciepła, GJ	23,06	24,89	10,73	3,29
Łącznie zużycie ciepła do ogrzewania pomieszczeń z kotłowni A5 – wg pomiaru w źródle ciepła, GJ	6,87	12,94	5,16	1,56
Łącznie zużycie ciepła do ogrzewania pomieszczeń z kotłowni A6 – wg pomiaru w źródle ciepła, GJ	16,19	11,95	5,57	1,73

drugi (o2) był spośród wyodrębnionych przedziałów czasowych najzimniejszy. Na rys. 2 zostały też wrysowane średnie dobowe temperatury zewnętrzne oraz zaznaczono wyodrębnione okresy badań. Czujnik temperatury zewnętrznej kotłowni A6 rejestrował częściej niższe temperatury w porównaniu z kotłownią A5, przy czym obserwowana dynamika zmian jest identyczna. Tę różnicę można wytłumaczyć nie tylko specyfiką konkretnej lokalizacji czujnika temperatury w przypadku każdej z kotłowni, ale również tym, że budynki zasilane w ciepło z kotłowni A6 (łącznie z budynkiem, w którym znajduje się kotłownia) są mocniej zacienione oraz mniej osłonięte (skraj osiedla) i przez to bardziej wystawione na działanie wiatru.

Ze względu na taką lokalizację nie występują też w ich przypadku zyski ciepła na drodze promieniowania od przegród budowlanych (ścian) sąsiednich budynków, jak jest to w przypadku budynków zasilanych z kotłowni A5, a które są otoczone ze wszystkich stron zabudową o podobnej wysokości.

Warunki pogodowe wpływały bezpośrednio na pracę źródła ciepła dostarczającego czynnik grzewczy do instalacji c.o. Na rys. 3 przedstawiono przebieg zmian nastaw temperatury wody w kotłach, które w okresie pracy wyłącznie na potrzeby c.o. ustalane były przez algorytm układu automatycznej regulacji kotłowni w funkcji temperatury zewnętrznej. W czasie dostawy ciepła do układu przygotowania c.w.

Rys. 3. Nastawy temperatury wody w kotłach oraz temperatura zasilania obiegów c.o. zasilanych z kotłowni A5 w okresie badań.
Fig. 3. Boiler water temperature settings and the heating flow temperature in A5 boiler room during the research period.



utrzymywana była natomiast stała nastawa temperatury wody na wyjściu z kotłów wynosząca 85°C. Na rys. 3 zaznaczono też temperatury czynnika grzewczego mierzone za zaworami mieszającymi obiegów instalacji c.o. Od 18 maja (okres o3) „otwarcie” zaworów mieszających i w efekcie podniesienie temperatury czynnika grzewczego powyżej temperatury powrotu następowało niemal wyłącznie w nocy (z wyjątkiem 23 maja). Taki przebieg wynika z uwzględnienia w algorytmie regulatora nie tyle chwilowej temperatury zewnętrznej, a wartości z 4 kolejnych godzin.

Algorytmy regulacji pracą źródła ciepła wymuszają wytwarzanie ciepła na potrzeby ogrzewania, niezależnie od tego, czy po stronie instalacji c.o. występuje czy też nie występuje odbiór ciepła. Otwarcie zaworów mieszających następowało więc także w okresach o względnie wysokiej średniej temperaturze zewnętrznej, szczególnie w porze nocnej. Był to efekt spadku temperatury zewnętrznej (przez okres kilku godzin) poniżej progowej wartości wprowadzonej do algorytmu sterowania, nawet wówczas gdy faktyczne potrzeby na poziomie mieszkań praktycznie nie występowały. Wzrost temperatury zewnętrznej w dzień skutkował natomiast zamknięciem zaworów mieszających.

W kolejnym etapie analizy działania systemu zaopatrzenia w ciepło w okresie końca sezonu grzewczego skoncentrowano się na obserwacjach zużycia ciepła w lokalach mieszkalnych. Wyniki pomiarów przedstawiono w rozbiu na zasoby wspólnot mieszkaniowych oraz na poszczególne kotłownie i budynki. W przypadku kotłowni A5 i A6, w okresie 20-26 kwietnia (ok. 140 h), kiedy dostawa ciepła do instalacji c.o. była jeszcze realizowana (przed wyłączeniem ogrzewania), w 120 lokalach (44% lokali), w tym w 114 mieszkaniach (44% mieszkań) nie wystąpił pobór ciepła. W 116 mieszkaniach (45% mieszkań), a uwzględniając lokale dodatkowe, w 121 lokalach (44% lokali) zużycie ciepła nie przekroczyło 0,1 GJ/lokal (łącznie w całym okresie). W 31 lokalach (11% lokali), w tym w 29 mieszkaniach (11% mieszkań) zużycie ciepła było większe od 0,1 GJ/lokal. Maksymalne zużycie wyniosło 0,21 GJ/lokal. Tak duże zużycie ciepła nie dotyczy jednak mieszkania a świetlicy osiedlowej tj. lokalu z dostępem publicznym, w którym brak jest skutecznej kontroli zarówno stopnia otwarcia głowic termostatycznych, jak i intensywności wietrzenia. Dokonany na koniec kwietnia odczyt urządzeń pomiarowych (przeprowadzany w ramach rozliczeń kosztów ogrzewania) wykazał skuteczność wyłączenia dostawy ciepła – w żadnym lokalu nie odnotowano poboru ciepła. Po

Tabela 2. Podstawowe dane dotyczące poszczególnych okresów badawczych dla kotłowni E1 i E2
Table 2. Basic data on separate research periods for boiler rooms E1 and E2

	9-13 maja o1	13-16 maja o2	16-19 maja o3	19-21 maja o4
Charakterystyka czasowa	9 maja ok. g. 13 13 maja 17:30	od 13 maja 17:30+0:16 16 maja 10:13	od 16 maja 10:13+0:09 19 maja 22:51	od 19 maja 22:51+0:10 21 maja 20:59
Czas odczytu wszystkich lokali, min	16 min	9 min	10 min	13 min
Długość okresu, h	100	65	85	46
Liczba lokali (mieszkań) ze zużyciem ciepła równym 0 GJ	45 (44)	49 (48)	68 (67)	221 (219)
Liczba lokali (mieszkań) ze zużyciem ciepła ponad 0,1 GJ	118 (107)	109 (108)	13 (12)	0 (0)

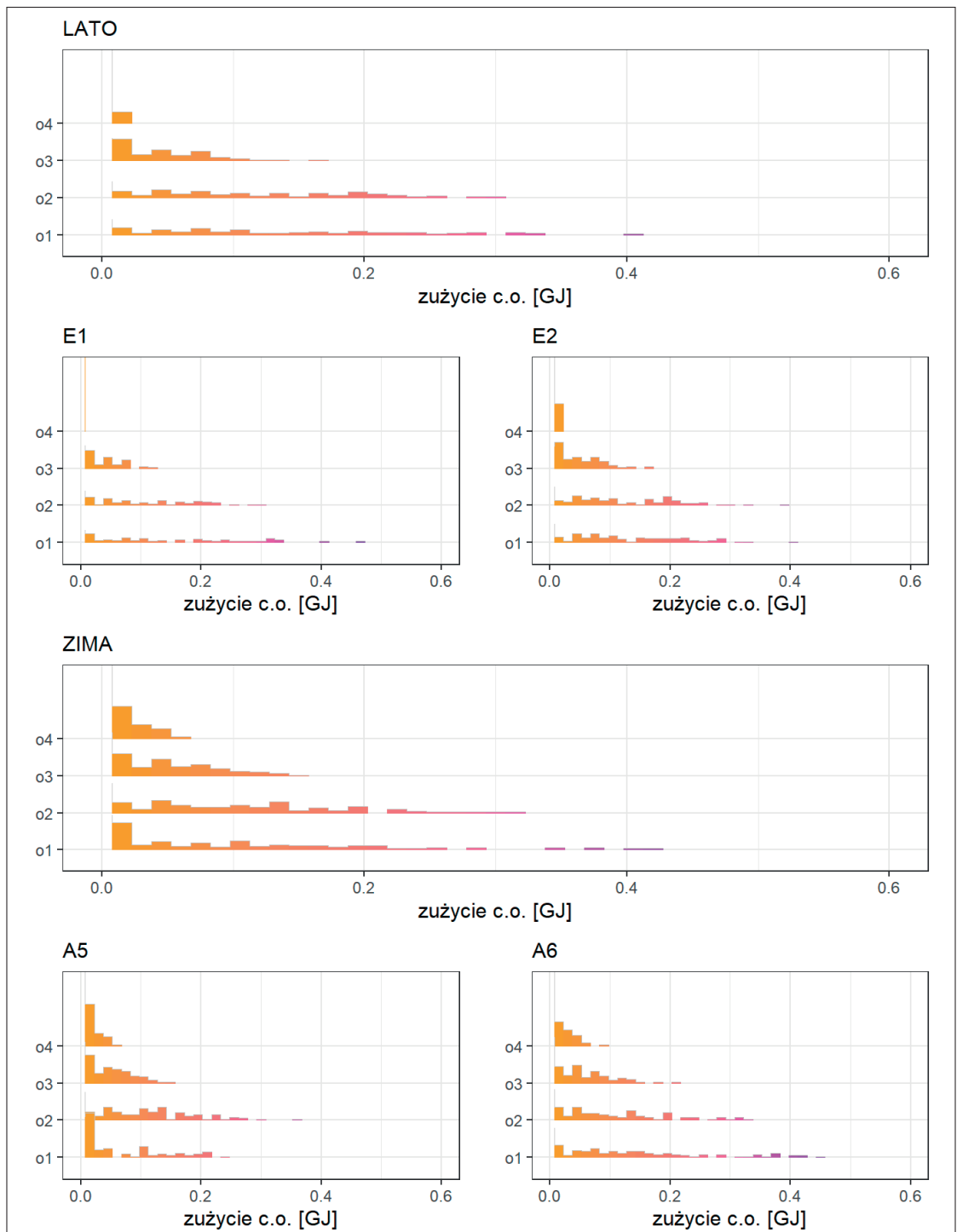
ponownym uruchomieniu ogrzewania, w okresie o1 tj. 9-13 maja (ok. 100 godzin) łączne zużycie ciepła w lokalach wyniosło 23,06 GJ, przy czym w 73 lokalach (27% lokali), w tym w 67 mieszkaniach (26% mieszkań) nie odnotowano poboru ciepła. W 108 mieszkaniach (42% mieszkań), a uwzględniając lokale dodatkowe, w 111 lokalach (41% lokali) zużycie ciepła nie przekroczyło 0,1 GJ/lokal. Jednocześnie w 88 lokalach (32% lokali), w tym w 84 mieszkaniach (34% mieszkań) zużycie ciepła przekroczyło 0,1 GJ/lokal. Poza dużym zróżnicowaniem w korzystaniu z ogrzewania w okresie o1, zaobserwowano również dla tego okresu duże dysproporcje w wielkości zużycia ciepła (rys. 4). W kolejnych okresach nie było już takich dysproporcji, trudno też je skorelować z wielkością mieszkań. Wyjaśnieniem tej sytuacji może być przede wszystkim przebieg zmian temperatur zewnętrznych (rys. 2). Dla okresu o1 występują największe wahania dobowe. Nawet jak w kolejnym okresie (o2) średnia temperatura jest nieznacznie niższa, to w ciągu doby temperatury są bardzo stabilne. Duże znaczenie w rozbiórce ciepła, w instalacjach wyposażonych w grzejniki z regulacją ma w tym okresie indywidualne podejście użytkowników do zaspokajania potrzeb (analogicznie do poboru wody w instalacji wodociągowej). Na zróżnicowanie użytkowania ogrzewania w okresie o1 wpływ mógł mieć też brak wiedzy niektórych mieszkańców o ponownym uruchomieniu ogrzewania. Interesująca jest bardzo duża dysproporcja zużycia ciepła pomiędzy grupami budynków zasilanych z poszczególnych kotłowni. W przypadku kotłowni A5 sumaryczne zużycie ciepła wyniosło 6,87 GJ, a w A6 aż 16,19 GJ. Może to być oczywiście efekt większego wychłodzenia mieszkań zasilanych z kotłowni A6 w okresie pogorszenia się warunków pogodowych w trakcie tzw. majówki. Przede wszystkim jest to jednak wynik innych czynników, w tym odmiennych zachowań i potrzeb cieplnych mieszkańców. Od połowy 13 maja do połowy 16 maja (ok. 65 godzin), pomimo krótszego okresu o2 o 35% w stosunku do o1, odnotowano wyższe sumaryczne zużycie ciepła. Wyniosło ono łącznie dla obu kotłowni

24,89 GJ, w tym przypadku zużycie ciepła w poszczególnych źródłach ciepła jest już prawie identyczne. Zużycie ciepła w budynkach zasilanych z kotłowni A6, w stosunku do okresu o1 zmalało tylko o 26%. W 63 lokalach (23% lokali), w tym w 57 mieszkaniach (22% mieszkań) nie odnotowano zużycia ciepła do ogrzewania pomieszczeń. W 110 lokalach (40% lokali), w tym w 106 mieszkaniach (41% mieszkań) zużycie ciepła przekroczyło 0,1GJ/lokal. W porównaniu z okresem o1, w większej liczbie lokali korzystano zatem w tym okresie z ogrzewania. W kolejnych dwóch okresach (o3 i o4) zużycie ciepła znacząco malało a liczba mieszkań/lokali nie korzystających z ogrzewania była coraz większa. Wyniki pomiarów są zestawione w tabeli 1.

Dla porównania specyfiki warunków użytkowania instalacji zasilanych w ciepło z kotłowni A5 i A6, analogiczne zestawienie przygotowano dla dwóch kolejnych systemów zaopatrzenia w ciepło (w obrębie tego samego osiedla), zasilanych z kotłowni E1 i E2 i przedstawiono je w tabeli 2. Ze względu na brak pomiaru w tych kotłowniach ilości ciepła za kotłami (ilość wytworzonego ciepła określana jest wyłącznie na podstawie zużytego paliwa), nie zamieszczono informacji nt. zużycia ciepła. Łącznie podłączonych do tych dwóch źródeł ciepła jest 256 lokali (w tym 254 mieszkań, apteka i nie użytkowane pomieszczenia przedszkola).

Poza faktem zużycia ciepła w poszczególnych lokalach znaczenie ma również ilość. Histogramy wyznaczone na podstawie pomiarów wykonanych za pomocą ciepłomierzy mieszkaniowych (obrazujące funkcję gęstości prawdopodobieństwa zużycia ciepła w mieszkaniach) przedstawiono na rys. 4 w podziale na cztery okresy (o1, o2, o3, o4) oraz łącznie i z podziałem na poszczególne systemy zaopatrzenia w ciepło (LATO = E1 + E2, ZIMA= A5 + A6). W okresie czwartym (o4) funkcja gęstości ma kształt regularny, a maksimum występuje przy zużyciu ciepła równym 0. Są też mieszkania, w których zarejestrowano zużycie ciepła, ale jest ich niewielka liczba, a zużycie jest nieznanne. Ogrzewanie nie wpływało już wówczas w sposób istotny na zmianę

Rys. 4. Histogramy zużycia ciepła w lokalach w kolejnych okresach pomiarów, wyznaczone na podstawie pomiarów za pomocą ciepłomierzy mieszkaniowych, GJ/lokal
 Fig. 4. Histograms of heat consumption in flats in separate measurement periods, determined on the basis of measurements with residential heat meters, GJ / flat



warunków ciepłych w całym mieszkaniu czy lokalu. Inaczej było w przypadku pierwszego okresu (o1), gdzie chociaż dotyczyło to niewielkiej liczby lokali, to występowało w nich stosunkowo duże zużycie ciepła. W okresie o1 rozkład gęstości prawdopodobieństwa jest bardziej nieregularny. Zużycie ciepła w lokalach (w których ono wystąpiło) miało bezpośredni związek z zapewnieniem oczekiwanych warunków komfortu cieplnego.

Osobnym zagadnieniem jest wskazanie przyczyn ogrzewania pomieszczeń w okresie końca sezonu grzewczego, gdy temperatura zewnętrzna jest na tyle wyso-

ka, że nie wywołuje już odczuwalnego obniżenia temperatury powietrza wewnątrz budynku o dobrej izolacji cieplnej. Z jednej strony można tłumaczyć konieczność ogrzewania subiektywnym odczuciem dyskomfortu osób przebywających w ogrzewanych w tym czasie mieszkaniach, z drugiej potrzebą (pochmurno, wietrznie, duża wilgotność powietrza) utrzymania wyższej niż obliczeniowa temperatury w pomieszczeniach. Uzasadnieniem utrzymywania podwyższonej temperatury może być też obecność w rodzinie małych dzieci czy osób w podeszłym wieku. Innym z powodów stosunkowo dużego zużycia ciepła

w mieszkaniach w okresie o1 mogło być wcześniejsze duże wychłodzenie takich mieszkań, np. w wyniku nadmiernego wietrzenia podczas nieobecności mieszkańców w czasie dni wolnych (nawet do 5 maja), na skutek uchylonych (a nawet tylko rozszczelnionych) okien i porywistych wiatrów w tamtym okresie. Trzeba również zauważyć, że w części mieszkań o szczególnie niekorzystnej lokalizacji w bryle budynku nie występowały zyski ciepła (np. od promieniowania słonecznego), a dodatkowo wiatr wychładzał przegrody budowlane.

Jak wynika to z rys. 4, zużycie ciepła w ilości wpływającej na poprawę komfortu

ciepłego (lub nadmiernej w odniesieniu do chwilowych warunków pogodowych) występowało tylko w nielicznych mieszkaniach. W wyodrębnionym okresie o4 zarejestrowane zużycia ciepła są raczej konsekwencją działań lub zaniechań z poprzedniego okresu (brak korekty nastaw głowic termostatycznych, wietrzenie pomieszczeń itp.) i nie wpływały już na warunki panujące w pomieszczeniach (mając na uwadze temperatury zewnętrzne i ilość ciepła zarejestrowaną przez liczniki mieszkaniowe).

Rozkład w bryle budynku lokali ze zużyciem ciepła

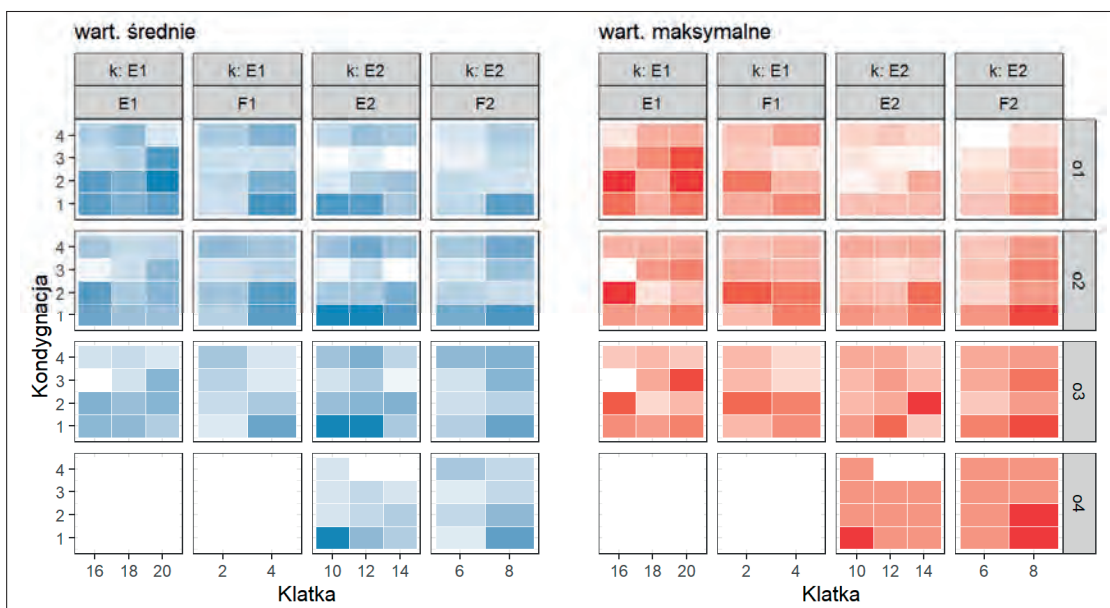
Na zużycie ciepła pomieszczeń wpływa liczba, wielkość i konstrukcja przegród

zewnątrznych. Ma to też związek z umiejscowieniem lokalu w bryle budynku. Zazwyczaj skrajne pomieszczenia (ostatnia i najniższa konsygnacja, ściany szczytowe itp.) mają większe projektowe obciążenie cieplne, jak i dla utrzymania komfortu cieplnego wymagają większej ilości ciepła. Dla lokali zasilanych z kotłowni E1 i E2 wykonano więc analizę lokalizacji w bryle budynku mieszkańców o największym zużyciu ciepła w poszczególnych okresach badawczych. Każdy okres był analizowany odrębnie, a dla każdej kondygnacji w każdej klatce schodowej budynku zostało wyznaczone średnie zużycie ciepła w mieszkaniach. Rozkład przestrzenny przedstawiono na rys. 5 („wartości średnie”). W okresie o1 najwyższe (w skali

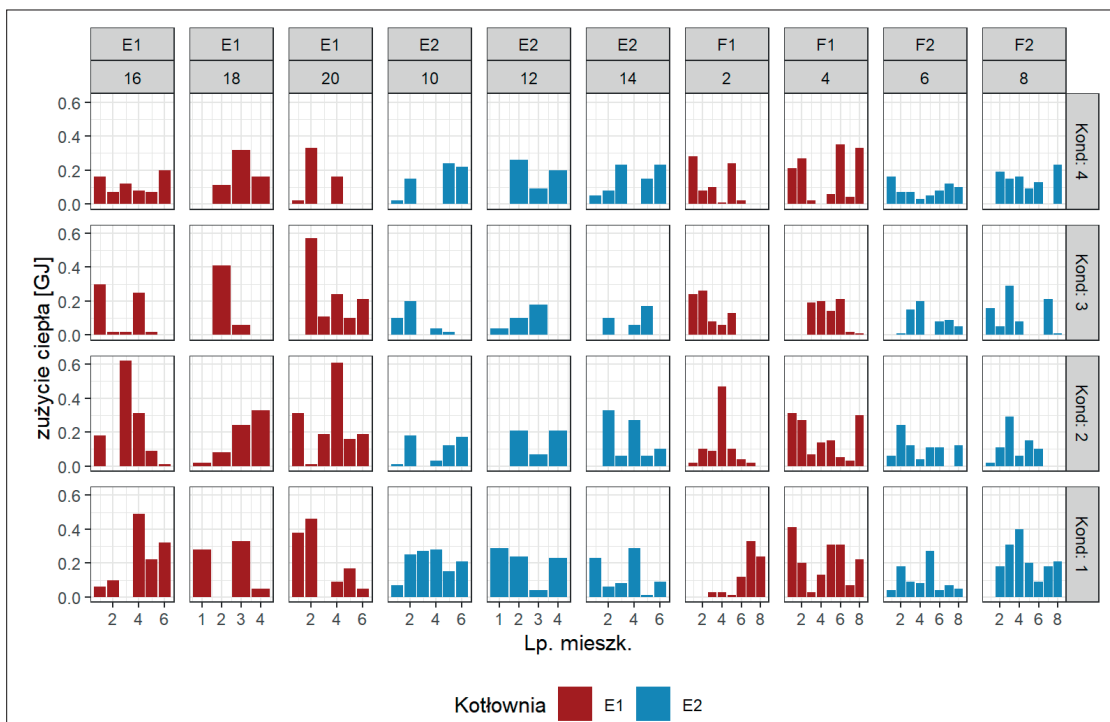
całego kompleksu budynków) średnie zużycie zarejestrowano na kondygnacji drugiej w klatce 20. Zaskakiwać może lokalizacja na kondygnacji pośredniej, gdzie zużycie ciepła jest mniejsze niż na kondygnacjach skrajnych. W klatkach 4, 10, 12 oraz 8 największe wartości średnie odnotowano na kondygnacji najniższej (nad halą garażową). Największe zużycie w mieszkaniu (wartość maksymalna) zarejestrowano jednak dla kondygnacji pośredniej w klatce 16. Jest to środkowa część budynku, najlepiej osłonięta od wiatru.

W okresie o2 największe średnie zużycie ciepła wystąpiło w klatkach 10 i 12 na najniższej kondygnacji, zaś wartość maksymalna w klatce 16 na kondygnacji 2. Mieszkania o największym zuży-

Rys. 5. Rozkład w bryle budynku lokali ze zużyciem ciepła
Fig. 5. Distribution in a building of flats with heat consumption



Rys. 6. Zużycie ciepła na potrzeby ogrzewania pomieszczeń w okresie o1 w podziale na budynki klatki oraz kondygnacje.
Fig. 6. Heat consumption for heating in the period o1, broken down into buildings, staircases and floors.



ciu ciepła w danym okresie badawczym występują w lokalizacjach, w których sąsiadujące lokale charakteryzują się brakiem lub niewielkim zużyciem ciepła. Widoczne jest to na rys. 6 – np. budynek E1, klatka 20, kondygnacja 2, a także budynek E1, klatka 20, kondygnacja 3.

Efektywność energetyczna układu dystrybucji ciepła

Z punktu widzenia całkowitego bilansu ciepła istotne znaczenie mają straty ciepła na przesyle od źródła do poszczególnych mieszkań. W okresie końca sezonu grzewczego, stosunkowo wysokich temperatur zewnętrznych, jak i niskich temperatur czynnika grzewczego teoretycznie nie powinny być one duże. W oparciu o zebrane dane pomiarowe zostały więc one oszacowane dla systemów zaopatrzenia w ciepło zasilanych z kotłowni A5 i A6. Pomiar ilości ciepła wytworzonego w kotłowniach za pomocą ciepłomierzy zamontowanych bezpośrednio za kotłami umożliwił pominięcie wpływu na wynik sprawności procesu spalania oraz zmienności wartości opałowej paliwa gazowego. Ciepło dostarczone do układu przygotowania c.w. oszacowano w oparciu o wskazanie wodomierza z zależności:

$$E_i^{c.w.} = \frac{V_i^{c.w.} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (t^{c.w.} - t^{w.z.})}{10^6}$$

gdzie:

- $E_i^{c.w.}$ – ciepło w postaci c.w. w i-tym okresie, GJ
- $V_i^{c.w.}$ – zużycie c.w. w i-tym okresie, m³
- $t_i^{c.w.}$ – temperatura c.w., °C
- $t^{w.z.}$ – temperatura wody zimnej, °C
- ρ – gęstość wody, kg/m³
- c_p – ciepło właściwe wody, kJ/(kg K)

Jako temperaturę wody cieplej przyjęto wartość nastawy układu regulacji (55°C). Temperaturę wody zimnej określono na podstawie pomiarów. W okresach niewielkiego rozbioru c.w. (okres nocy i godziny południowe) następuje podgrzanie wody w przewodach znajdujących się w pomieszczeniu kotłowni. Średnia temperatura wody zimnej dla kolejnych okresów wynosiła odpowiednio: o1 – 13,4°C, o2 – 13,3°C, o3 – 13,3°C, o4 – 14,0°C. W oparciu o wcześniejsze analizy instalacji cyrkulacyjnej dla lata, zużycie ciepła w instalacji cyrkulacyjnej oszacowano jako:

$$E_i^{cyrk.} = 0,3 \cdot E_i^{c.w.}$$

gdzie:

- $E_i^{cyrk.}$ – ciepło dostarczone do instalacji cyrkulacyjnej w i-tym okresie, GJ

Tabela 3. Efektywność energetyczna systemu dystrybucji ciepła na potrzeby c.o.
Table 3. Energy efficiency of the heat distribution system.

	9-13 maja o1		13-16 maja o2		16-19 maja o3		19-21 maja o4	
	A5	A6	A5	A6	A5	A6	A5	A6
Ciepło wytworzone, GJ	27,3	33,1	27,3	16,0	22,5	20,2	10,0	9,10
Zużycie ciepła do ogrzewania lokali w oparciu o pomiar ciepłomierzy mieszkaniowych, GJ	6,87	16,19	12,94	11,95	5,16	5,57	1,56	1,73
Zużycie c.w., m ³	64,68	51,18	44,47	34,96	58,94	46,77	26,94	22,2
Ciepło w postaci c.w., GJ	10,75	8,49	7,40	5,82	9,80	7,78	4,40	3,63
Oszacowane zużycie ciepła w instalacji cyrkulacyjnej, GJ	3,22	2,55	2,22	1,74	2,94	2,33	1,32	1,09
Straty ciepła w systemie dystrybucji c.o., GJ	6,48	5,81	4,94	4,59	4,69	4,62	2,72	2,65
Efektywność energetyczna systemu dystrybucji ciepła c.o., %	51,5	73,4	72,4	72,2	52,4	54,7	36,5	39,5

Tabela 4. Liczba lokali mających udział w całkowitym zużyciu ciepła na ogrzewanie
Table 4. Number of flats that contribute to the total heat consumption for heating

E1+E2	70 % zużycia ciepła	80 % zużycia ciepła	90 % zużycia ciepła
o1	33 % mieszkań (83)	41 % mieszkań (105)	54 % mieszkań (137)
o2	34 % mieszkań (87)	43 % mieszkań (109)	55 % mieszkań (139)
o3	30 % mieszkań (77)	38 % mieszkań (97)	49 % mieszkań (126)
o4	9 % mieszkań (23)	11 % mieszkań (27)	12 % mieszkań (31)
A5+A6	70 % zużycia ciepła	80 % zużycia ciepła	90 % zużycia ciepła
o1	25 % mieszkań (65)	32 % mieszkań (84)	42 % mieszkań (108)
o2	33 % mieszkań (86)	41 % mieszkań (107)	53 % mieszkań (136)
o3	29 % mieszkań (76)	36 % mieszkań (94)	46 % mieszkań (118)
o4	22 % mieszkań (57)	28 % mieszkań (72)	34 % mieszkań (87)

$E_i^{c.w.}$ – ciepło w postaci c.w. w i-tym okresie, GJ

W tab. 3 przedstawiono wyniki obliczeń oraz wyznaczoną na ich podstawie efektywność energetyczną układu dystrybucji ciepła na potrzeby ogrzewania pomieszczeń. W trzech okresach (o2 – o4) wartości obliczone dla obu analizowanych systemów zaopatrzenia w ciepło są zbliżone, a tylko w okresie pierwszym (o1) wystąpiła istotna różnica. Ma na to wpływ dużo mniejsze zużycie ciepła na ogrzewanie w mieszkaniach zasilanych z kotłowni A5, przy porównywalnych stratach na przesyle. Jak wynika z tego zestawienia, utrzymywanie w gotowości instalacji centralnego ogrzewania w maju 2019 r. powodowało straty ciepła w instalacji przesyłowej rzędu 25-55% ciepła zużytego w ogrzewanych lokalach.

W okresie o4 efektywność energetyczna instalacji dystrybucji ciepła spada znacznie poniżej 50%. Związane jest to nie tyle ze zmianami temperatury zewnętrznej, co z przekroczeniem wartości progowej, kiedy zużycie ciepła na potrzeby ogrzewania w niemal wszystkich mieszkaniach zmalało do zera, a instalacja ogrzewania działała nadal.

Podsumowanie i wnioski

Koniec sezonu grzewczego jest okresem działania systemu zaopatrzenia w ciepło, w którym obciążenie cieplne maleje do ok. 20% wartości obliczeniowej (w zależności od strefy klimatycznej i temperatury zewnętrznej, przy której następuje

wyłączenia ogrzewania). Tak małe zużycie ciepła przekłada się na określone problemy eksploatacyjne źródła ciepła (a w przypadku systemów scentralizowanych – również sieci ciepłowniczej), zaprojektowanego na warunki obliczeniowe. Również, z punktu widzenia instalacji odbioru ciepła – jak przedstawiono to w artykule – warunki te istotnie wpływają na sprawność układu dystrybucji ciepła. Łącznie ze stratami instalacji cyrkulacyjnej, więcej niż 50% ciepła dostarczanego do instalacji odbioru ciepła rozpraszane jest w otoczeniu, bez osiągnięcia zamierzonego efektu użytkowego. Regulacja w źródle temperatury zasilania czynnika grzewczego w funkcji temperatury zewnętrznej zapewnia centralną regulację jakościową, przy założeniu stałego strumienia czynnika grzewczego i działania całej instalacji. We współczesnych instalacjach, w odbiorze ciepła w takim okresie uczestniczy jednak tylko część mieszkań. W tab. 4 przedstawiono dla poszczególnych okresów badawczych rozkład udziału liczby lokali w całkowitym zużyciu ciepła na ogrzewanie w kolejnych okresach maja. Koniec sezonu grzewczego odpowiada zasadzie Pareto [9], wykorzystywanej do opisu wielu zjawisk w ekonomii. Za zużycie 80% ciepła w tym okresie odpowiadało dużo mniej niż połowa mieszkań, a w przypadku instalacji c.o. zasilanych w ciepło z kotłowni E1 i E2 w okresie o4 za zużycie 90% dostarczonego do instalacji ciepła odpowiadało tylko ok. 10% mieszkań.

Istniejące możliwości techniczne zapewniają odbiór ciepła w lokalach

mieszkalnych przez cały rok. W polskich warunkach klimatycznych nawet latem temperatura wewnętrzna osiąga wartości, przy których układ automatycznej regulacji kotłowni może skierować strumień ciepła do instalacji c.o. W wyniku świadomego działania użytkowników mieszkań lub w sytuacjach przypadkowych i awaryjnych będzie następował w takich przypadkach pobór ciepła. Większość dostarczanej energii traconą jest jednak na straty w układzie dystrybucji. Administrator nieruchomości i podmioty odpowiedzialne za eksploatację systemu zaopatrzenia w ciepło powinny więc zapewnić wyłączenie instalacji grzewczej na okres lata (pompa, zawory, układ regulacji). Trudne jest określenie momentu takiego wyłączenia, jak i określenie na ile jest dopuszczalne na skutek takich decyzji, obniżenie komfortu cieplnego w mieszkaniach, jak i np. konieczność ewentualnego dogrzewania w oparciu o inne źródła (ogrzewanie elektryczne). Zbyt wczesne podjęta decyzja może prowadzić do licznych skarg ze strony użytkowników mieszkań. Natomiast jej opóźnienie generuje zbędne straty energii, jak i dodatkowe koszty eksploatacji. Pomocne przy podejmowaniu tego typu decyzji mogą być np. takie mapy jak przedstawiona na rys. 1, opracowane również dla krótszych okresów niż miesiąc. Najistotniejsze są jednak wieloletnie prognozy i ich dokładne monitorowanie. Dla ograniczenia ewentualnych skarg zasadne jest też ustalenie (i upublicznienie) zasad uruchomienia i wyłączenia ogrzewania, analogicznych np. do [27]. Odrębnym zagadnieniem jest koszt ogrzewania w okresie jego obniżonej efektywności energetycznej. Ponieważ w Polsce rozliczenia są prowadzone w cyklu rocznym, zwiększonym kosztem ciepła (jako energii końcowej) obciążani są wszyscy użytkownicy [6], niezależnie czy korzystają czy też nie z ogrzewania w końcu sezonu grzewczego. Ze względu na mniejszą sprawność systemu, jednostkowy koszt ciepła w takim okresie jest większy. Jak pokazały to wyniki opisanych badań,

w tym okresie dostarczane do instalacji ciepło służy tylko niewielkiemu odsetkowi właścicieli lokali. Poza kosztem ciepła nasuwa się też pytanie o celowość i zasadność zużycia energii, i wynikającego z tego oddziaływania systemu zaopatrzenia w ciepło na środowisko (emisja zanieczyszczeń, zużycie nieodnawialnych zasobów itp.).

LITERATURA:

- [1] Abel E., *Low-energy buildings*, Energy and Buildings vol. 21, 1994, s. 169-174.
- [2] Atkinson J.G.B., Jackson T., Mullings-Smith E., Market influence on the low carbon energy refurbishment of existing multi-residential buildings, *Energy Policy* vol. 37, 2009, s. 2582-2593.
- [3] BRECSU. Energy consumption guide 81: Benchmarking tool for industrial building—heating and internal lighting. Energy Efficiency Best Practice Programme, DTI, 2002.
- [4] BRECSU. General Information Report No. 40: Heating systems and their control. Energy Efficiency Best Practice Programme, DETR, 1996.
- [5] Dexter A.L., Self-tuning optimum start control of heating plant, *Automatica* vol. 17, 1981, s. 483-492.
- [6] Dudziński K., Nowa dyrektywa wzmacnia możliwości oszczędnego gospodarowania ciepłem w budynkach mieszkalnych, *INSTAL* 2/2019, s. 26-28.
- [7] Gadd H., Werner S., Daily heat load variations in Swedish district heating systems, *Applied Energy* vol. 106, 2013, s. 47-55.
- [8] Harvey L. D. D., *A handbook on low-energy buildings and district-energy systems*, Earthscan, London - Sterling VA 2006.
- [9] Juran J. M., Godfrey A. B., *Juran's Quality Handbook*, McGraw-Hill, New York 1999.
- [10] Leurent M., Analysis of the district heating potential in French regions using a geographic information system, *Applied Energy* vol. 252, 2019, art. nr 113460.
- [11] Levermore G.J., Building energy management systems: applications to low-energy HVAC and natural ventilation control. E & FN Spon, ISBN 0-419-26140-0, 2000.
- [12] Liao Z., Parand F., Controller efficiency improvement for commercial and industrial gas and oil fired boilers. Building Research Establishment (BRE), the final report of the CRAFT project, 1999-2001, contract JOE-CT98-7010, 2001.
- [13] Liao Z., Swainson M., Dexter A., On the control of heating systems in the UK, *Energy and Buildings* vol. 40, 2005, s. 343-351.
- [14] Lund H., Möller B., Mathiesen B.V., Dyrrelund A., The role of district heating in future renewable energy systems, *Energy* vol. 35, 2010, s. 1381-1390.
- [15] Papakonstantinou N., Savolainen J., Koistinen J., Aikala A., Vyatkin V., District heating temperature

control algorithm based on short term weather forecast and consumption predictions, *Materiały konferencyjne 21st IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA, Berlin* 2016.

- [16] Peeters L., Van der Veken J., Hens H., Helsen L., D'haeseleer W., Control of heating systems in residential buildings: current practice, *Energy Build* vol. 40, 2008, s. 1446-1457
- [17] Piotrowicz K., Zróżnicowanie warunków termicznych sezonu grzewczego w Krakowie, w: Trepińska J., Olecki Z. (red.), *Klimatyczne aspekty środowiska geograficznego*, IGiP UJ, Kraków 2006, s. 193-202.
- [18] Razumkova K., Smyk A., Laskowski R., Analiza przyczyn niezadawalającego schładzania wody sieciowej powrotnej w węzłach cieplnych, *INSTAL* 11/2019, s. 4-10, DOI 10.36119/15.2019.11.1.
- [19] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 15 stycznia 2007 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemów ciepłowniczych, Dz. U. nr 16, poz. 92.
- [20] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 11 sierpnia 2000 r. w sprawie szczegółowych warunków przyłączenia podmiotów do sieci ciepłowniczych, obrotu ciepłem, świadczenia usług przesyłowych, ruchu sieciowego i eksploatacji sieci oraz standardów jakościowych obsługi odbiorców, Dz. U. Nr 72, poz. 84.
- [21] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 17 lipca 1998 r. w sprawie szczegółowych warunków przyłączenia podmiotów do sieci ciepłowniczych, pokrywania kosztów przyłączenia, obrotu ciepłem, świadczenia usług przesyłowych, ruchu sieciowego i eksploatacji sieci oraz standardów jakościowych obsługi odbiorców, Dz. U. Nr 100 poz. 642
- [22] Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 30 czerwca 2004 r. w sprawie szczegółowych warunków przyłączenia podmiotów do sieci ciepłowniczych oraz eksploatacji tych sieci, Dz. U. Nr 167, poz. 1751.
- [23] Suligowski Z., Paradowski pozornej dokładności, *INSTAL* 3/2019, s. 44-46.
- [24] Świątecki M., Zielasko J., Optymalizacja parametrów pracy sieci ciepłowniczej, *INSTAL* 11/2019, s. 19-22.
- [25] Thyholt M., Hestnes A.G., Heat supply to low-energy buildings in district heating areas: analyses of CO2 emissions and electricity supply security, *Energy and Buildings* vol. 40, 2008, s. 131-139.
- [26] Werner S. International review of district heating and cooling, *Energy* vol. 137, 2017, s. 617-31.
- [27] Zarządzenie Głównego Inspektora Gospodarki Energetycznej z dnia 2 września 1985 r. w sprawie terminów ogrzewania budynków i pomieszczeń, *Monitor Polski* z 19985 r. nr 23 poz. 182.
- [28] Zhu L., Hurt R., Correia D., Boehm R., Detailed energy saving performance analyses on thermal mass walls demonstrated in a zero energy house, *Energy and Buildings* vol. 41, 2009, s. 303-310.



Kwartalnik „Budownictwo i Prawo” ukazuje się piętnasty rok i ma już usiałoną grupę odbiorców wśród: firm budowlanych, wydziałów budownictwa urzędów miejskich i starostw, biur projektowych, firm kosztorysowych i innych. Obecnie nakład czasopisma wynosi ok. 2000 egz. (w zależności od uczestnictwa w targach lub sympozjach i konferencjach, podczas których prowadzone są akcje promocyjne).

Współpracujemy z Ministerstwem Infrastruktury i Budownictwa, Ministerstwem Energetyki, Ministerstwem Środowiska, Głównym Urzędem Nadzoru Budowlanego, Urzędem Zamówień Publicznych, Instytutem Techniki Budowlanej, uczelniami oraz licznymi stowarzyszeniami z sektora budownictwa.

Autorzy z tytułu publikacji w „Budownictwo i Prawo” otrzymują 5 pkt w klasyfikacji MNiSW. Czasopismo jest wydawane przez Ośrodek Informacji „Technika instalacyjna w budownictwie” oraz Oficynę Wydawniczą POLCEN i rozpowszechniane na terenie całego kraju w prenumeracie oraz w sieci sprzedaży ww. wydawców.

Zamówienia na prenumeratę w 2020 roku w wysokości 80 zł przyjmuje:

Ośrodek Informacji „Technika instalacyjna w budownictwie”

02-674 Warszawa, ul. Marynarska 14, tel./fax: 22/843-77-71

redakcja@informacjainstal.com.pl, wydawnictwo@informacjainstal.com.pl