

**Zeszyty Naukowe***Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią
Polskiej Akademii Nauk*

rok 2019, nr 109, s. 65–78

DOI: 10.24425/znigsme.2019.128678

Grzegorz BARTNICKI¹, Bogdan NOWAK²

Możliwości poprawy efektywności energetycznej systemów grzewczych z lokalną kotłownią gazową

Streszczenie: Artykuł omawia problematykę dotyczącą poprawy efektywności energetycznej systemów zaopatrzenia w ciepło. Zwrócono uwagę na konieczność podejmowania działań nie tylko w przypadku dużych obiektów i systemów, ale również pojedynczych budynków i kotłowni lokalnych. Monitoring pracy systemu zaopatrzenia w ciepło pozwala na diagnozowanie najsłabszych jego elementów i podejmowanie decyzji prowadzących do poprawy efektywności energetycznej. W przypadku kotłowni, w której prowadzono badania, wyniki takiego monitoringu przekonały do wyposażenia jej w dodatkowy układ automatycznej regulacji z algorytmem mającym na celu ograniczenie liczby cykli włączeń i wyłączeń palników. Ograniczenie liczby załączeń palników, podobnie jak w przypadku innych urządzeń spalinowych i elektrycznych, ma istotny wpływ na sprawność energetyczną całego układu. Dodatkowo zwiększa również trwałość urządzeń, a tym samym zmniejsza koszty serwisu i napraw. Najprostsze algorytmy sterowania, często stosowane w regulatorach instalowanych w jednostkach kotłowych, nie zapewniają jednak optymalizacji w tym zakresie. Zastosowane urządzenie zewnętrzne pozwoliło ograniczyć liczbę cykli włączeń i wyłączeń palników przy zachowaniu jakości dostawy ciepła do instalacji ogrzewania i układu przygotowania c.w.u.

W materiale zarekomendowano również inne sposoby poprawy efektywności energetycznej systemu zaopatrzenia w ciepło istniejących budynków wielorodzinnych.

Słowa kluczowe: sprawność energetyczna, zużycie ciepła, regulacja

¹ Katedra Klimatyzacji, Ogrzewnictwa, Gazownictwa i Ochrony Powietrza, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Wrocławska; ORCID iD: 0000-0002-4482-6950; e-mail: grzegorz.bartnicki@pwr.edu.pl

² Katedra Klimatyzacji, Ogrzewnictwa, Gazownictwa i Ochrony Powietrza, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Wrocławska; ORCID iD: 0000-0002-9764-5555; e-mail: bogdan.nowak@pwr.edu.pl



Possibilities of improving energy efficiency of heating systems with a gas boiler

Abstract: The article discusses issues related to improving the energy efficiency of heat supply systems. It draws attention to the need to take action not only for large objects and systems, but also for individual buildings and their boiler plants. Heat supply system monitoring allows for the diagnosis of the weakest elements and making decisions leading to the improvement of energy efficiency. In the case of the boiler room where the research was carried out, the results of such monitoring convinced to equip boilers with an additional automatic control system, with an algorithm limiting the number of burner switching cycles and shutdowns. Limiting the number of switching on the burners, as in the case of other combustion and electric devices, has a significant impact on the energy efficiency of the entire system. In addition, it also increases the durability of the devices, and thus reduces costs of servicing and repairs. The simplest control algorithms, often used in controllers installed in the boiler units, do not provide optimization in this respect. The external device used has allowed the number of burners on and off cycles to be limited while maintaining the quality of the heat supply to the heating installation and the heat treatment system.

The material also presents other ways to improve the energy efficiency of the heat supply system in existing multi-family buildings.

Keywords: energy efficiency, heat consumption, regulation, control system

Wprowadzenie

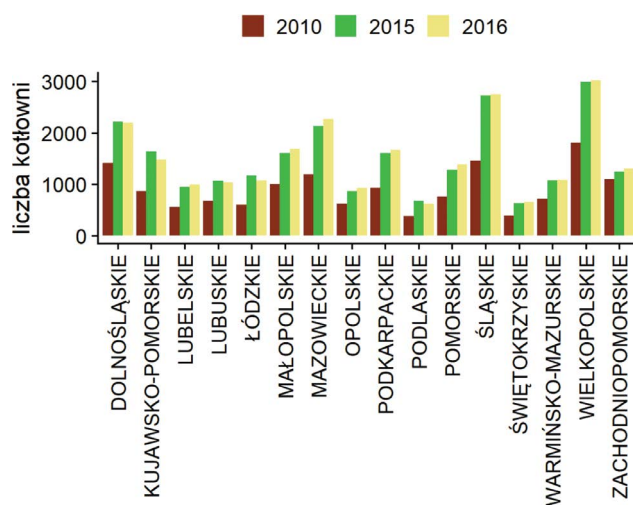
Obowiązek przestrzegania zasady zrównoważonego rozwoju od wielu lat nie jest już tylko teoretycznym postulatem organizacji ekologicznych. Znalazł swoje odzwierciedlenie w przepisach prawnych i konkretnych wymaganiach. Ustawa z 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska (tj. [Dz.U. z 2018 r. poz. 799](#)) definiuje tę zasadę jako: „taki rozwój społeczno-gospodarczy, w którym następuje proces integrowania działań politycznych, gospodarczych i społecznych, z zachowaniem równowagi przyrodniczej oraz trwałości podstawowych procesów przyrodniczych, w celu zagwarantowania możliwości zaspokajania podstawowych potrzeb poszczególnych społeczności lub obywateli zarówno współczesnego pokolenia, jak i przyszłych pokoleń”. Jedną z istotnych potrzeb współczesnej cywilizacji jest zaopatrzenie w energię, w tym w ciepło/chłód. Wykorzystywanie w tym celu zasobów nieodnawialnych źródeł energii powoduje, że zaspakajanie potrzeb współczesnego pokolenia jednocześnie wyczerpuje możliwość ich użycia w przyszłości. Tempo rozwoju cywilizacji w minionych wiekach prowadziło do ciągłego wzrostu popytu na energię. Dopiero w ciągu kilku ostatnich dekad podejmowano intensywne działania ukierunkowane na energooszczędne technologie i redukcję zużycia energii. Ważne stało się też wysokosprawne wykorzystanie energii pierwotnej, tak aby nie tracić jej niepotrzebnie w procesie przetwarzania na energię użytkową. Oszczędzanie energii, czy patrząc szerzej – zasobów środowiska – to nie tylko wymaganie prawne, ale także fakt, że ma ono również coraz bardziej konkretny wymiar finansowy. Znajduje więc coraz więcej miejsca w świadomości uczestników rynku energii, zarówno po stronie producentów, jak i jej konsumentów. Działania na rzecz ograniczenia energochłonności wymagają jednak zazwyczaj dużych nakładów finansowych, których zwrot nie następuje w krótkim czasie, a istnieje ryzyko, że koszty inwestycji będą jednak wyższe niż uzyskane korzyści. Gdy zatem sam rachunek ekonomiczny nie jest w stanie skłonić do działań mających na celu poprawę efektywności energetycznej, poma-

gają przepisy prawne, określające obowiązki lub wymagania, które muszą być spełnione. W takim przypadku tylko w części efekt ich przestrzegania może się przełożyć na niższe koszty eksploatacyjne czy opłaty. Społecznego poparcia można oczekiwać jednak tylko w przypadku zrównoważenia kosztów wdrożenia regulacji prawnych i osiągniętych w ich wyniku korzyści. Dobrą praktyką jest też wprowadzanie regulacji prawnych z długim okresem karencji (*vacatio legis*), pozostawiając zainteresowanym podmiotom odpowiedni czas na dostosowanie się do nowych standardów. Inwestor w takim przypadku może też podjąć decyzję co do momentu realizacji niezbędnych działań, jak też ma czas na pozyskanie finansowania. Należy jednak zawsze mieć na uwadze społeczne niezadowolenie z dodatkowych kosztów wdrożenia przepisów, jak i podejmowanie działań nietrafionych, unikanie nazbyt restrykcyjnych wymagań lub pozorowanie ich spełnienia.

1. Kotłownie lokalne

Uwaga instytucji odpowiedzialnych za planowanie i realizację działań dotyczących efektywności energetycznej skierowana jest przede wszystkim na duże systemy i duże moce źródeł energii. W ich przypadku zarówno podjęte działania modernizacyjne przynoszą efekt zauważalny w krajowym bilansie, jak i operatorzy dysponują odpowiednio dużym kapitałem, pozwalającym na prowadzenie planowej i wieloletniej polityki inwestycyjnej, opartej na rachunku kosztów i korzyści. Warunki klimatyczne Polski powodują jednak, że dla zapewnienia odpowiednich warunków bytowych w użytkowanych pomieszczeniach obiektów budowlanych niezbędne jest ogrzewanie. Pojedyncza instalacja grzewcza czy jej źródło ciepła w krajowym bilansie mocy są niezauważalne, jednak ze względu na ilość takich instalacji, łącznie stanowią już poważne zagadnienie, wymagające systemowego zainteresowania i podejmowania działań w kierunku poprawy efektywności energetycznej. Na rysunku 1 i w tabeli 1, w oparciu o dostępne dane statystyczne, zilustrowano ten problem podając ogólną liczbę kotłowni lokalnych, jaka jest szacowana w Polsce (oraz w poszczególnych województwach), a także tendencję zmian, jakie nastąpiły w tym zakresie w ostatnim czasie. Dane te mają oczywiście charakter statystyczny i można oczekiwać, że nie wszystkie obiekty uwzględnione są w tej sumie, ale na pewno dobrze obrazują skalę tematu. Dodatkowo, na rysunku 2 podana jest w podziale na poszczególne województwa liczba kotłowni należących do spółdzielni mieszkaniowych. Jak z tych liczb wynika, w latach 2010–2016 liczba kotłowni w kraju systematycznie wzrastała i dotyczy to w zasadzie wszystkich województw. Wiązać to należy z dynamicznym rozwojem budownictwa mieszkaniowego i koniecznością zapewnienia źródeł ciepła dla tych nowych budynków. Do tego, nawet w miastach, gdzie istnieją scentralizowane systemy zaopatrzenia w ciepło (sieci ciepłownicze), deweloperzy, dla zaspokojenia potrzeb ciepłych wznoszonych obiektów, bardzo często budują lokalne kotłownie, a na powstających osiedlach najczęściej każdy z budynków ma własne źródło ciepła.

Z przytoczonych danych wynika, że w analizowanym okresie nie nastąpił rozwój dotyczący budownictwa spółdzielczego. Liczba kotłowni należących do spółdzielni mieszkaniowych wręcz zmalała, szczególnie na terenach wiejskich. Tylko dla województwa dolnośląskiego widoczny jest wzrost liczby kotłowni będących w zasobach spółdzielni



Rys. 1 Liczba kotłowni ogółem w poszczególnych województwach w latach 2010, 2015, 2016 (opracowanie własne na podstawie <https://bdl.stat.gov.pl>)

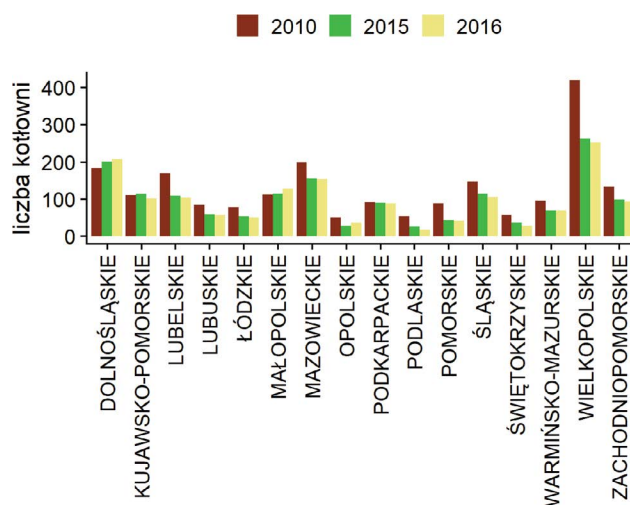
Fig 1. Total number of boiler rooms in Polish provinces in 2010, 2015, 2016

TABELA 1. Liczba kotłowni w Polsce, z uwzględnieniem lokalizacji w miastach i własności spółdzielni mieszkaniowych (opracowanie własne na podstawie <https://bdl.stat.gov.pl>)

TABLE 1. Number of boiler rooms in Poland, including locations in cities and housing cooperatives ownership

	Ogółem	W miastach		W spółdzielniach mieszkaniowych	W spółdzielniach mieszkaniowych w miastach	
	szt.	szt.	%	szt.	szt.	%
2010	14 458	11 191	77,4	2 062	1 440	14,3
2015	23 871	18 527	77,6	1 562	1 293	6,5
2016	24 145	18 890	78,2	1 525	1 286	6,3

mieszkaniowych. Największa redukcja dotyczy natomiast województwa wielkopolskiego. Trzeba jednak pamiętać, że obserwowane zmiany w liczbie kotłowni nie muszą oznaczać wyłącznie likwidacji kotłowni lokalnych (i np. podłączania istniejących instalacji do sieci ciepłowniczej). Również mogą one być efektem przekształceń własnościowych, które przecież też dotyczą zarządców nieruchomości. Chociaż liczba kotłowni w zasobach spółdzielni mieszkaniowych maleje, nadal jest duża, na dodatek mając na uwadze dane liczbowe dla 2010 roku, należy się liczyć z działaniem dużej ilości systemów i rozwiązań technologicznych już przestarzałych.

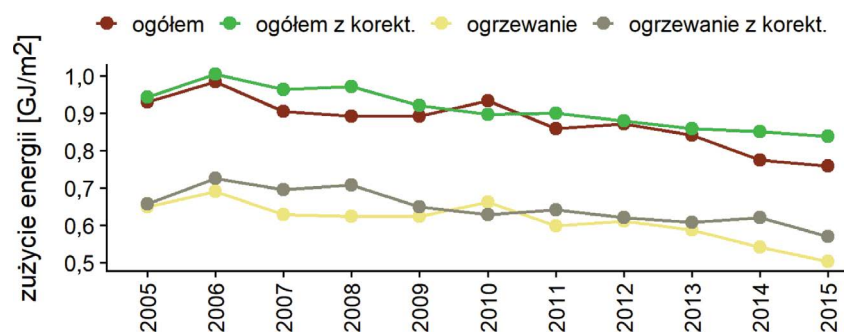


Rys. 2 Liczba kotłowni należących do spółdzielni mieszkaniowych w poszczególnych województwach w latach 2010, 2015, 2016 (opracowanie własne na podstawie <https://bdl.stat.gov.pl>)

Fig. 2. Total number of boiler rooms owned by housing cooperatives in Polish provinces in 2010, 2015, 2016

Zasady naliczania kosztów użytkowania lokali oraz mocno ograniczony wpływ spółdzielców na bieżące decyzje związane z eksploatacją budynków powodują, że spółdzielnie mieszkaniowe przeważnie nie są zainteresowane optymalizacją funkcjonowania kotłowni (podwyższenie efektywności energetycznej, ograniczenie kosztów ogrzewania itp.), a przede wszystkim w zainteresowaniu tego typu zarządcy nieruchomości znajduje się utrzymanie instalacji w ruchu, ciągłość dostaw ciepła do ogrzewanych budynków czy ograniczanie ryzyka awarii. Trzeba mieć też na uwadze, że wszystkim zarządcom nieruchomości brakuje specjalistycznej wiedzy czy doświadczeń dotyczących systemów zaopatrzenia w ciepło oraz źródeł ciepła. Konieczne jest więc jej systematyzowanie poprzez tworzenie katalogów sprawdzonych rozwiązań, z których mogą korzystać osoby decydujące o inwestycjach. Celem jest prowadzenie badań lokalnych systemów zaopatrzenia w ciepło, a na ich podstawie przygotowywanie publikacji rozpowszechniających dobre praktyki i skuteczne rozwiązania, takich jak np. (Pelsmakers 2015; Dale 2014; Harvey 2006; Nowak i in. 2016).

O ile na przestrzeni minionych lat liczba lokalnych źródeł ciepła wzrastała, to według danych GUS (rys. 3) zużycie energii cieplnej w gospodarstwach domowych w przeliczeniu na m² powierzchni użytkowej wykazuje tendencję spadkową. Tylko po części obserwowane zróżnicowanie wynika z warunków pogodowych i wzrostu średniej temperatury powietrza w kolejnych sezonach grzewczych. Tendencja malejąca przede wszystkim potwierdza, że podejmowane działania formalne czy techniczne w zakresie poprawy efektywności energetycznej i ochrony cieplnej budynków przynoszą konkretne efekty. W 2015 r. średnie zużycie energii całkowitej rocznie wynosiło już tylko 0,758 GJ/m² (18,1 kgoe/m²). W porównaniu do roku 2005 (0,929 GJ/m²) nastąpił spadek o 20% (czyli średnio spadek 2,0%/rok).



Rys. 3. Roczne zużycie w Polsce energii w gospodarstwach domowych na jednostkę powierzchni m^2 (opracowanie własne na podstawie <https://bdl.stat.gov.pl>)

Fig. 3. Annual energy consumption in households per m^2 in Poland

Po uwzględnieniu w tym bilansie korekty klimatycznej (zużycie energii z korektą klimatyczną określa jego teoretyczną wielkość dla danego roku, gdyby charakteryzowały go warunki pogodowe opisane średnią wieloletnią liczbą stopniodni) zużycie na m^2 malało średnio o 1,2%/rok. Pomimo tej pozytywnej tendencji, pozostaje nadal duży potencjał do ograniczenia zużycia energii. Patrząc też na liczbę kotłowni lokalnych użytkowanych w kraju, działania ukierunkowane na podniesienie ich efektywności mogą przynosić dalszy, zauważalny efekt.

2. Kierunki działań

Podstawowym kierunkiem zwiększania efektywności energetycznej w budownictwie jest poprawa izolacyjności przegród budowlanych, w tym stolarki okiennej (Doty 2007; Pełsmakers 2015; Górzyński 2017; Kaliszuk-Witecka 2017). Przepisy określające minimalne kryteria ochrony cieplnej stosuje się do nowych budynków lub remontowanych w oparciu o uzyskiwane pozwolenie na budowę. W przypadku istniejących obiektów ich zarządcy sami muszą podjąć inicjatywę wdrożenia takiego działania, ewentualnie zachęceni dostępnością wsparcia finansowego. Inwestycje w tym zakresie są jednak kosztowne, a okres zwrotu – nawet przy dostępnej bezzwrotnej pomocy finansowej – bardzo długi. Chociaż ten sposób ograniczenia zużycia energii może dać największe efekty, jego realizacja w zakresie występujących jeszcze potrzeb i możliwości wymaga dziesięcioleci.

Kolejnym krokiem może być zastosowanie w instalacjach grzewczych i źródłach ciepła urządzeń o wysokiej sprawności (np. nowe kotły, pompy obiegowe itp.). Problemem w tym przypadku jest brak pewności, czy w rzeczywistych warunkach eksploatacji tych nowych urządzeń uzyskana zostanie ich najwyższa sprawność. Dane katalogowe dotyczą nominalnych warunków użytkowania, zazwyczaj w stanie ustalonym. Obciążenia w sezonie grzewczym są natomiast zmienne i mogą prowadzić do dodatkowych strat wynikających z braku dopasowania wydajności urządzeń do chwilowych potrzeb instalacji (Harvey 2006).

Do tego częsty jest jeszcze brak danych katalogowych o zmienności sprawności urządzeń w warunkach innych niż nominalne. Wysoka sprawność w warunkach nominalnych nie musi wcale oznaczać, że będzie ona zachowana również przy innych obciążeniach. Nakłady inwestycyjne na nowe urządzenie mogą zatem nie przynieść zakładanego efektu. Jest to o tyle ważne, że system ogrzewania projektowany jest dla warunków obliczeniowych (projektowych), które występują niezmiernie rzadko, natomiast większość czasu pracuje przy dużo mniejszych obciążeniach. Tylko po części problem ten eliminują coraz bardziej rozbudowane układy automatycznej regulacji.

Trzecim sposobem modernizacji istniejących instalacji grzewczych jest izolowanie przewodów rozprowadzających. W centralnym ogrzewaniu czynnik grzewczy jest przesyłany pomiędzy źródłem ciepła a odbiornikami. Zarówno w przewodach zasilających, jak i powrotnych następuje jego wychłodzenie, proporcjonalne do różnicy temperatur. W instalacji ciepłej wody użytkowej straty ciepła występują zarówno w przewodach rozprowadzających, jak i instalacji cyrkulacyjnej. Trzeba pamiętać, że przepisy przez długi czas nie wymagały izolowania pionów instalacji c.w.u. i cyrkulacji – co wywołuje niekontrolowane duże straty ciepła w budynkach wznoszonych jeszcze nawet w ostatniej dekadzie XX wieku. Straty ciepła w rurociągach przesyłowych można ograniczyć poprzez skuteczną ich izolację. Szczególnie jest ona ważna na tych fragmentach instalacji, które są poprowadzone w pomieszczeniach nieogrzewanych lub o niskiej temperaturze projektowej (garaże, kondygnacje techniczne, piwnice, poddasza, szachty instalacyjne itd.).

Poprawę efektywności energetycznej może też przynieść montaż dodatkowych (lub wymiana już istniejących na lepsze) elementów automatycznej regulacji. Muszą być jednak one dostosowane do specyfiki danej instalacji i również okresowo monitorowane oraz serwisowane. Na rynku dostępna jest szeroka oferta elementów do automatycznej regulacji systemów zaopatrzenia w ciepło. Wiele instalacji zostało zmodernizowanych przez montaż zaworów termostatycznych, zaworów podpionowych, zaworów termostatycznych w instalacji cyrkulacyjnej itp. Trzeba mieć na uwadze, że z czasem ulegają one wyeksploatowaniu. Nieprzemysłany montaż elementów automatycznej regulacji czy późniejszy brak serwisowania może zaprzepaścić korzyści działań modernizacyjnych. Nie można zakładać, że precyzyjne elementy armatury i siłowników mogą działać bez jakiegokolwiek okresowej ingerencji tak samo długo, jak ręczna armatura służąca jedynie do ręcznej zmiany oporności obiegu czy odcięcia przepływu.

Do listy podstawowych działań prowadzących do ograniczenia zużycia energii zaliczyć też należy dobre praktyki eksploatacyjne (Pelsmakers 2015). Jeśli bieżące serwisowanie systemu zaopatrzenia w ciepło i źródła ciepła ma na celu coś więcej niż tylko zapewnienie nieprzerwanego działania wszystkich elementów instalacji, może zapewnić równie dobre efekty w oszczędzaniu energii, jak wcześniej wymienione sposoby.

Poza opisaną grupą podstawowych działań na rzecz poprawy efektywności energetycznej instalacji grzewczych można też wskazać rozwiązania mniej powszechne, ale mogące okazać się warte rozważenia. W ostatnich dwóch dekadach system spółdzielczy budownictwa mieszkaniowego prawie całkowicie został wyparty przez system deweloperski. W efekcie rachunku ekonomicznego i kalkulacji ceny metra kwadratowego powierzchni przygotowanie inwestycji w tej formule powoduje, że przyjmowane mogą być rozwiązania

zgodne z przepisami prawa, ale bez zastosowania podwyższonych standardów, przekładających się np. na niższe straty ciepła w trakcie eksploatacji budynku. Oddana do użytku taka instalacja ma więc wszystkie niezbędne elementy, w tym typową izolację rurociągów przesyłowych, ale nie oznacza to wcale, że nie można w niej już znaleźć żadnych sposobów, aby ograniczyć straty energii. Szukając możliwości poprawy sprawności energetycznej takiego budynku można przeanalizować np. zastosowanie dodatkowej izolacji przewodów, chociażby tych poprowadzonych w przestrzeni hal garażowych. Obecnie bardzo często lokalizuje się przestrzeń garażową pod lokalami kondygnacjami z lokalami mieszkalnymi czy użytkowymi. Brak typowej piwnicy powoduje konieczność poprowadzenia w przestrzeni garażowej rurociągów instalacji, w tym instalacji ogrzewania i ciepłej wody. Może to być więc dość poważny element systemu grzewczego generujący straty ciepła na przesyle. Decyzja o założeniu dodatkowej izolacji wymaga oczywiście poprzedzającej analizy i oceny celowości poniesienia konkretnych nakładów, ale warto mieć na uwadze takie działanie termomodernizacyjne – nawet w dość nowych instalacjach grzewczych. Często przyjmuje się, że jak instalacja ma już wykonaną izolację (i dobraną zgodnie z przepisami), to jest ona wystarczająca i skuteczna, co nie zawsze jest słusznym założeniem.

Dokonana z końcem XX w. zmiana geometrii instalacji centralnego ogrzewania z wielopionowych na układy z rozdzielaczami mieszkaniowymi i poziomym rozprowadzeniem przewodów w mieszkaniu wymusiła w wielorodzinnych budynkach mieszkalnych stosowanie skrzynek rozdzielaczowych i jeszcze ewentualnie skrzynek ciepłomierzowych. Zapewniają one dostęp i obsługę rozdzielaczy, armatury odcinającej i układów pomiarowych. Są to skrzynki wykonane z blachy stalowej, które wygradzają przestrzeń i nie mają fabrycznie żadnej izolacji cieplnej. Montaż w nich izolacji nawet o niewielkiej grubości może przyczynić się do ograniczenia zbędnych strat ciepła na przesyle instalacji. Efekt zależy oczywiście od miejsca lokalizacji takiej skrzynki i będzie większy w przypadku skrzynek montowanych na klatce schodowej w porównaniu z montowanymi w mieszkaniu. Korzyści z takiej inwestycji opisane zostały szczegółowo w (Nowak i in. 2016). Oszacowano przy jej planowaniu, że straty ciepła przez przenikanie jednej niez izolowanej szafki rozdzielaczowej mogą wynosić średnio w sezonie grzewczym 60–150 W. Nie jest to może dużo, ale już w skali całego budynku (liczba szafek odpowiada zazwyczaj liczbie mieszkań, a jeśli są jeszcze odrębne szafki ciepłomierzowe, liczba ta może być nawet dwukrotnie większa) jest to znacząca wartość. Zaizolowanie skrzynek rozdzielaczowych może ograniczyć straty ciepła na tych elementach o 40–80% (Nowak i in. 2016). Ze względu na dość proste i niezbyt kosztowne prace z tym związane takie działanie charakteryzuje się też krótkim okresem zwrotu i niewielkimi nakładami. Łatwo jest więc je przeprowadzić lub przekonać zarządcę nieruchomości do podjęcia decyzji o sfinansowaniu takiej inwestycji.

3. Cykle pracy palników kotłów

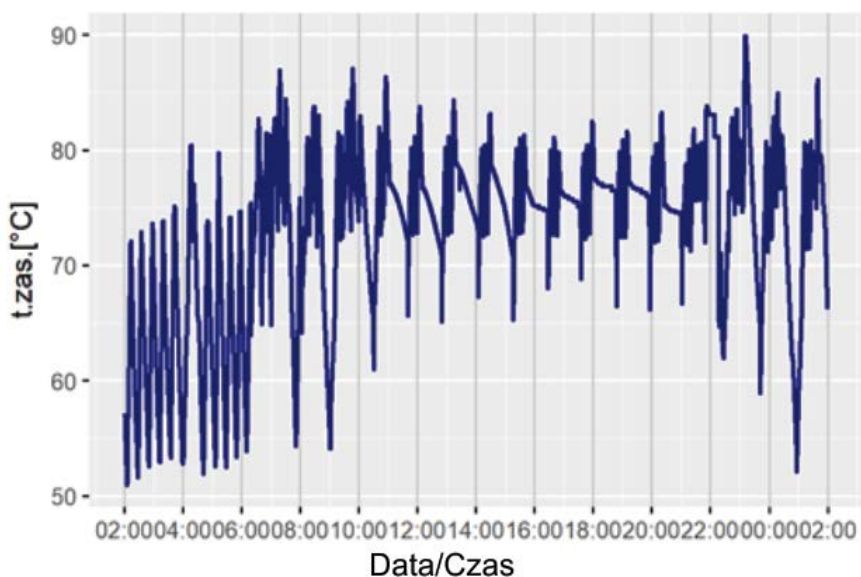
Jak już zaznaczono wcześniej, w przypadku kotłowni lokalnych znaczenie ma nie tylko zastosowanie wysokosprawnych urządzeń (w tym kotłów), ale równie istotne jest zapewnienie im odpowiednich warunków pracy. Kotłownia musi zapewniać najwyższą sprawność

przetwarzania energii pierwotnej zawartej w paliwie w ciepło nie tylko przy maksymalnym zapotrzebowaniu, ale przede wszystkim przy rzeczywistych obciążeniach, zazwyczaj dużo mniejszych od maksymalnej wartości. Poprawę sprawności może przynieść nawet sama analiza warunków pracy kotłowni i dokonane na tej podstawie zmiany w ustawieniach automatyki regulującej pracę źródła ciepła. Mogą one dotyczyć podstawowych parametrów, takich jak kolejność włączeń palników kotłów (w układach wielokotłowych i z palnikami dwustopniowymi), korekta nastaw temperatury czy histerezy itp. Interesujące efekty można też osiągnąć poprzez wykorzystanie dodatkowych inteligentnych układów automatycznej regulacji zapewniających odpowiednie zarządzanie włączaniem i wyłączeniem palników. Dostosowanie chwilowej mocy kotłowni do aktualnego zapotrzebowania na ciepło w układach wielokotłowych odbywa się poprzez włączanie i wyłączanie palników poszczególnych jednostek kotłowych oraz pracę palników z pełną lub zredukowaną mocą (np. palniki dwustopniowe). Należy mieć na uwadze, że każde włączenie czy wyłączenie palnika jest procesem wpływającym na sprawność energetyczną systemu zaopatrzenia w ciepło. Jedną z faz cyklu uruchomienia palnika poprzedzającą zapłon jest wstępna wentylacja komory spalania. Chociaż trwa ona tylko kilkadziesiąt sekund (na jeden cykl włączenia palnika), to już w ciągu doby liczba takich włączeń jest bardzo duża. Sumarycznie, są to więc poważne ilości powietrza pobieranego z kotłowni (które w sezonie grzewczym są podgrzane od temperatury powietrza zewnętrznego do temperatury powietrza w pomieszczeniu kotłowni), a które następnie przepływając przez rozgrzany kocioł, odbiera ciepło z komory spalania i powierzchni wymiany ciepła i się podgrzewa. Dodatkowe straty ciepła mogą być też wynikiem konieczności zapewnienia przez układ regulacji pracą palnika minimalnego czasu pracy palnika włączonego. W przypadku gdy chwilowe zapotrzebowanie na ciepło instalacji znacząco odbiega od ilości ciepła wytworzonej przez palnik, palnik musi i tak pozostać włączony w czasie odpowiadającym minimalnemu cyklowi. Nadwyżka tego ciepła w tym przypadku w dużej części usuwana jest wraz ze spalinami. Na dodatek, przy utrzymującym się zapotrzebowaniu na ciepło instalacji, szybko nastąpi ponowne włączenie palnika. Zmniejszenie ilości uruchomień palnika i odpowiadające temu wydłużenie średnich czasów jego pracy (w efekcie uelastyczenia wartości temperatur włączenia i wyłączenia palnika w zależności od obserwowanego poziomu zapotrzebowania na ciepło) zapewnia wyższą efektywność energetyczną źródła ciepła. Dodatkowo wpływa to też na ograniczenie zużycia podzespołów palnika i armatury ścieżki gazowej.

W ramach prowadzonych przez autorów od 2012 r. badań systemu zaopatrzenia w ciepło grupy budynków mieszkalnych na jednym z wrocławskich osiedli mieszkaniowych (opisanych m.in. w Nowak i in. 2016; Bartnicki i Nowak 2018a,b) prowadzone były pomiary zużycia ciepła w lokalach mieszkalnych, ilości ciepła wytwarzanego przez kotłownię w postaci czynnika grzewczego oraz zużycia gazu, a na tej podstawie analizy efektywności energetycznej źródła ciepła i instalacji grzewczych. W wyniku tych badań podejmowane były też kolejne działania mające na celu ograniczenie strat ciepła i zużycia paliwa, przy jednoczesnym zagwarantowaniu mieszkańcom satysfakcjonującej dostawy ciepła. Uzyskane wyniki wskazały m.in. na istotne różnice pomiędzy rzeczywistą sprawnością systemu zaopatrzenia w ciepło a sprawnością katalogową urządzeń podaną przez producenta kotłów czy też wartościami rekomendowanymi w literaturze, jak również w przepisach dotyczących

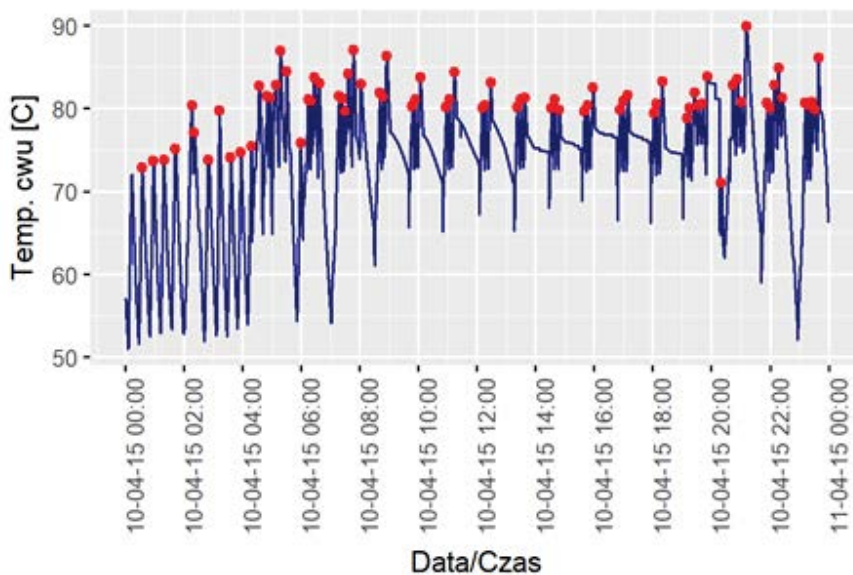
obliczeń efektywności energetycznej budynków. Podjęte w przeszłości działania modernizacyjne poprawiły sytuację, ale jeszcze pozostało duże pole do dalszych prac. Na podstawie danych historycznych (2014–2017) poddano zatem obserwacji i analizie cykliczność włączeń i wyłączeń palników kotłów. Kotłownia wyposażona jest w dwa kotły gazowe, z palnikami atmosferycznymi dwustopniowymi i przygotowuje ciepło na potrzeby ogrzewania oraz układu przygotowania ciepłej wody użytkowej (c.w.u.) zaprojektowanego jako bateria podgrzewaczy pojemnościowych. Liczbę włączeń palników określono w sposób pośredni, w oparciu o pomiar temperatury czynnika grzewczego na zasilaniu (na wyjściu z kotłów). Przykładowy wykres zmienności temperatury na zasilaniu przedstawiono na rysunku 4. Jako moment wyłączenia palnika przyjęto wystąpienie lokalnego maksimum temperatury, a włączenia – lokalne minimum. Dodatkowo, pominięto te maksima, które wystąpiły przed upływem 60 sekund od poprzednio zarejestrowanego ekstremum. Tak krótki czas byłby bowiem niewystarczający dla uzyskania przebiegu pełnego cyklu włączenia palnika (przy urządzeniach zamontowanych w kotłowni). Na rysunku 5 przedstawiono zidentyfikowane w ten sposób momenty wyłączenia palnika na podstawie wykresu temperatur przedstawionego na rysunku 4.

W 2016 r. kotłownia została wyposażona w dodatkowy układ automatycznej regulacji, z algorytmem mającym na celu ograniczenie liczby cykli włączeń i wyłączeń palników. Na rysunku 6 przedstawiony jest przebieg zmian temperatury wody na zasilaniu, obrazujący cykl pracy palników. Porównując ten wykres z przedstawionym na rysunku 5 widać, że charakter zmienności temperatury na zasilaniu uległ zmianie, a cykle pracy palników są dłuższe.



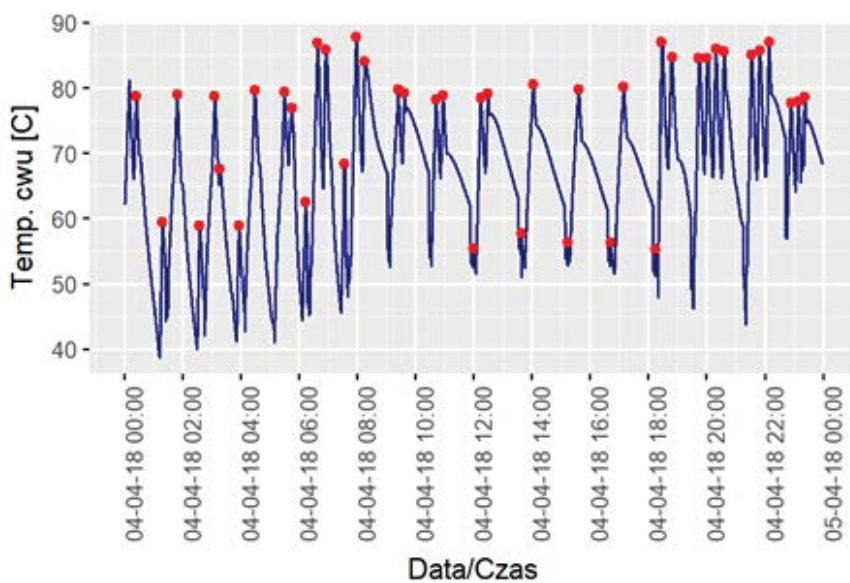
Rys. 4. Zmienność temperatury zasilania (10 kwiecień 2015) – bez dodatkowego układu regulacji sterującego włączeniami palników

Fig. 4. Flow temperature changes (April 10, 2015) – without additional burners control systems



Rys. 5. Punkty oznaczające wyłączenie palnika kotła wyznaczone na podstawie wykresu zmienności temperatury wody na zasilaniu (10 kwietnia 2015)

Fig. 5. The burner switching off points determined on the basis of the flow temperature graph (April 10, 2015)



Rys. 6. Zmienność temperatury zasilania z zaznaczonymi punktami wyłączeniami palników (4 kwietnia 2018) – dla kotłów z dodatkowym układem regulacji sterującym pracą palników

Fig. 6. Flow temperature changes with the burner switching off points (April 4, 2018) – boilers with additional burners control system

Oczywiście, należy mieć na uwadze, że różnica może zawsze też wynikać z trochę innego obciążenia cieplnego kotłowni. Stwierdzony efekt nie dotyczył jednak tylko krótkiego okresu czasu, ale był zauważalny dla całego okresu pracy kotłowni. Dla porównania efektu dokonanej modernizacji policzona została liczba wyłączeń palników w wybranych dniach sezonu. Były to dni z wyłączoną instalacją c.o. zarówno wiosną jak i latem. Taki wybór miał na celu możliwość oceny wpływu na pracę kotłowni instalacji cyrkulacji c.w.u.

TABELA 2. Liczba wyłączeń palników w wybranych dniach kalendarzowych

TABLE 2. Burners switching number on selected calendar days

Dzień i miesiąc	2015		2017		2018	
	wyłączenia nocne (do godz. 6)	wyłączenia dzienne	włączenia nocne (do godz. 6)	włączenia dzienne	włączenia nocne (do godz. 6)	włączenia dzienne
01.04	16	51	12	40	14	44
02.04	18	60	8	40	15	41
03.04	18	53	8	40	13	37
04.04	19	45	8	35	11	32
05.04	16	42	10	40	7	33
06.04	19	51	13	42	10	35
07.04	17	42	14	43	9	22
08.04	16	60	13	44	6	25
09.04	18	61	13	42	7	20
10.04	19	58	12	36	6	21
01.07	7	45	5	28	4	21
02.07	9	49	5	27	5	22
03.07	6	39	5	25	6	17
04.07	6	41	6	26	2	16
05.07	6	40	6	24	4	16
06.07	6	42	6	25	4	15
07.07	8	42	6	24	8	18
08.07	5	35	4	28	4	21
09.07	6	35	5	28	6	23
10.07	7	32	6	25	4	22

Cyrkulacja c.w.u. stanowi bardzo małe obciążenie cieplne źródła ciepła, nieporównywalne z mocą pracy jednego palnika, nawet na pierwszym stopniu, trwające w sposób ciągły (poza sezonem grzewczym, w okresie nocnym stanowiące w zasadzie jedyne obciążenie cieplne układu przygotowania c.w.u.). Na dodatek temperatura wody cyrkulacyjnej może być zależna od temperatury zewnętrznej, a zależność ta jest związana też w dużym stopniu ze sposobem prowadzenia przewodów instalacji c.w.u., cyrkulacyjnej, ale również c.o.). Umieszczenie przewodów w przestrzeni oddziaływania powietrza zewnętrznego będzie powodować intensywne wychłodzenie czynnika. Niewielkie odległości do przewodów c.o. mogą natomiast prowadzić do ograniczenia strat ciepła w instalacji cyrkulacyjnej. W tabeli 2 została przedstawiona liczba wyłączeń palników obliczona na podstawie zarejestrowanych temperatur wody na wyjściu z kotłów dla wybranych dni w latach 2015 (bez dodatkowego układu automatycznej regulacji) oraz 2017 i 2018 (z tym układem).

Po zastosowaniu dodatkowego układu regulacji pracą kotłów nie tylko liczba włączeń jest mniejsza, ale również palniki rzadziej pracują na drugim stopniu (odpowiadająca pracy na II stopniu temperatura zasilania 85°C). Praca palników jest bardziej stabilna, a szczególną poprawę zaobserwowano w okresie nocnym, czyli przy bardzo małym zapotrzebowaniu lub przy braku potrzeb na ciepło układu przygotowania c.w.u. Owszem można w tym zestawieniu znaleźć takie daty, dla których liczba włączeń utrzymuje się na takim samym poziomie jak sprzed modernizacji, a nawet nieznacznie jest większa (7.04.15 i 7.04.17 w dzień, czy noc w lipcu), jednak całościowo jest zauważalny oczekiwany efekt. Zmiany temperatury wody na wyjściu z kotłowni nie są przy tym zauważalne, a już wstępne analizy wskazały na poprawę sprawności źródła ciepła (Bartnicki i Nowak 2018a). Wymaga to jednak jeszcze dalszych badań i szczegółowych obliczeń, a przede wszystkim zebrania danych pomiarowych dotyczących zużycia ciepła przez poszczególne elementy systemu zaopatrzenia w ciepło.

Podsumowanie i wnioski

Zużycie w Polsce energii na potrzeby gospodarstw mieszkaniowych systematycznie maleje (rys. 3). Jest to niewątpliwy efekt postępu technologicznego oraz rosnących wymagań w zakresie ochrony cieplnej i efektywności energetycznej. Rosnące koszty eksploatacji zachęcają też do podejmowania inwestycji, których efektem jest zmniejszenie zużycia czy strat ciepła, a tym samym opłat za ogrzewanie. Trzeba mieć jednak na uwadze, że do realizacji pozostaje jeszcze szereg działań poprawiających tę sytuację. Dotyczy to nie tylko dużych systemów i instalacji, ale także małych źródeł energii. Jako pojedyncze obiekty są one niezauważalne w bilansie energetycznym kraju, łącznie – mają już znaczący udział w zużyciu paliw czy emisji zanieczyszczeń do atmosfery. Działania ukierunkowane na poprawę efektywności energetycznej lokalnych kotłowni czy instalacji grzewczych budynków wymagają jednak szczegółowej diagnostyki, badań, pomiarów i analiz. Zarządcy budynków, nawet jeżeli odpowiadają za dużą liczbę budynków, raczej nie mają w tym zakresie dużego doświadczenia, a wręcz nie są zainteresowani dodatkowym zakresem obowiązków, niezwiązanym z bieżącą obsługą i eksploatacją lokali i ich instalacji. Brakuje też sprawdzonych instrukcji i katalogów rozwiązań, wraz z benchmarkami pozwalającymi oceniać ich skuteczność.

Opisane w artykule przykłady mają na celu wskazanie na bogactwo możliwości działania, nie ograniczając się wyłącznie do typowej termomodernizacji poprzez docieplenie przegród nieprzezroczystych i wymianę stolarki okiennej czy też wymianę źródła ciepła na nowe. Podkreślenia wymaga też potrzeba diagnozowania systemu, choć działanie to wymaga czasu oraz cierpliwości. Ułatwia ono jednak później podejmowanie skutecznych decyzji dotyczących ograniczenia kosztów ogrzewania i przygotowania c.w.u., a przede wszystkim ocenę skuteczności. Dodatkowe opomiarowanie nie jest już kosztowne, ale nadal, nawet w nowo budowanych kotłowniach, układy pomiarowe sprawdzają się wyłącznie do opomiarowania zużycia paliwa, służącego do rozliczeń pomiędzy zarządcą a dostawcą paliwa. Trzeba podkreślić, że na etapie projektowania budynku i instalacji powinny być tak zaplanowane przewody rozprowadzające czynnik grzewczy i ciepłą wodę po budynku, aby ograniczyć do minimum straty ciepła na przesył. Architekci nadal jednak pomijają konieczność planowania przestrzeni mieszkań i lokalizacji odbiorników ciepła i ciepłej wody, z punktu widzenia tego aspektu. Kryterium wyboru trasy prowadzenia przewodów nie powinno być też wyłącznie dostępność miejsca, ale również temperatura otoczenia rurociągu, jak i długość przewodów. Jak to pokazano w artykule, znaczenie ma również zapewnienie odpowiedniego układu regulacji i sterowania pracą źródła ciepła oraz dobór odpowiednich nastaw. Dodatkowe algorytmy sterowania mogą pozwolić na ograniczenie liczby włączeń i wyłączeń palnika, co wpływa nie tylko na trwałość elementów tych urządzeń, ale również ma wpływ na poprawę sprawności źródła ciepła.

Literatura

- Efektywność wykorzystania energii w latach 2005–2015*. Warszawa: Główny Urząd Statystyczny, 2017.
- Bartnicki, G. i Nowak, B. 2018a. Wpływ założeń na sprawność systemu zaopatrzenia w ciepło na przykładzie grupy budynków wielorodzinnych ze wspólną kotłownią gazową. *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja* 49(8), s. 320–324.
- Bartnicki, G. i Nowak, B. 2018b. Zmienność poboru paliwa gazowego w lokalnych źródłach ciepła obsługujących grupy budynków mieszkalnych. *Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN* nr 102, s. 37–50.
- Dale i in. 2014 – Dale, R.P., Fardo, S.W., Richardson, R.E. i Fardo, B.W. 2014. *Energy conservation guidebook*. Lilburn: The Fairmont Press.
- Doty, S. 2007. *Commercial Energy Auditing. Reference Handbook*. Lilburn: The Fairmont Press.
- Górzyński, J. 2017. *Efektywność energetyczna w działalności gospodarczej*. Warszawa: PWN.
- Harvey, L.D.D. 2006. *A Handbook on Low-Energy Buildings and District-Energy Systems*. Earthscan, London – Sterling VA.
- Kaliszук-Witecka, A. 2017. *Budownictwo zrównoważone. Wybrane zagadnienia z fizyki budowli*. Warszawa: PWN.
- Nowak i in. 2016 – Nowak, B., Bartnicki, G. i Ławniczak, M. 2016. Wybrane działania modernizacyjne poprawiające efektywność energetyczną instalacji grzewczych. *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja* 47(3), s. 29–35.
- Pelsmakers, S. 2015. *The environmental design pocketbook*. London: RIBA Publishing.
- Sugarman, S.C. 2014. *Testing and Balancing HVAC air and water systems*. Lilburn: The Fairmont Press.
- Thumann, A. i Younger W.J. 2007. *Handbook of Energy Audits*. Lilburn: The Fairmont Press.