

ANALIZA SPRAWNOŚCI ORAZ PONOSZONYCH KOSZTÓW EKSPLOATACYJNYCH WYBRANYCH SYSTEMÓW OGRZEWANIA I PRZYGOTOWANIA CIEPŁEJ WODY UŻYTKOWEJ STOSOWANYCH W BUDYNKACH WIELORODZINNYCH

ANALYSIS OF ENERGY EFFICIENCY AND EXPLOITATIVE COSTS OF HEATING AND HOT WATER PREPARATION SYSTEM USED IN RESIDENTIAL BUILDINGS

TOMASZ CHOLEWA
ALICJA SIUTA-OLCHA
RAFAŁ ANASIEWICZ

POLITECHNIKA LUBELSKA
WYDZIAŁ INŻYNIERII ŚRODOWISKA

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono wyniki dwuletnich badań eksploatacyjnych, których przedmiotem było sześć budynków wielorodzinnych. W obiektach A i B źródłem ciepła była kotłownia gazowa, natomiast pozostałe nieruchomości (C, D, E, F) zasilane były z miejskiej sieci ciepłowniczej. W budynkach A, B, C i D zainstalowany był tradycyjny system ogrzewania i przygotowania c.w.u. z pomiarem zużycia ciepła na cele c.o. oraz zużycia wody zimnej i ciepłej przy każdym z mieszkań. W budynkach E oraz F zainstalowane były mieszkaniowe węzły cieplne.

Dla analizowanych obiektów określono sprawność systemów ogrzewania oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej, a także zwrócono uwagę na koszty eksploatacyjne związane ze zużyciem paliwa.

ABSTRACT

This article shows the results of two-year exploitive research of six multi-family buildings. In two buildings (A and B) as the heat source gas boiler was used. However remaining buildings (C, D, E, F) were supplied from the district heating network. In buildings A, B, C and D traditional heating and hot water preparation system was installed with the monitoring of the heat consumption for the heating purposes and hot water consumptions at every flat in the building. However in buildings E and F residential thermal stations were installed. For analysed buildings efficiency of heating system and hot water system were defined. The attention was paid on costs associated with fuel consumption.

12.1. Wstęp

Obecnie ważnym zagadnieniem staje się wybranie odpowiedniego źródła ciepła oraz systemu ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej. Mają one wpływ zarówno na ponoszone koszty, jak i na efektywne wykorzystanie energii [1-3,7,8]. Na etapie eksploatacji dąży się natomiast do racjonalizacji zużycia ciepła w już istniejących systemach ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej, zarówno poprzez przeprowadzenie modernizacji infrastruktury technicznej, jak i poprzez edukację użytkowników tych instalacji [4-6, 9].

Na rynku dostępne są różne rozwiązania techniczne systemów ogrzewania i przygotowania c.w.u., dlatego w niniejszym artykule przedstawiono analizę techniczną tych systemów, które są najczęściej spotykane w Polsce.

12.2. Materialy i metody

Badania przeprowadzono dla sześciu budynków wielorodzinnych (budynki A, B, C, D, E, F) zlokalizowanych w województwie lubelskim. Wszystkie zostały wybudowane po roku 2000 i już na etapie inwestycyjnym wyposażono je w ocieplenie przegród zewnętrznych w postaci izolacji ścian osłonowych (styropian o grubości 10 cm), izolacji ścian szczytowych (styropian o grubości 12 cm) oraz izolacji stropodachu (styropian o grubości 15 cm).

W analizowanych budynkach instalacja centralnego ogrzewania zaopatrzona była w zawory podpiłonowe różnicy ciśnienia oraz zawory termostatyczne przy grzejnikach. Instalację cyrkulacji ciepłej wody użytkowej wyposażono w podpiłonowe zawory termostatyczne. Instalacje c.o. oraz c.w.u. były zaizolowane termicznie zgodnie z obowiązującymi przepisami.

W obiektach A i B działały kotłownie gazowe, a w budynkach C i D wymiennikownie jako główne źródło ciepła na potrzeby c.o. i c.w.u. Budynki E i F zasilane były również z indywidualnych wymiennikowni, lecz dodatkowo zainstalowano tam mieszkaniowe węzły cieplne przy każdym z lokali. W węzłach przygotowywana była miejscowo c.w.u., z nich także kierowany był czynnik grzewczy do instalacji ogrzewania danego mieszkania. Przed każdym lokalem w budynkach A, B, C i D umieszczony był ciepłomierz mierzący zużycie ciepła na cele c.o. w danym mieszkaniu oraz wodomierz wody ciepłej. Natomiast

w obiektach E i F, w każdym z mieszkaniowych węzłów cieplnych, zainstalowany był ciepłomierz, który mierzył łączne zużycie ciepła w instalacji ogrzewania i przygotowania c.w.u.

Warto zauważyć, że powierzchnia użytkowa budynków A i D wynosi w przybliżeniu 4990 m², zaś obiektów B i C około 3060 m². Powierzchnia użytkowa nieruchomości E i F również jest porównywalna i wynosi odpowiednio 2440 i 2238 m². Zatem budynki A i D oraz B i C różnią się między sobą tylko zastosowanym źródłem ciepła.

Badania eksploatacyjne polegały na pomiarze zużycia ciepła wytwarzanego w źródle ciepła dla danego budynku (czyli ciepła dostarczonego do budynku - Q_{dost}) oraz zużycia ciepła w poszczególnych mieszkaniach (czyli ciepła wykorzystanego w budynku - Q_{wyk}). Dodatkowo w obiektach A, B, C i D mierzono zużycie ciepłej wody użytkowej w poszczególnych lokalach. Pomiarzy wykonywane były w latach 2013 i 2014.

Na podstawie otrzymanych wyników badań możliwe było określenie sprawności energetycznej analizowanych systemów ogrzewania (wzór 12.1), przygotowania c.w.u. (wzór 12.2), systemu ogrzewania i przygotowania c.w.u. (wzór 12.3) oraz ponoszonych kosztów eksploatacyjnych związanych ze zużyciem paliwa.

$$\eta_{c.o.} = \frac{Q_{wyk_c.o.}}{Q_{dost_c.o.}} \quad [-] \quad (12.1)$$

$$\eta_{c.w.u.} = \frac{Q_{wyk_c.w.u.}}{Q_{dost_c.w.u.}} \quad [-] \quad (12.2)$$

$$\eta_{c.o.+c.w.u.} = \frac{Q_{wyk_c.o.+c.w.u.}}{Q_{dost_c.o.+c.w.u.}} \quad [-] \quad (12.3)$$

gdzie:

$Q_{wyk_c.o.}$ – ciepło wykorzystane w poszczególnych mieszkaniach na potrzeby c.o. według wskazań ciepłomierzy mieszkaniowych, [GJ],

$Q_{dost_c.o.}$ – ciepło dostarczone do budynku na potrzeby c.o. według wskazań ciepłomierza w źródle ciepła, [GJ],

$Q_{wyk_c.w.u.}$ – ciepło wykorzystane w poszczególnych mieszkaniach na potrzeby c.w.u., obliczone na podstawie zużycia ciepłej wody użytkowej [m³] oraz jednostkowego zużycia ciepła potrzebnego do podgrzania 1 m³ wody ciepłej, które jest obliczane według równania 12.4, [GJ],

$Q_{dost_c.w.u.}$ – ciepło dostarczone do budynku na potrzeby c.w.u. według wskazań ciepłomierza w źródle ciepła, [GJ].

$$Q_{wyk_c.w.u.} = \frac{c_w \cdot \rho \cdot \Delta t}{10^9} \quad [\text{GJ/m}^3] \quad (12.4)$$

gdzie:

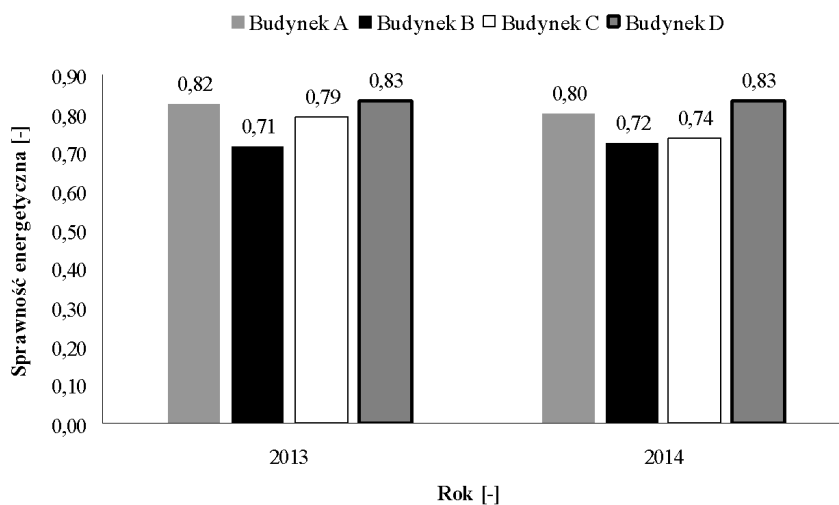
c_w - ciepło właściwe wody, [J/(kg·K)],

ρ - gęstość wody, [kg/m³],

Δt – różnica temperatury między temperaturą ciepłej wody użytkowej na wypływie u użytkowników (55°C) a temperaturą wody zimnej (10°C), [°C].

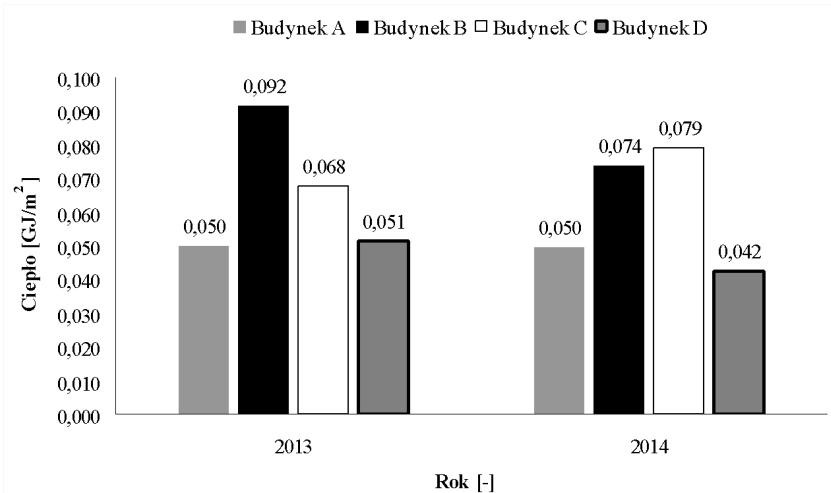
12.3. Wyniki i ich dyskusja

Na rysunku 12.1 przedstawiono średnią roczną sprawność systemu centralnego ogrzewania w budynkach A, B, C oraz D.



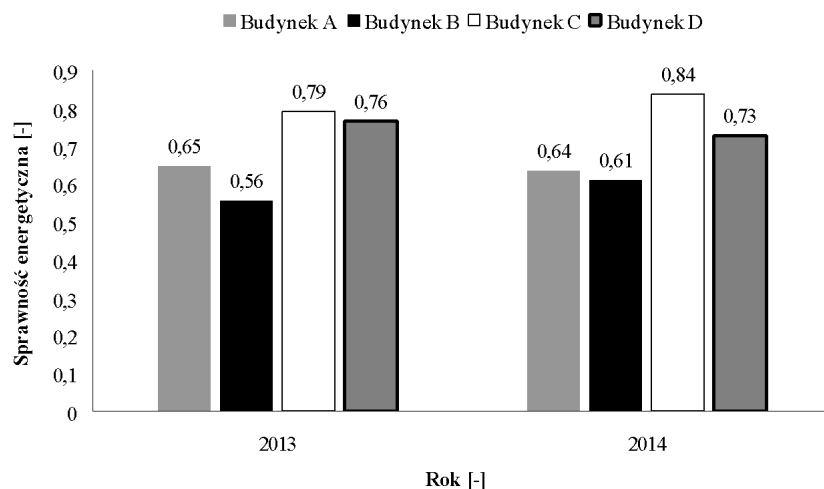
Rys. 12.1. Sprawność instalacji centralnego ogrzewania ($\eta_{c.o.}$) w budynkach A, B, C, D

Na podstawie rysunku 12.1 można zaobserwować, że najwyższe sprawności instalacji c.o. osiągają systemy w budynkach A i D (od 0,80 do 0,83). Są to – odpowiednio – budynki z kotłownią gazową oraz wymiennikownią. Wynika z tego, że w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych o większej powierzchni użytkowej sprawność systemu ogrzewania jest wyższa niż w budynkach o mniejszej powierzchni. Może to być związane z większym zużyciem ciepła w stosunku do strat ciepła na przesyle czynnika grzewczego (pomiędzy źródłem ciepła a poszczególnymi mieszkaniami). Zostało to przedstawione na rysunku 12.2.



Rys. 12.2. Straty ciepła w instalacji centralnego ogrzewania na odcinku źródło ciepła - poszczególne mieszkania w odniesieniu do 1 m² powierzchni użytkowej

Na podstawie rysunku 12.2 można stwierdzić, że straty ciepła na przesyle w instalacji c.o. między źródłem ciepła a poszczególnymi mieszkaniami, odniesione do 1 m² powierzchni użytkowej budynku, są wyższe (nawet o 40%) dla obiektów o mniejszej powierzchni użytkowej.

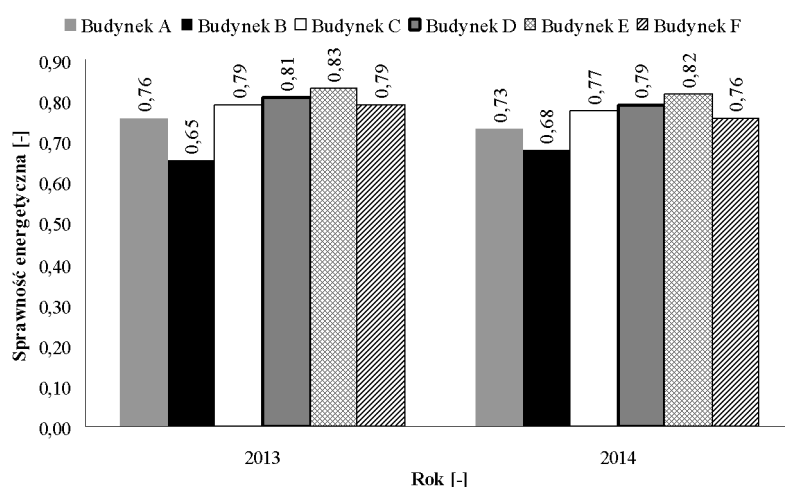


Rys. 12.3. Sprawność instalacji przygotowania ciepłej wody użytkowej ($\eta_{c.w.u.}$) w budynkach A, B, C, D

Analizując wyniki przedstawione na rysunku 12.3, można zauważyć, że sprawność instalacji c.w.u. jest niższa od sprawności instalacji c.o. średnio od 9% do 22%. Wyjątkiem jest budynek C, w którym sprawność instalacji c.w.u. jest wyższa od sprawności instalacji c.o.

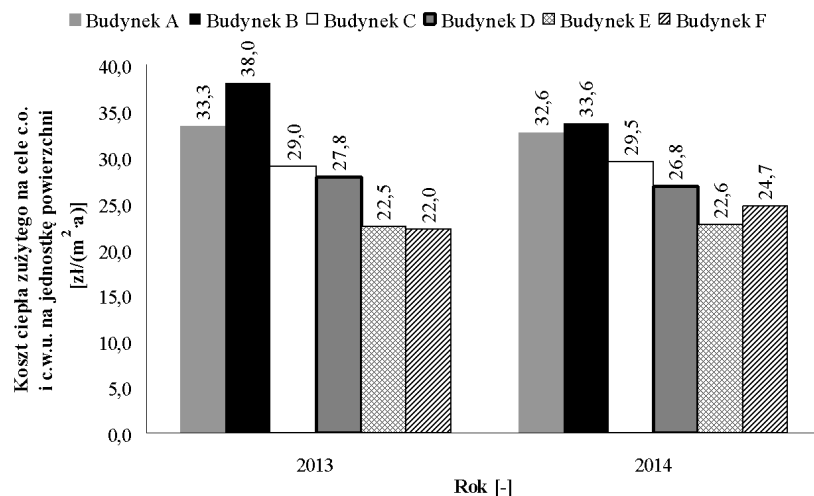
Najwyższą sprawność można zaobserwować w budynkach C i D (od 0,73 do 0,84), niższą charakteryzują się nieruchomości A i B (od 0,56 do 0,65). Wynika z tego, że wyższą sprawnością systemu przygotowania ciepłej wody użytkowej odznacza się układ wyposażony w wymiennikownię niż w kotłownię gazową.

Analizując rysunek 12.4, można dostrzec, że obiekty A i B (wyposażone w kotłownię gazową) charakteryzują się niższą sprawnością całkowitą niż pozostałe budynki, które są zasilane ciepłem sieciowym przez wymiennikownię. Poza tym można zauważyć, że – również w przypadku całkowitej sprawności systemów grzewczych (c.o. oraz c.w.u.) w budynkach wielorodzinnych – budynki o większej powierzchni użytkowej (A i D) cechują się wyższą sprawnością całego systemu grzewczego ($\eta_{c.o.+c.w.u.}$) niż te o mniejszej powierzchni użytkowej (B i C). Z kolei nieruchomości wyposażone w mieszkaniowe węzły ciepłownicze (E i F) odznaczają się dość wysoką sprawnością z zakresu od 0,76 do 0,83, mimo że ich powierzchnia użytkowa jest równa 2440 m² (E) oraz 2237 m² (F).



Rys. 12.4. Sprawność całkowita systemu grzewczego (instalacja c.o. i c.w.u.) ($\eta_{c.o.+c.w.u.}$) w budynkach A, B, C, D, E, F

Następnie obliczono jednostkowe koszty eksploatacyjne (rysunek 12.5) poniesione przez zarządców analizowanych budynków, przy uwzględnieniu rzeczywistych nakładów związanych z dostarczaniem nośnikiem energii (gaz ziemny lub ciepło sieciowe). Na tej podstawie można stwierdzić, że zastosowanie kotłowni gazowych jako źródła ciepła jest mniej ekonomiczne niż zastosowanie zasilania ciepłem z miejskiej sieci ciepłowniczej.



Rys. 12.5. Roczny koszt ciepła dostarczonego na cele centralnego ogrzewania oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej do budynków A, B, C, D, E, F

12.4. Podsumowanie

Biorąc pod uwagę zużycie ciepła przez mieszkańców analizowanych budynków, można zauważyć, że więcej energii na 1 m² należy dostarczyć do obiektów o większej powierzchni użytkowej, niezależnie od rodzaju systemu. Jednak sprawność systemów ogrzewania domów o większej powierzchni użytkowej jest wyższa niż w budynkach o mniejszej powierzchni.

Zapotrzebowanie na ciepło do przygotowania ciepłej wody użytkowej okazało się wyższe w obiektach wyposażonych w kotłownię gazową w stosunku do nieruchomości z wymiennikownią. Sprawność systemu przygotowania ciepłej wody użytkowej jest wyższa w domach wyposażonych w wymiennikownię niż w budynkach z kotłownią gazową.

Systemem wymagającym najmniejszej ilości ciepła na cele ogrzewania i przygotowania ciepłej wody łącznie jest ten zasilany z wymiennikowni i wyposażony w mieszkaniowe węzły cieplne. Są w nim znacznie ograniczone straty ciepła na przesyłanie czynnika od źródła ciepła do mieszkania, ponieważ do transportu czynnika grzewczego służą dwa przewody (zasilający i powrotny), a nie jak w przypadku pozostałych systemów – cztery przewody.

Mieszkańcy domu wyposażonego w wymiennikownię ponoszą niższe koszty ogrzewania 1 m² powierzchni użytkowej budynku oraz podgrzewania wody niż mieszkańcy budynków zasilanych z kotłowni gazowej.

Najniższe koszty ciepła niezbędnego do ogrzewania budynku oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej generują obiekty wyposażone w wymiennikownię i dodatkowo w węzły mieszkaniowe.

Pracę wykonano w ramach projektu badawczego IP2012 00772 finansowanego ze środków budżetowych na naukę w latach 2013-2015.

LITERATURA:

- [1] M. De Peape, P. D’Herdt, D. Mertens, *Micro-CHP Systems for Residential Applications*. “Energy Conversion And Management” 2006, vol. 47, nr 18, p. 3435-3446.
- [2] C. Diakaki, E. Grigoroudis, N. Kabelis, D. Kolokotsa, K. Kalaitzakis, G. Stravrakakis, *A Multi-objective Decision Model for The Improvement of Energy Efficiency in Buildings*, “Energy” 2010, vol. 1, nr 35, p. 5483–5496.
- [3] M. Ferrara, E. Fabrizio, J. Virgone, M. Filippi, *A Simulation-based Optimization Method for Cost-optimal Analysis of Nearly Zero Energy Buildings*, “Energy and Buildings” 2014, nr 84, p. 442–457.

- [4] K. Gram-Hanssen, *Existing Buildings – Users, Renovations and Energy Policy*, “Renewable Energy” 2014, nr 61, p. 136–140.
- [5] P. Penna, A. Prada, F. Capelletti, A. Gasparella, *Multi-objectives Optimization of Energy Efficiency Measures in Existing Buildings*, “Energy and Buildings” 2015, vol. 95, nr 5, p. 57-69.
- [6] C. Pieńkowski, *Modernizacja węzłów cieplnych jako element kompleksowej termomodernizacji budynków*, „Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja” 2006, nr 12, vol. 1, s. 21-22.
- [7] I. Polarczyk, M. Bujak, P. Malinowski, *Możliwości ograniczenia zużycia ciepła dzięki zastosowaniu mieszkaniowych węzłów cieplnych*, „Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja” 2004, nr 12, vol. 1, s. 2-4.
- [8] A. Życzyńska, *Wykorzystanie audytu oraz świadectwa energetycznego budynku przy zarządzaniu nieruchomością*, „Budownictwo i Architektura” 2013, nr 12, s. 107-116.
- [9] A. Życzyńska, *The Heat Consumption and Heating Costs After The Insulation of Building Partitions of Building Complex Supplied by The Local Oil Boiler Room*, “Maintenance and Reliability” 2014, nr 16, s. 313–318.