



Analiza techniczno-ekonomiczna procesu hydraulicznego równoważenia instalacji centralnego ogrzewania

*Kinga Dopieralska, Alicja Siuta-Olcha,
Tomasz Cholewa, Grzegorz Tatara
Politechnika Lubelska*

1. Wstęp

W myśl obowiązujących przepisów, budynek oraz instalacje wewnętrzne powinny być tak zaprojektowane i wykonane, aby ilość energii, niezbędnej do użytkowania budynku zgodnie z jego przeznaczeniem, była możliwa do utrzymania na racjonalnie niskim poziomie [3, 4, 8, 10, 11]. Zauważa się, że nawet nowoczesne instalacje grzewcze z zaawansowanym systemem sterowania i regulacji nie zawsze zapewniają wymagany komfort termiczny w pomieszczeniach. W wielu przypadkach problem ten jest związany bezpośrednio z wielkością przepływu czynnika w instalacji i ujawnia się zwykle po oddaniu budynku do użytkowania [6]. Do najczęstszych problemów eksploatacyjnych można zaliczyć:

- przegrzewanie lub niedogrzewanie pomieszczeń,
- zbyt długi czas oczekiwania na wymaganą temperaturę w pomieszczeniach po porannym rozruchu instalacji,
- brak zapewnienia warunków komfortu cieplnego, pomimo zainstalowania wymaganej mocy grzewczej,
- wyższe koszty energii w stosunku do zakładanych,
- wahania temperatury powietrza w pomieszczeniach,
- niewłaściwa praca zaworów regulacyjnych,
- nieodpowiednia różnica temperatury czynnika na zasilaniu i temperatury wody powrotnej.

Poszukując rozwiązania powyższych problemów, często podejmuje się próby montażu większych lub mniejszych grzejników, wydajniejszych pomp, czy też zwiększenia temperatury zasilania. Dokonuje się także zwiększenia czasu porannego rozruchu instalacji lub zmiany ustawień systemu sterowania. Niekiedy takie zabiegi skutkują pojawieniem się hałasu w instalacji. Powyższe czynności stosowane są doraźnie i nie rozwiązują przyczyn problemu [1].

W zależności od wielkości instalacji, w sytuacji pełnego otwarcia zaworów regulacyjnych, obiegi grzewcze znajdujące się najbliżej pompy obiegowej mogą osiągać wielkości przepływu rzędu nawet 200%, natomiast najbardziej oddalone charakteryzują się przepływem na poziomie zaledwie 50% w stosunku do specyfikacji projektowej [9]. Efektem niekontrolowanych przepływów czynnika w tych obiegach jest wysoki pobór mocy oraz dodatkowe straty ciepła. Zgodnie z [5] jednym ze sposobów poprawy efektywności energetycznej jest przeprowadzenie równoważenia hydraulicznego instalacji grzewczych w budynkach.

2. Procedura równoważenia hydraulicznego instalacji grzewczych

Istotą procedury równoważenia hydraulicznego jest wykonanie szeregu czynności, polegających na zapewnieniu odpowiedniej współpracy wszystkich urządzeń instalacji, co znajduje odzwierciedlenie w optymalnej sprawności układu przy minimalnych nakładach energetycznych podczas eksploatacji. Poprawnie funkcjonująca instalacja powinna odpowiednio reagować na zmieniające się warunki zewnętrzne. Aby w pełni wykorzystać możliwości instalacji, powinna ona posiadać pełną regulację. Procedura równoważenia hydraulicznego powinna poprzedzać proces regulacji, co oznacza, że instalację równoważy się po to, aby móc ją później prawidłowo regulować [2]. W praktyce procedura równoważenia hydraulicznego instalacji centralnego ogrzewania umożliwia osiągnięcie rzeczywistych przepływów czynnika zgodnych z przepływami obliczeniowymi. Polega ona bezpośrednio na ograniczeniu przepływu medium roboczego w części instalacji, w której obserwuje się zjawisko „nadprzepływu” oraz zwiększeniu wartości przepływu w innej części układu, gdzie występuje zjawisko „podprzepływu”, w stosunku do założeń projektowych. Jest to

jedna z ostatnich procedur, przeprowadzanych przed oddaniem instalacji do użytku. Dodatkową jej zaletą jest możliwość identyfikacji usterek występujących w obiegu hydraulicznym [7].

Do wykonania procedury równoważenia hydraulicznego niezbędne są następujące elementy:

- armatura równoważąca, dzięki której możliwy jest pomiar rzeczywistego przepływu oraz regulacja obiegu (ręczne zawory równoważące, automatyczne zawory równoważące, wielofunkcyjne zawory równoważące, zawory nadmiarowo-upustowe),
- urządzenia do pomiaru przepływu i różnicy ciśnienia,
- odpowiednio dobrana procedura procesu równoważenia.

Pomiar przepływu wykonywany jest w sposób pośredni, w oparciu o pomiar różnicy ciśnień na grzybku i na gnieździe zaworu równoważającego, wyposażonego w króćce pomiarowe, przy określonym stopniu jego otwarcia. Rzeczywistą wartość przepływu wyznacza się na podstawie zmierzonej różnicy ciśnień oraz charakterystyki hydraulicznej danego zaworu. Z uwagi na fakt, że procedura równoważenia hydraulicznego wymaga wykonania wielu pomiarów, powszechnie stosowane są mierniki elektroniczne. Przystępując do przeprowadzania procedury równoważenia hydraulicznego w praktyce, można zaobserwować sytuację, w której zmiana wartości przepływu w danej gałęzi instalacji powoduje zmianę przepływu w innych jej częściach, również tych uprzednio poddanych regulacji. Wówczas równoważenie instalacji jest procesem czasochłonnym i niegwarantującym osiągnięcia zamierzonego efektu [2]. W związku z powyższym, do prawidłowego wykonania równoważenia hydraulicznego konieczny jest wybór odpowiedniej i efektywnej metody ustalania przepływów. Wybór właściwej metody zależy przede wszystkim od liczby osób biorących udział w procesie, możliwości stosowanych urządzeń oraz czasu na wykonanie procedury. Najczęściej wybierana jest metoda, pozwalająca na optymalizację spadków ciśnienia w instalacji w możliwie najkrótszym czasie [12].

3. Metodyka równoważenia hydraulicznego instalacji grzewczej na przykładzie budynku oświatowego zlokalizowanego w Lublinie

Budynek, w którym przeprowadzono procedurę równoważenia hydraulicznego instalacji centralnego ogrzewania, jest czterokondygnacyjny, podpiwniczony, wykonany w technologii tradycyjnej. W 2012 roku zakończone zostały prace remontowe budynku, które obejmowały prace budowlane zewnętrzne w zakresie poprawy efektywności energetycznej oraz prace wewnętrzne, polegające na remoncie pomieszczeń i wymianie wszystkich instalacji, w tym instalacji centralnego ogrzewania. Analizowany budynek charakteryzuje się zapotrzebowaniem energii cieplnej na cele centralnego ogrzewania na poziomie 342,7 kW. Źródłem ciepła w budynku jest indywidualna kotłownia gazowa zlokalizowana w wydzielonym pomieszczeniu na poziomie suterenu. Wymaganą moc cieplną zapewniają dwa kotły gazowe firmy Viessmann pracujące w połączeniu kaskadowym. Obieg czynnika grzewczego realizowany jest przez pompę typu Stratos-D 50/1-9 firmy Wilo. Zaprojektowana i wykonana instalacja centralnego ogrzewania wodnego, dwururowego, dostosowana do aktualnych potrzeb energetycznych budynku, charakteryzuje się parametrami czynnika grzewczego równymi 90/70°C. Elementami grzejnymi są grzejniki stalowe płytowe firmy Brugman. Na gałęzkach zasilających zainstalowane zostały termostatyczne zawory grzejnikowe z głowicą termostatyczną w celu regulacji temperatury w pomieszczeniach. Na gałęzkach powrotnych od grzejników zamontowano zawory odcinające z funkcją opróżniania. Instalację wykonano w systemie rozdziału dolnego. Poziomy prowadzone są pod stropem suterenu przy ścianach zewnętrznych w zabudowie z płyt gipsowo-kartonowych i realizują rozptył czynnika grzewczego do 32 pionów. Przewody instalacji centralnego ogrzewania wykonano z rur stalowych czarnych średnich ze szwem według normy PN-H-74200: 1998P, łączonych przez spawanie. Połączenia z armaturą wykonano jako gwintowane. Przewody poziome rozprowadzające oraz piony zaizolowano cieplnie otuliną z pianki poliuretanowej w płaszczu z PVC typu STEINONORM® 310. Gałęzki wykonano jako nieizolowane. Na podejściach pod poszczególne piony zainstalowano zawory równoważące i pomiarowe. Na przewodzie zasilającym zamontowano zawory równoważące ręczne typu STAD oraz TBV firmy

TA Hydronics, natomiast na przewodzie powrotnym – zawory pomiarowe typu STS firmy TA Hydronics. Ponadto zainstalowano zawory równoważące ręczne typu STAD na rurociągach rozprowadzających w celu utworzenia modułów hydraulicznych, składających się z grup odbiorników (pionów) koniecznych do przeprowadzenia procedury równoważenia hydraulicznego instalacji.

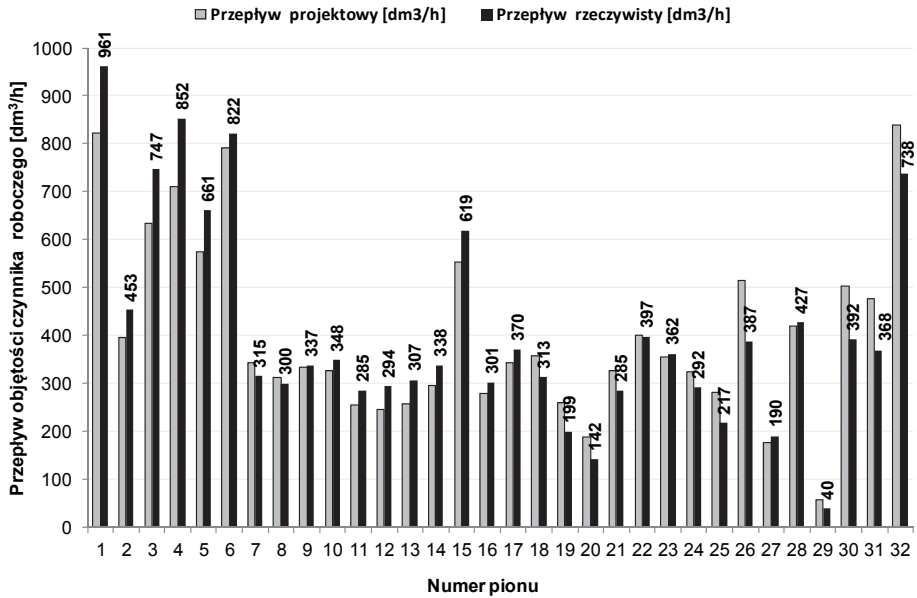
Procedura równoważenia hydraulicznego instalacji centralnego ogrzewania w budynku została wykonana po zakończeniu prac montażowych, natomiast przed oddaniem budynku do użytkowania. Do jej przeprowadzenia wykorzystano metodę TA-Diagnostic przy udziale dwóch osób. Zdecydowano się na wybór tej metody z uwagi na stosunkowo niewielką rozpiętość instalacji oraz brak konieczności stosowania przekaźników transmisji dalekiego zasięgu. Metoda TA-Diagnostic jest komputerową metodą równoważenia hydraulicznego instalacji, opracowaną przez firmę TA Hydronics, która umożliwia zbadanie całej sieci hydraulicznej, zawór po zaworze, moduł po module. Posiada ona funkcję automatycznego obliczania nastaw na wszystkich zaworach równoważących w całej instalacji, aby zapewnić wymaganą wartość przepływu we wszystkich odbiornikach końcowych. Do przeprowadzenia procedury posłużono się przyrządem TA-SCOPE, a poszczególne moduły hydrauliczne instalacji definiowano na miejscu.

Pomiary przepływu i ciśnienia różnicowego w instalacji rozpoczęto od modułu charakteryzującego się największą odległością od pompy obiegowej. W celu sprawdzenia poprawności wykonanej procedury przeprowadzono trzy próby pomiarów przepływu rzeczywistego na każdym zaworze równoważącym instalacji.

4. Wyniki badań

Przeprowadzona procedura równoważenia hydraulicznego instalacji centralnego ogrzewania w budynku oświatowym w Lublinie pozwoliła na wykonanie szczegółowej analizy techniczno-ekonomicznej. Dzięki temu możliwe było określenie zasadności przeprowadzania tego procesu w rzeczywistych warunkach budowlanych.

Na rysunku 1 przedstawiono porównanie wartości przepływu objętości czynnika grzewczego w instalacji dla warunków projektowych i rzeczywistych przed wykonaniem procedury równoważenia hydraulicznego.

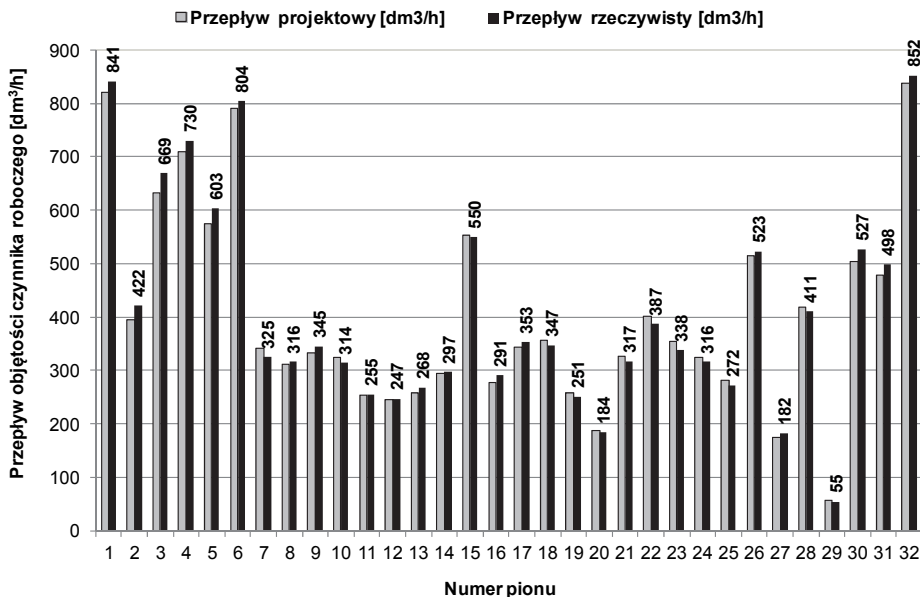


Rys. 1. Projektowy i rzeczywisty przepływ objętości czynnika przed równoważeniem instalacji centralnego ogrzewania

Fig. 1. Computational and actual volumetric flow of medium before the balancing of the central heating system

W przypadku pionów 1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 11, 12, 13, 14, 15 występuje większa wartość przepływu rzeczywistego w stosunku do założeń projektowych, czyli zjawisko „nadprzepływu”. Piony 7, 18, 19, 20, 21, 24, 25, 26, 29, 30, 31, 32 charakteryzują się natomiast niższą wartością natężenia przepływu rzeczywistego w odniesieniu do założeń projektowych. W tej sytuacji występuje zjawisko „podprzepływu”. Piony 8, 9, 16, 17, 22, 23, 27, 28 mają zbliżone wartości projektowych i rzeczywistych przepływów wody instalacyjnej. Piony charakteryzujące się „nadprzepływem” znajdują się najbliżej pompy obiegowej, natomiast pion, w których występują „podprzepływy”, są usytuowane w znacznej odległości od pompy obiegowej instalacji. Niewielka liczba pionów, w których przepływ rzeczywisty jest w przybliżeniu równy projektowemu, znajduje się między pionami o znacznie większym lub mniejszym natężeniu przepływu, w stosunku do założeń projektowych.

Rysunek 2 prezentuje zestawienie porównawcze przepływów objętości czynnika grzewczego po przeprowadzeniu równoważenia hydraulicznego. Wartości przepływu w warunkach rzeczywistych są zbliżone do specyfikacji projektowej. Zjawiska „nadprzepływu” dla pionów najbliższej pompy oraz „podprzepływu” dla pionów w największej odległości od pompy obiegowej zostały wyeliminowane. W wyniku procedury równoważenia hydraulicznego ustawiono przepływy objętości czynnika grzewczego, spełniające wymagania projektu technicznego, gwarantujące osiągnięcie wymaganych mocy cieplnych w poszczególnych odbiornikach końcowych (grzejnikach).



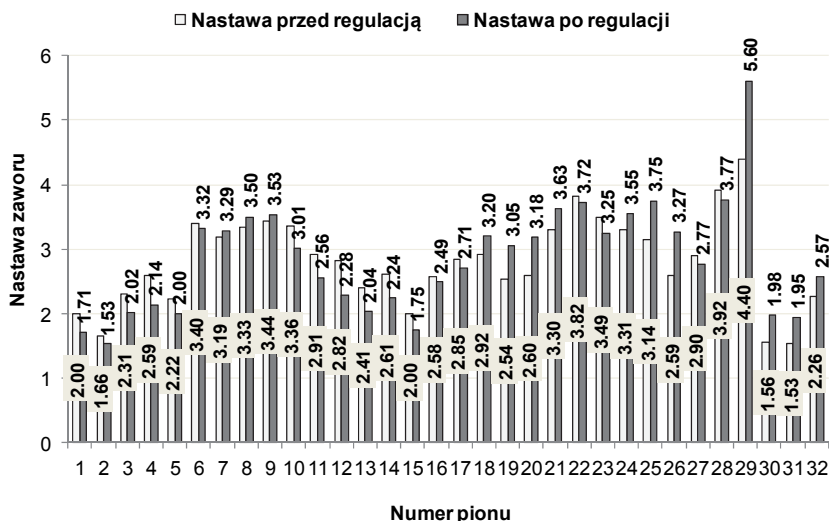
Rys. 2. Projektowy i rzeczywisty przepływ objętości czynnika po zrównoważeniu instalacji centralnego ogrzewania

Fig. 2. Computational and actual volumetric flow of medium after the balancing of the central heating system

Na rysunku 3 przedstawiono wartości nastaw zaworów równoważących przed i po wykonaniu równoważenia hydraulicznego. Na podstawie tego zestawienia można stwierdzić, że wykonanie nastaw zaworów, zgodnie z założeniami projektu technicznego, nie gwarantuje osiągnięcia wymaganych wartości przepływu w instalacji i konieczna jest ich korek-

ta. W przypadku pionów, które przed wykonaniem równoważenia hydraulicznego charakteryzowały się „nadprzepływem”, nastąpiło zmniejszenie wartości nastawy na zaworze równoważącym. Odwrotna sytuacja miała miejsce w przypadku pionów charakteryzujących się „podprzepływem” w stosunku do obliczeń projektowych. Wówczas dokonana korekta spowodowała zwiększenie nastawy.

Konieczność przeprowadzenia korekty nastaw zaworów równoważących, a tym samym zmiana wartości przepływów w instalacji, była spowodowana odstępstwami od dokumentacji projektowej, w zakresie długości oraz trasy prowadzenia przewodów w modernizowanym budynku. Procedura równoważenia umożliwiła redukcję wpływu wyżej wymienionych zmian na wartości strumienia objętości przepływu czynnika grzewczego.



Rys. 3. Wartości nastaw zaworów równoważących przed i po zrównoważeniu hydraulicznym instalacji centralnego ogrzewania

Fig. 3. Values of balancing valves settings before and after the balancing of the central heating system

Po zakończeniu procedury równoważenia hydraulicznego dokonano optymalizacji punktu pracy pompy obiegowej poprzez obniżenie jej wysokości podnoszenia z wartości 7 mH₂O na 4 mH₂O dla wartości przepływu równej 13090 dm³/h. Miało to bezpośrednie przełożenie na pobór mocy elektrycznej przez silnik pompy, który zmalał z 600 W do

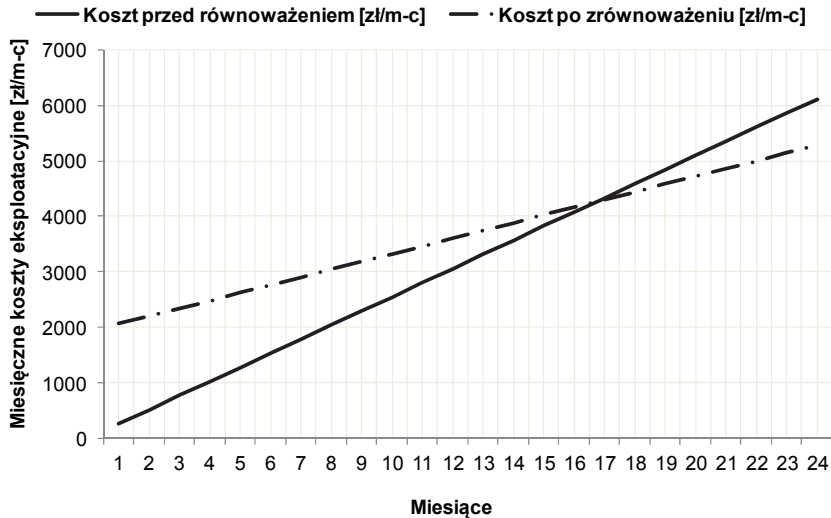
około 330 W. Wyznaczenie punktów pracy pompy obiegowej instalacji centralnego ogrzewania umożliwiło przeprowadzenie analizy ekonomicznej wykonanej procedury równoważenia hydraulicznego. Zestawienie niezbędnych danych przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Dane do analizy ekonomicznej równoważenia hydraulicznego
Table 1. Data for economic analysis of the hydronic balancing

| Parametr | Wartość |
|--|---------|
| Koszt 1 kW·h energii elektrycznej ¹⁾ | 0,59 zł |
| Liczba godzin w miesiącu | 720 |
| Moc pobierana przez pompę obiegową przed równoważeniem | 0,6 kW |
| Moc pobierana przez pompę obiegową po równoważeniu | 0,33 kW |
| Koszt równoważenia jednego zaworu | 60 zł |
| Liczba pionów z zaworami równoważącymi | 32 szt. |

1) średni koszt energii elektrycznej w zł/kW·h w ramach taryfy C21 z uwzględnieniem 23% stawki podatku VAT na dzień 27.06.2013 roku (www.lubzel.com.pl, www.pgedystrybucja.pl)

Biorąc pod uwagę koszt 1 kW·h energii elektrycznej, liczbę godzin w miesiącu oraz pobór mocy elektrycznej przez silnik pompy, można wyznaczyć miesięczny przybliżony koszt energii elektrycznej zużywanej przez pompę obiegową równoważonej instalacji centralnego ogrzewania. Porównując koszty eksploatacyjne instalacji przed i po zrównoważeniu hydraulicznym, należy uwzględnić także nakłady finansowe związane z wykonaniem samej procedury. Przybliżony koszt równoważenia instalacji można oszacować jako iloczyn kosztu równoważenia jednego zaworu równoważącego i liczby zamontowanych zaworów podpionowych. Porównanie kosztów eksploatacyjnych instalacji centralnego ogrzewania przed i po wykonaniu procedury równoważenia, na podstawie kosztów energii elektrycznej, zużywanej przez pompę obiegową podczas kolejnych miesięcy sezonu grzewczego, przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Miesięczne koszty eksploatacyjne instalacji grzewczej przed i po zrównoważeniu hydraulicznym

Fig. 4. Monthly operating costs of the central heating system before and after the hydronic balancing

Jak można zaobserwować, zwrot kosztów procedury równoważenia hydraulicznego możliwy jest już po 17 miesiącach sezonu grzewczego, czyli po około 3 latach eksploatacji. Po tym okresie instalacja zrównoważona hydraulicznie zacznie generować oszczędności, które w 4-tym roku eksploatacji mogą osiągnąć około 1000 zł. Należy przy tym pamiętać, że powyższa analiza dotyczy tylko oszczędności energii elektrycznej zużywanej przez pompę obiegową. W rzeczywistości, biorąc pod uwagę inne korzyści równoważenia, takie jak: optymalne wykorzystanie źródła ciepła i szybszy rozruch instalacji po obniżeniu nocnym, oszczędności te mogą okazać się znacznie wyższe.

5. Wnioski

Analizując procedurę równoważenia hydraulicznego, z punktu widzenia technicznego, można stwierdzić, że zapewnia ona osiągnięcie wymaganych przepływów czynnika grzewczego w poszczególnych odcinkach instalacji. Efektem jej przeprowadzenia jest spełnienie wymagań aktualnie obowiązujących przepisów, zapewnienie komfortu cieplnego w budynku oraz optymalne wykorzystanie mocy źródła ciepła. Uzasad-

nieniem do jej przeprowadzania jest także konieczność wykonania poprawy nastaw wstępnych zaworów równoważących, które pomimo zgodności z dokumentacją, nie gwarantują osiągnięcia wymaganych przepływów w instalacji. Stale zaostrzane przepisy w najbliższych latach na pewno przyczynią się do coraz częstszego wykonywania równoważenia, z uwagi na konieczność ograniczania zużycia energii w budynkach.

Autorzy składają serdeczne podziękowania Pracownikom Działu Technicznego firmy TA Hydronics: Panu Sławomirowi Świąteckiemu, Panu Grzegorzowi Onyszcukowi oraz Panu Konradowi Kargul za pomoc w przeprowadzeniu równoważenia instalacji centralnego ogrzewania.

Praca finansowana z działalności statutowej Młoda Kadra S-130/M/WIS/2014

Literatura

1. **Andreasen B.:** *Three Keys to Hydronic Control*. HPAC Engineering, 4, 2011.
2. **Czapliński J.:** *Metody równoważenia*. Magazyn Instalatora, 10, 18–19 (2011).
3. **Dumała S., Skwarczyński M.:** *Rozwiązania konstrukcyjno-instalacyjne budynku a zapotrzebowanie na energię cieplną*. Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set the Environment Protection), 13, 1795–1808 (2011).
4. **Dyczkowska M., Szkarowski A.:** *Metoda energooszczędnego sterowania pracą instalacji grzewczych w budynkach o podwyższonej izolacyjności cieplnej – porównanie modelu matematycznego z wynikami badań*. Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set the Environment Protection), 11, 583–594 (2009).
5. **Monitor Polski Dziennik Urzędowy Rzeczypospolitej Polskiej** Warszawa, dnia 11 stycznia 2013 roku. Poz. 15. **Obwieszczenie Ministra Gospodarki** z dnia 21 grudnia 2012 roku w sprawie szczegółowego wykazu przedsięwzięć służących poprawie efektywności energetycznej.
6. **Naskręt L., Szkarowski A.:** *Udoskonalone sposoby akumulacji i rozdziału ciepła w instalacjach grzewczych*. Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set the Environment Protection), 11, 555–570 (2009).
7. **Onyszcuk G., Świątecki S.:** *Równoważenie hydrauliczne – konieczność dobrej regulacji*. Chłodnictwo i Klimatyzacja, 7, 26–29 (2011).
8. **Pieńkowska J.:** *Równoważenie hydrauliczne instalacji a oszczędność energii w budynkach (cz. 1)*. Magazyn Instalatora, 8, 24–25 (2012).
9. **Różycki R.:** *Równoważenie dużych instalacji c.o.*. Rynek Instalacyjny, 5, 80 (2012).

10. **Rutkowska G., Klepak O., Podawca K.:** *Problemy strat ciepła w istniejących budynkach jednorodzinnych w kontekście błędów wykonawczych.* Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set the Environment Protection), 15, 2625–2639 (2013).
11. **Szkarowski A., Naskręt L.:** *Teoretyczne zagadnienia zastosowania rozdzielaczy hydraulicznych i zbiorników buforowych w nowoczesnych instalacjach grzewczych.* Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set the Environment Protection), 10, 319–334 (2008).
12. **Świątecki S.:** *Równoważenie hydrauliczne w praktyce.* Polski Instalator, 12, 34–35 (2008).

Technical and Economic Analysis of Hydronic Balancing for Central Heating System

Abstract

A technical and economic analysis was carried out on the basis of measurement data obtained during the hydronic balancing of a central heating system in an educational building boasting the volume of 46 831 m³, located in Lublin, and the design documentation of the heating system. The design heat load of the renovated building was determined and amounted to 342.7 kW.

Computer method TA-Diagnostic was employed in hydronic balancing, due to relatively small size of the system (32 risers) and no need to use long range transmitters. This method allowed for the automatic setting of all the balancing valves in the system, in order to provide the required flow rate of the heating medium in each radiator.

Correction of the balancing valves settings was carried out. The computational and actual volumetric flow rates of heating medium in individual risers were compared before and after the hydronic balancing.

The hydronic balancing of the heating system enabled the optimization of operating point of the circulating pump. Delivery head was decreased from 7 mH₂O to 4 mH₂O, for the volumetric flow of the heating medium equalling 13090 dm³/h. Energy consumption was reduced in the heating season. The power consumption of the pump engine was nearly halved from 600 W to approximately 330 W. It was determined that the cost of the hydronic balancing would recoup after roughly 3 years of exploitation. Starting with the 4th year, the hydronically balanced system will begin saving, up to approximately 1000 zł PLN.

The conducted technical and economic analysis regarding the hydronic balancing process of the heating system in the modernized building showed that it is justified and even necessary to perform it, taking into account both economic benefits and the improvement of energy efficiency.

Słowa kluczowe:

równoważenie hydrauliczne, nastawa zaworu równoważącego,
pompa obiegowa, efektywność energetyczna

Keywords:

hydronic balancing, balancing valve setting, circulating pump, energy efficiency