

Robert WRÓBLEWSKI*

WPLYW ZASTOSOWANIA DWÓCH OBWODÓW GRZEWczyCH O RÓŻNYCH TEMPERATURACH CZYNNIKA NA EFEKTYWNOŚĆ ENERGETYCZNĄ WYKORZYSTANIA PALIWA

W nowoczesnym budownictwie istnieje wiele instalacji wymagających zastosowania czynnika grzewczego o odpowiedniej temperaturze. Odpowiednią temperaturę czynnika uzyskuje się poprzez zastosowanie termostatycznych zaworów mieszających wodę powrotną z zasilającą. W artykule przeanalizowano wpływ rozdziału obiegów grzewczych na wysoko i niskotemperaturowy, pozwalające na wykorzystanie ciepła odpadowego spalin podstawowego urządzenia wytwórczego (kotła gazowego i agregatu kogeneracyjnego) na efektywność energetyczną wykorzystania paliwa.

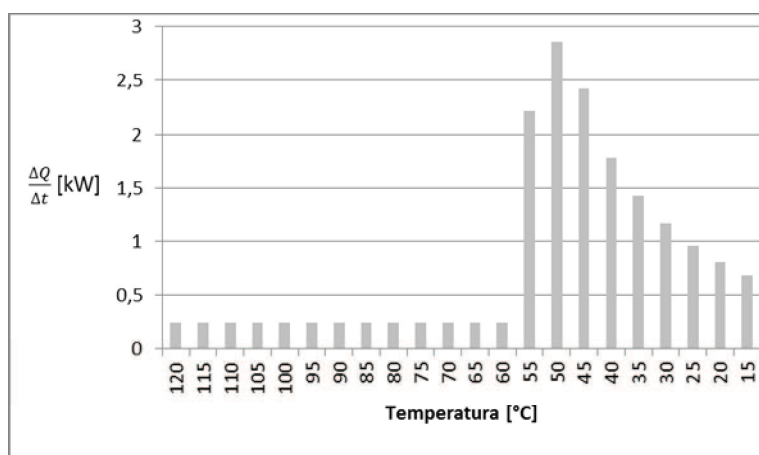
1. WSTĘP

Instalacja zaopatrzenia w ciepło jest jedną z najważniejszych instalacji w budynku. Od jej prawidłowego funkcjonowania zależy zapewnienie komfortu cieplnego w czasie sezonu grzewczego. W naszej strefie klimatycznej jest to też instalacja najbardziej energochłonna. Źródłem zaopatrzenia budynków w ciepło może być miejska sieć ciepłownicza zasilana z ciepłowni bądź elektrociepłowni lub źródło indywidualne. Ze względu na rosnące ciągle ceny paliw oraz ograniczoność ich zasobów coraz większy nacisk kładzie się z jednej strony na zmniejszanie zapotrzebowania na ciepło (termomodernizacja i budowanie nowych budynków energooszczędnych lub wręcz pasywnych czy zero-energetycznych) z drugiej strony na efektywność wykorzystania paliwa czyli sprawność urządzeń wytwórczych. Najbardziej efektywnymi kotłami są jednostki kondensacyjne, jednak są one znacznie droższe. Poza tym, aby mówić o ich wysokiej efektywności należy zapewnić temperaturę wody powrotnej na odpowiednio niskim poziomie, co nie zawsze jest możliwe. W przypadku konwencjonalnych kotłów wartość temperatury spalin wylotowych może zawierać się w granicach 120°C – 190°C a nawet czasem więcej. Tak wysoka temperatura spalin jest przyczyną straty wylotowej, która w największym stopniu przyczynia się do obniżenia wartości sprawności kotła. Aby wykorzystać ciepło spalin uchodzących do komina na kanale spalinowym montuje się dodatkowy wymiennik zwany ekonomizerem.

* Politechnika Poznańska.

2. ODZYSK CIEPŁA ZE SPALIN

Im niższa temperatura spalin wylotowych tym wyższa sprawność kotła. W przypadku kotłów konwencjonalnych należy pamiętać tylko aby nie przekroczyć temperatury punktu rosy, gdyż wówczas następuje wykraplanie się pary wodnej zawartej w spalinach. Wykraplanie pary wodnej jest powodem korozji kotła i skrócenia jego żywotności. Temperatura punktu rosy spalin zależy od zastosowanego paliwa i zawartości w nim CO_2 . Orientacyjne wartości temperatury punktu rosy spalin wynoszą dla spalin z: paliw stałych $20\text{-}30^\circ\text{C}$, oleju opałowego lekkiego $40\text{-}50^\circ\text{C}$, i gazu ziemnego $50\text{-}60^\circ\text{C}$. W kotłach kondensacyjnych lub z przyłączonym członem kondensacyjnym wykorzystuje się ciepło skraplania pary wodnej i uzyskuje sprawności przekraczające 100% w stosunku do wartości opałowej paliwa. Uzysk ciepła w zależności od temperatury spalin wylotowych przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Ilość ciepła uzyskana ze spalin w wyniku obniżania ich temperatury w kolejnych przedziałach $\Delta t = 5^\circ\text{C}$

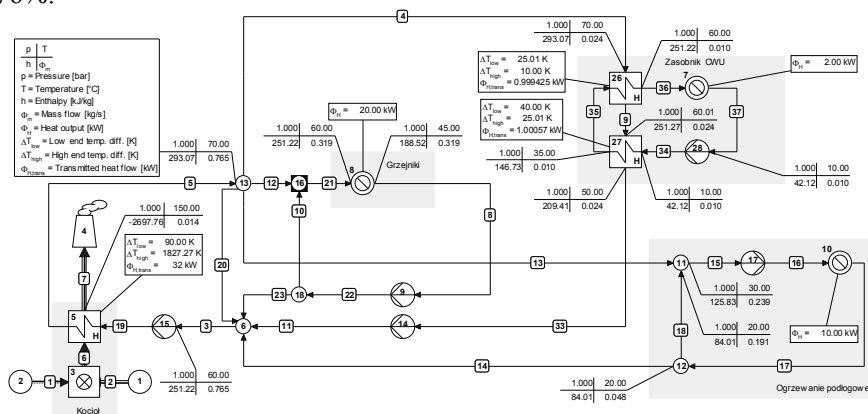
Jak widać z powyższej zależności obniżenie temperatury spalin o $\Delta t = 5^\circ\text{C}$ powoduje wzrost mocy grzewczej o 0,25 kW przy założeniu, że kocioł zużywa $0,003 \text{ m}^3/\text{s}$ gazu ziemnego i współczynnik nadmiaru powietrza $\lambda = 1,05$. Obniżanie temperatury spalin wylotowych poniżej 60°C powoduje uzyskanie znacznie większych ilości ciepła, gdyż poza ciepłem wynikającym ze średniego ciepła właściwego spalin uzyskujemy znaczne ilości ciepła wynikające z ciepła skraplania pary wodnej zawartej w spalinach. Jak widać z tej zależności kondensacja pary wodnej zawartej w spalinach może być źródłem dodatkowej energii. Wykorzystanie tej energii jest jednak ograniczone temperaturą wody powrotnej w instalacji, która zależy od rodzaju zasilanych odbiorników.

3. TRADYCYJNA INSTALACJA GRZEWcza

Typową instalację CO przedstawiono na rysunku 2. Źródłem wytwórczym jest tutaj kocioł gazowy o parametrach czynnika grzewczego 70/60°C. Zabezpieczenie kotła przed zbyt niską temperaturą powrotu realizuje ujęcie wody gorącej (20). Jako odbiory ciepła przewidziano:

- grzejniki naścienne o łącznej mocy 20 kW,
- zasobnik ciepłej wody użytkowej (CWU) o średniej mocy 2 kW,
- ogrzewanie podłogowe o mocy 10 kW.

Parametry czynnika w instalacji grzejnikowej to 60/45 °C realizowane poprzez zawór mieszający 16, a w instalacji ogrzewania podłogowego 30/20°C realizowane poprzez zawór mieszający 11. Najwyższe parametry czynnika grzewczego wymagane są w przypadku zasilania zasobnika ciepłej wody użytkowej z powodu okresowego zwalczania bakterii legionella. Mimo iż jest to jedna instalacja to odbiory nie są zasilane czynnikiem grzewczym o jednakowych parametrach. Sprawność źródła wytwórczego jakim jest w tym przypadku kocioł, wyznaczona dzięki zamodelowaniu układu w programie Cycle-Tempo, wynosi 91,76%.

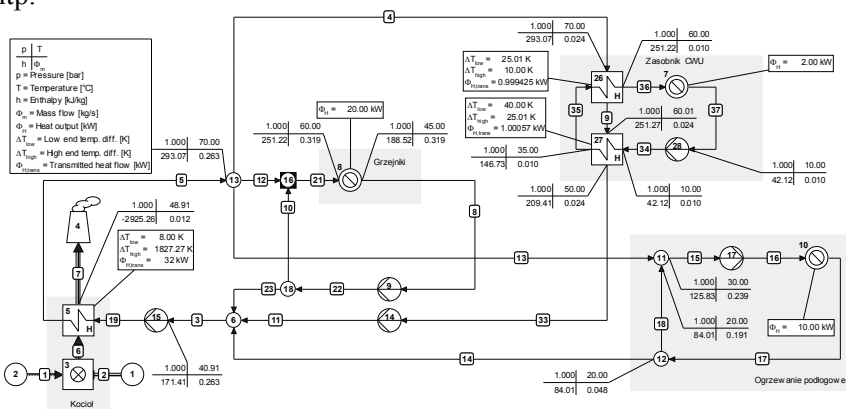


Rys. 2. Schemat układu instalacji CO

Na rysunku 3 przedstawiono modyfikację układu z rys 2 polegającą na zastosowaniu kotła kondensacyjnego. Sprawność urządzenia wytwórczego wynosi w tym przypadku 100,63%. Wartość sprawności powyżej 100% wynika z powszechnie przyjętej definicji sprawności kotłów, w której jako poziom odniesienia bierze się wartość opałową a nie ciepło spalania paliwa uwzględniające ciepło zawarte w skroplonej parze wodnej zawartej w spalinach. Stosunkowo wysoka temperatura czynnika powrotnego nie pozwala na pełny efekt zastosowania kondensacji pary wodnej zawartej w spalinach i uzyskanie jeszcze wyższych sprawności wykorzystania paliwa.

Zdaniem autora niniejszego artykułu można wykorzystać to iż odbiory pracują na różnych poziomach temperatury czynnika grzewczego i podzielić je na dwie grupy:

- odbiory o wysokiej temperaturze czynnika grzewczego:
 - grzejniki konwekcyjne,
 - zasobnik CWU,
 - itp.
- odbiory o niskiej temperaturze czynnika grzewczego:
 - ogrzewanie podłogowe,
 - wstępny podgrzew wody dla CWU,
 - podgrzewanie wody w basenach,
 - podgrzewanie podjazdów, chodników i schodów (usuwanie śniegu i zalodzenia,
 - instalacja przeciwozłodziwiowa rynien i rur spustowych,
 - itp.



Rys. 3. Schemat układu instalacji CO z kotłem kondensacyjnym

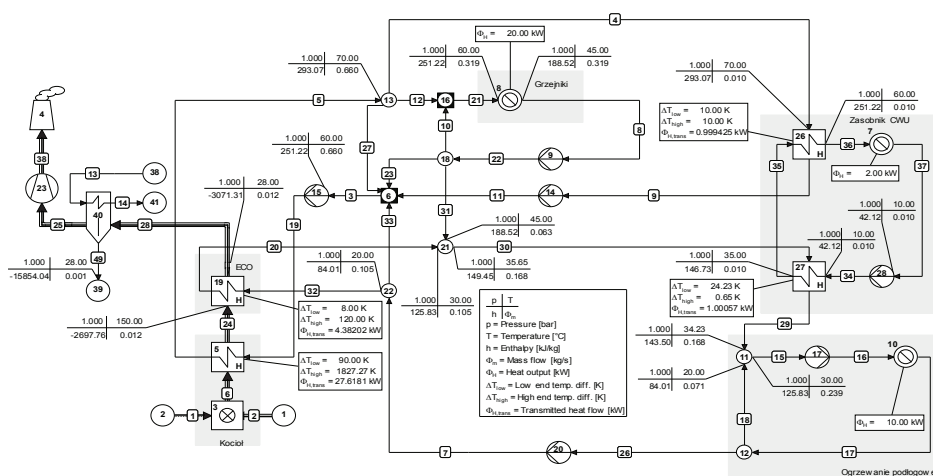
W przypadku tej drugiej grupy niską temperaturę powrotu czynnika grzewczego można wykorzystać w członach kondensacyjnych przyłączanych do kotła energetycznego w których nastąpi skraplanie pary wodnej zawartej w spalinach i odzyskiwanie ciepła skraplania. Zabieg ten powinien spowodować zwiększenie sprawności układu.

4. INSTALACJA GRZEWcza Z DWOMA OBWODAMI GRZEWczYMI O RÓŻNYCH TEMPERATURACH CZYNNIKA GRZEWczEGO

Na rysunku 3 przedstawiono zmodyfikowaną instalację grzewczą. Poziom mocy odbiorów jak i temperatury ich zasilania i powrotu zostały bez zmian. Podgrzew wody w zasobniku ciepłej wody użytkowej rozdzielono na dwa etapy:

- wstępny podgrzew do 35°C czynnikiem grzewczym o niskiej temperaturze,
- dogrzanie do właściwej temperatury (60°C) czynnikiem grzewczym o wysokiej temperaturze.

Ponadto czynnik o wysokiej temperaturze jest wykorzystywany do zasilania grzejników a o niskiej do ogrzewania podłogowego. Niska temperatura wody powrotnej pozwala na znaczne przechłodzenie spalin i skroplenie zawartej w nich pary wodnej w wymienniku oznaczonym ECO.

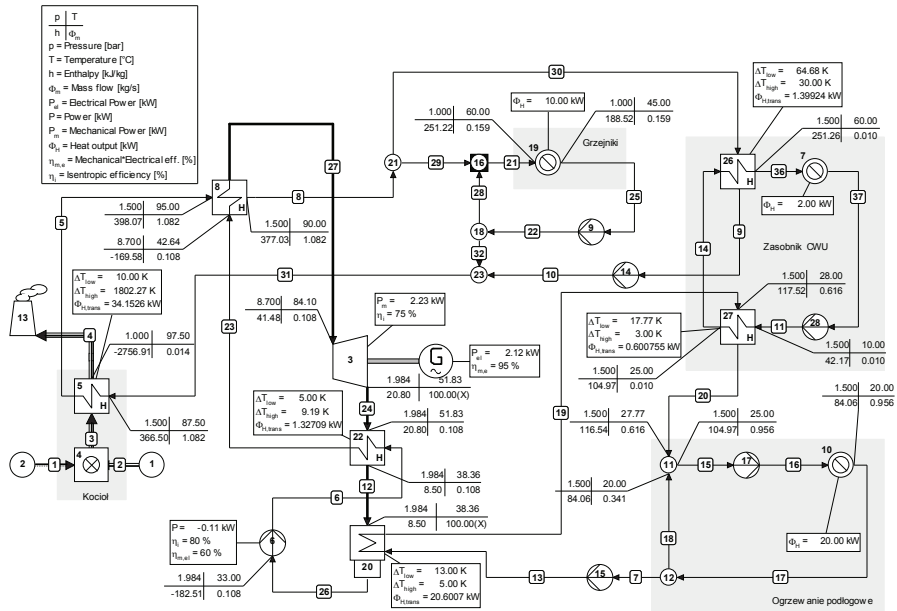


Rys. 4. Schemat układu instalacji CO z rozdzielonymi

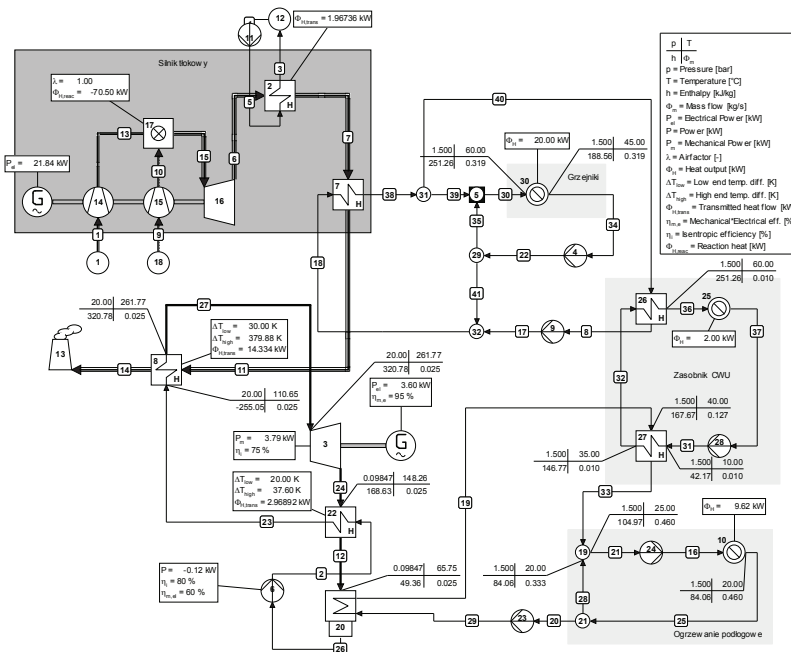
Wymiennik ten musi być wykonany, ze specjalnego gatunku stali odpornego na agresywne związki zawarte w skroplinach. Ilość ciepła wytworzona w wymienniku ECO nie jest wystarczająca dla zapewnienia pokrycia potrzeb wstępnego podgrzewu wody i ogrzewania podłogowego, dlatego na schemacie przewidziano ujęcie części czynnika z nitki powrotnej obiegu wysokotemperaturowego (31). Sprawność wykorzystania energii chemicznej paliwa w tym przypadku jest bardzo wysoka i wynosi 106,32% i jest wyższa o ok. 14,5 p.p. od sprawności w układzie przedstawionym na rysunku 1.

5. UKŁADY Z CZŁONEM KOGENERACYJNYM

Na rysunku 5 przedstawiono schemat obiegu w którym zastosowano mikroukład kogeneracyjny ORC zasilany z kotła czynnikiem o temperaturze 95°C. Jako czynnik roboczy w obiegu ORC zastosowano czynnik chłodniczy R245fa. Dolnym źródłem obiegu ORC jest wydzielona część niskotemperaturowa instalacji. Obieg ORC pracując na małej różnicy temperatur osiąga ok 6% sprawności wytwarzania energii elektrycznej przy sprawności wykorzystana paliwa dla całego układu na poziomie 93%.



Rys. 5. Schemat układu instalacji z układem kogeneracyjnym ORC zasilanym z kotła CO

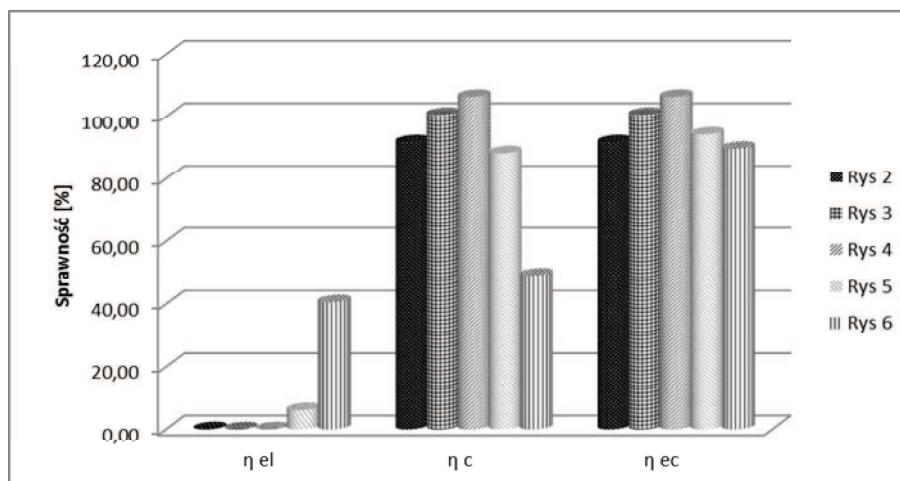


Rys. 6. Schemat układu instalacji CO w której źródłem kogeneracyjnym jest silnik spalinowy zintegrowany z ORC

Na kolejnym schemacie (rysunek 6) podstawowym źródłem ciepła jest agregat kogeneracyjny oparty na silniku tłokowym zasilanym gazem ziemnym. Część wysokotemperaturowa instalacji CO jest zasilana ciepłem z wymiennika cieczy chłodzącej płaszcz silnika i wymiennika chłodzącego olej. Spaliny z agregatu kogeneracyjnego są górnym źródłem ciepła dla zintegrowanego z układem obiegu ORC. Dolnym źródłem ciepła dla tego obiegu jest tak jak poprzednio część niskotemperaturowa instalacji CO. Dzięki wyższej temperaturze górnego źródła udało się uzyskać większą efektywność obiegu ORC i sprawność wytwarzania energii elektrycznej dla takiego układu wynosi ok 40%. Sprawność wykorzystania paliwa w tym przypadku jest również wysoka i wynosi ok 90%. Ze względu na wyższą temperaturę górnego źródła w tym przypadku jako czynnik roboczy w obiegu ORC zastosowano toluen.

6. PODSUMOWANIE

W rozdziale pierwszym pokazano jak ważne z punktu widzenia efektywności wykorzystania paliwa jest wartość temperatury spalin opuszczających kocioł. Pokazano również jaki efekt energetyczny uzyskujemy w wyniku skroplenia pary wodnej zawartej w spalinach. W kolejnych rozdziałach przedstawiono schematy technologiczne konwencjonalnej instalacji CO oraz instalacji o rozdzielonych obwodach czynnika wysokotemperaturowego i niskotemperaturowego. Wszystkie układy zamodelowano w Programie Cycle-Tempo i wyznaczono ich sprawności: wytwarzania energii elektrycznej (η_{el}), wytwarzania ciepła (η_{el}), oraz energetyczną (η_{ec}) (elektrociepłowni, wykorzystania paliwa). Wyniki przedstawiono w postaci wykresu przedstawionego na rysunku 7. Zastosowanie układu z rozdzielonymi obiegami czynników grzewczych (rys. 3) powoduje uzyskanie największej wartości sprawności wykorzystania paliwa. Tego typu rozwiązania w układach kogeneracyjnych z obiegiem ORC pozwalają na uzyskanie większej różnicy temperatur między źródłami górnym i dolnym w efekcie czego większa jest sprawność samego obiegu ORC, co powoduje podniesienie zarówno sprawności wytwarzania energii elektrycznej jak i energetycznej całego układu. Ze względu na dużą różnorodność źródeł wytwórczych przedstawiono kilka wybranych rozwiązań. Analiza konkretnego przypadku instalacji CO powinna rozpocząć się bilansu energetycznego z uwzględnieniem podziału odbiorów ciepła na wysoko i niskotemperaturowe. W następnym kroku należy przeanalizować możliwości zastosowania różnych źródeł wytwórczych pod kątem jak najwyższej efektywności energetycznej wykorzystania paliwa. Wymaga to jednak dużej wiedzy inżynierskiej i doświadczenia w budowie tego typu układów.



Rys. 7. Wyniki analizy energetycznej układów z poszczególnych rysunków: sprawność wytwarzania energii elektrycznej - η_{el} , sprawność wytwarzania ciepła - η_c , sprawność energetyczna - η_{ec} .

LITERATURA

- [1] Chudzicki J., Instalacje ciepłej wody w budynkach, Fundacja poszanowania energii, SORUS Wydawnictwo i drukarnia, Warszawa- Poznan 2006.
- [2] Koczyk H., Antoniewicz B., Nowoczesne wyposażenie domu jednorodzinnego – Instalacje sanitarne i grzewcze, PWRiL Poznań 1998r.
- [3] Skorek Janusz, Kalina Jacek: Gazowe układy kogeneracyjne, WNT, Warszawa 2005.
- [4] Cycle-Tempo 5.0 manual. TU Delft.

INFLUENCE OF APPLICATION OF TWO HEATING CIRCUITS WITH DIFFERENT TEMPERATURES OF HEATING MEDIUM ON ENERGY EFFECTIVENESS OF FUEL USE

In a modern building there are many installation requiring heating agent of a suitable temperature. The temperature of the heating agent is obtained by applying the thermostatic valve mixing back water with hot water. The article shows the influence of dividing of heating circuits on high and low temperature parts, allowing to use waste heat of basic manufacturing equipment (gas boiler and cogeneration unit), on energy-efficient use of fuel.