

# Aspekty środowiskowe konwersji kotła węglowego WR-25 na paliwo gazowe

Environmental aspects of conversion of the WR-25 coal-fired boiler to gas fuel

JACEK MARCINIAK

DOI 10.36119/15.2022.6.1

W artykule przedstawiono sposób przeprowadzenia oraz efekty środowiskowe konwersji kotła wodno-węglowego typu WR-25 na kocioł typu WR25-M/G, który zasilany jest paliwem gazowym. W pierwszej części artykułu opisano, które elementy kotła zostały zmodernizowane w celu umożliwienia zmiany dostarczanego paliwa. Następnie przedstawiono charakterystyki głównych parametrów zmodernizowanego kotła. Na koniec porównano parametry kotła przed i po jego modernizacji.

*Słowa kluczowe: kocioł gazowy, konwersja, redukcja zanieczyszczeń*

The article presents the method and the environmental effects of the conversion of the WR-25 water-coal boiler to the WR25-M / G boiler, fired with gaseous fuel. The first part of the article describes which boiler elements have been modernized in order to change the fuel supplied. Then, the determination of the characteristics of the main parameters of the modernized boiler is presented. Finally, a comparison of boiler parameters before and after modernization is presented.

*Keywords: gas boiler, conversion, pollution reduction*

## Wstęp

W obecnych czasach branża energetyczna stoi w obliczu wyzwań i transformacji związanych z polityką klimatyczną Unii Europejskiej, której założeniem jest dekarbonizacja energetyki ciepłej i zawodowej do 2050 r. W procesie tym znaczącą rolę będą odgrywały paliwa gazowe, które stopniowo mają zastępować węgiel w procesie produkcji ciepła [1]. Zgodnie z wytycznymi Unii Europejskiej gaz ma być paliwem przejściowym na drodze transformacji w przejściu energetyki opalanej węglem kamiennym do ciepłownictwa ekologicznego. Obecnie większość źródeł ciepła w Polsce pracuje w oparciu o urządzenia zasilane węglem kamiennym [2]. Podobnie rzecz się ma w Miejskiej Energetyce Ciepłej w Koszalinie, gdzie produkcja ciepła opiera się głównie na dwóch ciepłowniach miejskich, których podstawowym paliwem jest węgiel kamienny. Aby dokonać dekarbonizacji procesu wytwarzania ciepła w kotłach przemysłowych można wybudować nowe urządzenia opalane innymi paliwami, lub dokonać konwersji istniejących już kotłów węglowych, obniżając w ten sposób koszty związane ze zmianą dostarczanego paliwa do źródeł ciepła. Biorąc

pod uwagę istniejącą infrastrukturę kotłowo-pompową w Miejskiej Energetyce Ciepłej w Koszalinie, podjęto decyzję o modernizacji jednego kotła wodno-rusztowego typu WR-25, na kocioł zasilany paliwem gazowym, co było drugą tego typu modernizacją wykonaną w Polsce.

## Konwersja kotła

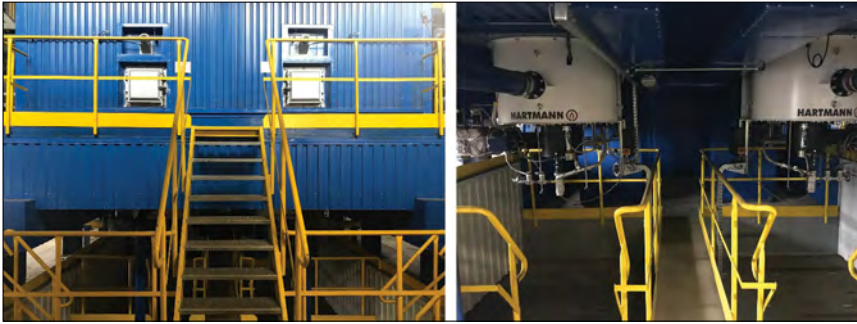
Pierwotnie konwertowany kocioł zaprojektowany i przeznaczony był do spalania węgla kamiennego energetycznego i pracował jako jeden z trzech kotłów węglowych w jednej z dwóch ciepłowni znajdujących się na terenie miasta Koszalin. Jego konstrukcja oraz zastosowane rozwiązania techniczne, pozwalały na przekonstruowanie/adaptację na kocioł opalany gazem ziemnym z zapewnieniem wyższej sprawności oraz dyspozycyjności niż w przypadku kotła węglowego. Prace związane z modernizacją kotła miały miejsce na przełomie lat 2020/2021. Efektem konwersji jest kocioł WR25-M/G, pokazany na rys. 1a, który jest kotłem wysokosprawnym, spalającym gaz ziemny. Kocioł wodnorurowy WR25-M/G wykonany jest w technologii ścian szczelnych i przeznaczony do wytwarzania gorącej

wody, wykorzystywanej do celów grzewczych. W czasie realizacji inwestycji związanej z konwersją kotła modernizacji zostały poddane: część paliwowo-powietrzna, gdzie zdemontowano część rusztową kotła, wymieniono wentylatory nadmuchu powietrza dostarczanego do komory paleniskowej kotła, instalację usuwania spalin, natomiast część hydrauliczną pozostawiono bez zmian. Modernizacji poddano system sterowania kotłem. Wybudowano także nowe przyłącze gazu, zmodernizowano część budynku ciepłowni w celu dostosowania do równoczesnej pracy kotłów węglowych i kotła gazowego w jednej hali, a także zdemontowano część zaspową węgla oraz część odzūżlania kotła.

Projektując nowy kocioł zastosowano nowatorską metodę zainstalowania palników gazowych z dołu modernizowanego kotła. W tym celu w dnie komory paleniskowej kotła WR25-M/G zabudowano dwa palniki gazowe, pokazane na rys. 1b, które są duoblokowe, niskoemisyjne, bezstopniowo elektronicznie modulowane typu RPD70G-EU ELCO Burners o mocy maksymalnej 19,6 [MW] każdy.

Dysze palników zostały zaprojektowane w taki sposób, aby płomień równomiernie oddawał ciepło orurowaniu kotła.

Mgr inż. Jacek Marciniak <https://orcid.org/0000-0003-2069-1761> – Zastępca Kierownika Działu Elektroenergetycznego, Miejska Energetyka Ciepła Sp. z o.o. w Koszalinie, Koszalin. Doktorant na Wydziale Elektroniki i Informatyki Politechniki Koszalińskiej. Adres do korespondencji/ Corresponding author: [jacek.marciniak@meckoszalin.pl](mailto:jacek.marciniak@meckoszalin.pl)



Rysunek 1:  
a) Front kotła WR-25 M/G, b) palniki gazowe typu RPD70G-EU  
Fig. 1: a) WR-25 M / G boiler front, b) RPD70G-EU gas burners

Zastosowano głowicę niskoemisyjną, umożliwiającą zmienność geometrii płomienia. Każdy z zabudowanych palników posiada własny system sterowania [3], a także żaluzjową klapę regulacyjną oraz indywidualny wentylator powietrza pierwotnego. Pobór powietrza do spalania realizowany jest istniejącymi czerpniakami z zewnątrz kotłowni. Palniki wyposażono również w instalację chłodzenia dla każdej dyszy palnika niepracującego w trakcie pracy awaryjnej jednopalnikowej, poprzez zabudowę dodatkowego wentylatora chłodzącego.

Podczas modernizacji kotła dokonano wymiany wentylatorów powietrza pierwotnego, gdzie zamontowano urządzenia typu WPWX-50, które są wysokosprawnymi wentylatorami promieniowymi, zabudowanymi na ramie wibroizolacyjnej. Wentylatory posadowiono na poziomie odzūżlania ciepłowni.

Ostatnim zmodernizowanym układem był układ odprowadzenia spalin z wentylatorem wywiewnym spalin i kominem.

Rolą instalacji usuwania spalin jest odprowadzenie produktów spalania (spalin) z kotła przy pomocy wentylatora wywiewnego, a następnie poprzez komin do atmosfery. Wentylator ma na celu wytworzenie odpowiedniego podciśnienia w przewodach spalin, które pozwoli na pokonanie oporów przepływu przez kocioł i przewody spalinowe.

Nowo wybudowany komin stanowi wolnostojącą, samonośną stalową konstrukcję. Dobrany został jako dwupowłokowy, w którym trzon nośny przenosi obciążenia stałe i zmienne na jego fundament, a funkcją przewodu spalinowego jest odprowadzenie produktów spalania do atmosfery.

Poniżej przedstawiono koszty poszczególnych etapów modernizacji kotła:

- budowa przyłącza gazowego i stacji redukcyjno-pomiarowej: 325 000,00 zł;
- przebudowa kotła: 3 745 000,00 zł;
- instalacja usuwania spalin: 390 000,00 zł;

- budowa komina stalowego: 521 000,00 zł;
- dostosowanie budynku ciepłowni, w tym aktywny system bezpieczeństwa instalacji gazowej: 1 096 000,00 zł.

Za całość inwestycji odpowiadała firma Eco Technologia Sp. z o.o. z Jędrzejowa, przy współpracy z firmami: Biuro Techniki Kociołowej Sp. z o.o. z Tarnowskich Górach, Hartmann Sp. z o.o. ze Świerklańca, SOFTECHNIK Sp. z o.o. sp. k. z Wrocławia.

Obecnie w kotłowni zainstalowane są 3 kotły wodne. Dwa kotły wodne opalane są miatem węgla kamiennego na ruszcie mechanicznym, a trzeci, będący przedmiotem niniejszego artykułu jest opalany gazem ziemnym. Podstawowym źródłem ciepła są kotły węglowe nr 5 i 6 a przy dalszym wzroście zapotrzebowania na cie-

pło, uruchamiany jest kocioł gazowy WR25-M/G nr 7.

## Charakterystyka pracy zmodernizowanego kotła

Niniejsze warunki przedstawiają charakterystykę pracy kotła przy różnych obciążeniach cieplnych. Charakterystykę tę określono drogą analityczną, dla gazu ziemnego wysokometanowego, symbol E, wg PN-C-04750 [4]. Skład gazu ziemnego przyjęto:  $CH_4 = 97\%$ ;  $C_2H_6 = 0.7\%$ ;  $CO_2 = 0,3\%$ ;  $N_2 = 1\%$  i  $O_2 = 1\%$ , gdzie zależność zużycia paliwa  $\beta$  [ $m_n^3/h$ ] od wydajności cieplnej  $\dot{Q}$  [ $MW_n$ ] wyznacza się na podstawie wzoru nr 1, przedstawionego poniżej:

$$\beta = \frac{\dot{Q}}{Q_w^r} [m_n^3/h] \quad (1)$$

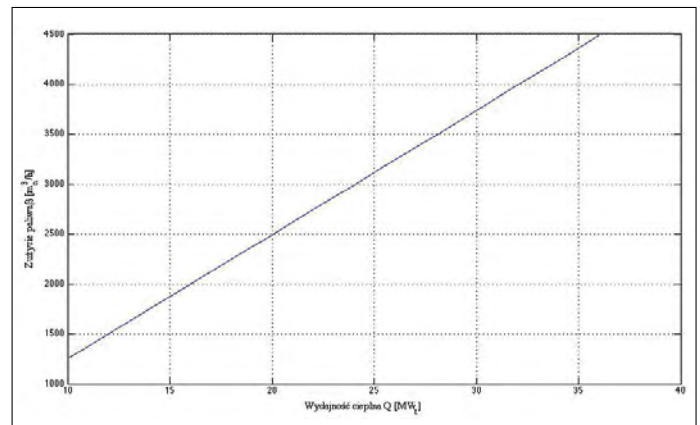
gdzie

$Q_w^r$  – wartość opałowa paliwa wyrażona jako:

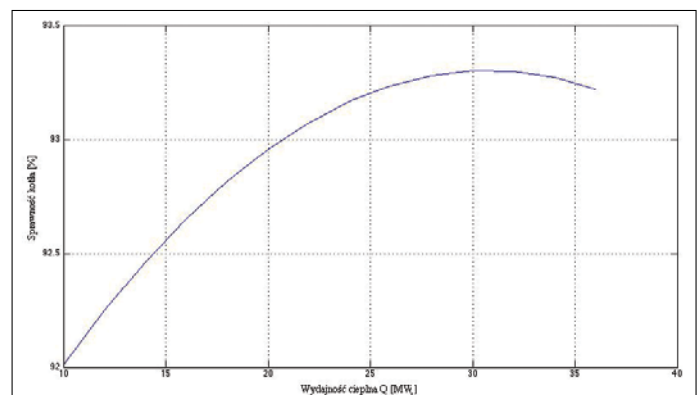
$$Q_w^r \approx Q_w(CH_4) \cdot \mu(CH_4) + Q_w(C_2H_6) \cdot \mu(C_2H_6) + Q_w(C_3H_8) \cdot \mu(C_3H_8) [MJ/m_n^3] \quad (2)$$

Gdzie:  $Q_w(CH_4) = 35,818 [MJ/m_n^3]$ ,  
 $Q_w(C_2H_6) = 63,748 [MJ/m_n^3]$ ,  
 $Q_w(C_3H_8) = 91,251 [MJ/m_n^3]$ ,  $\mu$  – udział objętościowy składnika gazu.

Rysunek 2  
Zużycie paliwa w funkcji wydajności cieplnej kotła  
Fig. 2 Fuel consumption as a function of boiler thermal load



Rysunek 3  
Uzyskana sprawność kotła w funkcji wydajności cieplnej  
Fig. 3 The obtained boiler efficiency as a function of thermal load



Wartość opałowa dostarczonego gazu do kotła  $Q_w^*$  wynosiła 35 [MJ/m<sup>3</sup>].

Na rys. 2 przedstawiono charakterystykę zależności zużycia paliwa w funkcji wydajności cieplnej zmodernizowanego kotła  $\beta = f(Q)$ .

Następnie wyznaczono funkcję sprawności dla wydajności cieplnej kotła  $\eta_k = f(Q)$ , używając do tego celu wzoru nr 3:

$$\eta_k = \left( \frac{\dot{Q}}{\dot{E}_{ch}} \right) \cdot 100\% \quad (3)$$

gdzie

$\dot{E}_{ch}$  – strumień energii chemicznej paliwa [5],

Na rys. 3 przedstawiono w formie graficznej uzyskaną funkcję  $\eta_k = f(Q)$ .

$\lambda$  – stosunek nadmiaru powietrza. Określa ile razy ilość powietrza dostarczana do kotła jest większa od minimalnej ilości potrzebnej do całkowitego spalania paliwa. Współczynnik ten można obliczyć na podstawie zależności nr 4.

$$\lambda = \frac{20,95 [\%]}{20,95 [\%] - O_2 [\%]} \quad (4)$$

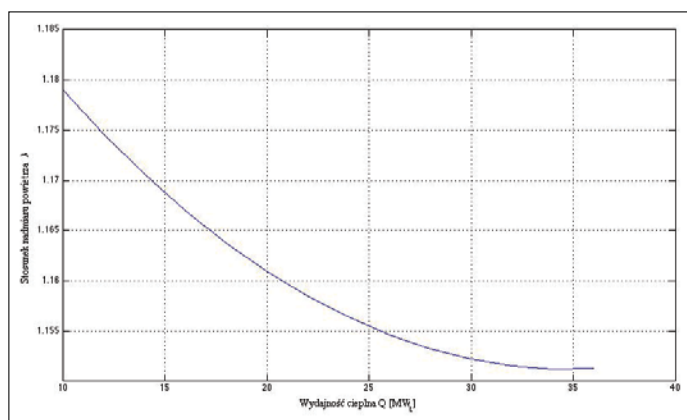
Stosunek nadmiaru powietrza do mocy kotła wyznaczono na podstawie pomiaru zawartości tlenu w komorze paleniskowej kotła. Pomiaru obu parametrów przedstawiono w tabeli 1.

**Tabela 1** Pomiary mocy oraz zawartości tlenu w komorze paleniskowej kotła  
*Tab. 1 Measurements of power and oxygen content in the furnace chamber of the boiler*

$\dot{Q}$ [MW]	10,000	12,000	14,000	16,000	...	30,000	32,000	34,000	36,000
O <sub>2</sub> [%]	1,1790	1,1746	1,1706	1,1670	...	1,1522	1,1515	1,1512	1,1512

Wykres funkcji  $\lambda = f(Q)$  przedstawiono na rys. 4.

Powyższe funkcje uzyskano na podstawie pomiarów wykonanych za pomocą telemetrycznego systemu informatycznego typu SCADA opisanego przez autora w [7].



**Rysunek 4** Stosunek nadmiaru powietrza w funkcji wydajności cieplnej  
*Fig. 4 The coefficient of excess air as a function of thermal load*

## Porównanie parametrów kotła przed i po modernizacji

Uzyskane ogólne i środowiskowe parametry zmodernizowanego kotła ze stanem sprzed modernizacji przedstawiono w tabeli 1. Pomiarów porównawczych dokonano w ciągu 5 dni przy temperaturze zewnętrznej wynoszącej – 2,5-4,0 [°C], dla różnych obciążeń sieci ciepłowniczej, gdzie dla kotła przed modernizacją wykorzystano historyczne pomiary. Zakres badań obejmował wykonanie prób spalania paliw (węgla i gazu) przy dwóch charakterystycznych wydajnościach kotłów: minimalnej i nominalnej. W czasie pomia-

o 6,93 [MW<sub>i</sub>] oraz minimalnej mocy o 2,5 [MW<sub>i</sub>]. Sprawność obliczeniowa przy wydajności nominalnej wzrosła o 7,00 [%]. Jeżeli chodzi o wielkość emisji zanieczyszczeń w spalinach za kotłem, to w czasie pomiarów stwierdzono zmniejszenie zawartości SO<sub>2</sub> o 57,07 [mg/m<sub>n</sub><sup>3</sup>] w stosunku do kotła węglowego. Natomiast zawartość tlenków azotu NO<sub>x</sub> w spalinach zmniejszyła się o 73,21 [mg/m<sub>n</sub><sup>3</sup>] w stosunku do spalin powstałych w kotle węglowym. Ilość CO w spalinach zmniejszono o 16,67 [mg/m<sub>n</sub><sup>3</sup>], a w ostatnim pomiarze zmierzono zawartość pyłu za kotłem, gdzie zanotowano średnie zmniejszenie tej wartości o 1,92 [mg/m<sub>n</sub><sup>3</sup>].

**Tabela 2** Porównanie parametrów kotła przed i po modernizacji  
*Tab. 2 Comparison of boiler parameters before and after modernization*

Parametr	Kocioł WR-25	Kocioł WR-25 M/G
Parametry ogólne		
Wydajność nominalna $\dot{Q}$ [MW <sub>i</sub> ]	29,07	36,00
Wydajność minimalna $\dot{Q}$ [MW <sub>i</sub> ]	7,50	10,00
Ciśnienie obliczeniowe P <sub>o</sub> [MPa]	2,40	2,40
Temperatura wody na wlocie do kotła T <sub>wz</sub> [°C]	70,00	70,00
Temperatura wody na wlocie z kotła T <sub>ww</sub> [°C]	150,00	150,00
Przepływ wody przez kocioł [Mg/h]	372,00	383,00
Sprawność obliczeniowa przy wydajności nominalnej $\eta_k$ [%]	≥ 85	≥ 2
Czas uzyskanie wydajności max [min]	360	30
Wielkości emisji zanieczyszczeń w spalinach za kotłem (przy zawartości w spalinach O <sub>2</sub> = 3,0 [%] w warunkach umownych)		
Zawartość SO <sub>2</sub> [mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup> ]	62,12	5,05
Zawartość NO <sub>x</sub> [mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup> ]	142,33	69,12
Zawartość CO [mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup> ]	17,17	0,55
Zawartość pyłu za kotłem [mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup> ]	2,95	1,03

Wyniki pomiarów zanieczyszczeń w spalinach dla kotła przed modernizacją i po modernizacji zależą od jakości węgla oraz gazu dostarczonych do komory paleniskowej kotła. Należy również nadmienić, że wybudowana jest instalacja odpylania spalin dla kotłów węglowych.

## Wnioski

Przeprowadzona konwersja kotła wodno-węglowego typu WR-25 na kocioł zasilany paliwem gazowym okazała się inwestycją udaną. Zmodernizowany kocioł ma stosunkowo płaską charakterystykę sprawności, a zastosowana instalacja palnikowa spełnia emisje zanieczyszczeń w spalinach poniżej wartości dopuszczalnych. Niekorzystny wpływ eksploatacji kotła na poszczególne jego zespoły, w określonym zakresie obciążeń cieplnych, został zredukowany do minimum.

W porównaniu do węgla kamiennego, spalanie gazu wymaga dostarczenia mniej tlenu ze względu na stosunkowo małą zawartość węgla i dużą zawartość wodoru. Spalanie gazu powoduje powstawanie

dużo mniejszej ilości zanieczyszczeń niż w przypadku węgla kamiennego. Jednak niedostarczenie odpowiedniej ilości powietrza może powodować powstawanie lotnych związków węglowodorów [8], które stanowią duże zagrożenie dla bezpieczeństwa kotła. Bardzo ważną zaletą spalania gazu ziemnego jest niska emisja gazów cieplarnianych, które uważa się za jedno z głównych źródeł globalnego ocieplenia [9][10].

Do zalet zmodernizowanego kotła należą bardzo prosty rozruch oraz jego obsługa (brak potrzeby nawęglania oraz odprowadzenia popiołów po procesie spalania). Niewątpliwą wadą jest koszt

gazu jako paliwa zasilającego tak duży obiekt grzewczy.

#### LITERATURA

- [1] Mazurkiewicz J., Pająk K. Gospodarka niskoemisyjna: uwarunkowania i wyzwania. Wydawnictwo Adam Marszałek. (2014)
- [2] K Cao, X Xu, Q Wu, Q Zhang. Optimal production and carbon emission reduction level under cap-and-trade and low carbon subsidy policies. *Journal of cleaner production*. Elsevier. (2017)
- [3] Matysko R. Modelowanie i sterowanie systemów cieplno-przepływowych. Warszawa. (2012)
- [4] Polski Komitet Normalizacyjny, – 47 Kotły grzewcze – Cz. 3: Kotły grzewcze na paliwa gazowe – Konstrukcje zespolone – Kocioł i palnik PN-EN 303-3. (2002)
- [5] Rusinowski H. Identyfikacja złożonych procesów cieplnych i energotechnologicznych. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. (2002)
- [6] Kai-Tai F., Runze L., Sudjianto A. Design and Modeling for omputer Experiments. Chapman and Hall/CRC. (2006)
- [7] Marciniak J. Zastosowanie telemetrycznego systemu sterowania procesem eksploatacji systemu ciepłowniczego. Instal 4 (2013)
- [8] Flanagan G. T. H. Marine Boilers. Elsevier (1990)
- [9] Kumar Rayaprolu. Boilers: A Practical Reference. CRC Press. (2012)
- [10] Kordylewski W. (red.), Niskoemisyjne techniki spalania w energetyce, Wrocław: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. (2000)