

WPLYW INNOWACYJNYCH TECHNIK WHR NA POPRAWĘ EFEKTYWNOŚCI ENERGETYCZNEJ PROCESÓW TECHNOLOGICZNYCH

Jacek TOMASIAK, Jerzy DUDA

Streszczenie: Entalpia procesowych gazów odlotowych jest najczęściej przyczyną niskiej sprawności procesów cieplnych. W artykule przedstawiono sposoby poprawy sprawności energetycznej wybranych, wysokotemperaturowych procesów cieplnych polegających głównie na skojarzeniu procesu technologicznego z układem WHR (Waste Heat Recovery). Nowe techniki WHR wytwarzania energii elektrycznej, oparte o cykl ORC lub Kaliny, stworzyły warunki do wykorzystania entalpii gazów odlotowych o niskiej temperaturze. Na przykładzie wybranych procesów cieplnych przedstawiono sposób zagospodarowania procesowej entalpii odpadowej.

Słowa kluczowe: przemysł mineralny, proces wypalania, kogeneracja, ORC.

1. Wprowadzenie

W strategii „Zrównoważona Europa dla lepszego świata”, określono zmiany klimatyczne jako ważną barierę na drodze zrównoważonego rozwoju. Zobowiązuje ona kraje UE do ograniczenia emisji z procesów spalania paliw oraz poszukiwania alternatywnych źródeł energii elektrycznej. Zarówno Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady Europy 2001/77/WE oraz Pakiet klimatyczno-energetyczny 3x20, który zakłada uzyskanie do roku 2020 ograniczenie o 20%: emisji gazów cieplarnianych (baza 1990) i zużycia energii oraz zwiększenie o 20% udziału energii ze źródeł odnawialnych (OZE), wymuszają zmianę podejścia do problemu energochłonności procesów technologicznych.

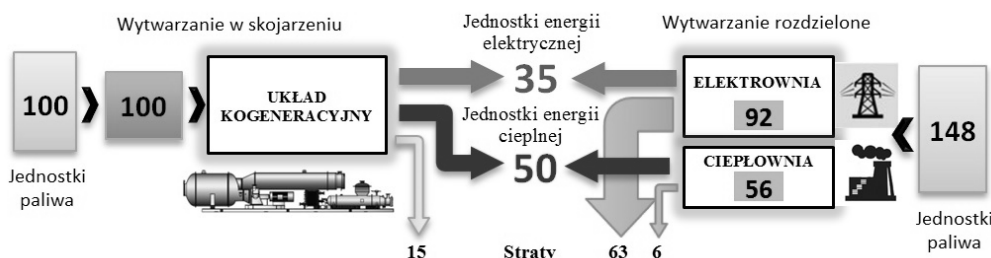
Do grupy przemysłów szczególnie energochłonnych i w związku z tym, uciążliwych dla środowiska, oprócz sektora energetycznego (elektrownie i ciepłownie), należy szeroko pojęty przemysł mineralny. W związku z tym, są to branże, w których problem zwiększenia efektywności energetycznej i szkodliwego oddziaływania na środowisko należą do priorytetowych działań.

Wzrost efektywności energetycznej procesu należy do najszybszych i opłacalnych sposobów ograniczenia:

- zużycia paliw nieodnawialnych,
- emisji szkodliwych dla środowiska gazów i pyłów,
- zwiększenia bezpieczeństwa energetycznego kraju.

Jednym z warunków intensyfikacji produkcji i zwiększenia efektywności energetycznej, zgodnie z ideą zrównoważonego rozwoju, jest wdrożenie „czystych”, bezodpadowych technologii oraz ograniczenie strat cieplnych i zużycia surowców i paliw nieodnawialnych kosztem wykorzystania OZE i odpadów przemysłowych [1,3]. W sektorze energetycznym działaniem takim jest wdrażanie technologii CHP (Combined Heat and Power), polegające na skojarzeniu (kogeneracji) procesu wytwarzania energii elektrycznej z wytwarzaniem

energii cieplnej. Na rys.1 przedstawiono wpływ kogeneracji na ograniczenie zużycia paliw.



Rys.1. Porównanie układu kogeneracyjnego z oddzielną produkcją tej samej ilości energii elektrycznej i cieplnej

Podobnie jak w energetyce, również w innych procesach produkcyjnych, zwłaszcza dotyczących wysokotemperaturowych procesów wypalania (przemysł mineralny), możliwe jest skojarzenie tych technologii z wytwarzaniem energii elektrycznej. Jest to jeden ze sposobów ograniczenia strat ciepłych i poprawy efektywności energetycznej procesu, który został uwzględniony w najnowszym BREF-ie 2013 (BAT Referenc Document)[2].

Nadbudowa procesu wypalania układem kogeneracyjnym WHR jest działaniem zgodnym z dyrektywami unijnymi i ustawami krajowymi (Dyrektywa 2004/8/WE –CHP i Ustawa z dnia 12.01.2007 (Dz.U. z 9.02.2007r. Nr 21;) które w rozwoju produkcji rozproszonej energii elektrycznej, zakładają uzyskanie wzrostu lokalnego bezpieczeństwa energetycznego z równoczesną redukcją emisji CO₂.

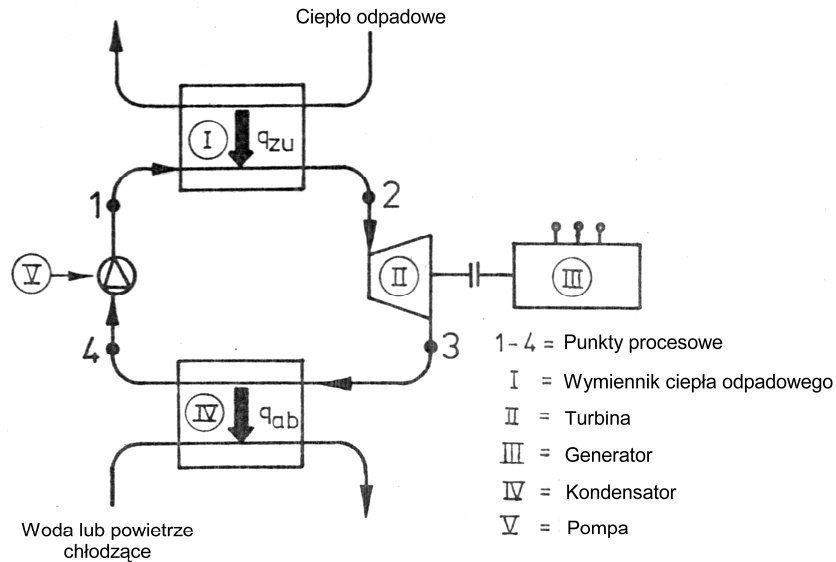
2. Technologie WHR

Nowoczesne instalacje wytwarzania energii elektrycznej tzw. WHR (Waste Heat Recovery), których działanie opiera się na wykorzystywaniu procesowej entalpii odpadowej, bazują na następujących technikach wytwarzania energii elektrycznej:

- klasycznego obiegu parowego C-R (Cykl Clausiusa – Rankine’a),
- organicznego cyklu Rankine’a (ORC),
- cyklu Kaliny.

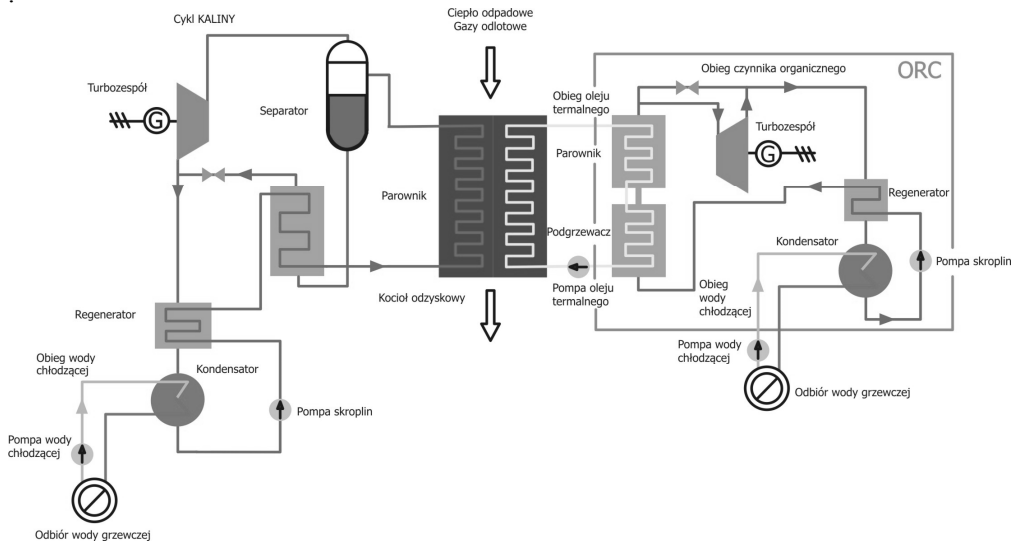
Pierwsze instalacje WHR oparte były na klasycznym obiegu Clausiusa –Rankine’a, Schemat sposobu produkcji energii elektrycznej z wykorzystaniem ciepła odpadowego za pomocą instalacji C-R przedstawiono na rys.2. Ze względu na czynnik roboczy w obiegu C-R - przegrzaną parę wodną – wymagana jest do jej wytworzenia wysoka (>700K) temperatura ciepła odpadowego. Wysoka temperatura ciepła odpadowego była główną poza wysokimi kosztami przyczyną braku większego zainteresowania tą techniką.

Jednym ze sposobów wykorzystania entalpii o niższej temperaturze jest zastąpienie czynnika roboczego – pary wodnej, inną cieczą, która charakteryzuje się niższą temperaturą wrzenia i niższą entalpią parowania [4].



Rys.2. Schemat obiegu Clausiusa – Rankine’a

Nowe, niskotemperaturowe techniki wytwarzania energii elektrycznej w oparciu o układy ORC lub obieg Kaliny, w których wodę zastąpiono cieczami organicznymi (np. izopentanem lub izobutanem) lub mieszaniną wody i amoniaku ($\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$ - obieg Kaliny), stworzyły warunki do wykorzystania procesowego niskotemperaturowego ciepła odpadowego. Na rys.3 przedstawiono instalację ORC i Kaliny, pracującą na wspólnym źródle- entalpii odpadowej.



Rys.3. Schemat obiegu ORC i Kaliny

Cykl ORC jest układem dwuobiegowym. Jeden obieg tworzy tzw. czynnik pośredni – grzewczy, np. termolej. Natomiast drugi, zasadniczy obieg, tworzy czynnik roboczy – płyn organiczny (np. izobutan lub izopentan). Układ dwuobiegowy stosuje się ze względu na bezpieczeństwo pracy instalacji ORC. Procesowe ciepło odpadowe – entalpia gazów odlotowych – podgrzewa w kotle odzyskowy czynnik pośredni termolej (olej silikonowy). Gorący termolej wykorzystany jest następnie w parowniku do wytworzenia pary z cieczy organicznej, która napędza turbinę sprzężoną z generatorem.

Podobnym rozwiązaniem do układu ORC, bazującym również na obiegu Rankine’a jest cykl Kaliny, który został wynaleziony w Rosji w 1967 przez Aleksandra Kalinę. Zasadnicza różnica cyklu Kaliny w stosunku do cyklu ORC polega na zmianie czynnika roboczego. W cyklu Kaliny w miejsce cieczy organicznej zastosowano mieszaninę dwuskładnikową (wody z amoniakiem) tzw. system binarny. Zazwyczaj udział ten wynosi 70% amoniaku i 30% wody. Mieszanina ($\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$) w stosunku do cieczy jednorodnej – wody, wrze w szerokim zakresie temperatur, dzięki czemu ilość energii odzyskanej ze strumienia ciepła odpadowego jest znacznie (o 15-25%) wyższa w porównaniu z wodą.

Jak wynika z przedstawionego na rys.3 porównania, są to układy bardzo podobne, wywodzące się z tego samego wzorca – obiegu C-R [4,5].

W wyniku dostarczenia ciepła (entalpii gazów odlotowych) do kotła odzyskowego następuje odparowanie czynnika roboczego – mieszaniny (wody i amoniaku). Następnie w separatorze z powstałej fazy parowej wydzielona zostaje para o dużej zawartości amoniaku, która napędza turbinę. Natomiast wodna faza z separatora przepływa przez wymiennik i następnie miesza się z rozprężoną w turbinie parą amoniaku. Powstała mieszanina pary i wody doprowadzona zostaje poprzez rekuperator do kondensatora. Powstały kondensat za pomocą pompy obiegowej przepompowany zostaje poprzez regeneratory i następnie wymiennik-podgrzewacz do parownika.

Cykl Kaliny, to coraz częściej stosowana technika wykorzystania procesowej entalpii odpadowej do produkcji energii elektrycznej. Stosowany jest podobnie jak cykl ORC do niskich i średnich temperatur ciepła odpadowego (400 – 700K).

Ważną zaletą obiegu ORC i Kaliny jest mniejsza wrażliwość na zmiany obciążenia niż w klasycznym obiegu C-R, który jest bardzo wrażliwy na te zmiany.

3. Modernizacja małych ciepłowni lokalnych

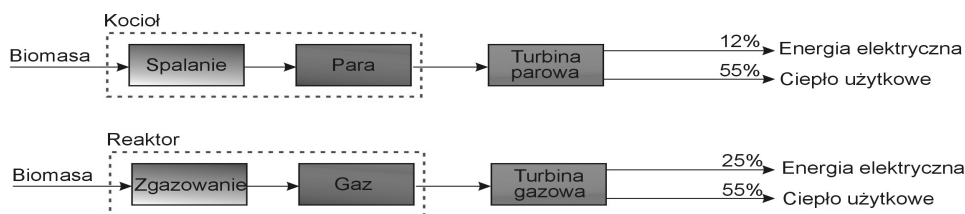
Strategia rozwoju źródeł energii, sformułowana w 1997 roku w Białej Księdze Komisji UE „Energia dla przyszłości - odnawialne źródła energii”, zakłada rozwój odnawialnych źródeł energii (OZE). Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady Europy 2001/77/WE wyznacza docelowy udział OZE na poziomie 22%. Polska, przystępując do Unii Europejskiej, zobowiązała się do systematycznego zwiększania, pozyskiwania i wykorzystania odnawialnych źródeł energii. Zgodnie z rządową „Strategią rozwoju energetyki odnawialnej” z roku 2001 oraz Pakietem Klimatycznym, udział OZE w krajowej produkcji energii elektrycznej w roku 2020 powinien wynosić 15%. Jak wynika z danych statystycznych GUS, podstawowym źródłem energii odnawialnej (ok. 60%) w Polsce, podobnie jak w większości krajów UE, jest biomasa. Według ekspertyzy EC BREC obecny potencjał techniczny biomasy w Polsce szacowany jest na ok. 800 PJ/rok. Jednak w stosunku do możliwości, zasoby biomasy są wykorzystywane tylko w 13%. Zrealizowane w ostatnim okresie technologie OZE charakteryzują się wysokimi jednostkowymi nakładami kapitałowymi zbliżonymi do wskaźników dla państw EU. Wynika to z wysokich kosztów zakupu często importowanych technologii, opłat licencyjnych i podatków. Duży

wpływ na wysokie koszty technologii OZE ma również brak doświadczeń w realizacji takich inwestycji oraz brak własnych rozwiązań.

Tradycyjnie biomasa (drzewo, słoma) spalana jest w małych paleniskach domowych lub ciepłowniach osiedlowych. W ostatnich latach obserwuje się wykorzystywanie biomasy jako paliwo dodatkowe w energetyce zawodowej. Najczęściej stosuje się współspalanie lub współzgazowanie. Ze względu na niskie koszty inwestycyjne i możliwość wykorzystania istniejących urządzeń w elektrowni, współspalanie biomasy, polegające na wspólnym przemiele z węglem kamiennym, jest często stosowaną metodą. Przy takim wykorzystaniu biomasy należy liczyć się ze spadkiem sprawności kotła pyłowego oraz z dużymi problemami eksploatacyjnymi. Stosowane w kraju metody wykorzystania biomasy w pyłowych kotłach energetycznych są rozwiązaniem kontrowersyjnym. Dotyczy to zarówno możliwości zabezpieczenia odpowiedniej ilości biomasy - problemy logistyczne (zabezpieczenie transportu i magazynowania) oraz problematycznych efektów energetycznych, wynikających ze sposobu wykorzystania biomasy[6].

W związku z tym, uzasadnionym wykorzystaniem biomasy wydają się być lokalne ciepłownie. Za takim rozwiązaniem przemawia zarówno łatwość zabezpieczenia w pobliżu ciepłowni odpowiedniej ilości biomasy oraz zalecany zgodnie z dyrektywą unijną, rozwój lokalnych, rozproszonych źródeł energii. Unia Europejska upatruje w rozwoju rozproszonej kogeneracji (Dyrektywa 2004/8/WE (CHP)) z wykorzystaniem lokalnych zasobów energii odnawialnej szansę na wzrost lokalnego bezpieczeństwa energetycznego i redukcję emisji CO₂. Zgodnie z tą dyrektywą wymagana będzie zmiana sposobu wykorzystania biomasy z prostego spalania, na zgazowanie.

Podobnie jak w przypadku nieodnawialnych paliw stałych-węgla, biomasa może podlegać konwersji do bardziej szlachetnych nośników energii. Jedną z takich technologii jest zgazowanie. Na rys.4 przedstawiono typowe sposoby wykorzystania biomasy oraz wielkości możliwej do uzyskania energii.

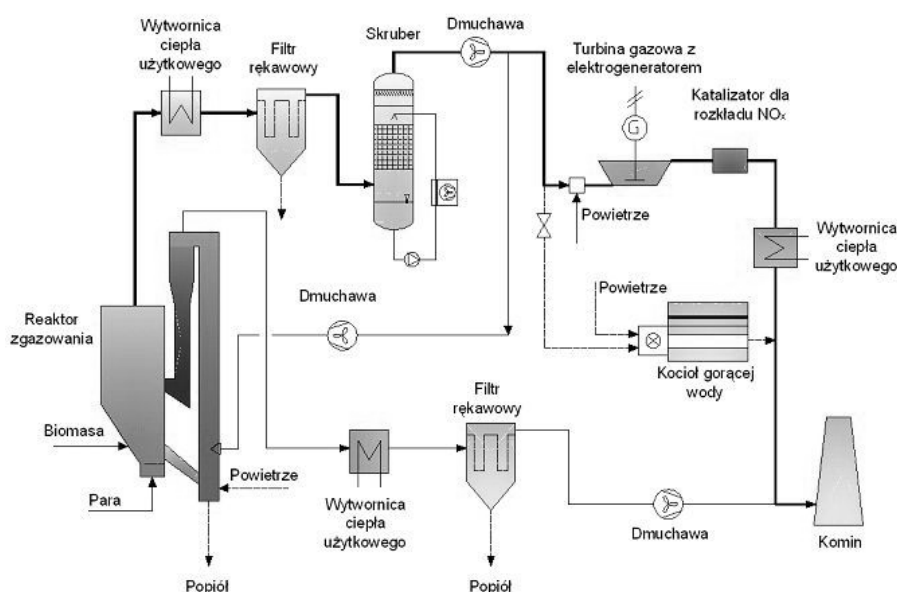


Rys.4. Wpływ sposobu wykorzystania biomasy na sprawność

Sprawność energetyczna wykorzystania biomasy w technologii zgazowania jest znacznie wyższa od sprawności technologii stosującej spalanie biomasy. Zgazowanie biomasy (produkcja gazu syntezowego) jest postrzegane jako źródło energii alternatywnej dla paliw kopalnych. Skład gazu syntezowego zależy od rodzaju biomasy, temperatury, ciśnienia i czynnika zgazowującego. Dzięki nowoczesnym technologiom można coraz efektywniej wykorzystywać naturalny potencjał energetyczny biomasy.

Przykładem takiego innowacyjnego wykorzystania biomasy, jest technologia zastosowana przez firmę REPOTEC w Güssing – Austria [8]. Elektrociepłownia BIOMASSE KRAFTWERK GÜSSING w Güssing w południowo-wschodniej części Austrii, zastosowała technologię zgazowania biomasy (zrębki drewna) parą wodną w temperaturze 1000 K.. Wytworzony gaz ,po schłodzeniu, jest następnie oczyszczony z pyłu w filtrze tkaninowym. Natomiast zanieczyszczenia kwaśne i zasadowe są wymywane z

gazu w skruberze z obiegiem wodnym. Oczyszczony gaz wodorowy, o wartości opałowej ok. 12750 kJ/Nm³, jest następnie spalany w silniku gazowym, który napędza agregat prądowłórczy. Do produkcji ciepła (cieplej wody) na cele ogrzewania budynków w mieście Güssing, wykorzystuje się kocioł wodny opalany wytworzonym gazem oraz ciepło odpadowe z procesu technologicznego zgazowania. Na wytworzenie energii elektrycznej o mocy 2 MW_e i ciepła użytkowego o mocy 4,5 MW_{th} zużywa się około 1,76 Mg/h zużytego drewna. Schemat technologiczny tej instalacji przedstawiono na rys.5.



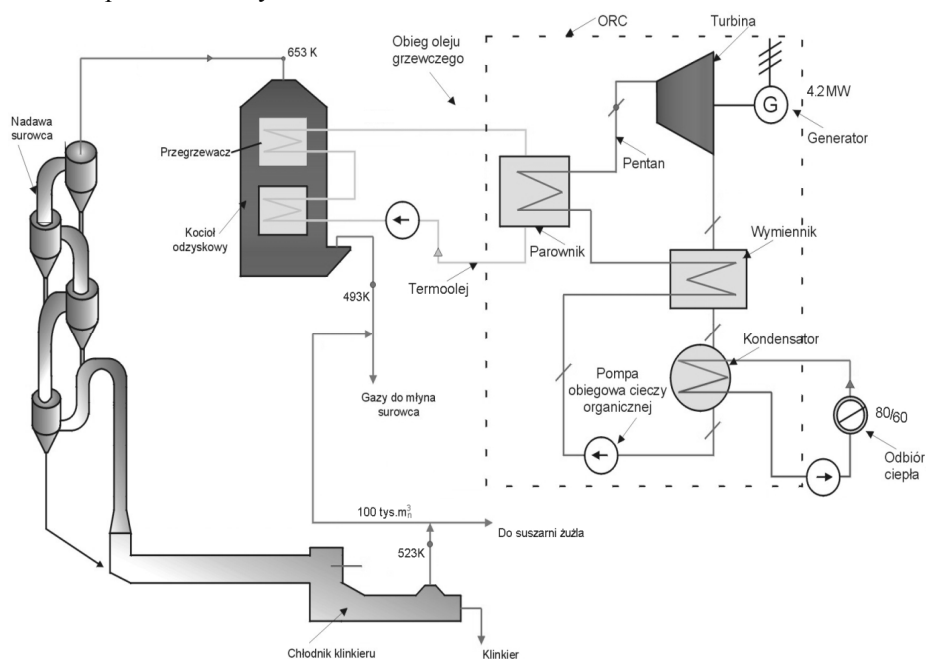
Rys.5. Schemat technologiczny układu kogeneracji w Güssing [8]

Rozwój technologiczny energetyki rozproszonej a zwłaszcza wykorzystanie biomasy - jako biopaliwa w układach kogeneracyjnych, należy do przyjaznych dla środowiska działań, które oprócz ograniczenia zużycia paliw nieodnawialnych i emisji szkodliwych gazów, pozwalają wygenerować znaczne efekty ekonomiczne. W krajach byłej 15UE pracuje wiele podobnych instalacji, różnią się tylko sposobem wytwarzania energii elektrycznej. Takie metody wykorzystania biomasy powinny być również szeroko rozpowszechniane i stosowane w Polsce, w małych, lokalnych ciepłowniach. W kraju zastosowano już podobne rozwiązania kogeneracyjne w lokalnych ciepłowniach. Przykładem takim może być np. ciepłownia w Ostrowie Wielkopolskim.

4. Wykorzystanie instalacji WHR w przemyśle mineralnym

Przemysł mineralny, a zwłaszcza produkcja cementu, wapna, ceramiki budowlanej i materiałów ogniotrwałych, należy do przemysłów szczególnie uciążliwych dla środowiska naturalnego. W ostatnich latach obserwuje się w kraju duże zaangażowanie przemysłu mineralnego w realizację zobowiązań wynikających z pakietu klimatyczno-energetycznego. Wdrożone w ostatnim okresie nowe, energooszczędne techniki przemiału i wypalania spowodowały, że wskaźniki dotyczące zużycia paliw i energii oraz emisji szkodliwych gazów i pyłów w tych przemysłach odpowiadają już najnowszym technologiom i wskaźnikom emisyjnym,

zdefiniowanym w BREF 2013 (BAT Referenc Dokument) [1]. Specyficznym problemem tej branży, mimo wdrożenia szeregu wysokosprawnych rozwiązań, jest niska sprawność energetyczna, wysokotemperaturowych procesów wypalania, wynikająca głównie z wysokiej entalpii procesowych gazów odlotowych. Ograniczenie zużycia i strat różnej postaci energii jest jednym z ważniejszych celów strategicznych UE. W związku z tym, aktualny jest w tym przemyśle problem zagospodarowania entalpii gazów odlotowych i zwiększenia efektywności energetycznej tych technologii. Jedną z efektywnych metod zagospodarowania entalpii gazów odlotowych, dotychczas powszechnie stosowaną, jest wykorzystanie jej do suszenia surowców i paliwa oraz do produkcji ciepłej wody lub pary wodnej na cele grzewcze i socjalne. W ostatnich latach obserwuje się na świecie inne podejście do wykorzystania procesowego ciepła odpadowego, polegające na wykorzystaniu tej entalpii do produkcji tzw. „czystej” energii elektrycznej, nie obciążającej środowiska naturalnego emisjami gazowymi i pyłowymi. Możliwości takie zostały stworzone dzięki nowym innowacyjnym niskotemperaturowym technikom wytwarzania energii. Na rys.5. przedstawiono jeden ze sposobów wykorzystania strat entalpii z procesu wypalania klinkieru w piecu obrotowym.



Rys.5. Sposób wykorzystania entalpii odpadowej z procesu wypalania klinkieru

Technologie WHR są coraz powszechniej stosowane w przemyśle cementowym na świecie, W Polsce, mimo szeregu opracowań, nie udało się jeszcze dotychczas wdrożyć tej technologii. Jedną z głównych przyczyn takiego stanu jest ograniczona wielkość możliwej do uzyskania mocy wytwarzanej energii elektrycznej. Wynika to z wysokiej wilgotności złożowej surowców i konieczności wykorzystania znacznej części tej entalpii do suszenia. Jak wynika z doświadczeń światowych, wymagana moc wytwarzanej energii, która zapewnia opłacalność takiej inwestycji, powinna zabezpieczać co najmniej 20% mocy zainstalowanej w cementowni. W warunkach krajowych, przy uwzględnieniu wykorzystania entalpii odpadowej w procesach suszenia, jest to moc odpowiadająca

ok.10% mocy zainstalowanej. W związku z tym, poszukuje się innych technik , które pozwolą wykorzystać pozostałą stratę w instalacji WHR.

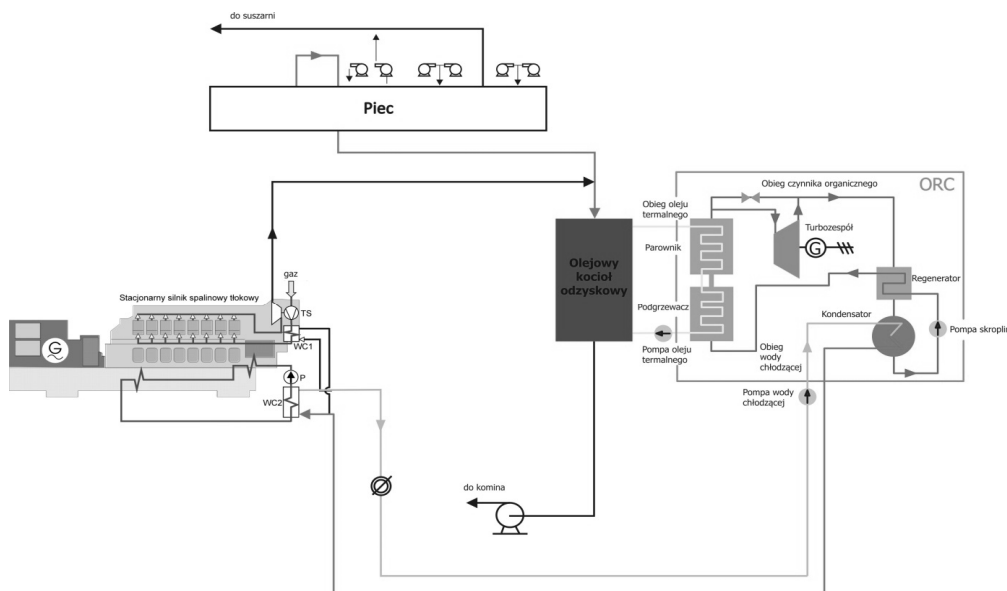
Podobnie jak w przemyśle cementowym również w pozostałych branżach przemysłu mineralnego, w których podstawowym procesem technologicznym jest wypalanie w piecach tunelowych, poszukuje się metod ograniczenia strat cieplnych z gazami odlotowymi. Z uwagi jednak na znacznie niższą wydajność pieców tunelowych i wynikające z tego niższe zużycie paliw, możliwa do wykorzystania w układach WHR entalpia gazów odlotowych jest znacznie niższa (niższa temperatura i ilość gazów odlotowych) . W wyniku tego możliwa do uzyskania moc elektryczna np. w instalacji ORC nie będzie zachęcała do inwestowania w takie rozwiązanie. Jednym z istotnych czynników oprócz nakładów inwestycyjnych, który decyduje o opłacalności - efektywności takiego rozwiązania, są koszty eksploatacyjne związane z obsługą i konserwacją układu WHR. Praktycznie koszty te są stałe, niezależnie od wytwarzanej mocy. W instalacjach o małej mocy koszty stałe stanowią znaczny udział po stronie wydatków, co w porównaniu z uzyskiwanymi efektami powoduje, że ekonomiczne wskaźniki dynamiczne, charakteryzujące opłacalność takiej inwestycji jak: NPV, IRR i czas zwrotu nakładów (>10lat), nie zachęcają do realizacji takiego rozwiązania. Warunkiem uzyskania korzystniejszego NPV i IRR, celowe jest zwiększeniu mocy wytwarzanej energii elektrycznej. W stosunku do wyżej przedstawionych problemów w przemyśle cementowym, znacznie łatwiej można ten problem rozwiązać w branżach wykorzystujących piece tunelowe [7].

Wspólną dla zakładów ceramicznych cechą jest opalenie pieców tunelowych gazem ziemnym. Istniejąca w tych zakładach infrastruktura gazowa sprzyja wykorzystaniu gazu do zwiększenia ilości wyprodukowanej energii elektrycznej.

W ostatnich latach obserwuje się intensywny rozwój energetyki gazowej. Wynika to m.in. z rozwoju nowych, wysokosprawnych silników i turbin gazowych. W krajach byłej 15 UE udział energetyki gazowej w wytwarzaniu energii elektrycznej jest bardzo wysoki i wynosi około 50%. Polska należy do państw unii, które w małym stopniu (ok.4%) wytwarzają energię w oparciu o gaz. Wynika to głównie z braku własnego gazu i jednocześnie ze znacznych zasobów węgla. Zalety energetyki gazowej: niska emisja gazów cieplarnianych , wysoka elastyczność i możliwość dopasowania mocy do wymagań odbiorcy powodują, że gazowe układy kogeneracyjne wykorzystywane są coraz częściej w małych źródłach energii: w ciepłowniach lokalnych, szpitalach czy w małych zakładach produkcyjnych. Przykładem nowego wykorzystania energetyki gazowej mogą być zakłady, które ze względów technologicznych stosują gaz ziemny lub inny np. wysypiskowy czy biogaz w procesie produkcyjnym. Do grupy takich zakładów należą między innymi zakłady ceramiki zarówno budowlanej jak i szlachetnej-użytkowej, w których w procesach wypalania stosuje się gaz ziemny. Dzięki posiadanej już w tych zakładach infrastruktury gazowej, koszty wdrożenia gazowego układu kogeneracyjnego będą znacznie niższe.

Wykorzystując istniejącą infrastrukturę gazową w zakładach ceramicznych, można zastosować różne warianty zwiększające efektywność zagospodarowania entalpii odpadowej z pieca tunelowego. Od najprostszych, polegających na zwiększeniu entalpii gazów odlotowych za pomocą dodatkowego palnika gazowego w kotle odzyskowym do bardziej wyszukanych, polegających na skojarzeniu instalacji WHR z instalacją kogeneracji gazowej. Podobnie jak w energetyce zawodowej, gdzie coraz większą popularność zyskały układy gazowo-parowe, można również tutaj zastosować układ gazowy sprzężony z instalacją WHR. Jako układ gazowy można zastosować silnik gazowy lub dla wymaganych większych mocy - turbinę gazową. Ciepło odpadowe z instalacji gazowej, wspólnie z

gazami odlotowymi z pieca tunelowego, doprowadzone zostaną do olejowego kotła odzyskowego, współpracującego z instalacją ORC. Układ taki pozwoli na dopasowanie mocy współpracującego zespołu kogeneracyjnego do zapotrzebowania w energię elektryczną przez zakład. Przykład takiego rozwiązania przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6. Schemat technologiczny nadbudowy pieca tunelowego układem kogeneracyjnym WHR-ORC + silnik gazowy

Podstawowym układem nadbudowy jest wysokosprawna kogeneracja gazowa z silnikiem tłokowym. Urządzeniem wtórnym jest układ ORC, który będzie pracował wykorzystując odpadową entalpię procesową z pieca tunelowego i entalpię gazów odlotowych z silnika gazowego w kotle olejowym. Ciepło odpadowe z instalacji chłodzenia silnika gazowego i ze skraplacza układu ORC, będzie wykorzystane do produkcji CPU + CO. Celowe jest również rozbudowanie takiego układu o tzw. polikogenerację, która w okresie letnim pozwoli wykorzystać ciepło z kondensatora do produkcji wody lodowej na cele klimatyzacyjne. Pozwoli to na klimatyzację pomieszczeń narażonych na wysokie temperatury, co w przemyśle ceramicznym jest szczególnie uciążliwe [7].

Argumentem przemawiającym za takim rozwiązaniem jest fakt, że zakłady ceramiczne ulokowane są zazwyczaj w małych miejscowościach i praktycznie jest to jedyny większy zakład w okolicy. W związku z tym, nadmiar mocy elektrycznej i ciepłej można będzie bez problemu sprzedać w danej gminie po cenach konkurencyjnych. Efekt ekonomiczny i ekologiczny takiego rozwiązania jest wówczas zapewniony. Jest to rozwiązanie zgodne z dyrektywami UE dotyczącymi rozwoju energetyki rozproszonej i układów kogeneracyjnych i w związku z tym, istnieje duża szansa na dofinansowanie projektu z funduszy unijnych, co znacznie poprawi efektywność takiej realizacji.

4. Podsumowanie

Podstawową tezę zrównoważonego rozwoju jest efektywne użytkowanie i oszczędzanie energii oraz wykorzystanie alternatywnych paliw i źródeł energii. Rozwój nowych

niskotemperaturowych technik wytwarzania energii elektrycznej w układach ORC, stworzyło nowe możliwości nadbudowy urządzeń produkcyjnych układami kogeneracyjnymi. Zastosowanie nowoczesnych instalacji kogeneracyjnych, wykorzystanie entalpii procesowych gazów odlotowych oraz modernizacja instalacji przemysłowych może w znacznym stopniu przyczynić się do zmniejszenia zużycia paliw kopalnych, podniesienia efektywności systemów energetycznych oraz poprawy warunków środowiska naturalnego.

Skojarzenie wysokotemperaturowych procesów wypalania w przemyśle mineralnym procesem wytwarzania energii elektrycznej, oprócz poprawy sprawności energetycznej tych procesów ma również korzystny wpływ na środowisko. Produktem wykorzystania procesowego ciepła odpadowego w układzie WHR jest czysta energia elektryczna (Clean Energy), wyprodukowanie której nie ma wpływu na szkodliwe oddziaływania na środowisko. Znaczącym efektem nadbudowy procesów wypalania układami kogeneracyjnymi jest redukcja emisji CO₂. Każda wyprodukowana 1 kWh energii w instalacji WHR pośrednio powoduje redukcję emisji o ok.0,8 kg CO₂. Jest to wielkość, z jaką związana jest produkcja 1kWh w elektrowni węglowej.

Literatura

1. Duda J.: Ciepło odpadowe z procesu wypalania klinkieru cementowego źródłem niekonwencjonalnej energii elektrycznej, III Międzynarodowa Konferencja- Energia i środowisko w technologiach materiałów budowlanych, Szczyrk-Opole, 2004, s.13-25.
2. BREF 2013 „Cement, Lime and Magnesium Oxide Manufacturing Industries, European Commission, www.cembureau.be.
3. Duda Jerzy, Tomasiak Jacek.: „Redukcja emisji CO₂ w procesie produkcji cementu”, pod redakcją R. Knosali, Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, (w druku)
4. Duda J.: Dlaczego ORC jest najlepszym rozwiązaniem do wykorzystania energii odpadowej w cementowni, Prace Instytutu Ceramiki I Materiałów Budowlanych nr 9, Warszawa-Opole 2012, s.32-43.
5. Harder J.: Latest Waste Heat Utilisation Trends in Cement Plants. Global CemPower, Waste Heat Recovery Conference & Exhibition, June 2013, London, UK.
6. Duda J.: Współspalanie biomasy w kotle energetycznym, National Consumption Scientific Workshop, 2007, s. 45-50.
7. Duda J., Nowe wyzwanie wynikające z pakietu klimatyczno-energetycznego dla przemysłu materiałów budowlanych i ceramicznych, Prace ICiMB nr 13/2014.
8. Rauch R., Hofbauer H.: Dezentrale Strom Und Warmeerzeugung auf Basis Biomasse-Vergasung. In: Tagungsband zum 14.DVV Kolloquium 18-20.11. 2004, Wien.

Mgr inż. Jacek TOMASIAK
Dr hab. inż. Jerzy DUDA, prof. PWSZ
Instytut Zarządzania
Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Nysie
48-300 Nysa, ul. Armii Krajowej 7
e-mail: jacek.tomasiak@pwsz.nysa.pl
jerzy.duda@pwsz.nysa.pl