

Skojarzone wytwarzanie energii elektrycznej i ciepła w systemie kogeneracji

R. Dańko*, K. Szymała**, M. Holtzer*, G. Holtzer*

*AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Odlewnictwa, 30-059 Kraków, ul. Reymonta 23

**Inproel-3 sp. z o.o. 61-626 Poznań; ul. Szelałowska 14

Kontakt korespondencyjny: e-mail rd@agh.edu.pl

Otrzymano 16.04.2012; zaakceptowano do druku 02.07.2012

Streszczenie

W artykule przedstawiono podstawowe informacje dotyczące skojarzonego wytwarzania energii elektrycznej oraz ciepła w systemie CHP (Combined Heat and Power - CHP). Publikacja jest związana z realizacją przez przedsiębiorstwo Inproel-3 sp z o.o., przy udziale Wydziału Odlewnictwa AGH projektu celowego NOT pt. „Opracowanie i wdrożenie do produkcji innowacyjnego, wysokosprawnego urządzenia kogeneracyjnego zasilanego mieszankami zawierającymi poprodukcyjne tłuszcze stałe”. Kogeneracja jest uznawaną na całym świecie, sprawdzoną technologią, wytwarzania energii, która jest uważana za czystsza od tradycyjnych technologii wytwarzania oddzielnie ciepła i energii elektrycznej. Przyszłość kogeneracji na światowych rynkach energii leży w korzyściach eksploatacyjnych, finansowych, środowiskowych i prawnych, jakie przynosi w przeliczeniu na jednostkę paliwa.

Słowa kluczowe: kogeneracja, skojarzone wytwarzania ciepła i energii

1. Wprowadzenie

Skojarzone wytwarzanie energii elektrycznej i ciepła zwane kogeneracją to proces, w którym energia pierwotna zawarta w paliwie jest jednocześnie w jednym procesie technologicznym w tym samym urządzeniu wytwórczym zamieniana na dwa produkty: energię elektryczną i ciepło. Do produkcji tych samych ilości prądu i ciepła zużywa się mniej paliwa niż w przypadku produkcji rozdzielonej. Skojarzone wytwarzanie energii pozwala na bardziej efektywne wykorzystanie paliw i zmniejszenie globalnej emisji CO₂ do atmosfery.

Kogeneracja jest procesem przebiegającym z wysoką sprawnością (rys. 1) przez co zapewniającym liczne korzyści finansowe i środowiskowe, a także jest pewnym i sprawdzonym źródłem energii elektrycznej i ciepłej do wykorzystania przez użytkowników indywidualnych i działających w sektorach publicznych oraz komercyjnych [1].

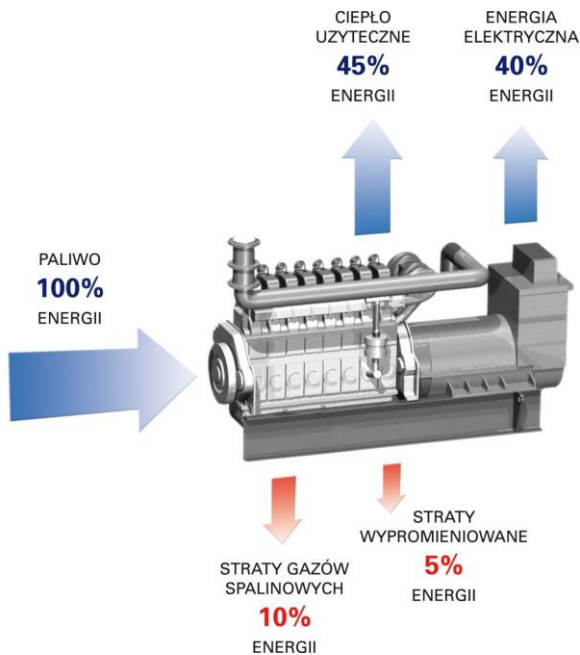
Energia wyprodukowana w jednostkach mikro- i małej energetyki rozproszonej trafia w pierwszej kolejności do lokalnego odbiorcy. Rozróżnia się generację na użytek własny gospodarstw, budynków, przedsiębiorstw, obiektów administracji i użyteczno-

ści publicznej. Nadwyżki energii elektrycznej przekazywane są do rozdzielczych sieci elektroenergetycznych. Nadwyżki ciepła trafiają do lokalnych sieci ciepłowniczych.

Podstawowymi zaletami elektrowni opartych na silnikach tłokowych są [1,2]:

- wysoka sprawność produkcji energii elektrycznej w szerokim zakresie mocy, w tym także podczas pracy w obszarze obciążeń częściowych,
- możliwość szybkiego uruchomienia i uzyskania obciążenia nominalnego,
- możliwość pracy w miejscach oddalonych od linii przesyłowych i w charakterze zasilania awaryjnego,
- duża różnorodność stosowanych paliw,
- stosunkowo niskie nakłady inwestycyjne.

Do niedawna podstawowymi układami skojarzonymi były elektrociepłownie parowe średniej i dużej mocy [1-3]. Ze względu na dużą złożoność układu elektrociepłownie są opłacalne dla stosunkowo dużych mocy. Jednakże od pewnego czasu na świecie pojawiły się małe układy kogeneracyjne (tzw. agregaty kogeneracyjne, układy CHP), które stają się coraz bardziej popularne.



Rys. 1. Charakterystyka ogólna sprawności kogeneratora zasilanego paliwem ciekłym [2]

Są to układy oparte o silniki spalinowe bądź turbiny gazowe o mocach od kilkudziesięciu kilowatów do kilku megawatów. Mogą one pracować bezpośrednio na potrzeby obiektu, w którym zostały zainstalowane, bądź jako elektrociepłownie zawodowe. W przypadku silników spalinowych energia elektryczna wytwarzana jest w prądnicie synchronicznej bądź asynchronicznej (przekazanie energii mechanicznej z silnika następuje za pomocą wspólnego wału), natomiast wytwarzana przez jednostkę energia cieplna pochodzi z chłodzenia silnika oraz spalin (osobne obiegi oraz wymienniki). W innych typach jednostek procesy wytwarzania różnią się od zaprezentowanego schematu. Cechami, którymi odznaczają się agregaty kogeneracyjne, są:

- wysoka sprawność całkowita, która mieści się najczęściej w przedziale 85 - 90 %; osiągnięta chwilowa moc cieplna jest większa od mocy elektrycznej, lecz dla coraz większych jednostek moce te ulegają wyrównaniu,
- kompaktowa budowa, pozwala na skrócenie czasu budowy kompletnej instalacji i zmniejszenie jej kosztu, wpływa także na zmniejszenie ilości miejsca wymaganego do zabudowy agregatu,
- paliwo ciekłe (olej opałowy, olej napędowy) bądź gazowe (gaz ziemny, biogaz, gaz pochodzący z odmetanowania kopalń, gazy wysypiskowe, inne gazy niskokaloryczne), są to więc paliwa znacznie mniej zanieczyszczające środowisko, niż węgiel kamienny; ponadto w przypadku niektórych gazów, wykorzystując je do celów energetycznych unikamy zanieczyszczenia atmosfery metanem, który posiada 21-krotnie większy potencjał cieplarniany od dwutlenku węgla,
- korzystne wskaźniki ekonomiczne realizacji inwestycji, obecnie średni okres zwrotu nakładów wynosi kilka lat.

Korzystne wskaźniki efektywności energetycznej nie mogą wyłącznie przesądzać w podejmowaniu decyzji o budowie układu kogeneracyjnego w konkretnej sytuacji. Przesłanką dla takiej decyzji może być jedynie pozytywny efekt ekonomiczny wynikający z przeprowadzonej analizy opłacalności. Możliwy do uzyskania zysk zależy jednak od wielu czynników, wśród których znajdują się: przebieg zmienności zapotrzebowania na energię elektryczną i ciepło, ceny nośników energii, charakterystyka techniczna instalowanych urządzeń (moc, sprawność, wskaźnik skojarzenia), tryb pracy systemu, możliwość współpracy z siecią energetyczną. Najkorzystniejsze efekty uzyskiwane są, gdy układ skonfigurowany jest optymalnie dla danych warunków ekonomiczno-technicznych. W przypadku układów kogeneracyjnych do podstawowych czynników mających wpływ na opłacalność inwestycji zaliczyć można [2]:

Wielkość nakładów inwestycyjnych

Nakłady inwestycyjne w pierwszym rzędzie zależą od rodzaju układu kogeneracyjnego (np. elektrociepłownia parowa, gazowa z silnikiem spalinowym lub turbiną gazową itp.) i jego mocy. Układy o mniejszych mocach charakteryzują się większymi kosztami jednostkowymi. Duży udział w kosztach inwestycyjnych mają koszty zakupu terenu i wzniesienia budynku, są one jednakże zdecydowanie mniejsze, aniżeli w przypadku tradycyjnych układów węglowych.

Koszty paliwa

Koszty paliwa zależą od rodzaju paliwa i jego kosztu jednostkowego oraz od całkowitego zużycia paliwa, na które z kolei wpływa całkowita sprawność układu. Należy zauważyć, że w Polsce występuje niekorzystna struktura cen systemowego gazu ziemnego. Ceny gazu dla dużych odbiorców przemysłowych są wyższe aniżeli w krajach Unii Europejskiej w przeciwieństwie do małych odbiorców komunalnych, co bardzo niekorzystnie wpływa na opłacalność układów gazowych.

Koszty eksploatacyjne

W zakresie kosztów eksploatacyjnych, czyli bieżących kosztów przeglądów oraz planowych remontów, występuje znaczne zróżnicowanie w zależności od zastosowanego układu technologicznego. W przypadku jednostek mniejszych, skonstruowanych w oparciu o silniki spalinowe, występuje znaczący koszt eksploatacyjny, który musi zostać uwzględniony w całkowitym rachunku ekonomicznym. Koszt ten jest wprost proporcjonalny do czasu pracy agregatu, należy więc dążyć do tego, by jednostka pracowała z mocą nominalną przez krótsze okresy czasu zamiast pracy ciągłej z mocą obniżoną, jednakże często jest to utrudnione przez charakter odbioru produkowanej energii.

Ceny sprzedaży energii elektrycznej i ciepła

Ceny sprzedaży energii, obok ceny zakupu paliwa, decydują w stopniu podstawowym o opłacalności kogeneracji. Dotyczy to zwłaszcza energii elektrycznej. Najkorzystniejsza sytuacja występuje w przypadku układów kogeneracyjnych pracujących "na własne potrzeby", zastępując tym samym energię kupowaną z sieci. Koszt zakupu (koszt uniknięty) jest bowiem dużo wyższy aniżeli ceny sprzedaży tej energii do sieci.

Koszty środowiskowe (koszty emisji, wody, składowania odpadów, odprowadzania ścieków itp.)

W Polsce koszty gospodarczego korzystania ze środowiska są nadal niewielkie. Sprawia to, że wysokosprawne układy energetyczne korzystające ze stosunkowo czystych paliw, ponoszą koszty emisji tylko nieznacznie mniejsze, niż przestarzałe układy węglowe.

Koszty płac

Ten istotny składnik kosztów stałych bardzo korzystnie sytuuje nowoczesne układy kogeneracyjne, które charakteryzują się niskim stopniem nasycenia obsługą. Przy wyposażeniu układu kogeneracyjnego w wysokiej klasy sprzęt AKPiA i nadzoru energetycznego, można go praktycznie potraktować jako układ bezobsługowy, zapewniając jedynie możliwość wizyt serwisu w sytuacjach awaryjnych, po powiadomieniu np. przez Internet bądź SMS.

Liczba godzin pracy układu w ciągu roku

Jak w przypadku każdego układu energetycznego wskaźniki opłacalności są tym lepsze, im większa jest liczba godzin pracy układu w ciągu roku. Przy krótszym rocznym okresie pracy należy dążyć do maksymalizacji wykorzystania urządzeń w godzinach szczytów energetycznych w celu uzyskania najkorzystniejszych cen sprzedaży energii elektrycznej.

Optymalny dobór wielkości układu kogeneracyjnego

Wielkość układu (moc cieplna i elektryczna) powinna być dobrana optymalnie, biorąc pod uwagę wielkość i strukturę zapotrzebowania na ciepło i prąd, uwarunkowania cenowe, tryb pracy układu oraz wszystkie składniki nakładów inwestycyjnych i kosztów. Podstawowym kryterium procedury optymalizacyjnej musi być uzyskanie maksymalnej wartości wskaźnika NPV (wartość bieżąca netto po zakończeniu eksploatacji inwestycji). Dotyczy to zarówno nowej inwestycji, jak również modernizacji istniejącego układu. Punktem wyjścia jest dokładna analiza zapotrzebowania na energię cieplną i elektryczną. Dobór mocy elektrycznej i cieplnej oraz określenie konfiguracji systemu powinny zostać poprzedzone opracowaniem krzywych zmienności obciążenia elektrycznego i cieplnego obiektu. Z punktu widzenia procesu optymalizacji najkorzystniej jest, gdy wyznaczone zostaną krzywe zmienności obciążenia w ujęciu godzinowym dla możliwie dużej liczby dni w roku. W przypadku gdy przebiegi te nie są znane, muszą one zostać oszacowane na podstawie dostępnych informacji dotyczących charakterystyki energetycznej odbiorców. Podstawowym parametrem, który określa celowość stosowania gospodarki skojarzonej, jest zapotrzebowanie ciepła. Ilość odbieranego ciepła, jak również parametry nośnika ciepła rzutują na efektywność wykorzystania energii chemicznej paliwa. W przypadku gdy zapewniony jest nieograniczony odbiór energii elektrycznej (np. sprzedaż całości wytwarzanej energii do sieci energetycznej), optymalizację można przeprowadzić w oparciu o krzywe zmienności zapotrzebowania na ciepło. Można przy tym korzystać jedynie z informacji o zapotrzebowaniu na ciepło, którą najprościej w tym przypadku określić wykresem uporządkowanym. Gdy wymagana jest praca układu kogeneracyjnego spełniająca ograniczenia wynikające z zapotrzebowania zarówno na prąd jak i na ciepło, korzystanie z wykresów uporządkowanych uniemożliwia ocenę zachowania się układu pod wpływem jednocze-

snego występowania ograniczonego zapotrzebowania na ciepło i energię elektryczną. W takim przypadku należy korzystać z rzeczywistych wykresów godzinowej bądź dobowej zmienności zapotrzebowania.

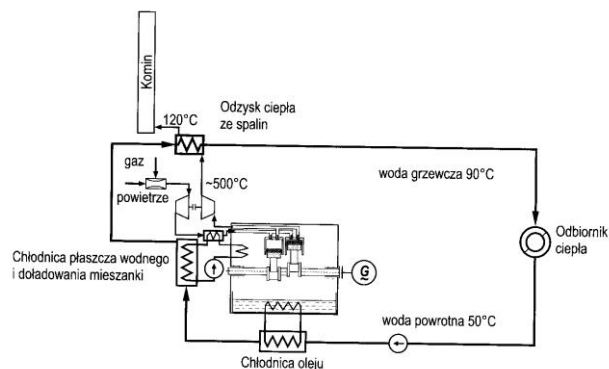
2. Typowy układ CHP

Typowy układ kogeneracyjny CHP składa się z:

- silnika tłokowego lub turbiny gazowej,
- generatora,
- systemu wymienników ciepła lub kotła odzyskowego,
- systemu automatycznego sterowania,
- systemu filtrów powietrza i układu odprowadzenia spalin,
- ewentualnie chłodziarki absorpcyjnej (w układach klimatyzacyjnych lub chłodniczych).

Na rysunku 2 przedstawiono uproszczony schemat układu CHP zbudowanego ze spalinowym silnikiem tłokowym. W układzie tym silnik napędza generator. Ciepło nazywane często ciepłem odpadowym [2, 3], jest częściowo wykorzystywane w wymiennikach ciepła. W układach z silnikami tłokowymi rozbudowany jest system wymienników ciepła, gdyż w silniku występuje kilka źródeł ciepła o zróżnicowanej temperaturze. Są to:

- układ chłodzenia płaszcza wodnego,
- układ chłodzenia miski olejowej,
- układ chłodzenia mieszanki doładowanej,
- gorące spaliny.

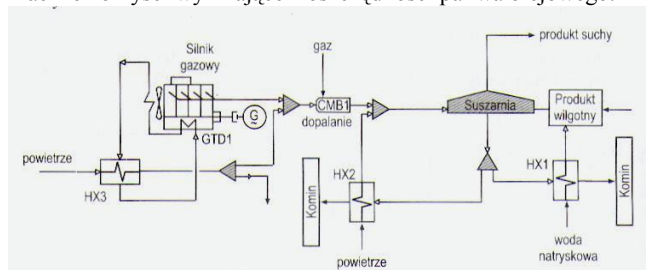


Rys. 2. Schemat układu CHP z tłokowym silnikiem spalinowym [1]

W małych układach skojarzonych najczęściej wytwarzanym nośnikiem ciepła jest gorąca woda. W przypadku stosunkowo niskich parametrów nośnika ma miejsce znaczne wychłodzenie spalin oraz odbiór ciepła ze źródeł niskotemperaturowych (silniki), co w konsekwencji prowadzi do bardzo efektywnego wykorzystania energii chemicznej paliwa.

Na rysunku 3 przedstawiono przykładowe zastosowanie kogeneratora w układzie skojarzonego wytwarzania energii elektrycznej i ciepła, w którym ciepło wykorzystywane jest w procesie suszenia materiału wilgotnego. W stanie wejściowym masa wilgotna suszona była przez mieszaninę spalin i powietrza wy-

tworzoną w mieszalniku połączonym z komorą spalania. Gorące spaliny były wytwarzane przy użyciu paliwa olejowego. W wyniku zastosowania kogeneratora o mocy elektrycznej odpowiadającej mocy odbiorników elektrycznych znajdujących się w zakładzie, ciepło powstające w wyniku pracy urządzenia zostało wykorzystane do procesu suszenia, w wyniku czego nastąpiły znaczne korzyści wynikające z oszczędności paliwa olejowego.



Rys. 3. Schemat technologiczny suszarni wyrobów papierniczych. MP-maszyna papiernicza, WC1 – wymiennik ciepła spaliny-powietrze, WC2-wymiennik ciepła spaliny-woda, W1, W2, W3-wentylatory [1]

3. Wybrane akty prawne i podatkowe w obszarze kogeneracji

Dodatковым bodźcem w rozwoju sektora energetycznego skupionego na źródłach wysokosprawnej kogeneracji są postanowienia mające zapewnić rozwiązanie problemów energetyczno-klimatycznych Europy i Świata wyrażające się poprzez następujące unijne akty prawne:

- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE (tzw. dyrektywa OZE);
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/29/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. zmieniająca dyrektywę 2003/87/WE w celu usprawnienia i rozszerzenia wspólnego systemu handlu uprawnieniami do emisji gazów cieplarnianych (tzw. dyrektywa EU ETS);
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/31/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie geologicznego składowania dwutlenku węgla oraz zmieniająca dyrektywę Rady 85/337/EWG, Euratom, dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2000/60/WE, 2001/80/WE, 2004/35/WE, 2006/12/WE, 2008/1/WE i rozporządzenie (WE) nr 1013/2006 (tzw. dyrektywa CCS);
- Decyzja Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/406/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie wysiłków podjętych przez państwa członkowskie zmierzających do zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych w celu realizacji do roku 2020 zobowiązań Wspólnoty dotyczących redukcji emisji gazów cieplarnianych (tzw. decyzja non-ETS);
- Projekt dyrektywy, która zastąpi dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady 2001/80/WE w sprawie ograniczenia emisji niektórych zanieczyszczeń do powietrza z dużych obiektów

energetycznego spalania, roboczo określana jako dyrektywa o emisjach przemysłowych (tzw. dyrektywa IED).

W oparciu o powyższe akty prawne kraje członkowskie Unii Europejskiej zobowiązane zostały do realizacji pakietu „3 x 20”, którego horyzont czasowy został nakreślony na rok 2020, mającego na celu:

- obniżenie emisji gazów cieplarnianych, w tym CO₂ o co najmniej 20% w porównaniu do roku 1990, co pozwoliłoby na dalsze zmniejszenie emisji nawet do 50% w roku 2050;
- poprawę efektywności energetycznej poprzez redukcję zużycia energii końcowej o 20%;
- zwiększenie udziału energii z OZE średnio do 20% całkowitego zużycia energii (dla Polski wyznaczono poziom 15% wzrostu).

Rozwój kogeneracji może być jednym z najistotniejszych sposobów wypełnienia przez Polskę założeń polityki energetycznej Unii Europejskiej, która poprzez przyjęcie pakietu „3 x 20” oczekuje na znaczące ograniczenie emisji dwutlenku węgla oraz zwiększenie efektywności wykorzystania energii.

Oplacalność technologii energetycznych uzależniona jest w dużym stopniu od polityki podatkowej państwa, zwłaszcza podatku akcyzowego. Obowiązek akcyzowy określony jest ustawą z dnia 23 stycznia 2004 r. o podatku akcyzowym (Dz. U. z dnia 26 lutego 2004 r. z późniejszymi zmianami). Akcyzą objęte są paliwa silnikowe i oleje opałowe, do których zalicza się zgodnie z ustawą wyroby wymienione w poz. 1-12 załącznika nr 2 do ustawy oraz pozostałe wyroby przeznaczone do użycia, oferowane na sprzedaż lub używane jako paliwa silnikowe albo jako dodatki lub domieszki do paliw silnikowych. Olejami opałowymi są również inne wyroby, z wyjątkiem węgla, koksu, torfu i innych porównywalnych z nimi węglowodorów stałych oraz gazu ziemnego, służące do celów opałowych. Akcyzą objęta jest również energia elektryczna. Ustawa o podatku akcyzowym określa maksymalne stawki akcyzy, które mogą być obniżone przez ministra właściwego do spraw finansów publicznych, z uwagi na: przebieg realizacji budżetu, sytuację gospodarczą państwa oraz poszczególnych grup podatników, potrzebę ochrony środowiska naturalnego, a także udział w tych wyrobach komponentów wytwarzanych z surowców odnawialnych.

W tabeli 1 przedstawiono wybrane zwolnienia od podatku akcyzowego, zgodnie z rozporządzeniem Ministra Finansów z dnia 26 kwietnia 2004 r. w sprawie zwolnień od podatku akcyzowego. Zwolnienia od podatku akcyzowego obejmują między innymi: wykorzystanie paliw silnikowych do produkcji energii elektrycznej, wykorzystanie energii elektrycznej na potrzeby własne elektrowni, biokomponenty i biopaliwa.

Opodatkowanie energii elektrycznej i surowców energetycznych podatkiem akcyzowym regulowane jest przez dyrektywę 2003/96/WE z dnia 27 października 2003 r. w sprawie restrukturyzacji wspólnotowych przepisów ramowych dotyczących opodatkowania produktów energetycznych i energii elektrycznej. Minimalne stawki podatku akcyzowego określone w dyrektywie zróżnicowane są w zależności od surowców energetycznych oraz ich zastosowania (zwłaszcza w zakresie rozróżnienia zastosowa-

nia związanego z działalnością gospodarczą i do pozostałych celów).

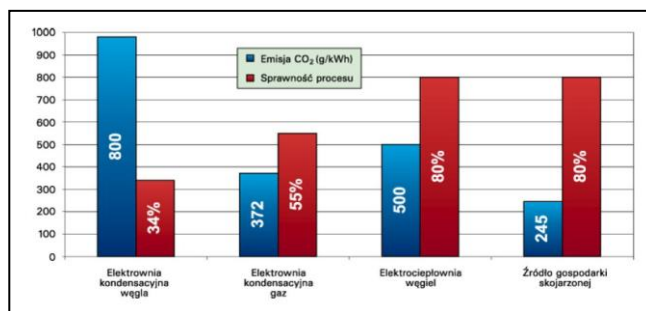
Tabela 1. Wybrane zwolnienia od podatku akcyzowego [4]

Wyrób akcyzowy	Szczegółowe warunki zwolnienia	Podstawa prawna
Paliwa silnikowe, oleje opałowe, gaz	Zużycie na potrzeby produkcji energii elektrycznej	§3, ust. 1 rozp. MF z dnia 26.04.2004
Energia elektryczna	Zużycie w procesie produkcji energii elektrycznej, skojarzonego wytwarzania energii elektrycznej i ciepła lub na podtrzymanie tych procesów.	§3, ust. 2. rozp. MF z dnia 26.04.2004
	Energia elektryczna pochodząca z elektrowni szczytowo-pompowych, wytwarzana z energii wody, która została przepompowana z wykorzystaniem energii elektrycznej wytworzonej w elektrowniach ciepłych, objętej akcyzą.	§6, ust. 1. rozp. MF z dnia 26.04.2004

4. Oddziaływanie na środowisko

Oszczędności paliwa wynikające z zastosowania kogeneracji bezpośrednio wiążą się z korzyściami ekologicznymi. Wysoka sprawność układu skojarzonego oznacza mniejsze zużycie paliwa, co jest równoznaczne z mniejszą emisją szkodliwych gazów z procesu spalania paliw (rys. 4), jak również innych produktów ubocznych, tj. popiołu czy żużla. W przypadku kogeneracji rozproszonej dodatkowym efektem jest również rozproszenie tej niewielkiej emisji. Ponadto, różnica zużycia paliwa na korzyść układu skojarzonego (w porównaniu z wytworzeniem tej samej ilości energii elektrycznej w elektrowni i ciepła w ciepłowni) jest znacząca i wynosi do 50% [5]. Zatem korzyści wynikające ze stosowania kogeneracji mają konkretny wymiar ekonomiczny dla gospodarki całego kraju. Relatywnie niższe koszty wytwarzania wynikające z oszczędności paliwa oraz ograniczenie opłat z tytułu gospodarczego korzystania ze środowiska naturalnego pozwalają na utrzymanie poziomu cenowego energii uwzględniającego proekologiczny charakter gospodarki skojarzonej. Dodatkowo, wpływają z tego korzyści społeczne – czystsze powietrze i czystsza energia. Układy skojarzone są również jednym z najkorzystniejszych w branży energetycznej sposobów zmniejszenia emisji dwutlenku węgla (CO₂), gazu, który ma największy udział w emisji tzw. gazów cieplarnianych, wpływających na zmiany w klimacie Ziemi.

Należy zatem podkreślić, iż wykorzystanie ekonomicznego oraz ekologicznego potencjału kogeneracji (w tym rozwiązań planowanych do opracowania w ramach przedmiotowego projektu) przyniesie wymierne efekty. Zgodnie ze prognozami publikowanymi przez Ministra Gospodarki [6] w 2020 r. możliwe będzie zaoszczędzenie 7-11 mln Mg węgla, zmniejszenie emisji CO₂ o 17-60 mln Mg oraz zmniejszenie kosztów zewnętrznych o 4-36 mld zł.



Rys. 4. Porównanie emisji CO₂ oraz sprawności procesu wytwarzania energii [5]

5. Energetyczne wskaźniki pracy układów kogeneracyjnych

Ocena efektywności układów kogeneracyjnych jest bardziej skomplikowana aniżeli układów jednocelowych. Do oceny tych układów najczęściej stosuje się wskaźniki [1]:

η_{elEC} – sprawność wytwarzania energii elektrycznej,
 η_{mIEC} – sprawność efektywna układu (sprawność mechaniczna),
 η_{cIEC} – sprawność całkowita układu,
 σ – wskaźnik skojarzenia.

Sprawność wytwarzania energii elektrycznej układu skojarzonego η_{elEC} (nazywana krótko sprawnością elektryczną lub sprawnością chwilową układu) jest definiowana:

$$\eta_{elEC} = \frac{N_{el}}{E_{ch}} = \frac{N_{el}}{P \cdot W_d} \quad (1)$$

gdzie:

N_{el} – moc elektryczna wytwarzania w skojarzeniu,
 E_{ch} – strumień energii chemicznej paliwa,
 P – strumień paliwa,
 W_d – wartość opałowa paliwa

Dla skończonego czasu pracy analizie jest zwykle poddawana średnia sprawność układu dla danego okresu:

$$\eta_{elEC} = \frac{E_{el}}{E_{ch}} = \frac{E_{el}}{P \cdot W_d} \quad (2)$$

gdzie:

E_{el} – ilość energii elektrycznej wyprodukowanej w danym okresie,
 P – ilość zużytego w tym czasie paliwa.

Układy skojarzone mogą być wykorzystywane nie tylko do wytwarzania energii elektrycznej, ale mogą być źródłem energii mechanicznej. Wówczas w takim układzie należy określić sprawność mechaniczną:

$$\eta_{mEC} = \frac{N_m}{E_{ch}} = \frac{N_m}{P \cdot W_d} \quad (3)$$

gdzie: N_m – moc mechaniczna wytwarzana w skojarzeniu,

Jednym z ważniejszych wskaźników określających efektywność konwersji energii chemicznej paliwa jest tzw. sprawność całkowita. Wielkość ta jest coraz częściej w literaturze nazywana wskaźnikiem wykorzystania energii chemicznej i oznaczana jako EUF (Energy Utilization Factor):

$$\eta_{EC} = EUF = \frac{N_{el} + Q}{E_{ch}} = \frac{N_{el} + Q}{P \cdot W_d} \quad (4)$$

gdzie: Q-moc cieplna wytwarzana w skojarzeniu,

Wtedy, kiedy wytwarzanymi nośnikami ciepła jest gorąca woda lub para, zależność (4) można zapisać w postaci:

$$EUF = \frac{N_{el} + \sum_i G_i (i_{w,i} - i_{d,i})}{E_{ch}} \quad (5)$$

gdzie:

G_i -strumień wytwarzanego czynnika,
 i_w, i_d – odpowiednia entalpia właściwa czynnika na wypływie z układu i dopływie do układu.

Podobnie jak określa się średnią sprawność elektryczną (2) definiuje się również średnią sprawność całkowitą EUF w danym okresie:

$$EUF = \frac{E_{el} + Q}{E_{ch}} \quad (6)$$

gdzie: Q-ilość ciepła wyprodukowanego w czasie.

Stosunek wytwarzanej w układzie skojarzonym energii elektrycznej do mocy cieplnej układu wyraża tzw. Wskaźnik skojarzenia σ . Chwilową i średnią wartość wskaźnika skojarzenia określają zależności (7) i (8):

$$\sigma = \frac{N_{el}}{Q} \quad (7)$$

$$\sigma = \frac{E_{el}}{Q} \quad (8)$$

W materiałach producentów urządzeń jest podawana często sprawność wytwarzania ciepła w układzie skojarzonym η_{qEC} , która jest wyrażana wzorem (9):

$$\eta_{qEC} = \frac{Q}{P \cdot W_d} \quad (9)$$

Podsumowanie

Systemom kogeneracji przypisywana jest istotna rola w pokrywaniu zapotrzebowania na energię elektryczną. Ma to związek z dużymi potencjalnymi możliwościami uzyskania znacznych oszczędności w zużyciu surowców energetycznych, a także wydatnego zmniejszenia emisji szkodliwych zanieczyszczeń, w tym CO₂. Zważywszy na wprowadzone ostatnio oraz spodziewane w przyszłości mechanizmy wsparcia kogeneracji, można spodziewać się w najbliższych latach bardziej dynamicznego rozwoju układów skojarzonych. O tempie tego rozwoju decydować będą kryteria ekonomiczne.

Publikacja naukowa finansowana w ramach Projektu celowego NOT nr ROW III-157/2011, (2011-2012) pt. „Opracowanie i wdrożenie do produkcji innowacyjnego, wysokosprawnego urządzenia kogeneracyjnego zasilanego mieszkankami zawierającymi poprodukcyjne tłuszcze stałe”

Literatura

- [1]. Skorek J., Kalina J. (2005): Gazowe układy kogeneracyjne. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne. Warszawa.
- [2]. Materiały firmy Vert Energy Consulting dostępne na stronie internetowej www.skrzypczak.pl
- [3]. Agencja COGEN Europe (2001): EDUCOGEN – The European Educational Tool on Cogeneration. Second Edition. Bruksela.
- [4]. Kucharczyk P. (2008): Regulacje prawne w obszarze kogeneracji. Konferencja „Rozwój gospodarczy gminy a rozbudowa sieci gazowej”. Bydgoszcz 18-19.11.2008.
- [5]. Major G. (1993): Learning from experiences with small-scale cogeneration. *CADDET Analyses Series* No. 1. Sitard, Netherlands.
- [6]. Pupka J. (2001): Skojarzone wytwarzanie energii elektrycznej i ciepła w Polsce, *Elektroenergetyka* nr 8/2001, źródło: www.elektroenergetyka.pl
- [7]. „Raport oceniający postęp osiągnięty w zwiększaniu udziału energii elektrycznej wytwarzanej w wysokosprawnej kogeneracji w całkowitej krajowej produkcji energii elektrycznej”, Załącznik do obwieszczenia Ministra Gospodarki z dnia 12 grudnia 2007 r. (Monitor Polski nr 1, poz.12)

Combined heat and power production in cogeneration system

Summary

The paper presents basic information about the combined production of electricity and heat in the system of CHP (Combined Heat and Power). The publication is linked to the performance of the project “Development and implementation of the production of innovative, high performance powered cogeneration unit post-production mixtures containing solid fats” carried out by the company Inproel-3, with the participation of the Faculty of Foundry Engineering AGH University of Science and Technology. Cogeneration is recognized around the world, proven technology of energy production, which is considered cleaner than the traditional techniques. The future of cogeneration in the global energy markets lies in the of operational, financial, environmental and legal benefits.

Key words: Cogeneration, Combined Heat and Power Production