

# CZyste technologie gazowe – szansą dla Pomorza

Paweł Ziółkowski, Witold Zakrzewski, Daniel Sławiński, Janusz Badur

**Słowa kluczowe:** czyste technologie gazowe, gaz łupkowy, oksypalanie, dywersyfikacja energii, smart grid

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono koncepcję niskoemisyjnych obiegów gazowo-parowych rozwijanych w kierunku czystych technologii gazowych. Proponowane rozwiązania zakładają wykorzystanie pokładów gazu łupkowego znajdującego się na Pomorzu. Ze względu na ograniczoną wydajność otworu i skończony czas eksploatacji staje się zasadna utylizacja gazu w miejscu wydobywania w małych, przenośnych, kompaktowych elektrowniach z wykorzystaniem oksypalania w turbinie gazowo-parowej. Niniejsze rozwiązanie jest szansą na wykorzystanie zasobów gazu łupkowego w sposób zapewniający czystość środowiska naturalnego i dywersyfikację źródeł energii. Ponadto niniejsze układy mogą stanowić ważny element zapewniający prawidłową pracę inteligentnej sieci elektrycznej.

## 1. WSTĘP

Wzrost zużycia energii jest zjawiskiem towarzyszącym postępowi technicznemu i rozwojowi cywilizacyjnemu naszej planety. Choć gwałtowny rozwój trwa już od ponad dwustu lat, dopiero stosunkowo niedawno zaczęto dostrzegać niepokojące sygnały pochodzące ze zjawisk meteorologicznych oraz zmian w rozmaitych ekosystemach. Jakkolwiek brak jest dzisiaj zgody wśród uczonych odnośnie określenia przyczyn coraz częstszych zaburzeń klimatu, jedno jest pewne spalanie coraz większej ilości paliw kopalnych ma negatywny i znaczący wpływ na środowisko naturalne. Aby odpowiednio integrować ze sobą aspiracje rozwojowe kraju, należy rozwijać się z zachowaniem ładów: środowiskowego, gospodarczego i społecznego. Takim mianem określamy zrównoważony rozwój, którego podstawowym filarem jest zrównoważona konwersja energii [3].

Drogą do osiągnięcia powyższych celów miały być czyste technologie węglowe oraz odnawialne źródła energii. Jednak stojąc wobec drogich dla Pomorza technologii węglowych oraz mało stabilnych OZE staje się zasadnym wprowadzenie czystych technologii gazowych. Dodatkową zachętą do budowy bloków gazowych jest możliwość wykorzystania gazu łupkowego, którego wydobywanie w ostatniej dekadzie rozwinęły Stany Zjednoczone.

Należy wspomnieć, że inne źródła energii takie jak energia geotermalna, energia wiatru oraz energia nuklearna nie są w stanie odegrać w najbliższym czasie znaczącej roli przy (repoweringu) podniesieniu zainstalowanej w Polsce mocy elektrycznej. W takiej sytuacji znaczącą rolę mogą odegrać bloki gazowo-parowe dostosowane do wychwytu dwutlenku węgla [29]. Niniejsze technologie opierające się na budowie wysokosprawnych bloków z zastosowaniem oksypalania i wychwytu dwutlenku węgla mogą stabilizować system elektroenergetyczny oraz zapewniać czyste źródło energii.

Dodatkowo przy poszukiwaniu nowych, wysoko sprawnych, czystych technologii produkcji energii elektrycznej, należy pamiętać, że prawie cała moc zainstalowana pochodzi z elektrowni parowych wielkiej mocy [4,21]. Dlatego jak najbardziej zasadnym staje się wprowadzanie bloków gazowych pozwalających na dywersyfikację źródeł energii i na wykorzystanie pokładów gazu łupkowego.

W niniejszym artykule zostanie przedstawiony stan obecny produkcji energii elektrycznej z bloków gazowo-parowych, przewidywania co do możliwości wykorzystania gazu łupkowego w Polsce oraz idea czystych technologii gazowych.

## 2. BLOKI GAZOWO-PAROWE - STAN OBECNY

Moc elektryczna zainstalowana w turbinach parowych w polskim systemie elektroenergetycznym 31.12.2008. była szacowana na blisko 35.5 GW, z drugiej strony 840 MW było zainstalowane w źródłach wykorzystujących do produkcji energii elektrycznej gaz ziemny. Zatem, głównymi producentami energii elektrycznej w Polsce są elektrownie i elektrociepłownie ciepłe opalane węglem. Od lat sześćdziesiątych dwudziestego wieku w sektorze polskiej energetyki były instalowane bloki o mocach 200 MW, na parametry pary o wartościach 13,5 MPa, 535 °C / 535 °C. Zainstalowano 63 takie jednostki do 1983 roku. W 1982 roku zainstalowano jeden blok o mocy 360 MW i o parametrach pary 17,6 MPa, 535 °C / 535 °C. Tego typu zmodernizowane bloki posiadają zarówno Elektrownia Opole, jak i Elektrownia Bełchatów [24]. Elektrownia Bełchatów w wyniku modernizacji 12 bloków o mocy 370 MW i budowy nowego bloku na parametry nadkrytyczne posiada moc elektryczną około 5298 MW i jest największą elektrownią w kraju [36]. Oprócz bloków 370 MW, na uwagę zasługują bloki na parametry nadkrytyczne w elek-

trowniach: Pątnów 460 MW, Łagisza 460 MW i wspomniany blok Bełchatów 858 MW [24,36].

Należy podkreślić, że coraz większe znaczenie w polskim systemie elektroenergetycznym osiągają bloki gazowo - parowe, które pozytywnie wpływają na dywersyfikację bazy paliwowej. Trzy polskie układy gazowo - parowe są zasilane gazem z pobliskich złóż ropy - gazowych: EC Gorzów 54,5 MW, EC Zielona Góra 190 MW i EC Rzeszów 101 MW oraz dwa gazem sieciowym: EC Nowa Sarzyna 116 MW i EC Lublin - Wrotków 235 MW [24]. W ostatniej dekadzie nastąpił znaczący rozwój bloków gazowo - parowych w kraju. Począwszy od bloku EC I w PGE EC Gorzów zostało zmodernizowanych i wybudowanych wiele obiektów. W tabeli 1 przedstawiono podstawowe parametry bloków gazowo - parowych elektrociepłowni zawodowych.

Przewiduje się, że do roku 2030 nastąpi wzrost mocy zainstalowanej w elektrowniach w blokach gazowych nawet do 2180 MW i w elektrociepłowniach do 596 MW, co daje łącznie 2776 MW [14]. W planach jest między innymi budowa elektrowni gazowo-parowej w Grudziądzu o łącznej mocy elektrycznej około 900 MW do 2017 roku [44] oraz elektrowni gazowo-parowej w Gdańsku o łącznej mocy elektrycznej około 450 MW do pierwszej połowy 2018 roku (oba przedsięwzięcia są realizowane przez Grupę ENERGA) [43]. PGE planuje budowę dwóch bloków w Dolnej Odrze o mocach 430 MW. W Stalowej Woli Tauron Polska Energia rozpoczęła już budowę elektrowni o mocy 450 MW [38].

Ponadto w Polsce pracują obiekty wyposażone w turbosespoły średniej mocy. W Siedlcach są zainstalowane dwie turbiny Taurus 70 CEDS o mocy 7,2 MW, w Tarnowie jedna CX501 KBS o mocy 3,76 MW, we Władysławowie pracują dwie turbiny Rolls-Royce'a Allison 501-KB7 o mocy 6,3/5,33<sup>1</sup> MW [11]. W Bolesławcu pracuje turbina Centaur 50 o mocy 4,1 MW, w Opolu turbina Alstom Power o mocy 7,4 MW, w Ostrowie Wielkopolskim CX501 KJ37 o mocy 5,1 MW, a we Wrocławiu EC Zakrzów z dwoma turbinami Centaur 40 o mocy 3,7 MW [25,45]. Bloki gazowe funkcjonują ponadto w Elektrowni Szczecin (z turbiną parową 4UCK56 dla planowanego układu gazowo - parowego) i w Zakładzie Chemicznym Wizów (turbina gazowa Centaur 50) [14, 39].

Z kolei na obszarze Pomorza ze stwierdzonymi pokładami gazu łupkowego jak dotychczas nie budowa-

no elektrowni i elektrociepłowni gazowych, poza elektrociepłownią Władysławowo.

### 3. GAZ ŁUPKOWY – MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA

Najbardziej istotnym czynnikiem wpływającym na wydobycie gazu łupkowego jest jego ekonomiczność, co z kolei w polskich warunkach podyktowane jest cenami gazu ziemnego dostarczanego przez Gazprom. Nadzieje na tańszy gaz wiąże się z wprowadzeniem technologii wiercenia poziomego oraz szczelinowania, które zostały opanowane przez takie światowe koncerny jak: Chevron, ExxonMobil, ConocoPhillips, Marathon Oil i Chesapeake. Stosowane przez nie techniki wiercenia pozwoliły na szybkie i tanie pozyskanie gazu łupkowego, co zrewolucjonizowało produkcję gazu w Stanach Zjednoczonych [15].

Oprócz nadziei pojawiają się również obawy zwłaszcza w krajach Unii Europejskiej, co do bezpieczeństwa stosowanych metod. Szczególne kontrowersje budzi fakt zatłaczania chemikaliów w celu szczelinowania, a następnie wydobywanie ich po przeprowadzonym procesie. Pojawiają się obawy, co do toksyczności zatłaczanych środków oraz możliwości ich przedostawania się do wód gruntowych. Jednak podkreśla się, że dotychczasowe takie przypadki odnotowane w Stanach Zjednoczonych wynikają z niezachowania środków bezpieczeństwa i nieodpowiedniego sposobu monitorowania wydobycia [18]. Rozwiązaniem tego problemu, może okazać się szczelinowanie za pomocą skroplonego dwutlenku węgla, które w najbliższym czasie opatentują naukowcy z WATu. Idea tej metody polega na wtłoczeniu dwutlenku węgla, który po podgrzaniu się rozpręża i wypycha lżejszy od siebie metan. Jednocześnie stanowiło by to rozwiązanie składowania dwutlenku węgla wychwyconego z bloków węglowych lub gazowych [35].

Ponadto podkreśla się zajęcie gruntów oraz zmianę krajobrazu wywołane wiertniami i rurociągami. Z drugiej jednak strony gaz łupkowy zapewnia mniejszą emisję ekwiwalentnego dwutlenku węgla w porównaniu do technologii węglowych. Należy wspomnieć, że znaczący wpływ na wskaźnik ekwiwalentnej emisji węgla posiada metan, który uwalnia się podczas produkcji i przetwarzania niekonwencjonalnego gazu ziemnego. Jednakże potencjalne emisje wodoru spowodowane przedostawaniem się go do warstw wodonośnych nie zostały jeszcze określone [18]. Jeżeli uniknięto by straty metanu, który przedostaje się do wód gruntowych i gaz łupkowy byłby spalany w elektrowni gazowo-parowej (CCGT) o sprawności 57,5%, ogólne emisje gazów cieplarnianych pochodzące z dostaw i zużycia gazu ziemnego wyniosłyby 460 g/kWh energii elektrycznej [12,18].

<sup>1</sup> Moc na zaciskach prądnicy przy temperaturze otoczenia - 10/15 °C.

Z kolei jeżeli zawartość CO<sub>2</sub> w wydobytym gazie wynosiłaby 30%, a emisje metanu z płynów podziemnych byłyby wyższe ze względu na niższą wydajność gazu ziemnego, ogólne emisje gazów cieplarnianych wzrosłyby do około 660 g/kWh energii elektrycznej. Dla porównania: produkcja energii oparta na gazie ziemnym z transportu rurociągami na duże odległości (7000 km) wytworzyłaby około 470 g/kWh energii elektrycznej. W nowej elektrowni o sprawności 46% opalanej węglem z Australii towarzyszy emisja CO<sub>2</sub> w ilości 850 g/kWh [12,18]. Dla porównania przeciętna emisja dwutlenku węgla w stosowanych w Polsce elektrociepłowniach gazowo-parowych o sprawności ok. 41 % wynosi przeciętnie 500 g/kWh [31,32].

Powszechnie zakłada się, że gaz łupkowy może w znaczący sposób zmienić polski krajobraz energetyczny i właśnie w Polsce zakłada się największe jego wykorzystanie wśród krajów Unii Europejskiej [18].

Dodatkowo obecność dużych pokładów gazu łupkowego na Pomorzu staje się faktem potwierdzonym w publikacjach właścicieli koncesji, którzy planują przystąpić do wydobywania gazu w 2013 roku [35]. Jednocześnie ma się ukazać ustawa regulująca wydo-

bycie gazu łupkowego w Polsce, na którą czekają właściciele 111 wydanych przez Ministerstwo Środowiska koncesji [35]. Powstaje jednak techniczno-ekonomiczne pytanie czy z uwagi na ograniczoną wydajność otworu (lub grupy otworów) i skończony czas jego eksploatacji (3-4 lata znaczna wydajność otworu, do 10 lat) [18] staje się zasadna utylizacja gazu w miejscu wydobywania w małych przenośnych elektrowniach. Jednocześnie przy takim sposobie wykorzystania gazu łupkowego należy się spodziewać obniżenia emisji wynikającej zarówno z wydobywania jak i z dystrybucji gazu.

#### 4. CZYSTE TECHNOLOGIE GAZOWE

Czyste Technologie Gazowe mają się opierać na układach gazowo-parowych, które powszechnie są znane, jako układy kombinowane dwuczynnikiowe, realizujące w górnym zakresie temperatur obieg z turbiną gazową, a w dolnym zakresie temperatur obieg parowy [24]. Jedną z tych czystych technologii gazowych jest połączenie obu obiegów w jednej maszynie. Dzięki temu utworzy się cykl turbiny gazowo-parowej, w którym czynnikiem roboczym jest mieszanina spalin i pary wodnej (parogaz) [10].

Tabela 1  
Dane techniczne wybranych bloków gazowo - parowych [11,20,27,28,37,40,41,42]

Obiekt	EC Lublin - Wrotków		EC Rzeszów		EC Gorzów	EC Zielona Góra	EC Nowa Sarzyna
	zimowe	letnie	zimowe	letnie	średnie	średnie	średnie
Turbina gazowa							
Wytwórca	Ansaldo Energia		Siemens		ABB Zamech	General Electric	Thomassen Int.
Typ	V94.2		V64.3		GT8C	PG9171	-
Moc znamionowa, MW	167,62	155,52	68,923	63,884	54,5	126,1	2x39,968
Sprawność brutto, %	36,36	33,37	-	-	34,60	-	-
Zużycie paliwa, kg/s	9,99	9,43	3,97	3,75	-	-	2,56
Temperatura spalin wylotowych, °C	540,4	546,2	590,0	595,0	520,0	543	528
Turbina parowa							
Wytwórca	Ansaldo Energia		Borsig MAN AG		Stal Laval, Zamech	ALSTOM Power	-
Typ	CT-H110/LL6-D		DK080/250RA1E1Z1		DDM55 i 3P6-6	7CK65	-
Moc znamionowa, MW	71,55	77,31	28,404	32,371	5 i 6	64,2 (59,8) <sup>2</sup>	39,044
Ciśnienie pary wysokoprężnej, bar	79,9	78,2	88,2	86,8	40	72	70,12
Temperatura pary wysokoprężnej, °C	525	525	537	537	450	500,55	510
Strumień pary wysokoprężnej, kg/s	67,39	65,85	27,9	27,46	23,2	53,3	34,71
Ciśnienie pary niskoprężnej, bar	5,5	5,2	5,5	5,3	-	6,65 (6,62)	6,95
Temperatura pary niskoprężnej, °C	217,8	217,1	213,1	210,8	-	194,4 (195,6)	285,7
Strumień pary niskoprężnej, kg/s	13,52	13,5	6,67	4,41	-	10,4	7,24

<sup>2</sup> Wartości w nawiasach podano dla pracy turbiny ciepłowniczo - kondensacyjnej.

Turbina gazowo-parowa łączy zalety obu obiegów. Wspomniany cykl gazowo-parowy przejmuje z turbiny gazowej wysoką temperaturę czynnika sięgającą do 1400 °C. Od turbin parowych adoptuje ciśnienia pracy czynnika, górną wartość do 300 bar (dla turbin gazowych jest to ciśnienie do 40 bar) [16] oraz dolną tak, aby nastąpiła kondensacja pary oraz najefektywniejsze wykorzystanie energii czynnika - ciśnienia schodzące do wartości rzędu 0,1 bar, podczas gdy w turbinach gazowych są bliskie ciśnieniu otoczenia i wynoszą około 1 bar [3].

Obecnie prowadzi się badania w kierunku możliwości usuwania dwutlenku węgla podczas produkcji energii elektrycznej. Rozróżnia się cztery główne technologie wychwytywania CO<sub>2</sub> w procesach energetycznych: 1) separacja ze spalin po spalaniu paliwa w urządzeniach zasilanych powietrzem (post-combustion); 2) usuwanie ze spalin po spalaniu paliwa w urządzeniach zasilanych mieszaniną tlenu i dwutlenku węgla (oksy spalanie); 3) usuwanie przed spalaniem gazu otrzymanego w procesie zgazowania węgla (pre-combustion); 4) sekwestracja w produktach chemicznych np.: w moczniku, paliwach motorowych, metanolu (poli generacja) [6,9,26].

Z kolei w celu zmniejszenia emisji tlenków azotu stosuje się wtrysk pary do komory spalania rozposzechniony w układach Chenga [7,8]. Innymi sposobami redukcji emisji NO<sub>x</sub> przed procesem spalania jest stosowanie niskoemisyjnych palników DLE bądź wtrysku wody [13,17]. Metodą wtórną ograniczania emisji tlenków azotu jest selektywna redukcja katalityczna (SCR) i selektywna redukcja niekatalityczna [17,23]. Kolejną metodą, która skutecznie zmniejsza emisję tlenków azotu jest oksy spalanie. Dzięki tej technologii eliminujemy z substratów azot, a co za tym idzie nie zachodzą reakcje tworzenia tlenków azotu.

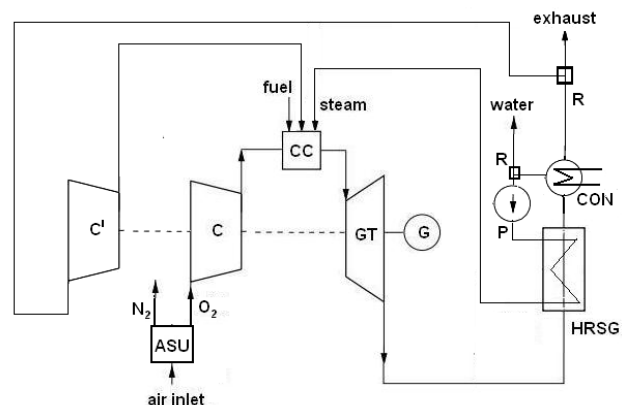
Technologia łącząca ideę turbiny gazowo - parowej oraz czystych technologii wytwarzania energii elektrycznej jest zaprezentowana w pracach [1,2]. Przedstawiono w nich wyniki badań nad adaptacją turbiny GE J79 i planami podniesienia parametrów parogazu w turbinie Siemens SGT900. Układ składa się z generatora gazu, do którego wtryskuje się paliwo, czysty tlen oraz wodę. Następnie po spalaniu tworzy się parogaz, rozprężający się w turbinie. Obecnie pracuje układ pierwszej generacji turbiny GE J79 przy ciśnieniu 11,6 bar i temperaturze 760 °C. W drugiej generacji przy wykorzystaniu turbiny SGT900 planuje się podniesienie temperatury parogazu przed pierwszym stopniem do 1080-1260 °C. Dla przyszłych zaawansowanych technologii trzeciej generacji układ będzie pracował przy temperaturze rzędu 1650-1760 °C i przy ciśnieniu 40 bar [1,2].

Prace nad podobnymi obiegami prowadzone są w Stanach Zjednoczonych, gdzie od ponad 15 lat firma Clean Energy Systems wprowadza technologie stosowane w silnikach rakietowych do energetyki konwencjonalnej budując zero-emisyjne bloki energetyczne o mocy do 200 MW [34].

#### 4.1. Obieg z recyrkulacją spalin

W niniejszym podpunkcie przedstawiono obieg gazowo-parowy z zastosowaniem oksy spalania, wtrysku pary do obiegu oraz recyrkulacji spalin. Schemat zaproponowanego rozwiązania przedstawiono na rys.1.

Zamodelowano stację ASU produkującą tlen o energochłonności równej 0,248kWh/kgO<sub>2</sub>, co jest bliskie danym z pracy [33] wynoszącym 0,247 kWh/kgO<sub>2</sub>. Z kolei kocioł odzyskowy wytwarza strumień masy pary  $\dot{m}_{st}=28$  kg/s (o temperaturze 550 °C), co łącznie z powstałą parą w procesie spalania (około 8 kg/s) stanowi 0,2 udziału masowego parogazu. Parogaz w zaproponowanej modyfikacji rozpręża się od 16,2 bar do ciśnienia otoczenia, a następnie po oddaniu ciepła w kotle odzyskowym trafia do skraplacza [30].



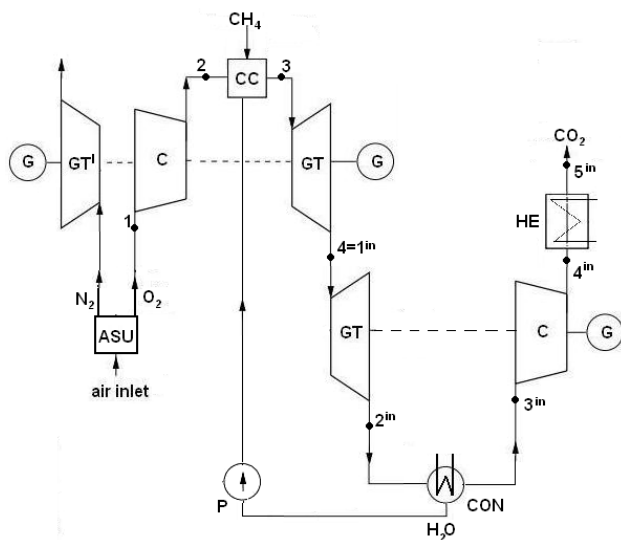
**Rys.1.** Schemat układu gazowo-parowego z zastosowaniem oksy spalania i recyrkulacją spalin (ASU – stacja separacji tlenu, C - sprężarka, C' – dodatkowa sprężarka, CC – komora spalania, GT – turbina gazowo-parowa, HRSG – kocioł odzyskowy, P – pompa, CON – skraplacz, R – rozdzielacz spalin, G - generator) [30].

Dla przedstawionego na rys.1 układu wykonano symulację CFM (*Computation Flow Mechanics*) i uzyskano sprawność elektryczną turbiny  $\eta_{el}=32,6$  %. Emisja tlenków azotu  $eNO_x$  wynosi 8 g/MWh, a dwutlenku węgla  $eCO_2$  610 kg/MWh, ale jednocześnie udział molowy dwutlenku węgla [ $CO_2$ ] wynosi 0,70. Uzyskuje się dzięki temu polepszenie warunków wychwytu dwutlenku węgla ze spalin. Moc elektryczną turbiny oszacowano na  $N_{el}=50,9$  MW [30]. Rozwinięciem powyższej koncepcji jest obieg z zastosowaniem odwróconego obiegu Braytona i recyrkulacją wody zamiast spalin.

#### 4.2. Koncepcja niskoemisyjnej, kompaktowej, przenośnej elektrowni gazowo-parowej

Aby sprostać wymaganiom polskiej sytuacji geopolitycznej konieczna jest budowa niskoemisyjnej, kompaktowej i przenośnej elektrowni. Na rysunku 2. przedstawiono schemat obiegu, który spełnia te cechy.

W zaprezentowanej koncepcji kompaktowość, a dzięki temu możliwość przenoszenia jest osiągana przez usunięcie „olbrzymiego” kotła odzyskowego (HRSG – rys.1) wytwarzającego parę wodną i wprowadzeniem wtrysku wody do komory spalania (CC). Prowadzi to do bezpośredniej wymiany ciepła pomiędzy paliwem, utleniaczem i wtryskiwaną wodą w „wysokociśnieniowym palniku gazowo-parowym” już bez udziału dziesiątek kilometrów rur wymiennikowych.



**Rys. 2.** Schemat układu Brayton/odwrócony Brayton z zastosowaniem oksydacji i recyrkulacją wody (ASU – stacja separacji tlenu C – sprężarka, CC – komora spalania, GT – turbina gazowo-parowa, GT' – dodatkowa turbina gazowa, P – pompa, HE – wymiennik ciepła, CON – skraplacz, G – generator).

Z kolei niskoemisyjność osiągana jest przez wychwytywanie  $\text{CO}_2$ . Niniejszy proces prowadzony jest w sposób prosty, bez większych nakładów finansowych. W kondensatorze (CON) będącym standardowym elementem instalacji następuje rozdzielanie wody od dwutlenku węgla. Następnie „czysty”  $\text{CO}_2$  trafia do kompresora (C) gdzie następuje jego sprężenie, po którym w wymienniku ciepła (HE) zostaje ochłodzony i skroplony. Ciekły dwutlenek węgla może być dalej sprzedawany lub zatłaczany, jako płyn szczelninujący. Wadą rozwiązania jest konieczność zbudowania i zaopatrzenia w energię stacji rozdzielania powietrza, z której pozyskiwany jest tlen i azot. Niemniej jednak całkowita sprawność obiegu z wykorzystaniem czynnika parowo-gazowego jest wyższa niż sprawność typowej turbiny gazowej. Ponadto spalanie

w tlenie o czystości 95% eliminuje prawie całkowicie problem emisji  $\text{NO}_x$ . Efektywną kondensację pary wodnej z parogazu osiąga się dzięki zastosowaniu odwróconego obiegu Braytona ( $1^{\text{in}}-2^{\text{in}}-3^{\text{in}}-4^{\text{in}}$ ), w którym czynnik roboczy rozpręża się, aż do ciśnienia umożliwiającego łatwe skraplanie. Odwrócony obieg oznacza to, iż kolejność sprężarki i turbiny zmieniono, czyli najpierw następuje ekspansja czynnika, a potem jego kompresja [5]. W układzie dodatkowo można wprowadzić turbinę azotu ( $\text{GT}'$ ) wyprodukowanego w stacji separacji tlenu.

#### 5. WSPÓŁPRACA Z INTELIGENTNĄ SIECIĄ ELEKTRONERGETYCZNĄ

Pod pojęciem smart grid (inteligentna sieć elektroenergetyczna) kryje się modernizacja systemu dostarczania elektryczności tak, by mógł on monitorować, zabezpieczać i automatycznie optymalizować pracę połączonych w nim elementów w tym wytwórców energii elektrycznej [19,22]. Ważną cechą smart gridu jest to, aby system był zabezpieczony przed nagłymi spadkami dostarczanej mocy do sieci elektrycznej [19,22] i właśnie takie zabezpieczenie może stanowić niskoemisyjny kompaktowy blok gazowy.

Zaprezentowane powyżej układy mogą stabilizować pracę sieci zarówno w razie spadku dostarczanej mocy przez OZE, jak i przy nagłym wzroście zapotrzebowania na prąd elektryczny. Turbiny gazowe, jako źródło energii, które może być w szybkim czasie włączane i wyłączane regulując tym samym zapotrzebowanie na moc. Przedstawiona kompaktowa elektrownia gazowo-parowa oparta na gazie łupkowym może być również traktowana, jako uzupełniające źródło energii uzyskiwanej z elektrowni wiatrowych, wodnych czy fotowoltaiki. Jednocześnie wpisują się to w politykę grupy Energa, która stawia na dystrybucję, gaz i OZE [46].

Dodatkowo przedstawione rozwiązanie charakteryzuje się małą mocą jednostek, co będzie pozwalało na płynną i bezpieczną regulację w różnym zakresie zmian zapotrzebowania na moc elektryczną. Zatem przedstawione układy będą stanowić ważny element zapewniający prawidłową pracę inteligentnej sieci elektrycznej podnoszący zarówno jego bezpieczeństwo jak i niezawodność.

#### 6. PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono stan obecny polskich elektrociepłowni gazowych ze szczególnym uwzględnieniem bloków gazowo-parowych. Przedstawiono również sposób wykorzystania gazu łupkowego zapewniający czyste jego wydobycie wraz z koncepcją zatłaczania  $\text{CO}_2$ , jako płynu szczelninującego. Zobrazowano pomysł niskoemisyjnych obiegów gazowo-

parowych rozwijanych w kierunku Czystych Technologii Gazowych. Proponowane rozwiązania zakładają wykorzystanie pokładów gazu łupkowego znajdującego się na Pomorzu. Ze względu na ograniczoną wydajność otworu i skończony czas eksploatacji staje się zasadna utylizacja gazu w miejscu wydobycia w małych, przenośnych, kompaktowych elektrow-

niach z wykorzystaniem oksypalania w turbinie gazowo-parowej. Niniejsze rozwiązanie jest szansą na wykorzystanie zasobów gazu łupkowego w sposób zapewniający czystość środowiska naturalnego i dywersyfikację źródeł energii. Ponadto niniejsze układy mogą stanowić ważny element zapewniający prawidłową pracę inteligentnej sieci elektrycznej.

## LITERATURA

- [1] Anderson R., MacAdam S., Viteri F., Davies D., Downs J., Paliszewski A.: Adapting gas turbines to zero emission oxy-fuel power plants. ASME Paper No. GT2008-51377, 2008.
- [2] Anderson R., Viteri F., Hollis R., Hebbar M., Downs J., Davies D., Harris M.: Application of existing turbomachinery for zero emissions oxy-fuel power systems. ASME Paper No. GT2009-59995, 2009.
- [3] Badur J.: Numeryczne modelowanie zrównoważonego spalania w turbinach gazowych. IMP PAN, Gdańsk 2003.
- [4] Badur J., Kozłów P.: Gas turbines come of age, cogeneration in Poland. European Power News 27, January 2002, 3-7.
- [5] Badur J., Lemański M.: Odwrócony obieg Braytona – wysokosprawnym sposobem odzysku ciepła odpadowego turbiny gazowej. Energetyka Ciepła i Zawodowa 221, 2003, 46-48.
- [6] Bartela Ł., Skorek-Osikowska A., Kotowicz J.: Integracja bloku elektrociepłowni węglowej na parametry nadkrytyczne z instalacją wychwytu dwutlenku węgla oraz turbiną gazową. Rynek Energii 100, 2012 nr 3, 56-62.
- [7] Cheng D.Y.: Regenerative parallel compound dual-fluid heat engine. US Patent 1978, no. 4128994.
- [8] Cheng D.Y.: The distinction between Cheng and STIG cycle. Proceedings of ASME EXPO GT-2006-90382, 2006.
- [9] Chmielniak T.: Węglowe technologie energetyczne 2020+, Polityka Energetyczna 2010, zeszyt 2, tom 13.
- [10] Chodkiewicz R., Porochnicki J., Kaczan B.: Steam - gas condensing turbine system for Power and heat generation. ASME Paper No. 2001-GT-0097, 2001.
- [11] Folwarczny C., Kołodziej R., Pajak S., Witek R.: Inwestycje w elektrociepłowniach-niektóre wskaźniki techniczno-ekonomiczne jednostek wytwórczych z turbinami gazowymi. Energetyka, nr 1, 2005.
- [12] Howarth B., Santoro R., Ingraffea T.: Developing Natural Gas in the Marcellus and other Shale Formations is likely to Aggravate Global Warming. 2011 r.
- [13] Jonson M., Yan J.: Humidified gas turbine - a review of proposed and implemented cycles. Energy 2005, vol. 30.
- [14] Kaczmarek A.: Analiza uwarunkowań rozwoju elektrowni i elektrociepłowni gazowych i gazowo – parowych. Energetyka, nr 5, 2010.
- [15] Kaproń H., Wasilewski A.: Gaz ziemny paliwem XXI wieku. Wydawnictwo KAPRINT, Lublin 2012.
- [16] Kolev N., Schaber K., Kolev D.: A new type of a gas - steam turbine cycle with increased efficiency. Applied Thermal Engineering 21 (2001), 391-405.
- [17] Lasek J.: Spalanie w tlenie a emisja tlenków azotu. Stan wiedzy i perspektywy badawcze. Energetyka 2011, nr 7.
- [18] Lechtenböhmer S., Altmann M., Capito S., Matra Z., Weindorf W., Zittel W.: Wpływ wydobycia gazu łupkowego i ropy łupkowej na środowisko naturalne i zdrowie ludzi. Ekspertyza Unii Europejskiej IP/A/ENVI/ST/2011-07, 2011.
- [19] Malko J.: Ocena efektywności smart grid. Case study: USA. Rynek Energii 2012 nr 3, vol 100, 3-8.
- [20] Marcisz P.: 10,7 GW energii elektrycznej z 56 turbin. Ekspres, nr 5, 2010.
- [21] Marszałek M., Szyrejko Cz., Knitter D., Kozłów P., Szostak M., Karcz M., Kucharski R., Kowalczyk S., Wiśniewski A., Badur J.: Kompleksowa analiza wylotu wysokoobrotowej turbiny parowej w zmiennych warunkach pracy. VIII Konf. Nauk. Tech. "Elektronie Ciepłe", pp 84-96, Słok, 2007.
- [22] Matusiak B.: Energy market as a virtual organisation and communication-oriented smartgrid. Rynek Energii 2012 nr 1, vol 98, 168-172.
- [23] Normann F., Andersson K., Leckner B., Johnson F.: Emission control of nitrogen oxides in the oxy-fuel process, Progress in Energy and Combustion Science 2009, vol.35.
- [24] Pawlik M., Strzelczyk F.: Elektrownie. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2009.

- [25] Podziemska A.; Techniczno - ekonomiczne aspekty gazowej gospodarki skojarzonej cz.1. Nowoczesne Gazownictwo, nr 4, 2005.
- [26] Ściążko M.: Technologiczne i ekonomiczne bariery usuwania ditlenku węgla w układach energetycznych. Polityka Energetyczna 2009, zeszyt 2/1, tom 12.
- [27] Topolski J.: Diagnostyka spalania w układach gazowo – parowych. Rozprawa doktorska, IMP PAN, Gdańsk, 2002.
- [28] Wołoncewicz Z., Buraczewski J.: Doświadczenia z eksploatacji bloku gazowo - parowego w EC Gorzów S.A. 1999-2003. Konferencja Elektrownie i elektrociepłownie gazowe i gazowo - parowe 2003.
- [29] Zaporowski B.: Perspektywy rozwoju źródeł wytwórczych opalanych gazem ziemnym w polskiej elektroenergetyce, POLITYKA ENERGETYCZNA, 12, Zeszyt 2/2, 2009.
- [30] Ziółkowski P.: Analiza termodynamiczna niskoemisyjnego obiegu turbiny gazowo - parowej z zastosowaniem oksypalania. w: Współczesne Technologie i Konwersja Energii / praca zbiorowa pod red. J. Szantyra. - Gdańsk : Wyd. Wydział Mechaniczny PG, 403-410, 2012.
- [31] Ziółkowski P., Lemański M., Badur J., Nastalek L.: Power augmentation of PGE Gorzów's gas turbine by steam injection – thermodynamic overview. Rynek Energii 2012 nr 1, vol 98, 161-167.
- [32] Ziółkowski P., Lemański M., Badur J., Zakrzewski W.: Wzrost sprawności turbiny gazowej przez zastosowanie idei Szewalskiego. Rynek Energii 2012 nr 3, vol 100, 63-70.
- [33] DOE/NETL: Pulverized coal oxycombustion Power Plants, Volume 1: bituminous coal to electricity, report DOE/NETL-2007/1291, Washington, DC: National Energy Technology Laboratory, 2007.
- [34] <http://www.cleanenergysystems.com>
- [35] <http://gazlupkowy.pl>
- [36] <http://www.elbelchatow.pgegiek.pl>
- [37] <http://www.ecgorzow.pgegiek.pl/>
- [38] <http://energetykon.pl>
- [39] <http://www.ogrzewnictwo.pl>
- [40] <http://www.zec.zgora.pl/urządzenia.html>
- [41] <http://www.eclublin.pgegiek.pl/>
- [42] <http://www.ecrzeszow.pgegiek.pl>
- [43] <http://www.energainvest.pl/index.php/pl/inwestycje/24-elektrownia-gdansk>
- [44] <http://www.elektrowniagrudziadz.pl/>
- [45] <http://www.pepsa.com.pl>
- [46] <http://www.nettg.pl/news/104596/strategia-energa-stawia-na-dystrybucje-gaz-i-oze>

## CLEAN GAS TECHNOLOGY - OPPORTUNITY FOR POMERANIA

**Key words:** clean gas technology, shale gas, oxy-combustion, diversification of energy sources, smart grid

**Summary.** This article describes the concept of low-emission gas-steam cycles developed towards gas clean technologies. The proposed solutions involve the use of shale gas deposits located in Pomerania. Due to the limited capacity of the hole and a finite life becomes justified utilization of gas production site in a small, portable, compact plants with oxy-combustion in gas-steam turbine. This solution is an opportunity for the use of shale gas resources to ensure clean environment and diversification of energy sources. In addition, these systems can be an important element in ensuring the proper functioning of the smart electricity grid.

**Janusz Badur**, Prof. dr hab. inż., kierownik Zakładu Konwersji Energii, Ośrodek Termomechaniki Płynów, Instytut Maszyn Przepływowych im. R. Szewalskiego PAN

**Daniel Sławiński**, mgr inż., specjalista, Zakład Konwersji Energii, Ośrodek Termomechaniki Płynów, Instytut Maszyn Przepływowych im. R. Szewalskiego PAN

**Witold Zakrzewski**, mgr inż., asystent, Zakład Konwersji Energii, Ośrodek Termomechaniki Płynów, Instytut Maszyn Przepływowych im. R. Szewalskiego PAN

**Paweł Ziółkowski**, mgr inż., specjalista, Zakład Konwersji Energii, Ośrodek Termomechaniki Płynów, Instytut Maszyn Przepływowych im. R. Szewalskiego PAN