

Produkcja energii w wybranych zintegrowanych układach gazowo-parowych IGCC zasilanych gazem z procesów zgazowania węgla

Agnieszka LEŚNIAK, Marek BIENIECKI* – Główny Instytut Górnictwa, Katowice

Prosimy cytować jako: CHEMIK 2014, 68, 12, 1074–1085

Koncepcja zintegrowanego układu gazowo-parowego opiera się na wykorzystaniu, jako źródła energii, gazu syntezowego (syngazu) uzyskanego w wyniku procesu zgazowania paliwa (np. węgla) w reaktorze ciśnieniowym. Przed skierowaniem wytworzonego syngazu do komory spalania turbiny gazowej zostaje on oczyszczony. Zanieczyszczenia są więc usuwane przed procesem spalania gazu, a nie – jak w przypadku tradycyjnych technologii węglowych – ze spalin. Część energii zawartej w spalinach na wylocie z turbiny gazowej jest wykorzystywana do produkcji pary w kotle odzyskowym, która następnie oddaje swoją energię w turbinie parowej.

Technologia IGCC zaliczana jest do czystych technologii węglowych. Układy gazowo-parowe zintegrowane ze zgazowaniem paliwa pozwalają osiągnąć znacznie wyższą sprawność (45–55%), w porównaniu do konwencjonalnych elektrowni węglowych (KEW) (ok. 35%). Dodatkowo układy te są bardziej ekologiczne, charakteryzują się bowiem mniejszym (o ok. połowę) zużyciem wody w porównaniu do KEW, oraz mniejszą emisją NO_x, SO₂, CO₂, spełniającą wymagania UE. Niska emisja zanieczyszczeń wynika właśnie z usunięcia tych zanieczyszczeń z gazu syntezowego przed skierowaniem go do komory spalania turbiny gazowej.

W latach 1994–1998 zostało uruchomionych 5 demonstracyjnych bloków IGCC: Demkolec (Buggenum, Holandia), Wabash River (Indiana, USA), Tampa Electric (Floryda, USA), Puertollano (Hiszpania), Pinon Pine (Nevada, USA). W Tabelicy 1 zestawiono podstawowe dane charakteryzujące instalację zgazowania dla w/w układów IGCC [1]. Zastosowano w nich nowoczesne reaktory oparte na następujących technologiach generacji gazu: firmy Stell (Buggenum), reaktora dyspersyjnego Texaco (Tampa Electric), reaktora dyspersyjnego Prenflo (Puertollano), reaktora dyspersyjnego Destec (Wabash River) oraz reaktora KRW (Pinon Pine). Większość z tych układów IGCC, po okresie demonstracyjnym, zaczęła być eksploatowana komercyjnie (Buggenum, Tampa Electric, Wabash River, Puertollano); tylko projekt Pinon Pine zakończył się niepowodzeniem już na etapie demonstracyjnym. W artykule przedstawiono również trzy komercyjne instalacje IGCC: dwie wybudowane w Japonii oraz jedna czeska, wykorzystująca węgiel brunatny

Puertollano IGCC, Hiszpania

Instalacja IGCC Puertollano położona w środkowej części Hiszpanii, rozpoczęła pracę w 1992 r. jako instalacja demonstracyjna w projekcie celowym Komisji Europejskiej finansowanym w ramach Programu Thermie; Działalność komercyjną rozpoczęła w marcu 1998 r. Dane techniczne instalacji IGCC Puertollano:

- paliwo: węgiel + koks naftowy (w proporcji 50:50)
- zużycie węgla: 2600 t/dobę
- dobową produkcję gazu syntezowego: 4,0 x 10⁶ nm³
- sprawność netto układu 43%
- reaktor zgazowania Prenflo
- czystość tlenu doprowadzonego do generatora: 85%
- ciśnienie w generatorze 2,8 MPa
- temperatura w generatorze 1400–1540°C
- wartość opałowa gazu syntezowego 4,3 MJ/kg
- temperatura spalin na wylocie z turbiny gazowej 1260°C
- moc potrzeb własnych 35 MW
- turbina gazowa Siemens V 94.3 z możliwością spalania syngazu oraz gazu ziemnego
- kocioł trójciśnieniowy z przegrzewem międzystopniowym
- \- zgazowanie tlenowe
- tlenownia ASU jest całkowicie zintegrowana z instalacją IGCC.

Tabelica 1

Porównanie układów zgazowania węgla stosowanych w systemach IGCC [2]

Obiekt, kraj	Puertollano Hiszpania	Demkolec – Buggenum Holandia	Tampa Electric USA	Pinon Pine USA
Generator gazu	Prenflo 1 – stopniowy przepływowy	Shell 1 – stopniowy przepływowy	Texaco 1 – stopniowy przepływowy	KRW fluidalny ciśnieniowy
Węgiel	Węgiel naftowy	Draylon, Australia	Pittsburg nr 8	Utah
Wartość opałowa, MJ/kg	23,1	26	30	26
Popiół, %	4,1	12,2	7,9	10
Wilgoć, %	20,9	9,5	4,75	10
Siarka, %	3,2	1,2	2,45	0,45
Maksymalne zużycie węgla, t/d	2600	2000	2200	880
Sposób doprowadzenia węgla	suchy pył węglowy	suchy pył węglowy	zawiesina wodno-węglowa	suchy miał węglowy
Czynnik nośny	azot	azot	woda 40%	gorące powietrze
Czynnik zgazowujący	tlen 85%; kompresor wspólny z turbiną gazową	tlen 95% + para wodna; kompresor wspólny z turbiną gazową	tlen 95%; wydzielony kompresor	Powietrze; kompresor wspólny z turbiną gazową
Doprowadzanie powietrza do tlenowni				
Temperatura i ciśnienie zgazowania	max. 1600°C 2,5 MPa	max. 1500°C 2–3 MPa	max. 1480°C 3–4 MPa	980°C 2 MPa
Sposób schładzania oraz temperatura za chłodnicą gazu surowego	wtrysk zimniejszego gazu oraz chłodnica	wtrysk zimniejszego gazu oraz chłodnica 900°C	chłodnica opróżniana 760°C	kocioł odzyskownicowy

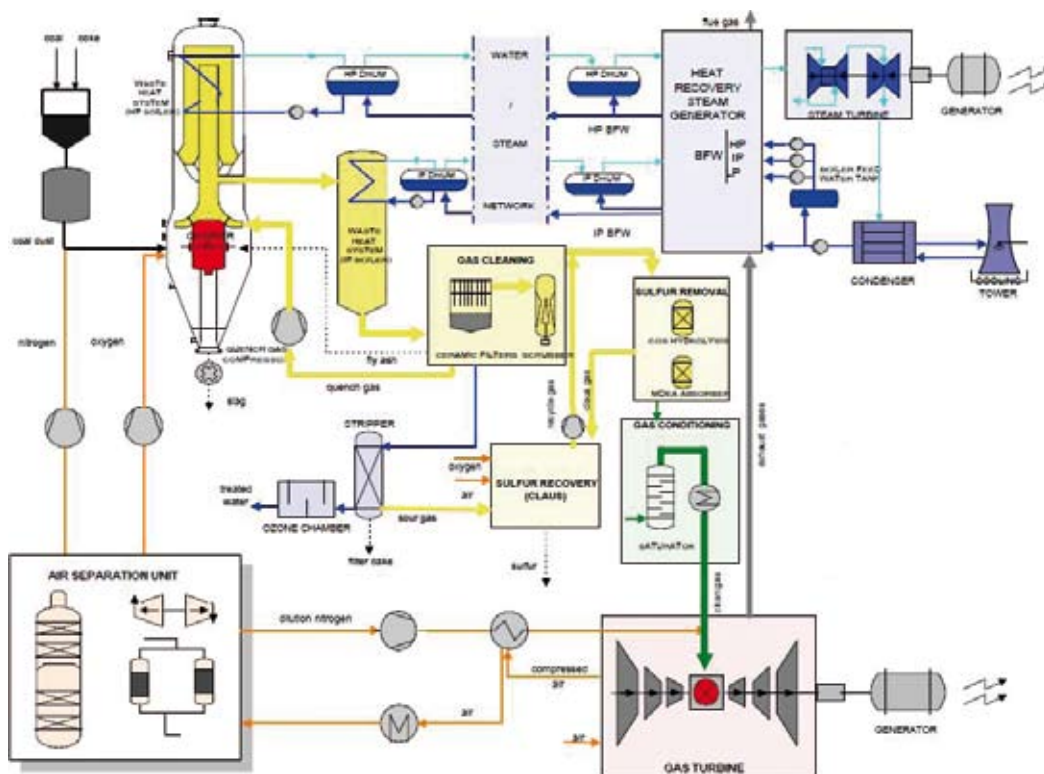
Tabelica 2

Skład gazu syntezowego wykorzystywanego w instalacji IGCC Puertollano [3]

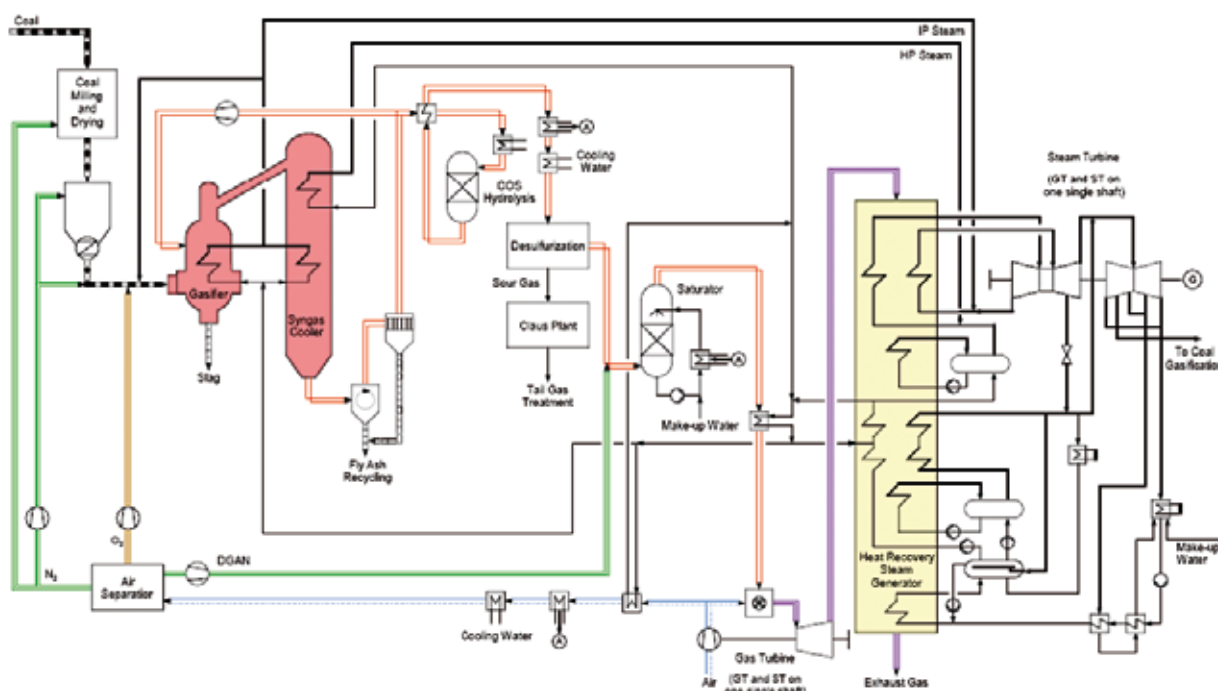
Składnik gazu	Udział objętościowy, %
H ₂	10,67
CO	29,24
H ₂ O	4,18
N ₂	53,08
Ar	0,62
CO ₂	1,89
CH ₄	0,07
O ₂	0,25

Autor do korespondencji:

Mgr. inż. Marek BIENIECKI, e-mail: m.bieniecki@gig.eu



Rys. 1. Schemat instalacji Puertollano IGCC [8]



Rys. 2. Schemat instalacji Buggenum IGCC [9]

Buggenum IGCC, Holandia

Instalacja Buggenum, jako jedna z pierwszych demonstracyjnych instalacji IGCC na świecie, została oddana do użytku w 1994 r., a od roku 1998 r. funkcjonowała jako instalacja komercyjna. Dane techniczne instalacji IGCC Buggenum:

- zużycie węgla 2000 t/dobę
- dobową produkcję gazu syntezowego $4,0 \times 10^6 \text{ Nm}^3$
- sprawność netto układu 43%
- reaktor zgazowania Stell
- czystość tlenu doprowadzonego do generatora 95%
- ciśnienie w generatorze 2,8 MPa
- temperatura w generatorze 1400–1540°C
- wartość opałowa gazu syntezowego 4,3 MJ/kg

- temperatura spalin na wylocie z turbiny gazowej 1100°C
 - dyspozycyjność 75% (po siedmiu latach eksploatacji)
 - turbina gazowa Siemens V 94.2
 - kocioł dwuciśnieniowy z przegrzewem międzystopniowym
 - zgazowanie tlenowe
 - tlenownia ASU jest całkowicie zintegrowana z instalacją IGCC.
- Bilans energii dla rozważanego układu przedstawia się następująco [4]:
- energia zawarta w paliwie 585 MW
 - moc turbiny gazowej 156 MW
 - moc turbiny parowej 284 MW
 - moc potrzeb własnych 31 MW
 - moc układu netto 253 MW

Tablica 3
Skład gazu syntezowego wykorzystywanego w instalacji IGCC Buggenum [3]

Składnik gazu	Udział objętościowy, %
H ₂	12,3
CO	24,8
H ₂ O	19,1
N ₂	42
Ar	0,6
CO ₂	0,8
CH ₄	0
O ₂	0,4

Zalety układu IGCC Buggenum:

- niska emisja NO_x < 10 ppm
- skuteczność usuwania siarki powyżej 99%
- praktycznie zerowa emisja popiołów, chlorków i lotnych metali ciężkich
- brak zrzutu wody odpadowej, jest ona ponownie wykorzystywana w układzie

Tampa Electric IGCC, Floryda, USA

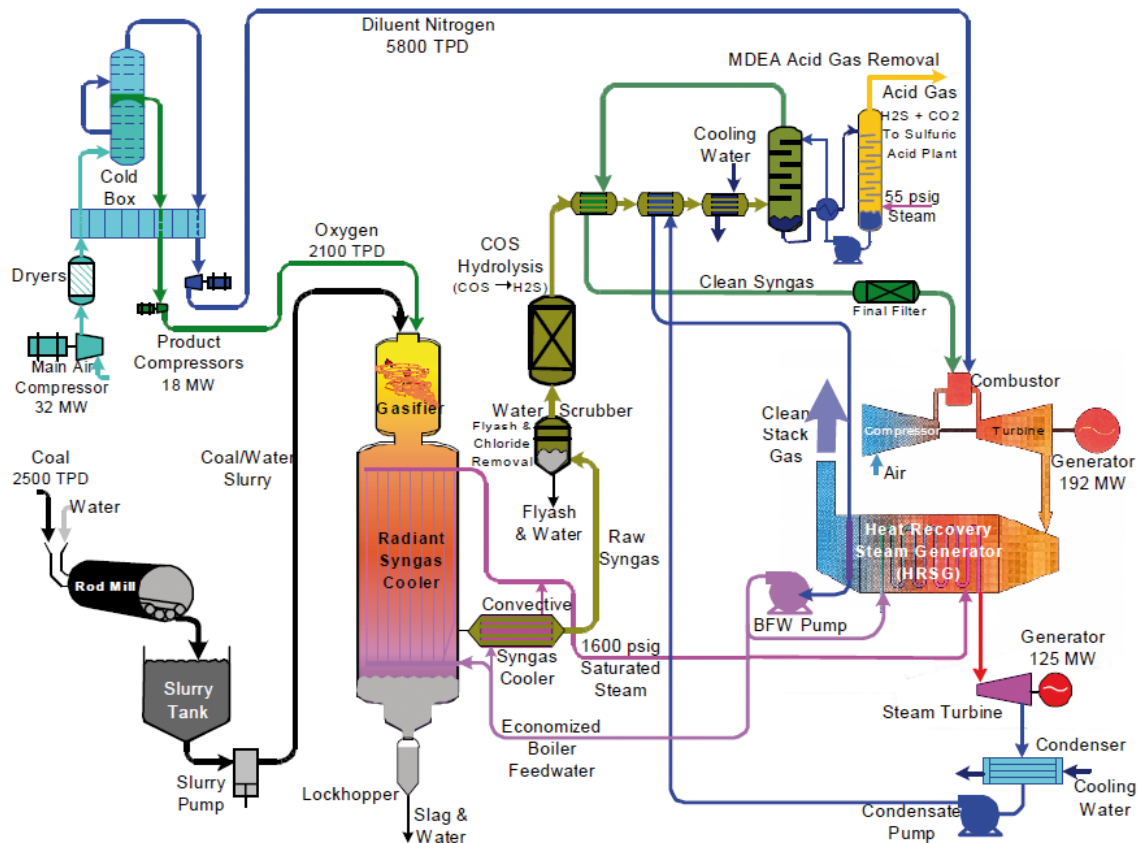
Instalacja Tampa Electric IGCC na Florydzie, USA, została wybudowana i obsługiwana przez Tampa Electric Company. Instalacja była częściowo finansowana w ramach programu Czystych Technologii

Węglowych DOE. Instalacja Tampa Electric składa się z trzech jednostek: z instalacji IGCC o mocy 250 MW oraz dwóch prostych obiegów turbiny gazowej o mocy 180 MW. Instalację uruchomiono w 1996 r. Dane techniczne instalacji Tampa Electric IGCC:

- turbina gazowa GE 7FA (GE MS7001FA) przystosowana do spalania syngazu i paliw destylowanych
- instalacja IGCC produkuje 200 ton 98% kwasu siarkowego
- zgazowanie tlenowe (czystość tlenu 95%)
- tlenownia ASU nie zintegrowana z instalacją IGCC
- sposób doprowadzenia węgla – mieszanka wodno-węglowa
- zużycie węgla 2200 t/dobę
- stopień konwersji węgla 95%
- temperatura w generatorze 1315–1430°C
- temperatura na wylocie z turbiny gazowej 570°C
- moc instalacji IGCC 192 MW (syngaz), 160 MW (paliwa destylowane).

Tablica 4
Skład gazu syntezowego wykorzystywanego w instalacji IGCC Tampa Electric [5]

Składnik gazu	Udział objętościowy, %	
	Węgiel	Koks naftowy
H ₂	37,95	34,04
CO	44,06	48,29
N ₂ + inne	2,38	3,08
Ar	0,88	1
CO ₂	14,73	13,61



Rys. 3. Schemat instalacji Tampa Electric IGCC [11]

Wabash River IGCC, Indiana, USA

Instalacja Wabash River IGCC została wybrana w 1991 r. przez DOE jako projekt demonstracyjny Czystych Technologii Węglowych i miała na celu zwiększenie wykorzystania węgla jako głównego źródła energii. Prace nad instalacją rozpoczęto w 1993 r. i trwały do 1995 r. Okres demonstracyjny trwał do grudnia 1999 r.

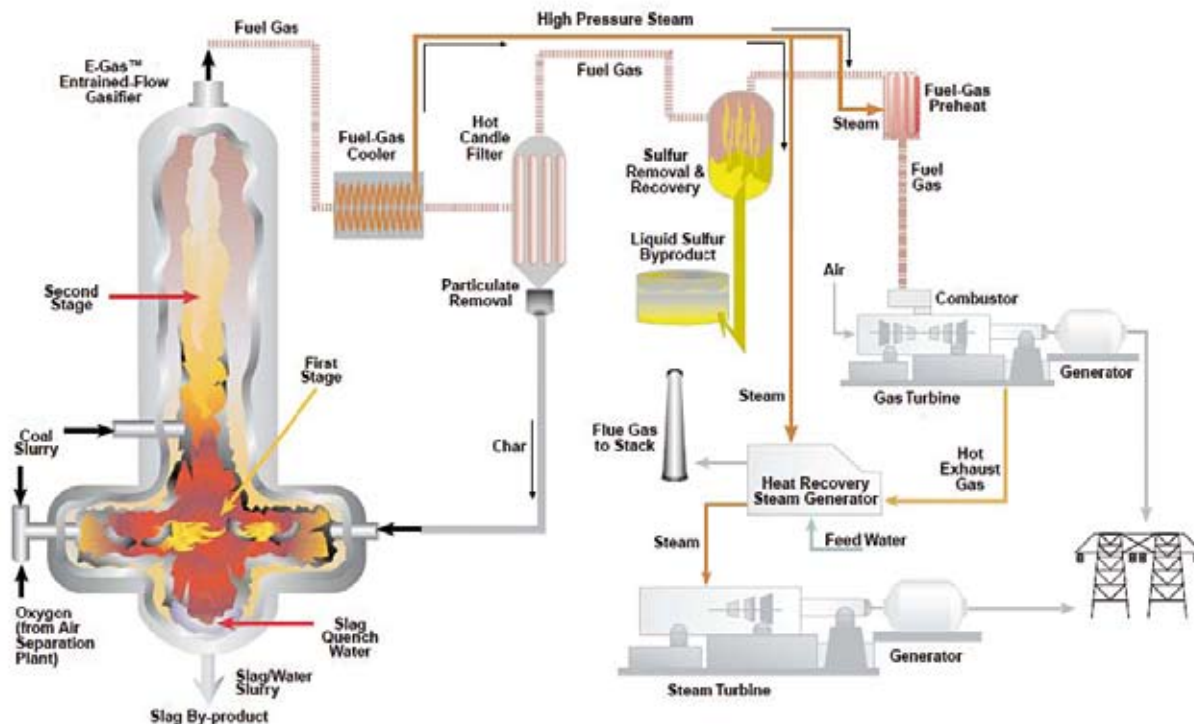
Instalacja Wabash River znajdująca się w stanie Indiana USA, ma moc elektryczną 262 MW, a sprawność instalacji wynosi 40%. Instalacja została zaprojektowana, specjalnie, aby wykorzystać lokalne zasoby węgla (przy spełnieniu warunku zawartości siarki <5,9%), niemniej jednak głównym paliwem był węgiel Illinois Basin oraz częściowo koks naftowy. Dane techniczne instalacji Wabash River IGCC:

- gazogenerator – typu E-gaz/Destec
- turbina gazowa General Electric MS 7001 FA (przy rozruchu stosowany jest olej)
- turbina parowa firmy Westinghouse
- generator pary HRSG (Heat Recovery Steam Generators) – Foster Wheeler
- zgazowanie tlenowe (czystość tlenu 95%)
- tlenownia ASU nie zintegrowana z instalacją IGCC
- – sposób doprowadzenia węgla – mieszanka wodno-węglowa
- – temperatura w generatorze 1038–1370°C
- – temperatura spalin na wylocie z turbiny gazowej 1222°C.

Tablica 5

Skład gazu syntezowego wykorzystywanego w instalacji IGCC Wabash River [5]

Składnik gazu	Udział objętościowy, %	
	Węgiel	Koks naftowy
H ₂	34,4	33,2
CO	45,3	48,6
N ₂	1,9	1,9
Ar	0,6	0,6
CO ₂	15,8	15,4
CH ₄	1,9	0,5



Rys.4. Schemat instalacji Wabash River IGCC [10]

Nakoso IGCC, Japonia

Instalacja Nakoso IGCC o mocy 250 MW położona w Japonii powstała jako projekt demonstracyjny, którego zadaniem było przeprowadzenie serii badań rozpoczętych w 2007 r. W planie jest budowa komercyjnej instalacji IGCC o podwojonej mocy w stosunku do projektu demonstracyjnego, która ma rozpocząć pracę najwcześniej w 2014 r.

W instalacji Nakoso IGCC proces zgazowania przebiega przy użyciu powietrza jako utleniacza. Niemniej jednak instalacja posiada moduł ASU, w której produkowany azot służy do transportu mieszanki paliwej do gazogeneratora. Moduł ten jest o 75–80% mniejszy w stosunku do typowych tlenowni ASU, wykorzystywanych przy zgazowaniu tlenowym (tlenownia taka zużywa ok. 10% mocy instalacji IGCC). Dane techniczne instalacji Nakoso IGCC:

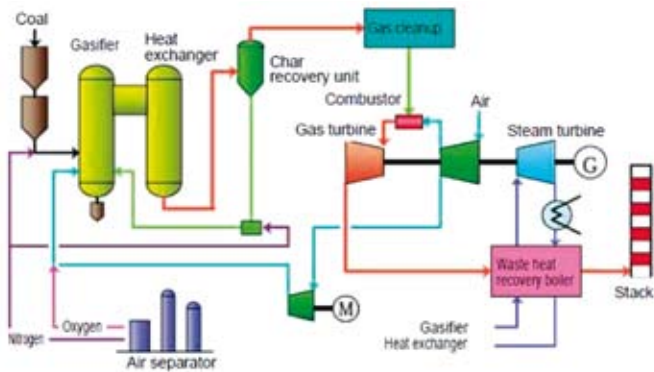
- turbina gazowa Mitsubishi M70IDA (przy rozruchu stosowana jest nafta)
- zgazowanie powietrzem wzbogaconym w tlen
- stosunek powietrze/węgiel w gazogeneratorze wynosi 72
- paliwo: sproszkowany węgiel
- żużel zawiera mniej niż 0,2% niespalonego węgla i jest praktycznie wolny od pierwiastków śladowych (może być wykorzystany przy produkcji materiałów brukowych i betonu kruszynowego)

- temperatura na wlocie do turbiny gazowej: 1200°C
- moc instalacji IGCC: 142 MW turbina gazowa, 110 MW turbina parowa
- sprawność netto instalacji 42%
- przy użyciu TG klasy F (M70IF) moc instalacji IGCC wynosiłaby 450 MW przy sprawności 45–46%
- przy użyciu TG klasy G dla komercyjnej instalacji IGCC szacuje się moc 650 MW przy sprawności 48–50%.

Tablica 6

Skład gazu syntezowego wykorzystywanego w instalacji IGCC Nakoso [5]

Składnik gazu	Udział objętościowy, %
H ₂	10,5
CO	30,5
N ₂ + others	55,5
CH ₄	0,07
CO ₂	2,8



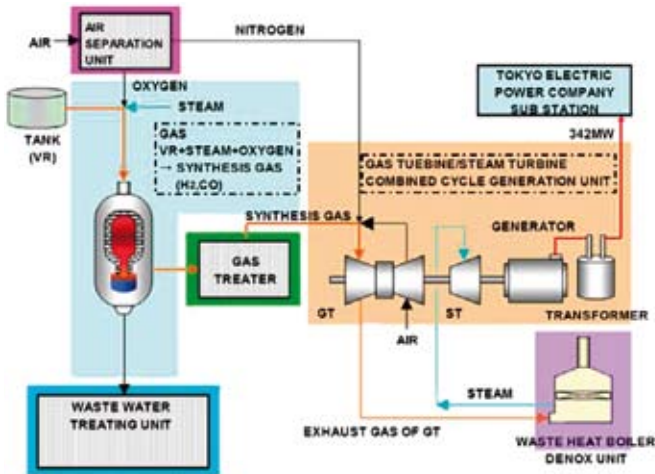
Rys. 5. Schemat instalacji Nakoso IGCC [12]

Negishi IGCC, Japonia

Pierwsza komercyjna instalacja IGCC w Japonii oddana do użytku w 2003 r., w której paliwem jest olej resztkowy.

Dane techniczne instalacji Negishi IGCC:

- turbina gazowa Mitsubishi 701F
- zgazowanie tlenowe
- instalacja ASU nie jest połączona z TG po stronie powietrza
- paliwo: asfalt
- stopień konwersji węgla 95%
- temperatura w generatorze: 1300°C
- ciśnienie w generatorze: 70 bar
- współczynnik odzysku siarki: 99,8%
- moc instalacji IGCC: 342 MW.



Rys. 6. Schemat instalacji Negishi IGCC [13]

Vresova IGCC, Czechy

Instalacja Vresova IGCC znajduje się w Czechach. Dane techniczne instalacji Vresova IGCC:

- turbina gazowa Frame 9E (9171E) (podstawowe paliwo – syngaz, rezerwowe – gaz ziemny)
- gazogenerator Lurgi ze złożem stałym + gazogenerator firmy Siemens (wykorzystuje smołę wyprodukowaną w gazogeneratorach Lurgi)
- zgazowanie tlenowe + para
- paliwo: węgiel brunatny
- ciśnienie w generatorze: 28 bar
- moc instalacji IGCC: 400 MW brutto
- sprawność instalacji IGCC: 50,5% (bez ciepła grzewczego)

Podsumowanie

Przedstawione w Tabelcy 7 dane techniczne układów gazowo-paryowych IGCC zasilanych gazem z procesów zgazowania węgla wykazują stosunkowo wysokie sprawności wytwarzania energii elektrycznej (42 – 50%) w zależności od rodzaju zgazowywanego paliwa i mocy zastosowanej turbiny gazowej. Biorąc pod uwagę stopień odsiarczenia spalin oraz wysokie sprawności termiczne, a także wynikający ze skła-

du gazu procesowego wynikowy skład spalin, umożliwiając dość łatwe ewentualne wychwycenie dwutlenku węgla, przedstawione instalacje mają duży potencjał zastosowania. Bardzo wysoka sprawność instalacji IGCC z instalacjami zgazowania węgla kamiennych i węgla brunatnego wytycza kierunek dla budowy podobnych instalacji w Polsce, i zastępowania wyeksploatowanych już elektrowni zawodowych.

Tabela 7

Zestawienie charakterystycznych danych instalacji IGCC [5]

Wyszczególnienie	Bugge-num	Puertolano	Wabash River	Polk Power	Nakoso	Negishi	Vresova
Właściciel	NUON	ELCO-GAS	Cinergy/Conoco Philips	Tampa Electric	Clean Coal Power R&D Co.	Nippon Petroleum Refining Co.	Sokolovská Uhelná
Lokalizacja	Holandia	Hiszpania	Indiana, U.S.A	Floryda, U.S.A	Japonia	Japonia	Czechy
Gazogenerator	Shell	Prentflo	Conoco Philips	GE Energy-Chevron Texaco	Pilot Plant	GE Energy-Chevron Texaco	Lurgi-&FE
Turbina gazowa	Siemens V94.2	Siemens V94.2	GE MS7001FA	GE MS7001FA	Mitsubishi M701DA	Mitsubishi M701F	GE 9E
Paliwo	Węgiel	Węgiel/koks naftowy	Węgiel/koks naftowy	Węgiel/koks naftowy	Sproszkowany węgiel	Pozostałości rafinerijne (asfalt)	Węgiel brunatny
Moc MW	253	300	262	250	250	342	400
Sprawność netto (Wd), %	43,2	45	-	-	42,5	-	50,5
Sprawność netto (Qsp), %	41,4	41,5	39,7	37,5	40,5	46	-
Moc turbiny gazowej MW	168	200	171	171	130	270	-
Temperatura przed wlotem do turbiny gazowej, °C	1100	1120	-	-	1200	1350	-
Odzysk siarki, %	99	99	99	98	-	99,8	-

Tabela 8

Skład gazu surowego z różnych gazogeneratorów [6]

Rodzaj technologii	Skład gazu surowego, % vol (suchy)								
	CO	H ₂	CH ₄	N ₂	CO ₂	H ₂ S+COS	NH ₃	CnHm	H ₂ /CO (obj.)
Lurgi/BG – ciekłe odprowadzenie żużla Rodzaj węgla: Illinois 6	54,96	31,54	4,54	3,35	3,46	1,31	0,36	0,48	0,574
Lurgi/BC – suche odprowadzenie popiołu	15,18	42,15	8,64	0,68	30,89	1,31	0,36	0,79	2,78
WIKLER/HTW Rodzaj węgla: niemiecki węgiel brunatny	40,3	31,8	3,7	0,9 (N ₂ +Ar)	23,3 (CO ₂ +H ₂ S)	COS 20 mg/m ³	< 5 mg/m ³	< 20 mg/m ³	0,789
Stell (podobnie PRENFLO) Illinois 6	61,6	30,6	śląd	4,8 (N ₂ +Ar)	1,7	1,3	-	-	0,497
TEXACO, Illinois 6	49,28	35,82	0,36	1,32 (N ₂ +Ar)	12,26	0,96	-	-	0,729
DOW (węgiel kamienny, C-74,49,m.a.f, udział masyowy)	38,46	41,35	0,11	1,48 (N ₂ +Ar)	18,46	0,14	-	-	1,075
DOW (węgiel brunatny, C-73,m.a.f, udział masyowy)	33,74	38,82	0,04	1,82 (N ₂ +Ar)	25,28	0,2	-	-	1,151

Układy gazowo-parowe zintegrowane ze zgazowaniem paliwa (będące w eksploatacji, budowie i projektowaniu) [7]

Nazwa instalacji	Rok uruchomienia (podjęcia prac)	Reaktor zgazowania	Paliwo	Moc (MW)	Sprawność netto (do W_d lub Q_{sp})	Status
DEMCOLEC Buggenum/Holandia	1993	SHELL	węgiel	253	43,2	w eksploatacji
ELCOGAS Puertollano/Hiszpania	1997	PRENFLO	węgiel + koks naftowy	300	45,0	w eksploatacji
PSI, Wabash River Indiana/USA	1995	DESTEC	węgiel	265	39,2 (Q_{sp})	w eksploatacji
Tampa Electric, Polk City, Florida/USA	1996	TEXACO	węgiel	250	38,8	w eksploatacji
Sierra Pacific Pinon Pine, Nevada/USA	1996	KRW	węgiel	100	42	w eksploatacji
RWE Kobra Hurth, Niemcy	2000	HTW	węgiel brunatny	300	45 47	projekt
SARLUX, Sardynia/Włochy	1999	TEXACO	smoła	446 MW + H_2 + Para	Bez danych	w budowie
API Energa, Falconara, Włochy	1999	TEXACO	odpady paraf.	234 + Para	40,5	w budowie
STEAG Kellerman Lunen/Niemcy	1969	BG/L	węgiel	170	31,7	zakończona eksploatacja
Cool Water/USA	1986	TEXACO	węgiel	93	31,2 (Q_{sp})	zakończona eksploatacja
LGTI Plaquemine Louisiana/USA	1987	DOW	węgiel	160	36,0 (Q_{sp})	zakończona eksploatacja
CWL&P Springfield Illinois/USA	1996	CE	węgiel	60 (Retrofit)	38,0 (Q_{sp})	projekt
Camden New Jersey/USA	1999	BG/L	węgiel	480 (retrofit)	Bez danych	project
Japonia	1997	Mitsubishi	węgiel	370	>45	projekt
TVA Tennessee/USA	1998	TEXACO	węgiel	350 MW + nawóz	Brak danych	projekt
Tamco Toms Creek Virginia/USA	1999	U-gas	węgiel	70	42,5	projekt
ISAB SpA Sycylia, Włochy	1997	TEXACO	asphalt	500 MW + H_2 + Para	Bez danych	w budowie
Delaware City Dekaware/USA	1998	TEXACO	koks naftowy	250	Bez danych	projekt

W_d – wartość opałowa, MJ/kg
 Q_{sp} – ciepło spalania, MJ/kg

Artykuł powstał w wyniku realizacji zadania pt.: „Opracowanie technologii zgazowania węgla dla wysokoefektywnej produkcji paliw i energii elektrycznej” finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach strategicznego programu badań naukowych i prac rozwojowych pt.: „Zaawansowane technologie pozyskiwania energii”

Literatura

- Ściążko M.: *Teraźniejszość i przyszłość zgazowania węgla*. Rurociągi 2001, nr 01/02.
- Rakowski J.: *Pierwsze doświadczenia z blokami gazowo-parowymi na gaz z węgla*. Energetyka 1998, 7, 282-290.
- Kehlhofer, R.H., Warner, J., Nielsen, H., Bachman, R.: *Combined Cycle Gas & Steam Turbine Power stations*. 2nd Edition Pennwell Publishing, Tulsa, Oklahoma, 1999.
- de Graaf J. D.: *Shell Coal Gasification Technology*. Available online: http://w3.wtb.tue.nl/fileadmin/wtb/ct-pdfs/Energy_from_Biomas/Lecture_2011_gastcollege_Shall.pdf (accessed on 6 June 2012)
- State of the art IGCC power stations*. Document ISV/TMC/10.002. Ansaldo Energia 2010.
- Kotowicz J.: *Układy gazowo-parowe zintegrowane ze zgazowaniem węgla*. Rynek Energii 2008, nr 3.
- Chmielniak T.: *Technologie energetyczne*. WNT Warszawa, 2008.
- Méndez-Vigo I., Pisa J., Cortés J., Schellberg W., Karg J.: *The Puertollano IGCC plant: Status update*. EPRI/GTC Gasification Technologies Conference 1998 - San Francisco, CA, USA.
- Hannemann F., Schiffers U., Karg J., Kanaar M.: *Buggenum Experience and Improved Concepts for Syngas Applications*. Presentation dated 28.10.2002. V94.2.
- DOE - Clean Coal Technology. *The Wabash River Coal Gasification Repowering Project*. An update Topical report number 20. 2001.
- Tampa Electric Polk Power Station Integrated Gasification Combined Cycle Project. Final Technical Report. Work Performed Under Cooperative Agreement DE-FC-21-91MC27363 for The US Department of Energy. Tampa Electric Company (TECO), 2002.
- Low Emission Gas Turbine Technology for Hydrogen - rich Syngas*. IGCC State of the art report a part of EU-FP7 H2-IGCC Sub Project 4. Department of Mech.&Structural Eng.&Material Science. University of Stavanger. Norway, April 2010.
- Nippon Oil Corporation, www.eneos.co.jp 2013.

Mgr inż. Agnieszka LEŚNIAK – absolwentka wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Śląskiej (2009) - magister inżynier inżynierii środowiska. Obecne zainteresowania naukowe koncentrują się na zagadnieniach związanych z czystymi technologiami energetycznymi. Pracownik Laboratorium Efektywnego wytwarzania i użytkowania energii w Głównym Instytucie Górniczym w Katowicach.

*Mgr inż. Marek BIENIECKI absolwent wydziału Mechanicznego – Energetycznego Politechniki Śląskiej w Gliwicach (1989) - magister inżynier mechanik w specjalności: ciepłe systemy energetyczne. Aktualne zainteresowania koncentrują się na czystych technologiach wytwarzania oraz efektywnych energetycznie technologiach użytkowania energii. Kierownik Laboratorium Efektywnego Wytwarzania i Użytkowania Energii w Głównym Instytucie Górniczym w Katowicach