

**Ocena stanu aktualnego
i perspektyw rozwoju czystych
technologii węglowych możliwych
do zastosowania w siłowniach
energetycznych w Polsce wraz
z opracowaniem charakterystyk
techniczno- ekonomicznych**

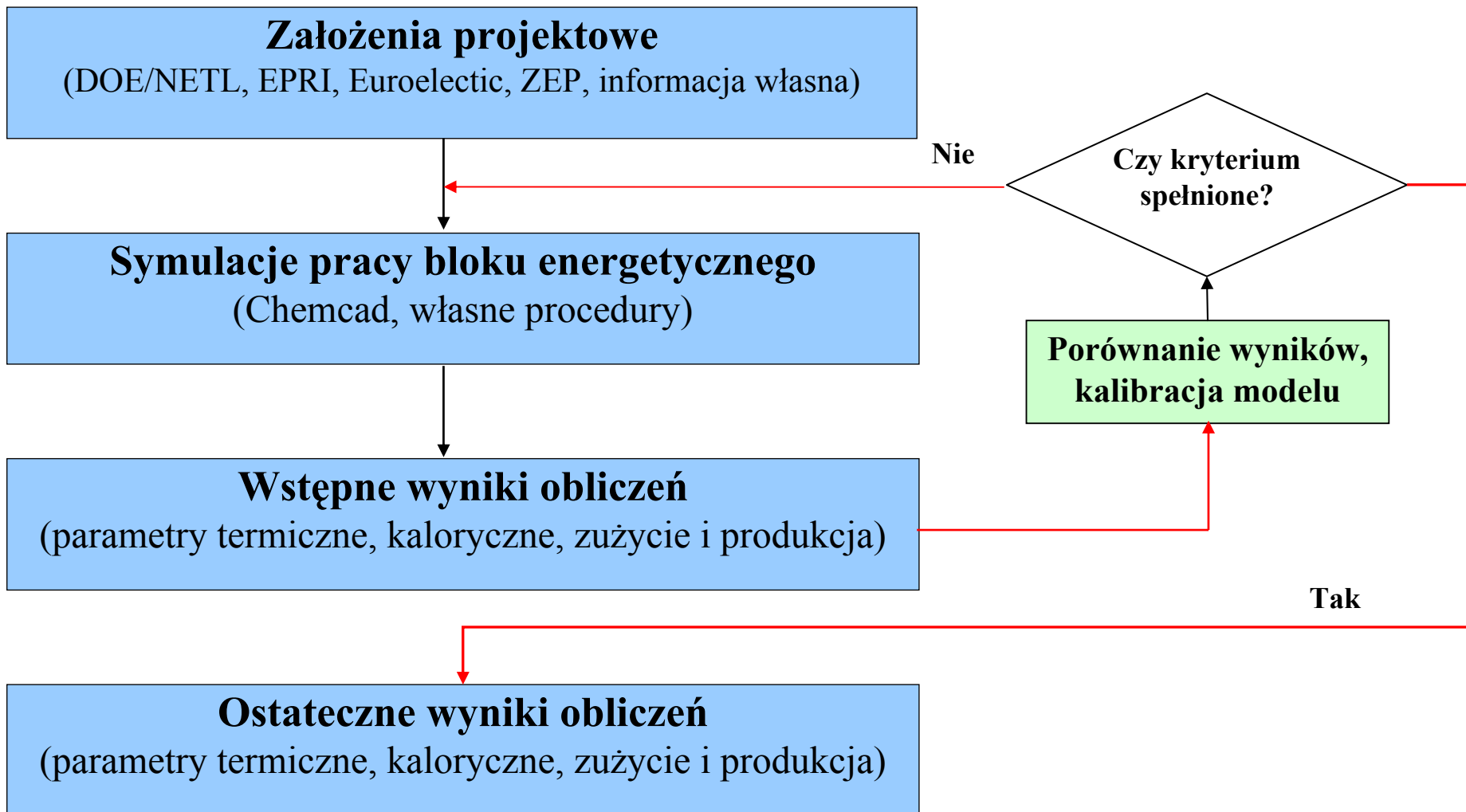
RAPORT KOŃCOWY

Warszawa 2008-06-30

Plan prezentacji

- **Metodologia analizy**
- **Lista analizowanych obiektów**
- **Charakterystyka technologii**
 1. **PC – opis technologii**
 2. **IGCC – opis technologii**
 3. **Elektrownia ze spalaniem tlenowym – opis technologii**
 4. **Elektrownia z poligeneracją – opis technologii**
- **Zestawienie nakładów inwestycyjnych**
- **Zestawienie kosztów eksploatacyjnych**
- **Podsumowanie**

Metodyka obliczeń



Stan odniesienia rozwoju technologii

- **Elektrownia na parametry nadkrytyczne (powietrze) – 2010 r.**
- **Elektrownia parowo-gazowa – 2020 r.**
- **Elektrownia z oxyspalaniem – 2025 r.**

Elektrownia z kotłami pyłowymi – przewidywany stan rozwoju technicznego

Typ	Nazwa technologii	Lata	Konfiguracja		Sprawność brutto (%)	Sprawność netto (%)	Jedn. nakł. inwest.* (\$/kW _e)
			Temp.pary (°C)	Moc brutto (MW _e)			
WK bez CCS	Elektrownia na parametry nadkrytyczne bez usuwania, transportu i składowania CO ₂	2005	600	400	46	43	1800
		2010	600	800	46	43	1800
		2015	720	1000	51	46	2000
		2020	720	1000	51	46	2000
		2025	720	1000	51	46	2000
		2030	720	1000	52	47	2100
WK z CCS	Elektrownia na parametry nadkrytyczne z usuwaniem, transportem i składowaniem CO ₂	2005	-	-	-	-	-
		2010	600	800	34	28	3100
		2015	720	1000	39	33	3200
		2020	720	1000	42	36	3200
		2025	720	1000	42	36	3200
		2030	720	1000	43	37	3300
WB bez CCS	Elektrownia na parametry nadkrytyczne bez usuwania, transportu i składowania CO ₂	2005	600	400	45	41	1900
		2010	600	800	45	41	1900
		2015	720	1000	50	45	2100
		2020	720	1000	50	45	2100
		2025	720	1000	51	45	2100
		2030	720	1000	51	45	2100
WB z CCS	Elektrownia na parametry nadkrytyczne z usuwaniem, transportem i składowaniem CO ₂	2005	-	-	-	-	-
		2010	600	800	33	27	3300
		2015	720	1000	38	32	3400
		2020	720	1000	40	35	3400
		2025	720	1000	41	35	3400
		2030	720	1000	41	35	3400
Oxyspalanie WK z CCS	Elektrownia z kotłem w technologii spalania tlenowego z usuwaniem, transportem i składowaniem CO ₂	2005	-	-	-	-	-
		2010	-	-	-	-	-
		2015	-	-	-	-	-
		2020	-	-	-	-	-
		2025	600	800	41	29	3400
		2030	600	800	41	29	3400
Oxyspalanie WB z CCS	Elektrownia z kotłem w technologii spalania tlenowego z usuwaniem, transportem i składowaniem CO ₂	2005	-	-	-	-	-
		2010	-	-	-	-	-
		2015	-	-	-	-	-
		2020	-	-	-	-	-
		2025	600	800	40	28	3600
		2030	600	800	40	28	3600

Elektrownia parowo-gazowa IGCC – przewidywany stan rozwoju technicznego

Typ	Nazwa technologii	Lata	Konfiguracja			Sprawność brutto (%)	Sprawność netto (%)	Jedn. nakł. inwest.* (\$/kW _e)
			Moc brutto (MW _e)	Reaktory zgazowania Sztuk	Turbiny Sztuk			
WK bez CCS	Elektrownia na gaz ze zgazowania węgla bez usuwania, transportu i składowania CO ₂	2005						
		2010	280	1	1gazowa, 1parowa	47	42	2500
		2015	750	2	2 gazowe, 1parowa	50	42	2100
		2020	750	2	2 gazowe, 1parowa	52	44	2000
		2025	750	1	1gazowa, 1parowa	50	46	2000
		2030	750	1	1gazowa, 1parowa	50	46	2000
WK z CCS	Elektrownia na gaz ze zgazowania węgla z usuwaniem, transportem i składowaniem CO ₂	2005	-	-	-	-	-	-
		2010	-	-	-	-	-	-
		2015	690	2	2 gazowe, 1parowa	44	32	3200
		2020	690	2	2 gazowe, 1parowa	46	34	3000
		2025	690	1	1gazowa, 1parowa	45	38	2600
		2030	690	1	1gazowa, 1parowa	45	38	2600
WB bez CCS	Elektrownia na gaz ze zgazowania węgla bez usuwania, transportu i składowania CO ₂	2005						
		2010	280	2	1gazowa, 1parowa	44	39	2700
		2015	750	2	2 gazowe, 1parowa	46	39	2300
		2020	750	2	2 gazowe, 1parowa	48	40	2100
		2025	750	1	1gazowa, 1parowa	47	43	2100
		2030	750	1	1gazowa, 1parowa	47	43	2100
WB z CCS	Elektrownia na gaz ze zgazowania węgla z usuwaniem, transportem i składowaniem CO ₂	2005	-	-	-	-	-	-
		2010	-	-	-	-	-	-
		2015	690	2	2 gazowe, 1,parowa	41	30	3400
		2020	690	2	2 gazowe, 1parowa	43	31	3200
		2025	690	1	1gazowa, 1parowa	42	35	2800
		2030	690	1	1gazowa, 1parowa	42	35	2800
Elektrownia z poligeneracją	Produkcja energii elektrycznej i wodoru	2025	350	2	1gazowa, 1parowa	-	-	-

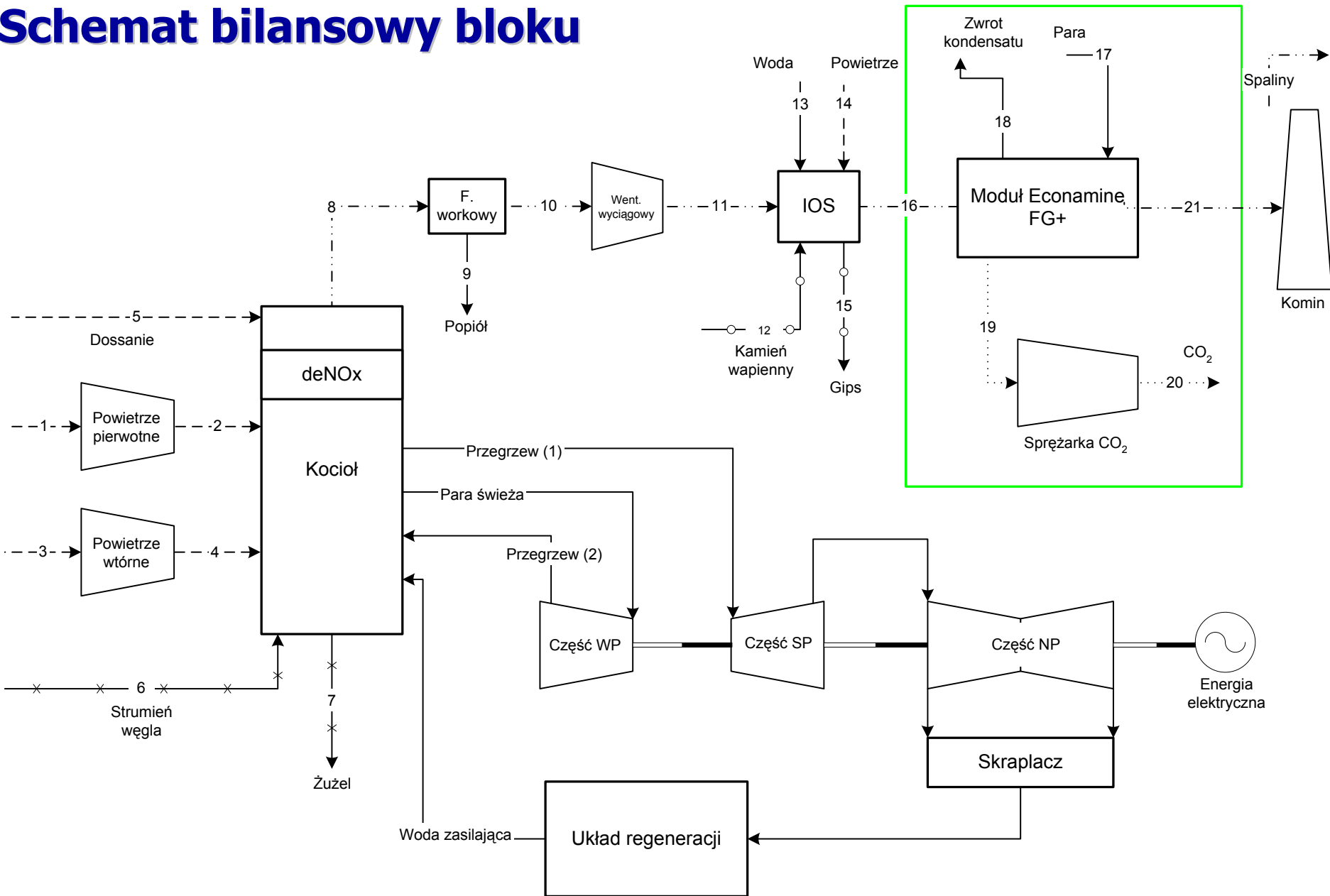
Parametry paliwa modelowego

Parametr	Węgiel kamienny	Węgiel brunatny
Wartość opałowa, MJ/kg	21,285	11,526
Zawartość siarki, %	1,0	0,38
Zawartość azotu, %	1,18	0,53
Zawartość wodoru, %	3,26	2,48
Zawartość tlenu, %	7,7	8,05
Zawartość popiołu, %	19,73	6,27
Zawartość węgla, %	55,81	32,31
Zawartość wilgoci, %	11,32	50,0

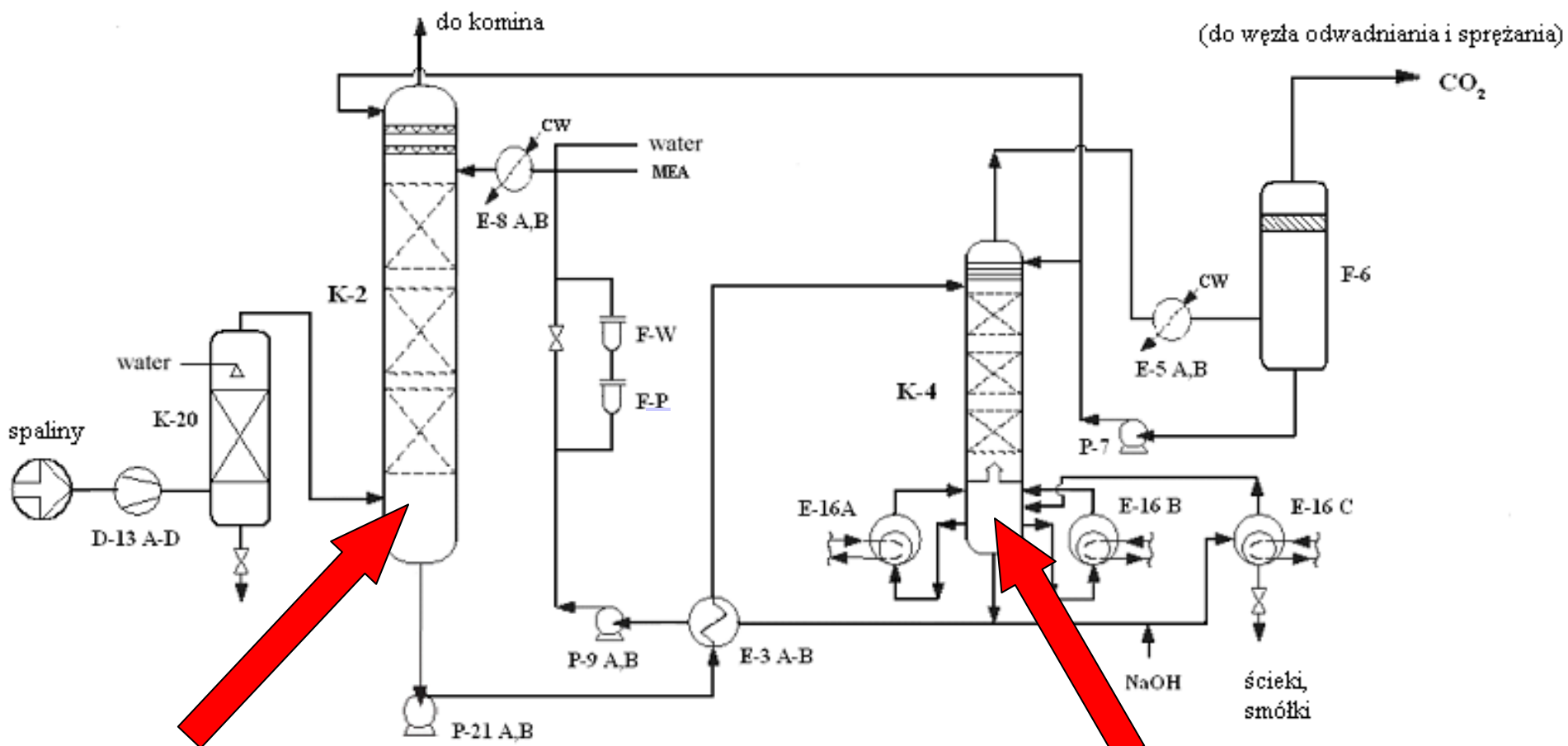
PC - opis technologii

- ❑ Podstawowa jednostka elektrowni: kocioł pyłowy, trójstopniowy turbozespół parowy, przegrzew pary,
- ❑ Sprawność energetyczna kotła: 92% (węgiel kamienny), 90% (węgiel brunatny),
- ❑ Parametry pary świeżej zapewniające warunki nadkrytyczne,
- ❑ Kocioł wyposażony będzie w niskoemisyjne palniki naścienne oraz dysze OFA dla ograniczenia emisji NO_x metodą pierwotną,
- ❑ Chłodzenie wodą w obiegu zamkniętym (chłodnie kominowe),
- ❑ Kocioł wyposażony będzie w następujące instalacje oczyszczania spalin:
 - instalację odazotowania DeNO_x typu katalitycznego SCR (dwa reaktory, sprawność odazotowania: 86%),
 - instalację odpylania (dwa filtry workowe - sprawność odpylania 99,8%),
 - instalację odsiarczania spalin DeSO_x (metoda mokra wapienna z produkcją gipsu, sprawność 98%),
 - wariantowo, blok energetyczny wyposażony będzie ponadto w instalację usuwania (sprawność $\text{deCO}_2=90\%$, metoda aminowa Fluor Econamine FG Plus) i sprężania CO_2 ;
W latach 2015-2030 można spodziewać się zastosowania metody membranowej i tzw. technologii „chilled ammonia” (inne parametry pracy i koszty – co uwzględniono),
- ❑ Moc zainstalowana ok. 800 MW.

Schemat bilansowy bloku



Schemat instalacji usuwania CO₂ przy użyciu MEA



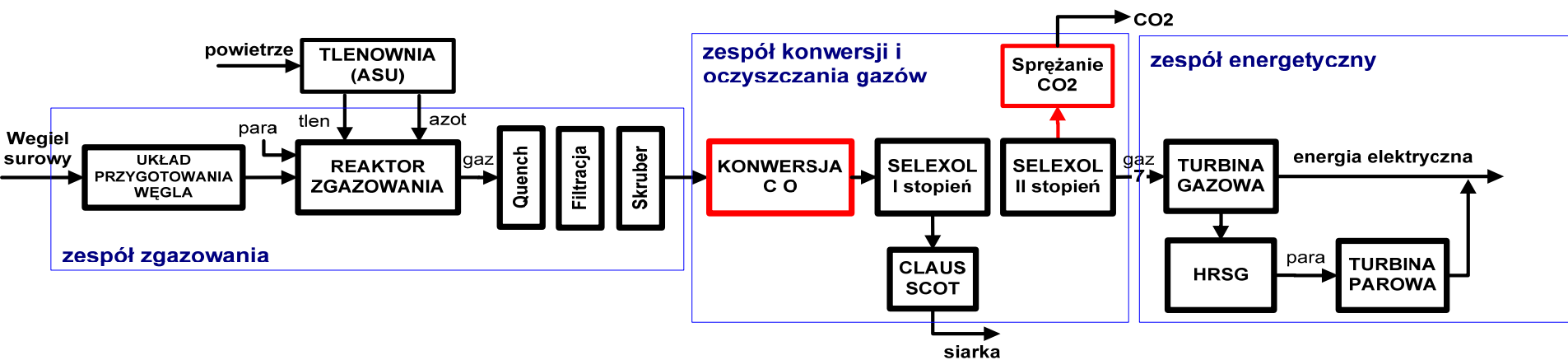
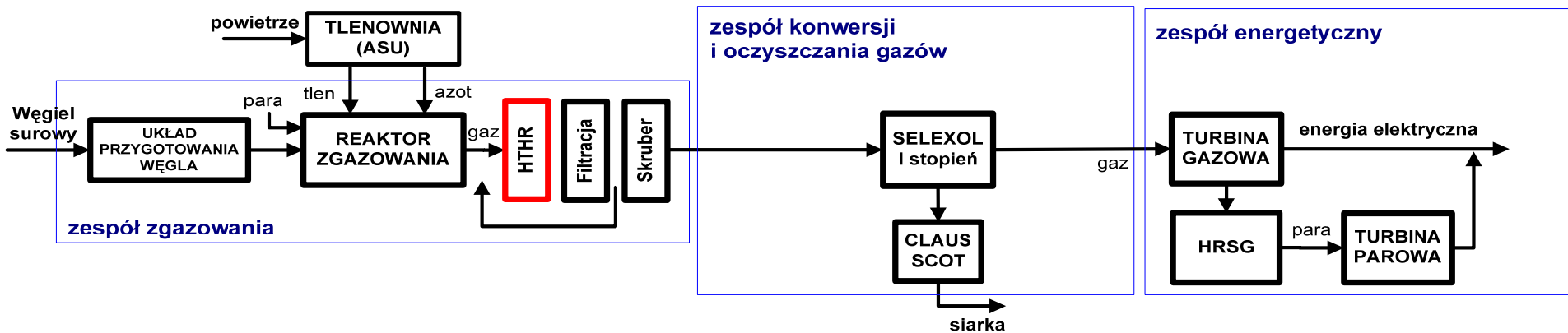
Chemiczna absorpcja CO₂

Termiczna desorpcja CO₂

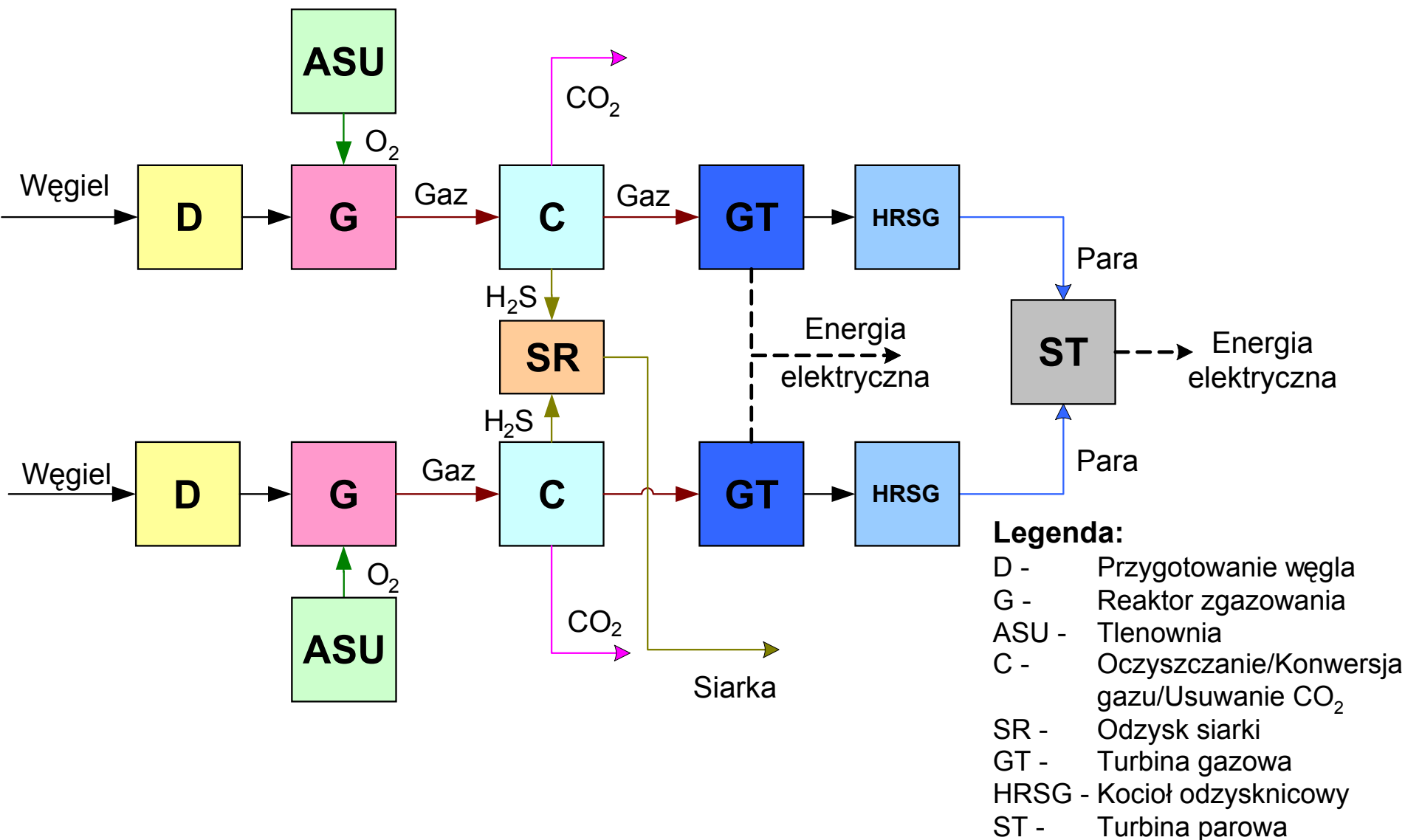
IGCC – opis technologii

- ❑ Zgazowanie: reaktor dyspersyjny z suchym doprowadzeniem paliwa,
- ❑ Dyspozycyjność układu: 85%,
- ❑ Układ wytwarzania tlenu: separacja kriogeniczna (95%v O₂)
- ❑ Układ przygotowania paliwa: suszenie (5% węgiel kamienny/8% węgiel brunatny),
- ❑ Układ oczyszczania gazu:
 - Odpylanie: cyklon/filtr ceramiczny/scruber,
 - Odsiarczanie: technologia Selexol (I stopień; sprawność 99,7%),
 - Odzysk siarki: technologia Claus/Scot,
- ❑ Układ usuwania CO₂:
 - Konwersja CO parą wodną (układ dwustopniowy/ stopień konwersji CO 97%),
 - Usuwanie CO₂ - technologia Selexol (II stopień; sprawność 95%),
- ❑ Układ generacji energii: układ kombinowany turbina gazowa/turbina parowa),
- ❑ Moc zainstalowana ok. 700 MW.

Schemat bilansowy IGCC bez i z usuwaniem CO₂



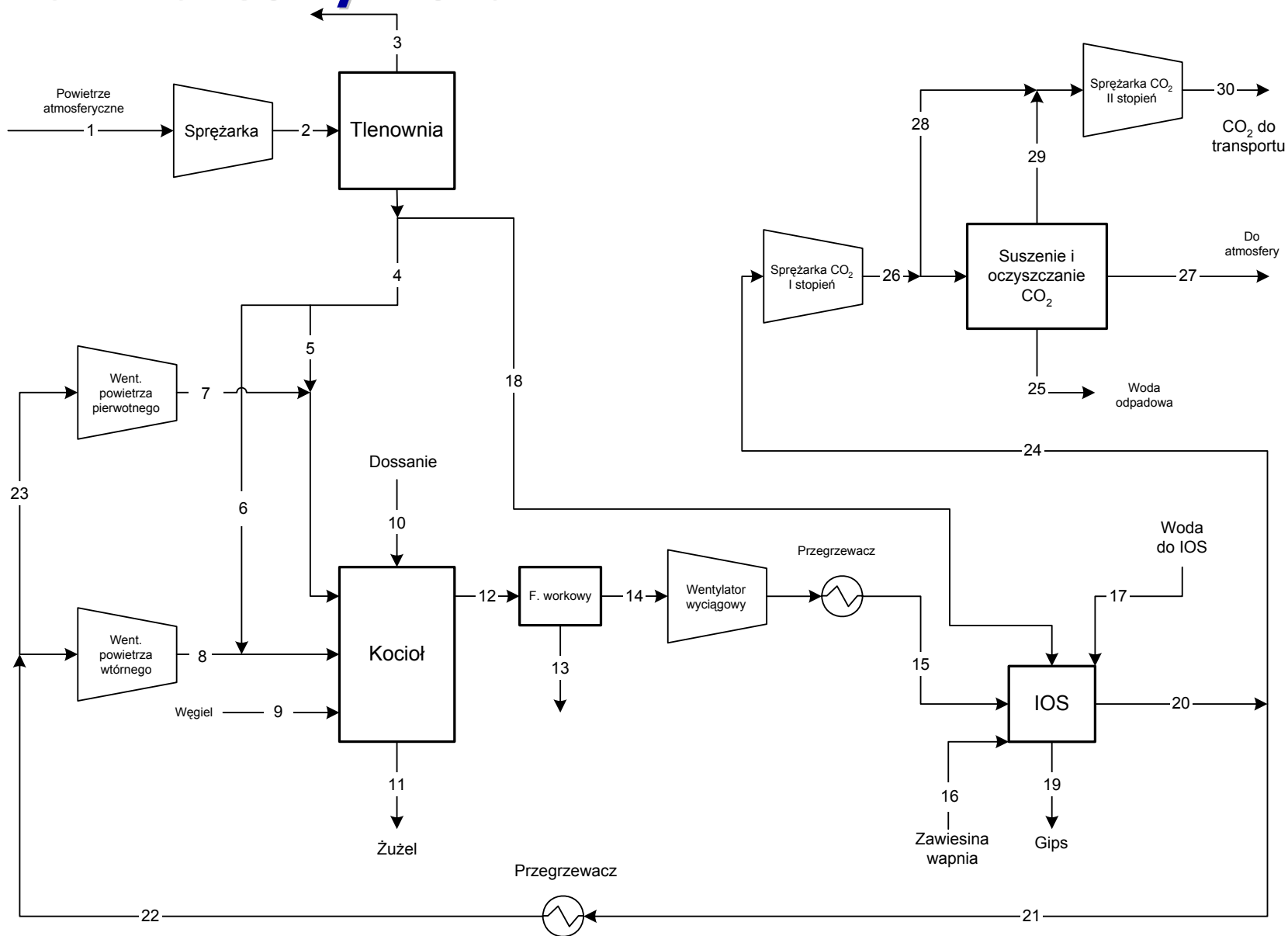
Schemat technologiczny IGCC



Elektrownia z blokiem pracującym w technologii spalania tlenowego - opis technologii

- ❑ Podstawowa jednostka elektrowni: kocioł pyłowy przystosowany do spalania tlenowego, trójstopniowy turbozespół parowy, przegrzew pary,
- ❑ Sprawność energetyczna kotła: 92% (węgiel kamienny), 90% (węgiel brunatny),
- ❑ Parametry pary świeżej zapewniające warunki nadkrytyczne,
- ❑ Tlen o czystości 95 % dostarczany będzie z tlenowni wykorzystującej metodę kriogenicznego rozdziału powietrza,
- ❑ Kocioł wyposażony będzie w niskoemisyjne palniki naścienne oraz dysze OFA dla ograniczenia emisji NO_x metodą pierwotną,
- ❑ Chłodzenie wodą w obiegu zamkniętym (chłodnie kominowe),
- ❑ Kocioł wyposażony będzie w następujące instalacje oczyszczania spalin:
 - instalację odazotowania DeNO_x typu katalitycznego SCR (dwa reaktory, sprawność odazotowania: 86%),
 - instalację odpylania (dwa filtry workowe - sprawność odpylania 99,8%),
 - instalację odsiarczania spalin DeSO_x (metoda mokra wapienna z produkcją gipsu, sprawność 98%),
 - instalację usuwania (sprawność $\text{deCO}_2=90\%$, metoda aminowa Fluor Econamine FG Plus) i sprężania CO_2 ;
- ❑ **Moc zainstalowana ok. 800 MW.**

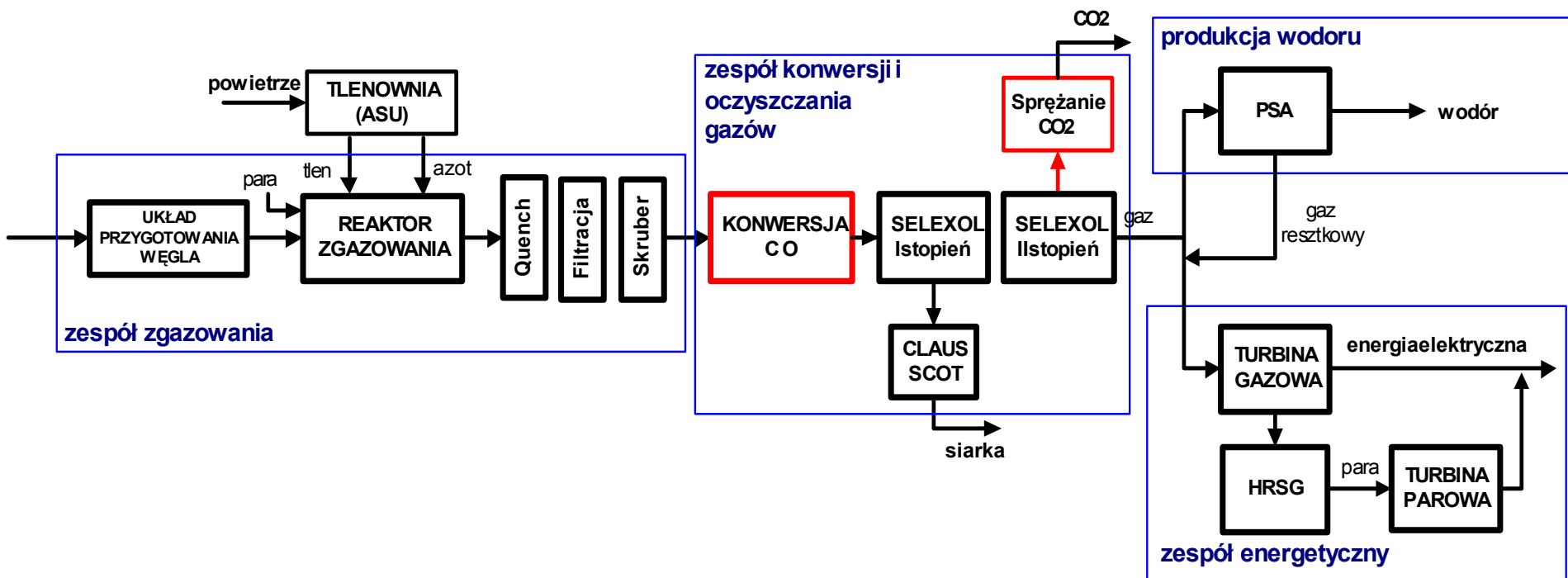
Schemat bilansowy bloku



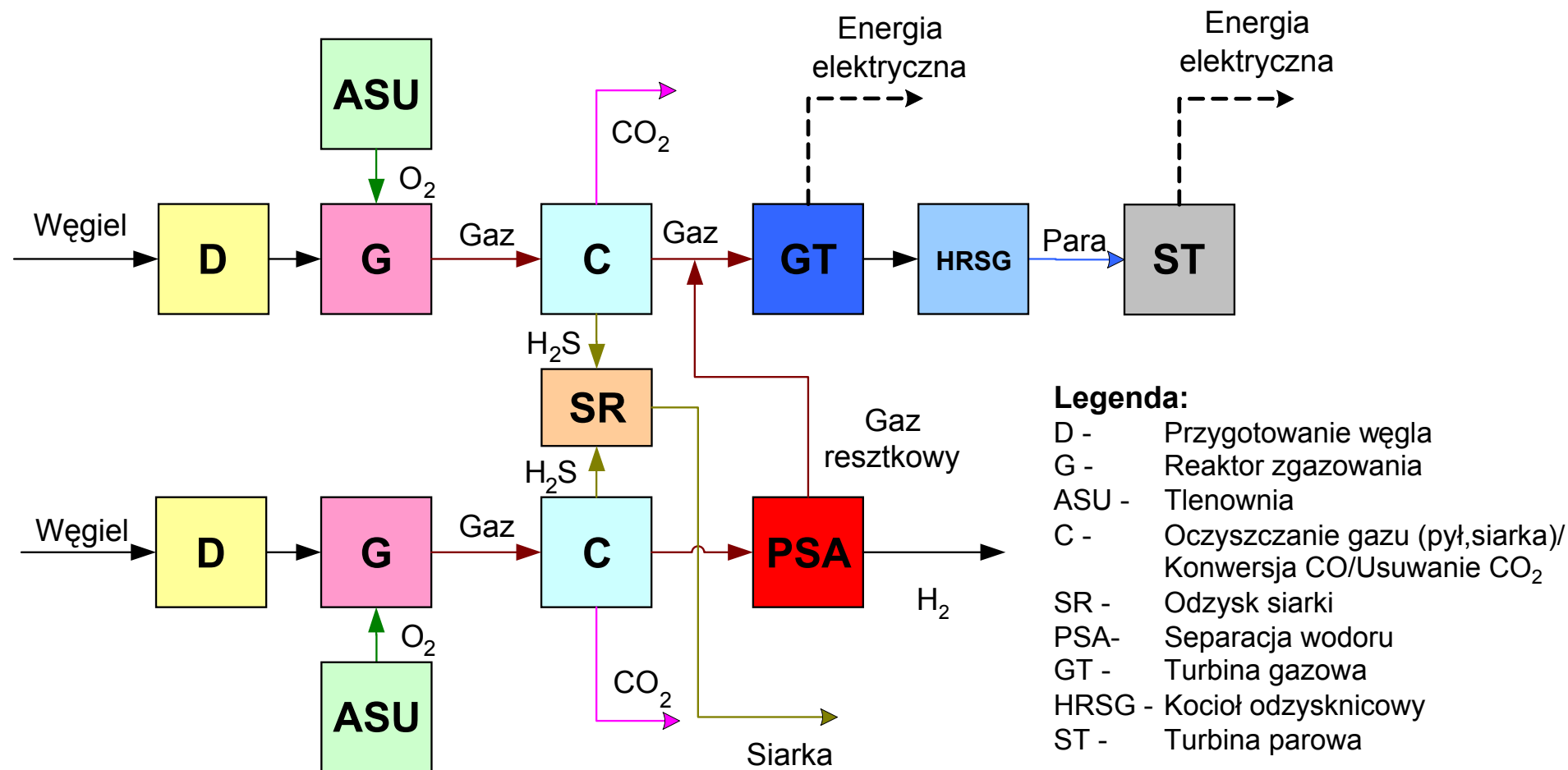
Elektrownia z poligeneracją – opis technologii

- ❑ Zgazowanie: reaktor dyspersyjny z suchym doprowadzeniem paliwa,
- ❑ Dyspozycyjność układu: 85%,
- ❑ Układ wytwarzania tlenu: separacja kriogeniczna (95%v O₂)
- ❑ Układ przygotowania paliwa: suszenie (5% węgiel kamienny/8% węgiel brunatny),
- ❑ Układ oczyszczania gazu:
 - Odpylanie: cyklon/filtr ceramiczny/scruber,
 - Odsiarczanie: technologia Selexol (I stopień; sprawność 99,7%),
 - Odzysk siarki: technologia Claus/Scot,
- ❑ Układ usuwania CO₂:
 - Konwersja CO parą wodną (układ dwustopniowy/ stopień konwersji CO 97%),
 - Usuwanie CO₂ - technologia Selexol (II stopień; sprawność 95%),
- ❑ Separacja wodoru: instalacja PSA o skuteczności 85 %,
- ❑ Układ generacji energii: układ kombinowany turbina gazowa/turbina parowa),
- ❑ Moc zainstalowana ok. 350 MW.

Schemat poligeneracji z usuwaniem CO₂



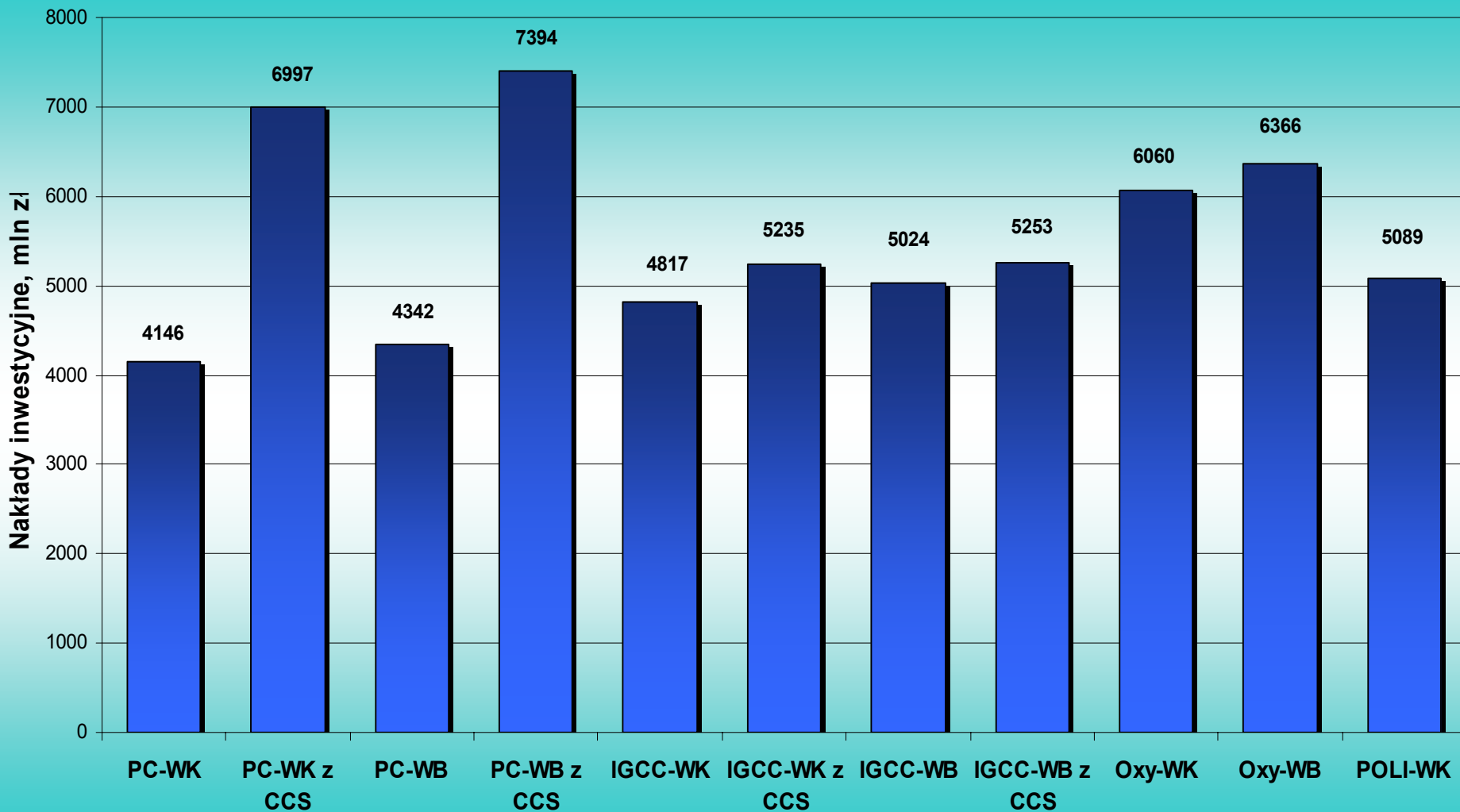
Schemat technologiczny IGCC



Estymacja kosztów - podstawowe dane i założenia

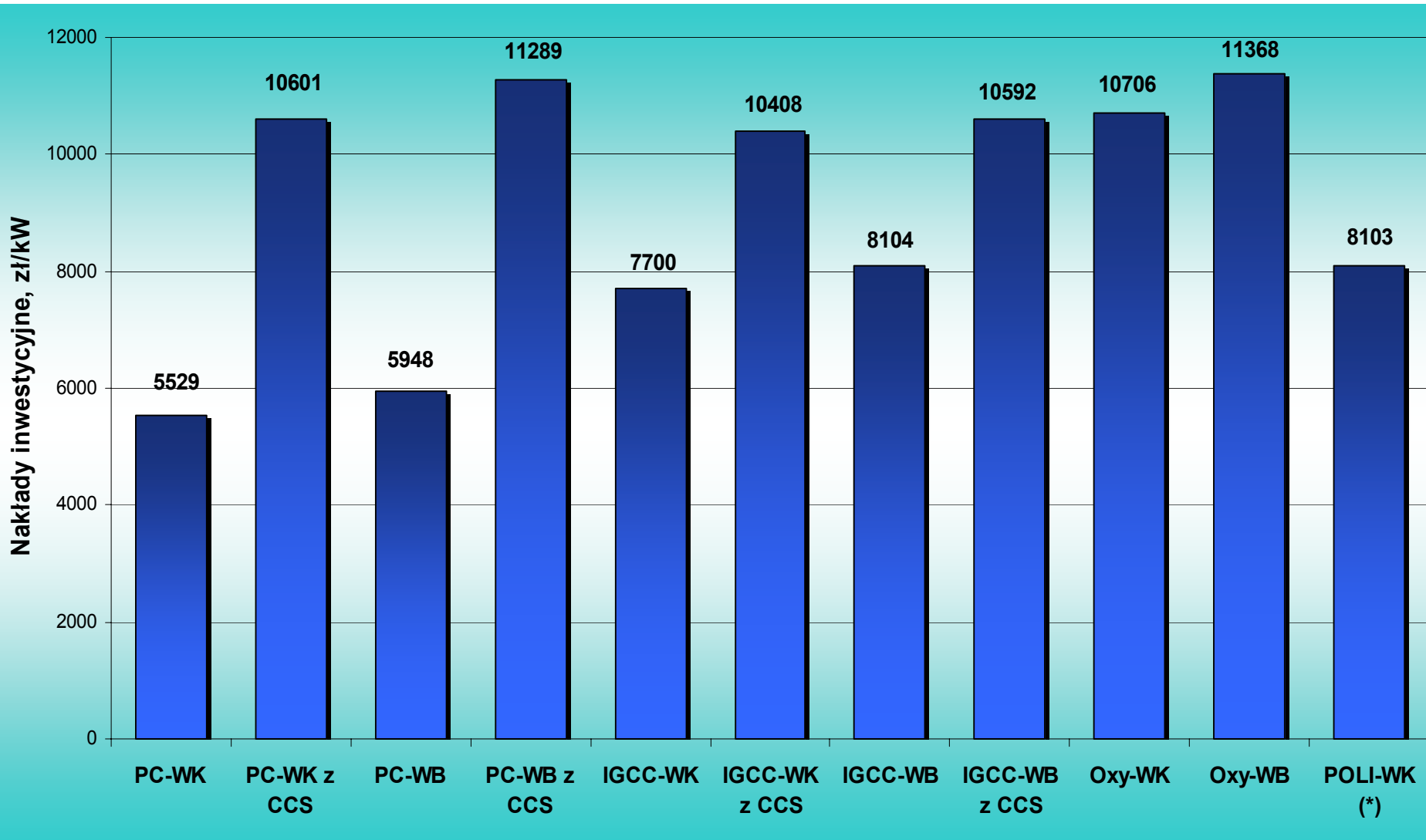
- ❑ **Nakłady inwestycyjne oraz koszty operacyjne układów technologicznych wytwarzania energii elektrycznej z węgla wyznaczone zostały w oparciu o dane raportów amerykańskich i europejskich firm konsultingowych, a w szczególności Worley Parsons Group Inc., EPRI, Bechtel Corp., Siemens,**
- ❑ **Szacunki nakładów inwestycyjnych dokonywane są na etapie identyfikacji możliwości inwestycyjnych (studium opportunity), dla którego dokładność szacunków kosztów zawiera się w zakresie $\pm 30\%$,**
- ❑ **Przyjmuje się, że inwestycje realizowane są dla warunków polskich „na zielonej trawie”,**
- ❑ **Wszystkie koszty prezentowane są jako „overnight costs” na bazie grudnia 2006 roku (kapitalizacja odsetek w okresie budowy nie jest brana pod uwagę ze względu na dokładność szacunków),**
- ❑ **Szacunki kosztów prowadzone są cenach stałych bez uwzględniania inflacji i eskalacji cen w latach następnych,**
- ❑ **Koszty aparatów i urządzeń obejmują inicjujące wyposażenie ich w chemikalia i katalizatory,**
- ❑ **Wydatki nieprzewidziane zawierają koszt ryzyka procesowego i projektowego,**
- ❑ **Premia za ryzyko inwestorskie (Owner’s Costs) nie jest uwzględniana w kosztach kapitałowych,**
- ❑ **Całkowite nakłady inwestycyjne (TCR – *Total Capital Requirement*) obejmują nakłady na majątek trwały (TPC – *Total Plant Cost*, bez Owner’s Costs) oraz koszty rozruchu instalacji (ok. 2% TPC bez wydatków nieprzewidzianych) i zapotrzebowanie na kapitał obrotowy.**

Nakłady inwestycyjne



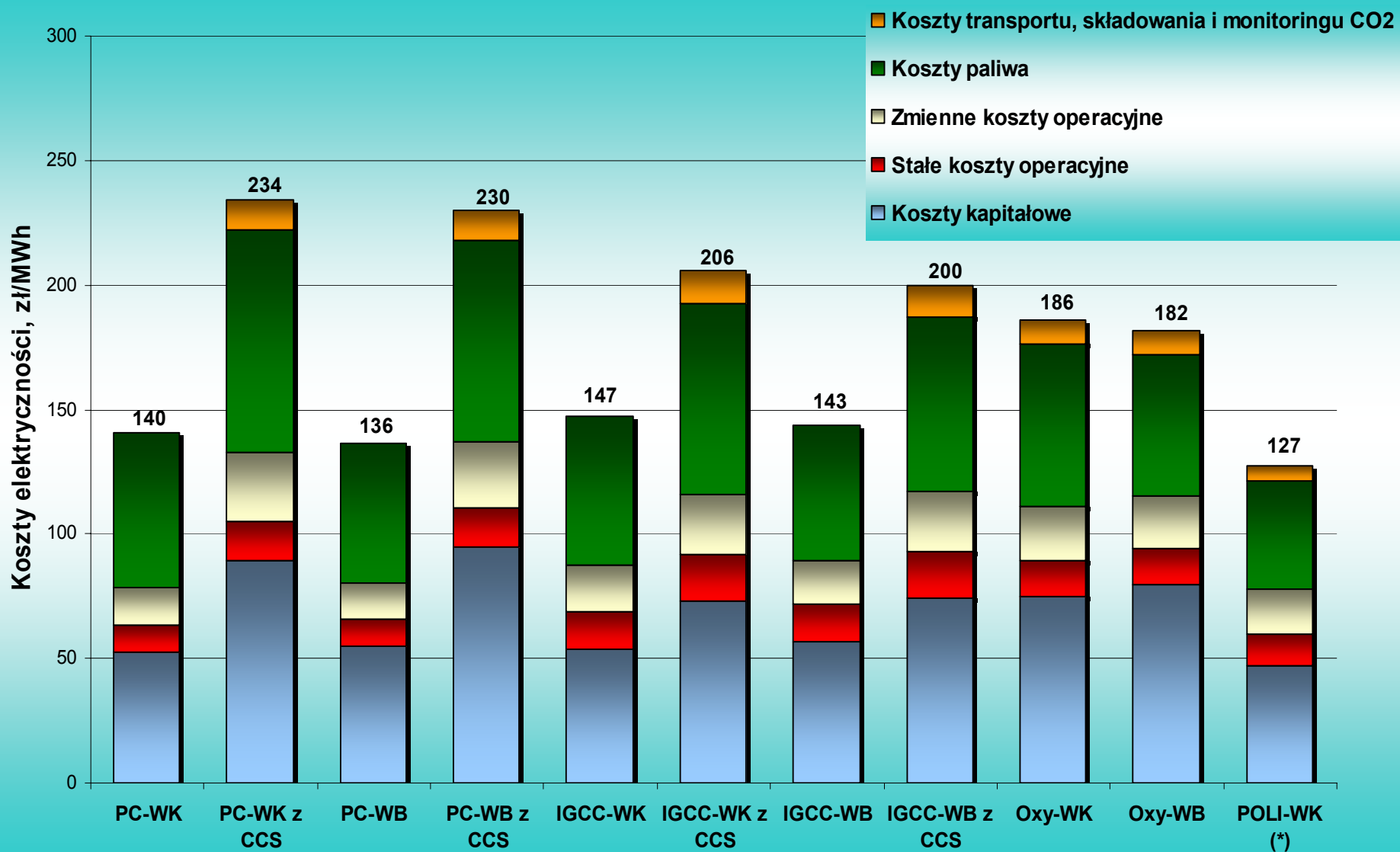
Jednostkowe koszty inwestycyjne

(*) - na moc odpowiadającą energii użytecznej w produktach



Koszty eksploatacyjne (bez kosztów paliwa)

(*) – dotyczy kosztów wytwarzania wodoru



PODSUMOWANIE

Zakres pracy

Celem pracy jest wykonanie wstępnej analizy możliwości zastosowania czystych technologii węglowych dla elektrowni zeroemisyjnych.

- Dokonano wyboru konfiguracji potencjalnych technologii energetycznych dla zeroemisyjnych elektrowni węglowych,**
- Opracowano charakterystyki technologiczne wybranych wariantów technologicznych, oszacowano nakłady inwestycyjne i wyznaczono koszty operacyjne.**

PODSUMOWANIE

Nakłady inwestycyjne

- **Nakłady inwestycyjne na elektrownię z kotłami pyłowymi i usuwaniem CO₂ znacząco przekraczają nakłady inwestycyjne dla elektrowni bez usuwania CO₂.**
- **Nakłady inwestycyjne na budowę IGCC bez usuwania CO₂ są generalnie większe, przy czym dodanie instalacji usuwania CO₂ nie powoduje już tak drastycznego wzrostu nakładów.**
- **Natomiast jednostkowe nakłady inwestycyjne dla elektrowni z kotłami pyłowymi i usuwaniem CO₂ i IGCC są porównywalne.**
- **Nakłady inwestycyjne dla elektrowni ze spalaniem węgla w atmosferze tlenu są zbliżone do elektrowni z IGCC z usuwaniem CO₂.**

KIERUNKI STRATEGII WDRAŻANIA TECHNOLOGII WOLNYCH OD EMISJI CO₂ W ENERGETYCE

W perspektywie krótkoterminowej (lata 2010 - 2015)

Spalanie w kotłach pyłowych nadkrytycznych węgla (o lepszych parametrach) i w kotłach fluidalnych cyrkulacyjnych (węgli o większej zawartości popiołu) przy możliwie najwyższych parametrach przegrzewu pary.

KIERUNKI STRATEGII WDRAŻANIA TECHNOLOGII WOLNYCH OD EMISJI CO₂ W ENERGETYCE

W perspektywie średnioterminowej (lata 2015 - 2025)

**Zgazowanie węgla w zintegrowanych układach
parowo – gazowych.**


**Zgazowanie węgla połączone z wytwarzaniem
energii elektrycznej i produktów chemicznych.**

KIERUNKI STRATEGII WDRAŻANIA TECHNOLOGII WOLNYCH OD EMISJI CO₂ W ENERGETYCE

**W perspektywie długoterminowej
(po roku 2030 – tj poza horyzontem Raportu 2030)**

**Bezpośrednie spalanie węgla w kotłach pyłowych
nowej konstrukcji w mieszaninie tlenu i dwutlenku
węgla (po roku 2030).**

**Zgazowanie węgla połączone z wytwarzaniem
wodoru (nowe techniki poligeneracyjne) +
„energetyka wodorowa” (po roku 2050).**



**DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ
I ZAPRASZAM DO WSPÓŁPRACY**