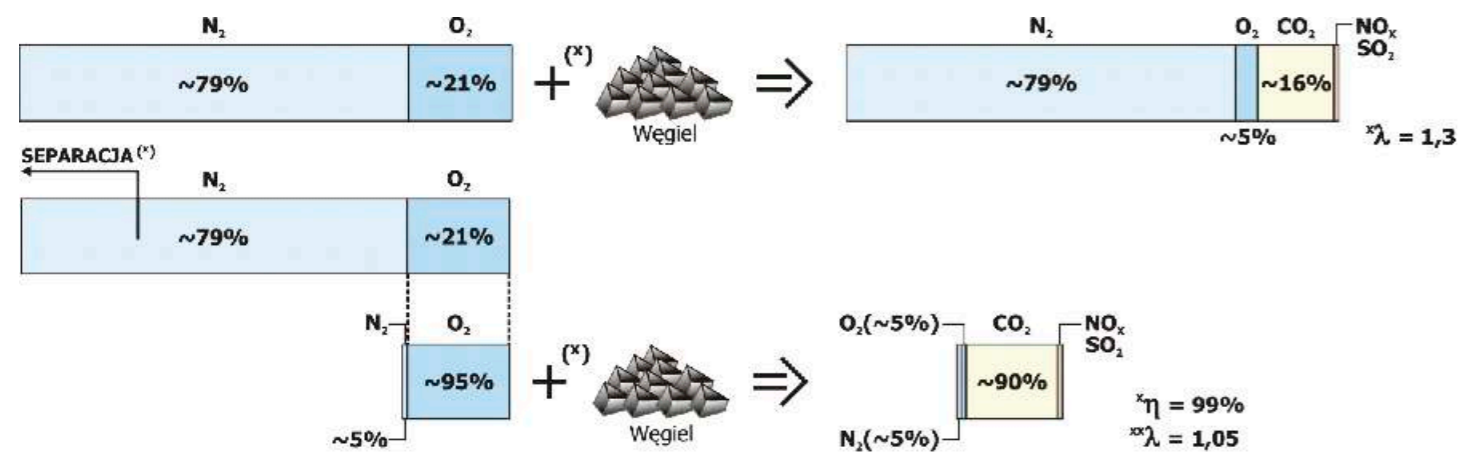


## BEZEMISYJNE ELEKTROWNIE WĘGLOWE – OXY SPALANIE

Technologia spalania w atmosferach modyfikowanych tlenem (tzw. technologia „oxy-combustion”) może okazać się jedną z przyszłościowych technologii określanych mianem „technologii czystego spalania”. W zależności od przyszłych uregulowań prawnych dotyczących redukcji lub usuwania gazów cieplarnianych emitowanych przez energetykę, technologia ta może być zastosowana do uzyskania skoncentrowanego strumienia CO<sub>2</sub>, który może być bardziej efektywnie usuwany ze spalin.



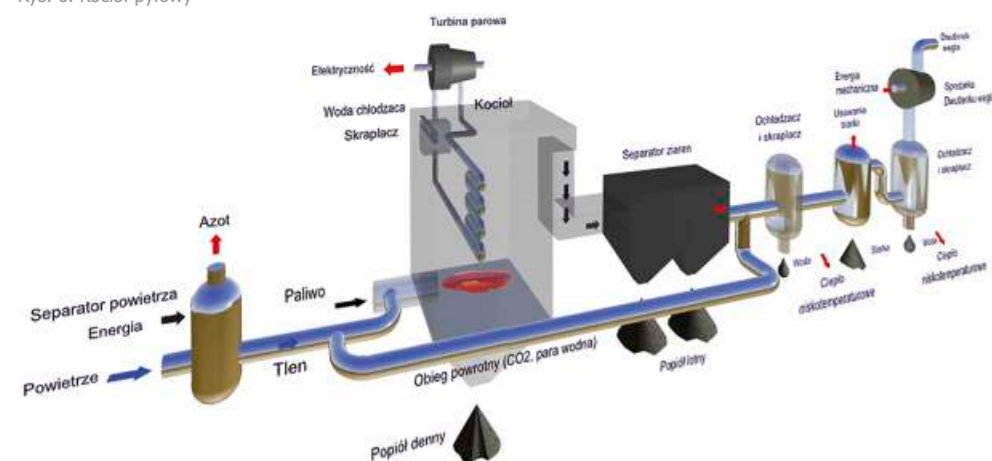
Rys. 5. Spalanie w powietrzu vs. spalanie w atmosferze wzbogaconej tlenem.

W pierwszym przypadku, w celu spalania określonej ilości węgla doprowadza się, z pewnym nadmiarem, określoną ilość powietrza które zawiera jedynie ok. 21% tlenu oraz aż ok. 79% azotu, nieistotnego z punktu widzenia realizowanego procesu spalania. W wyniku reakcji utleniania składników paliwa otrzymujemy gaz spalinowy, którego głównym składnikiem jest jednak wciąż N<sub>2</sub> (ok. 79%). Udział dwutlenek węgla, „rozcieńczonego” w całej objętości spalin wynosi jedynie ok. 16%. W przypadku chęci podjęcia działań zmierzających ku sekwestracji CO<sub>2</sub>, jego niskie stężenie zdecydowanie utrudni oraz podniesie koszty „wychwytywania” tego składnika z emitowanych spalin.

W przypadku drugim z kolei, proces spalania paliwa poprzedzony jest wstępną separacją powietrza. Jeżeli prowadzony proces charakteryzować będzie się wysoką sprawnością, to w efekcie uzyskamy mieszaninę gazową tlenu i azotu o dużym udziale O<sub>2</sub>, dochodzącym do 95%. Tak przygotowany utleniacz doprowadzany jest do procesu spalania, przy znacznie mniejszym N<sub>2</sub>. W efekcie gaz spalinowy będzie składał się głównie z CO<sub>2</sub> (ok. 90%) oraz N<sub>2</sub> (pozostałego z procesu separacji) i O<sub>2</sub> (pochodzącego z nadmiaru utleniacza). Tak wysokie stężenie dwutlenku węgla sprzyja działaniom dążącym do osiągnięcia „zerowej emisji CO<sub>2</sub>” w drodze sekwestracji dwutlenku węgla.

Spalanie w tlenie może zarówno odbywać się w kotłach pyłowych, jak i fluidalnych.

Rys. 6. Kocioł pyłowy



## ZALETY SPALANIA W TLENIE:

- odpowiednia dla technologii węglowych obecnie stosowanych w energetyce, szczególnie dla bloków fluidalnych,
- możliwość kontroli i optymalnego wyboru stężenia tlenu w procesie spalania,
- prawie zerowa emisja szkodliwych substancji,
- możliwość modernizacji istniejących bloków pyłowych i fluidalnych na bloki O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>,
- możliwość szybkiej modernizacji w oparciu o istniejące już technologie, np. wychwytywania CO<sub>2</sub> ze spalin,
- najmniejsze koszty w porównaniu do innych bezemisyjnych technologii,
- wyższa sprawność procesu spalania paliwa poprzez ograniczenie strat niecałkowitego i niezupełnego spalania w wyniku podwyższonego stężenia tlenu w obrębie komory paleniskowej,
- wyższa sprawność termodynamiczna kotła poprzez ograniczenie strat kominowej w wyniku zredukowania strumienia gazu doprowadzanego do komory paleniskowej, a wynikającej ze stechiometrii realizowanego procesu,
- szeroki zakres spalanych paliw, a szczególnie paliw niskokalorycznych, o niskiej reaktywności, wysokiej zawartości wilgoci, itp.
- obniżenie kosztów inwestycyjno-eksploatacyjnych dla instalacji oczyszczania gazów (np. odpylania) zlokalizowanych na ciągu spalinowym w wyniku zmniejszenia strumienia gazów wylotowych, a tym samym zwiększenia stężenia danego zanieczyszczenia w spalinach,
- ograniczenie/eliminacja termicznego mechanizmu formowania NO<sub>x</sub>,
- redukcja części zawracanego NO do azotu cząsteczkowego N<sub>2</sub> (w przypadku recyrkulacji spalin),
- reakcje NO<sub>x</sub> z wykraplaną i usuwaną podczas recyrkulacji wodą zawartą w spalinach (w przypadku tzw. suchej recyrkulacji spalin),
- niższa konwersja N-paliwowego do NO<sub>x</sub> w przypadku recyrkulacji gazów spalinowych (w tym tlenków azotu),
- redukcja NO<sub>x</sub> na ziarnach koksu o podwyższonej temperaturze,
- podniesiona skuteczność odsiarczania spalin spowodowana wysokim stężeniem SO<sub>2</sub> w gazach spalinowych prowadzącym do wyższych stopni przereagowania sorbentów,
- ograniczenie emisji SO<sub>2</sub> w przypadku prowadzenia tzw. suchej recyrkulacji, gdzie SO<sub>2</sub> usuwane jest z układu wraz z odprowadzaną podczas recyrkulacji wodą,
- zwiększenie stopnia konwersji sorbentów

# zero-emisyjne technologie węglowe



**PKE S.A. dziękuje  
prof. dr hab. inż. Wojciechowi Nowakowi  
i dr inż. Markowi Ściążko  
za udział merytoryczny w opracowaniu folderu.**



PKE S.A.  
jest właścicielem marki  
ZIELONA ENERGIA

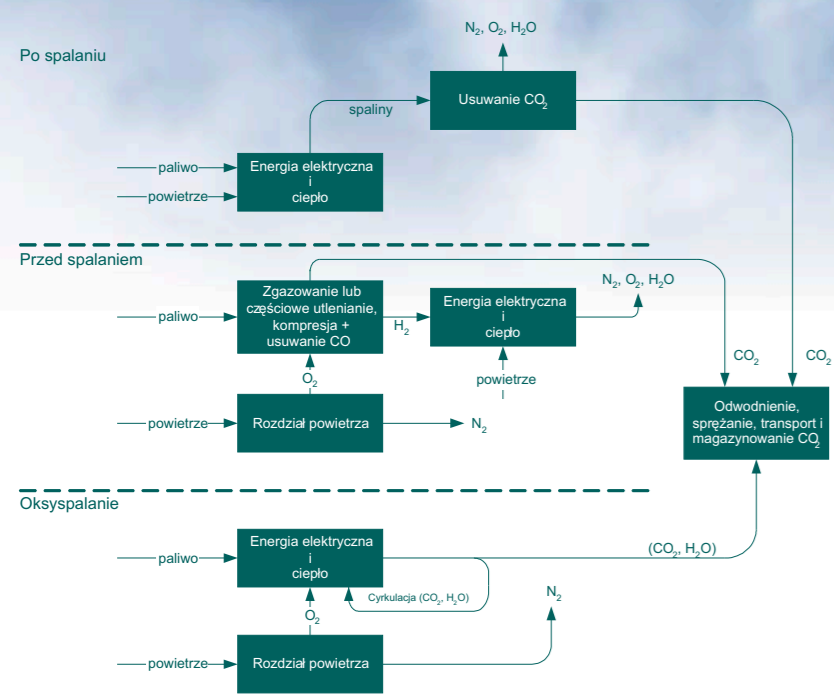


Południowy Koncern Energetyczny  
Spółka Akcyjna  
ul. Lwowska 23, 40–389 Katowice  
tel.: + 48 32 774 20 00  
faks: + 48 32 774 21 02  
pke@pke.pl  
www.pke.pl

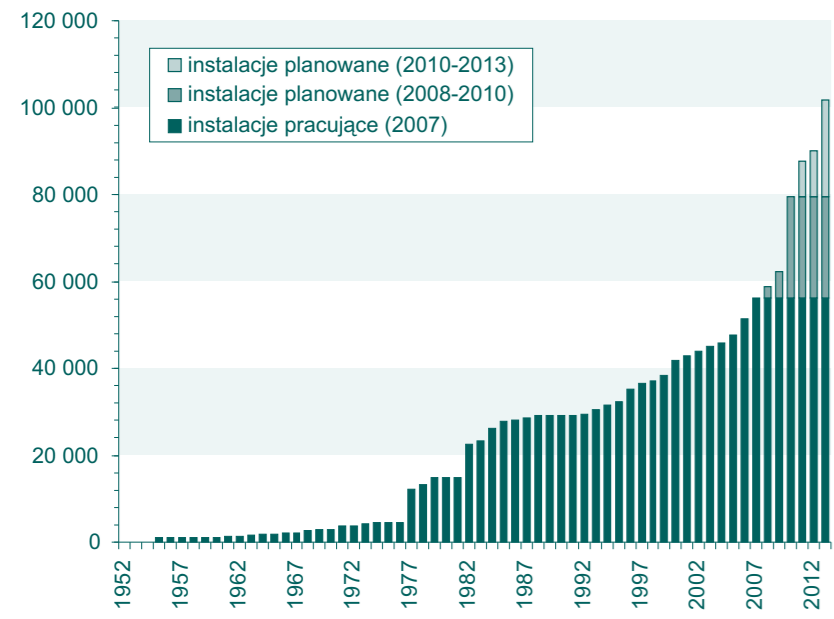
Nazwa „zero-emisyjne technologie węglowe” obejmuje zasadniczo nowy kierunek rozwoju energetyki, w której dalsze stosowanie paliw kopalnych uwarunkowane będzie koniecznością zastosowania technologii umożliwiających znaczne ograniczenie emisji dwutlenku węgla przy wytwarzaniu energii elektrycznej. Istnieją obecnie trzy główne kierunki technologiczne usuwania CO<sub>2</sub> w elektrowniach:

- usuwanie ze spalin kotłowych po spalaniu węgla,
- usuwanie z gazu procesowego po zgazowaniu węgla a przed spalaniem gazu wodorowego,
- spalanie paliw w atmosferze tlenu z recykulowanym CO<sub>2</sub>, tzw. oxy-spalanie.





Rys. 1. Warianty technologiczne usuwania CO<sub>2</sub> w elektrowniach



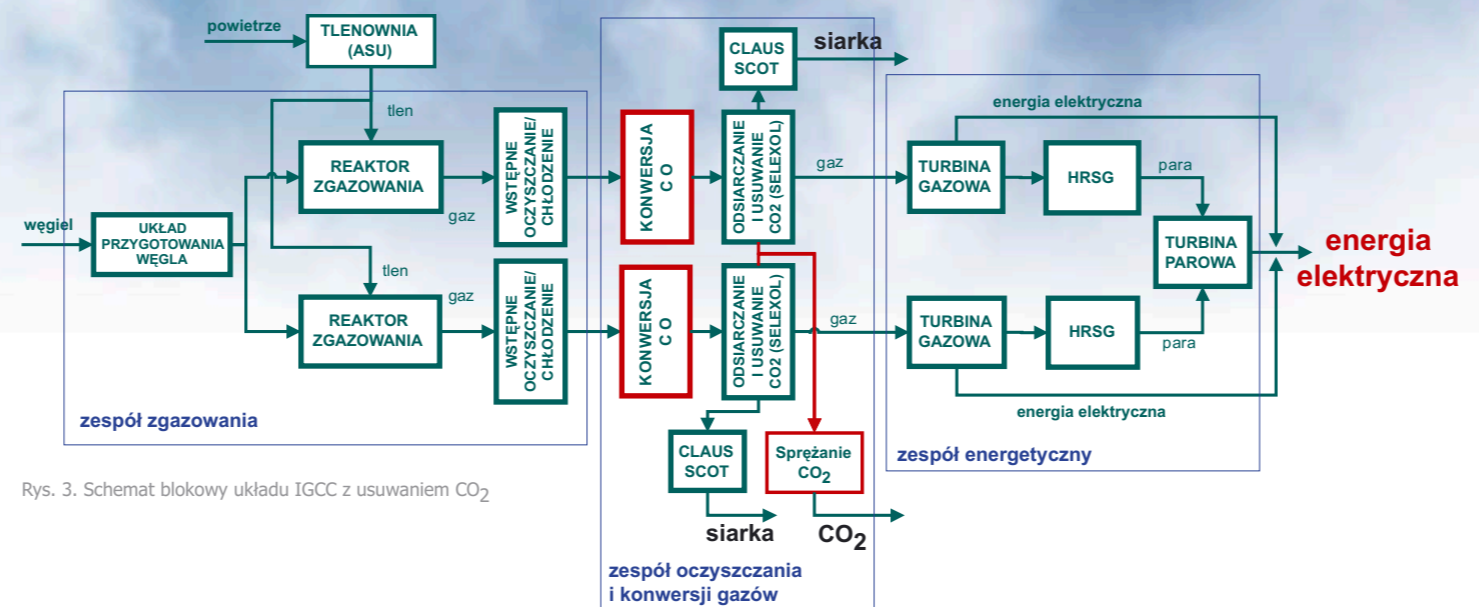
Rys. 2. Światowy rozwój technologii zgazowania paliw

W procesie usuwania CO<sub>2</sub> ze spalin znajdują zastosowanie procesy absorpcyjne rozwinięte w przemyśle chemicznym. Najbardziej rozwinięta, komercyjnie dostępna technologia, polega na absorpcji CO<sub>2</sub> w wodnym roztworze amin. Po usunięciu ze spalin dwutlenek węgla jest następnie desorbowany z roztworu aminowego i odwadniany, po czym sprężany do ok. 12 Mpa i transportowany do miejsca magazynowania np. w podziemnych strukturach geologicznych.

W procesie usuwania CO<sub>2</sub> przed spalaniem gazu wodородowego, dwutlenek węgla usuwany jest z gazów otrzymanych na drodze tlenowego zgazowania węgla. W celu zwiększenia efektywności procesu separacji stosuje się poprzedzającą go konwersję CO w CO<sub>2</sub>. Wysokie koncentracje CO<sub>2</sub> oraz wysokie ciśnienia gazów podlegających oczyszczeniu pozwalają na efektywne zastosowanie procesów absorpcji fizycznej. W procesie spalania w tlenie z recykulacją spalin: O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> paliwo jest spalane w mieszaninie tlenu i CO<sub>2</sub>, który jest recykulowany ze spalinami dla regulacji temperatury spalania. Wskutek tego procesu powstają spaliny zawierające głównie CO<sub>2</sub> oraz parę wodną, którą można skondensować i otrzymać strumień gazu o bardzo dużej koncentracji CO<sub>2</sub>, gotowy do transportu i magazynowania

## ZGAZOWANIE WĘGLA

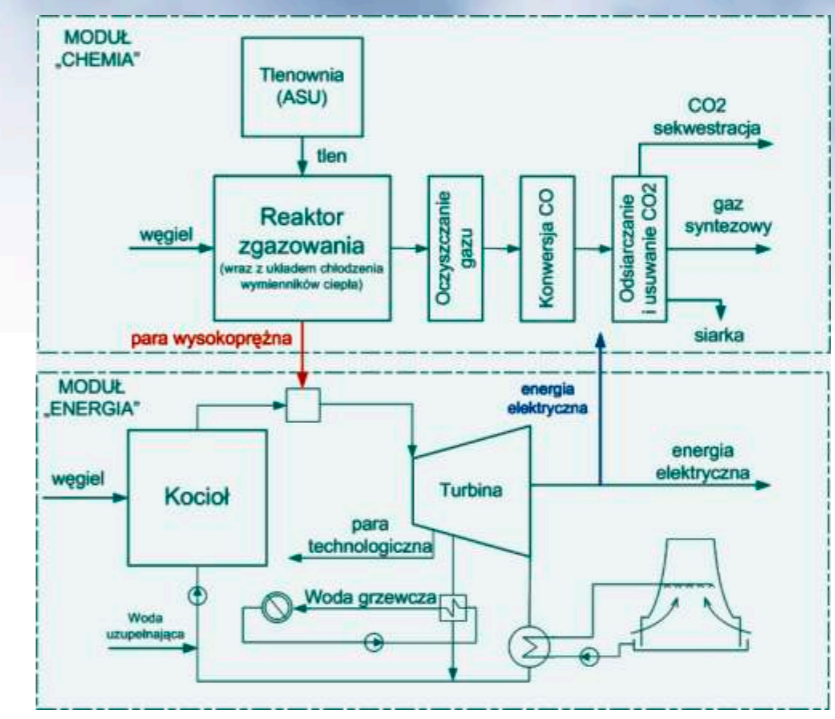
Rozwój nowych technologii węglowych związany jest nie tylko z oczekiwaniami zastąpienia kopalnych paliw gazowych i ciekłych przez produkty otrzymane z węgla, ale także istotną rolę odgrywa możliwość osiągnięcia lepszej efektywności ekonomicznej przy coraz ostrzejszych wymaganiach środowiskowych. Zarówno w technologiach energetycznych, jak i chemicznych emitowane są znaczne ilości ditlenku węgla, który uważany jest za główną przyczynę zagrożenia efektem cieplarnianym. Z jednej strony obawa przed kryzysem dostępu do ropy naftowej i gazu ziemnego, a z drugiej wymagania zmniejszenia emisji ditlenku węgla w energetyce spowodowały po raz pierwszy sytuację, że jeden z podstawowych procesów chemicznej przeróbki węgla – zgazowanie – stał się interesujący zarówno dla przemysłu chemicznego jak i dla energetyki. Przegląd światowego stanu rozwoju technologii zgazowania przeprowadzony w roku 2007 przez U.S. Department Energy i National Energy Technology Laboratory pokazuje, że na świecie działa 144 instalacje zgazowania wyposażonych w 427 reaktorów o łącznej mocy 56 238 MWth (moc cieplna w produkowanym gazie). Oznacza to, że w okresie 1980 ÷ 2007 zanotowano prawie trzykrotny przyrost światowej produkcji gazu pozyskiwanego na tej drodze (z około 20 do 56 GW). W latach 2004-2007 tj. od poprzedniego przeglądu DOE/NETL powstało 27 nowych instalacji zgazowania (11237 MWth; wzrost o 25%). Dotyczy to głównie układów zgazowania węgla wytwarzających gaz na potrzeby syntezy chemicznej i zlokalizowanych w Chinach. Kolejny 41 % przyrost ma nastąpić przed rokiem 2010 (rys. 2)



Rys. 3. Schemat blokowy układu IGCC z usuwaniem CO<sub>2</sub>

Do głównych kierunków wykorzystania technologii zgazowania należą wytwarzanie paliw płynnych i gazowych, substancji chemicznych w tym m.in. wodoru i metanolu oraz energii elektrycznej w tzw. układach IGCC (zgazowanie węgla zintegrowane z układem turbin gazowo-parowych). Koncepcja zintegrowanego układu gazowo-parowego (IGCC) polega na zgazowaniu węgla do średniokolorowego paliwa gazowego, które po oczyszczeniu spalane jest w turbinie gazowej. Ciepło odpadowych spalin wykorzystywane jest do generacji pary napędzającej turbinę parową. Najważniejsze elementy tego układu to układ separacji powietrza (ASU Air separation unit), generator gazu, instalacja schładzania i oczyszczania gazu, turbina gazowa i turbina parowa z kotłem odzyskowym (HRSG Heat recovery steam generator). Produktami ubocznymi systemu IGCC są żużel oraz siarka lub kwas siarkowy. Przykładowy schemat blokowy układu IGCC z usuwaniem CO<sub>2</sub> przedstawiono na rys.3.

Dodatkową zaletą technologii zgazowania węgla jest możliwość zastosowania jej w tzw. układach poligeneracyjnych wytwarzających jednocześnie energię elektryczną i produkty chemiczne, w tym paliwa gazowe i płynne. Takie rozwiązanie posiada wiele zalet, do których należą m.in. wysoka sprawność konwersji paliwa oraz wysoka elastyczność i efektywność ekonomiczna. Schemat elektrowni poligeneracyjnej przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Schemat Elektrowni Poligeneracyjnej

## ZALETY ZGAZOWANIA

- Możliwość wielokierunkowego wykorzystania wytwarzanego gazu (produkcja paliw, substancji chemicznych, energii),
- wysoka sprawność generacji energii elektrycznej przy usuwaniu CO<sub>2</sub> (układy IGCC),
- wysoka elastyczność ze względu na paliwo (m.in. różnorodne asortymenty węgla, pozostałości po rafinacji ropy oraz biomasa),
- niska emisja niebezpiecznych składników gazowych i pyłu (możliwość usuwania zanieczyszczeń przed procesem spalania, a w konsekwencji mniejsze strumienie gazu poddawane oczyszczaniu – wyższe koncentracje zanieczyszczeń oraz wyższe ciśnienia gazu niż w przypadku układów konwencjonalnych pozwalają na uzyskanie wysokich efektywności procesowych usuwania zanieczyszczeń przy relatywnie niskich kosztach operacyjnych),
- niskie zużycie wody (ok. dwukrotnie mniejsze w porównaniu do układów energetycznych bazujących na spalaniu węgla),
- niskie koszty operacyjne usuwania zanieczyszczeń w tym CO<sub>2</sub> (usuwanie zanieczyszczeń przed procesem spalania),
- możliwość jednoczesnej produkcji energii i produktów chemicznych i paliw w układach poligeneracyjnych (wysokie sprawności konwersji paliwa oraz wysoka elastyczność i efektywność ekonomiczna),
- możliwość efektywnego wykorzystania mechanizmów wsparcia produkcji energii z OZE i wysokosprawnej kogeneracji.

Idea rozwiązania polega na wzajemnym powiązaniu strumieniami energii elektrociepłowni konwencjonalnej z układem zgazowania węgla. Produktem elektrociepłowni jest energia cieplna i elektryczna, jak w konwencjonalnej elektrociepłowni, oraz gaz syntezowy o składzie pozwalającym na zastosowanie go bezpośrednio do produkcji metanolu (instalacja może również wytwarzać czysty wodor na potrzeby syntezy amoniaku wykorzystywanego do produkcji nawozów azotowych). Instalacja przy zużyciu węgla na poziomie 1,75 mln t/rok produkowała będzie ok. 90 t/h gazu syntezowego (w zależności od zastosowanej technologii zgazowania), co pozwoli na otrzymanie 500 tys. t/rok metanolu czy ekwiwalentnie 1000 mln m<sup>3</sup>/rok wodoru. Produkcja energii elektrycznej wyniesie 1100 GWh oraz ciepła 5 200 TJ/rok. Sekwestracji podlegać będzie 880 tys. t/rok CO<sub>2</sub> wydzielonego w procesie wytwarzania gazu syntezowego.