

Edward RADWAŃSKI

Instytut Techniki Ciepłej
Politechniki Warszawskiej

PERSPEKTYWICZNE UKŁADY SKOJARZONE W ENERGETYCE PRZEMYSŁOWEJ

Streszczenie. Praca zawiera przegląd perspektywicznych przemysłowych układów skojarzonych, poprzedzony próbą ich systematyki i wprowadzeniem pojęcia systemu energotechnologicznego. Wybór przedstawionych układów uwzględnia różne źródła ich energetycznego zasilania i różne produkty końcowe: energetyczne i substancyjne. Artykuł zakończono próbą syntezy i wskazaniem zarysu uwarunkowań technologicznych oraz energetycznych przy kształtowaniu omawianych układów, jak też omówieniem mierników ich oceny.

1. UPORZĄDKOWANIE PODSTAWOWYCH POJĘĆ

Pojęcie układów skojarzonych wypełniane jest różną treścią przez różnych autorów. W dziedzinie termodynamiki pojęcie to wprowadzono przy okazji rozważań obiegów elektrociepłowni, wyróżniającej się dwoma efektami końcowymi:

- produkcją czynnika grzewczego (para i gorąca woda),
- produkcją energii elektrycznej.

Przyjęto, że głównym efektem użytkowym działania elektrociepłowni jest czynnik grzewczy, a energia elektryczna uznawana jest za użytkowy efekt uboczny.

Istotnymi cechami energetycznych układów skojarzonych są:

- wytwarzanie obok głównego produktu użytkowego produktu lub produktów ubocznych; pokrywają one albo zapotrzebowanie na energię użyteczną (pracę, ciepło i światło), przy czym w zależności od rodzaju produktu w różnym zakresie (np. energia elektryczna pokrywa zapotrzebowanie na pracę, ciepło oraz światło i stąd jej cecha uniwersalności energetycznej) albo stanowią półprodukt do wytwarzania innych dóbr, a nawet produkt bezpośredniego zastosowania,
- skrócenie łańcucha przemian energetycznych,
- eliminacja niektórych przemian energetycznych prowadzących do zmniejszenia sumy strat egzergii, a w rezultacie do obniżenia kosztów eksploatacyjnych,

- zmniejszenie łącznych jednostkowych nakładów inwestycyjnych w stosunku do układów rozdzielonych.

Ogólnie można przyjąć, że układy skojarzone są połączeniem dwóch lub więcej procesów indywidualnych, z których każdy miał za zadanie wytwarzanie tylko jednego produktu użytkowego.

W literaturze uporządkowanie pojęć układów złożonych przedstawiono w monografii [1], w której autor wyróżnia procesy skojarzone i sprzężone, przy czym te ostatnie charakteryzują się tym, że wytwarzają co najmniej dwa produkty użytkowe bez podziału na produkt główny i produkty uboczne. Do układów złożonych należą też procesy kaskadowe, gdy uzyskuje się taki sam efekt użytkowy w wyniku połączenia różnych procesów (np. elektrownia gazowo-parowa).

Przemysłowe układy złożone wyróżniają się produkcją nośników energii zagospodarowanych w układach technologicznych lub poza nimi oraz produkcją substancji, które mogą stanowić półprodukt zasilający różne technologie (gaz syntezowy lub redukcyjny) bądź paliwo (np. sztuczny gaz opałowy).

Zrozumienie termodynamicznej istoty układów skojarzonych (polegającej na zmniejszeniu strat egzergii [1]) ułatwia racjonalne i optymalne ich kształtowanie. Przykłady, często nawet intuicyjnego kierowania się powyższym kryterium, można wyróżnić w wielu rozwiązaniach układów technologicznych. Wśród nich można przytoczyć: proces wielkopiecowy, w którym jest wytwarzany gaz wielkopiecowy jako produkt uboczny obok surówki; układ skojarzony pieca przemysłowego (np. martenowskiego) z kotłem odzyskowym i instalacją chłodzenia wyparkowego. Ten ostatni przykład może posłużyć do wyjaśnienia korzyści termodynamicznych towarzyszących kojarzeniu procesów cieplnych, które w tym przypadku polegają na eliminacji nieodwracalnego procesu spalania i zewnętrznej straty egzergii w paleniskowym kotle parowym zastąpionym przez kocioł odzyskowy oraz na jednoczesnym zmniejszeniu zewnętrznej straty egzergii strumienia spalin opuszczających piec przemysłowy.

W złożonych układach przemysłowych występują znaczne straty egzergii podczas nieodwracalnych przemian chemicznych lub jądrowych i nieodwracalnego procesu wymiany ciepła. Zmniejszenie tych strat egzergii decyduje o termodynamicznej doskonałości złożonych układów przemysłowych.

W przypadku analizy złożonych układów energotechnologicznych przydatne jest zastosowanie pojęć z dziedziny inżynierii systemów. W odniesieniu do złożonych układów przemysłowych można wprowadzić pojęcie systemu energotechnologicznego, którego definicję podano dalej, po wcześniejszym określeniu takich pojęć, jak system, otoczenie i system energetyczny.

Systemem nazywamy zbiór uporządkowanych i celowo dobranych elementów, wyodrębniony z otoczenia i z nim oddziałujący wraz z własnościami tych elementów i relacjami między nimi występującymi dla spełnienia w otoczeniu określonego celu.

Otoczeniem danego systemu jest zbiór wszystkich elementów nie należących do systemu, których własności i działanie oddziałują na system i jednocześnie ulegają zmianie na skutek działania tego systemu.

Systemem energetycznym jest wyodrębniony z otoczenia i z nim oddziałujący ciąg uporządkowanych i celowo dobranych przemian energetycznych wraz z instalacjami je realizującymi, powiązanych wzajemnie za pomocą strumieni substancji i energii o określonych parametrach, mający na celu pokrycie zapotrzebowania otoczenia na energię użytkową (ciepło, praca i światło) w określonej ilości, o określonych parametrach oraz w określonym czasie i miejscu.

Dla wyraźnego podkreślenia powiązań otoczenia i systemu można jako przykład rozpatrywać system elektroenergetyczny. Można wyróżnić oddziaływanie otoczenia na system elektroenergetyczny w postaci zasilania go w paliwo, wodę i utleniacz do spalania oraz oddziaływanie systemu na otoczenie przez zanieczyszczenia chemiczne, mechaniczne i termiczne, jak też rozwój otoczenia w wyniku dostarczenia mu produktu systemu - energii elektrycznej dla pokrycia potrzeb na energię użyteczną.

Wychodząc z powyższych definicji można sformułować pojęcie systemu energotechnologicznego, traktując technologię jako sposób wytwarzania dóbr.

Systemem energotechnologicznym nazywamy wyodrębniony z otoczenia i z nim oddziałujący ciąg uporządkowanych i celowo dobranych czynności technologicznych (operacji i procesów) oraz sprzężonych z nimi wymogami technologii przemian energetycznych wraz z instalacjami je realizującymi, powiązanych wzajemnie za pomocą strumieni substancji i energii o określonych własnościach i parametrach, mający na celu dostarczenie do otoczenia określonego produktu lub określonych produktów w określonej ilości i w określonym czasie. Działaniu systemu technologicznego towarzyszy także oddawanie do otoczenia produktów ubocznych i odpadowych oraz energii ubocznej i odpadowej.

System energotechnologiczny oznaczono symbolem SET.

Perspektywiczne SET wyróżniają się następującymi cechami:

- wyposażeniem we własne źródła energii obok zasilania zewnętrznego,
- skomplikowaną strukturą budowy systemu (ciągi szeregowe, równoległe, szeregowo-równoległe, zwrotne),
- wysokim stopniem dopasowania parametrów tak substancji, jak i energii,
- minimalizacją strumieni produktów odpadowych i energii odpadowej,
- ograniczeniem szkodliwego oddziaływania na środowisko naturalne,
- wysoką produktywnością z jednostki energii dostarczonej z otoczenia.

Zbiór SET aktualnie rozpatrywanych i realizowanych jest duży i trudno do jednoznacznego, rzeczowego uporządkowania ze względu na różne źródła energii napędowej, różnorodność produktów oraz cele względem otoczenia.

2. PRZEGLĄD I ANALIZA PERSPEKTYWICZNYCH SET

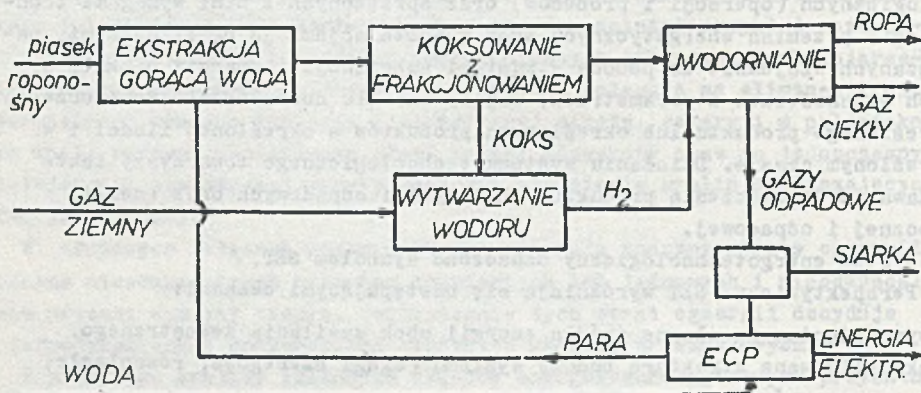
Przedstawiony przegląd dokonany będzie w aspekcie energetycznym, to jest głównie według źródeł energii, a nie według rodzaju produktów SET. Koncepcje omawianych niżej systemów prezentowane są w dużym uproszczeniu dla syntetycznego pojęcia ich istoty.

2.1. Systemy energotechnologiczne w ujęciu syntetycznym

2.1.1. Uszlachetniona eksploatacja piasków roponośnych

Złoża piasków roponośnych występują w układach geologicznych nadających się do eksploatacji odkrywkowej (np. Athabaska, Kanada). Towarzyszą im często łatwo dostępne złoża gazu ziemnego. Umożliwia to zastosowanie SET, który daje szansę na uszlachetnioną eksploatację złóż piasku roponośnego [3]. Z otoczenia SET zasilany jest piaskiem roponośnym, gazem ziemnym i wodą, a oddaje do otoczenia uszlachetnioną ropę do dalszej przeróbki, gaz ciekły, koks, siarkę i energię elektryczną, która jest wytworzona w elektrociepłowni przemysłowej (ECP), dającej też ciepło procesowe dla SET.

Uproszczony schemat SET przedstawiono na rys. 1.



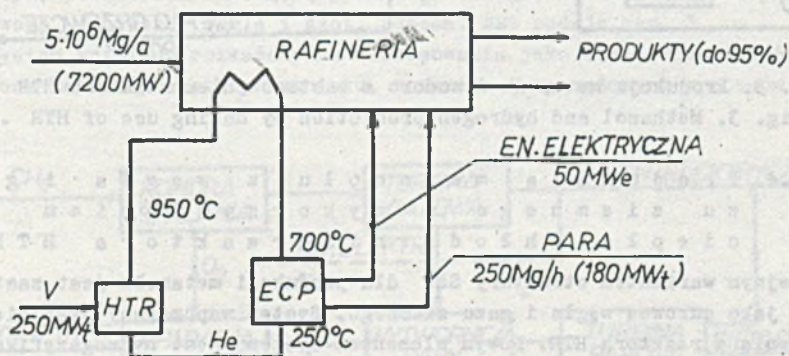
Rys. 1. Uszlachetnianie piasków roponośnych

Fig. 1. Oil sands beneficiation

2.1.2. Przeróbka ropy naftowej z zastosowaniem wysokotemperaturowego reaktora jądrowego HTR

W przeróbce ropy naftowej w zależności od struktury technologicznej tej przeróbki potrzeby własne pochłaniają niekiedy powyżej 10% wartości wsadu surowca energetycznego. Przyczynami tego są endotermiczne procesy wysokotemperaturowe oraz zapotrzebowanie na parę i energię elektryczną. Stąd koncepcja zastosowania jądrowego źródła energii HTR, która ma tę zaletę, że powiększa uzysk produktów ze wsadu surowca i obniża szkodliwe oddziaływanie rafinerii na naturalne środowiska przez minimalizację udziału procesów spalania w technologii. Wysokotemperaturowy reaktor jądrowy HTR chłodzony jest helem. W jego rdzeniu elementy paliwowe w kształcie kul tworzą złożę usypowe. Przyrost temperatury chłodziwa wynosi od 250°C do 950°C. Reaktory te wykazują prawie naturalne bezpieczeństwo, co predysponuje je do zastosowań przemysłowych. Użyteczny spadek entalpii chłodziwa można w praktyce podzielić na wiele stopni odpowiadających określonym spadkom temperatury. Z reguły spadek entalpii chłodziwa odpowiadający wyższej temperaturze stosuje się jako źródło ciepła wysokotemperaturowych procesów technologicznych, a spadek entalpii odpowiadający niższej temperaturze wykorzystuje się do wytwarzania pary w celu realizacji obiegu elektrociepłowni. Z upustów turbin zasila się procesy technologiczne.

Ten krótki opis reaktora HTR i jego wykorzystania wydaje się wystarczający do analizy prezentowanego systemu. Schemat omawianego tu SET podano na rys. 2.

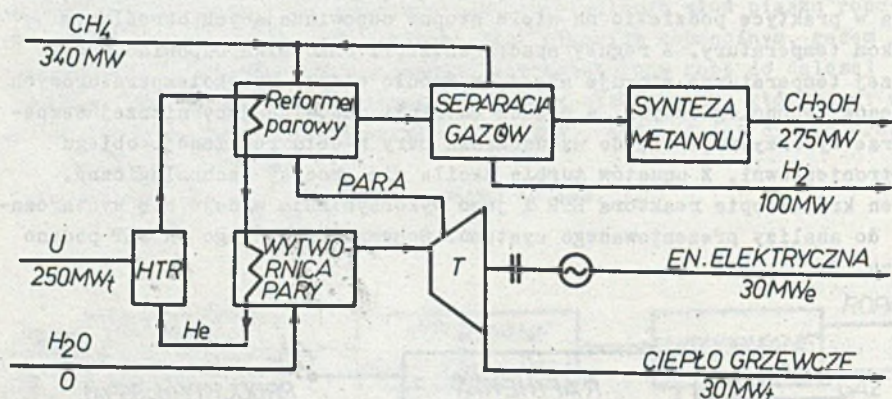


Rys. 2. Skojarzenie rafinerii z reaktorem HTR jako źródłem energii dla technologii

Fig. 2. Refinery combined with HTR reactor as a process energy source

2.1.3. Produkcja metanolu i wodoru z gazu ziemnego z zastosowaniem ciepła z jądrowego reaktora wysokotemperaturowego HTR

Zastosowanie reaktora HTR do produkcji metanolu i wodoru bazuje na wprężnięciu w system reformingu parowego. Jest to wysokotemperaturowy proces endotermiczny ($\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{H}_2 + \text{CO}$), który produkuje mieszaninę wodoru i tlenku węgla zwaną gazem syntezowym, stanowiącą w odpowiednim stosunku substraty syntezy metanolu (np. $\text{CO} + 2\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{OH}$). System zasilany jest gazem ziemnym, energią jądrową i wodą, a oddaje do otoczenia metanol, wodór, energię elektryczną i ciepło grzewcze do zastosowań ciepłowniczych. Koncepcję systemu wyjaśnia schemat procesowy na rys. 3. Sprawność energetyczna układu jest rzędu 75%, a energetyczny stopień przemiany węglowodorów wynosi 110%.

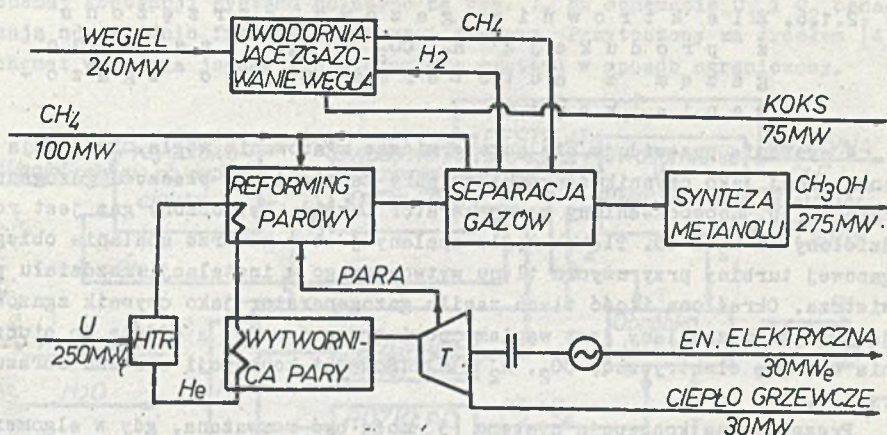


Rys. 3. Produkcja metanolu i wodoru z zastosowaniem reaktora HTR

Fig. 3. Methanol and hydrogen production by making use of HTR

2.1.4. Produkcja metanolu z węgla i gazu ziemnego z wykorzystaniem ciepła chłodzenia reaktora HTR

Kolejnym wariantem struktury SET dla produkcji metanolu jest zastosowanie jako surowca węgla i gazu ziemnego. System wspomagany jest ciepłem chłodzenia z reaktora HTR. Nowym elementem systemu jest hydrogazyfikacja węgla ($2\text{C} + 4\text{H}_2 \rightarrow 2\text{CH}_4$). Jest to w uproszczeniu reakcja egzotermiczna. Powstały metan po separacji kieruje się do reformingu parowego. System jest zasilany z otoczenia węglem, gazem ziemnym, wodą i energią jądrową, oddaje zaś do otoczenia metanol, koks, energię elektryczną i ciepło grzewcze. Omawiany SET zaprezentowano na rys. 4. Z wartości energetycznych strumieni (rys. 4) wynika, że energetyczna sprawność przetwarzania w systemie wynosi 70%, zaś energetyczny stopień przemiany paliw chemicznych wynosi około 100%.



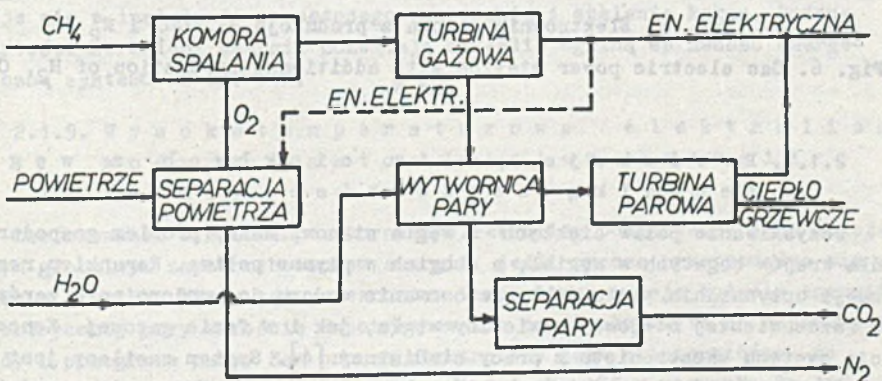
Rys. 4. Produkcja metanolu z węgla i gazu ziemnego z zastosowaniem reaktora HTR

Fig. 4. Methanol production from coal and natural gas by making use of HTR

2.1.5. Elektrociepłownia przemysłowa gazowo-parowa skojarzona z produkcją CO₂ i N₂, zasilana gazem ziemnym

Produktami dodatkowymi gazowo-parowego systemu ECP są CO₂ i N₂, zagospodarowywane w technologiach syntezy chemicznej (synteza mocznika w przypadku CO₂ i synteza amoniaku w przypadku N₂). System zasilany jest gazem ziemnym, powietrzem i wodą, a produkuje energię elektryczną, ciepło grzewcze, dwutlenek węgla i azot. Schemat SET podaje rys. 5.

System może być rozważany do zastosowania jako elektrociepłownia przemysłowa zakładów syntezy amoniaku, moczniaka i sprzężonych procesów pochodnych.



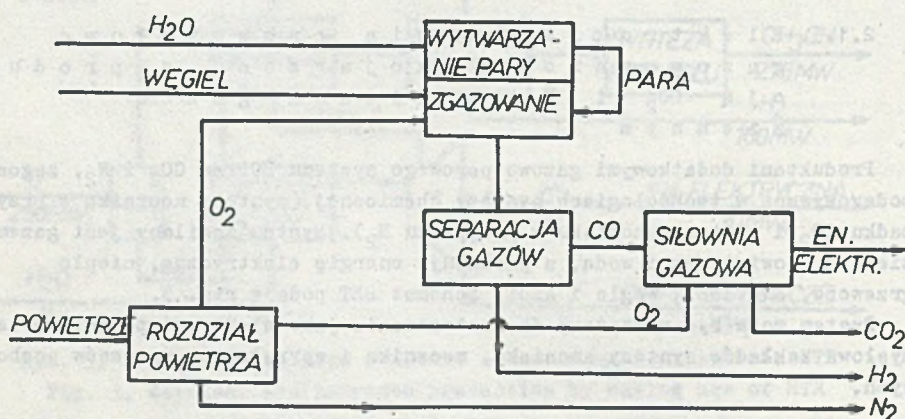
Rys. 5. ECP gazowo-parowa z dodatkową produkcją CO₂ i N₂

Fig. 5. Industrial thermal-electric power station with additional production of CO₂ and N₂

2.1.6. Elektrownia gazowa sprzężona z produkcją H_2 , CO_2 i N_2 , zasilana gazem z autotermicznego zgazowania węgla

W systemie przewiduje się autotermiczne zgazowanie węgla. Produkcja potrzebnej jako czynnik zgazowujący pary ma miejsce w płaszczu gazogeneratora (np. unowocześniony gazogenerator Lurgi). Wytworzony gaz jest rozdzielony na H_2 i CO . Tlenek węgla spalany jest w komorze spalania obiegu gazowej turbiny przy użyciu tlenu wytworzonego w instalacji rozdzielania powietrza. Określona ilość tlenu zasila gazogenerator jako czynnik zgazowujący. System zasilany jest węglem, powietrzem i wodą, a oddaje do otoczenia energię elektryczną, CO_2 , H_2 i N_2 . Schemat koncepcji systemu obrazuje rys. 6.

Prezentowana koncepcja systemu [5] może być rozważana, gdy w algomeracji występuje kopalnia węgla i zakłady syntezy chemicznej.



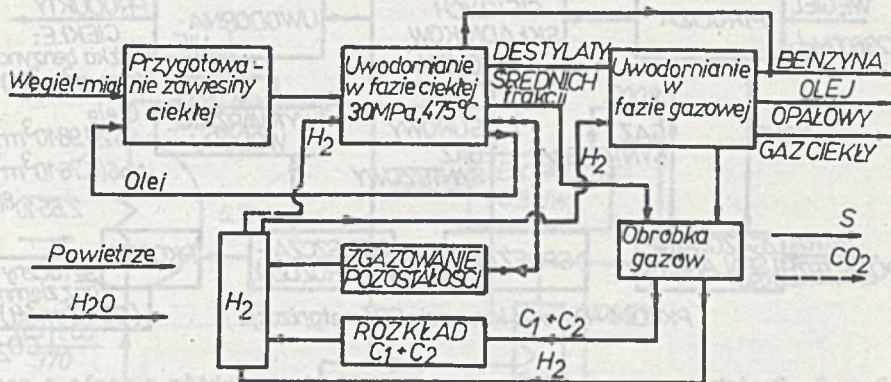
Rys. 6. Elektrownia gazowa z produkcją H_2 , CO_2 i N_2

Fig. 6. Gas electric power station with additional production of H_2 , CO_2 and N_2

2.1.7. Produkcja paliw ciekłych z węgla techniką uwodorniania

Pozyskiwanie paliw ciekłych z węgla stanowi ważny problem gospodarczy dla krajów bogatych w węgiel, a ubogich w płynne paliwa. Warunkiem realizacji upłynniania węgla jest zastosowanie wodoru do uwodorniania zarówno w fazie ciekłej olejowej zawiesiny węgla, jak i w fazie gazowej. Koncepcję systemu zaczerpnięto z pracy studialnej [4]. System zasilany jest węglem oraz wodą i powietrzem, których powiązań z systemem nie przedstawiono na rysunku. System produkuje benzynę, olej opałowy, gaz ciekły i jako produkty uboczne siarkę i CO_2 .

Schemat koncepcji systemu pokazano na rys. 7. Na schemacie C_1 i C_2 oznaczają odpowiednio frakcje metanowe i etanowe. Przytoczony za źródłem [4] schemat wyjaśnia jednak funkcjonowanie systemu w sposób ograniczony.



Rys. 7. Produkcja paliw ciekłych z węgla metodą uwodorniania

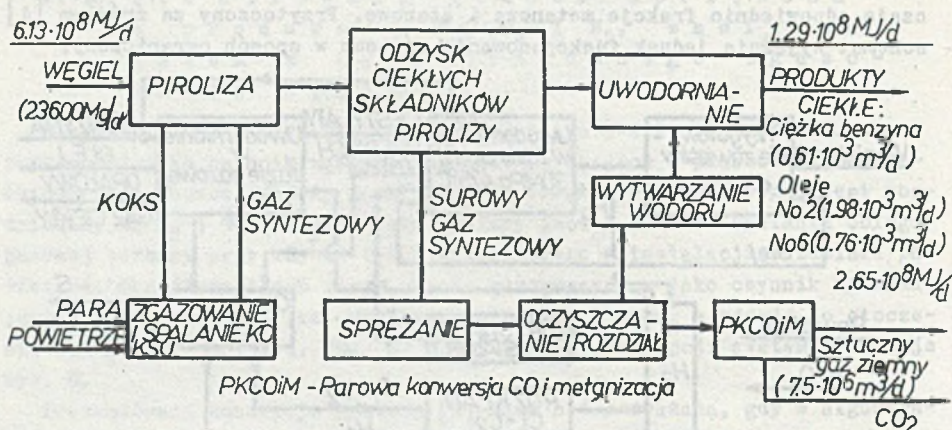
Fig. 7. Fluid fuels production from coal by making of use hydrogenation process

2.1.8. Dwustopniowa przeróbka węgla na gaz metanowy i ciekłe produkty

Sprzęgnięcie pirolizy węgla i jego zgaszania daje możliwość poszerzenia liczby produktów zintegrowanych procesów. Technologia zwana Cogas zrealizowana została przez British Coal Utilization Research Association w 1977 i jest eksploatowana jako instalacja pilotowa o wydajności 50 Mg/d. ICGG (Illinois Coal Gasification Group) zaprojektowała instalację przemysłową, której schemat przedstawiono na rys. 8 wg [2]. Piroliza jest dwustopniowa (czego nie zaznaczono na schemacie rys. 8) w zakresie dwóch różnych przedziałów temperatury. Ciepło dla procesu pirolizy używa się z instalacji sprzężonego zgaszania i spalania koksu. Podane wartości strumieni energii pozwalają określić ogólną sprawność energetyczną systemu na ok. 64%.

2.1.9. Wysokotemperaturowa elektroliza wody z zastosowaniem energii słońca

Zastosowanie wysokotemperaturowej elektrolizy podyktowane jest mniejszym globalnym zapotrzebowaniem energii, jeśli proces przeprowadza się w stanie ciekłym. Wtedy też ze wzrostem temperatury maleje zużycie energii elektrycznej przy wzroście zapotrzebowania na ciepło użyte na odparowanie wody i przegrzew pary. Sam proces elektrolizy jest allotermiczny, co zwiększa sprawność energetyczną do wartości ok. 47% w stosunku do 41% przy elektrolizie wysokotemperaturowej autotermicznej i 31% przy elektrolizie konwencjonalnej.



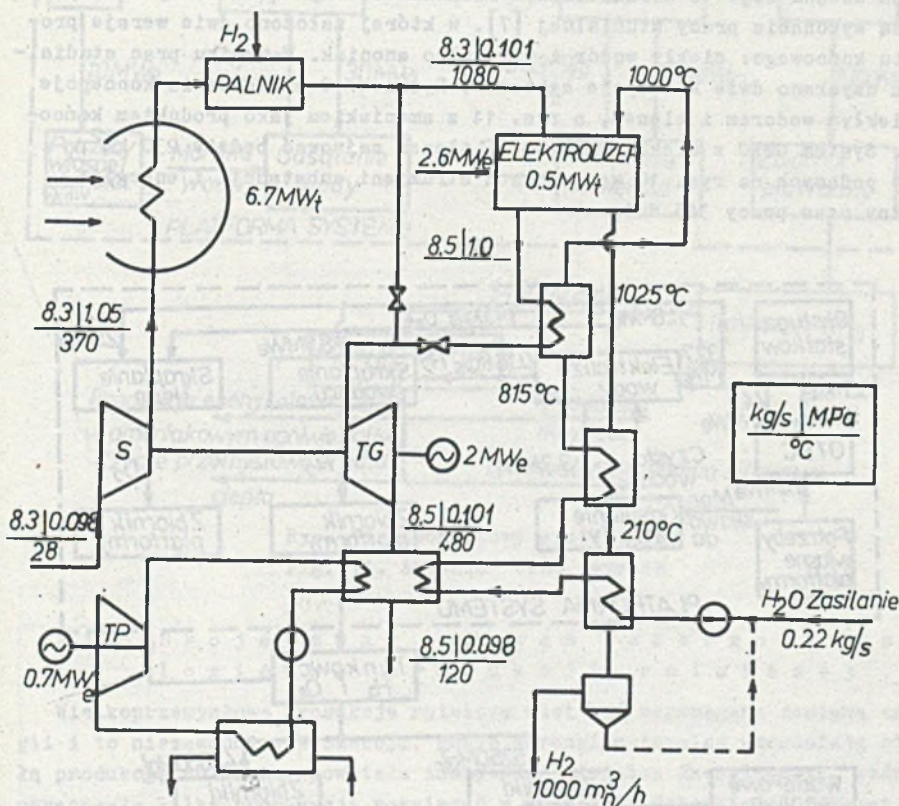
Rys. 8. Produkcja syntetycznego gazu i ciekłych produktów z węgla z zastosowaniem pirolizy i zgazowania

Fig. 8. SNG and raw fluid fuels production by making use of pyrolysis and gasification of coal

Źródłem energii elektrycznej jest siłownia gazowo-parowa zasilana energią słoneczną z zastosowaniem parabolicznego kolektora specjalnej budowy, służącego do podgrzewania sprężonego powietrza. Dla zapewnienia nominalnych warunków pracy elektrolizera przewidywany jest przed nim palnik zasilany częścią wytworzonego w układzie wodoru. Parę do elektrolizy i turbiny parowej wytwarza się za pomocą entalpii spalin opuszczających turbinę gazową. Przegrzewanie pary do wymaganej temperatury elektrolizy wysokotemperaturowej odbywa się w wymiennikach służących odpowiednio do schładzania wyprodukowanego wodoru i gazu grzewczego opuszczającego elektrolizer. Schemat instalacji wg [6] pokazano na rys. 9.

Schemat funkcjonalny systemu oraz podane na nim wartości strumieni energii i substancji, jak też ich parametry wyznaczono analitycznie w ramach pracy studialnej przy przyjętych założeniach wynikających z częściowych doświadczeń. Rozpatrywane są różne warianty podobnych systemów, oparte na powyższej koncepcji. Jedną z grup stanowią systemy, w których zwiększony jest udział paliwa konwencjonalnego do ich zasilania. Przykładowo wymagana temperatura gazu grzewczego do wysokotemperaturowej elektrolizy uzyskuje się za pomocą podgrzewania energią słońca i przez zmieszanie z produktami spalania węgla o odpowiedniej temperaturze. Kolejne spadki entalpii gazu grzewczego wykorzystuje się do allotermicznego parowego zgazowania węgla i generacji pary. Uzyskany w wyniku elektrolizy wódór jest zastosowany do metanizacji gazowej mieszaniny ($H_2 + CO$), produkując sztuczny gaz metanowy, a wytworzona para zasila odpowiednio elektrolizer, generator gazu i siłownię parową dostarczającą energię elektryczną do elektrolizy. Wtedy system ostatecznie oddaje do użytkowania w otoczeniu

szuczny gaz metanowy i energię elektryczną, przy jego zasilaniu z otoczenia węglem i wodą, wspomagając go w znacznym udziale energią słoneczną.



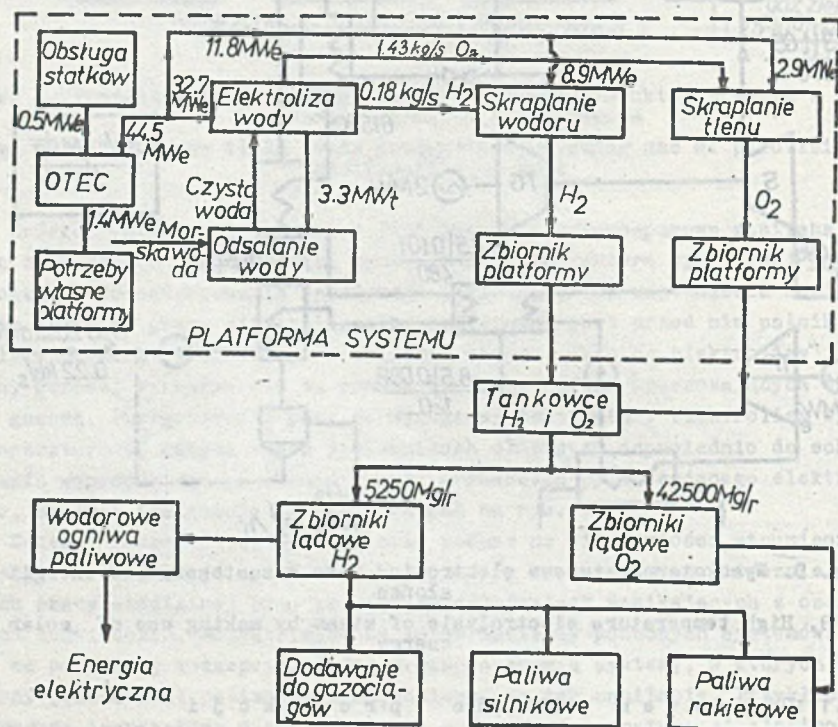
Rys. 9. Wysokotemperaturowa elektroliza pary z zastosowaniem energii słońca

Fig. 9. High temperature electrolysis of steam by making use of solar energy

2.1.10. System OTEC do produkcji amoniaku i metanolu

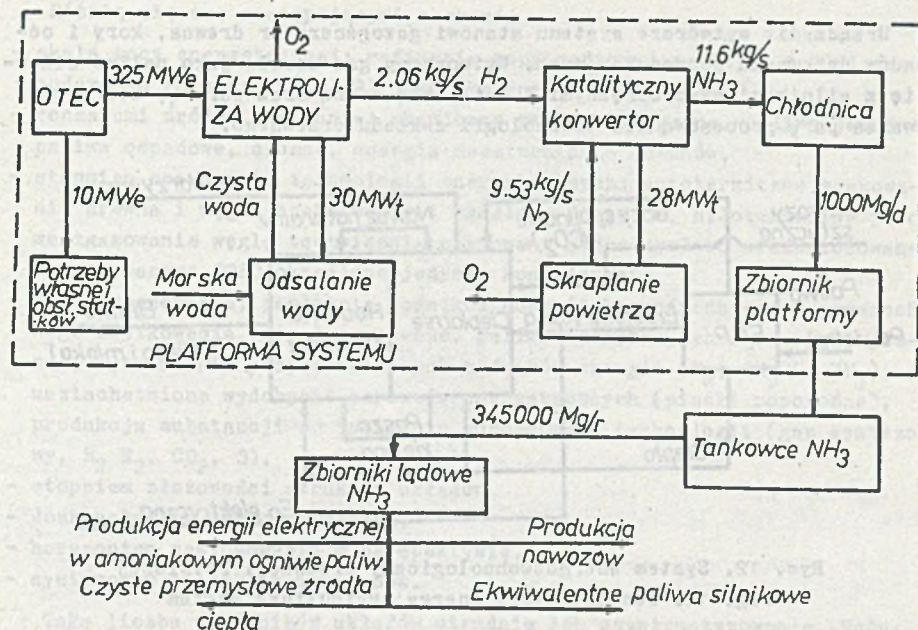
Skrótem OTEC (Ocean Thermal Energy Conversion) określa się prawdopodobnie w przyszłości siłownie oceaniczne wykorzystujące różnice temperatury powierzchni oceanów strefy tropikalnej (ok. 30°C) i temperatury wody oceanicznej na głębokości np. 1000 m (ok. 5°C). Wprowadzie oceniono, że w tych warunkach powierzchnia oceanu odbiera od słońca moc 230 MW/km², to jednak z dyspozycyjnej różnicy temperatur można przetworzyć na moc elektryczną tylko 3% tej wartości. Z drugiej jednak strony, biorąc pod

uwagę biocenozę oceanu i jego równowagę energetyczną, strumień energii elektrycznej wytworzonej w systemie OTEC nie przekroczy $0,2 \text{ MW/km}^2$ przy założeniu pracy 24-godzinnej przez 365 dni. Przy istniejących powierzchniach oceanu daje to w ostatecznym rachunku olbrzymie moce. Było to przyczyną wykonania pracy studialnej [7], w której założono dwie wersje produktu końcowego: ciekły wodór i tlen albo amoniak. W wyniku prac studialnych uzyskano dwie koncepcje systemów. Rysunek 10 przedstawia koncepcję z ciekłym wodorem i tlenem, a rys. 11 z amoniakiem jako produktem końcowym. System OTEC z ciekłym wodorem i tlenem zajmować będzie 230 km^2 , przy podanych na rys. 10 wartościach strumieni substancji i energii; roczny czas pracy 345 dni.



Rys. 10. Wodorowy system OTEC

Fig. 10. Hydrogen OTEC system



Rys. 11. Amoniakowy system OTEC

Fig. 11. Ammonia OTEC system

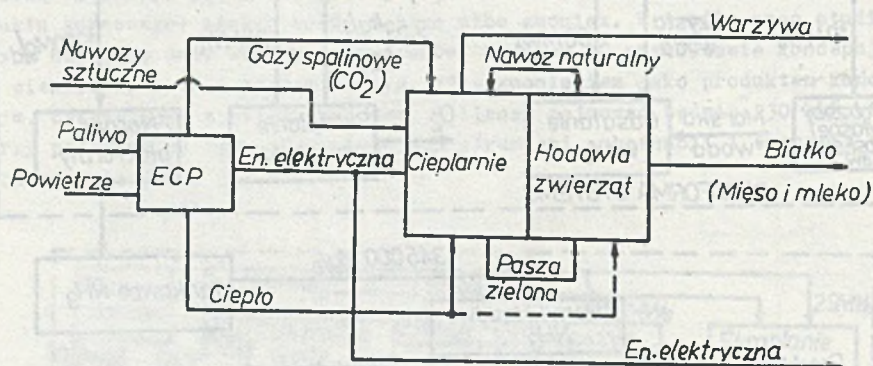
2.1.11. Skojarzony system energetologiczny produkcji rolniczej

Wielkoprzemysłowa produkcja rolnicza musi być wspomagana dostawą energii i to niezawodnie. W Szwecji, gdzie warunki naturalne utrudniają ciągłą produkcję rolniczą, powstała instytucja Division Energiteknik, która opracowała kilka propozycji rozwiązań w omawianej dziedzinie. Schemat jednego rozwiązania ilustruje rys. 12. Z elektrociepłowni gazowej uzyskuje się energię elektryczną, ciepło grzewcze i gazy spalinowe, które wykorzystywane są w ciepłarni jako nośnik CO₂ i ciepła. W wyniku funkcjonowania systemu oddaje się do otoczenia werzywa, mięso i mleko oraz nadwyżkę produkcji energii elektrycznej i ciepło grzewcze.

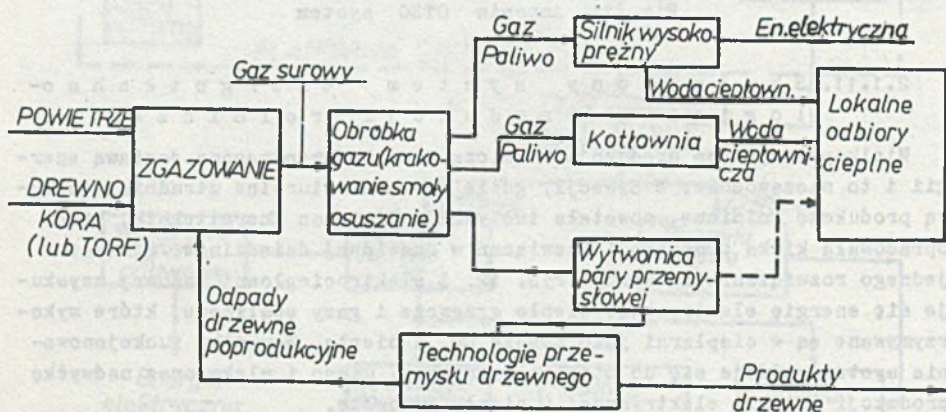
2.1.12. Zastosowanie układów skojarzonych w przemyśle drzewnym

Zakłady przemysłu drzewnego lokalizowane są blisko obszarów pozyskania drewna i stanowią przykład przemysłu rozproszonego. Wspomniana w p. 2.1.11 instytucja zaproponowała system, który zabezpiecza też pokrywanie potrzeb energetycznych osiedla związanego z zakładem produktów drzewnych w warunkach szwedzkich. Rysunek 13 wyjaśnia funkcjonowanie systemu.

Urządzenie wytwórcze systemu stanowi gazogenerator drewna, kory i odpadów drzewnych poprodukcyjnych. Wytworzony gaz zasilany jako paliwo silownię z silnikami wysokoprężnymi i kotłownię wodną oraz parową, która wytwarza parę procesową dla technologii zakładu drzewnego.



Rys. 12. System energetyczny produkcji rolniczej
Fig. 12. Technological energy agriculture system



Rys. 13. Lokalny system energetyczny przemysłu drzewnego
Fig. 13. Local energy system of wood industry

2.2. Próba uporządkowania i syntezy perspektywicznych przemysłowych układów skojarzonych

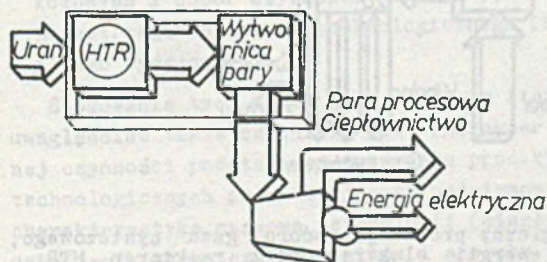
Przedstawiony przegląd perspektywicznych przemysłowych układów skojarzonych nie wyczerpuje prawdopodobnych technicznie rozwiązań, nawet takich, które są już znane z literatury.

Różnią się one następującymi cechami:

- skalą mocy energetycznej: rafineria ropy naftowej z HTR (2.1.2) i gospodarstwo rolnicze (2.1.12) jako skrajne,
- rodzajami źródeł zasilania: chemiczne paliwa klasyczne, paliwa jądrowe, paliwa odpadowe, słońce, energia masetermiczna oceanów,
- stopniem opanowania technologii energetycznych: autotermiczne zgazowanie drewna i węgla technicznie i handlowo dostępne, allotermiczne parowe zgazowanie węgla technicznie opanowane a przemysłowo niezaosnowane, obiegi parowe OTEC określone jedynie koncepcyjnie,
- celem stosowania: produkcja nośników energii bezpośredniego i powszechnego użytkowania (ciepło grzewcze, paliwa pochodne, energia elektryczna), wytwarzanie przyszłościowych nośników energii (H_2 , CH_3OH , NH_3), uszlachetnione wydobycie surowców energetycznych (piaski ropocenne), produkcja substancji do zasilania surowcowego technologii (gaz syntezowy, H_2 , N_2 , CO_2 , S),
- stopniem złożoności struktur układów,
- doskonałością termodynamiczną,
- horyzontem zastosowania w perspektywie,
- systemowym charakterem układów.

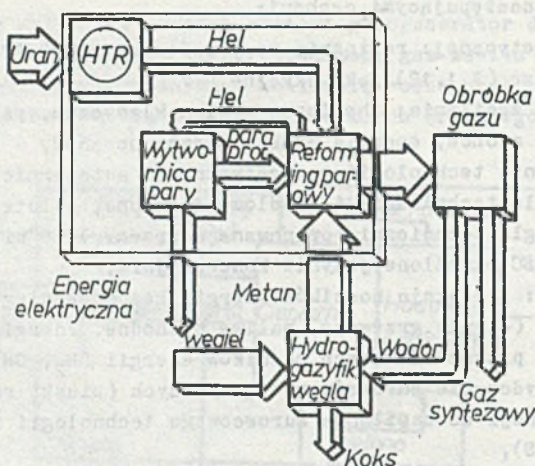
Take liczba wyróżników układów utrudnia ich usystematyzowanie. Można pokusić się jednak o pewne ograniczone uporządkowanie, jeśli przyjmie się za punkt wyjścia takie same podstawowe źródło energii układów. Zilustrowane to będzie na przykładzie energii jądrowej, przyjmując wysokotemperaturowy reaktor jądrowy HTR za źródło podstawowe.

Systematykę w tej dziedzinie przedstawiono graficznie, pomijając samą elektrownię jądrową z HTR jako nie należącą do układów skojarzonych, ale będącą jednak pierwszym



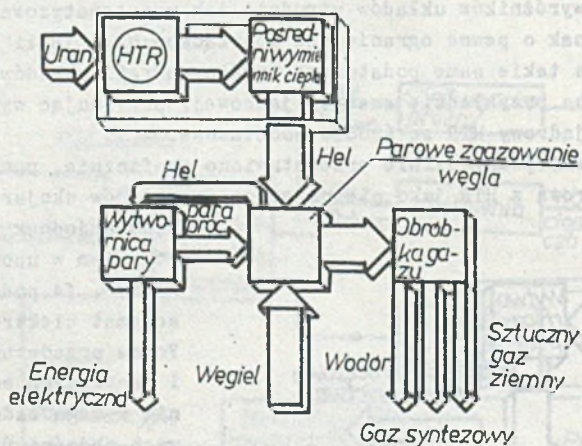
Rys. 14. Elektrownia z reaktorem HTR
Fig. 14. Thermal-electric power with plant HTR

budować do nitki gazu syntezowego bloki reprezentujące instalacje syntezy chemicznej, np. amoniaku lub metanolu.



Rys. 15. Schemat energotechnologiczny produkcji gazu syntezowego i energii elektrycznej z reaktorem HTR

Fig. 15. Energy-technologic scheme of synthesis gas, SNG and electric energy production with HTR



Rys. 16. Schemat energotechnologiczny produkcji wodoru, gazu syntezowego, sztucznego gazu ziemnego i energii elektrycznej z reaktorem HTR

Fig. 16. Energy-technologic scheme of hydrogen, synthesis gas, SNG and electric energy production with HTR

Kolejną wersją systemową, którą ilustruje rys. 16, jest układ produkcyjny wodoru, gazu syntezowego, sztuczny gaz ziemny i energię elektryczną. Ten ostatni układ można rozbudować przez dołączenie do gazu syntezowego bloków syntezy chemicznej, a do wodoru bezpośrednią redukcję rud żelaza da-

jącą jako produkt żelazo gąbczaste przetwarzane na stal w piecu elektrycznym zasilanym energią elektryczną produkowaną w układzie. Drugą wersją rozbudowy schematu na nitce wodoru może być pośrednia redukcja rud żelaza przed wprowadzeniem jej do wielkiego pieca i wspomaganie energetyczne pracy wielkiego pieca wodorem w celu obniżenia zużycia koksu. Tak rozbudowane układy omawiane są w wielu publikacjach [8], [9], [10] i [11].

Prawdopodobieństwo realizacji przyszłościowych układów skojarzonych będzie uzależnione od wielu czynników, w tym głównie od konieczności minimalizacji zużycia energii pierwotnej wiążącej się z zasadą zachowania zasobów energii pierwotnej i ochrony środowiska przyrodniczego oraz praktycznego opanowania nowych technologii przemysłowych, sprzężonych z nowymi technologiami energetycznymi.

Kształtowanie perspektywicznych układów skojarzonych energotechnologicznych jest zadaniem, którego racjonalne rozwiązanie będzie wynikiem współpracy technologów przemysłowych i energetyków.

Z tej przyczyny tworzone przyszłościowe systemy (SET) będą podlegały jednocześnie zasadom projektowania technologicznego i kryteriom termodynamicznym.

Zasady projektowania technologicznego można sformułować następująco:

- jak najlepsze wykorzystanie różnic potencjałów procesów (temperatur, ciśnień, stężeń); jest to związane organicznie z kryteriami termodynamicznymi,
- maksymalne wyzyskanie surowców (dobór nadmiaru reagentów, układu przepływowego, zakresu regeneracji reagentów i katalizatorów, oraz minimalizacji udziału niepożądanych procesów towarzyszących, wytwarzania produktów ubocznych i odpadowych),
- jak najlepsze wykorzystanie urządzeń i aparatury (stosowanie obiegów kołowych i dobór szybkości procesów),
- przestrzeganie umiaru technologicznego (kompromis szybkości procesu i jego wydajności).

Stosowanie tych zasad jest procesem iteracyjnym, w którym należy też uwzględniać takie czynniki, jak: charakter fizykochemiczny technologicznej czynności podstawowej tworzenia produktu głównego, dobór czynności technologicznych poprzedzających podstawową i po niej następujących, charakterystykę czasową technologii (ciągła, okresowa, szarżowa), wybór uzbrojenia technicznego systemu i sposobu eksploatacji oraz sterowania pracą systemu.

Wiadomo, że wprowadzenie nowych technologii poprzedzają badania podstawowe i techniczne węzłowych urządzeń lub instalacji. Niektóre z nich są bardzo długotrwałe; czas badań w skali półtechnicznej osiąga niekiedy kilkudziesięciu tysięcy godzin. Zakres badań obejmuje oswojenie procesów, wypróbowanie stosowanych materiałów i czasokres trwałości ich własności oraz zdejmowanie charakterystyk dynamicznych dla potrzeb sterowania.

Zbiór informacji z takich badań stanowi ważne uwarunkowanie prawidłowości decyzji podejmowanych w czasie kształtowania nowych systemów energo-technologicznych.

Ukształtowany system w każdej fazie jego opracowywania podlega kryteriom termodynamicznym pod kątem obniżenia skutków nieodwracalności procesów. Miernikiem oceny staje się w tym przypadku analiza strat egzergii. Biorąc pod uwagę wnioski z publikacji [12] można stwierdzić:

- nieodwracalność przepływu ciepła jest tym mniej szkodliwa, im wyższa temperatura ciał wymieniających ciepło,
- tarcie tym mniej szkodliwe, im wyższa temperatura ciała pochłaniającego ciepło,
- dławienie tym bardziej podwyższa stratę egzergii, im większy stosunek ciśnień przed i po zdławieniu, a w małym stopniu wpływa na nią temperatura płynu,
- nieodwracalność adiabatyicznego spalania jest tym mniejsza, im wyższa jest temperatura podgrzanych substratów spalania.

Ostatni rozwój mierników oceny w postaci skumulowanego zużycia energii, egzergii i stopnia doskonałości termodynamicznej procesów [13] daje twórcom przyszłościowych układów skojarzonych nowoczesne oraz udoskonalone narzędzia do ich analizy i syntezy.

3. PODSUMOWANIE

Mimo że większość perspektywicznych skojarzonych systemów energo-technologicznych może zostać niezrealizowana i pozostanie długo w fazie studialnej, to wydaje się celowym uznanie badań nad nimi za pożyteczne. W naszych krajowych warunkach niektóre z nich mogą w przyszłości wspomagać restrukturalizację gospodarki narodowej zgodnie z koniecznością obniżenia energochłonności dochodu narodowego i wykorzystaniem nowych technologii energetycznych jako czynnika unowocześniającego. W kilkudziesięcioletniej perspektywie węgiel stanowić będzie dalej znaczący udział w krajowej strukturze energii pierwotnej. Uszlachetnione wykorzystanie węgla wiązać można z zastosowaniem wysokotemperaturowych reaktorów jądrowych HTR jako źródła ciepła do allotermicznego zgazowania węgla sprzężonego z przemysłową elektrociepłownią, która też obok produkcji energii elektrycznej jest w stanie zasilać niskotemperaturową parą upustową instalację odsalania wód kopalnianych jako ekologiczny warunek wydobycia węgla. Należy sądzić, że prace badawcze i techniczne nad perspektywicznymi skojarzonymi systemami energo-technologicznymi będą rozwijane również w Polsce, a ich zastosowanie stanowić będzie ważny czynnik nowoczesności przemysłu i energetyki jako podstawowego podsystemu gospodarki narodowej.

LITERATURA

- [1] Szargut J.: Analiza termodynamiczna i ekonomiczna w energetyce przemysłowej. Wyd. I WNT, Warszawa 1983, ss.356-360.
- [2] Probst R.F., Hicks R.E.: Synthetic fuels. McGraw-Hill, New York 1982, s.281.
- [3] Bernet H.: Future Energy Systems. KFA, IRE-L Bericht, 82.07.07.
- [4] Escher G., Hosang H.: Vorstudie zum Bau einer grosstechnischen Kohlehydrier-Anlage. "Kohle-veredelungsprogramm BRD, BMFT-FB, ET 1242A" 1981; October.
- [5] Tsventanow P. i inni: Intergrated energy systems for Bulgaria. "IIASA Symposium on Integrated Energy Systems" 1987 13-15 July; Austria.
- [6] Erdle E., Grose J., Meyringer V.: Possibilites for hydrogen production by combination of solar thermal central receiver system and high temperature electrolysis of steam. "Proc. of the Third International Workshop Solar Thermal Central Receiver Systems" 1986; vol.2, ss.727-736.
- [7] Avery W.H., Richards D., Dugger G.L.: Hydrogen generation by OTEC electrolysis, and economical energy transfer to world markets via ammonia and methanol, "Int.J.Hydrogen Energy" 1985; vol.10, No 11, ss.727-736.
- [8] Shimokawa K., Tsuruoka K., Masada E.: National project:nuclear steelmaking in Japan. "Proc. of Conf. HTGR". London 1975; Session IV, paper 23.
- [9] Barnes R.S., Decker A., Coche L.: The use of nuclear heat in the iron and steel industry. "Proc. of Conf. HTGRD", London 1975; Seseion IV, paper 20.
- [10] Wenzel W., Franke F.H., Speich P.: Nuclear steelmaking by gasification of lignite. "Proc. of Conf. HTGR" London 1975; Session IV, paper 22.
- [11] Block F.R., Stolzenberg G.: Reduction processes with a high degree of gas utilization and with the aid of nuclear heat. "Proc.of Conf. HTGR", London 1975; Seseion IV, paper 21.
- [12] Szargut J.: Zastosowanie analizy egzergetycznej. "Gospodarka Paliwami i Energią", 1988, Nr 12 (415), ss.1-4.
- [13] Szargut J., Morris D.R.: Cumulative Exergy Consumption and Cumulative Degree of Perfection of Chemical Processes. "Energy Research" 1987, vol. 11, ss.245-261.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КОМБИНИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ
В ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

Р е з ю м е

В работе дан обзор перспективных промышленных комбинированных систем с попыткой их систематики и введением понятия энерготехнологической системы. Подбор представленных систем учитывает разные источники их энергетического питания и разные конечные продукты (энергетические и вещественные). Статья заканчивается попыткой синтеза и указанием общего плана технологических и энергетических условий при формировке обсуждаемых систем, а также попыткой оценки этих систем.

PERSPECTIVE COMBINED SYSTEM
IN INDUSTRIAL ENERGY MANAGEMENT

S u m m a r y

Paper contains a review of the perspective combined industrial energy systems. The review is preceded by a consideration about a systematic classification and a definition of these systems. The selection of the presented systems is made taking into consideration different sources of their energy supply and their different products: energy carriers, fuels and substances. In conclusions an attempt of the perspective combined industrial systems synthesis and an attempt of the energetic and technological conditions when forming their structures are made. Also a set of criteria of their assessment is described.