

Andrzej Barczyński

Wojciech Grządzielski

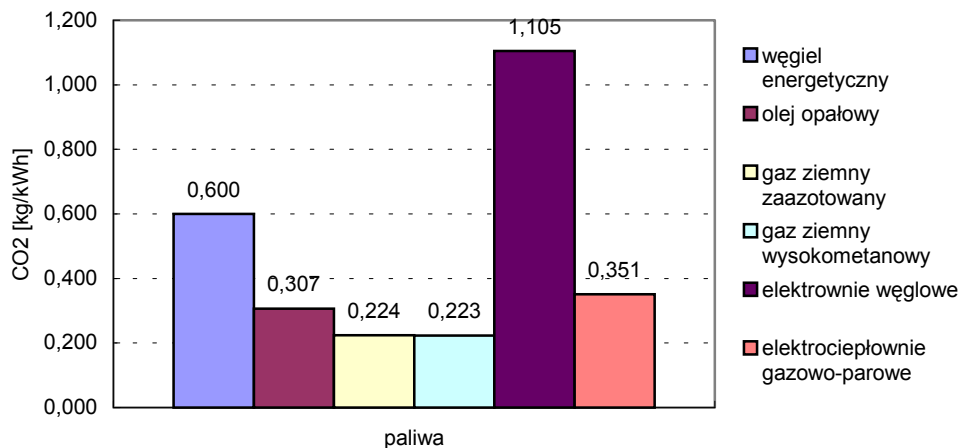
PGNiG S.A. Oddział Wielkopolski Zakład Gazowniczy w Poznaniu

Streszczenie: Rozwój cywilizacji wraz ze wzrastającą świadomością ekonomiczną oraz ekologiczną prowadzi do poszukiwań i połączeń różnych procesów technologicznych stwarzając nowe, wysoce efektywne rozwiązania w zakresie technologii przemysłowych. Procesy te charakteryzują się zrównoważoną produkcją energii przy minimalizacji negatywnego oddziaływania na środowisko naturalne.

Rozwój gałęzi przemysłowej ma duży wpływ na rozwój państwa wpływając na jego stan ekonomiczny i ekologiczny. Systemy połączenia różnego rodzaju technologii oraz różnego rodzaju procesów technologicznych ze sobą stwarza korzystne warunki, ze zmniejszonej emisji CO<sub>2</sub> odpowiedzialnej za globalne ocieplenie klimatu. Spośród wszystkich paliw kopalnych, podczas spalania występuje emisja CO<sub>2</sub>, lecz poziom emisji przy spalaniu gazu ziemnego jest najniższy (Tabela 1, rys.1):

Tabela 1 Emisje CO<sub>2</sub> [4].

Paliwo	sprawność	wartość opałowa		udział węgla	CO <sub>2</sub>	
	-	MJ/kg	kWh/kg		kg/GJ	kg/kWh
węgiel energetyczny	0,70	22,0	6,1	0,70	166,7	0,600
olej opałowy	0,85	42,5	11,8	0,84	85,3	0,307
gaz ziemny zaazotowany	0,85	26,0	7,2	0,70	62,2	0,224
gaz ziemny wysokometanowy	0,85	35,4	9,8	0,95	62,0	0,223
elektrownie węglowe	0,38	22,0	6,1	0,70	307,0	1,105
elektrociepłownie gazowo-parowe	0,54				97,5	0,351



Rys. 1 Emisje CO<sub>2</sub> [4].

Przy prawidłowo prowadzonej eksploatacji sieci, właściwej konserwacji urządzeń i sprawnej wentylacji, gaz ziemny jest paliwem w pełni bezpiecznym i wygodnym do stosowania.

Korzyści ze stosowania gazu ziemnego wynikają przede wszystkim z:

- prostej obsługi urządzeń gazowych,
- możliwości uzyskania wysokich temperatur podczas jego spalania,
- łatwości regulacji i automatyzacji procesu spalania,
- wysokiej sprawności energetycznej urządzeń,
- braku stałych odpadów przy jego spalaniu,
- łatwości magazynowania stosunkowo dużych ilości gazu,
- stałości i niezawodności dostaw gazu.

2 Wzrost popytu na energię

## 2.1 Spalanie wysokotemperaturowe.

Podstawą w przemysłowych technologiach jest spalanie paliw. Spalanie wysokotemperaturowe z podgrzaniem wstępnie powietrzem jest atrakcyjną technologią wysoce efektywną oraz przyjazną ekologicznie. Zastosowanie tej technologii ma szczególne zastosowanie w piecach przemysłowych, umożliwiając oszczędność energii oraz drastyczną redukcję emisji CO<sub>2</sub>, CO, i NO<sub>x</sub>.

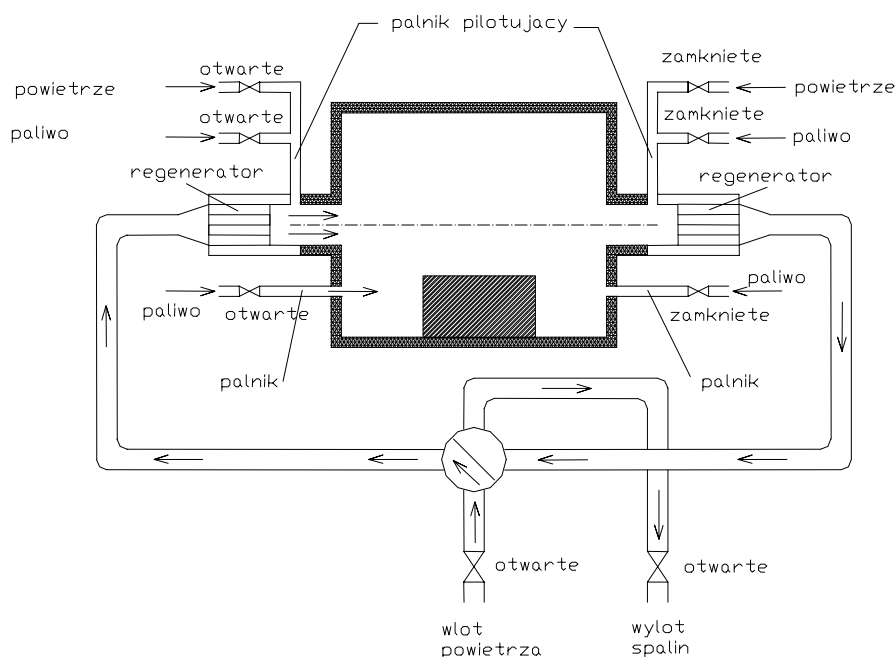
Technologia spalania wysokotemperaturowego charakteryzuje się[1]:

- powietrze dostarczane do spalania jest podgrzane do temperatur 1000<sup>0</sup>C

- temperatura spalin na wyjściu z pieca przed regeneratorem jest o około  $100^{\circ}\text{C}$  wyższa niż temperatura powietrza na wejściu do pieca
- dysze paliwowe odsunięte od strumienia powietrza doprowadzonego do komory spalania, wtryskują paliwo do gorących stref spalania o niskim współczynniku nadmiaru powietrza
- spalanie ma miejsce w całej przestrzeni pieca i z reguły płomień jest niewidzialny

Prekursorem tej technologii jest Japonia. Obecnie są prowadzone liczne badania w czołowych światowych placówkach inżynierskich.

W tej technologii ważnym elementem jest sposób dostarczania paliwa i powietrza charakteryzujący się jego cykliczną zmianą kierunku. Palniki umieszczone są po dwóch stronach pieca i działają naprzemiennie. Podczas gdy jeden z palników działa, drugi spełnia rolę regeneratora, nagrzewając specjalny wkład od gorących spalin. Następnie praca palników zostaje odwrócona i gorący wkład oddając ciepło podgrzewa doprowadzane powietrze do wysokich temperatur. Technologia ta jest również nazywana jako FLOX (flameless oxidation). Współczynnik radiacyjny wymiany ciepła w komorze spalania wynosi w granicach  $300\text{-}400\text{ kW/m}^2$ . W produktach spalania emisja substancji szkodliwych jest bardzo niska (emisja  $\text{NO}_x$  na wyjściu z pieca stabilizuje się w granicach  $150\text{ ppm}$  a emisja  $\text{CO}$  jest zerowa).



Rys. 2 Technologia spalania wysokotemperaturowego[1].

Zastosowanie powyższej technologii pozwala zaoszczędzić energię dostarczaną w paliwie do 52% w stosunku do procesów bez wykorzystania rekuperatorów ciepła.

Sprawność odzysku ciepła od spalin do powietrza wlotowego do palnika, w przypadku zastosowania rekuperatorów ciepła można zapisać

$$\sigma = \frac{h_R}{h_{R\max}} = \frac{T_{p2} - T_{p1}}{T_{sp} - T_{p1}}$$

gdzie  $T_{p1}$  oznacza temperaturę początkową powietrza na dolocie do rekuperatora,  $T_{p2}$  temperaturę podgrzanego powietrza,  $T_{sp}$  temperaturę spalin na wylocie z komory spalania. Dla temperatury spalin  $1300^{\circ}\text{C}$  i temperaturze powietrza na dolocie do rekuperatora  $15^{\circ}\text{C}$  oraz temperaturze powietrza podgrzanego do  $655^{\circ}\text{C}$  sprawność odzysku ciepła od spalin wynosi 50%.

Przy wykorzystaniu rekuperatorów ceramicznych wmontowanych w palnikach możliwe jest zwiększenie sprawności odzysku ciepła nawet powyżej 80%. Stosując powyższe materiały można uzyskać temperaturę podgrzanego powietrza około 100 do 150 K niższą niż temperatura procesu. Schematyczne rozwiązanie przedstawia rysunek 2.

## 2.2 Spalanie w obecności tlenu.

Spalanie paliw w obecności tlenu charakteryzuje się tym, iż utleniaczem w procesie jest czysty tlen a otrzymana temperatura spalania jest na poziomie  $3000^{\circ}\text{C}$  bez wstępnego podgrzewu powietrza na dolocie do komory spalania a strumień objętości paliwa jest zredukowany do 25% w porównaniu z typowymi układami. System ten może stać się alternatywą dla pieców kuźniczych zasilanych energią elektryczną, co przyczyni się do oszczędności energii.

## 2.3 System z odzyskiem ciepła.

System grzewczy wraz z odzyskiem ciepła spalin polega na wykorzystaniu entalpii spalin na wyjściu z komory spalania w celu podgrzania wstępnego wody bądź powietrza na dolocie do komory spalania. Wykorzystuje się tutaj podgrzewacze (wymienniki ciepła) typu przeponowego bądź typu Juegstroema. Sprawność układu może wzrosnąć od 25-35%. W celu zwiększenia sprawności układu stosuje się również kotły z odzyskiem ciepła utajonego spalin. Temperatura spalin z konwencjonalnych kotłów jest obliczana na poziomie

150-200<sup>0</sup>C. Przyczyną tego założenia jest ochrona systemów odprowadzenia spalin przed korozją, którą może generować wykroplona para wodna ze spalin wraz z substancjami szkodliwymi znajdującymi się w produktach spalania. Kotły z odzyskiem ciepła utajonego spalin są specjalnie projektowane, aby ochłodzić temperaturę spalin na wylocie a kotła do poziomu poniżej 100<sup>0</sup>C (kotły kondensacyjne). Projektowane są wówczas specjalne układy odprowadzenia spalin niewrażliwe na korozyjne działanie spalin. Kotły te mogą zwiększyć sprawność cieplną o 15% w porównaniu z konwencjonalnymi kotłami.

Spalanie z odzyskiem ciepła jest szczególnie preferowane w systemach termicznej utylizacji odpadów oraz dopalaniu gazów cuchnących. Ważnym aspektem jest tutaj segregacja odpadów i oddzielenie części mogących wejść jeszcze w „obieg recyklingu” oraz separacja niepalnych substancji od substancji palnych.

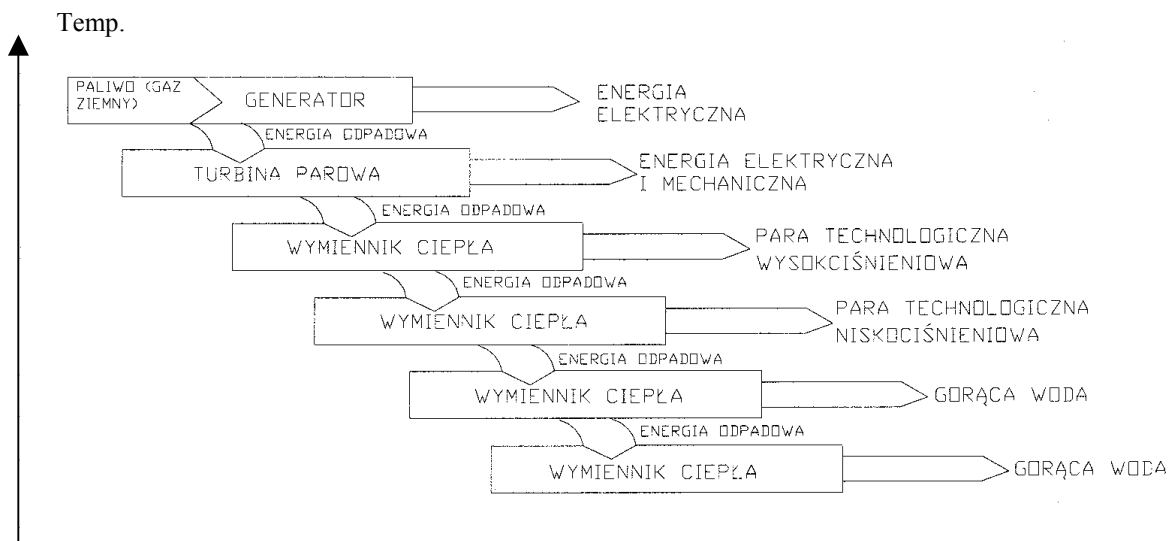
#### **2.4 System „kaskady ciepła”.**

System kaskady cieplnej jest interesującą koncepcją użycia energii [2]. Zasadą jest tutaj rozdział energii w zależności od potencjału jaką posiada, poczynając, np. od zakresu temperatur 1500<sup>0</sup>C w dół nie marnując żadnej z energii pośrednich. Najważniejszą rzeczą w rozdziale kaskadowym energii jest:

- ciepło wysokotemperaturowe w zakresie około 1500<sup>0</sup>C otrzymuje się poprzez spalania paliw (paliwa gazowego) w komorach spalania wraz z użyciem turbin gazowych lub silnikach spalinowych do produkcji energii elektrycznej,
- poziom temperatur około 700<sup>0</sup>C pary wodnej (poprzez wykorzystanie ciepła z turbiny gazowej), można w turbinach parowych do produkcji energii elektrycznej lub mechanicznej,
- para wysoko- i niskoprężna jak również gorąca i ciepła woda użytkowa jest produkowana poprzez zastosowanie wymienników ciepła.

System kaskady cieplnej stwarza warunki do wykorzystania ciepła o różnym zakresie temperatur, które z konwencjonalnych systemach są niewykorzystane. Wpływa to na poprawę wskaźnika wykorzystania energii jaką jest sprawność cieplna.

Jednym z elementów kaskady cieplnej może być kogeneracja. Na rysunku 3 przedstawiono przykładowy schemat układu kaskadowego.

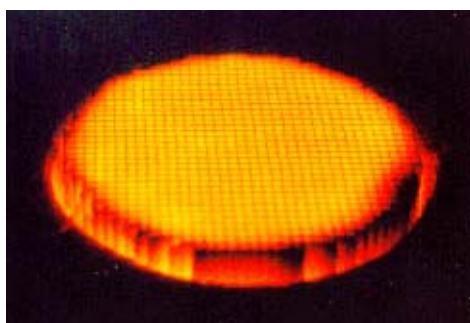


Rys. 3 Schemat kaskady cieplnej.

## 2.5 Spalanie katalityczne.

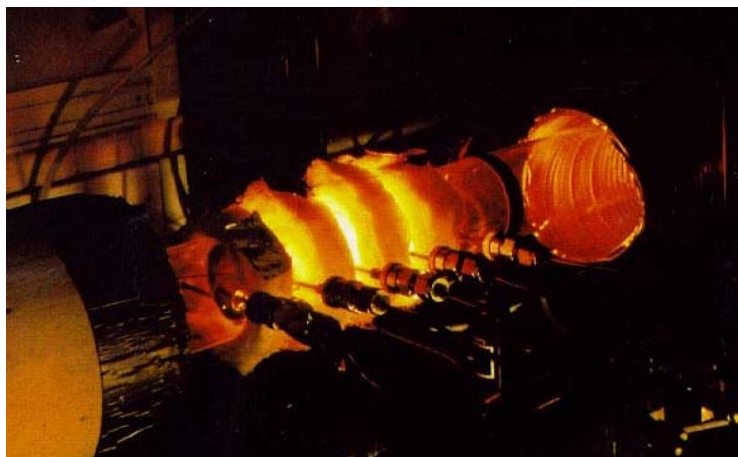
Spalanie katalityczne jest relatywnie nową metodą pozwalającą na obniżenie tlenków azotu w palnikach turbin gazowych. Rozwój numerycznych metod modelowania pozwala na dokładny, relatywnie szybkie wykonanie nowo projektowanych palników katalitycznych dla zastosowania w turbinach gazowych.

Palnik katalityczny posiada zdolność do pracy w wysokich ciśnieniach. Żarząca się powłoka (siatka) ma charakterystyczny wysoki stosunek konwersji paliwa. Na rysunku 4 pokazano palnik katalityczny [6] konstrukcji UC Berkeley.



Rys. 4 Widok palnika katalitycznego [6].

Rysunek 5 przedstawia palnik katalityczny niskociśnieniowy wykonany z kwarcu. Powierzchnia katalityczna została pocięta w płyty w celu uwzględnienia pomiaru temperatury i składu wzdłuż powierzchni katalitycznej.



Rys. 5 Palnik katalityczny niskociśnieniowy wykonany z kwarcu [6].

Palniki katalityczne są stosowane w :

- kotłach kondensacyjnych wiszących o mocy do 40 kW,
- kotłach stojących małej mocy do 100 kW,
- kotłach stojących dużej mocy powyżej 100 kW.

W palnikach tego typu paliwo i powietrze jest w pełni wstępnie zmieszane i realizowana jest zasada spalania kinetycznego. Charakteryzują się również małą prędkością przepływu i krótkim płomieniem oraz niską emisją tlenków azotu.

W palnikach tych wytworzenie mieszaniny gazu z powietrzem w przedziale współczynnika nadmiaru powietrza  $\lambda = 1,1-1,4$  realizuje się przez wydłużenie odcinków mieszania i wprowadzenie urządzeń mieszających lub komór mieszających wykorzystując energię wentylatorów. W celu uzyskania bardzo jednorodnego rozdziału mieszaniny tak aby w każdym punkcie występowało identyczne obciążenie cieplne powierzchni stosuje się odpowiednie powierzchnie rozdzielające, np. dziurkowane blachy, siatki.

Istota pracy palnika katalitycznego polega na wykonaniu z siatki ze stali nierdzewnej promiennika, chłodzonej poprzez intensywne wypromieniowanie ciepła. Po zapłonie płomień rozchodzi się po całej płaszczyźnie siatki i rozgrzewa ją do temperatury 900°C. Gorąca siatka oddaje ciepło bardzo efektywnie na zasadzie promieniowania do chłodnych ścian komory spalania, co powoduje intensywne chłodzenie płomienia. Dzięki czemu palnik oddaje na drodze promieniowania ok. 11-25% ciepła, przy temperaturach powierzchniowych 700-900°C. Tym samym wytwarzanie termicznych NO spada niemal do zera, a w całkowitym bilansie NO pozostaje tylko nadzwyczaj niewielki udział „szybkich” tlenków azotu [7].

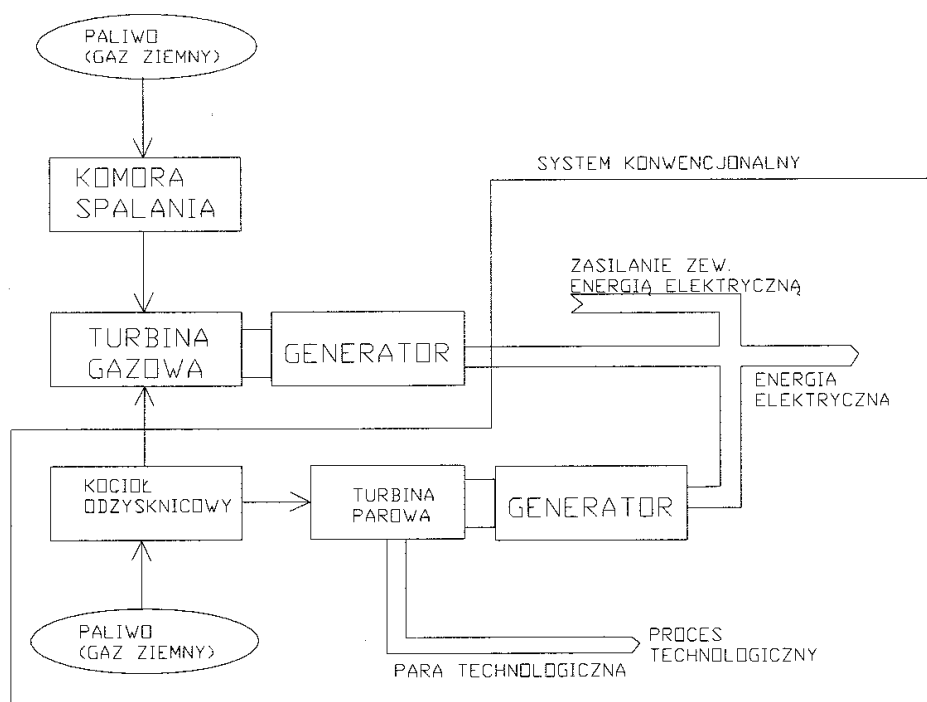
Inną zaletą palników katalitycznych jest to, że półkulista siatka z drutu może rozszerzyć się podczas ogrzewania bez występowania naprężeń, wykazując tym samym dużą trwałość. Wielkość oczek w siatce zapobiega cofaniu się płomienia.

3 Składowanie energii mechanicznej w postaci

### **3.1 Siłownie parowo – gazowe.**

System gazowo – parowy w technologii przemysłowej stanowi połączenie obiegu siłowni parowej z obiegiem siłowni gazowej (rys. 6). Energia gazów spalinowych wytworzonych w komorze spalania jest przekształcona na energię mechaniczną w turbinie gazowej. Dalej energia mechaniczna zostaje przekształcona na energię elektryczną w generatorze prądu. Gazy spalinowe na wyjściu z turbiny gazowej zostają wprowadzone do komory dopalającej w kotle odzysknicowym. Entalpia spalin zostaje wykorzystana na wyprodukowanie pary przegrzanej wykorzystanej w turbinie parowej. W turbinie parowej, energia pary zostaje zamieniona na energię mechaniczną a dalej na energię elektryczną w generatorze prądu. Energia elektryczna stanowi sumę energii powstałej z obiegu siłowni gazowej oraz z obiegu siłowni parowej. Z turbiny parowej może być upuszczona część pary do celów technologicznych. Sprawność może być polepszona podwyższając moc na wyjściu z obiegu siłowni gazowej i parowej poprzez wykorzystanie energii odpadowej. System ten pozwala uzyskać podwyższenie o 10-30% sprawności przekształcenia energii [2].





Rys. 6 Siłownia gazowo – parowa (kombinowana) [2].

### 3.2 Agregaty kogeneracyjne.

Jednym ze sposobów poprawy ekonomicznej opłacalności wytwarzania ciepła może być stosowanie gospodarki skojarzonej. Największa sprawność wykorzystania energii zawartej w paliwie gazowym występuje, gdy produkcja ciepła występuje bezpośrednio u odbiorcy. Do osiągnięcia tego celu mogą służyć agregaty kogeneracyjne (silniki spalinowe z generatorem) [3].

Agregaty kogeneracyjne mogą być zasilane gazem ziemnym, biogazem a także gazami niskokalorycznymi.

Tłokowe silniki stosowane w agregatach kogeneracyjnych można podzielić na:

- *wysokoprężne zasilane gazem ziemnym,*
- *tłokowe silniki o zapłonie iskrowym,*

Jednak silniki wysokoprężne muszą być zasilane dodatkową dawką paliwa oleju napędowego, ponieważ podczas normalnie stosowanych stopniach sprężania osiągnięte parametry ciśnienia i temperatury przed GMP<sup>1</sup> są niższe niż od parametrów zapłonu stechiometrycznej mieszanki czystego metanu z powietrzem. Spalanie gazu ziemnego zaazotowanego wymaga dużo

większej energii zapłonu niż dla gazów wysokometanowych. Natomiast tłokowe silniki o zapłonie iskrowym są tańsze pod względem inwestycyjnym oraz eksploatacyjnym.

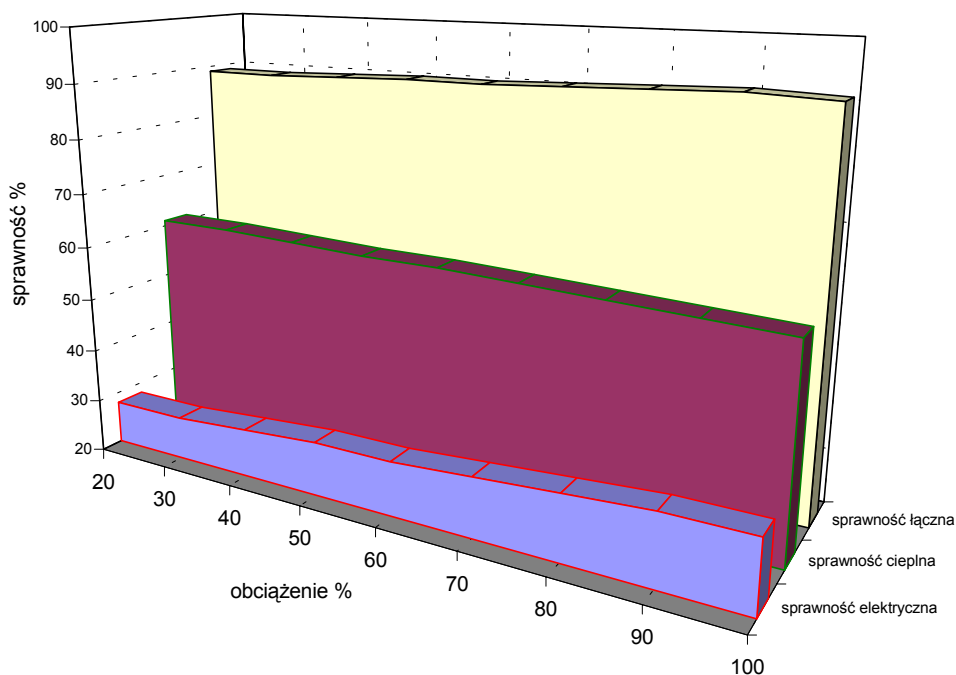
W przeciwieństwie do elektrociepłowni tradycyjnych, opłacalnych na terenach o dużej gęstości zabudowy, agregaty kogeneracyjne mogą być w sposób łatwy dostosowane do wymagań lokalnych na obszarach o rzadkiej zabudowie, w zakładach przemysłowych itp.

Agregaty kogeneracyjne mogą być stosowane wszędzie tam, gdzie ich ciągła praca jest w pełni uzasadniona oraz istnieje potrzeba zapewnienia rezerwowego źródła zasilania. Wyposażone we wszystkie niezbędne podzespoły, mogą po stronie energii elektrycznej pracować samodzielnie, w układzie wielokrotnym lub równoległe z siecią energetyczną. Natomiast energia cieplna jest oddawana do odbiorników instalacji cieplnej tj. centralnego ogrzewania lub technologicznej. Agregaty kogeneracyjne winny pracować możliwie ze stałą mocą, bliską mocy znamionowej, gdyż pozwoli to obniżyć koszty wytwarzania energii. Urządzenie CHP może pracować w zakresie 50-100% mocy znamionowej przy prawie stałej sprawności łącznej (rys 7).

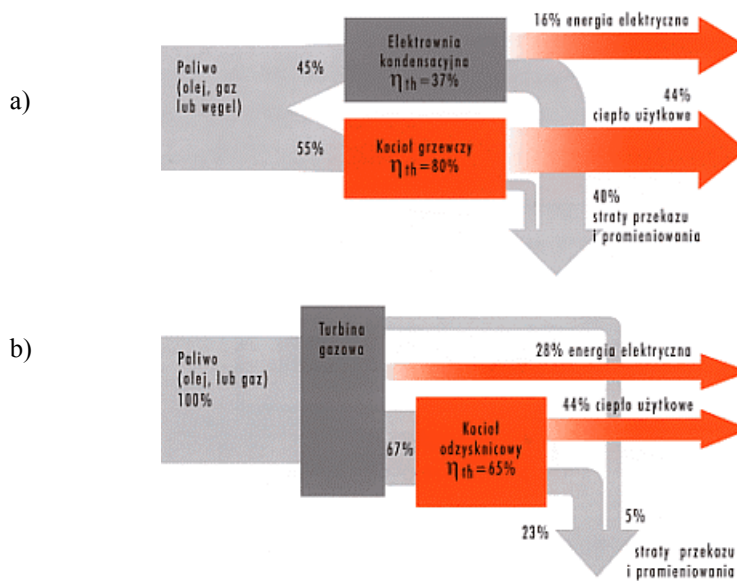
Skojarzone wytwarzanie ciepła i energii elektrycznej jest technologią, dającą możliwości lepszego wykorzystania energii chemicznej paliw pierwotnych będąc jednocześnie bardziej przyjazną dla środowiska zarówno pod względem ograniczonej emisji substancji szkodliwych, jak i zmniejszonego zużycia naturalnych zasobów paliw pierwotnych (rys.8).

---

<sup>1</sup> GMP- górny martwy punkt, koniec suwu sprężania w silnikach tłokowych.



Rys. 7 Sprawność przekształcenia energii pierwotnej w funkcji obciążenia [3].

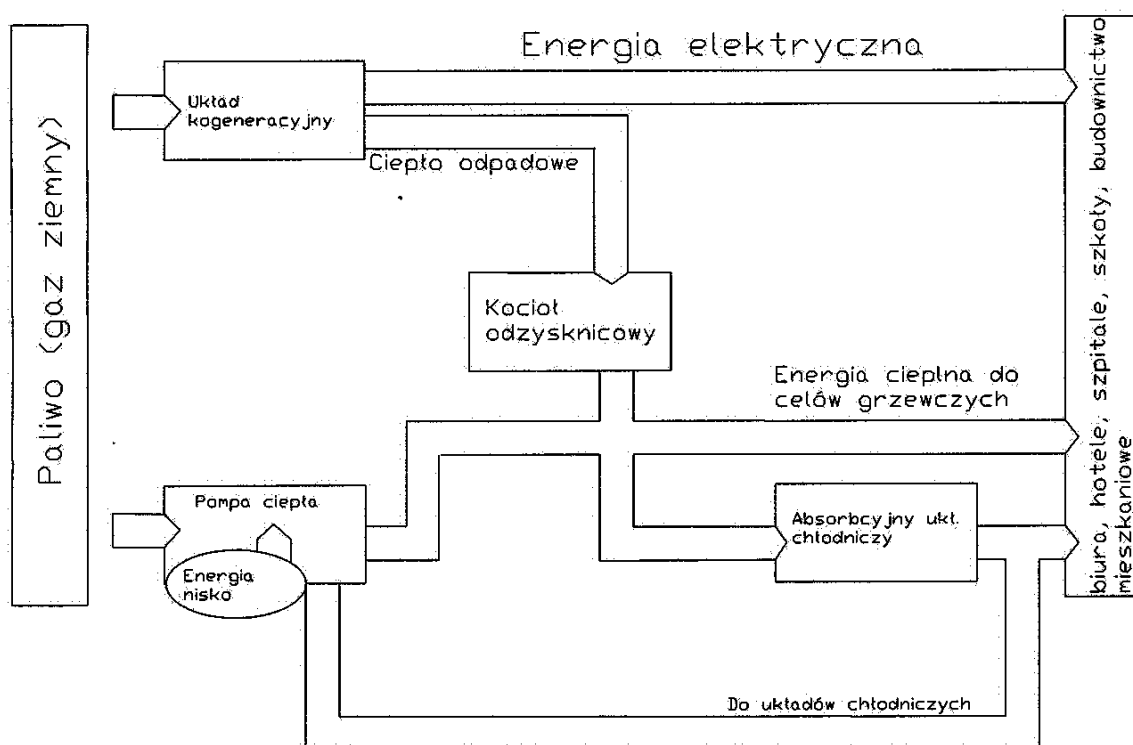


Rys. 8 Porównanie bilansów energii dla: a) rozdzielnej produkcji energii elektrycznej i ciepła, b) skojarzonej produkcji energii elektrycznej i ciepłej.

### 3.3 Centralny system dostarczania energii cieplnej, zimna i energii elektrycznej (trigeneracja).

Możliwość zwiększenia efektywności racjonalnego użycia energii daje wykorzystanie centralnego systemu ciepłowniczego do zasilania instalacji grzewczych jak i

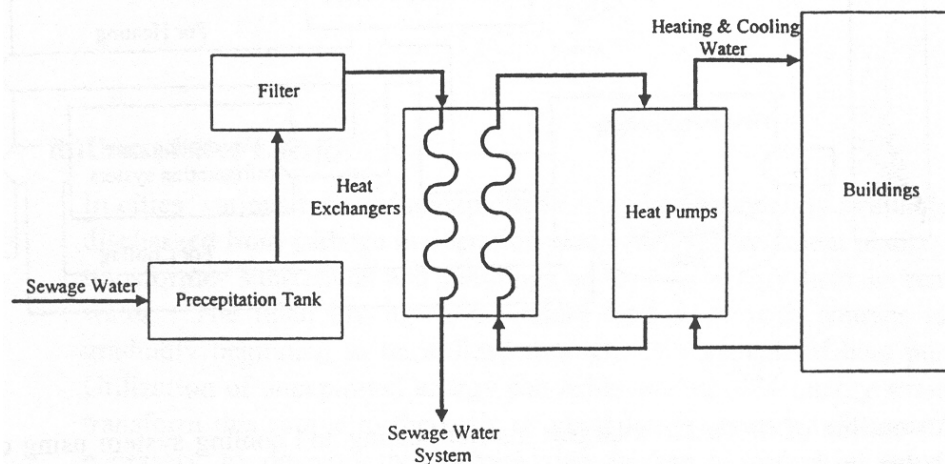
klimatyzacyjnych (rys.9). Przykładem może być połączenie energii używanej do różnego rodzaju odbiorców, tj. zakładów przemysłowych (duża moc energii elektrycznej, para technologiczna, gorąca woda), biurców i kompleksów handlowo – rozrywkowych (duża moc energii elektrycznej, klimatyzacja, ciepła woda) jak i również pozostałej grupy odbiorców charakteryzujących się poborem gorącej wody i potrzebami na rzecz klimatyzacji. W celu przystosowania układu produkcji energii do centralnego systemu dostarczania ciepła i zimna należy połączyć układy skojarzone (kogenerację) z układami pomp ciepła i odzysku energii odpadowej. Dobrze zoptymalizowany centralny system dostarczania ciepła i zimna pozwala zaoszczędzić dodatkowe 20 – 30 % energii przy sprawności dochodzącej do 80% [2].



Rys. 9 Centralny system dostarczania ciepła i zimna[2].

Największy system centralnego dostarczania ciepła i zimna, wykorzystując kogenerację, przedstawia poniższa tabela. System ten powstał w 1991 roku, zastępując dawny 20-letni układ. Nowy system wprowadził 2 turbiny gazowe w układzie kogeneracji, oraz turbinę przeciwprężną oraz układ ziębniczy. Sprawność systemu osiąga poziom 83,5% poprawiając o 12 % dawny układ.

Istnieje również rozwiązanie wykorzystujące ciepło niskotemperaturowe ścieków miejskich bądź przemysłowych (rys.10).



Rys. 10 System centralnego dostarczania ciepła i zimna przy wykorzystaniu ciepła ścieków [2].

### 3.4 Spalarnie odpadów.

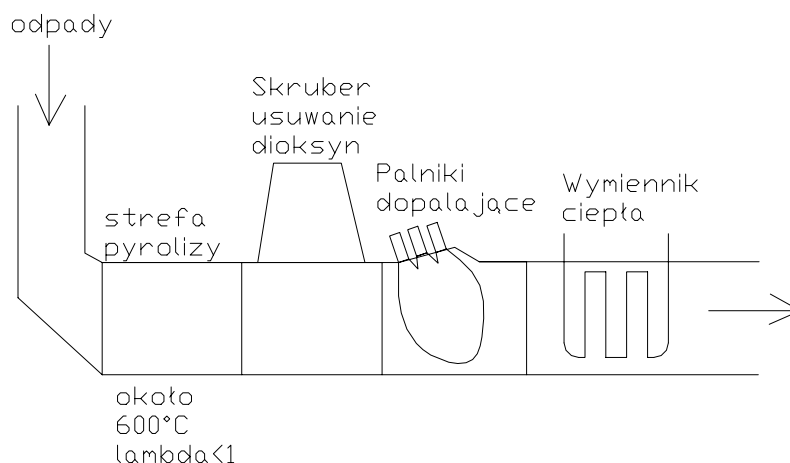
W gospodarce odpadami, dzięki wymogom ochrony środowiska i postępu technicznemu, następują duże zmiany. W czasach nie tak odległych spalarnie odpadów służyły jedynie do ich spopielenia mając tylko na uwadze zmniejszenie objętości składowanych „śmieci”. W nowoczesnych rozwiązaniach, w technologii termicznej utylizacji odpadów, ważne jest spalenie odpadów równocześnie zachowując normy dotyczące emisji substancji szkodliwych do atmosfery.

Same spalarnie odpadów stanowią końcową część w łańcuchu „życia” produktu. „Śmieci”, przechodząc poprzez kolejne etapy segregacji stają się odpadami nadającymi się do końcowej termicznej utylizacji. W samej zaś spalarni odpadów, energia wytworzona podczas pirolizy, utleniania i dopalania może zostać przekształcona w energię cieplną bądź elektryczną.

Wykorzystanie gazu ziemnego w spalarniach odpadów jest znaczące, gdyż służy one jako paliwo do **dopalenia gazów** powstałych z pirolizy odpadów.

Proces technologiczny pirolitycznego unieszkodliwiania odpadów składa się z kolejnych etapów, z których każdy może mieć odpowiednio zoptymalizowane parametry, w zależności od składu odpadów.

Rysunek 11 przedstawia schematycznie kolejne etapy procesu spalania odpadów.



Rys. 11 Schemat instalacji spalarni odpadów.

Pierwszym etapem jest mechaniczne wprowadzenie odpowiedniej ilości odpadów do komory pirolizacyjnej. Stosowane są urządzenia podające i zgniatające, zapewniające równoczesną izolację odpadów od otoczenia, dozując w sposób automatyczny porcje odpadów do komory pirolizacyjnej.

Kolejnym etapem jest sucha destylacja załadowanych odpadów, która odbywa się w komorze pirolizacyjnej. W niej odpady ulegają gazyfikacji w temperaturze około 650°C przy ograniczonym dostępie tlenu ( $\lambda < 1$  - warunki podstechiometryczne). Tu następuje osuszenie, wydzielenie się gazów i spopielenie odpadów.

Następnie gazy przechodzą przez skruber, gdzie następuje oddzielenie pyłów i dioksyn<sup>2</sup>, oddzielenie chlorków i metali ciężkich oraz oddzielenie siarki.

Następnie gazy spalinowe kierowane są do komory dopalającej (termoreaktora), w którym utrzymywana jest stała temperatura rzędu 1200°C. **Właśnie w komorze dopalającej wykorzystywany jest gaz ziemny** w celu dopalenia gazów spalinowych.

W instalacjach spalarni odpadów komunalnych palniki, zasilane gazem ziemnym, również służą jako palniki podtrzymujące, aby zapewnić skuteczne spalanie jeżeli wartość opałowa

<sup>2</sup> Dioksyny, TCDD, związki chemiczne zawierające w cząsteczce dwa pierścienie benzenowe połączone dwoma atomami tlenu.

W chlorowanych dioksynach atomy wodoru w pierścieniach benzenowych podstawione są atomami chloru.

Dioksyny powstają jako produkty uboczne przy produkcji herbicydów oraz przy spalaniu śmieci w miejskich spalarniach. Dioksyny występują w środowisku w znikomo małych ilościach. Do najbardziej znanych dioksyn należy 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioksyna (TCDD), która była składnikiem defoliantu o nazwie Agent Orange stosowanego przez Amerykanów w Wietnamie.

TCDD jest jedną z najsilniej działających trucizn. Przeciętą dawką śmiertelną dla królika wynosi 115 µg/kg masy ciała. Ekspozycja na działanie dioksyn powoduje u człowieka wystąpienie trądziku chlorowego, zaburzenie procesów trawiennych, uszkodzenie niektórych systemów enzymatycznych, bóle mięśni i stawów, zaburzenia w układzie nerwowym. Są natomiast tłuszczolubne i z tej racji w organizmach żywych gromadzą się w tłuszczowcach (lipidach). Na tym polega ich bioakumulacja w cyklu troficznym, czyli łańcuchu pokarmowym organizmów żywych. Np. jeśli prześledzimy stężenie dioksyn w wodzie (jezior, rzek czy mórz), w glonach, w rybach odżywiających się tymi glonami, w rybach rybożercach czyli drapieżnikach, wreszcie w ptakach odżywiających się tymi rybami (albo w człowieku zjadającym te ryby albo te ptaki) - to stężenie dioksyn w każdym następnym stopniu może być 1000-, a nawet 1 000 000-krotnie większe.

Degradacja dioksyn w środowisku odbywa się dzięki światłu słonecznemu, które powoduje odszczepianie kolejnych atomów chloru z cząsteczek dioksyn i ich rozkład.

odpadów stałych jest niska (rys.12). Dopalone gazy przechodzą następnie przez wymienniki ciepła (bądź przez kocioł odzysknicowy) gdzie odbierana jest energia cieplna ze spalin tzw. odzysk ciepła.

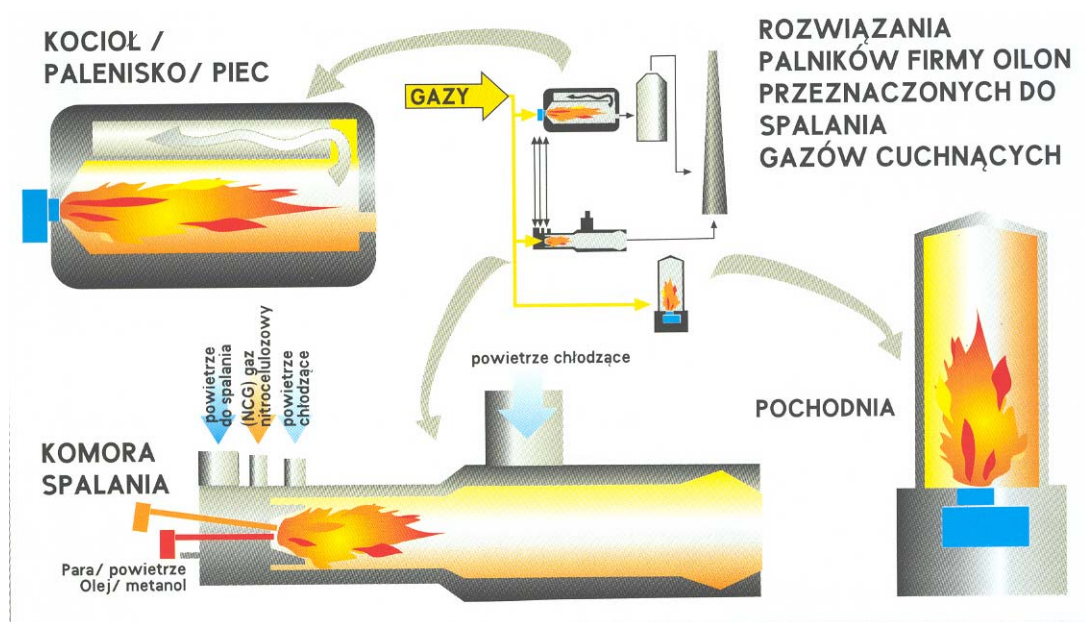
Z powyższego wynika, iż **wymogi ochrony środowiska dot. gospodarki odpadami stwarzają możliwości wykorzystania gazu ziemnego w spalarniach odpadów**, z których można wymienić:

- spalarnie odpadów niebezpiecznych (szpitalnych, przemysłowych),
- spalarnie odpadów komunalnych (rusztowe, fluidalne),
- spalarnie gazów cuchnących (rys.13).

Emisja popiołu, tlenków siarki czy też tlenków azotu podczas spalania gazu ziemnego jest znacznie niższa niż przy spalaniu paliw ciekłych. Także emisja dwutlenku węgla przypadająca na jednostkę wydzielonego ciepła przy spalaniu gazu ziemnego jest o 50% mniejsza w porównaniu ze spalaniem węgla oraz o około 25% mniejsza w porównaniu paliwami ciekłymi. Natomiast powstały w wyniku spalania popiół jest chemicznie stabilny, co sprawia, że nadaje się on do recyklingu



Rys. 12 Schematy palenisk spalarni odpadów.



Rys. 13 Schemat systemu dopalania gazów cuchnących.

### 3.5 System wykorzystania ciepła niskotemperaturowego.

W miastach typowym ciepłem niskotemperaturowym są dostępne zasoby takie jak energia z typowych spalarni odpadów, oczyszczalni ścieków jak również ciepło gruntów, wód powierzchniowych i geotermalnych. Zmienność ciepła niskotemperaturowego ze wszystkich źródeł jest obszerna. Stanowi więc to okazję do zastosowania technologii pomp ciepła. Wykorzystanie ciepła niskotemperaturowego pozwala zaoszczędzić 10-30% energii. Jakkolwiek do przemiany tych źródeł do wymaganej skali zapotrzebowania w energię dla infrastruktury aglomeracji miejskiej potrzebny jest rozwój przyszłej technologii trigeneracji i produkcji ciepłej wody użytkowej. Tymi technologiami są:

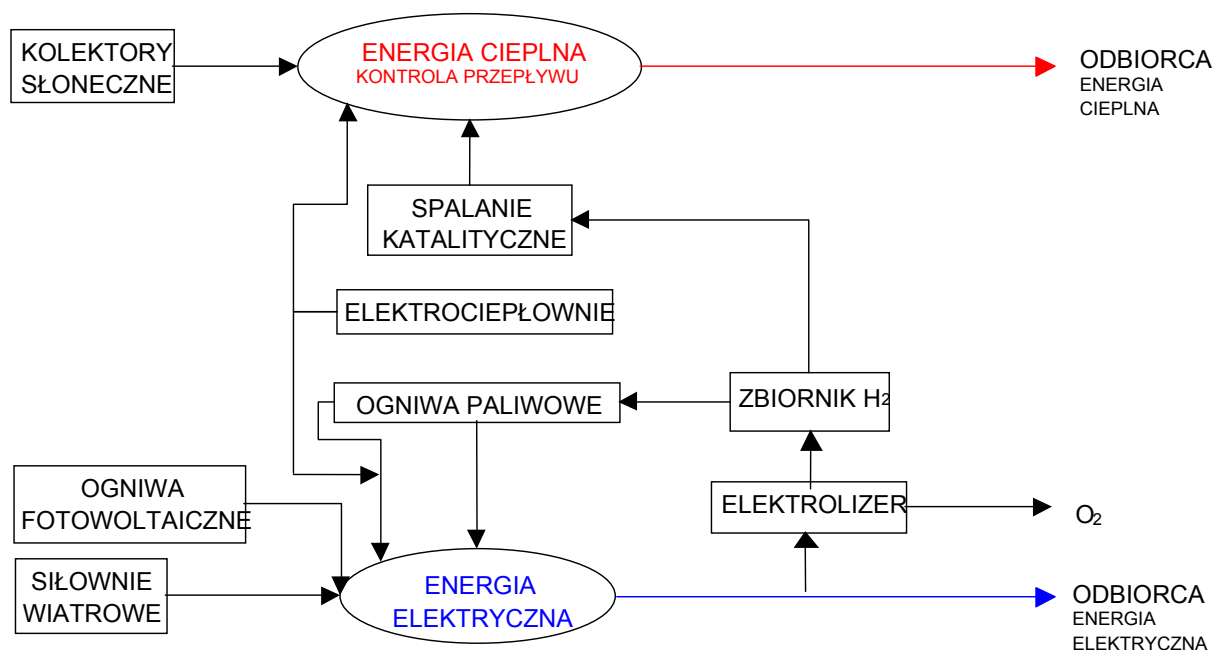
- technologia produkcji nisko- i wysokotemperaturowego ciepła o wysokiej sprawności,
- technologia transportu ciepła wysokotemperaturowego,
- technologia zagospodarowania ciepła w skali wielkomiejskiej,
- technologia wymiany ciepła o wysokiej sprawności,
- technologia optymalizacji wielkości i rodzaju produkcji energii,
- technologia dostarczania ciepła, charakteryzująca się dużą sprawnością.



### 3.6 Połączenie systemów konwencjonalnych z niekonwencjonalnymi.

Systemy energetyczne charakteryzujące się największą sprawnością energetyczną i efektywnością stanowią skojarzone układy konwencjonalne połączone z układami niekonwencjonalnymi oraz układami wykorzystującymi energię odnawialną [2].

Już w dzisiejszych czasach wiele ośrodków naukowo – badawczych pracuje nad połączeniem systemów energetycznych zasilanych paliwami konwencjonalnymi z systemami wykorzystującymi energię wiatru, słońca, wód itp. Coraz więcej uwagi inżynierów przyciąga wykorzystanie ogniw paliwowych zasilanych energią odnawialną, np. wiatru, słońca bądź ogniw zasilanych gazem ziemnym po ówczesnym reformingu paliwa. Rysunek 14 przedstawia schemat skojarzenia układów konwencjonalnych z układami niekonwencjonalnymi.



Rys. 14 Przykład skojarzonego układu konwencjonalnego wraz z układami niekonwencjonalnymi [5].

#### 4 Zakończenie.

Rozwój techniki oraz świadomości ludzi z zakresu ochrony środowiska jak również ciągle dążenie do poprawy wskaźników ekonomicznych zmusza wszystkich ludzi, tzn. konstruktorów, projektantów, odbiorców, itp. do ciągłej obserwacji rozwoju techniki i poszukiwania nowych energooszczędnych rozwiązań.

Poniżej jest przedstawiono ważniejsze zasady pozwalające prowadzenia procesów energetycznych z wysoką sprawnością:

1. Można zwiększyć straty energetyczne w danym procesie energetycznym tylko wówczas, gdy zmuszeni jesteśmy do ograniczenia nakładów inwestycyjnych (aspekt ekonomiczny).
2. Nie stosuj nadmiernych lub zbyt małych bodźców przy prowadzeniu procesów energetycznych.
3. Unikaj mieszania substancji, różniących się temperaturą, ciśnieniem lub składem chemicznym.
4. Unikaj ochładzania gorącej substancji powietrzem atmosferycznym lub wodą chłodzącą oraz podgrzewania powietrzem atmosferycznym lub wodą chłodzącą czynnika mającego temperaturę niższą od temperatury otoczenia.
5. Procesy przeciwprądowe są zawsze bardziej termodynamicznie sprawne niż współprądowe.
6. Staraj się, by w procesach wymiany ciepła, w wymienniku temperatura końcowa jednego ze strumieni była bliska temperatury początkowej drugiego.
7. Pojemności cieplne strumieni wymieniających ciepło powinny być zbliżone.
8. Unikaj pośredniego nośnika ciepła pomiędzy rozpatrywanymi strumieniami.
9. Straty energii spowodowane poprzez tarcie hydrauliczne lub nieodwracalnym przepływem ciepła są tym większe, im niższa jest temperatura procesu.
10. Unikaj dławienia gazów i par.
11. Sprężarki i wentylatory powinny być montowane w miejscach o najniższej temperaturze.
12. Eliminuj nieszczelności rurociągów, armatury i komór spalania.
13. Pamiętaj, że w systemach napędzanych energią chemiczną, jądrową, mechaniczną, straty ciepła odprowadzanego do otoczenia w skraplaczach turbin, ziębiarek, itp. są wynikiem przemian nieodwracalnych przebiegających w układzie.
14. Unikaj sprężania pary uprzednio rozprężonej.

15. Zmniejszając jakąś stratę energii w jednym procesie staraj się nie zwiększać innych strat w procesach występujących równolegle.
16. Unikaj wydłużenia łańcucha przemian termodynamicznych.
17. Staraj się realizować procesy skojarzone wytwarzające więcej niż jeden efekt użyteczny.
18. Należy rozważać zawsze wpływ proponowanych zmian energetycznych na straty energii w innych ogniwach procesu.
19. Staraj się zredukować straty energii w miejscach, gdzie są one największe lub w miejscach, gdzie koszt straty energii jest największy.

#### Literatura:

- [1] 17<sup>th</sup> International Symposium on Combustion Processes, Poznań 24-27 wrzesień 2001
- [2] M. Oberweis, „Rational use of energy”, Stralsund 03-14.04.2000r.
- [3] A. Barczyński, W. Grzędzielski, „Miejsce energetyki gazowej w programie miasta przyjaznego ekologicznie” MTP Poleko 2001, Poznań
- [4] F. Dembecki, „Ogólne zasady doboru kotłów dla budynków mieszkalnych” Ogrzewnictwo, kwiecień 2000r.
- [5] F. Menzl, „Efficiency of wind power plants”, Stralsund 03-14.04.2000r.
- [6] Catalic Cambustor- UC Berkeley – strona internetowa
- [7] Katalogi firmy Viessmann  
Materiały własne.