

ZASOBY ŚRODOWISKA A ROZWÓJ TECHNOLOGII

Dobiesław NAZIMEK

Uniwersytet Marii Curie Skłodowskiej w Lublinie, Wydział Chemii, Zakład Chemii Środowiskowej

Słowa kluczowe: zasoby środowiska, zasada zrównoważonego rozwoju, ochrona środowiska, ewolucja technologii, przetwarzanie wodoru, ogniwa paliwowe

Streszczenie

Elementem najsilniej, czasami w sposób decydujący, wpływającym na ewolucję istniejących technologii, a także na kreację nowych bytów, są ludzkie potrzeby. Przez cały wiek XIX oraz znakomitą większość wieku XX, tylko one wyznaczały kierunki rozwoju, gdyż poza takimi elementami wpływającymi na ewolucję technologiczną jak: moda, ekonomia odbiorcy, konieczność wymiany informacji czy zbrojenia, nie istniały inne ograniczniki i regulatory ewolucji, np. związane z ochroną środowiska, w którym technologie powstają. Początek lat 60. ubiegłego wieku przyniósł znaczącą zmianę, wykreowaną przez naukowców ze Szwecji. Już w następnym dziesięcioleciu w USA, pod wpływem badań smogu fotochemicznego w Los Angeles, wprowadzono katalityczne konwertory spalin do silników typu Otto. W tym czasie powstała koncepcja rozwoju cywilizacji nazwana „zrównoważonym rozwojem”. Istotą pomysłu jest wpisanie we wszelkie działania związane z rozwojem technologicznym (w tym również rolnictwem) zasady odpowiedzialności i dbałości o następne pokolenia, a więc rozwój takich kierunków technologicznych, które są maksymalnie przyjazne dla środowiska przyrodniczego. W UE, a tym samym w Polsce, najprostszym przykładem realizacji tej zasady jest powstawanie obszarów „Natura 2000”, czy też konieczność stosowania konwertorów katalitycznych spalin w silnikach typu Otto.

Realizacja zasady zrównoważonego rozwoju wymusza nie tylko odpowiednie kierunki technologii, ale także powstanie uwarunkowań prawnych, które dzisiaj nazywamy prawem ochrony środowiska. Zasada obejmuje wszystkie czynniki związane ze środowiskiem przyrodniczym, jednak jej realizacja jest również uwarunkowana zasobami naturalnymi środowiska, w tym zasobami paliw kopalnych. Z tego powodu istotną jest wiedza o wielkości tych zasobów, a także geneza ich powstania. Realizacja zasady zrównoważonego rozwoju wymusza poszukiwania nośników energii bardziej przyjaznych środowisku niż tradycyjnie stosowane – węgiel, ropa oraz gaz ziemny. Obecnie wydaje się, że najbardziej przyjaznym dla środowiska nośnikiem energii jest wodór, bowiem w wyniku jego spa-

lania powstaje woda, czynnik wszechobecny i konieczny do egzystencji środowiska. Przyszłość należy do samochodu o napędzie elektrycznym, lecz energia elektryczna będzie pozyskiwana z ogniw paliwowych, w których paliwem będzie wodór. Źródłem wodoru może być metanol lub etanol. Inne źródło wodoru to wodoroki metali, w których upakowanie jego atomów jest większe niż w ciekłym wodorze, a one same są substancjami niepalnymi i wyjątkowo prostymi w obsłudze. Inne możliwości dają tzw. pojazdy hybrydowe. Wydaje się, że najbliższe lata mogą przynieść zdecydowany przełom w konstrukcjach samochodowych, który nastąpi szybciej niż przełom w stacjonarnych metodach pozyskiwania energii.

WPROWADZENIE

Tak naprawdę, aby zrozumieć ideę zrównoważonego rozwoju, a także jej skomplikowany związek z technologiami i zasobami środowiska przyrodniczego, należy przeanalizować to środowisko i to od chwili jego powstania, a także potraktować je bardzo szeroko.

Prawdopodobnie Słońce, jako gwiazda klasy G2, narodziło się z obłoku pyłowo-gazowego w jednym ze spiralnych ramion naszej Galaktyki, ok. 5 mld lat temu. Być może pobliski wybuch supernowej „ścisnął” pozostałą zawartość obłoku pyłowo-gazowego, wspomagając i tak nieuchronne procesy akrecji materii, i z powstałego dysku protoplanetarnego powstały, na skutek samorzutnych zagęszczeń grawitacyjnych, praplanety [DWORAK, RUDNICKI, 1983; dir.yahoo.com/Science/Astronomy/Solar_System; CROSWELL, 1997; VAN ANDEL, 1994]. Ta pozostałość po pierwotnym zagęszczeniu obłoku była tak nikła, że nasza gwiazda centralna – Słońce – niesie ze sobą ponad 99% masy całego Układu Słonecznego. Planety przejęły jednak od Słońca ogromną wartość momentu pędu.

Tak w ogromnym uproszczeniu wygląda „krótka historia” powstania Słońca, Ziemi i innych planet, no i oczywiście ziemskiego środowiska naturalnego.

Powstanie Ziemi i innych planet jest na pozór elementem słabo związanym z zasobami środowiska przyrodniczego, jednak dzisiaj wydaje się, że jest inaczej. Trzeba pamiętać, że zasoby te wyznaczają zarówno kierunki rozwoju cywilizacji, jak i nasze możliwości technologiczne. Powtórna analiza ich wielkości jest konieczna, gdyż pojawiły się nowe, dość uzasadnione, teorie ich powstania, co może określić kształt przyszłych technologii, a tym samym również sposób realizacji zasady zrównoważonego rozwoju.

ROPA I GAZ – NOWA GENEZA

Koniec lat siedemdziesiątych ubiegłego stulecia zaowocował ogromnym postępowaniem w dziedzinie metod badań naukowych (nowe przyrządy badawcze, rozwój metod bezinwazyjnych, nowe doskonalsze metody datowania, nowe metody analityczne, dające możliwość oznaczania substancji na poziomie ppb oraz ppt itp.) co umożliwiło sformułowanie zupełnie nowych tez, w wydawałoby się dobrze udokumentowanych obszarach wiedzy [GOLD, 1992; 1999]. Bardzo dokładne badania struktur organicznych odcisniętych w pokładach węgla kamiennego (możliwe do wykonania dzięki powstaniu mikrosond sprzężonych ze skaningową mikroskopią elektronową), pozwoliły zaobserwować coś zupełnie zdumiewającego. Któż nie widział na zdjęciach „klasycznego” liścia paproci lub widłaka, zawsze interpretowanego jako koronny dowód na biogeniczne pochodzenie paliw kopal-

nych (tym bardziej, że mamy węgiel brunatny oraz torf [Planeta..., 2007]). Ale właśnie w wyniku badań węgla kamiennego, a raczej tych śladów, okazało się, iż wnętrza roślin zostały wypełnione wtórnie materiałem węglowym, a nie odwrotnie! To było zdumiewające odkrycie, gdyż oznaczało, że roślinność została pogrążona w jakimś węglowym materiale (np. asfalcie), a następnie nastąpił proces fosylizacji i wnętrza roślin zostały wypełnione tym materiałem. Jednym słowem, w świetle tych badań, węgiel kamienny wcale nie jest produktem przetwarzania biomasy [GOLD, 1992; 1999]! Jeżeli tak – to czym jest? Według Golda i innych jest on przetworzonym przez gorącą podziemną biosferę metanem. Metan właśnie jest pierwotnym, naturalnym, bo pochodzącym z ery formowania planety produktem, z którego życie wytworzyło węgiel kamienny, a także ropę naftową. Oczywiście należy pamiętać, że poza metanem w takich procesach mogły być przetwarzane i inne wyższe węglowodory, jednak ich ilość w stosunku do metanu jest mała. GOLD [1992; 1999] zauważa też współwystępowanie pokładów węgla, ropy naftowej oraz gazu. Teoria ta ma jeszcze głębsze implikacje, dotyczące również występowania trzęsień ziemi [GOLD, 1992, 1999]. Rzeczywiście w uskockach tektonicznych, a także w miejscach gdzie występują trzęsienia ziemi, notuje się podwyższone stężenie metanu.

Przyjęcie tej hipotezy, która – trzeba przyznać – jest coraz lepiej podbudowywana dowodami eksperymentalnymi, ma bardzo daleko idące konsekwencje. PROSKUROWSKI, LILLEY i OLSON [2008] uważają, że złoża gazu oraz ropy naftowej tworzą się również obecnie w procesie, który w technologii nosi nazwę syntezy F-T (Fischer-Tropsch [NAZIMEK, 2001, Kronika..., 1992]) i wykorzystuje reakcje między CO i H₂ w obecności katalizatorów żelazowych lub kobaltowych. Trzeba podkreślić, że badania opisane w tej pracy są bardzo starannie udokumentowane.

Opisane w cytowanych pracach wyniki badań są z całą pewnością kontrowersyjne w świetle ogólnie przyjętej teorii biogenicznego pochodzenia paliw kopalnych, jednak ich dokumentacja opiera się krytyce naukowej. Oznacza to, że być może pochodzenie paliw kopalnych jest różne i nie ma jednej poprawnej teorii dotyczącej tego zagadnienia. Jakie są konsekwencje tych badań? Po pierwsze, ropa i gaz będą przemieszczać się w głąbi ziemi, a nawet – w świetle wyników zawartych w pracy PROSKUROWSKIEGO, LILLEJA i OLSONA [2008] – powstawać. Po drugie oznacza to, że nasze szacunkowe obliczenia dotyczące zasobów tych paliw są błędne lub przynajmniej obciążone bardzo dużą dozą niepewności i tak naprawdę nie wiemy (poza złożami odkrytymi) jaka jest ich wielkość. Ta informacja może mieć kluczowe znaczenie dla oceny kierunków rozwoju naszych technologii w przyszłości.

Powodem, dla którego tak wiele uwagi poświęciłem nowej teorii jest fakt, że problem zasobów nośników energii pierwotnej jest kluczowy dla realizacji rozwoju technologicznego, gdyż procesy spalania paliw są przez nasze technologie najlepiej opanowane i szeroko stosowane. Ponadto, ropa naftowa oraz gaz, rzadziej węgiel, są ważnymi, wręcz kluczowymi substratami w wielu istotnych dla naszego istnienia technologiach [MACHOCKI, DENIS, 1998; MARZEC, 2000, ROSTRUP-NIELSEN, 1975].

POTRZEBY A ŚRODOWISKO PRZYRODNICZE

Elementem wpływającym w sposób czasami decydujący na ewolucję technologii już istniejących, a także na kreację nowych bytów, są ludzkie potrzeby. Negatywne wpływy ery technologicznej na ludzi bezpośrednio zaangażowanych w system produkcji, był za-

uważony prawie od razu. Trudno było nie zauważyć chorób zawodowych, np. choroby odlewników, czyli gorączki metalicznej [Kronika..., 1992; www.osps-bhp.krakow.pl]. Problem ten znalazł odzwierciedlenie nawet w utworach literackich. Na przykład w „Alicji w krainie czarów” występuje postać szalonego kapelusznika, co jest bezpośrednio związane z technologią przetwarzania filcu z użyciem związków rtęci czy arsenu. Trudno też było nie zauważyć, nawet jeżeli nie prowadzono w tym czasie żadnych badań ilościowych, wpływu smogu londyńskiego na samopoczucie astmatyków, czy też ludzi szczególnie wrażliwych albo chorych na płuca [Kronika..., 1992].

Wczesny kapitalizm charakteryzował się nie tylko drapieżną chęcią zysku, lecz również tym, że w społeczeństwach funkcjonowała doktryna całkowitego i nieograniczonego żadnymi zakazami podporządkowania człowiekowi całego świata przyrodniczego i wszelkich jego dóbr [Kronika..., 1992]. Zmiana tej postawy wymagała czasu, a także wzrostu poziomu wykształcenia wśród samych kapitalistów. Musiała nastąpić koncentracja kapitału, wykształcić się klasa średnia, a sami kapitaliści, unowocześniając technologie, musieli zauważyć korzyść z zatrudniania wysoko kwalifikowanych pracowników, najlepiej długo pracujących w firmie, a także zrozumieć konieczność i zyskowość prowadzenia badań wyprzedzających stosowane technologie [Kronika..., 1992]. Tego typu postawy, nastawiane na maksymalne zyski, ale także na rozwój firm i kreujące odbiorców, najdokładniej widać w USA oraz Japonii. Należy pamiętać, że to właśnie Henry Ford nie tylko zapoczątkował taśmową produkcję samochodu (słynny Ford T), ale zrozumiał, że właśnie robotnicy pracujący u niego w zakładach powinni być odbiorcami tego produktu. Zasada dużej produkcji, dużego obrotu, dużego zysku, wcale nie była powszechna. Wielu uważało, że zasada dużego zysku jednostkowego jest wystarczająca. Jak więc do tych ekonomicznych regulatorów ewolucji technologii miał się postęp technologiczny i jego wpływ na szeroko pojęte środowisko przyrodnicze?

Wynalazek samochodu uruchomił cały ogromny przemysł wytwórczy, a także przemysł petrochemiczny, chemiczny, infrastrukturę dróg, miast, stacji benzynowych, warsztatów naprawczych, a nawet systemów parkingowych, a także wymusił zmiany w budownictwie – nawet jednorodzinym, gdzie należało zaplanować garaż.

Wynalazek samolotu najpierw zmienił obraz armii i sposoby działania wojsk na polu bitew, a następnie, w wyniku rozwoju lotnictwa cywilnego, wręcz przeobraził świat.

Należy pamiętać, że jeszcze w 1952 r. w poczytnych czasopismach naukowych ukazywały się publikacje, dowodzące niemożności lotów kosmicznych. Były to prace sygnowane przez znanych naukowców. Od 1957 r. nastąpił dynamiczny rozwój technologii kosmicznych, który ze zmiennym natężeniem trwa po dziś dzień. Jednak nawet dzisiaj wielu naukowców dowodzi niemożności długodystansowych lotów kosmicznych.

Wszystkie te „niemożności” są podyktowane pewną cechą oceniających – brakiem wyobraźni technologicznej, a także niezrozumieniem cech ewolucji technologii. Zarzut braku dostatecznie rozwiniętego przemysłu kosmicznego jest tylko pozornie trafny. Rozwój ten jest bowiem uzależniony jedynie od potrzeb, a przez to od wielkości środków przeznaczonych na jego realizację, a także wdrożenie odpowiednich systemów napędowych.

Wróćmy jednak do najpiękniejszej „zabawki” ludzkości – do pojazdu jakim jest samochód. W zasadzie znamy i użytkujemy dwa typy silników spalinowych. Pierwszy z nich, najbardziej powszechny, to silnik o zapłonie iskrowym, zwany silnikiem Otto, drugi – to silnik o zapłonie samoczynnym, zwany silnikiem Diesla.

Z drugiej zasady termodynamiki wynika, że silnik spalinowy nie może mieć sprawności większej niż trzydzieści kilka procent (można to obliczyć ze wzoru $\eta = (T_1 - T_0)/T_1$).

W warunkach rzeczywistych sprawność cieplna silników spalinowych wynosi ok. dwudziestu kilku procent. Oznacza to, że ogromna część energii chemicznej, przekształconej na energię cieplną, a następnie na energię kinetyczną układu, jest bezpowrotnie tracona. Należy zwrócić uwagę na fakt przekształceń energii. Poza wymianą energii z otoczeniem, która powoduje wzrost entropii środowiska, silnik spalinowy dowolnego rodzaju dostarcza doń większe lub mniejsze ilości odpadu materialnego w postaci spalin. W skład spalin, w zależności od silnika, poza balastem azotowo-tlenowym (w obecności katalizatorów spalin ilość tlenu jest mała), wchodzi głównie CO_2 , H_2O , CO , węglowodory (w przypadku silników Diesla nawet cząstki stałe sadzy), SO_2 oraz NO_x [NAZIMEK, 2001]. Zastosowanie katalizatorów spalin w silnikach o zapłonie iskrowym spowodowało zmniejszenie emisji takich składników jak CO , węglowodory oraz NO_x , jednak emisja CO_2 jest w zasadzie zupełnie niezależna od tej technologii. Jest uwarunkowana jedynie (w przypadku pojedynczego pojazdu) sprawnością silnika, a także sposobem jazdy kierowcy, jednym słowem „paliwożernością” silnika. Rozpatrując nie poszczególny pojazd samochodowy, ale ich całą populację, można zauważyć, że wielkość emisji spalin samochodowych jest porównywalna z emisją ze źródeł stacjonarnych (głównie energetyki) [BERGES i in., 1993; KROCHMAL, 1994]. Ze względu na liczbę rocznie sprzedawanych pojazdów, a także fakt, że są one użytkowane głównie w wielkich aglomeracjach miejskich, jest oczywiste, że skala problemu zagrożenia emisją spalin samochodowych jest ogromna.

Pewną poprawę sytuacji, poza działaniami ściśle technologicznymi, niesie ze sobą działalność architektoniczna w miastach, a także działania prawne. Budowa autostrad i obwodnic, zakaz używania pojazdów w centrum miast itp. prowadzi do względnej poprawy sytuacji. Jednak dopiero całkowita eliminacja silnika spalinowego jest w stanie rozwiązać w sposób efektywny opisany problem. Droga do alternatywnych źródeł napędu nie jest jednak ani łatwa ani tania.

Przyjrzyjmy się ewolucji technologii katalitycznego oczyszczania spalin, jednej z tych, które powstały w celu ochrony środowiska. Popatrzmy czy spełnia ona efektywnie swoje zadanie i czy jest całkowicie, zgodnie z założeniami, „niewinna”, a więc spróbujmy odpowiedzieć sobie na pytanie, czy jesteśmy w stanie przewidzieć wszystkie konsekwencje swojej działalności technologicznej.

Zastosowanie katalitycznych konwerterów spalin pociągnęło za sobą lawinę wydarzeń technologicznych, tak że technologię tę można nazwać katalizatorem zmian aż w kilku gałęziach technologicznej działalności człowieka. Kluczem do zrozumienia tych zmian jest fakt, że fazami aktywnymi w konwerterach spalin są metale szlachetne, a konkretnie platyna, pallad oraz rod. Przeprowadzone badania dowiodły, że aby osiągnąć spodziewane efekty katalityczne, fazy aktywne muszą pracować praktycznie w stechiometrycznej mieszance powietrzno-paliwowej (ok. 14:1), a ewentualny nadmiar tlenu w spalinach wchodzących na konwerter nie może przekraczać 0,5% objętościowych [TAYLOR, 1993].

Należy podkreślić, że moc silnika spalinowego Otto jest większa w mieszance benzyna – powietrze, w której udział powietrza jest znacznie większy niż stechiometryczny. Oznacza to, że silnik ten wyposażony w konwerter spalin traci ok. 10% mocy. Niebagatelnym parametrem, kluczowym dla pracy konwertera oraz samego silnika spalinowego, jest też temperatura spalin, która musi wynosić ok. 673 K, oraz opory hydrauliczne w układzie wydechowym. Powstała więc specjalna konstrukcja „pojedynczej pastylki” katalizatora (tak udana, że powielana w innych procesach kontaktowych), którą nazywamy monolitem katalitycznym. Jest to zazwyczaj walec (czasem spłaszczony), który wzdłuż osi podłużnej ma owalne kanały, w których znajduje się naniesiona specjalnymi technikami tzw. faza po-

średnia wraz z metalami aktywnymi katalitycznie [TAYLOR, 1993]. Inną cechą zastosowanych metali szlachetnych (fazy tlenkowe nie nadają się do tego procesu, gdyż ich aktywność właściwa jest zbyt mała) jest ich mała odporność na zatrucia siarką, a także metalami, np. ołowiem (to ostatnie wynika z faktu tworzenia ich stopu z ołowiem i segregowania się atomów Pb na powierzchni fazy aktywnej, co całkowicie dezaktywuje powierzchnię kontaktu, gdyż Pb nie jest aktywny katalitycznie) [TAYLOR, 1993].

Przedstawione zależności i konsekwencje zastosowania takich a nie innych konwertorów katalitycznych spalin wymusiły natychmiast następujące zmiany:

- wprowadzenie nowego sposobu dozowania paliwa do silnika (konieczność utrzymania stałego bardzo małego nadmiaru powietrza) – zastosowanie wtrysku paliwa i eliminację gaźników;
- wprowadzenie nowych konstrukcji systemów odprowadzających spaliny oraz dozujących mieszankę paliwowo-powietrzną (cztery zawory na jeden cylinder już po zastosowaniu systemu wtrysku bezpośredniego lub pośredniego) lub zastosowanie turbodoładowania;
- wprowadzenie nowych paliw o wysokiej liczbie oktanowej, pozbawionych jednak czterocyklicznego ołowiu jako substancji podnoszącej liczbę oktanową,
- znaczne zmniejszenie zawartości, a nawet ewentualną eliminację, związków siarki z benzyny;
- eliminację związków siarki z olei smarnych lub zastosowanie nowych substancji, całkowicie syntetycznych (to spowodowało zmiany materiałów uszczelnień itp.).

Jak łatwo zauważyć, zmiany objęły zarówno przemysł maszynowy, jak też petrochemiczny i chemiczny, a także spowodowały gwałtowne „wejście” do pojazdów samochodowych nowych materiałów oraz bardzo szerokie zastosowanie elektroniki. Stymulacji uległ też sam przemysł wytwarzający katalizatory. Po pierwsze, ze względu na ilość stosowanych konwertorów, a po drugie – na palącą konieczność poszukiwania innych, tańszych faz aktywnych, gdyż wraz ze wzrostem zapotrzebowania na metale szlachetne do konwertorów spalin, cena ich zaczęła gwałtownie rosnąć. Dodatkowo poszukiwano możliwości zmniejszenia np. stężenia metali szlachetnych w konwertorach (bez utraty ich zdolności katalitycznych). Innym zagadnieniem stała się utylizacja zużytych konwertorów, tak aby zawrócić do procesu technologicznego materiał kontaktowy w nich zawarty. Te wszystkie zmiany, które spowodowało zastosowanie konwertorów katalitycznych, wpłynęły pozytywnie zarówno na rozwój technologii w wielu gałęziach przemysłu, jak też na jego ekonomikę (wzrost zatrudnienia). Pojawiły się jednak pewne niepokojące wyniki badań, zarówno samych konwertorów, jak też środowiska przyrodniczego [BERGES i in., 1993; SIGRIST, 1994].

Pierwszym sygnałem, który spowodował, że zaczęto się baczniej przyglądać nowej technologii, był fakt emisji (wraz ze spalinami) na pozór niewinnego gazu, jakim jest N_2O .

Aby zrozumieć, dlaczego jest emitowany N_2O , należy zrozumieć mechanizm redukcji NO_x powstających w trakcie procesu spalania paliwa w silniku spalinowym. Tlenki azotu są redukowane na fazie aktywnej konwertora przez ich reakcję z CO lub węglowodorami, a także wodorem (procesy te nazywane są reakcjami DENOX – Destruction of NO_x) [ĆWIKŁA-BUNDYRA, NAZIMEK, 2006; NAZIMEK, ĆWIKŁA-BUNDYRA, 2004]. W każdym przypadku NO (pierwotny produkt reakcji utlenienia azotu tlenem w wysokiej temperaturze) jest pośrednim utleniaczem, a sam powinien (w zamierzeniach) redukować się do N_2 (właśnie z tego powodu silnik Otto posiadający katalityczny konwerter spalin nie może pracować w bogatej w tlen mieszance paliwowej). Badania metali takich jak Pt czy też Rh

oraz Pd dowiodły, że N_2O jest produktem integralnie związanym z mechanizmem reakcji pośredniego utleniania CO za pomocą NO. Aby zrozumieć, dlaczego mechanizm procesu dopuszcza powstawanie N_2O , należy zwrócić uwagę na fakt, że metale szlachetne, aktywne w procesie DENOX, krystalizują w dwóch układach krystalograficznych – w strukturze regularnej lub heksagonalnej [ANDERSON, 1985, NAZIMEK, 1989, PONEC, 1983, TAYLOR, 1993, TRZEBIATOWSKI, 1979]. Aby na powierzchni krystalitu metalu przebiegła reakcja katalityczna, reagenty muszą zostać na niej zaadsorbowane. Rozróżniamy kilka typów adsorpcji gazów na powierzchni krystalitów metali, w tym adsorpcję fizyczną, aktywowaną oraz chemisorpcję (rodzaj adsorpcji rozróżniamy na podstawie kilku parametrów, z których najważniejszym jest wielkość ciepła adsorpcji) [NAZIMEK, 1989; PONEC, 1983]. W zależności od typu ściany krystalitu metalu, a także stopnia jej deformacji, mogą występować różne mniej lub bardziej aktywne centra adsorpcji. Ściany, które charakteryzują się wysokim stopniem deformacji są nazywane ścianami wysokoindeksowymi [ANDERSON, 1985, NAZIMEK, 1989, 2001, PONEC, 1983, TAYLOR, 1993]. Badania widm termodesorpcji NO (tlenek azotu adsorbuje się w niskiej temperaturze na powierzchni badanego katalizatora, a następnie obiekt ogrzewa się równomiernie, ze stałą szybkością, a produkty desorpcji bada za pomocą spektrometru masowego [NAZIMEK, 1989, TAYLOR, 1993]) na monokrystalach platyny o orientacji ścian (111), (210) oraz wysokoindeksowej ścianie (410) dowiodły, że na ścianie regularnej (111) (a więc bez deformacji) w produktach desorpcji występuje jedynie NO (wiąże się on wówczas jedynie z molekularną, a nie dysocjacyjną formą na powierzchni platyny), na ścianie (210) w produktach był już obecny N_2 oraz NO (obecność N_2 to dowód na udział dysocjacyjnej formy chemisorpcji NO w procesie), a dopiero na ścianie wysokoindeksowej (410) (a więc mocno zdeformowanej) w produktach reakcji występował jedynie azot [TAYLOR, 1993]. Opisane doświadczenie oraz dane zawarte w pracy ĆWIKŁY i NAZIMKA [1998] dowodzą, że przyczyną powstawania N_2O jest molekularna forma adsorpcji na krystalitach metali. W rzeczywistym katalizatorze mamy bowiem wyekspozowane wszystkie formy ścian, zarówno nisko-, jak i wysokoindeksowych. Ilość tych ostatnich jest uwarunkowana wielkością krystalitu metalu [ĆWIKŁA, NAZIMEK, 1998] oraz oddziaływaniem metalu z podłożem (nośnikiem), a także jest silnie uzależniona od sposobu pozyskiwania faz aktywnych, a nawet od sposobu przekształcania prekursorów w formy aktywne [ANDERSON, 1985; NAZIMEK, 1989; NAZIMEK, ĆWIKŁA-BUNDYRA, 2004; PONEC, 1983].

Katalitycy opracowujący fazy aktywne konwertora dawno wiedzieli o fakcie emisji N_2O , który był stosowany jako gaz rozweselający (nie jest prekursorem kwasów, nie rozpuszcza się w wodzie, jest bardzo odporny chemicznie, a jego cząsteczka istnieje w atmosferze ok. 150 do 170 lat), ale emisja ta wydawała się niegroźna [BERGES i in., 1993; KROCHMAL, 1994]. Tymczasem zauważono, że molekula N_2O jest prawie 300 razy efektywniejsza w wywoływaniu efektu cieplarnianego niż molekula CO_2 , a ponadto efektywnie niszczy warstwę ozonową [KROCHMAL, 1994].

Z danych literaturowych wynika, że tylko w roku 1982 w RFN zostało wyemitowane do atmosfery około 3 milionów ton NO_x (stanowi to 943 tys. ton azotu), z tego przez elektrownie – 27,7%, przemysł – 14%, źródła domowe – 3,7% i transport samochodowy – 54,6% [KROCHMAL, 1994]. Ten sam autor podaje, że udział tlenków azotu w ogólnej emisji związków azotu wynosił 58%. Ciągłe zwiększanie liczby pojazdów samochodowych powoduje, że wielkości te stale rosną.

W tabeli 1. przedstawiono dane dotyczące wpływu NO_x na efekty zanieczyszczenia atmosfery [KROCHMAL, 1994, SIGRIST, 1994]. Wynika z nich, że obecność tlenków azotu

jest szczególnie uciążliwa w dziedzinie ochrony atmosfery. Tak jak wspomniano, tlenek diazotu jest ważnym i długowiecznym gazem cieplarnianym [KROCHMAL, 1994]. Ponadto, jest on głównym źródłem tlenków azotu w stratosferze, przez co wpływa w dużej mierze na stężenie ozonu.

Tabela 1. Wpływ tlenków azotu na efekty zanieczyszczenia atmosfery [KROCHMAL, 1994; IGRIST, 1994]

Table 1. The influence of nitrogen oxides on the effects of atmospheric pollution [KROCHMAL, 1994; SIGRIST, 1994]

| Rodzaj tlenku Nitrogen oxide | Stężenie Concentration ppb | Średni czas życia Mean lon- gevity | Efekt cieplarniany Green-house effect | Niszczanie warstwy ozonu Destruction of ozone layer | Smog fotochemiczny Photochemical smog | Kwaśne deszcze Acid rains |
|---|----------------------------------|---|--|--|--|---------------------------------|
| NO _x (NO, NO ₂) | 10–10 ³ | dni days | nie wpływa does not affect | + | + | + |
| N ₂ O | 310 | 150 lat | + | + | nie wpływa does not affect | nie wpływa does not affect |

Stwierdzono, że znaczącym źródłem emisji tlenku diazotu jest katalityczne wyposażenie samochodów. Przeprowadzone badania wykazały, że średnia emisja N₂O z samochodów wyposażonych w katalizatory wynosi ok. 170 mg na jedną przejechaną milę [BERGES i in., 1993]. Ze względu na to jak bardzo zmotoryzowany jest świat i jak wiele kilometrów przejeżdża w roku jeden pojazd mechaniczny, ta niewielka emisja zaczyna być poważnym problemem i zagrożeniem porównywalnym z emisją CO₂. W trakcie spalania benzyn, czy też gazu, zawsze w spalinach pochodzących z silników Otto pojawiają się CO₂ oraz N₂O. W przeciwieństwie do stężenia CO₂, które jest regulowane przez czynniki nieantropogeniczne (rozpuszczanie w wodzie, zużywanie w procesie fotosyntezy roślin zielonych, tworzenie węglanów), stężenie N₂O jest bardzo słabo regulowane przez środowisko, w związku z czym jego emisja jest wyjątkowo niepożądana.

Jak już wspomniano, w skład monolitów katalitycznych, jako fazy aktywne wchodzi metale szlachetne. Dowiedziono, że Rh oraz inne pierwiastki VIII grupy układu okresowego tworzą z CO lotne karbonyłki. Proces erodowania fazy metalicznej przez CO zależy od jego stężenia, stężenia O₂, a także temperatury. Stwierdzono, że w warunkach pracy silnika Otto istnieją dobre warunki fizykochemiczne do wystąpienia erozji spowodowanej obecnością CO. Produkty tych reakcji rozprzestrzeniają się w powietrzu podobnie jak zanieczyszczenia gazowe. Należy zdawać sobie sprawę z tego, że metale takie jak Pt czy też Rh w stanie bardzo wysokiej dyspersji są niezwykle aktywne katalitycznie prawie we wszystkich procesach. W obecności tlenu są bardzo dobrymi katalizatorami utleniania wszelkich związków organicznych do końcowego produktu jakim jest CO₂.

Jak widać technologia (bardzo rozpowszechniona) wynaleziona w celu ochrony środowiska okazała się dla niego pewnym nowym zagrożeniem. Nawet z tak krótkiej, a przez to wybiórczej analizy wynika, że wraz z rosnącymi potrzebami powstają nowe zagrożenia, wynikające z działalności antropogenicznej – często likwidując zagrożenia istniejące wprowadzamy do środowiska nowe, równie poważne.

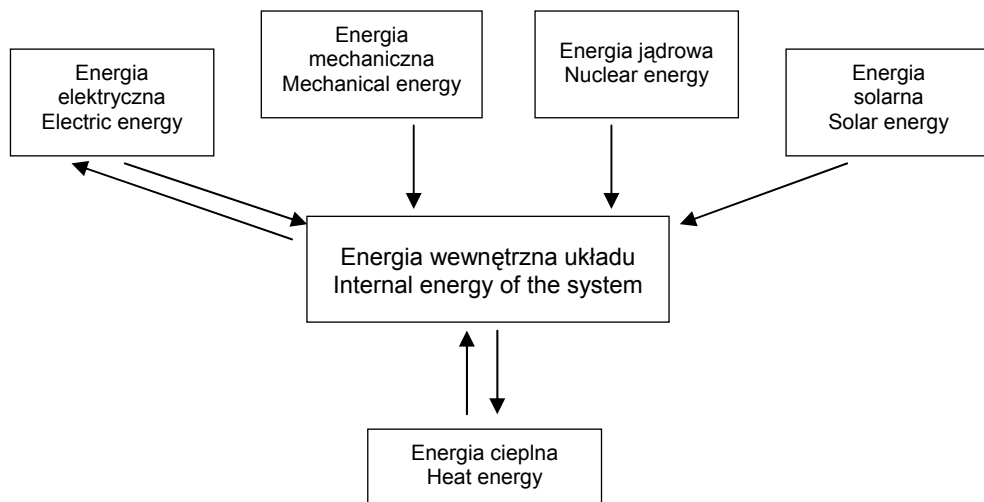
ZMIANA PARADYGMATÓW

Aby zrozumieć, jakie czynniki mogą spowodować, że realizacja idei zrównoważonego rozwoju będzie w przyszłości możliwa, należy przeanalizować dotychczasowe metody technologiczne, szczególnie te, które są istotne ze względu na pozyskiwanie i przesył energii, gdyż bez energii nie ma możliwości realizacji żadnej technologii. Aktualnie przetwarzamy energię chemiczną na energię cieplną, mechaniczną czy też elektryczną w wyjątkowo prosty sposób, realizowany bez zmian prawie przez 200 lat (na skalę przemysłową).

Energia chemiczna → energia cieplna → energia mechaniczna → energia elektryczna

W liniowym schemacie przetwarzania energii występują dwa bardzo znaczące ograniczenia, wynikające z zasad termodynamiki procesów [PARMON, 2000]. Istnieje „termodynamiczny ogranicznik” (I zasada termodynamiki) powodujący, że nie jesteśmy w stanie w sposób efektywny zamienić energii cieplnej na energię mechaniczną (i odwrotnie). Drugi „termodynamiczny ogranicznik” to zamiana energii mechanicznej na energię elektryczną. Tak więc aby pozyskać 220 MW mocy elektrycznej (przy praktycznie 100% sprawności energetycznej źródła ciepła), należy spalić ok. 110 Mg umownego paliwa (węgla) w ciągu jednej godziny. Jest to bardzo dużo ze względu na następującą potem emisję gazów i pozostałości stałe. Czy jednak nie można zmienić tego paradygmatu? Zastanówmy się nad następującymi założeniami:

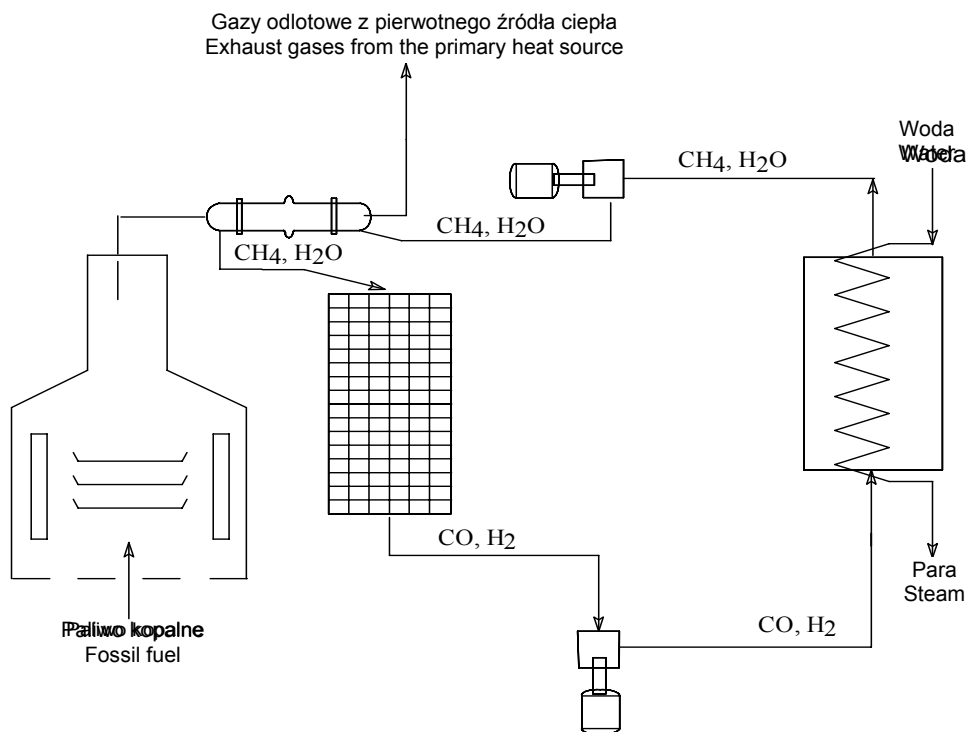
- każda zmiana energii przechodzi przez energię wewnętrzną układu,
- źródło pierwotnej energii nie ma znaczenia – może być to energia pochodząca z procesów spalania, a także ze źródeł niekonwencjonalnych (rys. 1).



Rys. 1. Zmiana paradygmatu przetwarzania energii (na bazie wyników zawartych w pracy PARMONA [2000])

Fig. 1. Change in a paradigm of energy processing (based on data from PARMON [2000])

Proponowane założenia wydają się być bardzo proste, ale gdy zastanowimy się nad ich konsekwencjami, to okaże się, że nagle zostają wyeliminowane dwa wspomniane „ograniczniki termodynamiczne”, a sam proces przetwarzania energii bardzo się upraszcza. Jako źródło przekazujące energię wewnętrzną należy zastosować układ reakcji odwracalnych, z których jedna jest endo-, a druga egzotermiczna (rys. 2). Takim klasycznym układem może być reakcja reformingu parowego metanu (silnie endotermiczna) oraz reakcja metanizacji tlenku węgla (silnie egzotermiczna) [PARMON, 2000, ROSTRUP-NIELSEN, 1975]. Obie reakcje są dobrze technologicznie zaawansowane, procesy są dobrze poznane i istnieją efektywne i trwałe katalizatory tych reakcji [PARMON, 2000, ROSTRUP-NIELSEN, 1975]. Należy zwrócić uwagę na to, że pierwotnym źródłem ciepła może być nie tylko zwykły, konwencjonalny reaktor, ale także reaktor jądrowy, źródło solarne, słowem każde, które daje pierwotną energię cieplną. Istota pomysłu polega na tym, że zamiast przesyłu gotowej energii cieplnej przez media takie jak woda czy para, energia jest transmitowana jako energia wewnętrzna układu mieszaniny gazowej CO oraz H₂ i zostaje wyzwolona dopiero u odbiorcy w trakcie reakcji metanizacji CO (uwodorniania CO do metanu). Wyzwolona energia cieplna jest przeponowo (ale na miejscu) przenoszona za pomocą mediów pośrednich (woda) [PARMON, 2000]. Tym samym nie występują żadne straty transportowe (niepo-



Rys. 2. Nowy sposób przetwarzania i przesyłu energii cieplnej (na bazie wyników zawartych w pracy [PARMON, 2000])

Fig. 2. New way of processing and transportation of thermal energy (based on data from PARMON [2000])

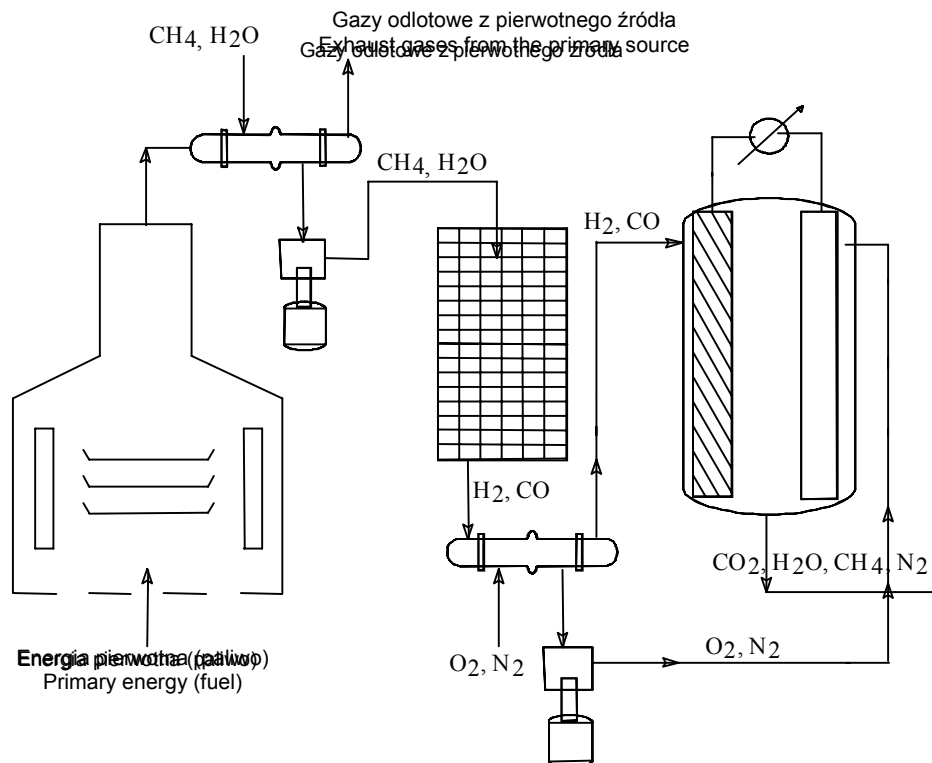
trzebna jest izolacja), a sprawność praktycznie całkowicie zamkniętego procesu (wymieniana jest jedynie energia) jest wysoka. Zastosowanie przedstawionej technologii nazwanej przez twórców EWA-ADAM [PARMON, 2000], zmniejsza masę spalanego paliwa pierwotnego (węgla) z 700.000 Mg do 150.000 Mg, bez straty mocy. Oznacza to prawie siedmiokrotne zmniejszenie emisji CO_2 , SO_2 , NO_x oraz pyłów wraz z radionuklidami, bez zastosowania żadnej znanej metody oczyszczania gazów spalinowych pochodzących z pierwotnego źródła energii. Należy zwrócić uwagę na to, że przedstawiona technologia powstała bez udziału nowych spektakularnych procesów. Kluczem tej technologii jest zmiana paradygmatu, przez szerokie zastosowanie metod katalitycznych [PARMON, 2000].

Rozważmy teraz, jak może wyglądać produkcja energii elektrycznej w tej sytuacji?

W lotach statków typu Gemini, a także Apollo zastosowano nowe wydajne źródło energii elektrycznej – ogniwo paliwowe [PASZKIEWICZ, FRĄCKOWIAK, 1993, Kronika..., 1992, SHEPARD, SLAYTON, 2001, TURSKI, 1998]. Ideę takiego ogniwa opatentowano w Niemczech w roku 1934, chociaż sięga ona połowy wieku XIX [Kronika..., 1992]. Jednak stan zaawansowania technologii w roku 1934 nie dawał możliwości jej realnego, przemysłowego zastosowania. Idea takiego ogniwa jest niezmiernie prosta. Na przepuszczalne dla gazu anodę i katodę (w praktyce są to membrany – spieki, zbudowane z metali szlachetnych – platyny i rodu lub stopu platyny i rodu) podawane są odpowiednio tlen i wodór, a ośrodek między nimi jest wypełniony elektrolitem (stopione sole). Na kontaktach (elektrodach) przebiega reakcja syntezy wody. W trakcie tego procesu redox (wodór się utlenia, a tlen redukuje) następuje przeniesienie elektronu, czyli przepływ prądu. Wydajność takiego ogniwa jest bardzo wysoka i sięga 70% i więcej [PASZKIEWICZ, FRĄCKOWIAK, 1993; Kronika..., 1992; TURSKI, 1998], niestety koszty jego budowy są bardzo duże, a więc energia pozyskiwana tą metodą jest bardzo droga [PASZKIEWICZ, FRĄCKOWIAK, 1993, TURSKI, 1998]. Należy jednak brać pod uwagę fakt, że dzięki rozwojowi katalizy na metalach, a także rozwiązaniom czysto inżynierskim, można spodziewać się spadku kosztów produkcji energii elektrycznej w ogniwach paliwowych. Już dzisiaj ogniwa paliwowe, a w zasadzie energia elektryczna w nich produkowana, jest prawie 10-krotnie tańsza niż w statkach typu Apollo.

W zasadzie znamy kilka rodzajów ogniw paliwowych, różniących się elektrolitem, którym może być stopiony KOH, stopione węglany, kwas fosforowy, a nawet stopione tlenki metali (to ostatnie ogniwo pracuje w bardzo wysokiej temperaturze, rzędu 1300 K) [PASZKIEWICZ, FRĄCKOWIAK, 1993; Kronika..., 1992; SHEPARD, SLAYTON, 2001; TURSKI, 1998].

Popatrzmy jak wygląda produkcja energii elektrycznej z zastosowaniem nowego paradygmatu (rys. 3). Jak widać źródłem potrzebnego do procesu wodoru jest poznana już przez nas reakcja reformingu parowego metanu [ROSTRUP-NIELSEN, 1975]. Z tego powodu konieczne jest wstępne źródło energii (ciepła), którym może być nawet proces spalania węgla czy też gazu, jak również ciepło z energetyki jądrowej [PARMON, 2000]. Gazy po reformingu parowym metanu przechodzą przez wymiennik ciepła (mają temperaturę ok. 1100 K [ROSTRUP-NIELSEN, 1975]), oddając przeponowo swą energię cieplną gazom surowym, w tym – powietrzu, które zawiera niezbędny do procesu utleniania tlen. Następnie są możliwe dwa rozwiązania (rysunek 3 przedstawia tylko jeden wariant) – albo wprowadzamy gazy bezpośrednio na ogniwo paliwowe, licząc się ze stratami związanymi z utlenianiem CO do CO_2 oraz procesem metanizacji CO do CH_4 (który jest niekorzystny, gdyż następuje zużycie wodoru cennego w innym procesie), albo przeprowadzamy reakcję parowej konwersji CO otrzymując, jako produkty reakcji, CO_2 oraz dodatkową molekułę wodoru. Teraz, już bez etapu oczyszczania gazu z CO_2 (jest on w dalszym katalitycznym procesie nie-



Rys. 3. Nowy sposób pozyskiwania energii elektrycznej (na bazie wyników zawartych w pracy [PARMON, 2000])

Fig. 3. New way of electric energy acquisition (based on data from PARMON [2000])

czynny [PARMON, 2000]), wprowadzamy gazy na ogniwo paliwowe. Otrzymujemy w produktach reakcji wodę oraz balast CO_2 i N_2 z niewielką domieszką O_2 [PARMON, 2000].

Jakie są relacje tego procesu w stosunku do tradycyjnego sposobu (paradygmatu) pozyskiwania energii elektrycznej? Jak już wspomniano, aby wyprodukować 220 MW mocy elektrycznej tradycyjną metodą musimy spalić 110 Mg węgla w ciągu jednej godziny. Tymczasem w ogniwie paliwowym, zakładając jego 80% sprawność, aby otrzymać 220 MW mocy należy spalić (w źródle pierwotnym energii) ok. 10–12 Mg paliwa. Oznacza to, że bez zastosowania procesów oczyszczania gazów zmniejszyliśmy emisję CO_2 , SO_2 , NO_x oraz pyłów do atmosfery prawie o 90%. Szczególnie istotne jest to, że nie zmniejszając produkcji energii, nawet nie zmieniając jej pierwotnego źródła, zmniejszamy w istotny sposób emisję gazu cieplarnianego jakim jest CO_2 (rzeczywista emisja CO_2 będzie jednak większa, gdyż powstaje on w procesie reformingu parowego metanu oraz konwersji parowej CO i jest podawany na ogniwo paliwowe).

Ten idylliczny obraz zakłócają bardzo wysokie koszty samego ogniwa, a także fakt zużycia gazu ziemnego o wysokim stopniu czystości (inaczej konieczne są bardzo drogie technologie oczyszczania gazu ziemnego, szczególnie ze związków siarki), gdyż stosowane katalizatory są niezwykle podatne na zatrucia siarką lub innymi domieszkami [PASZKIE-

WICZ, FRĄCKOWIAK, 1993; TURSKI, 1998]. Nie są to jedyne czynniki skutecznie hamujące stosowanie podanych rozwiązań technologicznych. Istnieją też inne uwarunkowania, którym podlega każde rozwiązanie technologiczne – są to ekonomia procesu, a także konsekwencje ekonomiczne dla innych działów gospodarki.

Jak wspomniano, przyszłość w konstrukcji samochodów należy rzeczywiście do samochodu o napędzie elektrycznym, lecz energia elektryczna będzie pozyskiwana z ogniw paliwowych [PASZKIEWICZ, FRĄCKOWIAK, 1993; TURSKI, 1998]. Źródłem wodoru może być metanol (produkowany na ogromną skalę przez katalityczną syntezę z CO i H₂) [NAZIMEK, 2001; PASZKIEWICZ, FRĄCKOWIAK, 1993; Kronika..., 1992; ROSTRUP-NIELSEN, 1975; TURSKI, 1998]. Inne źródło wodoru to wodorki metali (szczególnie wodorek tytanu), gdzie upakowanie jego atomów jest trzykrotnie większe niż w ciekłym wodorze, a same wodorki są substancjami niepalnymi i wyjątkowo prostymi w obsłudze [KOMOROWSKI, BALAWENDER, 1995; Kronika..., 1992; TURSKI, 1998]. Aktualnie wiele firm motoryzacyjnych prowadzi mniej lub bardziej zaawansowane badania wdrożeniowe nad zastosowaniem ogniw paliwowych jako źródła napędu samochodów.

Inne możliwości dają tzw. pojazdy hybrydowe. W tego typu rozwiązaniach dominuje zespół napędowy złożony z układu akumulatorów o wysokiej sprawności oraz silnik wysokopiętny. W zależności od miejsca poruszania się pojazdu (teren miejski lub pozamiejski) używany jest alternatywny napęd [Relacja..., 2007]. W trakcie pracy silnika Diesla zostaje doładowany akumulator (a raczej ich zespół). Być może napędy hybrydowe będą stanowić układ przejściowy między napędem klasycznym a elektrycznym, wykorzystującym ogniwa paliwowe. Salon Genewski w 2007 r. [Relacja..., 2007] pokazał, że jest możliwa produkcja takiego samochodu, już w pełni użytkowego.

Wydaje się, że najbliższe lata mogą przynieść zdecydowany przełom w konstrukcjach samochodowych, który nastąpi szybciej niż przełom w stacjonarnych metodach pozyskiwania energii.

ROLA NIEKONWENCJONALNYCH I ODNAWIALNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII

Jakie technologie pozyskiwania energii należy zaliczyć do źródeł alternatywnych, a więc do nowych kierunków ewolucji technologii? W pierwszym odruchu czytelnik może się zachnąć, stwierdzając, że pytanie to jest trywialne. Tak jednak nie jest. Wymieniamy bowiem zazwyczaj energię pozyskiwaną z biogazu, solarną, wiatrową, czy też metody związane z technikami geotermicznymi [Kronika..., 1992; TURSKI, 1998; www.elektrownie-wiatrowe.org.pl]. Jeżeli jednak zdefiniujemy technologie alternatywne jako takie, które nie wykorzystują metod spalania (dzisiaj metody spalania różnego rodzaju paliw są dominujące), to w tym rozumieniu techniki związane z wytwarzaniem biogazu nie są technologią alternatywną. Zgodnie z tą definicją natomiast, technologią alternatywną jest energetyka jądrowa!

Tak więc produkcja biogazu to technologia wytwarzania alternatywnego paliwa (jest także źródłem odnawialnym), zbliżonego w swym składzie do gazu ziemnego. Należy jednak pamiętać, że wszelkie technologie spalania bazujące na związkach węgla muszą dostarczać do atmosfery w emisji spalin, w mniejszej lub większej ilości, CO₂. Nawet gdybyśmy potrafili we wszystkich źródłach energii zastąpić węgiel lub ropę gazem ziemnym, czy też biogazem, to biorąc pod uwagę roczny wzrost konsumpcji energii, spadek emisji CO₂ byłby niewielki (a raczej jego wzrost byłby niewiele większy). Tymczasem zaczynają

(i słusznie) dominować głosy, że metan, stanowiący główny składnik gazu ziemnego, jest zbyt cennym surowcem petrochemicznym, aby go jedynie spalać [MACHOCKI, DENIS, 1998; MARZEC, 2000; NAZIMEK, 2001].

Dlatego też, do rzeczywiście alternatywnych źródeł energii powinniśmy zaliczyć pływy mórz i oceanów, spadek wód, energię geotermiczną, energię wiatrową oraz największą nadzieję technologów – energię solarną [Kronika..., 1992; www.energia-odnawialna.pl]. Każda z wymienionych technologii ma jednak ograniczenia związane z obszarem, na którym miałyby być stosowane. Energetyka wiatrowa może być efektywnie stosowana jedynie na terenach o odpowiednich cechach (liczba dni wietrznych, siła wiatru itp.). Pływy np. Bałtyku są tak małe, że nie ma możliwości ich technologicznego wykorzystania. Energię geotermiczną można można wykorzystywać jedynie tam, gdzie wewnętrzne źródło ciepła Ziemi jest dostatecznie płytko zlokalizowane (np. Islandia). Energia solarna (Słońce może nam dostarczać swej energii bez zmian przez jakieś 5 mld lat) może być w technologiach efektywnie wykorzystywana jedynie w miejscach mocno nasłonecznionych, a więc w krajach o odpowiednim położeniu geograficznym, a także liczbie dni słonecznych.

Należy jednak zadać sobie pytanie, czy w ogóle istnieje możliwość całkowitej eliminacji dotychczasowych technologii pozyskiwania energii przez spalanie paliw kopalnych i zastąpienie ich alternatywnymi źródłami. Odpowiedź nie jest prosta. Z formalnego punktu widzenia, zliczając miejsca, gdzie możemy uruchomić nowe technologie, a także sumując ilość pozyskiwanej energii, możemy otrzymać odpowiedź twierdzącą. Jednak rachunek ten nie uwzględnia ekonomii przedsięwzięcia. Wszystkie centra energetyczne, ze względu na koszty, są mocno zintegrowane. W przypadku nowych technologii musiałyby być rozrzucone obszarowo.

Drugi element (poza ceną 1 MW) to zatrudnienie. Nagłe, rewolucyjne zmiany wymagałyby masowych zwolnień z klasycznych elektrowni i znacznie mniejszego zatrudnienia, zwykle zupełnie gdzie indziej. Na przykład elektrownie wiatrowe są całkowicie sterowane komputerowo, a do obsługi np. 100 i więcej wiatraków wystarcza kilku ludzi – głównie operatorów komputera [Parmon, 2000; www.elektrownie-wiatrowe.org.pl]. Pozornie wydaje się, że może zaistnieć konflikt „człowiek–zatrudnienie–maszyna” (taki dość XIX-wieczny pogląd), ale dzisiaj nie jest on ograniczeniem technologii. Będzie jednak potrzebny czas na restrukturyzację zatrudnienia i dostosowanie się rynku pracy do nowych technologii. Dlatego też wydaje się, że wizja całkowitego i natychmiastowego, a więc rewolucyjnego przestawienia technologii pozyskiwania energii na źródła alternatywne jest mało realna, przynajmniej w najbliższej przyszłości. Można się spodziewać raczej powolnej ewolucji technologii w tych kierunkach.

Trzeba podkreślić, że całkowite zasoby alternatywnych źródeł energii, przynajmniej teoretycznie, zdają się pokrywać wszelkie nasze dotychczasowe zapotrzebowanie na energię pochodzącą ze źródeł stacjonarnych. Z tego powodu zarówno badania studyjne, jak też wdrożenia, chociaż powolne (głównie z przyczyn logistyczno-ekonomicznych) są celowe i mogą wyznaczać kierunek zmian, który być może będzie skorelowany w pierwszej fazie ze zmianą paradygmatu otrzymywania energii z paliw kopalnych, a dopiero w fazie następnej – z nowym paradygmatem rozbudowy systemów energetycznych, charakteryzujących się różnorodnością technologiczną.

Jeżeli alternatywne źródła energii zdefiniujemy jako te, które nie wykorzystują reakcji spalania do pozyskania energii cieplnej, to w myśl tej definicji energetyka jądrowa jest takim źródłem. Z całą pewnością energetyka jądrowa, szczególnie bazująca na reaktorach powielających (pracują one na paliwie zubożonym w U^{235}), jest źródłem stosunkowo taniej

energii elektrycznej, a postęp w technologii materiałowej, a także w elementach zabezpieczeń, czyni z elektrowni jądrowych siłownie względnie bezpieczne i, wbrew potocznej opinii, przyjazne dla środowiska. Elementem odstrasającym wiele społeczeństw od budowy siłowni jądrowych jest głęboko zakorzeniona fobia, wynikająca z lat „zimnej wojny” i strachu społeczeństw przed wojną jądrową. Tymczasem we współczesnych reaktorach jądrowych nie ma żadnej groźby wybuchu nuklearnego. Jest tylko możliwe skażenie promieniotwórcze w trakcie awarii reaktora. Przeciwnicy siłowni jądrowych natychmiast wymieniają awarię reaktora w Czarnobylu. Należy się jednak zastanowić dlaczego do tej awarii doszło, jakie były jej rzeczywiste przyczyny, czy istotnie wynikały one jedynie z błędów ludzi, czy też technologii?

Zalet energetyki jądrowej prawie nie trzeba opisywać. Poza względnie czystą metodą otrzymywania energii elektrycznej istotne jest również to, że niesie ona ze sobą ogromny postęp w innych działach technologii, w tym tak istotnych jak produkcja nowych materiałów, nowe metody diagnostyki materiałów, a także metody zbierania i analizy danych. Należy pamiętać, że siłownia jądrowa, ze względów bezpieczeństwa, musi być całkowicie zautomatyzowana, tak więc niesie ze sobą ogromny postęp w procesach oprogramowania mikroprocesorów. W zasadzie wszystkie systemy muszą być dublowane, tak aby komputery sterujące procesem mogły w systemie awaryjnym przełączać urządzenia. Same systemy komputerowe muszą być dublowane, a czasem nawet pracować w systemie potrójnym [<http://czarnobyl.eggs.sim.pl/>; www.ponkornet.hg.pl/czarnobyl.htm]. Dlaczego więc wydarzyła się awaria w Czarnobylu? Oficjalna wersja wydarzeń jest doskonale znana i nie warto jej przytaczać. Jednak drobiazgowe śledztwo przeprowadzone przez niezależną grupę rosyjskich fizyków (brano pod uwagę zeznania świadków wypadku, dane z rosyjskich stacji sejsmologicznych, a także analizę geologiczną terenu, na którym wybudowano siłownię) sugeruje, że przebieg wydarzeń był odmienny [<http://czarnobyl.eggs.sim.pl/>; www.ponkornet.hg.pl/czarnobyl.htm]. Awaria IV bloku reaktora w Czarnobylu została spowodowana wstrząsem sejsmicznym, który spowodował zerwanie szeregu rur wodnych (odbierających ciepło) w samym rdzeniu reaktora [<http://czarnobyl.eggs.sim.pl/>; www.ponkornet.hg.pl/czarnobyl.htm]. W wyniku tego nastąpiła radioliza wody (na wodór i tlen), dając w rezultacie potężny wybuch chemiczny. W konsekwencji, do atmosfery przedostała się ogromna masa radionuklidów, pochodzących z rdzenia reaktora i doszło do olbrzymiego skażenia radioaktywnego. Wniosek końcowy grupy fizyków jest zaskakujący – powodem awarii była błędna lokalizacja elektrowni, a nie brak stosownych zabezpieczeń, czy też błędy komputera lub operatorów. Jest to istotne z tego powodu, że istnieją udokumentowane dane wskazujące na to, że to nie same technologie związane z działaniem elektrowni jądrowych są dzisiaj niebezpieczne. Niebezpieczne jest ludzkie niedbalstwo, brak wyobraźni decydentów, którzy nie zdają sobie sprawy z uwarunkowań technologii i przedkładają populistyczne wartości nad wiedzę i zdrowy rozsądek. Jak więc wyglądała awaria w Czarnobylu? Być może pełną wiedzę o tym, co się wydarzyło w elektrowni Czarnobylskiej pozyskamy za wiele lat...

Pośród wszystkich wymienionych czynników roboczych, będących źródłem energii w procesach spalania (a te mamy doprowadzone do perfekcji), jest jeden reagent, którego spalanie nie daje uciążliwego odpadu. Ten reagent to wodór.

To, że woda stanowi ogromną część składową naszej planety jest stwierdzeniem wręcz trywialnym. Ten prosty związek chemiczny (tlenek wodoru) jest nie tylko najlepszym i najbardziej uniwersalnym rozpuszczalnikiem, jaki znamy, ale też nośnikiem niezwykle ważnego technologicznie czynnika roboczego, jakim jest wodór – najstarszy i najprostszy

(i najbardziej rozpowszechniony w Uniwersum) pierwiastek chemiczny. Reakcja między wodorem i tlenem jest niezwykle egzotermiczna i przebiega w pewnych zakresach stężeń tlenu i wodoru eksplozywnie, gdyż pierwiastki te tworzą mieszaninę wybuchową [TRZEBIATOWSKI, 1979]. Próg energetyczny reakcji jest bardzo niski i może być ona inicjowana nawet energią mechaniczną (np. stuknięciem). Jednak proces ten można także prowadzić w łagodnych, nieeksplozywnych warunkach, stosując katalizatory metaliczne, jako moderatory reakcji. Tak prowadzi się proces spalania wodoru w ogniwach paliwowych.

Technologie wykorzystujące wodór, zwłaszcza w postaci wodorków (np. wodorku tytanu), stanowią pewne szczególne rozwiązanie w dziedzinie przenoszenia energii chemicznej, a także akumulacji energii elektrycznej [KOMOROWSKI, BALAWENDER, 1995]. Na razie jedynym znanym nam sposobem akumulacji energii elektrycznej są akumulatory chemiczne. Jednak dla wielu technologów wizja wodoru jako paliwa przyszłości jest niezwykle nęcąca. Dodatkowym bodźcem powodującym, że badania wodorków metali są prowadzone bardzo intensywnie jest fakt, że zgodnie z teorią nadprzewodnictwa, na takich obiektach powinno się uzyskać to zjawisko już w temperaturach technologicznie użytecznych, np. w temperaturze ciekłego azotu [Kronika..., 1992]. Z tego powodu badania te są prowadzone głównie w laboratoriach wielkich koncernów, w tym również paliwowych. Praktyczne zastosowanie tanich materiałów nadprzewodzących jest tak ogromne, że nie sposób ich nawet wymienić. Są to nowe, superszybkie i pojemne komputery, akumulatory energii elektrycznej, a także nowa generacja silników elektrycznych.

W tym kontekście stosowanie wodoru, jako „zwyczajnego” paliwa, nawet przez jego uwięzienie w wodorku metalu, wręcz błędnie, chociaż technika taka jest stosowana na skalę przemysłową do napędu nowoczesnych lokomotyw trakcji spalinowej w Kanadzie i USA. Zmagazynowany w wodorku metalu wodór jest podawany na zespół ogniw paliwowych, a otrzymany prąd elektryczny napędza system silników elektrycznych elektrowozu [www.yahoo.com/depts.washington.edu/fuelcell].

Wodór jest pierwiastkiem niesłychanie ważnym w wielu technologiach. Nie jest to jedynie paliwo przyszłości. Jest on używany szeroko do wielkiej syntezy nieorganicznej, np. do otrzymywania amoniaku [MARZEC, 2000; NAZIMEK, 1989; Kronika..., 1992; ROSTRUP-NIELSEN, 1975], czy też w reakcjach petrochemicznych jak hydrokraking czy hydrogenoliza [NAZIMEK, 1989]. Metody „wydobycia wodoru” są oczywiście różne. Dzisiaj jest on otrzymywany w reakcji reformingu parowego węglowodorów, najczęściej gazu ziemnego [ROSTRUP-NIELSEN, 1975].

Bez tanich i intensywnych metod produkcji wodoru nie byłoby dzisiaj nowoczesnych technologii, łącznie z metodami wytwarzania mikroprocesorów. Czy wodór stanie się, poza tymi zastosowaniami, dodatkowo paliwem przyszłości? Nie jest to niemożliwe, szczególnie jeżeli techniki te będą skojarzone z ogniwami paliwowymi.

PODSUMOWANIE, CZYLI COŚ O KIERUNKACH ROZWOJU

Co więc ważnego powinno się, moim zdaniem, wydarzyć w technologiach i jak będą wyglądały związki naszych technologii ze środowiskiem, w czasach mniej odległych, np. w ciągu następnych dziesięcioleci. Tego typu analizy, chociaż zazwyczaj nie całościowe, były przedstawiane w wielu pracach. Najczęściej dotyczą one surowców i energetyki [MARZEC, 2000]. Wielu naukowców uważa, że w następnych dziesięcioleciach nastąpi znaczące zwiększenie udziału gazu ziemnego w technologiach pozyskiwania energii. Zrazu będzie to

zastępowanie istniejących kotłów węglowych kotłami opalnymi gazem, aby w następnym etapie rozwoju przejść gruntowną zmianę paradygmatu wytwarzania energii. Analizując ostrożnie tego typu doniesienia, można się z nimi zgodzić, gdyż przewidują ewolucyjny, a nie rewolucyjny sposób zmian technologicznych. Wydaje się, że w nadchodzących dziesięcioleciach nie nastąpi rewolucja technologiczna (tu należy rozdzielić możliwości nauki od technologii stosowanych), gdyż tego typu rewolucje niosą ze sobą zbyt duże ryzyko ekonomiczne, przez niekontrolowane zwiększenie bezrobocia w innych działach gospodarki. Tak więc w ciągu kilku dziesięcioleci, poza instalacjami pilotowymi, nie należy się spodziewać gwałtownych przemian w podstawowych sposobach pozyskiwania energii. Można się oczywiście spodziewać zwiększenia udziału niekonwencjonalnych źródeł w ogólnym bilansie energetycznym, nawet do 10%, ale nie będą to metody dominujące [MARZEC, 2000].

O wiele większej rewolucji (szybkiej ewolucji) można się spodziewać w przemyśle samochodowym. Wynika to ze znacznie większego tempa przemian (co roku na świecie pojawia się ponad 300 nowych modeli samochodów), a także znacznej mobilności rynku (ludzie chętnie kupują nowe samochody) i ogromnej konkurencji. Czynniki te w znacznym stopniu wymuszają szybkie zmiany w tym przemyśle, gdyż udany model gwarantuje koncernom ogromne zyski. Dodatkowym czynnikiem wymuszającym zmiany w pożądanym przez ekologów kierunku jest prawo zaostrzające normy dotyczące dopuszczalnej wielkości zanieczyszczeń emitowanych przez tradycyjne silniki spalinowe. Tak naprawdę już dzisiaj istnieje możliwość pojawienia się na rynku pojazdów alternatywnych, spełniających wymogi techniczne nawet bardzo wybrednej klienteli. Przeszkodą, która musi zostać pokonana jest brak infrastruktury dla tego typu pojazdów – odpowiednich stacji obsługi i dystrybutorów paliwa (np. metanolu). Nie zaszły także odpowiednie przemiany strukturalne w przemyśle stowarzyszonych z przemysłem samochodowym (przemysł samochodowy integruje ze sobą przemysł chemiczny, petrochemiczny, maszynowy, stalowy itp.). Jednak gałęzie gospodarki związane z przemysłem samochodowym, będąc świadome przemian, przygotowują się do nich, a ewolucja będzie o tyle łatwiejsza, że nowe pojazdy będą ewolucyjnie rugować istniejące konstrukcje. Do tych ostatnich trzeba będzie produkować podzespoły zastępcze (części zamienne), blachy karoseryjne, a nawet całe silniki. Z tego powodu, pomimo „pozornej rewolucji”, tak naprawdę będzie to tylko dość szybka ewolucja tych technologii, nienaruszająca w sposób destrukcyjny ekonomii przedsiębiorstw i niepowodująca zwiększenia bezrobocia w tych działach.

Należy się spodziewać bardzo podobnych zmian w lotnictwie cywilnym, którego rozwój może jednak zostać bardziej zintegrowany z przemysłem kosmicznym (jest to dość naturalny kierunek integracji technologicznej). Najszybciej jednak powinien się rozwijać przemysł elektroniczny i przemysł kosmiczny. W tym miejscu napotykamy na pewien paradoks. Z jednej strony nikt nie ma raczej wątpliwości, że rozwój przemysłu elektronicznego będzie bardzo szybki (tak jest już dziś), a także że rosnące wymogi przemysłu kosmicznego są potężnym stimulatorem rozwoju technologii. Takie zjawisko powoduje tak duży nacisk na technologie, że nikt nie jest w stanie prawidłowo prognozować ich rozwoju. Pojawiająca się nieokreśloność technologiczna jest tym większa, im większe są nakłady finansowe na te badania, a także im wyższy jest próg zadaniowy. W takim przypadku (podobnie jak w przypadku biologii molekularnej) należy przyjąć tezę, że możliwe jest każde rozwiązanie, które nie jest sprzeczne z zasadami fizyki.

Tak więc technologiczna przyszłość na następne dekady XXI wieku rysuje się pozytywnie i nie należy się spodziewać wstrząsów i rewolucji. Nawet opanowanie syntezy ter-

mojądrowej w stopniu umożliwiającym budowę komercyjnych siłowni, nie powinno spowodować rewolucji, a raczej ewolucyjne włączenie (podobnie jak energetyki jądrowej w latach pięćdziesiątych XX wieku) do systemu technologii wytwarzania energii.

Znacznie gorzej wygląda sytuacja środowiska przyrodniczego. Tutaj nie można patrzeć w przyszłość z takim optymizmem. Wyniki badań zmian efektu cieplarnianego, prądów zatokowych, w tym prądu pacyficznego El Niño, dają niepokojący obraz zmian środowiska przyrodniczego. Należy pamiętać, że nie zaprzestano dewastacji lasów deszczowych Amazonii. Jednocześnie nasza wiedza o konsekwencjach wpływu zmian wielkości efektu cieplarnianego na wieloletnie, globalne zmiany klimatu na Ziemi jest jednak nadal dość fragmentaryczna. Nasuwa się pytanie, co spowoduje szybki wzrost średniej temperatury Ziemi, poza czynnikami z nim stowarzyszonymi? Czy będziemy mieli do czynienia z ciągłym wzrostem temperatury, czy też żyjemy w ciepłym interglacjale (taki wniosek można wyciągnąć, śledząc zmiany temperatury w ciągu ok. 1000 lat [VAN ANDEL, 1994]), który w pewnym momencie powinien się zakończyć, powodując wejście w nową epokę lodową. Istnieje wiele gorzej lub lepiej umotywowanych teorii, które gdy je analizujemy, dają możliwość kreacji zupełnie ze sobą sprzecznych scenariuszy zmian klimatycznych [VAN ANDEL, 1994]. Wydaje się, że z wyciąganiem ostatecznych wniosków nam jeszcze poczekać.

LITERATURA

- ANDERSON J.R., 1985. Particle size effects in metal catalysts. *Sci. Prog. Oxf.* 69 s. 461–484.
- BERGES M.G., HOFMANN R.M., SCHARFFE D., CRUZEN P.J., 1993. Estimates of the emission rates of nitrous oxide from light-duty vehicles using different chassis dynamometer test cycles. *J. Geophys. Res.* 98 s. 6621–6629.
- CROSWELL K., 1997. *Alchemia nieba, opowieść o Drodze Mlecznej, gwiazdach i astronomach.* Warszawa: Prószyński i S-ka ss. 133.
- ĆWIKŁA W., NAZIMEK D., 1998. The influence of the rhodium content in platinum catalysts and the gold content in nickel catalysts on the course of the CO+NO reaction. *Adsorption Sci. Technol.* 16 s. 733–791.
- ĆWIKŁA-BUNDYRA W., NAZIMEK D., 2006. NO decomposition on palladium catalysts. *P.J. Environ. Study* 15 nr 6a s. 25–27.
- DWORAK T.Z., RUDNICKI K., 1983. *Świat planet.* Warszawa: PWN ss. 287.
- GOLD T., 1992. The deep hot biosphere. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 89 s. 6045–6049.
- GOLD T., 1999. *The deep hot biosphere.* New York: Copernicus Books ss. 230.
- <http://czarnobyl.eggs.sim.pl>
- http://dir.yahoo.com/Science/Astronomy/Solar_System
- <http://www.elektrownie-wiatrowe.org.pl/>
- <http://www.energia-odnawialna.pl>
- <http://www.osps-bhp.krakow.pl>
- <http://www.ponkornet.hg.pl/czarnobyl.htm>
- <http://www.yahoo.com/depts.washington.edu/fuecell>
- KOMOROWSKI L., BALAWENDER R., 1995. *Badania struktury elektronowej mieszaniny wodorków metali alkalicznych.* Wrocław: PWroc. ss. 88.
- KROCHMAL D., 1994. Tlenki azotu jako zanieczyszczenie powietrza. *Ogólnopol. semin. DENOX, Rabka, 1994.* Kraków: Wydaw. OPAL PG ss. 24.
- MACHOCKI A., DENIS A., 1998. Bezpośrednia przemiana metanu w etylen w katalitycznym procesie utleniającego sprzęgania. *Mater. 2 Kongr. Technol. Chem. Wrocław: Dolnośl. Wydaw. Edukac.* s. 1649–1658.

- MARZEC A., 2000. Rola węgla, ropy i gazu ziemnego w światowych prognozach zapotrzebowania na energię oraz przewidywana emisja CO₂. W: Węgiel, sorbenty i wyroby węglowe 2000. Mater. Semin. 15–16.06.2000 Kraków. Kraków: AGH s. 22–23.
- NARLIKAR J., 1997. The structure of the Universe. Oxford, London: Oxford University Press ss. 35.
- NAZIMEK D., 1989. Hydrogenoliza alkanów na stopach oraz wysokozdyspergowanych metalach VIII grupy. Chem. Stos. 33 s. 363–389.
- NAZIMEK D., 2001. Ewolucja materii, ewolucja środowiska. Lublin: Wydaw. UMCS ss. 124.
- NAZIMEK D., ĆWIKŁA-BUNDYRA W., 2004. Influence of the precursors kind of catalysts on the course of a DENOX reaction. Catal. Today 90 s. 39–42.
- PARMON W.N., 2000. Catalysis in nontraditional and renewable energetics. W: Catalysis in XXI century: from quantum chemistry to industry. Proc. 1st Intern. Symp. May, 4–7, 2000 Kraków, Poland. ss. 24.
- PASZKIEWICZ M., FRĄCKOWIAK E., 1993. Elektrokatalizatory dla elektrody paliwowej ogniwa metanol-powietrze. Poznań: PPOzn. s. 6–98.
- PONEC V., 1983. Catalysis by alloys in hydrocarbon reactions. Adv. Catal. 32 s. 149–206.
- Kronika techniki, 1992. Pr. zbior. Warszawa: Wydaw. Kronika s. 142–247.
- Planeta życia. Larousse. Encyklopedia przyrody, 2007. Warszawa: Ofic. Wydaw. Panteon ss. 318.
- PSKUROWSKI G., LILLEY M.D., OLSON E.J., 2008. Stable isotopic evidence in support of active microbial methane cycling in low-temperature diffuse flow vents at 9°50'N East Pacific Rise. *Geochimica Cosmochimica Acta* 72 s. 2005–2023.
- Relacja z salonu samochodowego w Genewie, 2007. Genewa (przekaz medialny w TVN Turbo).
- ROSTRUP-NIELSEN J.R., 1975. Steam reforming catalysts. Copenhagen: Ed. Teknisk Forlag A/S s. 10–230.
- SHEPARD A., SLAYTON D., BARBREE J., BENEDICT H., 2001. Kierunek Księżyc – kulisy amerykańskiego programu księżycowego. Warszawa: Prószyński i s-ka ss. 400.
- SIGRIST M.W., 1994. Air monitoring by spectroscopic techniques. Chem. Anal. Ser. vol. 127.
- TAYLOR K.C., 1993. Nitric oxide catalysis in automotive exhaust systems. Catal. Rev. Sci. Eng. 35 s. 457–481.
- TRZEBIATOWSKI W., 1979. Chemia nieorganiczna. Warszawa: PWN s. 20–70.
- TURSKI Ł.A., 1998. Energetyczne dylematy. Wiedza Życie nr 11.
- VAN ANDEL T.H., 1994. New views on an old planet. A history of global change. Cambridge, London: Cambridge University Press ss. 439.

Dobiesław NAZIMEK

ENVIRONMENTAL RESOURCES AND THE TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT

Key words: evolution of technology, environmental protection, environmental resources, fuel cells, hydrogen processing, principle of sustainable development

S u m m a r y

Human needs are the element which affected most, if not decisively, the evolution of existing technologies and the creation of new ones. Through the whole XIX century and much of the XX, only these needs controlled technological development. Apart from such factors like fashion, economy of technological process (cost minimization) and economy of the consumer, exchange of information or armaments, there were no other controls and regulators of the evolution associated e.g. with environ-

mental protection. The beginning of the 1960s brought an important change in this attitude created by Swedish scientists. Already in the next decade, after studies on photochemical smog in Los Angeles, catalytic exhaust converters were introduced to engines of the Otto type in the USA. In those days a concept was created of sustainable development. The idea consists in combining all technological (and agricultural) activities with the responsibility for and care of next generations. It means the development of such technologies that would be as much as possible environmental friendly. The simplest examples of implementing this idea in Europe and in Poland are Natura 2000 areas or the necessity of using catalytic exhaust converters in fuel engines.

Sustainable development principle requires appropriate technologies but also legal regulations pertaining to environmental protection. The principle encompasses all environmental factors including environmental resources like e.g. fossil fuels. Therefore, we need to know the amount of such resources and their origin. In accordance with sustainable development principles one should search for energy carriers more environmental friendly than the traditional coal, petroleum or natural gas. Now, it seems that the most environmental friendly energy carrier is hydrogen since its combustion gives water – inert substance present everywhere in the natural environment. Electrically powered cars are really the future of transportation but electric energy will be obtained from cells fuelled with hydrogen. Methanol or ethanol might be the sources of hydrogen. Another possible source is metal hydrides in which hydrogen atoms are packed more tightly than in liquid hydrogen and hydrides themselves are safe and easy in handling. Other possibilities are offered by the so-called hybrid cars. It seems that the near future will bring definite breakthrough in car constructions which will take place sooner than innovations in stationary methods of energy acquisition.

Recenzenci:

prof. dr hab. Jan Gliński

dr hab. Lech Kufel – prof. AP

Praca wpłynęła do Redakcji 23.11.2007 r.