

P O L S K A A K A D E M I A N A U K
INSTYTUT MASZYN PRZEPLYWOWYCH

PRACE
INSTYTUTU MASZYN
PRZEPLYWOWYCH

TRANSACTIONS
OF THE INSTITUTE OF FLUID-FLOW MACHINERY

78

WARSZAWA-POZNAŃ 1980

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE

PRACE INSTYTUTU MASZYN PRZEPLYWOWYCH

poświęcone są publikacjom naukowym z zakresu teorii i badań doświadczalnych w dziedzinie mechaniki i termodynamiki przepływów, ze szczególnym uwzględnieniem problematyki maszyn przepływowych

*

THE TRANSACTIONS OF THE INSTITUTE OF FLUID-FLOW
MACHINERY

exist for the publication of theoretical and experimental investigations of all aspects of the mechanics and thermodynamics of fluid-flow with special reference to fluid-flow machinery

RADA REDAKCYJNA—EDITORIAL BOARD

TADEUSZ GERLACH · HENRYK JARZYNA · JERZY KRZYŻANOWSKI
STEFAN PERYCZ · WOJCIECH PIETRASZKIEWICZ · ROMUALD PUZYREWSKI
KAZIMIERZ STELLER (PRZEWODNICZĄCY · CHAIRMAN) · ROBERT SZEWAŁSKI
JÓZEF ŚMIGIELSKI

KOMITET REDAKCYJNY—EXECUTIVE EDITORS

KAZIMIERZ STELLER — REDAKTOR — EDITOR
WOJCIECH PIETRASZKIEWICZ · ZENON ZAKRZEWSKI
ANDRZEJ ŻABICKI

REDAKCJA—EDITORIAL OFFICE

Instytut Maszyn Przepływowych PAN
ul. Gen. Józefa Fiszerza 14, 80-952 Gdańsk, skr. pocztowa 621, tel. 41-12-71

Copyright
by Państwowe Wydawnictwo Naukowe
Warszawa 1980

Printed in Poland

ISBN 83-01-02543-3
ISSN 0079-3205

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE — ODDZIAŁ W POZNANIU

Nakład 330+90 egz. Ark. wyd. 8,75. Ark. druk. 7,125 Papier druk. sat. kl. V,
70 g. 70×100 cm. Oddano do składania 21 kwietnia 1980 r. Druk ukończono
w lipcu 1980 r. Zamówienie nr 231/9. T-10/317. Cena zł 30,—

DRUKARNIA UNIwersytetu IM. ADAMA MICKIEWICZA W POZNANIU

JERZY KRZYŻANOWSKI*

Gdańsk

Perspektywy rozwoju niekonwencjonalnych źródeł energii

1. Wstęp

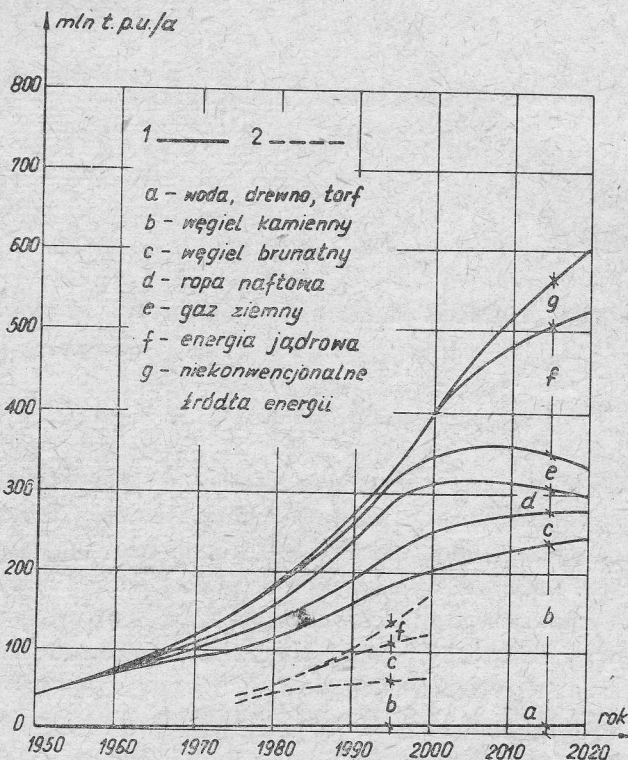
Perspektywa rozwoju niekonwencjonalnych źródeł energii jest ostatnio coraz szerzej dyskutowanym tematem, między innymi z tego powodu, że w tych nowych niekonwencjonalnych źródłach energii upatruje się jedno z możliwych rozwiązań pokonania bariery energetycznej rozwoju społeczeństw. Także w naszym kraju problem ten przyciąga coraz więcej uwagi. Nie sposób jednakże nie omawiać tego problemu na tle polskiego bilansu paliwowo-energetycznego i na tle wniosków wynikających z tego bilansu dla prac naukowo-badawczych i prac rozwojowych w dziedzinie energetyki na najbliższe dwie, trzy dziesiątki lat. Dopiero więc w drugiej części swego referatu zajmę się nieco bliżej sprawą klasyfikacji nowych źródeł energii oraz omówię niektóre z możliwości ich wdrożenia, w szczególności w zakresie fuzji i w zakresie energetyki słonecznej. Na koniec spróbuję sformułować wnioski na temat racjonalnego wyboru kierunków rozwoju niekonwencjonalnych źródeł energii w warunkach krajowych.

2. Polski bilans paliwowo-energetyczny

Bilans paliwowo-energetyczny Polski jest tematem kontrowersyjnym i dzisiaj, w okresie przygotowywania założeń do programu rządowego rozwoju energetyki, obszernie dyskutowanym. Nie budzi kontrowersji stwierdzenie, że bilans ten jest pochodną założeń o tempie rozwoju społeczeństwa i że to tempo w sposób decydujący określa. Budzą kontrowersje jednak konkretne liczby. Jedną z wersji tego bilansu, prezentowaną między innymi w ekspertyzie Komitetu Problemów Energetyki PAN [1], przedstawia rys. 1. Ekspertyza wskazuje na zapotrzebowanie na paliwa i energię pierwotną dla całej gospodarki, a nie tylko dla gospodarki elektroenergetycznej i ciepłownictwa zawodowego. Ale z punktu widzenia elektroenergetyki i ciepłownictwa istotne są wnioski, które z tego zestawienia wynikają. Sprowadzają się one m. in. do następujących uwag:

* Prof. nadzw. dr hab. inż., Instytut Maszyn Przepływowych PAN, Gdańsk.

1. Prognoza bilansu przewiduje do roku 2020 bardzo poważną rolę węgla kamiennego; z ogólnego zapotrzebowania gospodarki narodowej na to paliwo tylko około 30 % przewiduje się wykorzystywać dla potrzeb elektroenergetyki i ciepłownictwa zawodowego.



Rys. 1. Polski bilans paliwowo-energetyczny

1 - zapotrzebowanie na paliwo i energię pierwotną [1], 2 - jedna z koncepcji rozwoju energetyki i ciepłownictwa zawodowego [2]

2. Przewiduje się poważną — i stale rosnącą w elektroenergetyce i ciepłownictwie — rolę węgla brunatnego, którego wydobycie przeznaczają się w całości na potrzeby tej gałęzi gospodarki narodowej.

3. Zakłada się bardzo poważną i stale rosnącą od wczesnych lat osiemdziesiątych rolę energetyki jądrowej.

Istotne w tym zestawieniu jest to, że potrzeby społeczeństwa w zakresie zapotrzebowania na paliwo i energię pierwotną dają się zaspokoić do roku 2000 konwencjonalnymi i jądrowymi źródłami paliw i energii.

Dopiero po roku 2000 przewiduje się wprowadzenie pierwszych niekonwencjonalnych źródeł energii. Chodzi tu o takie źródła, które w tym czasie będą dojrzałe do wdrożenia w naszej praktyce energetycznej. Zespół autorów ekspertyzy KPE PAN miał tu na myśli przede wszystkim pewne typy energetyki słonecznej, a także wykorzystanie odpadów przemysłowych i komunalnych, w tym także biogaz, produkcję wodoru w urządzeniach drugiej i trzeciej generacji, zgazowanie węgla i fuzję termojądrową.

Mamy zatem przed sobą około dwóch dekad energetyki konwencjonalnej wraz z jądrową. Nie jest to jednak wiele biorąc pod uwagę stosunkowo długi okres potrzebny na uzyskanie wdrażalności nowych idei i nowych koncepcji, nowych urządzeń energetycznych. Okres ten ocenia się właśnie na 20 - 30 i więcej lat. Stąd więc już dziś racjonalnie się staje poszukiwanie nowych źródeł energii.

3. Najważniejsze trendy rozwojowe polskiej energetyki konwencjonalnej i jądrowej

Wracając do bilansu paliwowo-energetycznego warto zwrócić uwagę na realizowaną aktualnie koncepcję rozwoju elektroenergetyki i ciepłownictwa zawodowego. Na rys. 1 przedstawiono ją za źródłem [2]. Z danych tych i z porównania ich z prognozą KPE PAN wynika szereg wniosków. Nad kilkoma z nich się tylko zatrzymam:

W obu tych propozycjach, jak widać, występuje niezła zgodność co do oceny roli energetyki jądrowej do roku 2000.

Zarysowują się natomiast różnice co do roli paliw kopalnych – węgla kamiennego i brunatnego:

- aktualnie realizowany program rozwoju elektroenergetyki przewiduje bardzo wyraźną rolę węgla brunatnego i większe zużycie tego paliwa, niż proponuje to koncepcja ekspertyzy KPE PAN;
- przewiduje stabilizację energetyki opartej na węglu kamiennym jako paliwie;
- wreszcie program ten przewiduje znacznie wolniejsze tempo przyrostu mocy instalowanej w systemie niż zakłada to ekspertyza KPE PAN.

WARIANT	mk	1975	1980	1985	1990	2000
„staby”	MW	20057	27350	37250	52940	94500
„mocny”	MW	20057	30000	42000	58000	104000

Niektóre dane na temat nowych uruchomień (wariant „staby”)

	1981 – 1985	1986 – 1990
	2 x 200 = 400	
	19 x 360 = 6840	16 x 360 = 5760
		7 x 600 = 4200
	1 x 440 = 440	2 x 1000 = 2000* (1 x 1000 w 1991r.)*
Elektrownie kondensacyjne	7680	11960
Elektrociepłownie	~ 1000	~ 2000
Elektrownie wodne	680	1100
Elektrownie przemysłowe	550	650
OGÓŁEM	9910MW	15710MW

Rys. 2. Polska – Moc zainstalowana w systemie energetyki zawodowej i przemysłowej „staby” według [2], „mocny” według [1].

Do roli węgla brunatnego i konsekwencji z tego wynikających dla rozwoju energetyki i dla programu prac badawczych w tej dziedzinie za chwilę wróce. Teraz chciałbym skupić uwagę na programie wzrostu mocy zainstalowanej polskiego systemu elektroenergetycznego w wariantcie aktualnie realizowanym (będę go dalej nazywał „słabym”) i w wariantcie proponowanym w ekspertyzie KPE PAN (wariant „mocny”) rys. 2. Istotna jest znaczna różnica między „słabym” i „mocnym” wariantem w ocenie mocy systemu w roku 2000. Wynosi ona ok. 10% mocy zainstalowanej. Odpowiada to ok. 10 000 MW, tj. około 1/3 aktualnie zainstalowanej mocy naszego systemu. Nie wchodząc w polemikę na temat trafności „słabego” i „mocnego” wariantu cytuję tu te liczby po to, by zilustrować przytoczoną wyżej uwagę o kontrowersyjności liczb związanych z planowanym rozwojem elektroenergetyki i ciepłownictwa zawodowego.

Istotniejsze niż liczby dotyczące planowanej mocy instalowanej systemu są koncepcje realizacji aktualnego programu rozwoju energetyki. Koncepcje te mają bowiem kluczowe znaczenie dla programu prac naukowo-badawczych, których ta realizacja będzie wymagać. Koncepcje te budzą zresztą uwagi polemiczne. Warto więc powiedzieć, że istotnymi elementami realizowanego aktualnie programu rozwoju energetyki jest

– oparcie rozwoju systemu w okresie co najmniej najbliższych dwu pięcioletek na turbozespołach 200, 360, 600 MW w wersji konwencjonalnej oraz 440, 500 MW (1000 MW) w wersji jądrowej;

– bardzo ostrożny charakter tego programu oparty na urządzeniach o częściowo sprawdzonej niezawodności (200, 360, 440 MW);

– oparcie rozwoju energetyki w poważnym stopniu na węglu brunatnym.

Nie wchodząc tu w trafność prognozy rozwoju kopalnictwa węgla brunatnego trzeba powiedzieć, że decyzja ta może w istotny sposób ograniczyć maksymalną moc jednostkową instalowanych bloków, przerzucając problem mocy granicznej z turbin na kotły. Moc graniczna bloków na węgiel brunatny zależy m. in. od jakości tego węgla. Coraz częściej wśród energetyków wymienia się moce graniczne rzędu 750 - 800 MW dla tych bloków i polskich

Lp.	Typ turbiny Moc jedn. MW	Rok												
		77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87		
1	K 360	■												
2	K 750				■									
3	K 1200												■	
4	K 500 jąd.					■								
5	K 1000 jąd.							■						

Rys. 3. Program uruchamiania prototypów turbin kondensacyjnych ZAMECH; fragment oferty przemysłu turbinowego z lat 1976/1977 [4]

warunków. Trzeba powiedzieć, że jeszcze całkiem niedawno (1976) bez wahania przewidywano tu moce 1000 MW (a dla energetyki na węglu kamiennym 1200 MW) [3]. Wątpliwości budzi opłacalność, a nawet realność, opierania rozwoju energetyki na blokach o tak małych mocach w perspektywie 1990 r. (58 000 MW mocy instalowanej w systemie), a tym bardziej w perspektywie roku 2000 (104 000 MW).

Trzeba też powiedzieć, że ten ostrożny program stoi w jawnej sprzeczności z ofertą przemysłu, w szczególności z ofertą przemysłu turbinowego. Na rysunku 3 przedstawiłem fragment oferty programu nowych uruchomień ZAMECHu zgłoszonej przez wytwórnię w latach 1976/77, kiedy przygotowywaliśmy wstępne materiały do ekspertyzy KPE PAN [4]. Wtedy, w zakresie turbin kondensacyjnych, ZAMECH proponował wprowadzenie prototypu turbiny 360 MW na przełomie lat 1977/78 (stało się to istotnie w marcu 1978 r.), turbiny 750 MW w okresie 1980/81, turbiny 1200 MW, w rozwiązaniu konwencjonalnym, na przełomie 1986/87, turbiny jądrowej 500 MW w okresie 1981/82 i turbiny jądrowej 1000 MW w okresie 1983/84. Dzisiaj oferta ta jest nadal aktualna. W opracowaniu [5] przedstawiono ją w nader dojrzałej formie, choć oczywiście oferowane terminy uruchomień prototypów musiały ulec przesunięciu. Warto na tym tle poważnie przeanalizować bardziej ambitną wersję programu rozwoju elektroenergetyki i ciepłownictwa. Dobrą okazję stwarza ku temu przewidywane uruchomienie programu rządowego rozwoju energetyki.

Na tle przedstawionych tu prognoz programu realizacji rozwoju energetyki i uwag polemicznych trzeba stwierdzić, że:

1. Niekonwencjonalne źródła energii pojawiają się na horyzoncie naszej energetyki od około roku 2000.
2. W roku 2020 ocenia się ich udział w ogólnym bilansie paliwowo-energetycznym na 15%.
3. Planowany rozwój energetyki na najbliższe 2 dekady XX wieku wymagać będzie – rozwinięcia prac naukowo-badawczych przygotowujących wdrożenie wybranych dla warunków krajowych niekonwencjonalnych źródeł energii,

1. *Wzrost mocy jednostkowej urządzeń (z uwzględnieniem ograniczeń)*
 2. *Realizacja większych (uzasadnionych ekonomicznie) sprawności urządzeń*
 3. *Wzrost niezawodności*
 4. *Ochrona środowiska*
 5. *Poszukiwania energo-oszczędnych technologii, oszczędności paliw i energii, w tym m. in.:*
 - *wdrożenie różnych obiegów i systemów gospodarki skojarzonej ciepłno-energetycznej*
 - *zgazowanie węgla z obiegami TG, TG+TP, MHD*
 6. *Rozwój energetyki jądrowej (bez fuzji)*
 - *wdrażanie reaktorów na neutrony termiczne*
 - *rozwój reaktorów termicznych wysokotemperaturowych*
 - *rozwój reaktorów powielających*

Rys. 4. Najważniejsze zadania rozwojowe krajowej energetyki konwencjonalnej i jądrowej na okres 2 ostatnich dekad XX wieku

– nasilenie integracji wysiłków środowisk produkcyjnych, naukowo-badawczych i użytkowników dla rozwiązania najważniejszych zadań rozwojowych energetyki konwencjonalnej i jądrowej.

Na rysunku 4 przedstawiono zestawienie najważniejszych z tych zadań. Obejmują one

prace związane ze wzrostem mocy jednostkowej urządzeń z uwzględnieniem ograniczeń uzasadnionych naszą ekonomiką i standardem naszych możliwości technicznych, realizację większych, również ekonomicznie uzasadnionych sprawności urządzeń, prace w zakresie wzrostu niezawodności, ochrony środowiska i w szczególności, poszukiwania energo-oszczędnych technologii i metod oszczędności paliw i energii. Bardzo poważnym zadaniem będzie też wdrożenie w tym okresie energetyki jądrowej opartej na reaktorach termicznych i uważne śledzenie rozwoju nowych generacji technologii jądrowych.

O najważniejszych kierunkach badań związanych z wdrażaniem niekonwencjonalnych źródeł energii wspomnę w dalszej części referatu. Tutaj pragnąłbym jeszcze wskazać na te najpilniejsze kierunki prac badawczych najbliższych 5 - 10 lat, które związane są z rozwojem maszyn i urządzeń energetyki konwencjonalnej, w tym w szczególności podstawowych elementów bloków, kotłów i turbin. Zarys tematyki tych prac badawczych przedstawiono na rysunku 5.

1. *Opracowanie trafniejszych metod projektowania maszyn i urządzeń*
Cel: wzrost sprawności i niezawodności nowych rozwiązań
2. *Program niezbędnych badań podstawowych wybranych zjawisk determinujących rozwój maszyn i urządzeń energetycznych*
Cel: obsługa potrzeb tematu 1
3. *Opracowanie metod obliczania urządzeń w zmienionych warunkach*
Cel: adaptacja postlicencyjnych i własnych zunifikowanych rozwiązań do nowych war. pracy
4. *Opracowanie metod skomputeryzowanego projektowania*
Cel: wzrost operatywności biura + podstawa do zadań tematu 5
5. *Opracowanie metod kompleksowej optymalizacji techniczno-ekonomicznej urządzeń i układów*
Cel: trafniejszy wybór najlepszego rozwiązania

Rys. 5. Zarys najważniejszych kierunków prac badawczych na okres najbliższych 5 i 10 lat, niezbędnych dla realizacji programu rozwoju maszyn i urządzeń energetyki konwencjonalnej (1976 - 1985)

Trzeba z naciskiem podkreślić, że zarówno ten zarys tematyki prac badawczych o krótkim horyzoncie wdrożenia jak i najważniejsze zadania rozwojowe krajowej energetyki na okres najbliższych trzech dekad niosą poważny ładunek ambitnych badań podstawowych. Ważnym zadaniem jest i będzie znalezienie stosownych proporcji i harmonijnego powiązania badań o bliższym i dalszym horyzoncie wdrożenia i właściwego nakierowania badań podstawowych na bliższe i dalsze potrzeby gospodarki paliwowo-energetycznej.

Część z tych zadań jest już realizowana przez placówki naukowo-badawcze skupione wokół zadań problemu międzyresortowego MR. I. 26: „Podstawy projektowania maszyn i urządzeń energetycznych”. Istotny walor wdrożeniowy tym pracom nadają m. in. stosunki rzeczywistego partnerstwa z elbląskim ZAMECHEm. Przygotowywany program rządowy rozwoju energetyki powinien przyczynić się do dalszej integracji nauki wokół ustabilizowanej programem tematyki badawczej.

4. Klasyfikacja i rola niekonwencjonalnych źródeł energii

Na rysunku 6 zestawiono najważniejsze technologie, które najczęściej zalicza się do niekonwencjonalnych źródeł energii.

W poprzednich punktach przedstawiono prognozę udziału niekonwencjonalnych źródeł energii w polskim bilansie paliwowo-energetycznym. Trzeba tu powiedzieć, że jest to najmniej pewny element tej prognozy. Co więcej, perspektywy wdrożeń niekonwencjonalnych zadań energii oceniane są bardzo różnorodnie.

<p><u>Fuzja termojądrowa</u> <i>kompresja magnetyczna</i> <i>kompresja inercyjna</i> <i>kompresja kombinowana (m.in.: wybuchowo-laserowa)</i></p>
<p><u>Energia słoneczna</u> <i>przemiana bezpośrednia</i> - ogrzewnictwo - konwersja termiczno-elektryczna - fotoogniwa - ogniwa termioniczne <i>przemiana pośrednia</i> - energia wiatrów - energia falowania i przepływów - energia temperaturowego gradientu oceanu - fotosynteza</p>
<p><u>Nowe paliwa</u> - odpady przemysłowe, komunalne - biogaz - wódr</p>
<p><u>Problemy akumulacji energii</u></p>
<p><u>Energia geotermiczna</u></p>

Rys. 6. Niekonwencjonalne źródła energii — klasyfikacja

Przeciwnicy stoją na stanowisku, że rozwój energetyki jądrowej, w tym w szczególności reaktorów wysokotemperaturowych i reaktorów powielających pozwoli przeczekać okres przejściowy do czasu wdrożenia fuzji. Po wdrożeniu fuzji społeczeństwa będą dysponowały dostatkiem energii i prace nad nowymi źródłami energii nie są w związku z tym uzasadnione.

Zwolennicy badań nad nowymi źródłami energii są zdania, że perspektywy rozwoju energetyki jądrowej nie są jasne — rozwój reaktorów powielających jest powolniejszy niż przypuszczano, sprawa odpadów reaktorowych, dotychczas nierozwiązana, budzi uzasadnione obawy społeczeństw, rozwój fuzji termojądrowej dotychczas niepewny, nawet w zakresie fizykalnego uzasadnienia realności tzw. „break even” — stąd wynika, ich zdaniem, pilna konieczność poszukiwania zastępczych, niekonwencjonalnych źródeł energii.

Tak czy inaczej, faktem jest rosnące na świecie zainteresowanie tą problematyką. Przykładem niech będzie budżet ERDA, byłego urzędu do spraw rozwoju energetyki w Stanach Zjednoczonych, za okres 1975/77 [6] (rys. 7). Wydatki wyrażone tu w tysiącach dolarów USA

koncentrują się przede wszystkim wokół problemu fuzji termojądrowej. W 1977 r. wydano na ten cel w Stanach Zjednoczonych 416 milionów dolarów, zwiększając te wydatki w okresie 1975 - 1977 prawie trzykrotnie. Drugą w kolejności pozycją w tym budżecie są wydatki na energię słoneczną. Środki podzielono tu prawie równo na problematykę dotyczącą ogrzewnictwa i problematykę dotyczącą produkcji energii elektrycznej. Warto to tu podkreślić,

	1975	1976	1977
ENERGIA SŁONECZNA	<u>40 800</u>	<u>110 000</u>	<u>260 000</u>
<i>Zastosowania ciepłe</i>	13 300	46 100	104 100
<i>ogrzewanie i chłodzenie</i>	11 700	41 400	96 300
<i>ciepło technologiczne</i>	1 600	4 000	7 800
<i>Produkcja en. elektrycznej</i>	27 000	57 700	144 700
<i>przez kondensję termiczną</i>	14 600	15 800	51 300
<i>ogniwa fotooptyczne</i>	5 100	21 600	59 400
<i>energia wiatru</i>	5 300	14 400	20 500
<i>gradienty temperaturowe</i>	2 000	6 100	13 500
<i>oceanu</i>			
<i>Biomasa</i>	600	5 100	9 700
ENERGIA GEOTERMICZNA	<u>25 000</u>	<u>31 000</u>	<u>55 000</u>
FUZJA TERMOJĄDROWA	<u>441 600</u>	<u>248 000</u>	<u>416 000</u>
<i>Kompresja magnetyczna</i>	98 000	166 000	304 000
<i>Kompresja inercyjna</i>	43 600	80 000	112 000
RAZEM	<u>247 800</u>	<u>444 700</u>	<u>876 700</u>

Rys. 7. Budżet E. R. D. A. (USA) na niekonwencjonalne źródła energii (w tys. dolarów USA) [6]

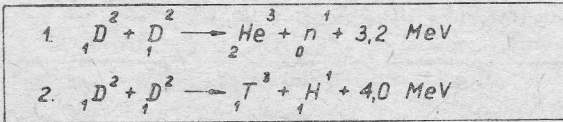
bo w USA w tym okresie, kiedy zestawienie to było przygotowywane i publikowane na X Światowej Konferencji Energetycznej, problematyka zastosowania energii słonecznej do celów grzewczych traktowana była właściwie już jako zagadnienie rozwiązane w skali technicznej. Stąd i skromniejsze środki przeznaczają agencje rządowe na tę najbardziej dojrzałą formę niekonwencjonalnej techniki energetycznej.

5. Fuzja termojądrowa

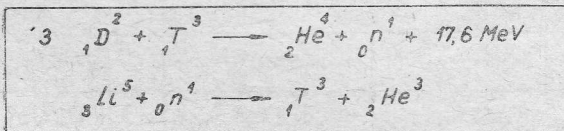
Fuzja termojądrowa określana jest dzisiaj jako nadzieja ludzkości na pokonanie bariery energetycznej rozwoju społeczeństw.

Istota koncepcji fuzji termojądrowej polega na tym, że energia wiązań produktów reakcji termojądrowej syntezy jest mniejsza niż energia wiązań paliw jądrowych potrzebnych do tej reakcji. Istnieje cały szereg różnych możliwości i różnych koncepcji tego rodzaju reakcji — rys. 8 (patrz m. in. [7]). Najchętniej jest cytowana reakcja typu deuter-deuter, jednak jej mały przekrój czynny dla współczesnych technologii czyni bardziej atrakcyjną reakcję deuter-tryt. Istotną wadą tego systemu reakcji jest występowanie w nim trytu, sztucznego, radioaktywnego elementu i litu pociągającego za sobą konieczność realizacji skomplikowanych technologii w osłonie.

Fascynacja fuzją termojądrową jako nadzieją ludzkości opiera się m. in. na liczbach przytoczonych na rys. 8. Zapasy energii termojądrowej na Ziemi zgromadzone w deuterze odpowiadają pokryciu zapotrzebowania ludzkości na energię na wiele miliardów lat. Cała ta



Mały przekrój czynny tych reakcji dla współczesnych technologii. Bardziej obiecujący jest system reakcji:



Istotną wadą tego systemu reakcji jest występowanie w nim trytu, sztucznego, radioaktywnego elementu i litu pociągającego za sobą, skomplikowaną technologią w osłonie

Zapasy energii termojądrowej na Ziemi zgromadzone w deuterze

1 kg deuteru/30 000 kg wody, stąd około 10^{13} ton deuteru na ziemi.

ŹRÓDŁO ENERGII : 10^{31} J

(Pokrycie zapotrzebowania ludzkości na energię na wiele miliardów lat.)

Kryterium Lawsona odzysku energii

$$n\tau \geq 10^{14}$$

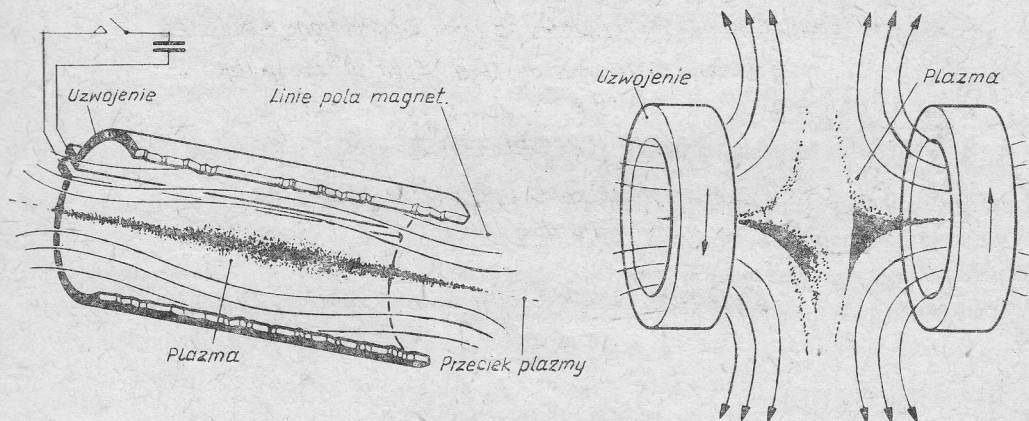
Rys. 8. Podstawy fuzji termojądrowej

fascynująca wizja energetyki termojądrowej trafia jednak na bardzo poważne trudności. Przeprowadzenie reakcji termojądrowych wymaga temperatur plazmy wysokości 100 milionów K, odpowiednich gęstości (n) plazmy i czasu (τ) przebywania plazmy w tym stanie zgęszczenia. Osiągnięcie tych parametrów, które gwarantowałyby stan równowagi między energią poświęconą na kompresję i nagrzanie plazmy a energią uzyskiwaną z reakcji termojądrowej („break even”) określa kryterium Lawsona. Entuzjaści energetyki termojądrowej czerpią nadzieje z szybkich kroków, jakimi nauka zbliża się do realizacji tego kryterium, m. in. z jednej z wielu możliwych koncepcji technicznych reaktora termojądrowego (Tokamak, rys. 9 [8]).

Różne są koncepcje konfiguracji geometrycznych, w których może być realizowana reakcja termojądrowa w zamknięciu magnetycznym. Na rys. 10 przedstawiono za [9] dwie konfiguracje liniowe. Najpopularniejszym, najbardziej rozwiniętym aktualnie rozwiązaniem jest zamknięcie magnetyczne o zamkniętej, toroidalnej linii plazmy. Nosi ono popularną nazwę Tokamak (rys. 11 [10]).

ROK	CZAS sek	TEMPERATURA Kelvin	nT $cm^{-3} \text{ sek}$
1955	10^{-6}	10^5	10^9
1960	10^{-4}	10^6	10^{10}
1965	2×10^{-3}	10^6	10^{11}
1970	10^{-2}	5×10^6	5×10^{11}
1976	5×10^{-2}	2×10^7	10^{13}
POTRZEBNE DLA REAKCJI	10^0	10^8	10^{14}

Rys. 9. Parametry plazm w toroidalnych zamknięciach magnetycznych (Tokamak), [8]

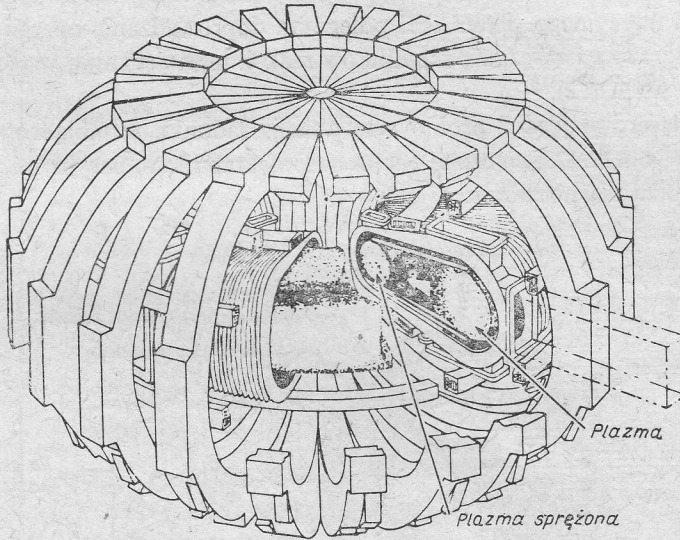


Rys. 10. Dwie koncepcje liniowych reaktorów termojądrowych [9]

Nie wchodząc w szczegóły konstrukcyjne tego urządzenia, chciałbym się raczej zatrzymać na przeglądzie najważniejszych problemów, które jego realizacja nastęrcza (rys. 12).

Chodzi tu zatem, po pierwsze, o uzasadnienie fizykalnych możliwości przeprowadzenia reakcji termojądrowej w konfiguracji Tokamak i uzyskania właściwych, potrzebnych dla tego celu parametrów plazmy. Po drugie, chodzi o osiągnięcie stosownej skali liniowej urządzeń, w tym także rozwiązanie sprawy magnesów nadprzewodzących. Poza tym chodzi o rozwiązanie problemu pierwszej ściany zamknięcia, która pracuje w bardzo silnym polu neutronowym, przy bardzo silnym strumieniu energii ocenianym na 5 MW/m^2 . To silne

pole neutronowe powoduje bardzo poważne konsekwencje materiałowe: utratę właściwości wytrzymałościowych materiału pierwszej ściany zamknięcia, przenikanie produktów syntezy poprzez ścianę (m. in. także przenikanie produktów promieniotwórczych takich jak



Rys. 11. Koncepcja Tokamak – szkic konstrukcyjny [10]

NAJWAŻNIEJSZE PROBLEMY:

1. Osiągnięcie „break even” i przekroczenie kryterium Lawsona: $n\tau \geq 10^{14}$
2. Osiągnięcie stosownej skali liniowej urządzeń, w tym magnesów nadprzewodzących
3. Rozwiązanie problemu pierwszej ściany zamknięcia (silne pole neutronowe, silny strumień energii $5\text{MW}/\text{m}^2$)
4. Opanowanie niebezpieczeństwa pożaru litu
5. Zabezpieczenie przed indukowaną, promieniotwórczością struktur konstrukcyjnych
6. Zabezpieczenie przed uwolnieniem radioaktywnego trytu
7. Opracowanie skuteczniejszych metod grzania plazmy
8. Opracowanie nowych koncepcji reaktorów, m.in. hybrydowych

Rys. 12. Fuzja termojądrowa (zamknięcie magnetyczne); najważniejsze problemy i perspektywy

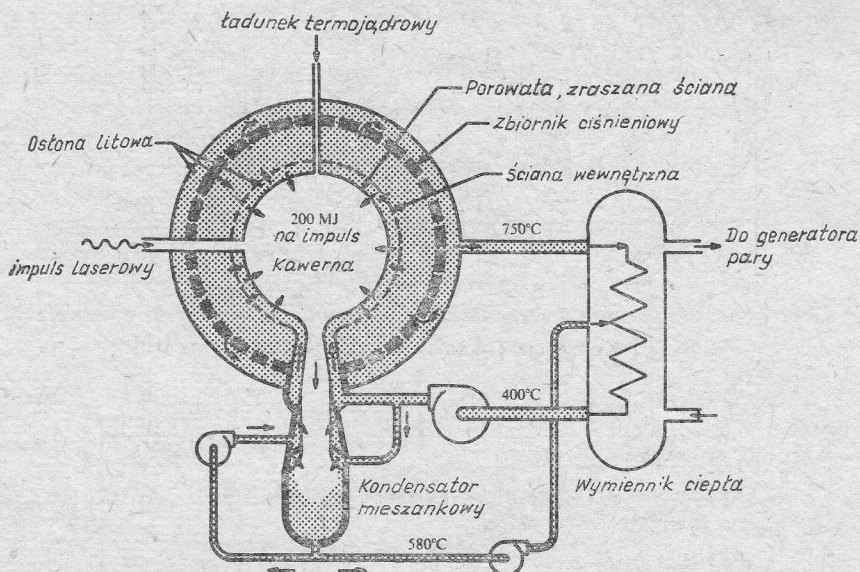
np. tryt) i powodowanie wtórnej, indukowanej promieniotwórczości struktur konstrukcyjnych. Jednym z istotnych problemów jest także opracowanie skuteczniejszych metod grzania plazmy i utrzymania właściwej gęstości plazmy.

Te właśnie trudne do opracowania zagadnienia determinują realność i terminy wdro-

żenia koncepcji Tokamak. W [8] ocenia się termin opracowania podstaw fizycznych na lata 1980 - 1985, termin uruchomienia reaktorów prototypowych na 1990, a termin osiągnięcia dojrzałości technicznej na 2010 - 2020.

Równoległe prowadzone są, z coraz większym rozmachem, prace związane z koncepcją tzw. zamknięcia inercyjnego. Istota idei polega na doprowadzaniu energii potrzebnej do stosownego podgrzania i sprężania składników reakcji termojądrowej w procesach impulsowych. Stosuje się tu [12]:

- impulsy laserowe (ew. z profilowaną ablacją ładunku termojądrowego),
- impulsy wybuchowe połączone z falowymi efektami kumulacyjnymi,
- oba te środki równocześnie.



Rys. 13. Impulsowy, laserowy reaktor termojądrowy – szkic koncepcyjny [10]

Jedną z koncepcji takiego rozwiązania pokazano na rysunku 13 [10]. Ładunek termojądrowy detonowany jest tu periodycznie wewnątrz kulistej kawerny nanosekundowym impulsem laserowym mocy rzędu 10 kJ. Energia wyzwalana podczas wybuchu absorbowana jest w wielowarstwowej osłonie litowej. Periodycznie odparowywana warstwa ciekłego litu z wewnętrznej ściany porowatej chroni konstrukcję przed stopieniem w impulsach temperaturowych. Wewnątrz osłony wypełnionej ciekłym litem odbywają się reakcje termojądrowe, służące do produkcji trytu potrzebnego do wytwarzania paliwa jądrowego; lit służy także jako czynnik nośny, oddając energię w wymienniku do obiegu wtórnego i następnie skraplany jest w strumieniowym kondensatorze mieszalnikowym na dole tego urządzenia i pompowany z powrotem do reaktora.

Obok tej znanych jest szereg innych koncepcji impulsowej techniki fuzji [7, 8, 9, 10, 12]. Oparte one są tak na koncepcji impulsu laserowego, jak i na łączeniu efektów laserowych i wybuchowych. Ostatnio wiele zainteresowania i nadziei wywołała polska koncepcja S. Kaliskiego, fuzji inicjowanej wybuchem konwencjonalnego trytolu z falowymi efektami

kumulacyjnymi [13]. Ta tania technologia ma szczególne znaczenie dla rozwoju energetyki termojądrowej w uboższych krajach.

Nie wchodząc w dalsze szczegóły tych koncepcji warto może raczej podsumować najważniejsze problemy i trudności (rys. 14).

<u>NAJWAŻNIEJSZE PROBLEMY:</u>	
1.	Osiągnięcie i przekroczenie „break even”
2.	Rozwiązanie problemu pierwszej ściany (efekty wybuchowe, promieniowanie neutronowe, produkcja trytu)
3.	Niestabilność i niesymetria implozji
4.	Zbyt małe moce laserów
5.	Trudności w produkcji ładunków D-T
6.	Poszukiwanie nowych koncepcji – m.in. polska koncepcja fuzji wybuchowej
<u>OCENA GLOBALNYCH KOSZTÓW WDROŻENIA FUZZI</u>	
(łącznie dla technologii zamknięcia magnetycznego i zamknięcia inercyjnego):	
USA - ocena kosztu B+R :	$15 + 20 \cdot 10^9$ \$ USA, [8]
- wydatki roczne (1977):	$400 \cdot 10^6$ \$ USA, [6]
RFN - wydatki roczne (1977):	$40 \cdot 10^6$ \$ USA, [11]

Rys. 14. Fuzja termojądrowa (zamknięcie inercyjne); najważniejsze problemy. Ocena globalnych kosztów wdrożenia fuzji

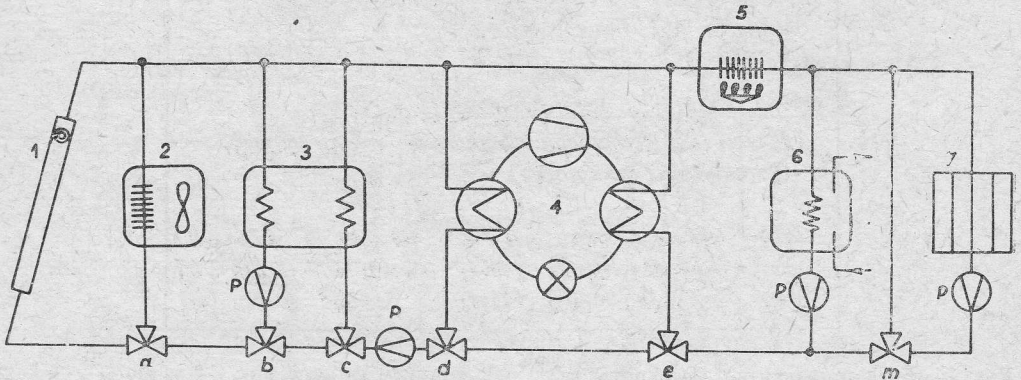
Należą do nich, jak i w przypadku zamknięcia magnetycznego, osiągnięcie i przekroczenie kryterium Lawsona; rozwiązanie problemu pierwszej ściany – tu dodatkowo trudności stwarzają impulsowy, periodyczny charakter konwersji energii. Bardzo poważnym i dotychczas nie w pełni opanowanym problemem jest niestabilność i niesymetria implozji, zbyt małe moce laserów, a także trudności w produkcji ładunków deuter-tryt. Intensywnie poszukiwane są nowe koncepcje. Polska koncepcja fuzji wybuchowej oparta na propozycji S. Kaliskiego fascynuje swą prostotą i szansą ominięcia trudności z opanowaniem laserów impulsowych ekstremalnych mocy.

Na zakończenie uwag dotyczących fuzji termojądrowej warto zwrócić uwagę na gigantyczny wysiłek finansowy, jaki wiąże się z rozwojem tej techniki. Na rysunku 14 przytoczono za [6, 8 i 11] pewne dane. ERDA w USA oceniała (1977) koszt doprowadzenia koncepcji fuzji do stanu technicznej dojrzałości (lata 2010 - 2020) na 15 - 20 miliardów dolarów USA. Roczne wydatki na ten cel w USA wynosiły w 1977 r. 400 milionów dolarów, a w RFN 40 milionów dolarów. Na tym tle rysują się ograniczone możliwości polskiego wkładu w rozwój tej technologii.

6. Energia słoneczna

Wśród różnych możliwości wykorzystania energii słonecznej wskazywaliśmy w punkcie 4 na bezpośrednie i pośrednie metody jej przetwarzania. Tutaj chciałbym w kilku przynajmniej słowach zająć się sprawami ogrzewnictwa, konwersji termiczno-elektrycznej i sprawami fotoogniw, znowu w układzie: aktualny stan wiedzy, problemy do rozwiązania, przewidywane koszty i terminy wdrożeń.

Ogrzewnictwo oparte na wykorzystaniu energii słonecznej przeżywa na świecie w tej chwili tryumfalny rozkwit. W Australii, USA, Japonii, Danii, Szwajcarii, Szwecji, RFN prowadzone są obszerne prace rozwojowe i wdrożeniowe, które prowadzą do stosowania urządzeń ogrzewnictwa słonecznego, choć drogiej jeszcze, w konkretnym, codziennym życiu. Można powiedzieć, że w tych krajach, w szczególności w USA, ogrzewnictwo oparte na energetyce słonecznej przeszło w stadium produkcji przemysłowej. W samych tylko Stanach Zjednoczonych około 250 firm zajmuje się produkcją tych urządzeń na codzień



Rys. 15. Schemat obiegu grzewczego z kolektorem słonecznym [14]

1 – kolektor, 2 – nagrzewnica powietrza, 3 – akumulator energii, 4 – pompa ciepła, 5 – nagrzewnica wspomagająca, 6 – nagrzewnica gorącej wody użytkowej, 7 – nagrzewnica powierzchniowa. Elementy sterujące: a, b, c, d, e – trójdrożne zawory sterujące, m – trójdrożny zawór mieszalnikowy, p – pompa obiegowa

Zwróć przede wszystkim uwagę na ogólną koncepcję obiegu grzewczego (rys. 15) [14]. Obieg taki składa się zwykle z kolektora (1) i akumulatora energii słonecznej (2). Czasami używany jest do nagrzewania powietrza nawiewnego (2), częściej do zasilania nagrzewnic powierzchniowych (7); bywa połączony z pompą ciepłą (4), czasem także wspomagany jest wymiennikami na paliwa konwencjonalne, np. ciekłe (5, 6). Różne realne rozwiązania odbiegają bardziej lub mniej od tej najogólniejszej koncepcji obiegu grzewczego.

Najistotniejszym elementem obiegu jest tu oczywiście kolektor. Włożono najwięcej trudu i inwencji w jego rozwinięcie; jest on zresztą przedmiotem ciągłych udoskonaleń. Najróżnorodniejsze rozwiązania znalazły obszerne odbicie w literaturze fachowej i popularnej, np. [15].

Nie wchodząc w szczegóły rozwiązań technicznych zestawiono na rys. 16 najważniejsze problemy wymagające dalszych prac badawczych. Są to więc sprawy doskonalenia techniki kolektorowej, są to też sprawy rozwinięcia metod akumulacji energii, aktualnie zresztą dla wszystkich typów technologii opartej na energii słonecznej. Istotnym problemem jest brak statystyki meteorologicznej w wielu krajach, pozwalającej rzetelnie ocenić techniczno-ekonomiczne przesłanki wdrożenia urządzeń grzejnictwa słonecznego.

NAJWAŻNIEJSZE PROBLEMY:

1. Doskonalenie techniki kolektorowej
2. Rozwinięcie metod akumulacji energii
3. Brak statystyki meteorologicznej (w wielu krajach)

KOSZTY I PERSPEKTYWY:

Aktualnie koszt w USA ~ 500 \$ USA / 4 m² kolektora, [6]
 (docelowo w dziesięcioleciu: ~ 150 \$ USA / 1 m² kolektora)

WDROŻENIA TECHNICZNE DOJRZAŁYCH ROZWIĄZAŃ W TOKU

Rys. 16. Energia słoneczna (ogrzewanie, chłodzenie); najważniejsze problemy, koszty i perspektywy

NAJWAŻNIEJSZE PROBLEMY:

1. Stosunkowo niska sprawność obiegu: 15-20%
2. Znaczna powierzchnia na jednostkę mocy (100 MW / 1 km²)
3. Niemożność wykorzystania światła rozproszonego
4. Konieczność sterowania lustrami kolektora
5. Konieczność opanowania akumulacji energii
6. Niepewna ocena kosztów inwestycyjnych (4000-5000 \$ USA / kWh)
7. Niski stopień włączenia urządzeń (20-35%)
8. Braki statystyki meteorologicznej (w wielu krajach)

KOSZTY I PERSPEKTYWY:

Koszt systemu centralnego odbioru (szacowania USA): 1000-3500 \$ USA / kWh
 Koszt systemu rozproszonych kolektorów : 2000-5000 \$ USA / kWh
 Przewidywania E.R.D.A. : docelowo dla 100 MW: 1500 \$ / kWh

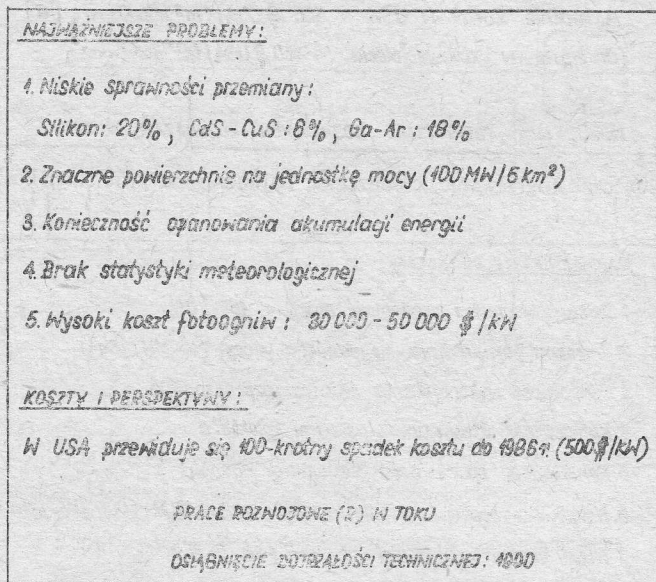
WDROŻENIA W TOKU W WIELU KRAJACH
 (FRANCJA, USA, MEXYK, JAPONIA, RFN, TURCJA, INDIE)

Rys. 17. Energia słoneczna (konwersja termiczna); najważniejsze problemy, koszty, perspektywy

Koszty jednostkowe ocenia się aktualnie (1977) w USA na 500 dolarów USA na 1 m² kolektora, z perspektywą obniżki tych kosztów do 150 dolarów w dziesięciolecie. Koszt całej instalacji w domku jednorodzinnym waha się w granicach 1500 do 10 000 dolarów. Ilość działających w USA urządzeń grzewczych i chłodniczych ocenia się aktualnie na 1600 jednostek [6, 7].

W odróżnieniu od słonecznych systemów grzewczych (klimatyzacyjnych) konwersja energii słonecznej w energię elektryczną za pośrednictwem przemian termicznych prezentuje dzisiaj znacznie mniej obiecujące perspektywy. Mimo to, w wielu krajach prowadzone są liczne badania w tym kierunku. Mam tu na myśli m. in.: Francję [16], USA [6], Meksyk, Japonię [17], RFN [11], Turcję [18] i Indie [19].

Ograniczając się do zestawienia najważniejszych problemów tej formy konwersji energii słonecznej (rys. 17), warto zwrócić uwagę na stosunkowo niskie sprawności obiegów, oceniane na 15 - 20%, na stosunkowo znaczne zapotrzebowanie powierzchni na jednostkę mocy, oceniane na ok. 1 km²/100 MW, na niemożność wykorzystania światła rozproszonego, kosztowną konieczność sterowania lustrami kolektorów, konieczność



Rys. 18. Energia słoneczna (konwersja bezpośrednia); najważniejsze problemy, koszty, perspektywy

opanowania akumulacji energii, niepewną ocenę kosztów inwestycyjnych wahającą się według różnych źródeł między 1000 a 5000 dolarów USA na 1 kW mocy instalowanej, niski stopień włączenia urządzeń, no i jak poprzednio, na brak statystyki meteorologicznej. Mimo tych licznych trudności, wiele krajów prowadzi zaawansowane prace rozwojowe w tej dziedzinie w zakresie mocy od kilku kilowatów do (docelowo) 100 MW mocy elektrycznej. Jest dość charakterystyczne jednak, że np. RFN nastawia się w tej problematyce raczej na potrzeby krajów rozwijających się.

Spośród metod bezpośredniej przemiany energii słonecznej na elektryczną (ogniwa termioniczne, fotoogniwa) więcej uwagi poświęca się dziś fotoogniwom [6, 11, 17]. Choć

w technice lotów kosmicznych znalazła ona szerokie zastosowanie, w stacjonarnych urządzeniach wysoki koszt 1 kW mocy instalowanej budzi zniechęcenie. Inne trudności związane z rozwojem tej techniki zestawiono na rys. 18.

Na zakończenie tego rozdziału warto przypomnieć, że jeszcze niedawno koncepcja wykorzystania energii słonecznej przyjmowana była z niedowierzaniem. Dzisiaj nakłady na badania wahają się w szerokich granicach: Australia — 1,4 mln dolarów USA rocznie (1976), RFN — około 10 mln dolarów rocznie (1976), USA — około 260 mln dolarów rocznie (1977). I w Polsce problemy te budzą coraz więcej zainteresowania [1, 20].

7. Uwagi końcowe

W referacie przedstawiłem niektóre tylko aspekty wdrożeń niekonwencjonalnych źródeł energii na tle polskiego scenariusza rozwoju energetyki do roku 1990 i dalej do roku 2000, i programu prac badawczych, jaki realizacja tego scenariusza wymaga.

Przegląd ten byłby pełniejszy, gdyby rozważyć w nim problemy prac badawczych z wdrożenia techniki „półkonwencjonalnych” źródeł energii i technologii energetycznych jak:

- skojarzone obiegi energetyczne ze zgazowaniem i obiegiem parowym i inne,
- nowe obiegi energetyczne (m. in. na parametry ekstremalne),
- obiegi skojarzone z MHD, w tym obiegi ze zgazowaniem, a także takie niekonwencjonalne źródła energii jak:
 - wykorzystanie odpadów komunalnych i przemysłowych,
 - wykorzystanie ciepła odpadowego,
 - biogaz,
 - wodór,
 - akumulacja energii,
 - ogniwa termiczne,
 - wiatr,
 - geotermia.

Nie uczyniłem tego ze względu na szczupłe ramy tego referatu. Zbadanie jednak perspektyw wdrożenia tych źródeł w polskiej energetyce ma istotne znaczenie dla wyboru programu prac badawczych na przyszłość. W Instytucie podjęliśmy takie prace rozeznaniowe.

Jeśli mowa o wyborze kierunków prac badawczych w tej dziedzinie to sądzę, że należałoby tu kierować się następującymi kryteriami:

wytierać takie kierunki, które mają szanse wdrożenia w kraju — z tego powodu chodzi tu będzie zapewne nie o geotermię, falowanie morza, różnice temperatur oceanu, wiatr, ale raczej o energię słoneczną (wersja ogrzewnictwa), akumulację energii, biogaz w zastosowaniu do gospodarki wiejskiej, energię z odpadów, ciepło odpadowe (pompa ciepła);

wybrane kierunki rozwijać w kraju w kooperacji międzyinstytutowej czy międzyresortowej na zasadzie koncentracji środków i integracji zespołów;

koncentrować się na kierunkach, które można by nazwać polską specjalnością (np. fuzja w polskiej wersji Kaliskiego), lub w których badania podstawowe o charakterze

przyczynkowym pozwolą na śledzenie rozwoju technologii (np. fuzja w zamknięciu magnetycznym – Tokamak).

Istotna przy wyborze tych kierunków powinna być realność rozwoju w warunkach krajowych i skala polskich możliwości. Decydować jednak o wynikach będzie zaangażowanie, inicjatywa i pasja naukowa. Są to przymioty, które charakteryzowały Profesora Roberta Szewalskiego przez 50 lat Jego działalności naukowej. Kończąc mój referat tą uwagą chciałbym podkreślić, że właśnie te cechy – zaangażowanie, inicjatywa i pasja naukowa – w istotnym stopniu stymulowały i stymulują omawiane kierunki badań w tym kraju [21].

Literatura

- [1] *Zaopatrzenie gospodarki narodowej w surowce ze szczególnym uwzględnieniem metod optymalizacji gospodarki paliwowo-energetycznej oraz intensyfikacji krajowej bazy surowcowej*. Ekspertyza KPE-PAN, praca zbiorowa pod kierunkiem K. Kopeckiego, Warszawa, czerwiec 1978.
- [2] *Problemy rozwoju elektroenergetyki i ciepłownictwa w latach 1981 - 90 i kierunki do 2000 r.* Opracowanie Instytutu Energetyki, praca zbiorowa pod kierunkiem M. Jaczewskiego. Warszawa, styczeń 1978.
- [3] *Optymalne warunki perspektywicznego rozwoju elektroenergetyki i ciepłownictwa na tle kompleksowej koncepcji rozwoju gospodarki paliwowo-energetycznej kraju*. Opracowanie zbiorowe Instytutu Energetyki, Min. G. i En., P.I.G.P.–E., OBR – Gospodarki Paliwowo-Energetycznej, Zjednoczenie Energetyki, Warszawa, styczeń 1976.
- [4] *Prognozy rozwoju i prace badawcze w dziedzinie: termodynamika, kotły, turbiny*. Opracowanie Zespołu XVI KPE-PAN pod redakcją J. Krzyżanowskiego, wrzesień 1977.
- [5] W. Nadziakiewicz, *Powstanie i rozwój przemysłu turbinowego w Polsce – od turbiny przemysłowej do turbiny jądrowej*. Referat wygłoszony z okazji Jubileuszu 50-lecia pracy naukowej prof. R. Szewalskiego, Instytut Maszyn Przepływowych PAN, 1978. Prace IMP, z. 78, 1980.
- [6] D. A. Beattie i in., *Making „Unconventional” Energy Resources Conventional*. Materiały X Światowej Konferencji Energetycznej, referat 4. 8 - 4, Istanbul, wrzesień 1977.
- [7] T. Yarman, *Unconventional Energy Resources, Studies of Development*. Materiały X Światowej Konferencji Energetycznej, raport generalny Sekcji 4, Istanbul, wrzesień 1977.
- [8] J. A. Phillips, *Recent Developments in Nuclear Fusion*. Materiały X Światowej Konferencji Energetycznej, referat 4.1 - 1, Istanbul, wrzesień 1977.
- [9] K. V. Roberts, *Fusion Power, Aspects of Energy Conversion*. Wyd.: I. M. Blair, B. D. Jones, A. J. v. Horn, Pergamon Press, 1976.
- [10] A. L. Hammond, W. D. Metz, T. H. Maugh, *Energy and the Future*. A.A.A.S., Washington D.C., 1973.
- [11] W. J. Schmidt-Küster, H. F. Wagner, *New Energy Technologies*. Materiały X Światowej Konferencji Energetycznej, referat 4.8. - 5, Istanbul, wrzesień 1977.
- [12] S. Kaliski, *Lasery, synteza jądrowa*. Biblioteka Wiedzy Współczesnej, tom 284, Wiedza Powszechna, Warszawa 1975.
- [13] S. Kaliski, *Siłownia termojądrowa oparta na mikrowybuchowej inicjacji D-T*. Biuletyn WAT, nr 9, wrzesień 1977.
- [14] *Versuchshaus zur optimalen Nutzung von Solar – und Umweltwärme*. Brennstoff, Wärme, Kraft, nr 8, sierpień 1977.
- [15] R. Stepler, *Solar Heating Equipment*. Popular Science, nr 8, sierpień 1977.
- [16] M. Clemot i in., *Solar Power Plants: French Realisation and Projects*. Materiały X Światowej Konferencji Energetycznej, referat 4.2 - 4, Istanbul, wrzesień 1977.

- [17] H. Kobayashi, *Technical Development of Solar Energy Utilization in Japan*. Materiały X Światowej Konferencji Energetycznej, referat 4.2. - 5, Istanbul, wrzesień 1977.
- [18] M. O. Ultanir, M. Çetinçelik, *How New Energy Sources Will Substitute the Present Fuels in Turkey and Such Developing Countries*. Materiały X Światowej Konferencji Energetycznej, referat 4.8 - 3, Istanbul, wrzesień 1977.
- [19] C. L. Gupta i in., *Energy from Unconventional Sources in Tropical Developing Countries*. Materiały X Światowej Konferencji Energetycznej, referat 4.8 - 3, Istanbul, wrzesień 1977.
- [20] K. Kopecki, *Perspektywy wykorzystania energii słonecznej w Polsce*. Opracowanie KPE-PAN, październik 1976.
- [21] R. Szewalski, *Aktualne problemy rozwoju techniki energetycznej; podwyższanie mocy jednostkowej i sprawności turbin oraz bloków energetycznych*. Ossolineum, 1978.