

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 Fiszer 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

ROBERT SZEWALSKI

Gdańsk

## Energetyka — wczoraj, dziś i jutro

Energetyka i związane z nią problemy rozwojowe wysunęły się w dobie przeżywanego powszechnie kryzysu energetycznego na czoło problematyki gospodarczej i naukowej państw i społeczeństw, można rzec, całego globu. Wymiary tej problematyki nie były do niedawna ani przewidywane, ani nawet przeczuwane. Warto więc poświęcić im nieco uwagi.

Podstawą wszelkiej dyskusji energetycznej jest przewidywane zapotrzebowanie na energię. Ogólnie mówiąc, jest ono — jak wiadomo — iloczynem z liczby mieszkańców i zapotrzebowania energii na jednego mieszkańca. W określeniu tych wielkości mieści się już pierwsza zasadnicza trudność. Oczywiście, zachodzi tu pewna różnica w przewidywaniu rozwoju krajowego i światowego. W pierwszym przypadku rozwój ludnościowy przewidzieć dość dobrze, w skali światowej jest to o wiele trudniejsze i można jedynie operować pewnym prawdopodobieństwem. Tu więc przewidywania okazują się bardzo rozbieżne.

Jeśli chodzi o jednostkowe zużycie energii, to zachodzą tu ogromne, wprost dramatyczne różnice. Według stanu z 1975 r. wynosi ono w Stanach Zjednoczonych na rok i głowę ludności około 13 t węgla umownego, a więc węgla o wartości opałowej 7000 kcal/kg (29330 kJ/kg). W Europie zużycie to wynosi przeciętnie 5 do 6 t/rok i głowę, w Bangla Desh albo niektórych krajach afrykańskich około 0,15 t, a więc blisko 100 razy mniej aniżeli w Stanach Zjednoczonych! Średnia światowa kształtuje się na poziomie około 1,5 t na rok i głowę ludności. To są suche wskaźniki liczbowe. Rozwój energetyki stawia się dlatego na stopniowe wyrównywanie tych różnic w sensie podciągania krajów i społeczeństw ubogich i gospodarczo zacofanych do poziomu społeczeństw o rozwiniętej gospodarce przemysłowej i ekonomicznej.

W okresie przed kryzysem energetycznym, w latach 1973/4, zakładano w planach rozwojowych, że zmierzamy do średniej zużycia globalnego około 25 t węgla umownego na rok i mieszkańca globu, a więc docelowo do zużycia blisko 2 razy wyższego od aktualnego zużycia jednostkowego w Stanach Zjednoczonych, opierając to założenie na przewidywanych bardzo energochłonnych przedsięwzięciach tego typu, jak odsalanie wody morskiej, intensyfikacja gospodarki rolnej, regeneracja surowców itp.

Po wybuchu kryzysu, kiedy zrozumiano lepiej niż dotychczas następstwa zbyt dynamicznego wzrostu zapotrzebowania na energię i jej zużycia, wskaźniki przewidywanego wzrostu zostały poważnie obniżone. Planowana zrazu średnia zużycia globalnego około

25 t węgla umownego na rok i głowę ludności, skurczyła się z konieczności do przedziału 3 - 4 t/rok i głowę ludności jako granicy dolnej do 7 - 8 t jako granicy górnej, a więc 3- do 8-krotnie, swoją drogą, przy znacznym wyrównaniu spożycia energii w skali światowej.

Stąd już następny krok prowadzi do określenia docelowego globalnego zużycia energii wskaźnikiem kierunkowym 30 do 120 miliardów ton/rok węgla umownego wobec około 8 miliardów ton/rok w dniu dzisiejszym. Na rok 2000, który bynajmniej nie określa jeszcze docelowego rozwoju energetyki, ocenia się zapotrzebowanie na energię i jej zużycie już z mniejszym możliwym rozrzutem na 20 do 30 miliardów ton węgla umownego. Warto te wskaźniki zapamiętać.

Wracając do docelowej wielkości zużycia energii 30 do 120 mld t/rok węgla umownego (średnio 75 mld t/rok), należy zauważyć, że zaspokojenie tego zapotrzebowania za pomocą paliwa płynnego ze wszystkich znanych obecnie źródeł ropy, możliwe byłoby tylko w ciągu około 2 lat. To jest więc miarą daleko idącego wyczerpywania się źródeł ropy, która w przyszłym rozwoju energetyki na pewno nie odegra już decydującej roli. I jakkolwiek brzmi to dziś jeszcze nieco paradoksalnie, hasło „nafta rządzi światem” dewaluuje się w tempie przyspieszonym.

W porównaniu z ropą i paliwami płynnymi o wiele większe znaczenie posiada węgiel, a analogiczny okres wyczerpywania się zapasów węgla jako jedynej paliwa, na którym opiera się docelowy rozwój energetyki, wynosiłby około 100 lat. To jest już dużo w porównaniu z okresem 2 lat w przypadku stosowania tylko paliwa płynnego. Ale ostatecznie jest to również okres bardzo ograniczony, a biorąc pod uwagę faktyczną niemożliwość znacznego wzrostu wydobywania, wskazuje na pilną konieczność poszukiwania nowych zasobów energetycznych, poza ropą i węglem. Pilność tego problemu, konieczność zajmowania się nim już dzisiaj, kiedy jeszcze 100 lat mogliśmy przy danych założeniach rozwojowych eksploatować węgiel, wynika z innych rozważań, które można by nazwać rozważaniem wymiaru czasu.

Istotnie, wzrost ogólnego spożycia energii, a co za tym idzie — mam tu na myśli zakłady energetyczne — rosnące równoległe moce jednostkowe urządzeń i zrozumiała dążność do podniesienia sprawności, choćby kosztem większej komplikacji tych urządzeń, prowadzi — jakby to określić — do rosnącej bezwładności w rozwoju systemu, do wydłużania się czasu niezbędnego do realizacji coraz bardziej złożonych urządzeń, pracujących w warunkach skrajnych, jeśli chodzi o rozeznanie naukowe w zakresie nowej technologii energetycznej.

Przykład najlepiej objaśni sprawę. Energia jądrowa wyzwalająca się w wyniku rozszczepienia atomu zademonstrowana została już przed wojną, a pierwszy reaktor jądrowy zbudowany został przez Fermi'ego w 1942 r. Od tego czasu minęło 36 lat, a energia jądrowa dostarcza dziś niewiele ponad 2% ogólnego zapotrzebowania energii.

Pierwszy szybki reaktor — Clementine — zbudowano w 1948 r. Ale dziś, w 30 lat później, trudno jeszcze określić, czy i kiedy reaktory szybkie powielające będą budowane na wielką skalę i zaczną odgrywać jakąś poważniejszą rolę w produkcji energii elektrycznej.

Te same rozważania odnoszą się również do fuzji jądrowej. Badania rozpoczęto około 25 lat temu, a dziś choć dokonano w tym względzie dużo odkryć, nie jesteśmy na wet na etapie urządzenia eksperymentalnego o ruchu ciągłym, a co mówić dopiero o urządzeniu

dojrzałym do zastosowania przemysłowego. Specjaliści mający w tym względzie coś do powiedzenia, nie przewidują realizacji fuzji jądrowej w zastosowaniu przemysłowym przed upływem dalszych 25 lat.

Wielkie nadzieje łączy się dalej, jak wiadomo, z wykorzystaniem energii słonecznej, a do pewnego stopnia również z innymi rodzajami energii, np. energii geotermicznej. Te dwa źródła są zarówno od dawna znane, jak i częściowo nawet wykorzystywane, a co ważniejsze – w porównaniu z energią jądrową i termojądrową – nie wymagają na ogół skomplikowanych urządzeń, takich np. jak reaktor jądrowy – a jednak nie mamy dzisiaj z tych źródeł więcej niż około 1000 MW energii elektrycznej, a w roku 2000 nie spodziewamy się jej więcej niż kilka procent.

Tu wyłania się zatem drugi charakterystyczny wymiar problemu – wymiar czasowy około 50 lat – niezbędny dla wyprowadzenia opartej na nowej technologii energetycznej, czy to na energii słonecznej czy termojądrowej, produkcji energii elektrycznej, od podstawowej koncepcji naukowej do jej zastosowania w praktyce, tj. do systemu pracującego w warunkach dojrzałości przemysłowej.

Kolejnym wskaźnikiem charakteryzującym rozwój energetyki jest moc jednostkowa. Jeżeli w zaraniu okresu przemysłowego, w okresie stosowania siły ludzi i zwierząt, moc ta określała się w watach, to z kolei w okresie zastosowania energetycznych maszyn tłokowych moc tę zaczęto wyrażać w koniach mechanicznych albo kilowatach. Ale dopiero technika turbinowa stała się podstawą rozwoju zespołów większej mocy, mierzonej w tysiącach kilowatów, a zatem w megawatach. Wystarczy jednak zaglądnąć do czasopism z lat pięćdziesiątych, aby się przekonać, że budowaliśmy wtedy turbiny o mocy 2300, 2500 i 3000 kW, i wreszcie pierwsze zespoły 100 000 kW. Dopiero potem zaczęliśmy dla wygody operować megawatami.

Dziś największe zespoły prądowców mają moc 1200 i 1300 MW. Wkroczyliśmy zatem w zakres mocy liczonej w gigawatach, przy czym 1 GW równa się już  $10^9$  W. Moc ta odpowiada także średniej mocy budowanych siłowni. A moce systemów wahają się w granicach kilku do 100 GW!

Patrząc w przyszłość i biorąc pod uwagę dynamiczny rozwój energetyki, podwajanie się mocy bloków i systemów w okresach mniej więcej 10-letnich, widzimy już za horyzontem czasowym kilkudziesięciu lat systemy, a następnie siłownie i wreszcie pojedyncze zespoły o mocy liczącej się w kolejnych jednostkach – terawatach. Na to wskazuje rozwój energetyki, a wtedy wybór lokalizacji, miejsca pod budowę siłowni, łączy się więcej niż kiedykolwiek przedtem z takimi problemami jak woda chłodząca, transport paliw itd. I ta moc jednostkowa, zespołu lub siłowni, wyznacza trzeci z kolei zasadniczy wymiar charakterystyczny problemu.

Podobnie oceniać trzeba z punktu widzenia wartości energetycznej (ładunku energii zawartej w jednostce masy) różne nośniki energii: węgiel, ropę, uran naturalny i wzbogacony, wodę morską ze śladami uranu itp. Produkcja tej samej ilości energii elektrycznej przy użyciu różnych czynników wymaga diametralnie różnych ilości tych nośników, skoro np. 1 t uranu naturalnego równoważna jest energetycznie około  $10^6$ t węgla umownego. I to jest bodaj czwarty charakterystyczny wskaźnik problemu energetycznego.

Omówione wskaźniki wskazują wyraźnie na pilną konieczność opracowania i wdrożenia nowych technologii energetycznych. Lecz czy to będzie reaktor wysokotempera-

turowy powielający, czy fuzja termojądrowa, czy wreszcie technologia oparta na wykorzystaniu energii promienistej słońca, potrzeba — jak wskazano — dziesiątek lat, aby wprowadzić je w życie. Pracując jednak nad technologiami przyszłościowymi, nie należy zaniedbywać tych niemałych zresztą możliwości, które tkwią w lepszym wykorzystaniu paliw konwencjonalnych, szczególnie w energetycznej gospodarce przemysłowej. Stąd ogromne znaczenie obiegów termodynamicznych o podwyższonej sprawności, a zwłaszcza obiegów skojarzonych. Okazuje się przecież, że ponad 2/3 zapotrzebowania przemysłu na energię użytkowane jest pod postacią energii cieplnej, tj. pary technologicznej albo ciepła spalin. Stąd wykorzystanie ciepła odpadowego z procesów przemysłowych przynosi nie tylko poważne oszczędności w zapotrzebowaniu i zużyciu paliwa, lecz w dalszym ciągu zmniejsza również zanieczyszczenie otaczającego środowiska. Do tego celu zaś prowadzą obiegi i procesy złożone, realizujące — najogólniej mówiąc — metodę kaskadowego wykorzystania energii cieplnej paliwa. Możemy więc kojarzyć ze sobą różne procesy energetyczne, z których każdy korzysta z energii cieplnej dostarczanej na wlocie na wyższym poziomie temperaturowym i odrzuca ciepło odpadowe przy niższej temperaturze, która staje się z kolei temperaturą początkową na wlocie kolejnego procesu skojarzonego.

Tak na przykład można sobie wyobrazić proces złożony, skojarzony, w którym gorące gazy spalania o temperaturze około 1900degC doprowadzone do procesu stalowniczego schładzają się tam do około 1100degC, po czym zasilają turbinę gazową, gdzie wykonując pracę mechaniczną schładzają się do poziomu 300 do 400degC i mogą być następnie wykorzystane do generacji pary wodnej, a następnie pary czynnika niskowrzącego, wreszcie pary technologicznej. Kojarząc w ten sposób obiegi ze sobą, w odpowiednich przedziałach temperatur, można wysoce efektywnie wykorzystać paliwo dostarczające ciepła do obiegu wysokotemperaturowego. Podczas gdy sama zasada skojarzonej gospodarki energetycznej jest znana od dość dawna, to metoda wykorzystania ciepła odpadowego w obiegach niskotemperaturowych, w szczególności z niskowrzącymi czynnikami pracującymi, jest raczej jeszcze względnie nowa i stawia dopiero potencjalną efektywność gospodarki energetycznej kraju we właściwym świetle.

Podobnie jak w wieku ubiegłym rozwój gospodarczy świata znamienity przejściem od metod rzemieślniczych do metod przemysłowych posługujących się maszynami wyrażał koncepcję rewolucji przemysłowej, związanej na trwałe z imionami licznych wynalazców i nowatorów jak Watt, Faraday, Joule, Rankine, Brayton, Otto czy Diesel, tak dziś, wobec rosnących szybko w cenie i zarazem wyczerpujących się paliw i źródeł energii, niezbędna się stała rewolucja energetyczna, polegająca głównie na kaskadowym kojarzeniu obiegów energetycznych, na różnych poziomach temperaturowych, w celu zapewnienia nam możliwie łagodnego przejścia na nowe technologie przyszłości związane z praktycznie nieograniczonymi źródłami energii.