

Biblioteka Główna i OINT
Politechniki Wrocławskiej



100100038868

Instytutu Energoelektryki
Wrocławskiej

Seria: Monografie

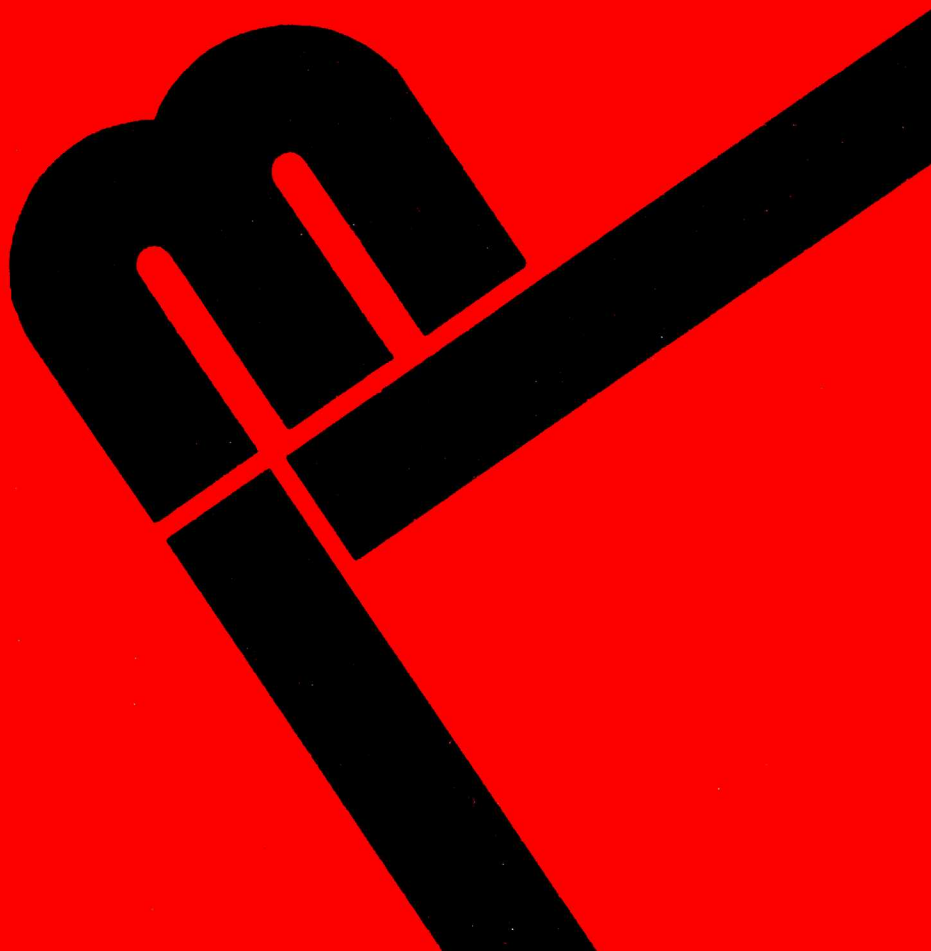
95

30

Bogumiła Wnukowska

**Metodyka analizy i prognozowania
potrzeb energetycznych
odbiorców przemysłowych na rynku energii**

Wrocław 2005



Bogumiła WNUKOWSKA

Methods of analysis and forecast
of power demand for industrial recipients



Prace Naukowe Instytutu Energoelektryki
Politechniki Wrocławskiej

95

Seria:
Monografie

30

Bogumiła Wnukowska

**Metodyka analizy
i prognozowania
potrzeb energetycznych
odbiorców przemysłowych
na rynku energii**



Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej · Wrocław 2005

178339

Recenzenci

Stanisław PYTKO

Zdzisław TERESIAK

Opracowanie redakcyjne i korekta

Maria IZBICKA



321650 L/1

© Copyright by Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2005

OFICyna WYDAWNICZA POLITECHNIKI WROCLAWSKIEJ

Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

ISSN 0324-976x

Drukarnia Oficyny Wydawniczej Politechniki Wrocławskiej. Zam. nr 334/2005.

6825

2005/075812

*Energia, metody,
identyfikacja,
statystyka, przemysł*

Bogumiła WNUKOWSKA*

METODYKA ANALIZY I PROGNOZOWANIA POTRZEB ENERGETYCZNYCH ODBIORCÓW PRZEMYSŁOWYCH NA RYNKU ENERGII

W rozprawie przedstawiono zagadnienia związane z identyfikacją potrzeb energetycznych odbiorców przemysłowych w nowych uwarunkowaniach rynkowych. Rezultaty przeprowadzonych rozważań polegają przede wszystkim na systematyce i rozbudowie metod analizy i prognozowania, pozwalających ocenić procesy kształtowania potrzeb energetycznych odbiorców przemysłowych na różnym poziomie ich hierarchiczności i struktury oraz w dowolnych ramach terytorialnych. W takim ujęciu powyższe zagadnienie jest istotnym etapem w całości procesu tworzenia, stabilizacji i rozwoju lokalnych rynków energii.

Zaproponowana oryginalna metoda określania potrzeb energetycznych z wykorzystaniem elementów metod taksonomicznych i wielowymiarowej analizy porównawczej ma szczególne znaczenie w aspekcie uproszczenia procedury badań i prowadzi przy ograniczonej wejściowej informacji statystycznej do syntezy o znacznym poziomie prawdopodobieństwa trafnej oceny. Walory użyteczne metody stwarzają możliwość jej zastosowania w systemie zarządzania gospodarką energetyczną z wykorzystaniem komputerowego monitorowania procesów przemysłowych.

Wykaz ważniejszych oznaczeń i jednostek

ARE	– Agencja Rynku Energii
BAT	– Best Available Technology – najlepsza dostępna technologia
CP	– Counter Propagation – sieć kontrpropagacyjna
DG	– Distributed Generation – generacja rozproszona
DMP	– Decision Making Process – proces decyzyjny
DSM	– Demand Side Management – zarządzanie popytem
EMS	– Energy Management Systems – systemy zarządzania energią
END-USE	– zużycie końcowe – model strukturalny
FERC	– Federal Energy Regulatory Commission – Federalna Komisja Regulacji Energetyki

* Instytut Energoelektryki Politechniki Wrocławskiej, 50-370 Wrocław, Wybrzeże Wyspiańskiego 27.

GE S.A.	–	Giełda Energii
GUS	–	Główny Urząd Statystyczny
IRP	–	Integrated Resources Planning – zintegrowane planowanie
KB	–	kurs bankowy (oficjalna stopa wymiany)
KDT	–	kontrakty długoterminowe
LCP	–	Least-Cost Planning – planowanie wg najmniejszych kosztów
LTLF	–	Long Term Load Forecasting – prognozowanie długookresowe
MEW	–	mała energetyka wodna
MFP	–	Model Funkcji Punktowych
MFP+AG	–	Model Funkcji Punktowych wspomagany Algorytmem Genetycznym
MG	–	Ministerstwo Gospodarki
ML	–	Model Logistyczny
MLP	–	Multi Layer Perceptron – wielowarstwowy perceptron
MRK	–	Model Rozkładu Kanonicznego wektora losowego
MRK+AG	–	Model Rozkładu Kanonicznego wektora losowego wspomagany Algorytmem Genetycznym
MTLF	–	Middle Term Load Forecasting – prognozowanie średniookresowe
MWF	–	Model oparty na Wymiarze Fraktalnym
nN	–	napięcie niskie
NPE	–	niezależni producenci energii
OH	–	Operator Handlowy
OHT	–	Operator Handlowo-Techniczny
OSP	–	Operator Systemu Przesyłowego
OSR	–	Operator Systemu Rozdzielczego
OZE	–	Odnawialne Źródła Energii
PE	–	Przedsiębiorstwa Energetyczne
PKB	–	Produkt Krajowy Brutto – Gross Domestic Product
PPP	–	Purchasing Power Parties – kurs siły nabywczej
PSE S.A.	–	Polskie Sieci Elektroenergetyczne
RBF	–	Radial Basis Function – sieć o radialnych funkcjach bazowych
RES	–	Renovable Energy Sources – źródła energii odnawialnej
RM	–	Rada Ministrów
SAVE	–	Special Action Program for Vigorous Energy Efficiency – Program akcji specjalnej na rzecz wzrostu efektywności energetycznej
SB	–	single buyer – pojedynczy (wyłączny) nabywca (kupujący)
SGEP	–	System Gospodarki Energetycznej Przedsiębiorstwa
Sieć MRK	–	Sieć Modeli Rozkładu Kanonicznego
SN	–	napięcie średnie
SOK	–	system opłat kompensacyjnych
SOM	–	Self-Organizing Map – samoorganizująca się mapa (sieć)

SSM	– Supply Side Management – zarządzanie podażą
SSN	– Sztuczne Sieci Neuronowe
STLF	– Short Term Load Forecasting – prognozowanie krótkookresowe
TPA	– Third Party Access – dostęp stron trzecich do sieci
UE	– European Union – Unia Europejska
URE	– Urząd Regulacji Energetyki
VSTLF	– Very Short Term Load Forecasting – prognozowanie o skrajnie krótkich horyzontach czasowych
WE (EC)	– European Community – Wspólnota Europejska
WN	– napięcie wysokie
ZSI	– zintegrowany system informatyczny
Mtoe	– million tons of oil equivalent – milion ton paliwa umownego (jednostka umowna, wyrażona w ekwiwalencie ropy naftowej)
p.u.	– paliwo umowne (wysokowartościowy węgiel o wartości opałowej 7000 kcal/kg)

1 toe = 107 kcal = 41,868 GJ

1 t p.u. = 7 Gcal = 29,3 GJ

1 MWh = 3,6 GJ = 0,086 toe

1 kWh = 3,6 MJ = 0,123 kg p.u.

1 MJ = 0,239 Mcal

1 Mcal = 4,186 MJ

Wprowadzenie

Przedmiotem rozważań jest szeroko rozumiana metodyka badań potrzeb energetycznych w przemyśle. Stan i zmiany zapotrzebowania na energię oraz jego uwarunkowania stanowią bardzo ważny aspekt z zakresu polityki społecznej i gospodarczej, mający kluczowe znaczenie praktyczne. Energetyka na całym świecie i w Polsce podlega głębokim przemianom. Deregulacja i konkurencja stwarzają odbiorcom energii możliwości wyboru rodzaju nośnika energii, dostawcy w zależności od efektywności ekonomicznej, niezawodności dostawy i jakości dostarczanej energii. System elektroenergetyczny jest jednym z podstawowych systemów sieciowych, stanowiących infrastrukturę techniczną, umożliwiającą funkcjonowanie życia społecznego i gospodarczego na danym terenie oraz jego globalizację w skali kontynentów [2, 33, 122, 155].

Ostatnie lata przyniosły zasadnicze zmiany poglądów na funkcjonowanie systemów elektroenergetycznych. Szczególne znaczenie miały następujące dokumenty: Karta Energetyczna, Traktat i obowiązująca od 1997 r. i gruntownie zmodyfikowana w roku 2003 Dyrektywa Unii Europejskiej [29, 31, 98, 117], które zaleciły wprowadzenie wolnego, konkurencyjnego rynku energii i usług energetycznych, w tym dostęp na zasadach handlowych stron trzecich do infrastruktury transportowej (tzw. zasada *TPA – Third Party Access*).

Zachodzące w ostatnim okresie zmiany systemu gospodarczego w Polsce dotyczące sektora energetycznego wymusiły podjęcie wielu działań w kierunku tworzenia regionalnej polityki energetycznej. W warunkach powstawania lokalnych rynków energii zachodzi konieczność racjonalnego podejmowania decyzji, rośnie ich złożoność i hierarchiczność. Jednocześnie fragmentaryczność danych ekonomicznych, warunki niepewności i ryzyka oraz czasowo-przestrzenne fluktuacje uzasadniają krytykę rezultatów jedynie według kryterium ekonomicznego [106].

Do kształtowania zużycia energii w skali całej gospodarki czy też przemysłu niezbędne są określone podstawy teoretyczne, tworzone w wyniku badań interdyscyplinarnych. Istotne znaczenie mają tu badania w szerokim zakresie wykorzystujące metody statystyczne [19] i ekonometryczne [6, 91, 92], wspomagające rozważania o charakterze jakościowym, dotyczące gospodarowania energią.

Za podstawę metodologiczną badań zużycia energii przyjęto podejście taksonomiczne i ekonometryczne, umożliwiające skonstruowanie modeli, które by reprezentowały i po-

zwolili przeanalizować zależności występujące w procesach zużycia energii. Interesujące jest zatem przedstawienie potrzeb energetycznych w aspektach: jako ogół dóbr w gospodarce, które są w danym okresie przeznaczone do użytkowania oraz jako proces zaspokajania potrzeb różnych sektorów gospodarki narodowej, głównie przemysłu, wymagający zużywania tych dóbr [25, 66, 79].

W badaniach podjęto również problem przestrzennego zróżnicowania zużycia energii i jego uwarunkowań. Jest to szczególnie istotne w sytuacji zmian w sektorze przemysłowym, przemian ustrojowych, kryzysów czy załamań gospodarczych. Negatywne bowiem skutki procesów recesji obserwowane w skali całej gospodarki na określonym uśrednionym poziomie mają bardziej ostry przebieg w związku z przestrzennym zróżnicowaniem uwarunkowań zużycia energii w makroregionach.

Problematyka związana z wykorzystaniem energii w przemyśle jest bardzo rozległa i może dotyczyć różnych zagadnień. Przedsiębiorstwa należące do różnych gałęzi przemysłu charakteryzują się różnorodną strukturą energetyczną od prostych, wykorzystujących niewielkie ilości energii, np. ciepła do ogrzewania i energii elektrycznej do napędów i oświetlenia, a kończąc na bardzo złożonych, np. w zakładach chemicznych czy metalurgicznych, hutach i kopalniach [36, 37, 56, 116].

W rozprawie nakreślono aktualne przeobrażenia zachodzące w polskiej energetyce, znaczenie tworzenia rynków energii oraz strukturę potrzeb sektora przemysłowego. W literaturze krajowej i zagranicznej brak jest jednak syntetycznego i kompleksowego ujęcia zagadnień badań potrzeb energetycznych odbiorców przemysłowych.

Na podstawie dostępnej literatury i syntezy opracowań naukowo-badawczych z tego zakresu oraz własnych badań autorki, ujętych m.in. w pracach [125–154], przedstawiono główne kierunki i możliwości zastosowań w praktyce przemysłowej. Z tego względu celowe jest zaprezentowanie oryginalnego wkładu autorki w rozwój metodyki analizy i prognozowania potrzeb energetycznych odbiorców przemysłowych z uwypukleniem jego różnorodnych aplikacji, co jest przedmiotem niniejszej monografii.

Na tym tle w pełni uzasadniona wydaje się konieczność systematyki metod analizy i prognozowania potrzeb energetycznych, a także zaproponowanie rozszerzenia metodyki badań potrzeb energii odbiorców przemysłowych na lokalnym rynku energii z wykorzystaniem metod taksonomicznych i wielowymiarowej analizy porównawczej, stawiając to jako zasadniczy cel rozprawy.

Praca zawiera dziewięć zasadniczych rozdziałów. W *rozdziale 1* przedstawiono podstawowe zagadnienia dotyczące polskiej energetyki, a także sprecyzowano uwarunkowania kształtowania potrzeb energetycznych w przemyśle. W *rozdziale 2* omówiono problemy identyfikacji i kryteria gospodarowania energią w przemyśle. W *rozdziale 3* podano systematykę metod i sposobów badania zużycia energii oraz omówiono ich walory użytkowe. W *rozdziale 4* zaprezentowano przegląd obszernej literatury dotyczącej badań metodycznych potrzeb energetycznych w sektorze przemysłowym, a także przedstawiono własne koncepcje autorki odnośnie do potrzeby rozbudowy metodyki analizy i prognozowania

potrzeb energetycznych odbiorców przemysłowych w nowych uwarunkowaniach rynkowych. Propozycję tej metody zawiera *rozdział 6*. W *rozdziale 5* sprecyzowano determinanty zachowań odbiorcy przemysłowego na rynku energii. Omówiono znaczenie i zakres funkcjonowania rynków energii, a także przedstawiono potencjalne kierunki rozwoju lokalnych rynków energii oraz uwarunkowania ich rozwoju. *Rozdział 6* stanowi zasadniczą część pracy, wynikającą głównie z własnego dorobku autorki. Dotyczy propozycji oryginalnej metody identyfikacji potrzeb energetycznych odbiorców przemysłowych z wykorzystaniem metod taksonomicznych i wielowymiarowej analizy porównawczej. Opracowany wielowariantowy charakter programu komputerowego pozwala zastosować go w większości przypadków badania zużycia energii w gałęziach przemysłu lub w zakładach przemysłowych o różnej strukturze i profilu produkcji. W *rozdziale 7* przedstawiono wyniki badań modelowych analizy i prognozowania potrzeb energetycznych odbiorców przemysłowych. Wszystkie zamieszczone w pracy wykresy różnych zależności oraz przebiegów czasowych są wynikiem wykonanych i weryfikowanych przez autorkę odpowiednich symulacji i obliczeń komputerowych. Autorka wykorzystwała tu samodzielnie ułożone algorytmy, które pozwalają na wykonanie dowolnie złożonych obliczeń w trybie konwersacyjnym oraz przedstawianie ich w postaci graficznej. W końcowej części pracy (*rozdziały 8 i 9*) zawarto konkluzje wynikające z podsumowania rozprawy.

Autorka monografii uważa za swój miły obowiązek podziękować wszystkim tym, których pomoc oraz życzliwe i niezwykle cenne uwagi wpłynęły w istotnym stopniu na kształt niniejszej pracy.

1. Potrzeby energetyczne w przemyśle jako przedmiot badań

1.1. Aktualne problemy polskiej energetyki

Prawidłowości i uwarunkowania poziomu potrzeb energetycznych odbiorców przemysłowych należą do bardzo ważnych kierunków badań w energetyce. Wynikiem tych badań jest rozbudowana teoria, opisująca zarówno funkcje użytkowania odbiorców przemysłowych energii, jak i prawidłowości kształtowania się zużycia energii [14, 53, 80]. Analiza potrzeb energetycznych odbiorców przemysłowych w przekrojach dynamicznym i podmiotowym pozwala na ocenę poziomu tego zużycia oraz na obserwowanie zachodzących tendencji. K. Kopecki [52] napisał, że „...energia stanowi podstawę życia i rozwoju ludzkości, jest tak potrzebna jak powietrze i woda. Bez pomocy energii człowiek byłby zdany na łaskę środowiska i nie osiągnąłby nawet małej części tego rozwoju gospodarczego i technicznego, jaki jest dziś jego udziałem. Liczne dobra, którymi się obecnie posługuje, byłyby dla niego niedostępne”. Tak więc dla energetyka ważne są między innymi takie problemy, jak: zaludnienie, zapotrzebowanie na energię w przyszłości, uwarunkowania i ograniczenia w pozyskaniu energii, kapitał zainwestowany na przykład w przemyśle lub w innym sektorze gospodarki narodowej, degradacja środowiska i czy energia będzie zawsze dostępna [15, 16, 22, 70, 71].

Liczne publikacje, raporty i ekspertyzy oraz międzynarodowe konferencje poświęcone są prognozom pozyskiwania energii, najlepszym metodom jej przetwarzania i przesyłania, a zwłaszcza racjonalnego użytkowania. Problemami energetyki zajmują się dziś ekonomiści, politycy, matematycy, socjologowie, geolodzy, ekołodzy itd. Rozważa się je w skali lokalnej – regionu i makroregionu lub globalnej, krajowej, światowej, a nawet kosmicznej [41, 54, 59, 60, 62, 73, 89, 96].

We wszystkich publikacjach przejawia się troska, aby nie zaistniała katastrofa gospodarcza spowodowana deficytem paliw i energii. Lawinowy wzrost publikacji futurologicznych rozpoczął się po ogłoszeniu w 1968 roku tzw. Raportu Rzymskiego, będącego swego rodzaju prognozą ostrzegawczą dla świata dotyczącą przewidywanego przeludnienia, degradacji środowiska naturalnego, wyczerpywania się światowych zasobów energii. Pesymistyczne prognozy Raportu Rzymskiego oparte przede wszystkim na ekstrapolacji dotychczasowych trendów rozwoju gospodarczego, były dość ostro krytyko-

wane. Niemniej, w pewnym stopniu, tezy Raportu Rzymskiego sprawdziły się: ludność świata przekroczyła już 6 miliardów, uległy zmianie dotychczasowe warunki klimatyczne w wielu strefach kuli ziemskiej: susze, powodzie, huragany, trąby powietrzne, tajfuny, a także skażenie środowiska naturalnego. Dysproporcje w warunkach życia ludności sprzyjają powstawaniu napięć politycznych i gospodarczych nie tylko w krajach słabo rozwiniętych. Świat stanowi niepodzielną całość. Szybki rozwój produkcji przemysłowej w krajach Dalekiego Wschodu, Japonii, Chinach, Korei, Hongkongu, na Tajwanie przy bardzo małych kosztach robocizny i z wykorzystaniem japońskich i amerykańskich nowoczesnych technologii i metod organizacji produkcji, stwarza silną konkurencję na rynkach zachodnioeuropejskich, stając się między innymi jedną z przyczyn bezrobocia w Wielkiej Brytanii, Francji, Niemczech i także w Polsce. Już wiele lat temu Cz. Mejro [79] mówił, że „...walka o rynki zbytu zaostrza się, a wygranymi w niej mogą być tylko ci, którzy potrafią produkować i eksportować wyroby wartościowe, lecz niezbyt drogie”.

Od sytuacji na międzynarodowych rynkach paliwowych zależy również gospodarka polska oparta na węglu i gazie ziemnym oraz ropie naftowej [21, 39, 43, 115]. Prognozy dotyczące pozyskania i wykorzystania energii (tab. 1.1) są szeroko analizowane i podawane w różnych publikacjach [26, 50, 83].

Tabela 1.1. Prognoza światowego wydobycia i zapotrzebowania energii w [mln t p.u.] i [%]

Table 1.1. Forecast of world-wide coal and crude oil output and power demand in mln tons of conventional fuel and per cent

Źródło energii	2000		2020	
	Wydobycie	Zapotrzebowanie	Wydobycie	Zapotrzebowanie
Węgiel	4100/27,0	4000/27,6	6200/30,1	6250/31,7
Ropa naftowa	4550/29,9	4000/27,6	4350/21,1	3500/17,8
Gaz ziemny	2600/17,1	3100/17,6	3500/17,0	3450/17,5
Pozostałe	3950/26,0	3400/27,2	6550/31,8	6500/33,0
Ogółem	15200/100	14500/100	20600/100	19700/100

Rozmieszczenie zasobów paliw na świecie jest bardzo nierównomierne [81, 82, 100, 101]. Wiele rozwiniętych gospodarczo krajów (na przykład Japonia, Dania) nie ma surowców energetycznych, co powoduje uzależnienie od importu i konieczność przeznaczenia znacznej części dochodu narodowego na zakup paliw. Posiadanie przez kraje bliskowschodnie znacznych zasobów ropy naftowej przynosi arabskim producentom nie tylko ogromne zyski, ale także pozwala na stosowanie poziomu wydobycia jako „regulatora” cen, a zatem i polityki gospodarczej. Dzięki stosunkowo małemu udziałowi paliw ciekłych w pokrywaniu potrzeb energetycznych naszego kraju, przebieg „kryzysu energetycznego” w roku 1974 był dość łagodny. Niewielkie ilości potrzebnej ropy naftowej uzyskiwano i nadal w pewnej części uzyskuje się w handlu wymiennym za eksportowany węgiel kamienny, którego zasoby jeszcze niedawno były przedstawiane jako nieomal

nieograniczone i mogące wystarczyć Polsce na setki lat. Mit „wielkiego węgla” spowodował, że nie przywiązywano większej wagi do racjonalnego użytkowania energii i był przyczyną podejmowania nieprzemyślnych decyzji preferujących na przykład w przemyśle technologie energochłonne. W latach 70. i 80. rozwijano produkcję i eksport wyrobów energochłonnych, mimo wielokrotnych protestów, między innymi ze strony Kongresu Techników Polskich. Sygnałem alarmowym o niedorozwoju krajowej energetyki była tzw. zima stulecia 1979/80, w czasie której z braku energii elektrycznej i ciepła powstały przerwy w pracy zakładów przemysłowych, niedobory w ogrzewaniu mieszkań, zakłócenia w transporcie i komunikacji itp., a także zima 1984/85, która przyniosła wielomilionowe straty gospodarcze spowodowane brakiem dostatecznej ilości energii.

Sytuacja, w jakiej znajduje się Polska, a jeszcze bardziej świadomość dalszych, trudnych do pokonania zagrożeń w przyszłości, zmuszają do zmiany dotychczasowego stosunku do elektroenergetyki na wszystkich poziomach zarządzania administracji państwowej i również przez całe społeczeństwo [4, 75, 108, 143, 152]. Dokonanie zmian w strukturze gospodarki narodowej w warunkach ograniczonej ilości energii jest zadaniem bardzo trudnym, gdyż pewne działy gospodarki, na przykład rolnictwo, przemysł spożywczy, sektor komunalno-bytowy, będą nadal wymagać wzrostu jej dostaw. Zatem rozsądne i racjonalne gospodarowanie energią w przemyśle, który jest największym odbiorcą energii, powinno opierać się na wnikliwej analizie i prognozowaniu rzeczywistych potrzeb.

Niepewność danych, które stanowią punkt wyjścia do sporządzenia prognozy, jak również liczne uwarunkowania zewnętrzne stwarzają konieczność wykonywania prognoz wielowariantowych lub przedstawiania wyników prognozy w postaci „pasmowej”, a więc w szerokim zakresie. Na przykład autorzy projektu założeń rozwoju polityki energetycznej Polski [50, 156] przy wyznaczaniu wizji rozwoju makroekonomicznego kraju do roku 2020 stosują podejście scenariuszowe (tab. 1.2 i rys. 1.1–1.3).

Scenariusz przetrwania (A) – realizowany jest w warunkach słabego rozwoju, hamowanego przez wstrząsy polityczne. Polska polityka gospodarcza nie jest w stanie wygenerować trwałych podstaw rozwojowych, utrwała się surowcowa struktura gospodarki. Scenariusz ten ma charakter ostrzegawczy.

Scenariusz odniesienia (B) – odbywa się w warunkach politycznej stabilności i rozwoju otoczenia międzynarodowego bez wstrząsów i nagłych zmian. Dla gospodarki polskiej oznacza to stosunkowo powolne, w porównaniu do potrzeb rozwojowych, ale jednak kontynuowanie procesu korzystnych przemian, zainicjowanych w dekadzie lat 90.

Scenariusz postępu (C) – realizacja zachodzi w sprzyjających warunkach otoczenia międzynarodowego. Następują korzystne zmiany ekonomiczne i rozwój gospodarki światowej, opartej na zasadach konkurencji i partnerstwa, przy znacznie korzystniejszym dostępie do kapitału i nowoczesnych technologii. W Polsce następuje restrukturyzacja gospodarki.

Istotnie wzrasta zapotrzebowanie na gaz ziemny, głównie w elektroenergetyce (źródła skojarzone o średnich mocach) i w ciepłownictwie komunalnym. W pozostałych sektorach gospodarki wzrost ten jest mniejszy.

Tabela 1.2. Prognoza zapotrzebowania na nośniki energii pierwotnej [12, 35, 156]

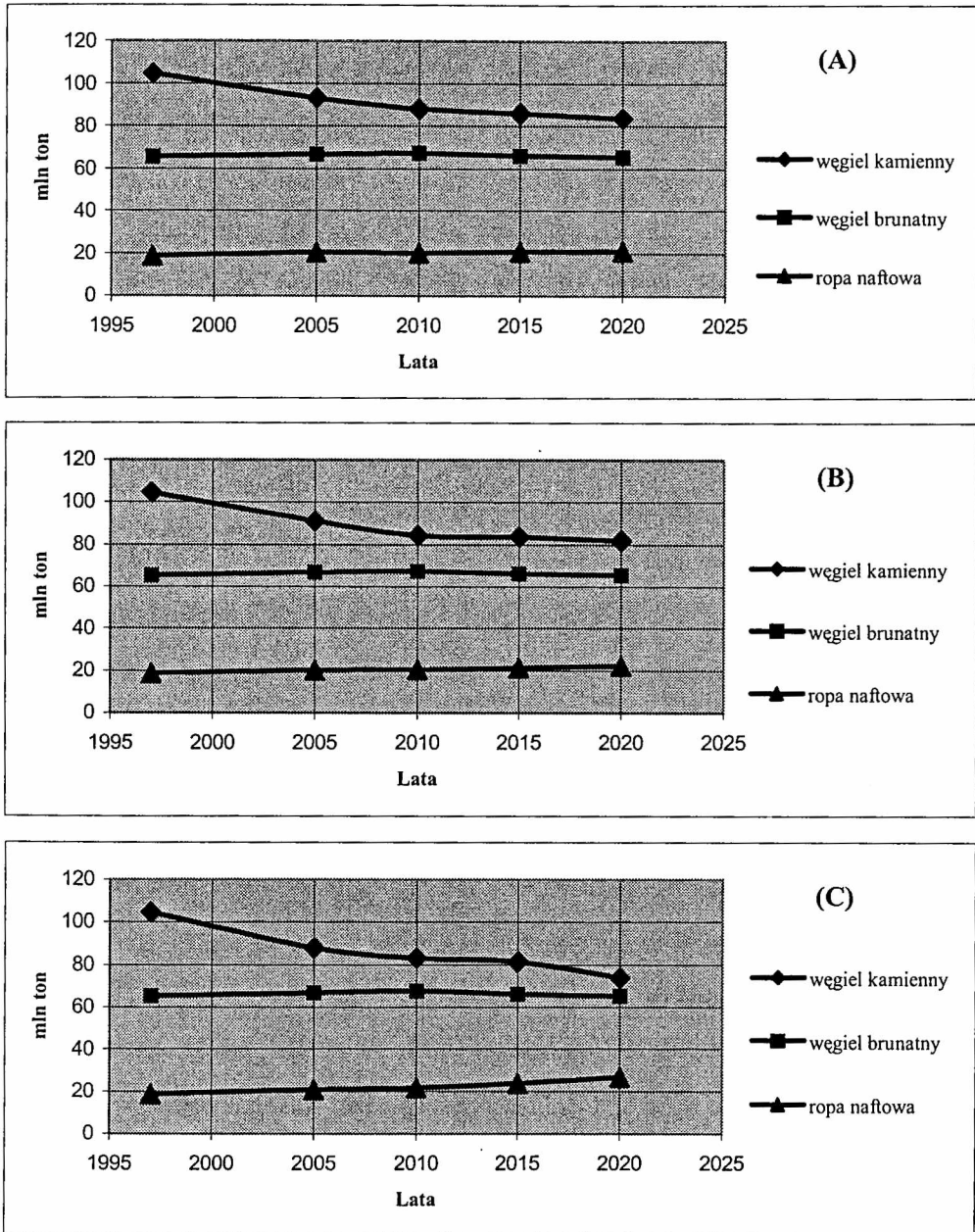
Table 1.2. Forecast demand of primary energy carriers [12, 35, 156]

Scenariusz	Wyszczególnienie	Jednostka	1997	2005	2010	2015	2020
Przetrwania	Węgiel kamienny	mln t	104,5	92,9	87,9	86,0	83,5
	Węgiel brunatny	mln t	65,4	66,8	67,2	66,1	65,6
	Ropa naftowa	mln t	18,6	20,4	20,2	20,8	21,1
	Gaz ziemny	mld m ³	12,0	16,4	19,7	22,9	26,0
	Energia jądrowa	Mtoe	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Energia odnawialna	Mtoe	5,5	5,3	5,5	5,7	5,9
	Zużycie krajowe	Mtoe	107,3	106,2	108,6	110,7	112,2
Odniesienia	Węgiel kamienny	mln t	104,5	91,3	84,3	83,9	81,9
	Węgiel brunatny	mln t	65,4	66,8	67,4	66,2	65,6
	Ropa naftowa	mln t	18,6	20,2	20,4	21,4	22,3
	Gaz ziemny	mld m ³	12,0	17,9	22,0	25,0	29,3
	Energia jądrowa	Mtoe	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Energia odnawialna	Mtoe	5,5	5,5	6,0	6,5	7,1
	Zużycie krajowe	Mtoe	107,3	106,4	109,1	112,4	116,2
Postępu	Węgiel kamienny	mln t	104,5	87,9	83,3	81,4	74,1
	Węgiel brunatny	mln t	65,4	66,7	67,7	66,2	65,3
	Ropa naftowa	mln t	18,6	20,8	21,7	23,8	26,7
	Gaz ziemny	mld m ³	12,0	20,2	26,0	30,4	32,4
	Energia jądrowa	Mtoe	0,0	0,0	0,0	3,4	11,9
	Energia odnawialna	Mtoe	5,5	5,4	5,9	6,4	7,2
	Zużycie krajowe	Mtoe	107,3	106,9	113,0	121,2	130,4

Gaz ziemny staje się konkurencyjny względem węgla z uwagi na wyższą sprawność konwersji, mniejszą jednostkową emisyjność CO₂ i NO_x, a także brak emisji SO₂ i pyłów. Zapotrzebowanie na ropę naftową rośnie w stopniu umiarkowanym.

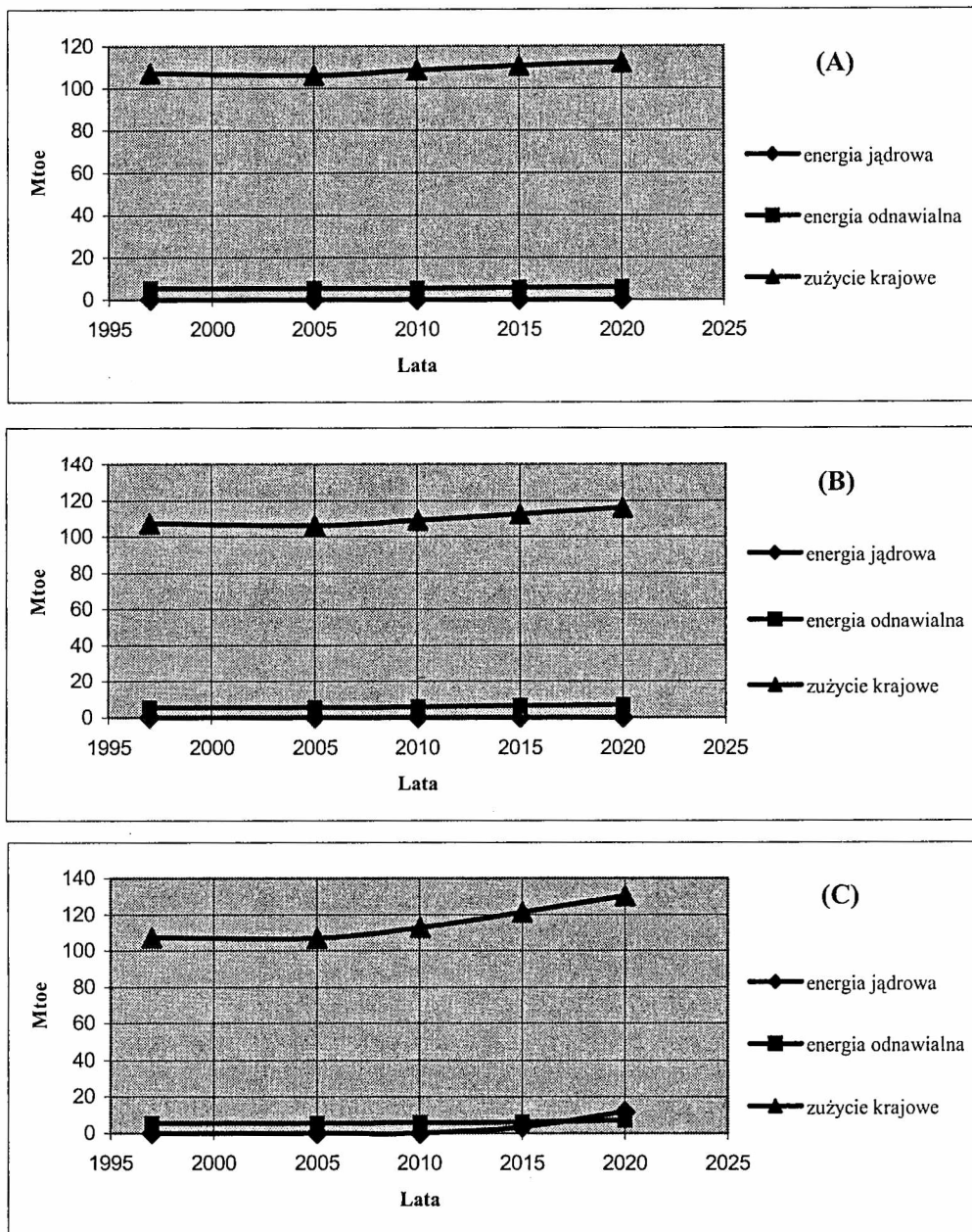
Węgiel kamienny tak jak obecnie, również w 2020 r. pozostanie podstawowym paliwem w Polsce. Obecne zdolności wydobywcze kopalń szacuje się na około 140 mln ton rocznie, przy zasobach ocenianych na 10 mld t.

Węgiel brunatny jest drugim ze względu na znaczenie gospodarcze bogactwem energetycznym Polski. Jest najtańszym nośnikiem energii pierwotnej, toteż racjonalne gospodarowanie jego zasobami należy do najważniejszych zadań w polityce energetycznej. Wydobycie węgla brunatnego jest ściśle związane z prognozowaną produkcją energii elektrycznej, gdyż energia elektryczna wytwarzana na bazie węgla brunatnego jest w obe-



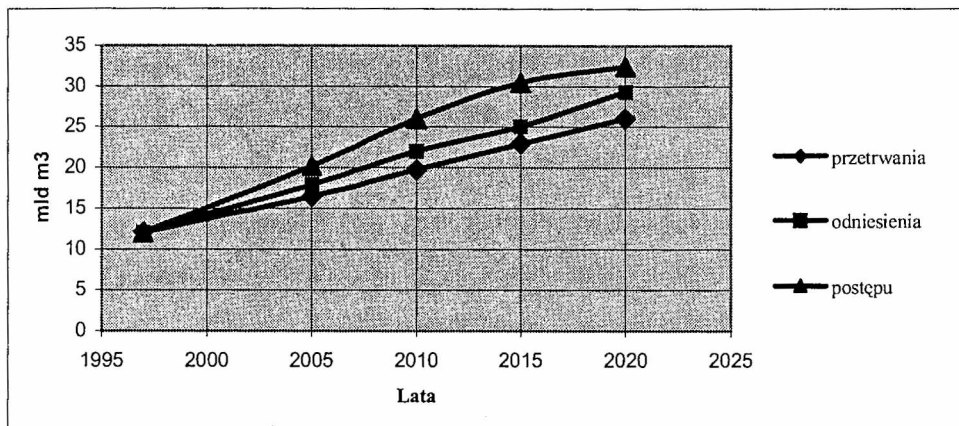
Rys. 1.1. Prognoza zapotrzebowania na nośniki energii pierwotnej (węgiel kamienny, węgiel brunatny, ropa naftowa) wg scenariuszy: przetrwania (A), odniesienia (B), postępu (C)

Fig. 1.1. Forecast demand of primary power sources (coal, brown coal, oil) according to the following scenarios: survival (A), relation (B), progress (C)



Rys. 1.2. Prognoza zapotrzebowania na nośniki energii pierwotnej (energia jądrowa, energia odnawialna) oraz zużycia krajowego wg scenariuszy: przetrwania (A), odniesienia (B), postępu (C)

Fig. 1.2. Forecast demand of primary power sources (nuclear, renewable energy) and domestic consumption according to the following scenarios: survival (A), relation (B), progress (C)



Rys. 1.3. Prognoza zapotrzebowania na gaz ziemny w poszczególnych scenariuszach

Fig. 1.3. Forecast demand of natural gas according to particular scenarios

nych warunkach najtańszą. Zatem racjonalne gospodarowanie zasobami węgla brunatnego jest jednym z ważniejszych zadań w nadchodzącym okresie.

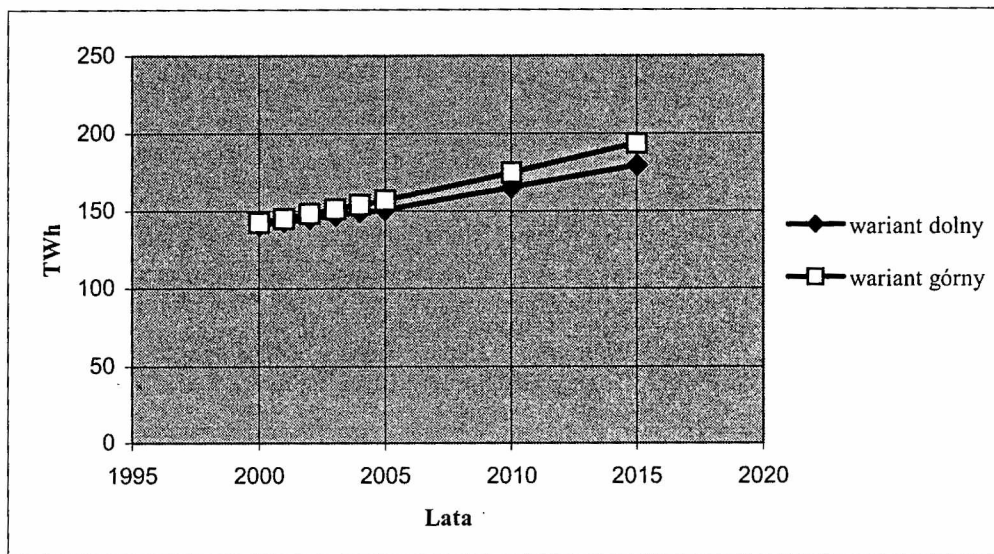
W Polsce istnieje silny opór społeczny przeciw rozwijaniu energetyki jądrowej. Przyczyn tego można upatrywać między innymi w awarii elektrowni w Czernobylu i skażeniu znacznych obszarów Polski. Długofalowy rozwój energetyki jądrowej można uznać za zagadnienie strategiczne dla Polski i należy go racjonalnie przedyskutować z każdego punktu widzenia, łącznie z aspektami moralnymi.

Dane dotyczące wariantów prognozy zapotrzebowania i produkcji energii elektrycznej w Polsce według [12, 17, 156] przedstawiają tabele 1.3–1.6 oraz rysunki 1.4–1.9.

Tabela 1.3. Prognoza zapotrzebowania globalnego na energię elektryczną oraz maksymalnego zapotrzebowania na moc czynną do 2015 roku [156]

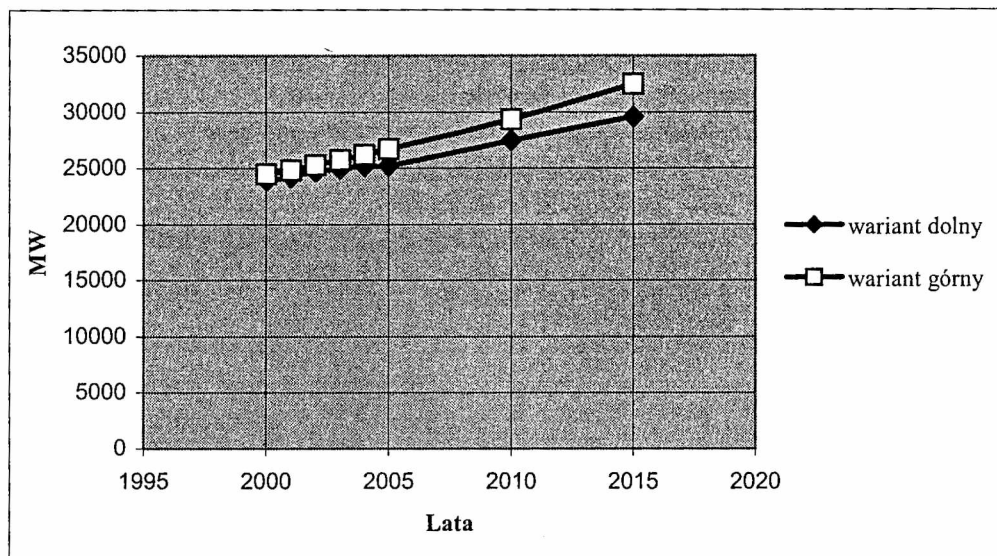
Table 1.3. Forecast demand of global electric energy and maximum active power until 2015 [156]

Rok	Zapotrzebowanie na energię elektryczną [TWh]		Szczytowe zapotrzebowanie na moc [MW]	
	wariant dolny	wariant górny	wariant dolny	wariant górny
2000	140,9	142,5	23 950	24 475
2001	142,9	145,1	24 201	24 840
2002	144,9	148,1	24 710	25 305
2003	146,9	151,1	24 968	25 770
2004	148,9	154,1	25 229	26 235
2005	150,9	157,1	25 229	26 700
2010	165,2	174,5	27 445	29 327
2015	179,3	193,6	29 589	32 494



Rys. 1.4. Prognoza zapotrzebowania globalnego na energię elektryczną do 2015 roku

Fig. 1.4. Forecast demand of global electric energy until 2015



Rys. 1.5. Prognoza maksymalnego zapotrzebowania na moc czynną w kraju do 2015 roku

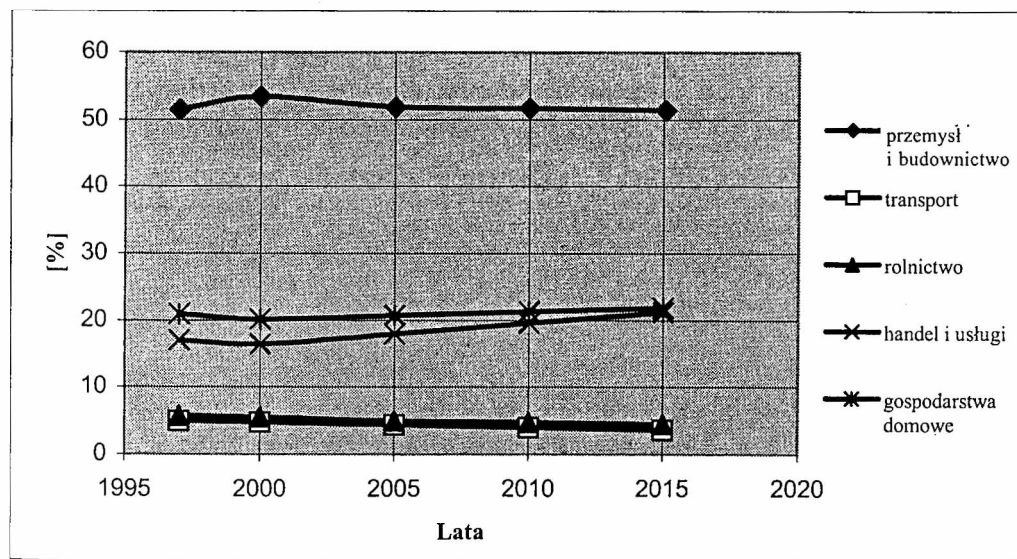
Fig. 1.5. Forecast demand of maximum active power in the country until 2015

Zapotrzebowanie na energię zależy od rozwoju przemysłu (ponad 50% zapotrzebowania ogólnokrajowego) i od zmieniających się warunków społecznych, urbanistyki, komunikacji i innych dziedzin gospodarki, które nie zawsze dysponują długoletnimi plana-

Tabela 1.4. Prognoza struktury zapotrzebowania finalnego na energię elektryczną
w podziale na grupy odbiorców w % [50, 156]

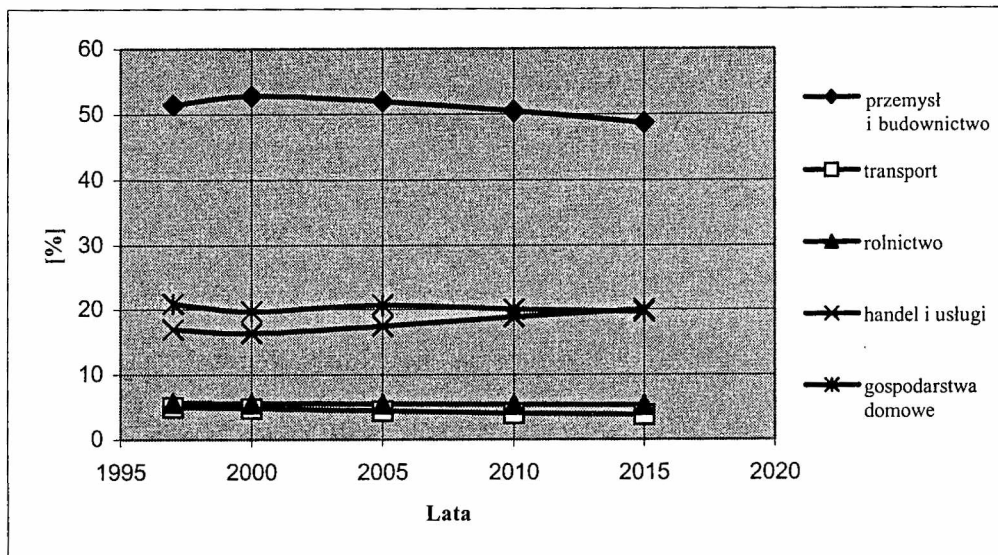
Table 1.4. Forecast demand of final electric energy structure
with partition into consumer groups in % [50, 156]

Wyszczególnienie	1997	2000	2005	2010	2015
Przemysł i budownictwo					
– wariant górny	51,5	53,4	51,9	51,6	51,3
– wariant dolny		52,8	50,9	50,3	48,6
Transport					
– wariant górny	5,0	4,8	4,4	3,8	3,3
– wariant dolny		4,7	4,3	3,7	3,2
Rolnictwo					
– wariant górny	5,7	5,6	5,0	4,6	3,2
– wariant dolny		5,5	4,8	4,5	3,1
Handel i usługi					
– wariant górny	17,0	16,0	18,0	19,0	20,7
– wariant dolny		15,9	17,5	18,9	20,0
Gospodarstwa domowe					
– wariant górny	20,8	20,2	20,7	21,0	21,5
– wariant dolny		20,0	20,3	20,0	20,0
Zapotrzebowanie finalne (razem)	100	100	100	100	100



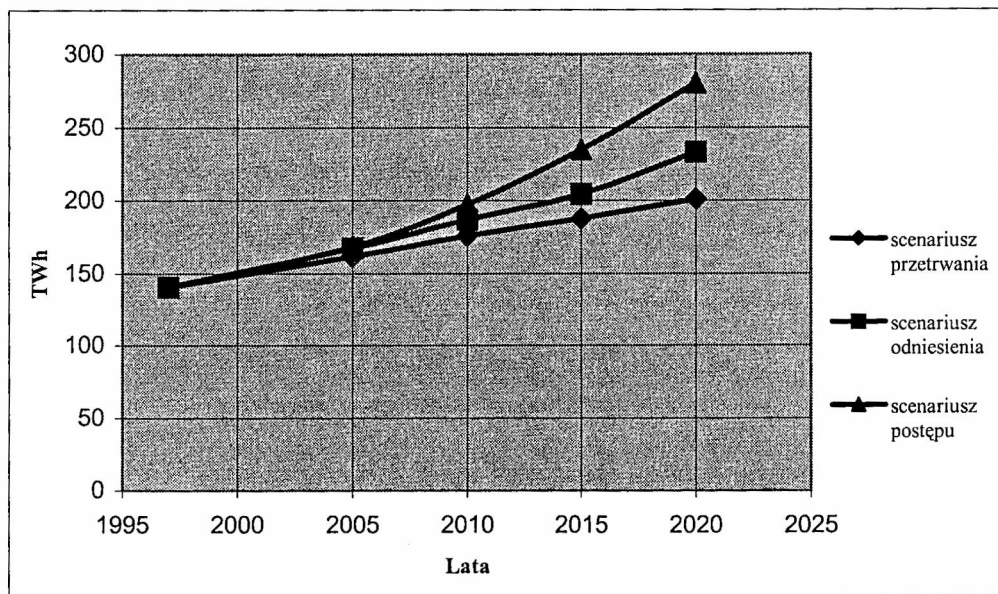
Rys. 1.6. Struktura zapotrzebowania finalnego na energię elektryczną
w podziale na grupy odbiorców w wariantie górnym

Fig. 1.6. Structure of final demand of electric energy with partition into consumer groups
(variant of maximum demand)



Rys. 1.7. Struktura zapotrzebowania finalnego na energię elektryczną w podziale na grupy odbiorców w wariantie dolnym

Fig 1.7. Pattern final demand of electric energy with partition into consumer groups (variant of minimum demand)



Rys. 1.8. Prognoza zapotrzebowania na energię elektryczną

Fig. 1.8. Forecast demand of electric energy

Tabela 1.5. Prognoza zapotrzebowania na energię elektryczną w TWh [50, 156]

Table 1.5. Forecast demand of electric energy in TWh [50, 156]

Scenariusz	1997	2005	2010	2015	2020
przetwarzania	140,5	161,8	175,9	187,7	201,0
odniesienia	140,5	167,6	186,9	204,4	233,2
postępu	140,5	168,5	197,5	234,7	280,0

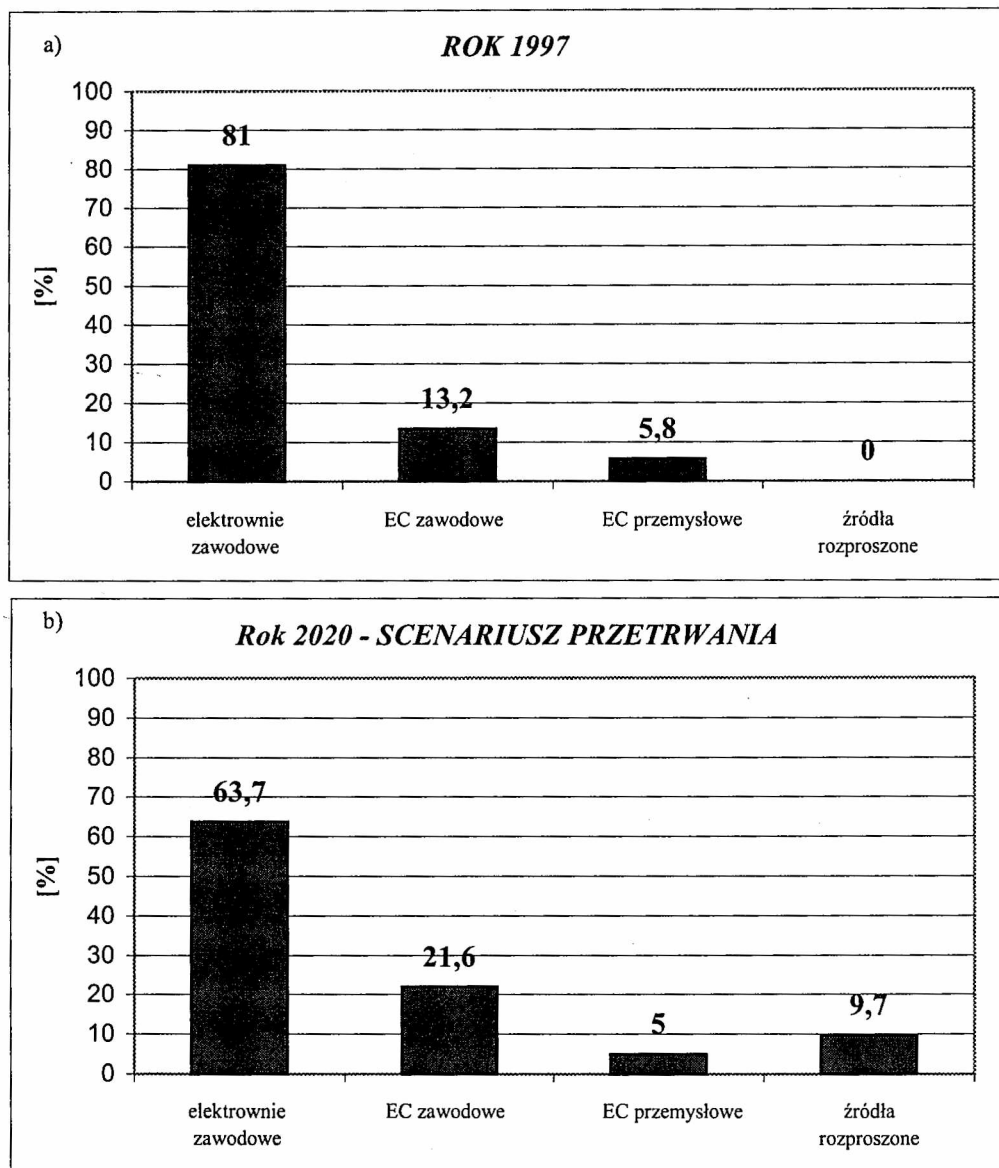
Tabela 1.6. Struktura produkcji energii elektrycznej wg rodzajów źródeł [50, 156]

Table 1.6. Pattern of electric energy production according to types of energy sources [50, 156]

Scenariusz	Wyszczególnienie	%
1997	Elektrownie zawodowe	81,0
	EC zawodowe	13,2
	EC przemysłowe	5,8
	Źródła rozproszone	0,0
2020 przetwarzania	Elektrownie zawodowe	63,7
	EC zawodowe	21,6
	EC przemysłowe	5,0
	Źródła rozproszone	9,7
2020 odniesienia	Elektrownie zawodowe	58,6
	EC zawodowe	20,6
	EC przemysłowe	4,3
	Źródła rozproszone	16,5
2020 postępu	Elektrownie zawodowe	65,2
	EC zawodowe	14,0
	EC przemysłowe	4,7
	Źródła rozproszone	16,1

mi rozwojowymi. Dlatego planowanie układów energetycznych jest zadaniem trudnym i jednocześnie bardzo odpowiedzialnym, gdyż w przypadku przeszacowania zapotrzebowania na energię następuje przeinwestowanie urządzeń energetycznych kosztem innych inwestycji przemysłowych. W przypadku niedoszacowania mogą występować poważne straty gospodarcze, wywołane brakiem energii i hamowaniem w ten sposób rozwoju przemysłu [24]. Zapotrzebowanie na energię elektryczną w okresie 2005–2020 wykazuje bardzo dynamiczny wzrost (tab. 1.5 i rys. 1.8).

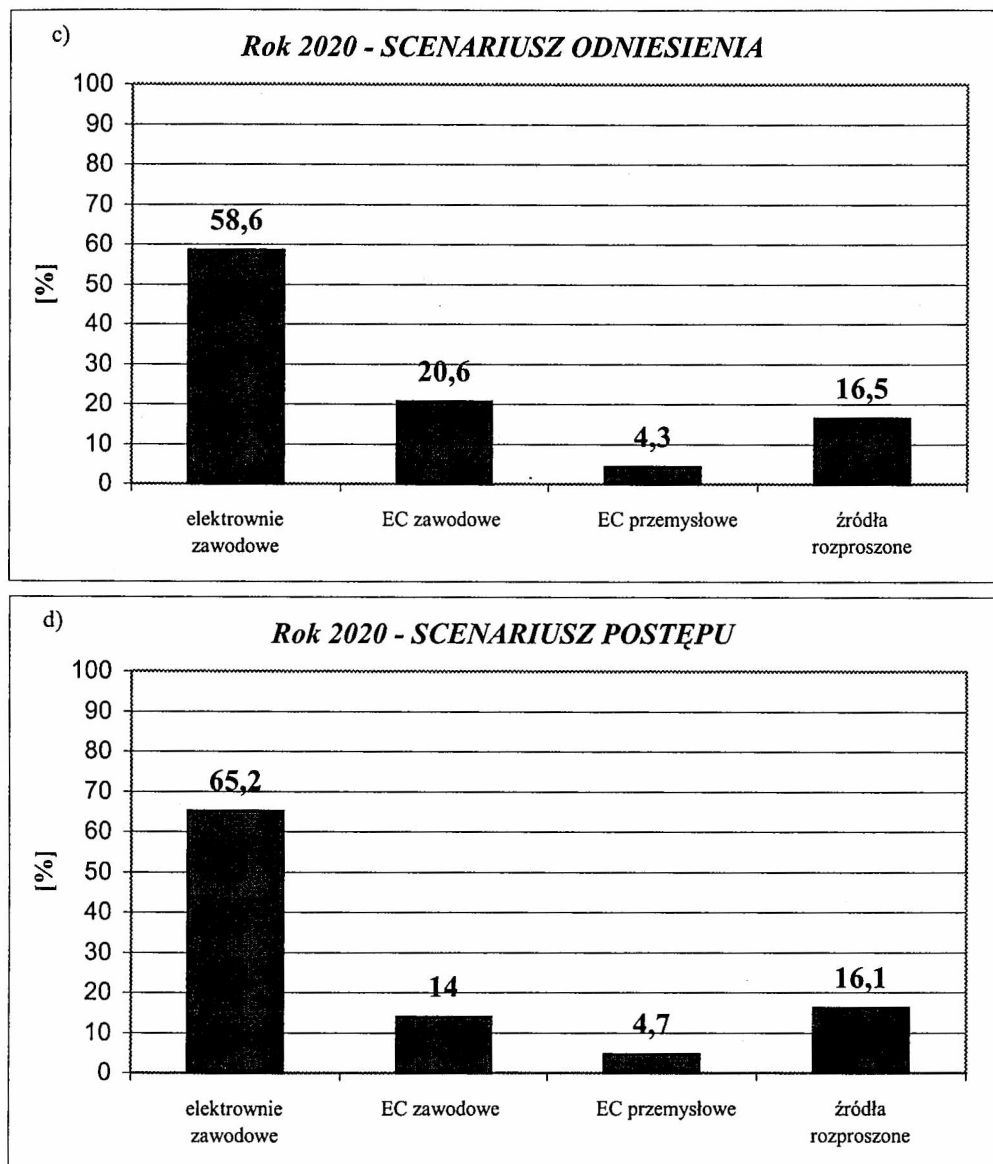
W tabeli 1.6 oraz na rys. 1.9 przedstawiono przewidywaną strukturę produkcji energii elektrycznej według rodzajów źródeł. Okazuje się, że na przykład w roku 1997 energia



Rys. 1.9a, b. Struktura produkcji energii elektrycznej według rodzajów źródeł w poszczególnych scenariuszach

Fig. 1.9a, b. Pattern of electric energy production according to types of energy sources in particular scenarios

pochodziła praktycznie wyłącznie z elektrowni zawodowych dużej mocy. W horyzoncie roku 2020 struktura źródeł ulega dość istotnym zmianom wskutek rozwoju źródeł rozproszonych (małej mocy), produkujących w skojarzeniu ciepło i energię elektryczną, głównie na bazie gazu ziemnego. Rozwój ten jest znaczący w scenariuszach odniesie-



Rys. 1.9c,d. Struktura produkcji energii elektrycznej wg rodzajów źródeł w poszczególnych scenariuszach

Fig. 1.9c,d. Pattern of electric energy production according to types of energy sources in particular scenarios

nia i postępu. Jednak zmieniająca się sytuacja gospodarcza kraju znajdzie z pewnością odzwierciedlenie w korekcie przedstawionych scenariuszy rozwoju kraju i pozwoli na ocenę, a także na ustosunkowanie się do zaproponowanego dokumentu.

Struktura współczesnej gospodarki energetycznej jest niezwykle skomplikowana, gdyż składa się na nią wiele jakościowo różnych elementów, połączonych rozgałęzionymi powiązaniem. Ze względu na kryteria ekonomiczne i techniczne możliwa jest wzajemna substytucja rodzajów paliw i energii na etapie końcowego wykorzystania. Łatwy dostęp do nowych technologii, urządzeń energetycznych i elektrycznych sprawia, że potrzeby można realizować za pomocą wielu form energii i z wykorzystaniem różnych nośników. Podstawowym celem wprowadzenia mechanizmów rynku w infrastrukturalnych sektorach zaopatrzenia w energię jest z założenia poprawa efektywności i ograniczenia kosztów. W programach rozwoju polityki energetycznej należy więc uwzględniać analizę relacji cenowych nośników energii, zmian w technologii pozyskania i przetwarzania energii, a także problemów związanych z wyczerpywaniem poszczególnych surowców energetycznych, gdyż czynniki te rzutują na poziom przyszłych potrzeb energetycznych. Ich zaspokajanie wymaga określenia niezbędnych nakładów inwestycyjnych w sektorze paliwowo-energetycznym. Opóźnienia energetyczne ograniczają rozwój całej gospodarki, prowadząc do poważnych perturbacji, czego przykładem może być tzw. kryzys kalifornijski w 2000 roku. Ujawnia się nieadekwatność infrastrukturalnego sektora zaopatrzenia w energię do potrzeb gospodarki i społeczeństwa.

Podstawowe dokumenty wytyczające strategię państwa w obszarze zaopatrzenia w energię [8, 29, 98] wymieniają następujące zjawiska decydujące o zmianach w sektorze energii i w jego otoczeniu:

- przyśpieszenie procesów globalizacji rynków, w tym również energetycznych, wraz z najważniejszym dla Polski europejskim rynkiem energii,
- odchodzenie od modelu monopolu energetycznych w większości krajów wysokorozwiniętych,
- deregulację i liberalizację praktycznie wszystkich rodzajów działalności przedsiębiorstw energetycznych,
- decentralizację struktur zarządzania sektorem,
- gwałtowny rozwój technik informatycznych.

Odejście od centralnego sterowania gospodarką, także energetyczną i transformacja ku gospodarce rynkowej powodują, że zmienia się funkcja modeli globalnych. Ustawa Prawo Energetyczne z dn. 10 kwietnia 1997 roku (wielokrotnie modyfikowana i nowelizowana) obejmuje założenia polityki energetycznej zgodne z zasadą zrównoważonego rozwoju kraju, planowanie systemów zaopatrzenia kraju w paliwa i energię, współdziałanie z samorządami terytorialnymi, sformułowanie zadań dla przedsiębiorstw energetycznych (przesyłanie i dystrybucja), między innymi spółek dystrybucyjnych w zakresie obecnych i przyszłych potrzeb dotyczących paliw gazowych i energii elektrycznej na obszarze gminy, a także sporządzanie prognoz.

Cechą gospodarki planowej był brak konkurencji produktów na rynku wewnętrznym. Skala popytu i stopień jego zaspokojenia były określone przez centralnego planistę. Przemysł uzyskiwał wpływy finansowe za wykonanie planu produkcji, a nie za sprzedaż swoich wyrobów. Linie technologiczne były długo eksploatowane. Proces unowocześnienia tech-

nologii odbywał się drogą inwestowania w nowe środki produkcji bez równoczesnej modernizacji istniejących i przy wysokim zatrudnieniu. Powolny postęp techniczny i brak korelacji rozmiaru i asortymentu produkcji z potrzebami odbiorcy, charakterystyczny dla gospodarki planowej, wpływały na przebieg obciążeń w systemie elektroenergetycznym. Cechą charakterystyczną było to, że energetyka nie opierała się na regułach efektywności ekonomicznej i koszty energii, szczególnie w przemyśle, nie były brane pod uwagę. Kształt przebiegu obciążeń elektrycznych zależał od potrzeb, bez ograniczeń ekonomicznych, jakie w gospodarce rynkowej narzuca wymóg rentowności firm. Dla różnych branż przemysłu można było określić typowe unormowane przebiegi obciążenia dobowego.

Dotychczas do zarządzania systemem elektroenergetycznym wystarczały prognozy:

- krótkoterminowe: z wyprzedzeniem na 1 godzinę, tydzień, miesiąc, rok,
- wieloletnie: z wyprzedzeniem na 1 rok, 5, 10, 15, 20 lat.

Z chwilą gdy obrót energią elektryczną staje się przedmiotem gry giełdowej, potrzebne są prognozy z wyprzedzeniem krótszym niż godzina i wzrastają wymagania odnośnie do dokładności. Prognozy krótkoterminowe służą do:

- bieżącego zarządzania pracą elektrowni i sieci przesyłowej,
- planowania remontów bieżących,
- planowania zakupu wsadu technologicznego (paliwo do elektrowni ciepłych),
- zarządzania zbiornikami elektrowni wodnych itp.

Pojawiła się też nowa klasa prognoz o skrajnie krótkich horyzontach czasowych VSTLF (*Very-Short Term Load Forecasting*), wykorzystywana do sterowania predyktywnego.

Prognozy wieloletnie służą do planowania remontów kapitalnych w systemie elektroenergetycznym oraz formułowania jego strategii rozwojowej.

Jednym z warunków rozwoju gospodarczego jest sprecyzowanie potencjalnej strategii rozwoju krajowego rynku energii. Istotny wpływ na zarządzanie stroną popytową DSM (*Demand-Side Management*) i stroną podażową SSM (*Supply-Side Management*) w sektorze zaopatrzenia w ciepło odgrywają dwie Dyrektywy UE: 2002/91/EC oraz 2003/54/EC o promocji kogeneracji. Zmiany systemu gospodarczego w Polsce spowodowały podjęcie wielu działań inicjujących rozwój regionalnej gospodarki energetycznej.

Udział paliw stałych w całkowitym zużyciu nośników przy wytwarzaniu ciepła wyniósł w 1995 r. ok. 96% w elektrociepłowniach zawodowych, ok. 70% w elektrociepłowniach przemysłowych oraz w granicach 87–98% w ciepłowniach [76]. Znaczący udział innych rodzajów paliw występował tylko w elektrociepłowniach przemysłowych, gdzie 12,4% paliwa zużytego w 1995 r. na produkcję ciepła stanowił olej opałowy. Udział gazu w elektrociepłowniach przemysłowych wynosił ok. 9%, natomiast w elektrociepłowniach zawodowych był minimalny.

Producentami energii są:

- elektrownie,
- elektrociepłownie i ciepłownie zawodowe,
- ciepłownie komunalne,
- lokalne źródła ciepła (indywidualne kotłownie, kotły, paleniska).

Sprawność wytwarzania energii elektrycznej w krajowych zawodowych elektrowniach kondensacyjnych o charakterze systemowym jest rzędu 35–38% [34, 51, 76]. Znaczny wpływ na ogólną sprawność systemu ma to, że energia z tych źródeł jest wytwarzana z dala od głównych odbiorców. W elektrociepłowniach klasycznych sprawność wytwarzania energii elektrycznej jest mniejsza, jednak całkowita sprawność wzrasta nawet do 82%, jako skutek skojarzenia z wydajnym procesem produkcji ciepła [68, 72]. W przyszłości obrót energią elektryczną w przeważającej części rynku odbywać się będzie w sposób hurtowy, natomiast ciepłem na rynkach lokalnych. Rozwój rynków lokalnych (w tym klasy wytwórców rozproszonych) zmniejszy dominację hurtowych rynków energii elektrycznej, obrót zaś ciepłem, ze względów technicznych, odbywać się będzie na lokalnych rynkach ciepła.

Strukturę zainstalowanej mocy w elektrowniach, produkcję energii według źródeł wytwarzania, wymianę energii i liczbę odbiorców w 2003 roku przedstawiono w tabelach 1.7–1.9.

Przyjmuje się, że między innymi Dania, Niemcy, Finlandia są krajami o zbliżonych rynkowych warunkach ekonomicznych i klimacie, porównywalnymi z Polską w zakresie roli gospodarki skojarzonej. Interesującą grupą źródeł pracujących na potrzeby ciepłowni

Tabela 1.7. Struktura mocy zainstalowanej w 2003 roku [35]

Table 1.7. Pattern of installed capacity in 2003 [35]

Wyszczególnienie	Moc zainstalowana MW	Produkcja energii	
		GWh	%
Elektrownie zawodowe na węgiel kamienny	20 684	82 659	57,7
Elektrownie zawodowe na węgiel brunatny	9 243	48 742	34,0
Elektrownie zawodowe wodne	2 121	3 722	2,6
Elektrownie przemysłowe	2 635	8 110	5,7

Tabela 1.8. Wymiana energii elektrycznej [35]

Table 1.8. Exchange of electric energy [35]

Import [GWh]	Eksport [GWh]
Niemcy 1 265,4	Czechy 8 355,6
Białoruś 799,6	Słowacja 2 293,1
Ukraina 587,9	
Szwecja 927,5	
Ogółem saldo (export) 7 068,3 GWh	

Tabela 1.9. Struktura odbiorców energii elektrycznej wg grup napięciowych [35]

Table 1.9. Pattern of electric energy consumers according to voltage groups [35]

Odbiorcy	Liczba odbiorców	Sprzedaż [GWh]
Odbiorcy na WN	256	24 347
Odbiorcy na SN	26 399	30 115
Odbiorcy na nN	15 440 190	45 379
w tym: lokale mieszkalne	11 434 596	21 689
Razem:	15 466 845	99 841

nictwa są obiekty energetyczne zlokalizowane w przemyśle, gdyż szacuje się, że ok. 50% ciepła wyprodukowanego w Polsce pochodzi ze źródeł energetyki przemysłowej. Jednostkowe nakłady na budowę nowych źródeł zniechęcają do nowych inwestycji, dlatego nie przewiduje się budowy nowych źródeł w obiektach przemysłowych. Scenariusz rozwoju tego sektora polegać będzie na likwidacji starych kotłów, wprowadzeniu modernizacji zmniejszających degradację środowiska i poprawiających sprawność przetwarzania energii [63, 114].

Restrukturyzacja sektora energetycznego powinna wykreować rynki lokalne, dotyczy to przede wszystkim rynków w obszarach miejskich, dla których zaopatrzenie w ciepło można realizować za pomocą scentralizowanych i lokalnych sieci ciepłych. Zapotrzebowanie na energię elektryczną z elektrociepłowni występuje głównie w miastach o liczbie mieszkańców powyżej 40 tysięcy. Inne mogą być zasilane z lokalnych elektrociepłowni małej mocy, z małych bloków ciepłowniczych z układami gazowymi, gazowo-parowymi lub silnikami gazowymi.

Głównym odbiorcą ciepła wytwarzanego w skojarzeniu jest scentralizowane ciepłownictwo. Największy udział (35%) w pokryciu zapotrzebowania w miejskiej gospodarce komunalnej ma energetyka zawodowa (tab. 1.10).

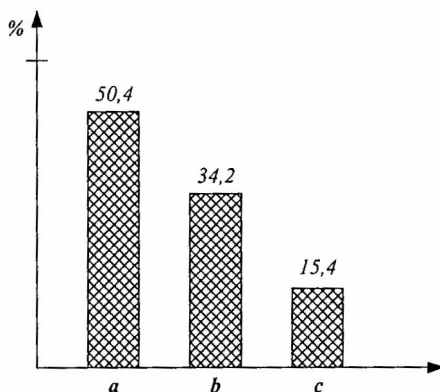
W większości opracowań planistycznych [50, 109, 156] przyjmuje się, że uwzględniając efekty racjonalizacji użytkowania energii w perspektywie 20 lat malejący poziom zapotrzebowania na ciepło nie zmienia się znacząco, gdyż będzie kompensowany wzro-

Tabela 1.10. Struktura zapewnienia zapotrzebowania na ciepło w Polsce [32, 35]

Table 1.10. Pattern that allows us to meet heat demand in Poland [32, 35]

Źródło energii	Udział w %
Energetyka zawodowa	35,0
Ogrzewanie indywidualne	27,0
Ciepłownie komunalne	20,0
Kotłownie wbudowane	11,0
Inne źródła	7,0

stem potrzeb ciepłych nowych odbiorców. Sektor komunalno-bytowy, głównie budownictwo mieszkaniowe, jest finalnym odbiorcą na rynku ciepła. Wariant ekorozwoju do 2005 r. szacuje te potrzeby na ok. 615 PJ, a dla całego sektora komunalno-bytowego na ok. 1220 PJ. Potrzeby komunalno-bytowe w rolnictwie są rzędu 418 PJ. Strukturę zapotrzebowania sektora do 2020 r. przedstawiono na rys. 1.10, przyjmując założenie, że potrzeby dla rolnictwa i usług są takie same jak w 1995 r.



Rys. 1.10. Zapotrzebowanie na ciepło w sektorze komunalno-bytowym w Polsce w 2020 roku:

a – budownictwo mieszkaniowe, szkoły, szpitale, b – produkcja rolnicza, c – usługi

Fig. 1.10. Heat demand in municipal sector in Poland in 2020:

a – apartment buildings, schools, hospitals, b – agricultural sector, c – services

Baza paliwowa sektora energetycznego oparta jest przede wszystkim na paliwach stałych. Problem transformacji gospodarki ze scentralizowanej na rynkową wymusza rozwój lokalnych rynków energii elektrycznej i ciepła. Zwiększa się zatem znaczenie i rola wytwórców i odbiorców energii. Konieczność podejmowania decyzji o inwestycjach energetycznych z dużym wyprzedzeniem czasowym nadaje szczególne znaczenie analizie i prognozowaniu w energetyce. Zła decyzja lub podjęta w niewłaściwym czasie prowadzi do strat u inwestora i odbiorcy.

Prognoza stanu systemu opiera się z reguły na niepełnej informacji i dlatego nie może jednoznacznie określać stanu systemu w przyszłości. Szczególnie w nowej rzeczywistości, gdy na gospodarkę coraz silniej oddziałują mechanizmy rynkowe. Brak dostatecznie pewnych danych w celu przewidywania dalszego rozwoju gospodarczego Polski i regionów sprawia, że nieuniknioną cechą jest niepewność, dlatego tworzy się prawdopodobne wariantowe scenariusze rozwoju.

W celu wyeliminowania niepewności dotyczącej przyszłości wielkich systemów energetycznych stosowane są zabiegi badawcze, między innymi poprzez udoskonalenie metodyki prognozowania i dostosowania metod predykcji do charakteru procesu.

1.2. Przekształcenia struktury produkcji przemysłowej w Polsce

W okresie międzywojennym Polska należała do grupy krajów słabo rozwiniętych ekonomicznie, o dominującej roli rolnictwa i niewielkim znaczeniu przemysłu oraz niskim poziomie rozwoju usług. Dlatego też potem za podstawowy kierunek uznano industrializację. Dotyczyło to nie tylko Polski, ale większości krajów socjalistycznych. Stosowana polityka izolacji od państw kapitalistycznych wymuszała natomiast szybkie tempo rozwoju własnego przemysłu, głównie produkcji maszyn i urządzeń, a także produkcji surowców i materiałów, od których uzależniona była rozbudowa i modernizacja gospodarki, a w konsekwencji przebudowa jej struktury [13, 17, 80].

W procesie uprzemysłowienia Polski wyróżnić można kilka charakterystycznych etapów. Lata 1944–1949 to odbudowa kraju ze zniszczeń wojennych, okres 1950–1953 charakteryzuje się wyjątkowo szybkim tempem rozwoju produkcji przemysłowej, wynoszącym 17,5–27,7% rocznie, czego nie osiągnięto w żadnych następnych latach. Okres ten odznacza się szczególnie szybkim rozwojem przemysłu i środków produkcji. Dużą uwagę zwracano na maksymalne wykorzystanie zdolności produkcyjnych wszystkich zakładów, w których prowadzenie produkcji było możliwe i to bez względu na wysokość kosztów wytwarzania. Było to nieodzowne wobec konieczności dostarczenia jak najwięcej maszyn, urządzeń i surowców, na które popyt był olbrzymi, możliwości ich importu zaś – znikome. Sprzyjały temu duże zasoby siły roboczej, a równocześnie potrzeba aktywizacji zawodowej społeczeństwa w celu możliwości zarobkowania. Duże środki przeznaczono na rozwój hutnictwa, przemysłu stocznioowego, samochodowego, maszyn górniczych i innych dziedzin przemysłu elektromaszynowego. Ponadto położono nacisk na rozszerzenie eksploatacji surowców mineralnych, aby uniezależnić się od importu. W tym okresie uruchomiono dwie kopalnie rud miedzi, kilka kopalń rud żelaza, kopalnię anhydritów, na bazie których powstała wytwórnia kwasu siarkowego, rozpoczęto budowę trzech kopalni węgla kamiennego oraz przekazano do eksploatacji dwie kopalnie. Wzrost zaopatrzenia na surowce, a równocześnie brak środków na ich zakup w innych krajach sprawił, że podjęto eksploatację wielu niskowartościowych złóż mineralnych. Lata 1950–1953 charakteryzują się wyjątkową dynamiką rozwoju przemysłu, zwłaszcza ciężkiego. Było to podyktowane szybkim wzrostem zapotrzebowania rozbudowującego się kraju oraz koniecznością oparcia się na własnej produkcji maszyn, urządzeń i surowców, gdyż pomoc zewnętrzna nie stwarzała możliwości innego ukierunkowania polityki uprzemysłowienia. Dzięki inwestowaniu rozwijały się nowe dziedziny przemysłu, które pozwalały na unowocześnianie produkcji przemysłowej i całej gospodarki.

W latach 1954–1958 tempo rozwoju produkcji i inwestycji w przemyśle uległo zahamowaniu. Było to spowodowane głównie niewielkimi możliwościami zwiększenia produkcji w istniejących zakładach bez ponoszenia nakładów na ich modernizację i rozbudowę. W konsekwencji cykl uruchamiania nowych zakładów, których budowę rozpoczęto poprzednio, ulegał wydłużeniu, rosły także koszty ich budowy.

Polityka forsownego rozwoju przemysłu środków produkcji i trudności zewnętrzne spowodowały dysproporcje w rozwoju poszczególnych działów gospodarki. Ograniczając więc nowe inwestycje, dążono do szybkiego zakończenia budów i przekazania do eksploatacji obiektów już rozpoczętych. Z kolei większe nakłady skierowano na rozbudowę zakładów przemysłowych wytwarzających środki produkcji dla rolnictwa oraz dobra konsumpcyjne. O skali przemian jakie dokonały się w latach 1950–1958 świadczy 3,8-krotny wzrost produkcji globalnej przemysłu środków produkcji, głównie przemysłu maszynowego i środków transportu, 2,5-krotny wzrost produkcji stali, zapoczątkowano również produkcję miedzi i aluminium, prawie 3-krotnie więcej wytwarzano energii elektrycznej, 2-krotnie zwiększono produkcję cementu. Zakończenie większości rozpoczętych w sześciolatce 1951–1956 inwestycji zamyka ten etap industrializacji kraju.

Okres 1959–1970 charakteryzuje się przemianami strukturalnymi i modernizacją przemysłu, rozszerzeniem zakresu i polepszeniem jakości produkcji. W tym celu dokonano zmian w rozwoju przemysłu i w całej gospodarce, między innymi preferowano wzrost produkcji rolnej, w związku z czym inwestowano w rozbudowę przemysłu nawozów sztucznych (prawie 4-krotny wzrost produkcji nawozów azotowych i fosforowych) i przemysłu maszyn rolniczych.

Rekonstrukcja i rozwój gospodarki wymagały coraz większego importu różnorodnych dóbr i surowców. Powodowało to poważne trudności w zrównoważeniu handlu zagranicznego, dlatego wyłoniła się konieczność modernizacji wielu dziedzin przemysłu wytwarzających wyroby przeznaczone na eksport. Rozwinięto na znaczną skalę na przykład przemysł stoczniowy, przemysł taboru kolejowego, zwiększano produkcję maszyn budowlanych i innych urządzeń znajdujących zbyt na rynkach międzynarodowych, a także eksportowano kompletne obiekty przemysłowe. Duże środki przeznaczono na rozbudowę górnictwa węgla kamiennego, szczególnie koksującego, a także węgla brunatnego, siarki oraz górnictwa i przetwórstwa miedzi.

Znacznie większą uwagę niż poprzednio zwrócono na rozwój branży chemicznej, w tym przemysłu włókien sztucznych, kosmetyczno-perfumeryjnego i farmaceutycznego. Średnie roczne tempo przyrostu produkcji było również wysokie i wynosiło 8,8–8,4%. Błędy w realizacji zadań tego etapu industrializacji doprowadziły do powstania licznych napięć w gospodarce. Wyraziło się to między innymi w zbyt niskim wzroście przeciętnych płac i spożycia. Wystąpiły duże trudności w zrównoważeniu dochodów ludności z podażą dóbr konsumpcyjnych będące wynikiem między innymi spadku produkcji rolnej. Nie osiągnięto zbilansowania podaży z popytem na materiały budowlane, maszyny i urządzenia. Duże napięcia wystąpiły także w zrównoważeniu importu i eksportu, między innymi z powodu niekorzystnego dla Polski ukształtowania się cen wielu wyrobów importowanych na rynkach światowych.

Okres ten charakteryzuje się znacznymi przekształceniami w strukturze produkcji, wzrostem udziału przemysłu elektromaszynowego, chemicznego i górnictwa, co przyczyniło się do rozwoju i modernizacji rolnictwa, budownictwa i innych działów gospodarki oraz eksportu.

Kolejne etapy industrializacji

Industrializacja lat siedemdziesiątych polegała głównie na zmianach jakościowych w produkcji związanych z procesami modernizacyjnymi. Tempo wzrostu nakładów inwestycyjnych w okresie 1971–1975 było bardzo duże. W roku 1971 ich przyrost w przemyśle wynosił 10,4%, w 1972 r. – 34,6%, w kolejnych latach zaś 26,7%, 22,2% oraz 17%. Po 1975 roku tempo to uległo znacznemu zmniejszeniu (w 1976 r. wynosiło tylko 3%).

Przejawem zmian ilościowych po 1970 roku było przyspieszenie tempa wzrostu produkcji globalnej przemysłu. W latach 1971–1975 tempo to wyniosło średnio rocznie 10,5%, gdy w latach 1966–1970 kształtowało się na poziomie 8,4%. W latach 1976–1978 uległo obniżeniu do 6,9%. Należy zaznaczyć, że na wysokie ukształtowanie się wskaźnika tempa wzrostu pewien wpływ wywarły zmiany cen.

Celem polityki gospodarczej w latach siedemdziesiątych była modernizacja przemysłu i podniesienie standardu nowoczesności produkcji. Modernizacje ułatwiły pożyczki zagraniczne, stwarzając możliwość zakupów nowoczesnych maszyn i urządzeń, wprowadzania nowych technologii oraz korzystania z licencji i współpracy w ramach kooperacji. Ponadto położono akcent nie na tworzenie nowych dziedzin przemysłu, lecz na specjalizację wybranych gałęzi i branż.

Cechą charakterystyczną tego okresu jest prowadzona na szeroką skalę rozbudowa i modernizacja przemysłu lekkiego i spożywczego. Powstało wiele nowych zakładów wyposażonych w nowoczesne maszyny, urządzenia i liczne technologie, wymieniono park maszynowy. Większe nakłady skierowano na rozwój pozostałych dziedzin przemysłu środków konsumpcji.

Od 1976 r. tempo inwestowania w przemyśle uległo obniżeniu, między innymi z powodu trudności w zrównoważeniu popytu i podaży na rynku dóbr konsumpcyjnych. Duży import pasz i zbóż oraz wyrobów hutniczych pogorszył zrównoważenie bilansu handlu zagranicznego, rozpoczęto także spłaty uzyskanych uprzednio kredytów zagranicznych oraz wystąpiły trudności w zwiększeniu polskiego eksportu. Jednak mimo pojawienia się pewnych dysproporcji w gospodarce, zarówno wskutek dużego tempa rozwoju inwestycji przemysłowych, jak i przeszkód zewnętrznych, osiągnięcia w industrializacji kraju po 1970 r. były duże. Wzrosła rola przemysłu w całości gospodarki ze względu na globalne rozmiary produkcji, udziału w tworzeniu dochodu narodowego, a także w związku z podniesieniem poziomu nowoczesności i zmianami w strukturze produkcji. Wywarło to istotny wpływ na inne działy gospodarki, na przykład duży postęp w mechanizacji rolnictwa, budownictwie oraz wdrażaniu w większym zakresie nowych technologii. Wzrosła też ranga przemysłu jako eksportera różnorodnych dóbr i partnera w dziedzinie kooperacji z zagranicą.

Niektóre dane ilustrujące strukturę gospodarki narodowej przedstawiono w tab. 1.11–1.14. Mimo przemian, jakie zachodzą w polskiej gospodarce po 1990 roku nadal największymi odbiorcami nośników energii, głównie energii elektrycznej, są huty i kopalnie. Obecnie od kilku lat bardzo szybko rozwija się przemysł motoryzacyjny i wielkie sieci handlowe. W przemyśle na Śląsku w ostatnich latach zachodzą olbrzymie zmiany. Re-

Tabela 1.11. Struktura tworzenia PKB [75, 104]
Table 1.11. Structure of Gross Domestic Product creation [75, 104]

Wyszczególnienie	1997	Scenariusze 2020		
		przetwarzania	odniesienia	postępu
PKB (mld zł 1995)	346,8	580,0	854,8	1188,2
PKB (%), w tym:	100	100	100	100
przemysł przetwórczy z budownictwem	25,8	35,5	25,1	29,2
sektor energetyczny (%)	6,2	6,4	5,2	4,0
rolnictwo (%)	5,7	4,9	4,2	2,2
usługi (%)	44,3	38,6	44,6	46,5

Tabela 1.12. Struktura zatrudnienia w tys. osób [75, 104]
Table 1.12. Employment structure in thousands persons [75, 104]

Wyszczególnienie	1995	2000
Ludność	38 505	38 650
Zatrudnienie ogółem, w tym:	8 567,7	8 301,4
– zatrudnienie w przemyśle	3 266,0	2 809,3
– zatrudnienie w sektorze energetycznym	612,4	484,9

Tabela 1.13. Struktura produkcji globalnej w wybranych gałęziach przemysłu w % [75, 104]
Table 1.13. Structure of global production in chosen industrial branches in % [75, 104]

Wyszczególnienie	1960	1970	1980	2002
Przemysł paliwowo-energetyczny	11,8	10,3	8,0	10,2
w tym: węglowy	7,7	5,2	3,6	3,6
Przemysł metalurgiczny	12,6	11,3	10,0	4,8
w tym: hutnictwo żelaza	9,6	8,3	6,5	3,2
Przemysł elektromaszynowy	15,9	22,7	33,7	9,1
Przemysł chemiczny	5,6	8,9	9,4	9,5
Przemysł lekki	15,5	13,6	12,3	4,2
Przemysł spożywczy	16,8	17,9	15,4	21,2

Tabela 1.14. Wydobyte węgla kamiennego w mln t [35, 75, 104]
Table 1.14. Coal output in mln t [35, 75, 104]

Wyszczególnienie	1950	1960	1970	1980	2002
Polska	78	104	140	195	103
Świat	1433	1966	2126	2500	3711

strukturyzacja górnictwa, hutnictwa i pozostałej części przemysłu ciężkiego spowodowała, że zamknięto wiele zakładów, a te, które przetrwały, w miarę możliwości wprowadzają energooszczędne technologie. W przemyśle, jak i w całej gospodarce, z roku na rok maleje liczba przedsiębiorstw państwowych, powstają spółki i inne podmioty prywatne.

Zmiany w strukturze polskiej gospodarki dokonały się w wyniku procesu przekształceń własnościowych. Proces ten, zainicjowany na początku lat dziewięćdziesiątych objął większość z 8453 przedsiębiorstw państwowych. W przemyśle zmiany formalno-prawne przeprowadzono w 2573 przedsiębiorstwach.

Większość spośród tych podmiotów skomercjalizowano (46,5%), prywatyzacja bezpośrednia dotyczyła 28,1%, procedura likwidacyjna zaś 25,5% zakładów.

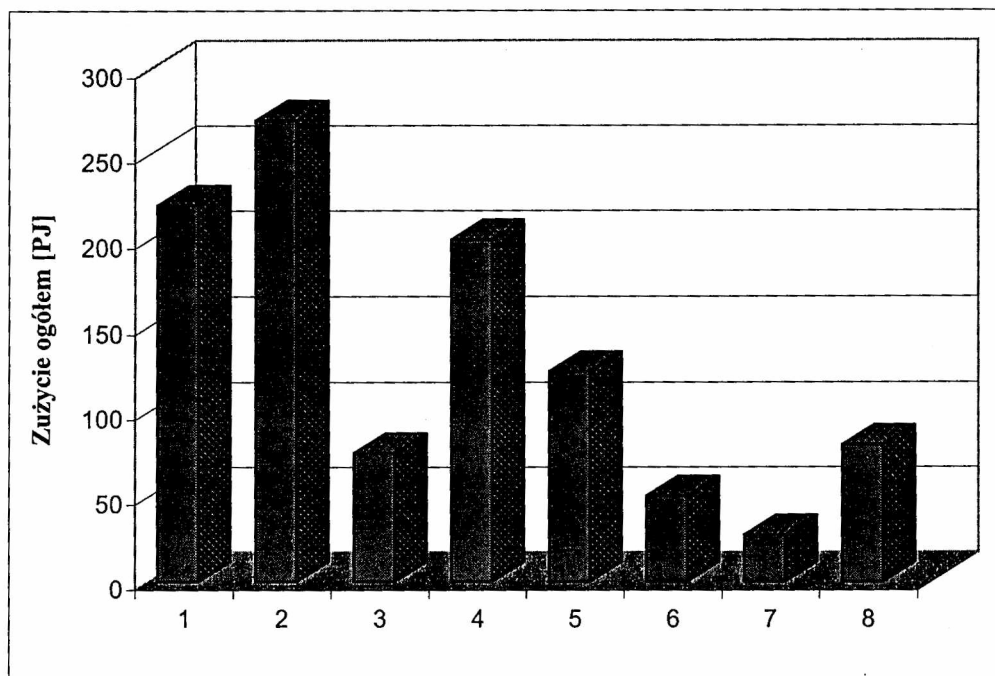
Dokonywana w Polsce transformacja gospodarki określa również przesłanki rozwoju i przekształceń strukturalnych w sektorze przemysłowym [35]. W Polsce można zaobserwować znaczną zmienność energochłonności. W latach 1950–1970 odnotowano najwyższe w skali światowej tempo spadku energochłonności, którego główną przyczyną był intensywny rozwój gospodarczy. Wzrost energochłonności w latach 1977–1982 był natomiast spowodowany głównie kryzysem gospodarczym. Kolejny spadek energochłonności, po roku 1982, był wywołany wzrostem aktywności gospodarczej i w niewielkim stopniu był związany z realizacją programów racjonalizacyjnych. Następny wzrost energochłonności nastąpił w latach 1990–1991 w wyniku recesji w gospodarce.

W porównaniach międzynarodowych występuje bardzo wyraźna zależność ocen od wybranego punktu odniesienia. Przypadkowe porównania energochłonności polskiej gospodarki do krajów wysoko uprzemysłowionych mogą prowadzić do wyciągania błędnych wniosków [3, 4]. Niezależnie jednak od różnicy w ocenach, do podstawowych przyczyn wyższej energochłonności gospodarki polskiej w porównaniu do wielu krajów uprzemysłowionych można zaliczyć m.in.:

- niewłaściwą strukturę zużycia paliw i energii zasadniczo odbiegającą od struktury w porównywalnych krajach,
- nadmierny udział branż energochłonnych jako skutek realizacji złej polityki makroekonomicznej,
- przestarzałe i mało efektywne technologie i urządzenia,
- zasadnicze różnice w ocenie parytetu waluty krajowej w odniesieniu do USD (KB, PPP),
- szara strefa działalności gospodarczej.

Sytuacja gospodarcza kraju wymaga poznania czynników wpływających na wielkość zapotrzebowania na energię w różnych jej postaciach. Spośród wszystkich działów gospodarki, największą ilość energii pochłania przemysł. Planisci podejmując decyzję o rozwoju danej gałęzi przemysłu, czyli określonych produktów muszą oszacować nie tylko wielkość zamierzonej produkcji, ale również możliwość zapewnienia potrzebnych surowców i paliw.

Celem ilustracji na rys. 1.11 pokazano bezpośrednie zużycie energii w 2000 roku [35, 75, 104] w poszczególnych gałęziach przemysłu. Dalszy rozwój produkcji przemysł-



Rys. 1.11. Zużycie bezpośrednie nośników energetycznych w poszczególnych gałęziach przemysłu:
 1 – paliwowo-energetyczny, 2 – metalurgiczny, 3 – elektromaszynowy, 4 – chemiczny, 5 – mineralny,
 6 – drzewno-papierniczy, 7 – lekki, 8 – spożywczy, 9 – pozostały

Fig. 1.11. Direct consumption of power sources in the following industrial branches:
 1 – fuel and power, 2 – metallurgical, 3 – electromechanical, 4 – chemical, 5 – mineral,
 6 – wood and paper-maloing, 7 – light, 8 – food, 9 – remaining

wej, szczególnie w branżach energochłonnych, musi więc odbywać się drogą racjonalizacji zużycia energii, a nie tylko kosztem jej wzrostu. Na podstawie szeregu opracowań studialnych można stwierdzić, że to wymusi znaczne zmiany w strukturze bilansu paliwowo-energetycznego.

1.3. Makroekonomiczne uwarunkowania potrzeb energetycznych w procesach produkcyjnych

Zapotrzebowanie na energię jest ważnym elementem w gospodarce narodowej, stanowi bowiem o możliwości prowadzenia procesów produkcyjnych pozwalających na wytworzenie dóbr i świadczenie usług. Stwarza również impulsy do kolejnego cyklu gospodarowania. Gospodarka zatem, w której nośniki energii nie zaspokajałyby potrzeb przemysłu nie mogłyby prawidłowo funkcjonować [15, 25, 66].

W gospodarce rynkowej korzystanie z dostępnych na rynku nośników energetycznych, służących realizacji określonych procesów przemysłowych, uwarunkowane jest posiadaniem przez nabywcę zasobów pieniędzy. Powstają one w wyniku zaangażowania w procesach gospodarowania własnych kapitałów oraz w przeważającej liczbie zakładów przemysłowych, w wyniku sprzedaży wytwarzanych produktów. Ekonomiczne determinanty użytkowania energii są zróżnicowane w czasie i przestrzeni (tab. 1.15).

Tabela 1.15. Determinanty zachowań odbiorców
Table 1.15. Determinants of consumers' behaviour

Czynniki	Podmiot	
	indywidualny	przemysłowy
kulturowe	+	
społeczne	+	+
osobiste	+	
psychologiczne	+	+
ekonomiczne	+	+

Kategoria zużycia energii może być rozpatrywana dwojako. Z jednej strony stanowi proces zaspokajania potrzeb odbiorców związanych z wytwarzaniem produktów i usług, a z drugiej – rozpatrywana w skali makroekonomicznej – jako dobro wytworzone w gospodarce, które w danym czasie jest przeznaczone do użytkowania przez odbiorców.

Wielkość wytworzonego produktu narodowego i jego struktura w dużym stopniu warunkuje poziom zużycia nośników energii i ich układ przedmiotowy. Modyfikacja wytworzonego produktu narodowego następuje poprzez wymianę międzynarodową, ale zwykle zakres tej wymiany jest ograniczony możliwością umieszczenia na rynkach zagranicznych towarów wyprodukowanych w danym państwie oraz warunkami zakupu określonych asortymentów za granicą. W gospodarce rynkowej równowagę oddziaływania mechanizmów rynkowych zapewniają efektywność procesów gospodarowania.

Uwarunkowania oraz zapotrzebowanie na energię przez poszczególne zakłady przemysłowe mają w dużej mierze charakter makroekonomiczny i wynikają z ukształtowanego poziomu i struktury przedmiotowej produktu narodowego, a także z przyjętych w danej gospodarce zasad jego podziału i trybu realizacji tego podziału.

Z punktu widzenia aspektów badawczych można przyjąć różne kryteria klasyfikacji potrzeb energetycznych. Do podstawowych należą:

- grupy odbiorców przemysłowych,
- rodzaje nośników energii,
- organizacja procesów użytkowania energii.

Ekonomia formułuje teorie, których celem jest wskazanie możliwości rozwiązania problemów związanych z procesem gospodarowania oraz zaspokajania potrzeb zarówno

w skali makro, jak i mikro. Zapewnienie wymaganych ilości energii jest związane z wykorzystaniem dostępnych zasobów. Problem ich ograniczoności może stanowić środowiskową barierę wzrostu gospodarczego. Dzięki rozwojowi nauki i techniki istnieje możliwość zmniejszenia zużycia energii w procesach produkcyjnych, stąd wzrasta zainteresowanie powiązaniem zjawisk ekonomicznych i racjonalnym wykorzystaniem zasobów energetycznych [7, 113, 144, 160].

Jednowymiarowość analizy energetycznej powoduje, że mierniki oparte na jednostkach energii nie ulegają zmianom pod wpływem wahań koniunkturalnych lub strukturalnych, na które reagują mierniki wyrażone w pieniądzu. Z powodzeniem można zatem wykorzystywać mierniki energetyczne jako uzupełnienie mierników pieniężnych w opisywaniu sytuacji gospodarczej danego kraju.

Kierunek badań analizy energetycznej dotyczący porównań energochłonności rzeczywistych procesów technologicznych z energochłonnością procesów zachodzących w warunkach idealnych jest przydatny dla specjalistów, którzy prowadzą doświadczenia nad sprawnością procesów technologicznych. Ten rodzaj analizy jest wykorzystywany przez ekonomistów przy wyborze projektu inwestycyjnego lub ocenie kierunku postępu technologicznego.

W analizie energetycznej systemów porównuje się globalne nakłady energii z globalnymi miernikami rozwoju społeczno-gospodarczego, czyli energię wewnętrzną systemu (danej gospodarki) z wytworzonym dochodem narodowym [5, 10, 109]. Ponieważ jednak badania te nie przedstawiają szczegółowej analizy wykorzystania poszczególnych rodzajów energii w różnych działach gospodarki, nie można dokładnie ocenić problemu jakości energii.

Tempo wzrostu gospodarczego określa się najczęściej na podstawie dwuskładnikowej funkcji produkcji, opartej na kapitale i pracy. Energia nie jest traktowana jako istotny czynnik wzrostu gospodarczego, chociaż jest siłą sprawczą wszelkich procesów ekonomicznych, bez niej nie byłby możliwy rozwój. Prawdziwe jest stwierdzenie, że dzięki dużej ilości energii można wytwarzać każde niezbędne dobro, strumień energii powinien zatem znajdować się w centrum zainteresowania nauk ekonomicznych.

Analiza wzrostu gospodarczego oparta na czteroskładnikowej funkcji produkcji uwzględnia kapitał K , zasób siły roboczej L , użyteczne zasoby energii odnawialnej i nieodnawialnej S oraz wiedzę teoretyczną T .

Jeżeli oznaczy się relacje pomiędzy zasobem a strumieniem energii wykorzystanej jako R , to

$$R = R_x - S_x, \quad S_x < 0 \quad (1.1)$$

gdzie: R_x – odnawialny strumień energii,

S_x – stopa zużycia wyczerpywalnych zasobów energetycznych Ziemi.

Wzrost wiedzy teoretycznej T jest wprost proporcjonalny do postępu naukowo-technicznego

$$T = f(N, J) = Nj, \quad j > 0 \quad (1.2)$$

gdzie: J – aktualna stopa dyfuzji wiedzy teoretycznej w postaci kapitału trwałego,
 N – liczba ludności.

Funkcja produkcji Y uwzględniająca powyższe składniki ma postać

$$Y = F(K, L, R) \quad (1.3)$$

Jeżeli F będzie traktowane jako miara ilości użytecznej energii w dochodzie narodowym, to efektywność E będzie wprost proporcjonalna do F/R

$$E = F(K, L, R) / R \quad (1.4)$$

lub w postaci zredukowanej

$$E = g/r \quad \text{lub} \quad r = g/E \quad (1.5)$$

gdzie $g = F/N$.

Lepsza wydaje się być funkcja produkcji Bergstroma w postaci

$$F(K, L, R) = [1 - \exp(-\chi K/R)] R \quad (1.6)$$

lub w postaci rozszerzonej

$$F(K, L, R) = 1 - \exp[-\Pi(K, L)/R]R \quad (1.7)$$

gdzie: (K, L) jest funkcją Cobb-Douglasa.

Ta rozszerzona funkcja produkcji obarczona jest podobnymi problemami związanymi z kwestią interpretacji i obrachunkami, tak jak w przypadku modeli tradycyjnych. Dotychczasowy dorobek badań nad funkcjonowaniem gospodarki energetycznej w dużej części jest poświęcony zagadnieniom poziomu i struktury potrzeb różnych grup odbiorców energii oraz analizie ich uwarunkowań. Rosnące potrzeby związane z rozwojem gospodarki narodowej wymuszają konieczność zidentyfikowania czynników kształtujących zapotrzebowanie na energię, zwłaszcza w przemyśle. Wzrost cen nośników energii powinien zwiększyć zainteresowanie specjalistów i instytucji planujących rozwój gospodarki narodowej. Dlatego tak ważne są badania energooszczędności procesów produkcyjnych [9, 16, 126, 127, 129, 141]. Istotnym elementem działań w kierunku ekonomiczności energooszczędnej polityki w procesach produkcyjnych jest między innymi prowadzenie racjonalnej gospodarki energetycznej w każdym ogniwie struktury hierarchicznej przemysłu (rozdz. 1.4).

Stosunkowo niskie ceny nośników energetycznych, w szczególności energii elektrycznej, powodowały, że badania ekonomiczności prowadzenia energooszczędnej polityki nie były realizowane. Nawet wycinkowe ich podejmowanie spotykało się z niechęcią ze strony służb energetycznych zakładów.

Analizy ekonomiczne zwykle zawierają:

- identyfikację stanu istniejącego różnych faz cyklu produkcyjnego,

- zestawienie możliwych do wykonania ulepszeń wraz z ich wyceną i oceną opłacalności,
- źródła finansowania (kredyty, zyski z produkcji itp.).

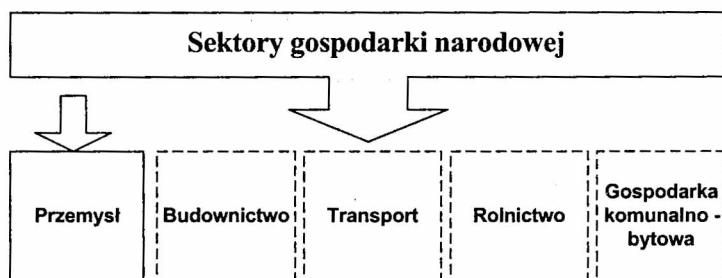
Badania ekonomiczności użytkowania energii były prowadzone przez autorkę w kilkudziesięciu zakładach w makroregionie dolnośląskim. Ich wyniki umożliwiły pełniejszą ocenę skutków decyzji gospodarczych w zakresie rozwoju badanego zakładu. Dokonano także analizy opłacalności przedsięwzięć modernizacyjnych, związanych z oszczędnością energii [73, 125, 132, 145]. Trzeba jednak podkreślić, że konieczne jest uwzględnienie również ogólnej kondycji finansowej zakładu i że ocena nie powinna być traktowana w sposób oderwany od ogólnych warunków, gdyż może to prowadzić do błędnych wniosków. Tematyka tych prac, choć często podejmowana, napotyka na szereg trudności, wynikających głównie z niestabilnych relacji cenowych, co uniemożliwia prowadzenie rzetelnych obliczeń finansowych.

1.4. Podmioty zużycia energii

Zużycie energii bywa rozpatrywane jako proces zaspokajania potrzeb odbiorców związanych z wytwarzaniem dóbr i usług. W tym ujęciu podmiotem zużycia energii może być na przykład pojedynczy zakład przemysłowy, urządzenie odbiorcze [9, 148]. Alternatywne jest podejście makroekonomiczne, w którym zużycie energii traktuje się jako ogół dóbr i usług przeznaczonych w danym okresie do użytkowania przez całą gospodarkę narodową, poszczególne sektory (działy) gospodarki narodowej czy też gałęzie przemysłu.

Wyraźnie wyróżniającym się w praktyce funkcjonowania gospodarki narodowej jest sektor przemysłowy, czy też bardziej szczegółowo zbiór odbiorców przemysłowych (rys. 1.12).

Zakłady przemysłowe ze względu na skalę działalności, ich liczebność i operacje finansowe stanowią podstawowe znaczenie dla gospodarki. Skutki decyzji podejmowanych przez zakłady przemysłowe są widoczne na rynku pracy oraz na rynku kapitałowym. Równocześnie zachowania w poziomie użytkowania energii przez zakłady przemysłowe

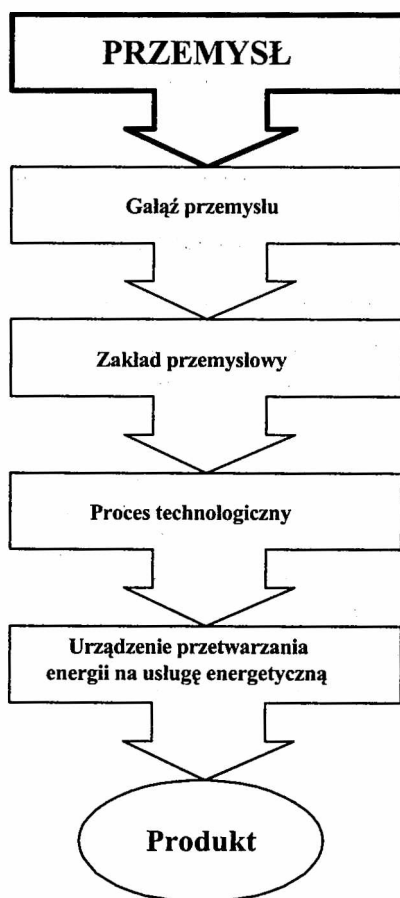


Rys. 1.12. Działy gospodarki narodowej

Fig. 1.12. Branches of national economy

są efektem stanu gospodarki, a więc można je potraktować jako swoistą miarę efektywności. I dlatego prawidłowości i uwarunkowania potrzeb energetycznych zakładów przemysłowych należą do bardzo ważnych kierunków badań w energetyce.

Zakłady przynależne do tej samej gałęzi przemysłu mogą być zróżnicowane asortymentem wytwarzanych wyrobów, stosowaną technologią i rodzajem urządzeń. Istnieje zatem konieczność prowadzenia badań energochłonności na różnych poziomach struktury hierarchicznej (rys. 1.13).



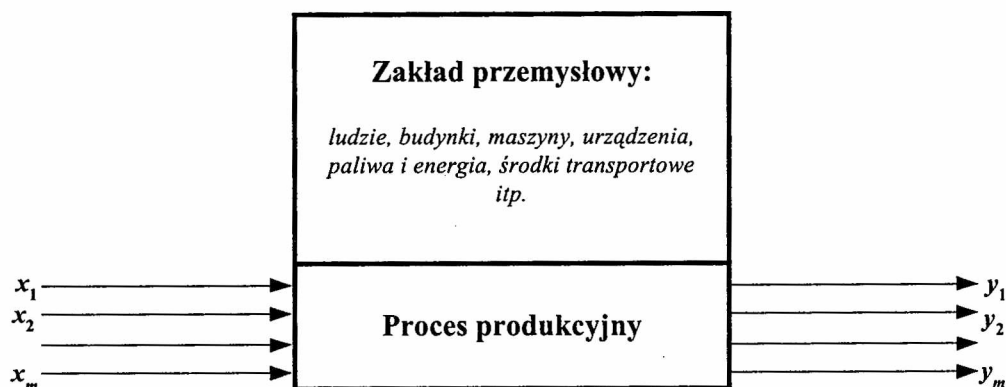
Rys. 1.13. Struktura hierarchiczna

Fig. 1.13. Hierarchic pattern

Charakter zakładu przemysłowego

W procesie produkcyjnym przetwarza się wprowadzane do zakładu materiały i surowce używając maszyn, urządzeń, paliw i energii, na gotowe wyroby. Podstawową funkcją zakładu jest więc przetwarzanie określonych wielkości wejściowych na wymagane

wielkości wyjściowe. Na rysunku 1.14 przedstawiono taki system, tj. zbiór elementów i zachodzących między nimi oddziaływań składających się na proces produkcyjny, przetwarzający określone „wejścia” (z otoczenia zakładu) na zamierzone „wyjścia” (do otoczenia zakładu).



Rys. 1.14. Ogólny model zakładu przemysłowego

Fig. 1.14. General model of production plant

Wejściowe parametry $x_1, x_2, \dots, x_m$ stanowią na przykład surowce, materiały, nośniki energetyczne, natomiast $y_1, y_2, \dots, y_m$ są to gotowe wyroby, usługi lub odpady itp. Zakłady przemysłowe należą, jak wszystkie systemy rzeczywiste, do systemów względnie odosobnionych, zwanych też systemami otwartymi. Nie są one jednak całkowicie odizolowane od otoczenia [14, 46, 124]. Badając system o takim charakterze należy więc uwzględnić wszystkie istotne oddziaływania pomiędzy systemem a otoczeniem.

Rozpatrując zakład przemysłowy jako system techniczny trzeba uwzględnić związane z nim:

- cel systemu,
- procesy zmierzające do realizacji celu,
- elementy składowe (ludzie, maszyny, urządzenia, środki finansowe itp., działające w określonej strukturze),
- otoczenie fizyczne itp.

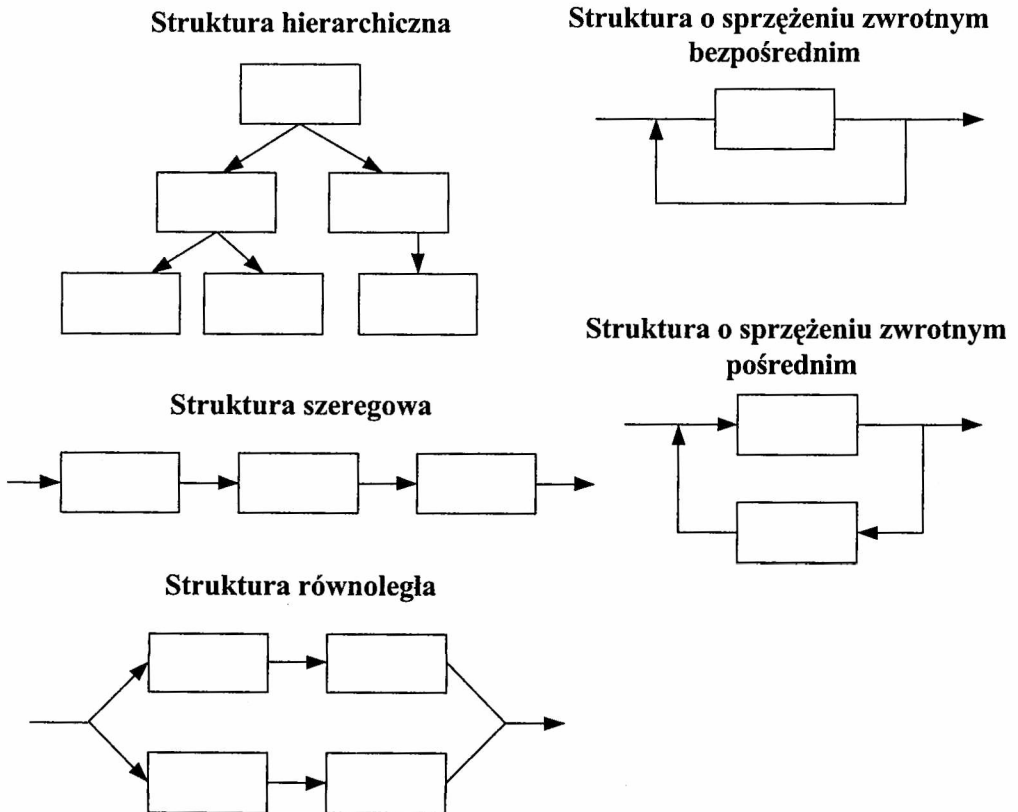
Zgodnie z teorią systemów niezbędne jest dokładne rozpoznanie cech systemu i łączne rozpatrywanie badanego systemu wraz z otoczeniem i określeniem ich wzajemnych oddziaływań. Aby w warunkach zakłóceń skuteczne było prowadzenie prawidłowej działalności systemu, muszą być całkowicie rozpoznane: cel, funkcja i wewnętrzna struktura systemu oraz wzajemne oddziaływanie systemu i otoczenia, szczególnie na „wejściu” (kontrolowane) i oddziaływania zakłócające (niekontrolowane).

Struktury powiązań

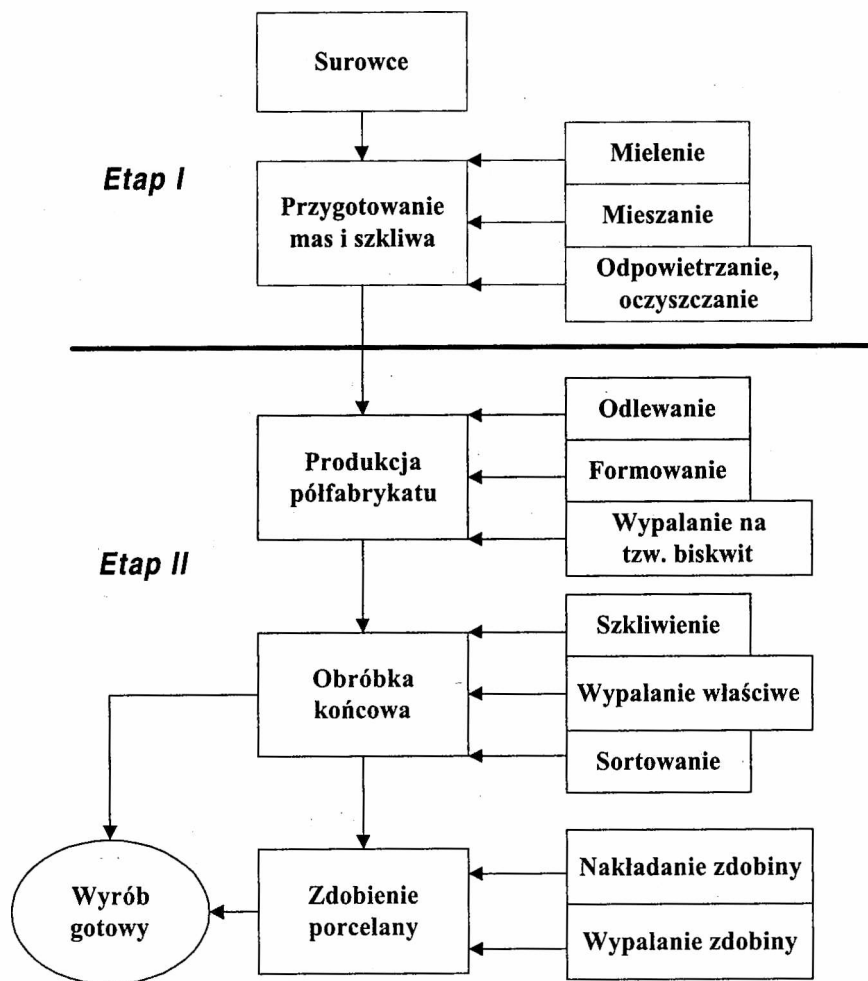
Istotną cechą każdego zakładu przemysłowego stanowi jego struktura, uwzględniająca współzależność składowych uporządkowanych, ze względu na ich udział w procesach realizujących cel systemu.

Zakłady przemysłowe mają z reguły złożoną strukturę, będącą kombinacją struktur prostych, do których należą: struktura hierarchiczna, szeregową, równoległą, o sprzężeniu zwrotnym bezpośrednim i pośrednim. Na rysunku 1.15 pokazano uproszczone schematy tych struktur, a na rys. 1.16 i 1.17 podano przykłady rzeczywistych złożonych procesów produkcyjnych w badanych zakładach.

Struktury skomplikowane (złożone) cechują te zakłady, które nie dają się w całości utożsamiać z wymienionymi strukturami prostymi. Do nich z reguły należą duże zakłady przemysłowe (rys. 1.18). Jednak częściowa dezagregacja, na przykład całego procesu produkcyjnego na poszczególne etapy ciągu technologicznego, pozwala sprowadzić do ze-



Rys. 1.15. Schematy struktur
Fig. 1.15. Schemes of patterns



Rys. 1.16. Schemat ogólnego procesu wytwarzania porcelany

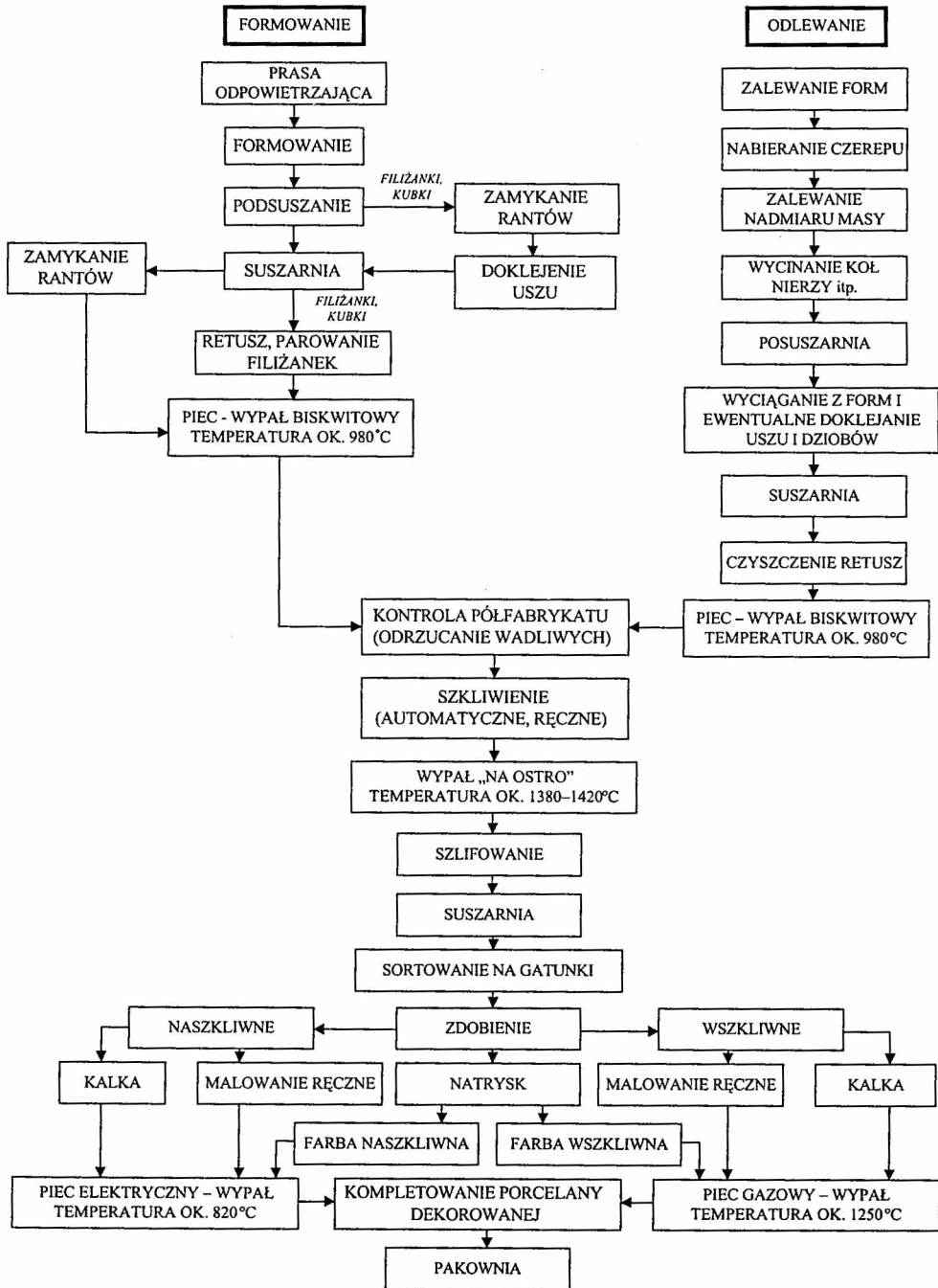
Fig. 1.16. Scheme of general production of china

stawu części składowych o strukturach prostych, korzystniejszych do diagnozowania, na przykład procesów użytkowania nośników energii w poszczególnych ciągach technologicznych.

Zmniejsza się wówczas stopień złożoności rozpatrywanych przekształceń, ale zwiększa się liczba rozpatrywanych części systemu. Stopień dezagregacji nie powinien jednak sięgać zbyt daleko.

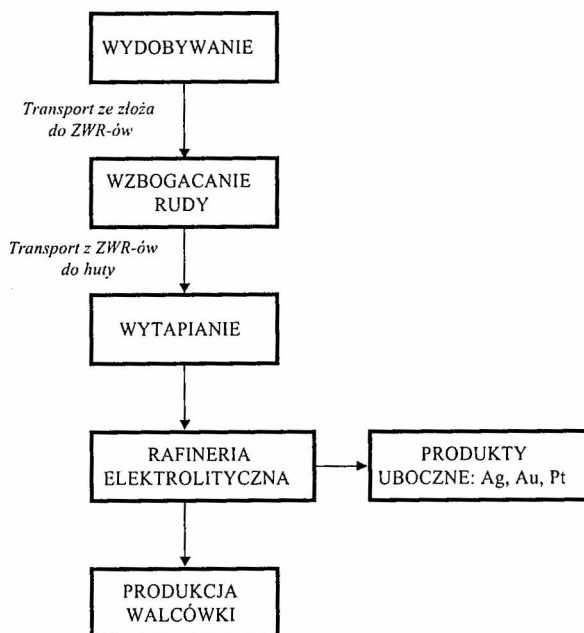
Stosowana w praktyce forma uporządkowanego podziału jest następująca:

- *system* – zakład przemysłowy,
- *podsystem* – ciąg produkcyjny, linia technologiczna realizująca określony proces,



Rys. 1.17. Przykład szczegółowego procesu (etap II)

Fig. 1.17. Example of detailed process (stage II)



Rys. 1.18. Przykład blokowego schematu produkcji w dużym przedsiębiorstwie hutniczo-rafineryjnym miedzi

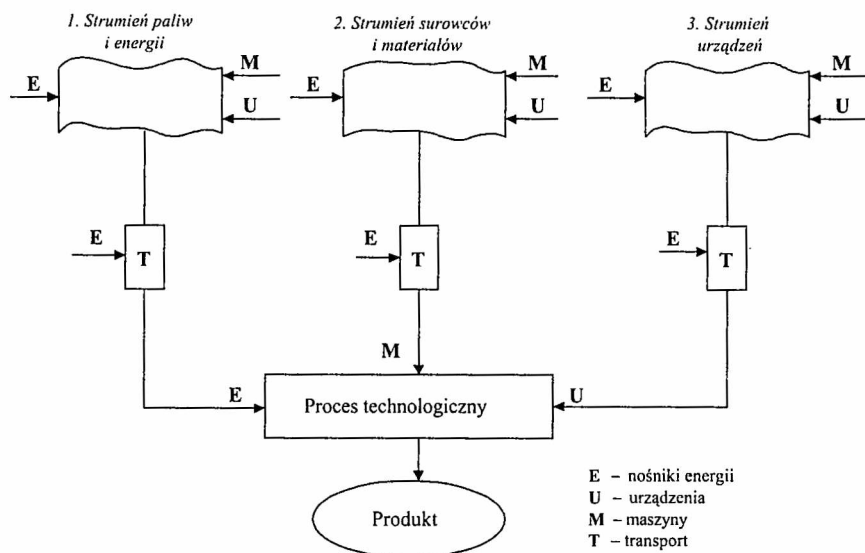
Fig. 1.18. Example of block diagram of production in large copper foundry-refinery enterprise

- *zespół urządzeń* – maszyny i urządzenia realizujące operacje technologiczne, z jakich złożony jest proces,
- *urządzenie* – maszyna lub zestaw aparatury wykonującej określoną czynność technologiczną, składającą się na operację technologiczną,
- *produkt* – gotowy wyrób, odpady itp.

Jest więc możliwe na przykład badanie energochłonności w poszczególnych fazach procesu produkcyjnego i tym samym uchwycenie najbardziej energochłonnych etapów badanego procesu.

Aby proces produkcyjny mógł być realizowany, muszą w nim uczestniczyć maszyny, urządzenia, środki transportowe, budynki, hale, surowce, półsurowce, paliwa i energia oraz dozór techniczny, licencje technologiczne, środki finansowe itd. Wymienione tu, częściowo, parametry biorą w procesie produkcyjnym różny udział i zróżnicowany jest też ich wpływ na efekt końcowy – produkt. Zasada skumulowania (ciągnięcia) strumieni energetycznych dotyczy energochłonności technologicznej i energochłonności skumulowanej (rys. 1.19).

Do wytworzenia określonego produktu zużywana jest energia w trzech podstawowych strumieniach: paliw i energii, surowców i materiałów oraz urządzeń.



Rys. 1.19. Zasada skumulowania (ciągnięcia) strumieni energetycznych

Fig. 1.19. Principle of energetic streams cumulation (draft)

Przykładem diagnozowania procesów przemysłowych jest na przykład oszacowanie energochłonności stosowanej technologii w celu otrzymania konkretnego wyrobu. Można też przeprowadzić badanie energochłonności poszczególnych faz cyklu produkcyjnego, na przykład w koksowniach będzie to: węglownia i młynownia, a w cementowniach: przemiałowania i przygotowanie surowca lub transportowanie klinkieru na składowisko.

Struktura przemysłu wpływa na energochłonność całej gospodarki, ponieważ warunkuje ona poziom energochłonności również w innych sektorach działalności gospodarczej. Wysoka energochłonność produkcji przemysłowej wynika przede wszystkim z nadmiernej materiałochłonności produkcji i liczby przemian cieplnych w procesach przemysłowych. Główne kierunki umożliwiające zmniejszenie energochłonności przemysłu dotyczą zmiany struktury przemysłu, polegającej na zmniejszeniu udziału branż energochłonnych oraz wdrażaniu nowych technologii i usprawnień techniczno-organizacyjnych.

2. Problemy określania zużycia energii w przemyśle

2.1. Mierzalność kategorii ekonomicznych.

Pojęcie zmiennej ilościowej

Kategorie ekonomiczne są pojęciami abstrakcyjnymi, uogólnieniami zjawisk i procesów ekonomicznych, odwołującymi się do ich najistotniejszych własności. Kategoriami ekonomicznymi są: praca, produkcja, produkt, pieniądz, podaż, popyt, rynek, koszt, kapitał, wzrost gospodarczy, oszczędność, akumulacja, zużycie energii. Z powyższych przykładów wynika, że kategorie ekonomiczne mają zróżnicowany zakres merytoryczny, a kategorie proste mogą być wykorzystywane do definiowania innych, bardziej złożonych [23, 64, 65, 66].

W naukach ekonomicznych bardzo ważną rolę odgrywa ilościowa charakterystyka zjawisk ekonomicznych. Wymaga to, z teoretycznego punktu widzenia, poszukiwania sposobów mierzenia tych zjawisk, czyli ustalenia ilościowych charakterystyk kategorii ekonomicznych. Do tego celu służą cechy statystycznie mierzalne, nazwane zmiennymi ilościowymi. W badaniach ekonomicznych zmienną ilościową można zdefiniować jako cechę badanej zbiorowości przyjmującą różne wartości wyrażalne w jednostkach miary. Nadanie określonego charakteru zjawiskom gospodarczym oznacza, że pewne wielkości charakteryzujące dane zjawisko (mierniki kategorii ekonomicznych) uznaje się za jego odzwierciedlenie i badania prowadzi się na podstawie danych empirycznych. Teoretycy ekonomii wyodrębniają na ogół dwa typy kategorii ekonomicznych: *ewidencyjne* i *konceptualne*.

Kategorie ewidencyjne mają swoje fizyczne odniesienia, np. liczba wyprodukowanych detali, liczba zatrudnionych, wielkość produkcji itp. Są to wielkości, które można w konkretnych przypadkach zmierzyć bezpośrednio. *Kategorie ewidencyjne* są więc łatwo mierzalne i dają się stosunkowo prosto agregować w kategorie bardziej złożone.

Zdecydowanie trudniej jest definiować oraz mierzyć *kategorie konceptualne*, takie jak: wartość, użyteczność, poziom organizacji produkcji, postęp techniczny i rozwój gospodarczy. Kategorie tego typu zwykle nie mają jednoznacznie określonego pola znaczeniowego. W zależności od potrzeb budowane są i wprowadzane operacyjne definicje ułatwiające ich kwantyfikację, podporządkowane najczęściej celowi badań. Dla wielu *konceptualnych kategorii* ekonomicznych nie opracowano dostatecznie dobrych zasad po-

miaru. Jest to jeden z istotniejszych problemów ekonomii jako nauki, sprowadzających się do braku jednoznacznych, kwantyfikowalnych definicji szeregu ważnych kategorii ekonomicznych.

Mierzenie wielkości ekonomicznych jest związane z identyfikacją procesów realnych, a więc z ich opisem i analizą. Dotyczy zatem przepływów i przetwarzania materiałów i surowców, które w trakcie produkcji, wymiany i zużycia zmieniają wartość, własności oraz rozmieszczenie w czasie i przestrzeni. Utworzone w wyniku mierzenia kategorii ekonomicznych zmienne ilościowe stanowią odzwierciedlenie bądź to zasobów, to jest wielkości charakteryzujących stan badanych zjawisk w określonym przedziale czasowym, bądź też strumieni, to jest wskaźników obrazujących przebieg zjawiska w czasie.

2.2. Identyfikacja potrzeb energetycznych w przemyśle oraz ich uwarunkowań

Poziom i struktura zużycia energii utożsamiane są często przez zajmujących się tą problematyką badaczy z poziomem zaspokojenia potrzeb w określonym momencie. Ustalenie globalnego zakresu czy poziomu zużycia energii w przemyśle może być dokonywane na przykład na podstawie ilości i struktury produkcji wytwarzanej w określonej jednostce czasu. Wymaga to więc badania w skali makroekonomicznej tych kategorii ekonomicznych, które warunkują i odzwierciedlają zużycie energii w przemyśle. Bezpośrednie zatem czy też pośrednie informacje o zużyciu energii zawierają między innymi takie kategorie, jak:

- produkt globalny (wielkość, a zwłaszcza struktura gałęziowa),
- dochód narodowy,
- sprzedaż produktów i usług,
- użytkowanie produktów i usług.

W ten sposób poziom zużycia energii można identyfikować ze stopniem zaspokojenia potrzeb przemysłu poprzez strumień produktów i usług nabywanych na rynku w danej jednostce czasu i przestrzeni. Jednakże nieznanym jest wtedy aspekt efektywności zużycia, nie wiadomo bowiem jak silna jest akceptacja użytkowanych nośników energii.

Wiele problemów pojawia się przy dokonywaniu oceny struktury i ilości energii przekazywanej odbiorcom, gdyż z reguły badaniami obejmować można te nośniki energii, które są przedmiotem oficjalnej ewidencji.

Ustalanie poziomu zużycia energii musi polegać na bezpośredniej obserwacji rodzaju i ilości energii zużywanej przez odbiorców oraz identyfikacji jej użyteczności dla odbiorcy. Wymaga to stosowania specyficznych technik zbierania informacji i z reguły, z powodu trudności, ograniczenia badań do części zbiorowości.

Zapotrzebowanie na energię jest taką kategorią, której wieloaspektowość bardzo utrudnia ocenę. Położenie w analizie zużycia energii akcentu na stopniu zaspokojenia potrzeb stawia określone wymagania przy dokonywaniu pomiarów. Poza wybranymi grupami po-

trzeb energetycznych w zakładach przemysłowych, takich jak: ogrzewanie, oświetlenie i wentylacja, w odniesieniu do których można ustalić relatywnie obiektywne normy (wzorce zużycia), mierzenie i ocena stopnia zaspokojenia innych potrzeb, wymaga stosowania ocen jakościowych. W takich przypadkach konieczne jest konstruowanie odpowiednich skal ocen umożliwiających sprowadzanie danych jakościowych do postaci mierzalnej.

W teorii i praktyce badań zużycia energii, mierniki służące do liczbowego wyrażania społecznych efektów wzrostu gospodarczego oraz mierniki opisujące nakłady niezbędne do uzyskania określonego poziomu zużycia energii w danym czasie i przestrzeni traktuje się zwykle jako jednorodne i rozpatruje łącznie. Rozróżnienie zmiennych opisujących efekty oddziaływania na poziom zużycia energii różnorodnych uwarunkowań leżących w sferze produkcji materialnej, czy w sferze usług, oraz zmiennych odzwierciedlających te uwarunkowania, a więc mających charakter zewnętrzny (nazywanych czynnikami zużycia), nie jest w praktyce łatwe. Mimo to, w teorii zakłada się wyraźne rozdzielenie mierników i czynników zużycia energii, a nawet istnienie między tymi grupami zmiennych zależności typu przyczynowo-skutkowego.

W analizie przyczynowo-skutkowej uwarunkowań poziomu zużycia energii miernikami będą nazwane „takie zmienne losowe, które mogą symptomatycznie charakteryzować osiągnięty poziom zaspokojenia potrzeb energetycznych przemysłu w danym czasie oraz w określonej jednostce przestrzeni” [105]. Czynnikami zużycia energii określane są zmienne losowe charakteryzujące dostępność energii, czyli zmienne reprezentujące warunki zaspokajania potrzeb.

Empiryczne badania zużycia energii w aspekcie efektywnościowym mają zwykle u podstaw założenie możliwości statystycznego pomiaru rzeczywistego stopnia zaspokojenia potrzeb odbiorców przemysłowych [65]. Na podstawie oficjalnej statystyki można ustalić jedynie niektóre aspekty zaspokojenia potrzeb. Najczęściej ocena stanu zaspokojenia potrzeb wymaga zbadania czynników subiektywnych.

W badaniach użytkowania energii przeprowadzonych w skali mikroekonomicznej za podstawową jednostkę obserwacji przyjmowany jest zakład przemysłowy, a społeczno-ekonomiczne cele tej jednostki stają się punktem wyjścia przy konstruowaniu zbioru mierników, reprezentujących poszczególne klasy potrzeb związanych z funkcjonowaniem zakładu przemysłowego.

Podejście makroekonomiczne różni się od poprzedniego jednostką obserwacji, którą są tu na przykład poszczególne gałęzie przemysłu w pewnym wydzielonym obszarze (makroregionie). Badaniami w tym przypadku obejmowana jest więc zbiorowość zakładów przemysłowych, a ich przedmiotem są główne czynniki warunkujące poziom zużycia energii. Aby zmierzyć stopień zaspokojenia potrzeb według wybranej ich klasyfikacji konieczne jest ustalenie mierników reprezentujących każdą grupę potrzeb. Jest to problem złożony i w tego typu badaniach uznany za podstawowy. Zbiór mierników poziomu zużycia energii może mieć dowolną szczegółowość. Nie istnieją obiektywne procedury doboru mierni-

ków, które w sposób jednoznaczny określałyby kategorię poziomu rozwoju przedsiębiorstwa ze względu na wyróżnione rodzaje potrzeb energetycznych.

Nie bez znaczenia jest jednak ograniczenie praktyczne dostępności danych statystycznych. W literaturze przedmiotu [58, 90, 93] przyjmuje się, że jedynie realną i efektywną metodą ustalania zbioru mierników oraz czynników określających poziom i rodzaj potrzeb energetycznych jest ich celowy dobór. Ogólne zasady gwarantujące poprawny wybór to:

- pojemność informacyjna zmiennych, która powinna odzwierciedlać poszczególne kategorie potrzeb,
- mierniki powinny spełniać wymogi stawiane zmiennym diagnostycznym, a więc nie mogą być ze sobą skorelowane,
- zmienne (mierniki i czynniki) powinny obejmować ilościowe i jakościowe aspekty procesów zaspokajania potrzeb, lecz w praktyce ograniczeniem jest istniejący system informacji statystycznej,
- zmienne powinny być mierzalne w jednostkach naturalnych.

W praktyce natomiast równolegle stosowane są w badaniach zmienne wartościowe opisujące zużycie energii i jej uwarunkowania. Na ich podstawie analizuje się koszty osiąganego poziomu zużycia energii, szacowane w statystyce dochodu narodowego. Ujęcie wartościowe bywa także wykorzystywane w badaniach porównawczych przestrzennego zróżnicowania zużycia energii. W nurcie badań preferujących ujęcie ilościowe stosuje się rozmaitej konstrukcji syntetyczne miary uwarunkowań oraz poziomu zużycia, będące miarami efektywności ponoszonych przez odbiorców przemysłowych czy też państwo wydatków na nośniki energii.

2.3. Kryteria gospodarowania energią w zakładach przemysłowych

Kryterium ekonomiczne powinno stanowić jedno z kryteriów gospodarowania nośnikami energetycznymi i umożliwiać udoskonalenie realizacji zadań gospodarczych zakładów przemysłowych. *Kryteria techniczne* mogą mieć charakter decydujących wytycznych w gospodarce energetycznej. W trakcie realizacji dowolnego programu doskonalenia gospodarowania energią występują zakłócenia utrudniające wykonanie zadania zgodnie z opracowanym planem. Zakłócenia te można podzielić na *zewnątrzne* i *wewnętrzne*. Są one w istocie odchyleniami od wartości planowanych.

Jak wskazuje praktyka gospodarcza, trudności przetwarzania ogromnej liczby danych występują nawet w przedsiębiorstwach przemysłowych dobrze zorganizowanych i wyposażonych w nowoczesne środki rejestracji przetwarzania danych. Zatem, oprócz poszukiwania metod doskonalenia gospodarowania energią, zachodzi konieczność przyjęcia założenia, że możliwa jest dekompozycja systemu organizacyjnego przemysłu na odpowiednie podsystemy gospodarowania, tj. na gałęzie przemysłu, ciągi technologiczne, zespoły urządzeń, środki techniczne i nośniki energii zużywane na potrzeby zrealizowa-

nia zamierzonej produkcji. Na kondycję zakładów przemysłowych mogą oddziaływać następujące czynniki:

- a) *wewnętrzne* – warunki zakładu, jego usytuowanie, stan techniczny i struktura przestrzenna, a także poziom techniczno-organizacyjny, stan zaopatrzenia, kadra inżynierjno-techniczna itp.,
- b) *zewnętrzne* – np. dostawy surowców i materiałów spoza zakładu, możliwości zaopatrzenia w nośniki energii i urządzenia energetyczne, współpraca z innymi zakładami,
- c) zakłócenia.

Struktura wielopoziomowa (hierarchiczna) zarządzania gospodarką energetyczną w gospodarce narodowej pozwala określić dla zakładu przemysłowego cel działalności gospodarczej. Ilościowe określenie celu umożliwia sformułowanie kryterium, będącego miernikiem efektywności funkcjonowania gospodarki energetycznej w danym zakładzie przemysłowym. Kryteria te dla podsystemu gospodarki energetycznej zakładów przemysłowych powinny spełniać następujące podstawowe funkcje:

- stanowić podstawę do operatywnego bieżącego i długofalowego zarządzania podsystemem gospodarki energetycznej,
- określić niezbędne środki i warunki do stymulowania działalności podsystemu energetycznego.

Kryteria mogą być określone za pomocą funkcji ujmujących wysokość kosztów i wskaźniki zużycia energii. Ogólne kryterium ekonomiczne gospodarowania energią w zakładach przemysłowych można sformułować następująco: uzasadniona jest taka wysokość kosztów gospodarowania energią w przedziale czasu Δt , która prowadzi do minimum całkowitych technicznych kosztów wytwarzania produktu w tym przedziale czasu, przy ustalonych pozostałych czynnikach determinujących wysokość tych kosztów.

W modelu optymalizacyjnym opartym na ogólnym modelu matematycznym planu produkcji [15, 19, 64, 77, 95] założono, że między wielkością produkcji a zużyciem energii oraz surowców i materiałów w dowolnym przedziale czasu Δt zachodzi następująca zależność:

$$\vec{G} = M \cdot \vec{X} + \vec{S} \quad (2.1)$$

gdzie: $\vec{G} = \{G_i\}$ – wektor całkowitego zużycia materiałów i -tego rodzaju,
 $M = \{m_{ij}\}$ – macierz norm technologicznych uwzględniających warunki produkcyjne i strukturę przestrzenną zakładu,
 $\vec{X} = \{X_j\}$ – wektor produktów j -tego rodzaju,
 $\vec{S} = \{S_i\}$ – wektor zużycia materiałów i -tego rodzaju, niezależnego od wielkości produkcji,

przy czym:

$$j = 1, 2, \dots, p; \quad j \in J,$$

$$i = 1, 2, \dots, k; \quad i \in I.$$

W celu sformułowania modelu matematycznego obejmującego wyłącznie gospodarkę energetyczną, wyodrębniono ze zbioru określonego wektorem $\bar{G}$ podzbiór nośników energii, niezbędny w procesach wytwarzania produktów j -tego rodzaju.

Wektor zużycia energii można oznaczyć

$$\bar{A} = \{A_i\} \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad i \in I \quad (2.2)$$

przy czym: $k \leq m$.

Model matematyczny gospodarki energetycznej można przedstawić następująco:

1. Równanie zapotrzebowania energii

$$E_i = \sum_{r \in Q} E_{ir} + \sum_{j \in J} E_{ij}^d \quad (2.3)$$

przy czym: E_i – całkowita ilość energii i -tego rodzaju doprowadzona do odbiorców,

E_{ir} – ilość energii i -tego rodzaju w r -tym zestawie kilku różnych nośników energii,

E_{ij}^d – ilość energii i -tego rodzaju zapotrzebowana przez j -ty proces technologiczny niezależnie od wielkości produkcji,

gdzie: $i = 1, 2, \dots, m; \quad i \in I$ – zbiór indeksów nośników i postaci energii,

$j = 1, 2, \dots, p; \quad j \in J$ – zbiór indeksów procesów produkcyjnych,

$r = 1, 2, \dots, q; \quad r \in Q$ – zbiór indeksów zestawów energii.

2. Równanie udziału w zestawach

$$E_{ir} = u_{ir} R_r \quad (2.4)$$

gdzie: R_r – całkowite zapotrzebowanie energii przez procesy technologiczne w r -tym zestawie,

$u_{ir} \in U$ – macierz współczynników udziału i -tych rodzajów energii w r -tych zestawach o wymiarze $i \times r$.

3. Równanie zapotrzebowania energii w zestawach

$$\sum_{r \in Q} R_{rj} = A_j \quad (2.5)$$

przy czym:

$$R_{rj} = S_{jr} R_r \quad (2.6)$$

$$S_{jr} = \frac{A_j^N}{A_j^r} \quad (2.7)$$

gdzie: $S_{jr} \in S$ – macierz współczynników równoważności produkcji o wymiarach $j \times r$,
 A_j^N – wskaźnik jednostkowego zużycia energii w zestawie nominalnym, proporcjonalnego do wielkości produkcji j -tego produktu,
 A_j^r – wskaźnik jednostkowego zużycia energii w r -tym zestawie, proporcjonalnego do wielkości produkcji j -tego produktu,
 R_{rj} – zużycie energii w r -tym zestawie w j -tym procesie produkcyjnym, proporcjonalne do wielkości produkcji j -tego produktu,
 A_j – zapotrzebowanie energii przez j -ty proces technologiczny, proporcjonalne do wielkości produkcji j -tego produktu przy doprowadzeniu energii w zestawie nominalnym.

Z formalnego punktu widzenia wprowadzenie zestawu energii nie wyklucza możliwości analizy zagadnienia jednostkowo, tzn. dla poszczególnych rodzajów energii wystarczy przyjąć, że w r -tym zestawie energii zawarty jest wyłącznie jeden i -tego rodzaju nośnik lub postać energii. Do wyznaczenia współczynnika równoważności produkcji przyjmuje się wskaźnik jednostkowego zużycia energii w warunkach nominalnych dla danego procesu produkcyjnego. Wskaźnik jednostkowego zużycia energii w r -tym zestawie określa wartość całkowitego zużycia energii doprowadzonej do procesu technologicznego w r -tym zestawie przy produkcji j -tego produktu w ilości nominalnej.

4. Równanie ogólnego bilansu energii

$$\sum_{r \in Q} u_{ir} R_r + \sum_{j \in J} E_{ij}^d + E_i^s = E_i^w + E_i^z + E_i^{od} \quad (2.8)$$

gdzie: E_i^s – ilość sprzedanej energii i -tego rodzaju,
 E_i^w – ilość wytworzonej energii i -tego rodzaju,
 E_i^z – ilość zakupionej energii i -tego rodzaju,
 E_i^{od} – ilość wytworzonej ubocznie energii i -tego rodzaju.

Kryterium ekonomiczne gospodarowania energią w zakładach przemysłowych wyrazić można w postaci analitycznej, wychodząc z ogólnej funkcji całkowitych kosztów produkcji

$$K^w = \sum_{j \in J} k_j^w x_j \quad (2.9)$$

gdzie: k^w – całkowite techniczne koszty wytwarzania produktów j -tego rodzaju,
 k_j^w – jednostkowy całkowity techniczny koszt wytworzenia produktu j -tego rodzaju.

Całkowity koszt energii wyrażono wzorem

$$K_e = \sum_{j \in J} (k_j^{we} x_j + k_j^{de}) \quad (2.10)$$

w którym: k_j^{we} – jednostkowe koszty całkowite energii doprowadzonej do j -tego procesu, zależne od wielkości produkcji,
 k_j^{de} – całkowite koszty energii doprowadzonej do j -tego procesu, niezależne od wielkości produkcji.

Interpretując konsekwentnie ogólne kryterium ekonomiczne można założyć, że przy znanej strukturze i wielkości produkcji w danych warunkach produkcyjnych

$$k^p = \text{const} \quad (2.11)$$

z zastrzeżeniem, że rozpatruje się taki przedział czasu, w którym można uznać warunki produkcyjne za niezmiennie.

Wobec powyższego, ogólne kryterium gospodarowania energią zostanie spełnione, gdy

$$k^w \equiv \min_D k^e = \min_D (k^{se} + k^{ze} + k^{od}) \quad (2.12)$$

gdzie: k^{se} – koszty umowne stałe energii doprowadzonej do j -tych procesów,
 k^{ze} – koszty zmienne energii doprowadzonej do j -tych procesów,
 k^{od} – koszty zmienne wytwarzania ubocznie energii w j -tych procesach.

$$k^{ze} = \min_D \sum_{i \in J} k_i E_i \quad (2.13)$$

gdzie: k_i – jednostkowy koszt zmienny energii i -tego rodzaju.

Poszukiwanie rozwiązań polegać musi na minimalizacji kosztów zmiennych gospodarki elektroenergetycznej zakładu. Przyjmuje się, że koszty stałe powinny być pokryte niezależnie od sposobu realizacji określonych programów gospodarowania energią w ogóle. Koszty remontów i modernizacji włącza się tym samym w koszty umownie stałe. Założenie to wzbudza jednak pewne zastrzeżenia, np. konieczność prowadzenia prac modernizacyjnych wpływa ze spowodowanej obniżki kosztów zmiennych. Tym samym funkcja kosztów powinna zawierać wyodrębniony składnik, określający koszty modernizacji. Takie podejście jest uzasadnione w przypadku poszukiwania racjonalnej struktury podsystemu elektroenergetycznego w planowaniu jego rozwoju. Bardziej dyskusyjne jest ujmowanie w kosztach stałych kosztów remontów, szczególnie bieżących [24, 36, 80, 116].

Koszty te są zależne od jakości urządzeń oraz od stopnia wykorzystania tych urządzeń. Wobec braku szczegółowych danych niezbędnych dla określenia analitycznego tych zależności nie wprowadza się do funkcji celu odpowiedniego składnika kosztów. Na podstawie wyłącznie przybliżonych oszacowań można przyjąć, że koszty bieżących remontów urządzeń i maszyn energetycznych w zakładach przemysłowych, ponoszone tytułem sposobu prowadzenia ruchu, nie przekraczają kilku procent kosztów całkowitych gospodarki remontowej i tym samym nie wpływają znacząco na wyniki obliczeń prowadzonych w oparciu o koszty zmienne. Poważny problem, jaki się wyłania, tkwi w trudności poprawnego określenia występujących kosztów jednostkowych zmiennych energii, szczególnie w przypadku technicznie złożonych układów elektroenergetycznych.

2.4. Zarządzanie popytem DSM

Pomimo nakładów ponoszonych na badania, w latach 80. nie osiągnięto w kraju zakładanego postępu w racjonalizacji użytkowania energii. Przeszkodą był przede wszystkim trudny dostęp do energooszczędnych urządzeń i technologii oraz stosunkowo niski poziom cen energii. Obecnie istotną barierą jest niedostatek środków finansowych na realizację poważniejszych przedsięwzięć prooszczędnościowych. Problem ten, występujący w skali światowej, jest od kilkunastu lat z powodzeniem rozwiązywany w wielu krajach dzięki zastosowaniu nowej filozofii podejścia do zagadnienia. Korzysta ona z nowej terminologii, która przedstawia się następująco:

Least – Cost Planning (LCP) – planowanie wg najmniejszych kosztów pokrycia zapotrzebowania na energię użyteczną, czyli na tzw. usługi energetyczne (np. praca mechaniczna, oświetlenie, ciepło), a nie tylko na nośniki energii.

$$LCP \text{ — } DSM + SSM \text{ — } PE + \text{Spółki.}$$

Demand – Side Management (DSM) – zarządzanie popytem (kształtowanie popytu) na energię, sponsorowane przez dostawcę.

$$DSM \text{ — } \text{Przedsiębiorstwa Energetyczne (PE).}$$

Integrated Resources Planning (IRP) – zintegrowane planowanie (programowanie), wykorzystujące metody DSM, w którym energię produkowaną i zaoszczędzoną traktuje się jako alternatywne sposoby pokrycia zapotrzebowania na energię użyteczną.

$$IRP \text{ — } DSM + SSM + ECO.$$

Różnice w definicjach LCP i IRP są trudne do jednoznacznego wyjaśnienia i zwykle są to pojęcia używane zamiennie.

Zasoby (rezerwy) popytowe – możliwy do wykorzystania potencjał obniżenia zużycia energii dla realizacji określonych usług energetycznych.

Luka efektywności – różnica pomiędzy efektywnością typowej inwestycji energetycznej u odbiorców a najlepszej dostępnej na rynku i opłacalnej ekonomicznie.

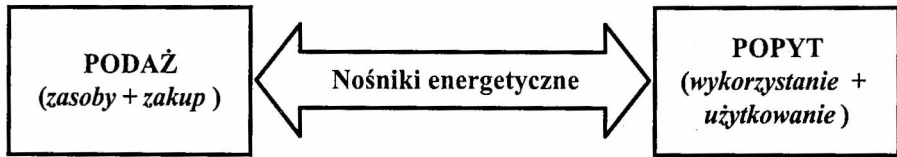
Luka amortyzacji – różnica pomiędzy okresem zwrotu nakładów na inwestycje energetyczne po stronie podażowej (10 do 25 lat) i popytowej (do 3 lat).

Koszty uniknięte – koszty jakich uniknęli wytwórcy i dostawcy energii wskutek zastosowania DSM.

Badania przeprowadzone za granicą, głównie w USA [38, 74] wykazały, że gdyby użytkownicy energii elektrycznej w pełni wykorzystali techniczne zasoby popytowe, to zużycie tej energii byłoby o 50% niższe niż przy tradycyjnym podejściu, a ok. 70% zaoszczędzonej energii wymagałoby poniesienia kosztów niższych od końcowego kosztu wytworzenia tej energii.

Duża różnica pomiędzy kryteriami ekonomicznymi przyjmowanymi po stronie popytu i podaży energii (luka amortyzacyjna) powoduje, że polityka cen na energię staje się

zbyt słabym bodźcem dla wykorzystania zasobów popytowych. Rolę tę lepiej może spełniać odpowiednia alokacja środków po stronie podaży i popytu. Energetyka, zamiast przeznaczać tradycyjnie duże środki na rozwój (budowa nowych elektrowni, linii i stacji), może mniejsze środki przeznaczyć na inwestycje, które dają oszczędność równoważonej ilości energii (rys. 2.1).



Rys. 2.1. Ilustracja strony popytowej i podaży energii

Fig. 2.1. Power demand and supply

Formy realizacji programu *DSM* przez dostawców mogą być następujące [35]:

- darowanie odbiorcom energooszczędnych urządzeń,
- udzielanie rabatów lub nisko oprocentowanych kredytów na zakup energooszczędnych urządzeń,
- zdalne sterowanie pracą odbiorców.

O atrakcyjności nowego podejścia może świadczyć fakt, że odpowiedniki Zakładów Energetycznych w USA (*Utilities*) przeznaczają rocznie na realizację programów *IRP* kwotę ok. 2 mld USD, osiągając znaczne efekty energetyczne i finansowe.

Problemy wdrażania DSM w Polsce

Realizacja programu *DSM* na zasadach opłacalności każdej ze stron jest możliwa, ale wymaga odpowiedniego podziału zysków i rekompensat strat ze zmniejszenia sprzedaży energii. Aby ten tzw. obrót oszczędnością energii mógł funkcjonować, należy przede wszystkim uwolnić ceny energii i zrealizować w pełni przekształcenia własnościowe, dające zakładom większą swobodę działania. Za granicą wypracowano odpowiednie przepisy i uregulowania prawne, które dopingują przede wszystkim dostawców energii do stosowania i pilotowania programów *DSM* i zapewniają sprawiedliwy podział korzyści stąd płynących. Tych doświadczeń nie można bezpośrednio przenieść do zdecentralizowanej obecnie elektroenergetyki polskiej. Należy więc wypracować własne rozwiązania legislacyjne i wprowadzić je do tworzonego Prawa Energetycznego. Starania w tym kierunku czyni m. in. Fundacja Efektywnego Wykorzystania Energii, która również pilotuje przygotowanie pierwszych w kraju projektów *DSM*, nie tylko w zakresie energii elektrycznej.

Istotną rolę we wdrożeniu *DSM* mogą pełnić służby energetyczne zakładów przemysłowych, gdyż najlepiej znają ograniczenia lokalne i możliwości zakładu. Dobra orientacja w metodyce *DSM* i *IRP* jest warunkiem sformułowania odpowiedniej strategii i wynegocjowania korzystnych dla zakładu i pozostałych uczestników ustaleń realizacji przedsięwzięć prooszczędnościowych.

Metodyka zintegrowanego planowania

Opracowanie planów rozwoju systemu energetycznego i jego podsystemów według *IRP (LCP)* jest znacznie trudniejsze niż przy tradycyjnym podejściu.

Cykl pracy jest realizowany w następujących iteracjach:

- prognoza zapotrzebowania mocy i energii elektrycznej,
- opracowanie i wstępna selekcja programów *DSM*,
- opracowanie możliwych strategii po stronie podażowej,
- zintegrowana optymalizacja rozwoju,
- opracowanie taryf za energię.

Trwają próby optymalizacji rozwoju krajowego podsystemu wytwarzania energii elektrycznej z uwzględnieniem *DSM* za pomocą pakietu programowego *WASP III* i jego nowszych wersji, np. według PSE: *ZPR 1*, *ZPR 2*, *ZPR 2+*.

2.5. Kierunki racjonalizacji użytkowania energii w przemyśle

Większość wariantowych prognoz bilansu energetycznego wykazuje rozbieżności między przewidywanym rozwojem gospodarczym kraju i zapotrzebowaniem na energię a możliwościami jego pokrycia zarówno z posiadanych zasobów, jak i z importu. Wskazuje to na konieczność inwestycji w urządzenia produkujące nośniki energii i zmniejszenia przewidywanego zapotrzebowania na energię poprzez racjonalizację jej użytkowania. Obie te metody są jednak trudne do zrealizowania.

Racjonalizacja użytkowania energii jest pojęciem znacznie szerszym od pojęcia oszczędności, które kojarzy się ze zmniejszeniem nadmiernych strat energii w istniejących już urządzeniach lub zakładach, na ogół w sposób bezinwestycyjny i pozwalający na osiągnięcie szybkich efektów. Podjęcie decyzji w sprawie nawet prostego sposobu oszczędzania energii może wymagać systemowej oceny następstw zamierzonego przedsięwzięcia z punktu widzenia potrzeb danego zakładu, wybranej gałęzi czy całego przemysłu, a nawet potrzeb kraju [113, 144, 160].

Okazuje się, że przedsięwzięcia racjonalizacyjne w zakresie gospodarowania energią w przemyśle prawie zawsze związane są z koniecznością inwestowania. Przedsięwzięcia te, jak i inne, muszą być planowane i skoordynowane z zadaniami technologicznymi danego zakładu. Ponadto, racjonalizacja użytkowania energii, jak każde przedsięwzięcie gospodarcze, ma jednak pewne granice opłacalności i ogólnospołecznych kosztów, dlatego wymaga przemysłanych decyzji. Zatem, rozwój przemysłu powinien odbywać się przy racjonalnym użytkowaniu energii, a nie kosztem jej wzrostu. Oznacza to, że aby osiągnąć odpowiednią efektywność produkcji przemysłowej, konieczne jest zmniejszenie zużycia energii na jednostkę produktu. Należy również uwzględnić wzrastającą cenę nośników energii i coraz bardziej ograniczoną ich dostępność. Jedynym rozwiązaniem jest więc minimalizacja energochłonności i poszukiwanie tanich, bezpiecznych ekologicznie źródeł energii.

Energochłonność jest miarą ilościową celu badania. Miarą jakości racjonalizacji jest wskaźnik sprawności energetycznej procesów produkcyjnych. Każdy więc produkt można wartościować przez jego cenę lub wskaźnik energochłonności.

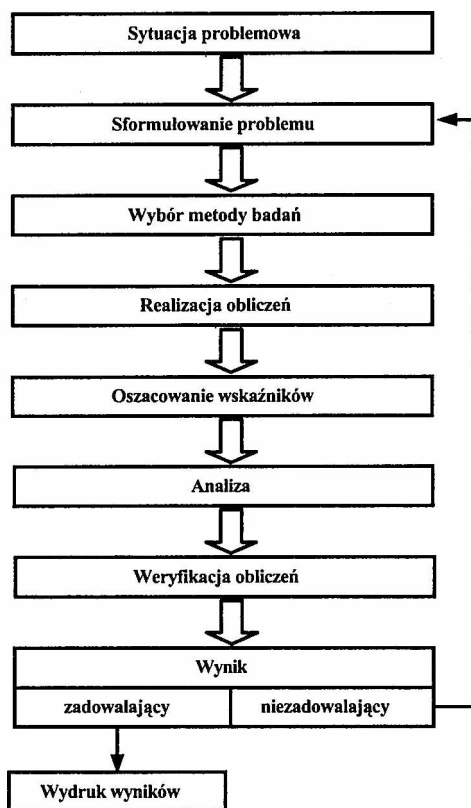
Problem racjonalnego użytkowania energii w procesach przemysłowych wymaga bardzo często głębszych analiz uwzględniających możliwość dostawy energii, substytucje nośników energii, warunki produkcyjne zakładu, ograniczenia ekonomiczne oraz stosowane technologie.

Tematyka prac badawczych związanych ze zwiększeniem sprawności użytkowania energii w przemyśle jest bardzo rozległa [16, 41, 48, 57, 77, 78, 84, 102, 113, 128, 130, 131]. W badaniach efektywności ekonomicznej procesów przemysłowych należy uwzględnić:

- cele,
- możliwości osiągnięcia celów,
- koszty realizacji,
- wybór rozwiązania,
- modele ekonometryczne.

Mając określoną sytuację problemową, która ma stanowić przedmiot oceny efektywności badanych procesów, można przystąpić do badań według przyjętego planu. Na rysunku 2.2 przedstawiono ogólny schemat toku postępowania. W zależności od celu badania wartościowanie wyników oraz ich interpretacja mogą być więcej lub mniej rozwinięte. W niektórych przypadkach wystarczy podać tylko punktową ocenę, np. wartość wskaźnika cząstkowego lub syntetycznego, by opracować właściwe wnioski. W innych należy prowadzić badania w szerszym przedziale, gdyż efektywność użytkowania energii w procesach technologicznych zmienia się w zależności od wielkości produkcji, czasu eksploatacji itp. Ma to szczególne znaczenie przy wyborze nowych technologii. Wynika z tego, że decyzja o alternatywnym wyborze technologii produkcji powinna być podbudowana wnikliwymi badaniami ekonomicznymi i określeniem potrzebnych nośników energii.

Badając i oceniając efektywność użytkowania energii w procesach przemysłowych należy zwrócić uwagę na te czynniki, które wywierają zasadniczy wpływ na proces użytkowania energii. Zwykle są to *czynniki stałe* i *zmienne*, i ich siła oddziaływania bywa różna, np. jakość i rodzaj stosowanego paliwa, obciążenie dynamiczne maszyny, warunki atmosferyczne, intensywność użytkowania, czas przestojów, zmienowość, pracochłonność, jednostkowy koszt danego produktu. Podejmowanie prób uwzględnienia wszystkich czynników występujących w procesie produkcyjnym wykazało, że jest to trudny i złożony problem, wymagający dużego nakładu pracy, przy czym uzyskane wyniki mają większe znaczenie dla teorii aniżeli dla praktyki. Można zatem stwierdzić, że efektywność procesów przemysłowych powinna być oceniana według różnych kryteriów, w zależności od celu analizy i jej zakresu. Efektywność wykorzystania energii jest wynikiem zmniejszenia energochłonności, przy czym minimalizacja energochłonności może mieć różny aspekt.



Rys. 2.2. Schemat badań efektywności procesów przemysłowych
 Fig. 2.2. Scheme of investigation of efficiency of industrial processes

Aspekt techniczny zmniejszenia energochłonności dotyczy procesów produkcyjnych i eksploatacji wyrobów przemysłowych.

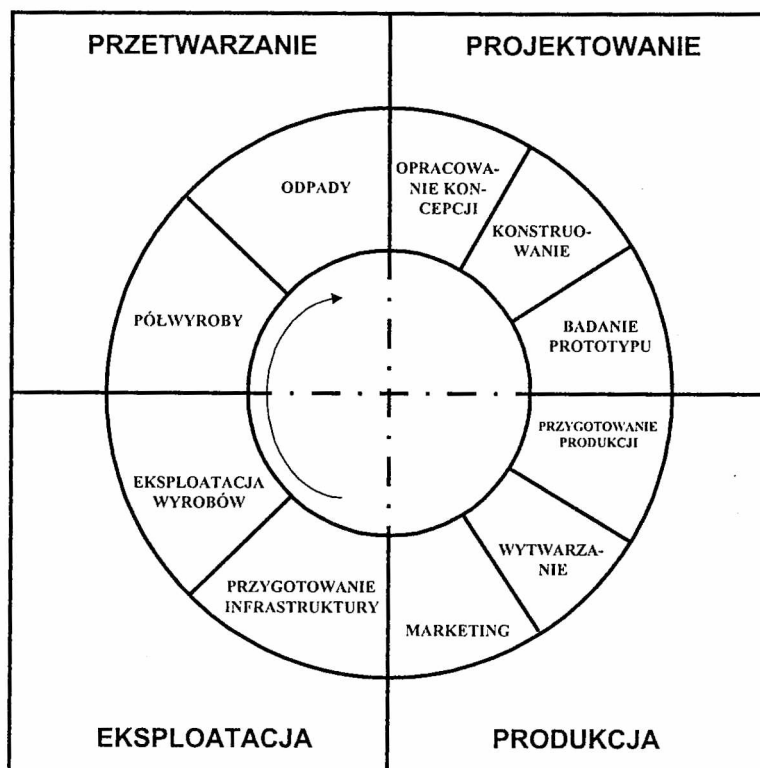
Aspekt organizacyjny wymaga mniejszych nakładów inwestycyjnych niż aspekt techniczny i może polegać między innymi na zmianach godzin pracy energochłonnych urządzeń.

Aspekt ekonomiczny polega na wprowadzeniu zmian systemowych odpowiednich stosunków ekonomicznych, które sprzyjają stałemu zmniejszaniu energochłonności.

Duża energochłonność przemysłu jest wynikiem przede wszystkim:

- nadmiernej materiałochłonności,
- znacznego udziału gałęzi energochłonnych,
- stosowania niskiej jakości nośników pierwotnych, np. węgla,
- niedoskonałości procesów produkcyjnych i eksploatacyjnych.

W rzeczywistości energochłonność może zależeć od znacznej liczby zmiennych. W przypadku procesów produkcyjnych ważnym czynnikiem jest wskaźnik wykorzystania urządzeń produkcyjnych, zależny od parametrów samego urządzenia, jego czasu pracy itp.



Rys. 2.3. Etapy procesu produkcyjnego
Fig. 2.3. Stages of manufacturing process

W efekcie realizacji procesów produkcyjnych powstają wyroby. Każdy produkt przechodzi przez etapy: *projektowania*, *produkcji*, *eksploatacji* i *przetwarzania* (rys. 2.3), przy czym najbardziej energochłonna jest faza wytwarzania.

Podstawowe zasady zmniejszenia energochłonności wytwarzanego produktu to wytwarzanie go przy minimum energii w pełnym cyklu jego tworzenia oraz maksymalizacja energii użytecznej w fazach eksploatacji i przetwarzania. Zmniejszenie energochłonności można uzyskać poprzez eliminowanie energochłonnych operacji w procesach technologicznych. Znaczne oszczędności paliw i energii w sferze ich użytkowania uzyskuje się poprzez:

- pełne wykorzystanie wydajności znamionowych urządzeń produkcyjnych,
- minimalizację zużycia nośników energii przy wytwarzaniu określonego produktu,
- zmianę struktury produkcji przez ograniczenie produkcji wyrobów energochłonnych,
- uruchamianie technologii i produkcji wyrobów energooszczędnych,
- modernizację i poprawę eksploatacji maszyn i urządzeń,
- usprawnianie organizacji produkcji,

- wykorzystanie energii odpadowej,
- poprawę sprawności wykorzystania energii, np. w systemach ogrzewania hal produkcyjnych,
- substytucję nośników energii oraz przestrzeganie zasad prawidłowej obsługi i konserwacji urządzeń.

Te oczywiste zasady minimalizacji energochłonności mogą dać oszczędności w zużyciu energii nawet rzędu 30%. Zalecenia te mają ścisły związek ze zużyciem energii oraz z wyborem najefektywniejszych metod użytkowania energii w większości zakładów przemysłowych. Niezależnie jednak od konieczności dokonywania wyboru rozwiązań, istnieją pewne zasady, które określają ogólne tendencje organizacji procesu produkcyjnego. Przestrzeganie tych zasad zapewnia możliwość wykonania zadań i uzyskania pożądanych wskaźników techniczno-ekonomicznych. Tak więc, racjonalna organizacja procesu produkcyjnego wymaga prawidłowego funkcjonowania zarówno podstawowych, jak i pomocniczych procesów produkcyjnych.

Przy określaniu potrzeb energii w przemyśle napotyka się na trudności wynikające z niejednoznaczności oceny w zmiennych warunkach i braku jednolitych metod badań efektywności ekonomicznej. Przeprowadzenie przedmiotowej analizy potrzeb energetycznych z uwzględnieniem wszystkich warunków dotyczących obiektu przemysłowego, procesu technologicznego, produktu użytecznego (jakości i wydajności), sposobu dostawy energii, czynników produkcji (maszyn, urządzeń, surowców i materiałów), wykorzystania energii odpadowej i ochrony środowiska jest bardzo pracochłonne. Celowe jest także uświadamianie projektantów, menadżerów i decydentów o potrzebie zmniejszania energochłonności i racjonalnego użytkowania energii w poszczególnych gałęziach, zakładach przemysłowych i procesach technologicznych.

3. Metody przydatne w badaniach zużycia energii w przemyśle

Zużycie energii jako kategoria ekonomiczna opisywane jest wieloma cechami. Analiza tak złożonego zjawiska wymaga stosowania odpowiednich metod. Przy badaniu poszczególnych zmiennych korzysta się ze wskaźników syntetycznych oraz metod analizy rozkładów zmiennej losowej [40, 55]. Łączne rozpatrywanie wielu cech możliwe jest przy zastosowaniu metod taksonomicznych. Pozwalają one dokonywać analiz porównawczych wielowymiarowych kategorii, zarówno w czasie, jak i w przestrzeni [23, 93]. Powiązania między poszczególnymi zmiennymi charakteryzującymi zużycie energii, a w szczególności zależności przyczynowo-skutkowe opisywane są modelami ekonometrycznymi. W badaniach prognostycznych mogą znaleźć zastosowanie również modele Markowa. Poniżej zostaną scharakteryzowane najbardziej użyteczne metody ilościowe.

3.1. Metody analizy rozkładów zmiennych losowych

Empiryczne rozkłady zmiennych losowych przyjmują postać szeregów statystycznych, czyli ciągów liczb, będących wartościami realizacji dowolnej zmiennej. Rozróżniamy *szeregi statystyczne szczegółowe*, obejmujące wszystkie pojedyncze realizacje zmiennej, oraz *szeregi rozdzielnice (strukturalne)*, gdzie poszczególnym realizacjom cechy przyporządkowuje się częstość ich występowania w badanej próbie. Szereg opisujący zjawisko w różnych okresach jest *szeregiem dynamicznym (chronologicznym)*. Jeżeli obserwacje dotyczą ustalonego momentu, ale różnych obiektów, to szereg statystyczny nazywamy *przestrzennym lub statystycznym*.

W analizie *szeregów statystycznych* rozpatruje się przeciętny poziom realizacji zmiennej, obszar jej zmienności, symetryczność rozkładu oraz jej koncentrację. Służą do tego odpowiednie parametry opisowe zbiorowości statystycznych, które dzielą się na *parametry położenia* i *parametry rozproszenia*. *Parametry położenia* to: średnia, mediana i inne kwantyle oraz dominanta. *Parametry rozproszenia* to przede wszystkim momenty centralne drugiego i trzeciego rzędu.

Wartość średnia jest parametrem służącym do opisywania szeregu statystycznego charakteryzującego się pewną tendencją centralną, to znaczy szeregu, w którym znaczna

część wartości mieści się w bliskim przedziale wokół średniej. Rozkłady nie posiadające tendencji centralnej nie powinny być charakteryzowane wartościami średnimi. Najczęściej stosowaną średnią typu klasycznego jest *średnia arytmetyczna*.

Średnia arytmetyczna liczona jako średnia prosta jest ilorazem sumy wartości zmiennej i liczby obserwacji. Dla danego ciągu obserwacji x_i ($i = 1, 2, \dots, n$), wartość średnia S wyraża się wzorem

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (3.1)$$

Jeśli wartości zmiennej występują w danej zbiorowości z różną częstością, wówczas oblicza się średnią arytmetyczną jako średnią ważoną. Dla danego ciągu obserwacji x_i , występujących z liczebnościami m_i ($i = 1, 2, \dots, n$), wartość średniej ważonej S wyraża się wzorem

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n m_i x_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad (3.2)$$

Inną średnią pozycyjną stosowaną do oceny, zwłaszcza szeregów asymetrycznych, jest *dominanta*, zwana też wartością najczęstszą, *modalną*. Jej wyznaczenie jest celowe w przypadku szeregu w wyraźnej koncentracji wokół jednego punktu. Wyznaczenie dominanty z szeregu szczegółowego nie wymaga żadnych dodatkowych obliczeń, jest to bowiem najczęściej występująca wartość szeregu rozdzielnego. Pewną ilość cennych informacji można uzyskać badając poszczególne zmienne oddzielnie.

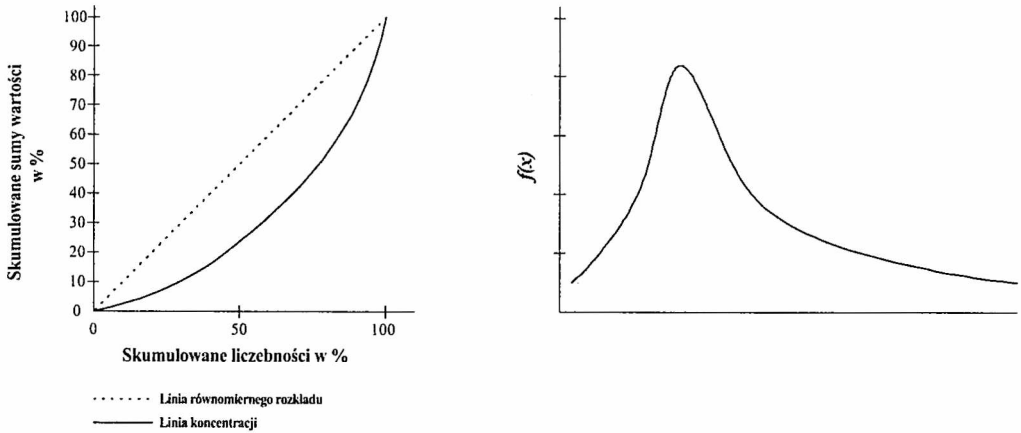
W badaniach przestrzennego i dynamicznego zróżnicowania potrzeb energetycznych szerokie zastosowanie znajdują parametry rozkładów oraz inne mierniki syntetyczne [55, 67, 105].

Bezwzględny miernikiem zróżnicowania może być *rozstęp*, definiowany jako różnica pomiędzy największą i najmniejszą wartością zmiennej. Miernik ten jest w praktyce stosowany dosyć rzadko, ponieważ daje tylko bardzo ogólną informację.

Do najpopularniejszych miar koncentracji należy *współczynnik koncentracji Lorenza*, związany z krzywą koncentracji Lorenza (rys. 3.1). Krzywa jest graficzną ilustracją w układzie kartezjańskim zależności dwóch szeregów skumulowanych, z których pierwszy zawiera skumulowane liczebności badanych jednostek, a drugi skumulowane sumy wartości dotyczące tych jednostek.

Do oceny rozproszenia można zastosować *współczynnik zmienności*, będący stosunkiem odchylenia standardowego do średniej.

Istotną rolę w analizach i prognozowaniu potrzeb energetycznych odgrywają opisy zmiennych za pomocą *rozkładów teoretycznych*. Poświęcono wiele prac zagadnieniom



Rys. 3.1. Krzywa Lorenza i logarytmiczno-normalna

Fig. 3.1. Lorenz and logarithmic-normal curves

dopasowania rozkładów teoretycznych do empirycznych rozkładów potrzeb. Szerokie zastosowanie praktyczne zyskał tu *rozkład logarytmiczno-normalny* (rys. 3.1).

Zmienna losowa X ma rozkład logarytmiczno-normalny, jeśli zmienna losowa $Y = \ln(X)$ ma rozkład normalny o wartości oczekiwanej μ i wariancji σ^2 , a więc jest to rozkład dwuparametryczny.

Podstawowe charakterystyki rozkładu można wyrazić za pomocą μ i σ :

- wartość oczekiwana $a = e^{\mu + \frac{1}{2}\sigma^2}$,
- wariancja $\beta = e^{2\mu + \sigma} (e^{\sigma^2} - 1)$,
- dominanta $d = e^{\mu - \sigma^2}$,
- współczynnik zmienności $w = \sqrt{e^{\sigma^2} - 1}$,
- współczynnik skośności $g = w^3 + 3w$,
- stosunek średniej do mediany $s_1 = e^{\frac{1}{2}\sigma^2}$,
- stosunek średniej do dominanty $s_2 = e^{\frac{3}{2}\sigma^2}$,
- frakcja obserwacji o wartościach nie większych od średniej $f_r = N\left(\frac{\sigma}{2}; 0; 1\right)$,
- współczynnik koncentracji Lorenza $L = 2N\left(\frac{\sigma}{2}; 0; 1\right)$.

Przedstawione mierniki w większości zależą od jednego parametru, co umożliwia ich tablicowanie i ułatwiało analizę w okresie mniejszej dostępności komputerów.

Metody estymacji parametrów rozkładu logarytmiczno-normalnego wynikają z jego związku z rozkładem logarytmicznym. Dla przykładu, metodą największej wiarygodności nie obciążone estymatory parametrów μ i σ^2 mają postać:

$$m_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln x_i \quad (3.3)$$

$$d^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\ln x_i - m_i)^2 \quad (3.4)$$

3.2. Metody analizy przestrzennego zróżnicowania zapotrzebowania na energię

Rola nośników energetycznych jako czynników warunkujących rozwój gospodarczo-społeczny zmusza do opracowania i wdrożenia skutecznych, a zarazem możliwie dokładnych metod oceny aktualnej i perspektywicznej struktury energetycznej kraju i jego podobszarów [10; 54, 59].

W obecnych warunkach spiętrzane od lat trudności i problemy energetyczne ujawniają się we wszystkich dziedzinach. Są one już dziś bardzo złożone i trudne do ogarnięcia w skali kraju. Obok więc metod oszacowań globalnych potrzeb energetycznych, istotną rolę odegrać mogą w tym zakresie analizy i prognozy w ujęciu regionalnym i makroregionalnym. Regiony w obecnym swym kształcie, z uwagi na stosunkowo niewielki obszar, umożliwiają dostatecznie szczegółową inwentaryzację infrastruktury energetycznej i bardziej precyzyjne ustalenie perspektywicznych potrzeb i możliwości dostarczenia energii.

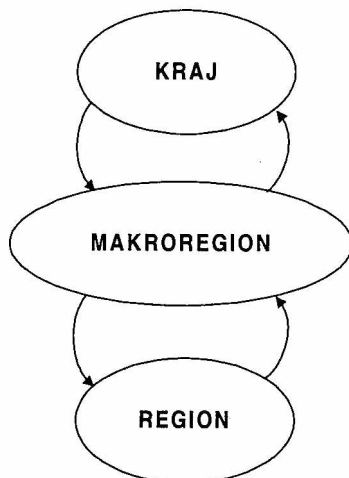
Gospodarowanie energią i jej użytkowanie są procesami, których nie da się oddzielić od przestrzeni, w jakiej one przebiegają. Oba procesy wymagają bowiem bazy materialnej przypisanej do konkretnych punktów w przestrzeni. W przypadku procesów produkcyjnych bazę materialną tworzą środki trwałe (budynki, budowle, maszyny, urządzenia) oraz infrastruktura techniczna (drogi, mosty, linie energetyczne, wodociągi itp.). Procesy użytkowania energii natomiast są na ogół związane z miejscem jej użytkowania lub miejscem pozyskania (zakupu) energii.

Region jest kategorią przestrzenną i gospodarczą, uzależnioną od poziomu rozwoju sił wytwórczych i panujących stosunków produkcji. Różnice w warunkach geograficzno-przyrodniczych, działanie wielu niejednorodnych czynników społeczno-ekonomicznych powodują, że regiony w kraju różnią się pod względem gospodarczym, ekologicznym, poziomem zagospodarowania i rozwoju. W strukturze przestrzennej kraju występują regiony lepiej i gorzej zagospodarowane, słabiej i silniej rozwinięte, o lepszych i gorszych warunkach środowiska oraz życia ludności. Zróżnicowany jest więc w re-

gionach poziom i struktura zużycia nośników energii przez różne działy gospodarki narodowej, w tym przez sektor przemysłowy.

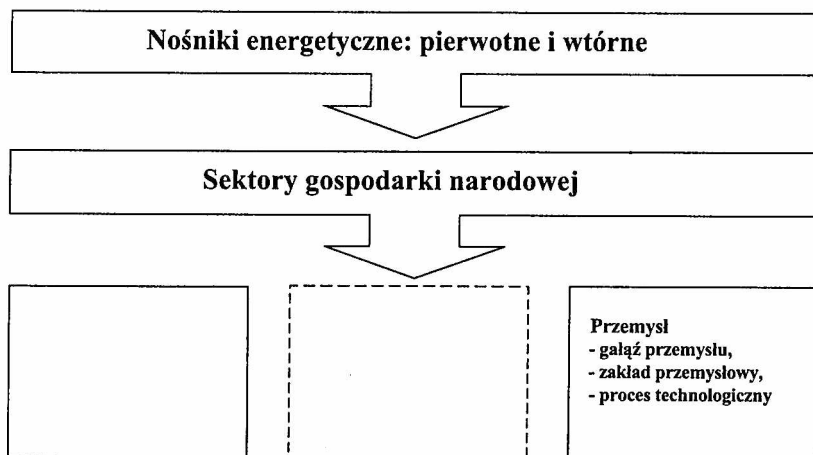
Jednakże regionów nie można traktować jako jednostek wyodrębnionych w zakresie produkcji i zużycia energii, istnieje zatem konieczność agregacji w zespoły makroregionalne, pozwalające na bardziej reprezentatywną syntezę w oparciu o wiarygodne i kompletne informacje z poszczególnych regionów (rys. 3.2).

Niezwykle ważnym źródłem informacji jest identyfikacja prawidłowości występujących w użytkowaniu nośników energii dla wyróżnionych horyzontów czasowych przez



Rys. 3.2. Zakres analizy przestrzennej

Fig. 3.2. Range of spatial analysis



Rys. 3.3. Zakres analizy rzeczowej

Fig. 3.3. Range of factual analysis

całą gospodarkę krajową i poszczególne sektory (działy) gospodarki. Zakres analizy rzeczowej może dotyczyć badania potrzeb energetycznych przez przemysł ogółem lub w poszczególnych jego gałęziach w wyróżnionym obszarze i uchwycenia występujących odrębności (rys. 3.3). Celowe jest też zdefiniowanie zależności obrazujących zużycie energii od wielkości ekonomicznych: produkcji globalnej, ponoszonych nakładów inwestycyjnych, liczby zatrudnionych itp.

Stosowanie w analizach przestrzennego zróżnicowania tradycyjnych metod statystycznych jest niewystarczające. Ujawnia się to szczególnie w trakcie prowadzenia analiz kwalifikacyjnych i porównawczych, które są podstawową czynnością wszystkich niemal badań ekonomicznych.

3.3. Metody taksonomiczne

W coraz szerszym zakresie w badaniach potrzeb energetycznych odbiorców przemysłowych znajdują zastosowanie metody taksonomiczne, które umożliwiają analizę (kwalifikacje, porównywanie) obiektów w przestrzeni wielowymiarowej [23, 90, 93, 94]. Taksonomia jest dziedziną nauki zajmującą się zasadami i procedurami klasyfikacji, czyli porządkowania, grupowania i podziału. Podstawowe przesłanki prowadzenia klasyfikacji to:

- zredukowanie zgromadzonych informacji do kilku podstawowych kategorii, co pozwala na wyciągnięcie wniosków uogólniających oraz ustalenie topologii w zakresie badanej problematyki,
- określenie jednorodnych przedmiotów analizy, w ramach których łatwiej jest wyodrębnić czynniki systematyczne oraz ewentualne związki przyczynowo-skutkowe,
- skrócenie czasu i obniżenie kosztów badań przez ograniczenie rozważań do najbardziej typowych faktów, zjawisk, obiektów, przy stosunkowo niewielkich stratach informacji i zmniejszeniu się prawdopodobieństwa otrzymania zniekształconych wyników analizy.

Rzeczywistość, którą analizujemy przy pomocy metod taksonomicznych, to rozpatrywany w czasie zbiór obiektów przemysłowych, opisany zestawem cech statystycznych. W przypadku badań dotyczących poziomu potrzeb energetycznych przemysłu punktem wyjścia może być podział gałęziowy i terytorialny. Należy podjąć decyzję czy analizę prowadzić przy uwzględnieniu podziału kraju na jednostki administracyjne, czy też geograficzno-ekonomiczne. Z uwagi na potrzeby zarządzania, planowania oraz dostępny materiał statystyczny bardziej praktyczne jest przyjęcie za podstawę istniejący podział administracyjny, gdyż ułatwia to dekompozycję na układ terytorialny założeń polityki ekonomicznej państwa.

Kolejnym problemem, który należy rozwiązać, jest ustalenie wstępnej listy cech opisujących poziom potrzeb energetycznych lub ich uwarunkowań w badanych obiektach. Na podstawie tej listy, utworzonej z uwzględnieniem kryteriów merytorycznych, two-

rzy się zestaw cech diagnostycznych. Dobór zmiennych diagnostycznych jest procesem złożonym i wymaga zwykle oprócz analizy merytorycznej również analiz statystycznych. W przypadku zjawisk złożonych analizowany jest wektor zmiennych X

$$X = [X_1, X_2, \dots, X_m] \quad (3.5)$$

gdzie: m – liczba zmiennych ($m \geq 2$).

W tym celu do dalszych rozważań przydatna jest macierz obserwacji B dla m zmiennych w n przypadkach (obiektach)

$$B = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1m} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{n1} & X_{n2} & \dots & X_{nm} \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

Przedmiotem oceny statystycznej jest przede wszystkim zmienność cech oraz ich niezależność. Zmienność cechy ustala się na podstawie współczynnika zmienności, natomiast niezależność cech bada się za pomocą współczynników korelacji r_{ij} . Ponieważ analiza bezpośrednia zależności korelacyjnych większego zbioru cech zmiennych jest dość kłopotliwa, więc można skorzystać z szeregu metod statystycznych ułatwiających dobór zestawu zmiennych spełniających warunek niezależności. Punktem wyjścia analizy niezależności cech jest macierz korelacji R , zawierająca dla każdej pary cech współczynnik korelacji

$$R = \begin{bmatrix} 1 & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & 1 & \dots & r_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

Redukcję zbioru wyjściowego do zbioru cech diagnostycznych można przeprowadzić na przykład metodą grafową przy założeniu, że zmienne diagnostyczne powinny być nisko skorelowane między sobą. W praktyce warunek $r_{ij} = 0$ zastępuje się warunkiem $r_{ij} \sim 0$. Przyjmuje się, iż korelacja pomiędzy zmiennymi jest dostatecznie niska, gdy charakteryzujący ją współczynnik korelacji między zmiennymi przyjmuje wartość nieistotnie różną od zera, przy danej liczbie obserwacji i założonym poziomie istotności.

W utworzonej macierzy korelacji zmiennych diagnostycznych wszystkie współczynniki korelacji nieistotnie różne od zera zastępuje się zerami, a pozostałe jedynkami.

W większości procedur taksonomicznych konieczne jest doprowadzenie cech diagnostycznych, zwykle niejednorodnych, do porównywalności za pomocą klasycznej procedury standaryzacji

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{\delta_j}, \quad (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m) \quad (3.8)$$

gdzie: z_{ij} – zestandaryzowana wartość j -tej cechy w i -tym obiekcie oraz

$$\bar{x}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij} \quad (3.9)$$

$$\delta_j = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2} \quad (3.10)$$

Zestandaryzowane cechy mają dwie właściwości: wartość średnia jest równa zero, a odchylenie standardowe równe jedności.

Stosowanie w sposób bezpośredni cech diagnostycznych, uwolnionych od miana przez standaryzację, do wyznaczenie wartości miar podobieństwa obiektów oznacza jednocześnie przyjęcie założenia o przypisaniu im jednakowego znaczenia przy opisie klasyfikowanych obiektów, a tym samym o jednakowych wagach poszczególnych zmiennych. Takie postępowanie nie jest uzasadnione, gdyż w zbiorach cech diagnostycznych zazwyczaj znajdują się wielkości o różnych zasobach informacji z punktu widzenia celu badań. Aby uwzględnić niejednakowe znaczenie poszczególnych cech diagnostycznych do opisu klasyfikowanych obiektów, konstruuje się wagi, które następnie są użyte do wyznaczenia miar podobieństwa obiektów.

W odniesieniu do wag cech diagnostycznych w_j zazwyczaj wysuwa się postulat, aby były spełnione następujące warunki:

1. były unormowane, $0 \leq w_j \leq 1$,
2. ich suma była równa jedności, $\sum_{j=1}^m w_j = 1$,
3. przyjmowały większe wartości dla cech o większym znaczeniu.

Występują dwa rodzaje wag dotyczące merytorycznej wartości cech diagnostycznych i ukazujące statystyczne własności cech.

W *pierwszym przypadku*, gdy znaczenie cech oceniane jest w punktach przez ekspertów, wagi cech diagnostycznych konstruuje się następująco

$$w_k = \frac{P_k}{\sum_{j=1}^m P_j} \quad (3.11)$$

gdzie: P_k – suma punktów przyznanych przez ekspertów dla ocenianej cechy,
 P_j – suma punktów uzyskanych przez wszystkie j -te cechy.

W drugim przypadku zwykle bierze się pod uwagę liczbę cech reprezentowanych przez zmienną diagnostyczną, poziom jej skorelowania z tymi cechami oraz poziom zmienności poszczególnych cech diagnostycznych. Na podstawie liczby cech reprezentowanych przez zmienną konstruowane są wagi

$$w_j = \frac{L_j + 1}{L} \quad (3.12)$$

gdzie: L – liczba wszystkich potencjalnych cech diagnostycznych,

L_j – liczba cech reprezentowanych przez j -tą zmienną diagnostyczną.

Wagi uwzględniające stopień skorelowania cech diagnostycznych z cechami, które te zmienne diagnostyczne reprezentują, definiuje się jako

$$w_j = \frac{r_j}{\sum_{k=1}^m r_k} \quad (3.13)$$

$$r_j = \frac{1}{L_j} \sum_{i=1}^{L_j} |r_{ij}| \quad (3.14)$$

gdzie: r_{ij} – współczynnik korelacji pomiędzy i -tą i j -tą zmienną.

Wagi określające poziom zmienności cech diagnostycznych mają postać

$$w_j = \frac{v_j}{\sum_{i=1}^m v_j} \quad (3.15)$$

gdzie: v_j – współczynnik zmienności j -tej cechy.

Przedstawione wagi mogą pełnić rolę mierników ważności poszczególnych cech diagnostycznych dla opisu badanego zjawiska.

Znaczna część procedur taksonomicznych polega na agregacji zmiennych diagnostycznych do jednej zmiennej syntetycznej – miernika rozwoju. W zależności od sposobu agregacji zmiennych wyróżnia się *metody wzorcowe* i *bezwzorcowe*.

W *metodach bezwzorcowych* (metoda sum standaryzowanych wartości, metoda rang) cecha syntetyczna powstaje w wyniku uśrednienia znormalizowanych zmiennych diagnostycznych.

W *metodzie sum standaryzowanych* cecha syntetyczna ma postać

$$q_i = \sum_{j=1}^m w_j z_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (3.16)$$

W metodzie rang zmienne składowe doprowadza się do porównywalności i addytywności przez rangowanie każdej z nich. Jako formułę agregacji przyjmuje się zazwyczaj średnią arytmetyczną rang.

Metody wzorcowe bazują na odległości obiektów od obiektu modelowego. Do porównań stosuje się formuły różnicowe i ilorazowe. Mierniki syntetyczne powstają w wyniku porównań obiektu rzeczywistego z wzorcem. Podstawy metodologii agregacji wzorcowej stworzył Z. Hellwig [40]. Na przykładzie taksonomicznej miary rozwoju Hellwiga można pokazać ideę metod wzorcowych. Konstruuje się obiekt modelowy (wzorzec rozwoju), który tworzą optymalne zaobserwowane wartości cech:

$$p_j = \begin{cases} \max z_{ij}, & \text{jeśli } j\text{-ta cecha jest stymulantą,} \\ \min z_{ij}, & \text{jeśli } j\text{-ta cecha jest destymulantą.} \end{cases}$$

Następnie dla każdego obiektu ustala się jego odległości od wzorca:

$$c_i = \sqrt{\sum_{j=1}^m (z_{ij} - p_j)^2} \quad (3.17)$$

Otrzymane odległości przekształca się w ten sposób, aby przyjmowały wartości z przedziału $\langle 0, 1 \rangle$ i aby ich wzrost odpowiadał korzystniejszemu kształtowaniu się analizowanego zjawiska, co ułatwia analizy porównawcze.

W tym celu stosuje się następujące przekształcenia:

$$q_i = 1 - \frac{c_i}{c_0} \quad (3.18)$$

gdzie:

$$c_0 = S_C + 2D_C \quad (3.19)$$

$$S_C = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n c_i \quad (3.20)$$

$$D_C = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (c_i - S_C)^2} \quad (3.21)$$

Tak przekształcona zmienna syntetyczna z prawdopodobieństwem bliskim 1 przyjmuje wartości z przedziału $\langle 0, 1 \rangle$.

Znaczną grupę metod taksonomicznych tworzą metody, w których porządkowanie przeprowadza się na podstawie macierzy odległości pomiędzy obiektami. Prowadzą one zwykle do nieliniowego uporządkowania zbioru obiektów i podziału na podzbiory (np.

metody dendrytowe). Sąsiadujące ze sobą w dendrycie jednostki są najmniej zróżnicowane ze względu na wszystkie wyróżnione cechy.

Wymienione metody charakteryzują się dużą prostotą i łatwością procedur komputerowych. Mniej popularna metoda gradientowa porządkowania liniowego wymaga bardziej złożonego algorytmu obliczeń i polega na znalezieniu takiej zmiennej syntetycznej, dla której różnice pomiędzy odległościami obiektów w wielowymiarowej przestrzeni cech i jednowymiarowej przestrzeni będą najmniejsze. Jako funkcję kryterium przyjmuje się

$$F = \sum_{i < j} \left(\frac{d_{ij} - \delta_{ij}}{\delta_{ij}} \right)^2 \quad (3.22)$$

gdzie: d_{ij} – odległość między i -tym i j -tym obiektem w wielowymiarowej przestrzeni cech,

δ_{ij} – odległość między i -tym i j -tym obiektem w przestrzeni określonej zmienną syntetyczną.

Wyznaczenie zmiennej syntetycznej prowadzi do zadania programowania nieliniowego. Powstała zmienna syntetyczna, podobnie jak poprzednio, może być wykorzystywana do liniowego porządkowania zbioru obiektów i do analiz porównawczych.

Za wyborem metod taksonomicznych do analizy potrzeb energetycznych przemawia wysoka ocena w literaturze przedmiotu, możliwość praktycznego zastosowania, prostota obliczeniowa i łatwość oprogramowania [5, 135].

3.4. Modelowanie ekonometryczne zużycia energii

Do oszacowania potrzeb energetycznych w przemyśle można wykorzystywać modelowanie ekonometryczne. Podstawowym narzędziem są modele ekonometryczne, stanowiące konstrukcję formalną swego rodzaju idealizacji rzeczywistości. Model ekonometryczny przedstawia zapis matematyczny wzajemnych uwarunkowań wielkości ekonomicznych i energetycznych. Modele ekonometryczne mogą przyjmować postać pojedynczych równań lub bardziej rozbudowanych układów równań. Wielkości, których kształtowanie się model odzwierciedla lub które stanowią ich uwarunkowania, pełnią w modelach ekonometrycznych funkcje zmiennych objaśnianych i objaśniających [23, 112, 121, 137].

Modele ekonometryczne mogą być zróżnicowane ze względu na liczbę równań w modelu, liczbę zmiennych objaśnianych, postać analityczną równań, charakter powiązań między zmiennymi, stopień losowości itp. Budowanie modeli ekonometrycznych stwarza wiele problemów. Do najistotniejszych zaliczyć można:

- właściwe określenie celu i zakresu modelu, czyli możliwość jednoznacznego zdefiniowania zjawiska, które model ma odzwierciedlać,
- możliwość zdefiniowania i właściwy dobór zmiennych objaśnianych poszczególnie zmienne endogeniczne modelu,

- ustalenie poprawnego typu zależności funkcyjnej między zmiennymi w modelu,
- badanie współzależności modelowanych kategorii w czasie, przestrzeni lub zależności przestrzenno-czasowych,
- ustalenie odpowiednich do realizacji zjawisk jednostek obserwacji – obiektów przestrzennych oraz okresów czy momentów, w których będą dokonywane obserwacje,
- zgromadzenie odpowiednich zbiorów danych statystycznych o realizacjach zmiennych,
- wybór właściwej metody szacowania parametrów modelu,
- zweryfikowanie poprawności modelu.

Najpoważniejszym problemem w modelowaniu zjawisk gospodarczych jest to, że między rzeczywistym obiektem, którym jest gospodarka narodowa czy jej elementy (przemysł, gałąź przemysłu, zakład przemysłowy), a modelem istnieje element pośredni, jakim jest wyobrażenie twórcy modelu o obiekcie, wyrażone za pomocą określonej teorii opisującej funkcjonowanie obiektu i sposób jego poznania.

W przeprowadzonych badaniach poziomu potrzeb energetycznych obiektów przemysłowych i ich uwarunkowań pojawiły się wszystkie te problemy, będące w istocie ograniczeniami modelowania. Największym jednak utrudnieniem jest dostępność i porównywalność danych statystycznych, warunkując możliwość uwzględnienia określonych kategorii jako zmiennych w modelach [58, 150, 153].

MODELE EKONOMETRYCZNE

Modele ekonometryczne mogą być klasyfikowane wg różnych kryteriów, lecz najczęściej przydatne są:

- modele przyczynowo-skutkowe,
- modele tendencji rozwojowej,
- modele regresyjne w zastosowaniu do badań ekonometrycznych.

Modele przyczynowo-skutkowe

Badania ekonometryczne umożliwiają podjęcie decyzji co do analitycznej postaci modelu, oszacowania parametrów oraz sprawdzenia jakości modelu. Zdarza się też tak, że obiekty badania opisane są za pomocą zbioru zmiennych. Traktujemy wówczas obiekt badania jako punkt przestrzeni wielowymiarowej. Pozwala to na grupowanie i klasyfikację obiektów położonych blisko siebie, czyli jednostek statystycznie jednorodnych.

Za pomocą metod wielowymiarowej analizy porównawczej rozwiązuje się zwykle następujące zagadnienia:

- bada się podobieństwo obserwacji pod względem zjawiska złożonego z wykorzystaniem metod klasyfikacji,
- szereguje się obserwacje pod względem poziomu zjawiska złożonego z wykorzystaniem metod porządkowania liniowego zbioru. W celu ujednolicenia zmiennych (cech diagnostycznych) przeprowadza się standaryzację

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{s_j} \quad (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m) \quad (3.23)$$

gdzie: z_{ij} – standaryzowana wartość j -tej cechy w i -tej obserwacji,

$\bar{x}_j$ – średnia arytmetyczna zmiennej x_j ,

s_j – odchylenie standardowe zmiennej x_j .

W wyniku standaryzacji i po uwzględnieniu współczynników wagowych λ_j otrzymujemy macierz odległości C . Metody klasyfikacji zbioru obserwacji umożliwiają podział zbioru n obserwacji rozłącznych podzbiorów. Odległości między obserwacjami w poszczególnych klasach są małe (metoda środka ciężkości), odległości zaś między obserwacjami z różnych klas są duże, gdyż klasy są skoncentrowane w różnych obszarach.

Metody porządkowania liniowego pozwalają na liniowe uszeregowanie badanych jednostek za pomocą zmiennych opisujących badane zjawisko z wykorzystaniem stymulant lub destymulant przy zastosowaniu np. metody wzorca rozwoju.

Modele tendencji rozwojowej

Podstawą badania są tzw. szeregi czasowe, w których poszczególnym okresom przyporządkowane są wartości badanej zmiennej. Modele dynamiczne są bardzo pomocne do analiz przewidywanego rozwoju badanego zjawiska, czyli prognozy. Stosowane są tu metody wyodrębnienia ogólnej tendencji rozwojowej (modele trendu). Wyodrębnienie tendencji rozwojowej szeregu dynamicznego jest jej wyrażeniem za pomocą funkcji trendu, czyli matematycznej funkcji zmiennej czasowej.

Klasyczne funkcje trendu to:

$$1. \text{ Trend liniowy} \quad \hat{y} = a_0 + a_1 t \quad (3.24)$$

gdzie: a_0, a_1 – parametry funkcji trendu,

t – zmienna czasowa.

2. Trend nieliniowy sprowadzalny do liniowego, w którym parametry strukturalne szacuje się w wyniku transformacji liniowej. Wyróżnia się

$$- \text{trend wykładniczy} \quad \hat{y} = a_0 a_1^t \quad (3.25)$$

w którym parametry szacuje się przez sprowadzenie go do postaci liniowej przez obustronne zlogarytmowanie

$$\hat{y}' = a'_0 + a'_1 t \quad (3.26)$$

$$- \text{trend logarytmiczny} \quad \hat{y} = a_0 + a_1 \log t \quad (3.27)$$

$$t' = \log t \quad (3.28)$$

$$\hat{y}' = a_0 + a_1 t' \quad (3.29)$$

$$- \text{trend potęgowy} \quad \hat{y} = a_0 \cdot t^{a_1} \quad (3.30)$$

$$\log \hat{y} = \log a_0 + a_1 \log t \quad (3.31)$$

$$\hat{y}' = \log \hat{y}, t' = \log t, a'_0 = \log a_0 \quad (3.32)$$

$$\hat{y}' = a'_0 + a'_1 t' \quad (3.33)$$

– trend logistyczny
$$\hat{y} = \frac{a_0}{1 + a_1 e^{-t}} \quad (3.34)$$

gdzie: $a_0 > 0, a_1 > 1$

$$a'_0 = \frac{1}{a_0}, a'_1 = \frac{a_1}{a_0}, \hat{y}' = \frac{1}{y}, t' = e^{-t} \quad (3.35)$$

$$\hat{y}' = a'_0 + a'_1 t' \quad (3.36)$$

– trend hiperboliczny
$$\hat{y} = a_0 + \frac{a_1}{t} \quad (3.37)$$

$$t' = \frac{1}{t} \quad (3.38)$$

$$\hat{y}' = a_0 + a_1 t' \quad (3.39)$$

$$\hat{y} = \frac{a_0 t}{t + a_1} \quad (3.40)$$

$$a_0 = \frac{1}{a_0}, a'_1 = \frac{a_1}{a_0}, y' = \frac{1}{y}, t' = \frac{1}{t} \quad (3.41)$$

$$\hat{y}' = a'_0 + a'_1 t' \quad (3.42)$$

3. Trend pełzający

Stosowany jest w przypadku, gdy tendencja rozwojowa ulega zmianom w miarę upływu czasu. Szacuje się wtedy parametry trendów segmentowych (odcinkowych).

Modele regresyjne w zastosowaniu do badań ekonometrycznych

Modele regresyjne pozwalają określić zależności zmiennej objaśnianej od zmiennych objaśniających. Jakość modelu regresyjnego zależy od stopnia współliniowości zmiennych objaśniających. Ogólnie modele regresyjne można podzielić na liniowe i nieliniowe sprowadzalne do liniowych [23, 86, 87].

Model regresji liniowej wielu zmiennych można przedstawić w postaci

$$y = a_0 + a_1 x_1 + \dots + a_m x_m + \varepsilon \quad (3.43)$$

lub w postaci macierzowej

$$Y = XA + E \quad (3.44)$$

gdzie: Y – wektor obserwacji zmiennej objaśnianej,
 X – macierz obserwacji zmiennych objaśniających,
 A – wektor parametrów strukturalnych,
 E – wektor składników losowych.

Badanie istotności parametrów strukturalnych jest sformalizowaną drogą określenia wpływu zmiennych objaśniających na zmienną objaśnianą. Można badać zarówno wpływ poszczególnych zmiennych objaśniających, jak i całego zestawu tych zmiennych na zmienną objaśnianą.

Szacowanie modeli nieliniowych z wieloma zmiennymi objaśniającymi jest podobne do modeli nieliniowych z jedną zmienną objaśniającą, poprzez ich transformację do postaci liniowej.

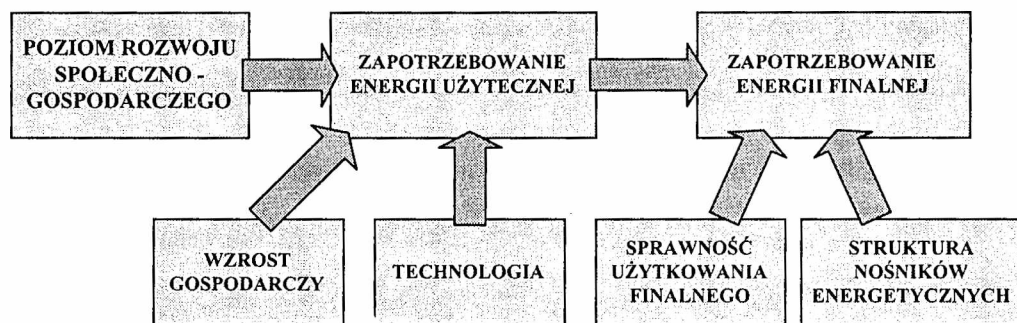
Dopasowanie modelu do danych empirycznych jest określane współczynnikiem determinacji R^2 , współczynnikiem zbieżności ϕ^2 lub współczynnikiem wyrazistości W .

3.5. Modele zużycia końcowego (end-use)

Modele *end-use* wywodzą się z analiz techniczno-ekonomicznych zapotrzebowania energii, w których całkowite zapotrzebowanie jest rozdzielane na moduły odpowiadające sektorom gospodarki, rodzajom transportu lub użytkowania finalnego [38, 74]. Ponieważ zmiany zapotrzebowania energii w dłuższym okresie zależne są od czynników ekonomicznych, socjalnych, technicznych i politycznych, zatem modele *end-use* są narzędziem badawczym możliwości ocen wszystkich wzorców zapotrzebowania energii w dalszych horyzontach czasowych. Pomimo różnic występujących w poszczególnych modelach, takich jak: MEDEE, MEDEE 2, MEDEE 3, MEDEE S, CONAES, WISE, OLADE, IDEE i in., ich podstawą jest:

- szczegółowa reprezentacja zapotrzebowania energii na poziomie rozpatrywanych modułów (sektorów, działów),
- zastosowanie scenariuszowego podejścia w celu umożliwienia uwzględniania czynników zależnych od przyjętej strategii rozwoju społeczno-gospodarczego kraju.

Całkowite zapotrzebowanie jest uzyskiwane przez agregowanie zapotrzebowania częściowego na poziomie modułów (sektorów gospodarki). Ogólny schemat dla sprecyzowanego modułu przedstawia rys. 3.4. Transformacja energii użytecznej na finalną jest związana z rodzajem energii i stosowanymi urządzeniami (sprawność). Ponadto rozróżnienie energii użytecznej i finalnej umożliwia ocenę skutków substytucji nośników energii na poziomie zapotrzebowania całkowitego, zwłaszcza substytucji paliw o znacznie różniących się sprawnościach użytkowania końcowego, np. przejście z paliw tradycyjnych na paliwa nowoczesne. Ten typ modeli wymaga starannego sformułowania założeń

Rys. 3.4. Zapotrzebowanie energii w modelach typu *end-use*Fig. 3.4. Power demand in *end-use* models

dotyczących przyszłych zmian technologii, rozwoju gospodarczego oraz struktury przemysłu, zależnej od sposobu użytkowania i charakteru wymiany międzynarodowej. Modele *end-use* są modelami bilansowymi z licznymi zmiennymi egzogenicznymi: zmiany w strukturze ekonomicznej, w technologii (zwłaszcza technologie energooszczędne), zmiany w strukturze paliw (substytucje nośników) itp.

Modele typu *end-use* pozwalają na:

- uzyskanie informacji o zmianach zapotrzebowania w dłuższym okresie, zwłaszcza w zakresie oszczędności i substytucji energii, także wzorców rozwoju społeczno-ekonomicznego,
- analizę efektywności energetycznej i substytucji,
- bilansowanie strony czynnej i biernej na określonym poziomie z uwzględnieniem jakości energii,
- wyznaczenie determinant zapotrzebowania.

Ze względu na trudność określania elastyczności cenowej na poziomie użytkownika końcowego czasami się przyjmuje, że wpływ cen jest już zawarty w założeniach dotyczących oszczędności i substytucji energetycznej. Modele *end-use* mogą w odróżnieniu od tradycyjnych modeli ekonometrycznych uwzględniać długoterminowe zmiany strukturalne ze względu na wysoki stopień dezagregacji oraz wpływ na poziom użytkowania finalnego. Jednak wadą jest nadmierna zależność od historii procesu i mechanizmów rynkowych.

W modelach typu *end-use* możliwa jest symulacja zachowań odbiorcy w zakresie oszczędności i substytucji energetycznej na podstawie zależności uwzględniających ceny energii, koszty przedsięwzięć racjonalizujących zużycie energii, substytucji nośników energii lub czynników ekonomicznych, gdyż zastosowanie innego paliwa może zmienić zapotrzebowanie energii oraz wymusi zainstalowanie innych urządzeń, itp.

Różnorodność modeli *end-use* stosowanych za granicą wynika z:

- poziomu dezagregacji,

- dostępności danych,
- uwzględniania efektów cenowych,
- uwzględniania zmian w technologiach,
- scenariusza podejmowania decyzji.

Zagadnienia te stają się też ważne w strategii rozwoju sektora energetycznego, w aktualnych warunkach krajowych kreowania rozwoju lokalnych rynków energii.

3.6. Metody prognozowania potrzeb energetycznych

Złożoność problematyki prognostycznej [23, 27, 28, 74, 119, 157] zmusza do klasyfikacji stosowanych metod ze względu na:

- rozmiar badanego obiektu,
- horyzont czasowy prognozy,
- zakres informacji.

Rozmiar obiektu może zmieniać się w szerokich granicach, gdyż analizy prognostyczne mogą dotyczyć pojedynczego zakładu, gałęzi przemysłu, wydzielonych obszarów lub całej gospodarki narodowej. Decyzje związane z ogólną strategią rozwoju społeczno-gospodarczego dla celów planowania zapewnienia zapotrzebowania na energię rozpatrywane są w skali kraju i jego regionów.

Rozpatrywane horyzonty prognozy (wyprzedzenie czasowe) zależą od zakresu badanych wielkości i celu, jakim mają służyć uzyskane wyniki. Wyróżnia się następujące zakresy prognozowania:

- 10–15 (25 lat) – długoterminowe globalne zapotrzebowanie energii, np. w celu planowania inwestycji w bazie paliwowo-energetycznej i sposobu pozyskania nośników energii,
- 1–10 lat – średnioterminowe miesięczne zapotrzebowanie energii, np. w celu korygowania planów inwestycyjnych,
- do 1 roku – krótkoterminowe w celu korygowania planów,
- 3–12 miesięcy – wartości obciążeń charakterystycznych dla wszystkich dni okresu w celu korygowania planów remontów, produkcji mocy i energii oraz współpracy z zagranicą,
- 1 doba–3 miesiące – wartości godzinowe zapotrzebowania mocy dla wszystkich dni w okresie, w celu korygowania planu eksploatacji systemu,
- 6–24 godziny – godzinowe wartości zapotrzebowania mocy, korygowane z uwzględnieniem parametrów meteorologicznych, wpływu audycji TV i innych czynników nieprzypadkowych – w celu ustalenia programu pracy systemu,
- do 6 godzin – skorygowane wartości zapotrzebowania mocy – do bieżącego sterowania pracą systemu.

W programowaniu i planowaniu najbardziej istotne są prognozy o horyzontach długoterminowych, związane z cyklem żywotności podstawowych obiektów energetycz-

nych i cyklem demograficznym (do 25 lat) oraz prognozy o horyzontach średnioterminowych (do 10 lat), związane z cyklem realizacji inwestycji energetycznych.

Możliwości zastosowań niektórych modeli do prognozy obciążeń elektrycznych i zużycia energii przedstawiono w tabelach 3.1 i 3.2.

Tabela 3.1. Wykaz aplikacji modeli do prognozy obciążeń elektrycznych i zużycia energii [28]

Table 3.1. Application of models in forecast of electric load and energy consumption [28]

		Metody											
Horyzont prognozy		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Prognozy przebiegu obciążeń elektroenergetycznych	Godzina								x	x			
	Doba					x	x			x			
	Tydzień												
	Miesiąc												
	Kwartał												
	Rok											x	
	Prognozy wieloletnie	Doba zimowa i letnia		x	x								
		Przebieg roczny											x
		Przebieg szczytu rocznego				x	x						
Uwzględnienie wpływu temperatury zewnętrznej									x		x	x	
Prognozy zużycia energii elektrycznej	Doba					x							
	Tydzień												
	Miesiąc												
	Kwartał										x		
	Rok				x				x				
	5 lat	x			x				x				
	10 lat	x			x				x				
	15 lat				x				x				
	20 lat				x				x				

Objaśnienia stosowanych metod prognozowania:

1. End-use – model strukturalny
2. MFP – Model Funkcji Punktowych
3. MFP + AG – Model Funkcji Punktowych wspomagany Algorytmem Genetycznym
4. ML – Model Logistyczny
5. MRK – Model Rozkładu Kanonicznego wektora losowego
6. MRK+AG – Model Rozkładu Kanonicznego wektora losowego wspomagany Algorytmem Genetycznym
7. Sieć MRK
8. MWF – Model oparty na Wymiarze Fraktalnym
9. SSN – Sztuczne Sieci Neuronowe
10. W – wielomiany
11. U – unormowana funkcja rocznego przebiegu obciążeń

Tabela 3.2. Sprawdzone i potencjalne możliwości wykorzystania modeli prognostycznych [28]

Table 3.2. Verified and potential applicability of forecast models [28]

	Horyzont prognozy	Metody										
		End- use	MFP	MFP + AG	ML	MRK	MRK + AG	Sieć MRK	MWF	SSN	W	U
Prognozy przebiegu obciążeń elektroenergetycznych	Bardzo krotko- terminowe VSTLF					P	P		S	P		
	Krótko- terminowe STLF					S	S	P	S	S		
	Średnio- terminowe MTLF		S	S		S	S					S
	Długo- terminowe LTLF		S	S	P	S	S					
Prognozy zużycia energii elektrycznej	Krótko- terminowe	P			P	S	S	P		P	P	
	Średnio- terminowe	S			S	S			S	P	S	
	Długo- terminowe	S			S	S			S	P		

Oznaczenia modeli:

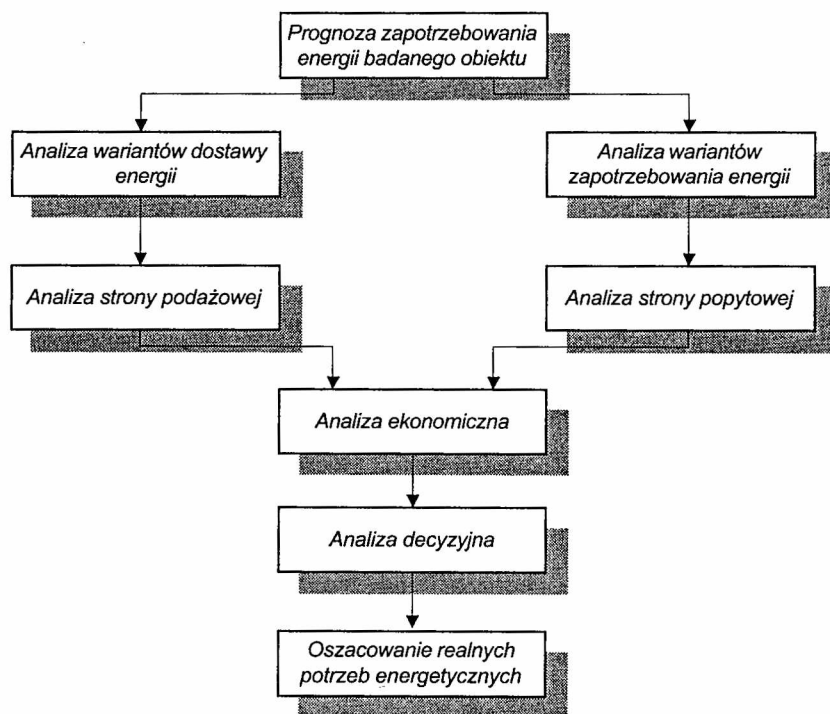
S – modele empiryczne sprawdzone, o zbadanej dokładności

P – modele formalnie przydatne

Procedurę prognozowania potrzeb energetycznych przedstawiono na rysunku 3.5. Z teoretycznego punktu widzenia można założyć, że potrzeby energetyczne całego przemysłu, czy pojedynczego zakładu w danym przedziale czasu są określone n -elementarnym wektorem ilości zużytych nośników energetycznych. Zbiór wektorów nośników energii tworzy n -wymiarową przestrzeń, zwaną przestrzenią nośników. Zakłada się ponadto, że na zbiorze wektorów nośników określono rzeczywistą funkcję preferencji, która ma większą wartość dla wektora zużycia nośnika bardziej akceptowanego. Założenie to ma sens tylko wtedy, gdy istnieje relacja preferencji określana na zbiorze przestrzeni nośników.

Charakterystyczną cechą nośników energii może być ograniczoność ich podaży na rynku w danym okresie i limitowany funduszem nabywczym zakładów przemysłowych popyt na nie. Zachowanie danego i -tego zakładu przemysłowego powinno zmierzać do maksymalizacji efektywności wykorzystania nośników energii, którą możemy opisać funkcją

$$z_i = F_i(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}) \quad (3.45)$$



Rys. 3.5. Procedura prognozowania

Fig. 3.5. Procedure of forecasting

W przypadku rozważań dla całej grupy zakładów przemysłowych przynależnych danej gałęzi przemysłu, model przyjmuje postać

$$z = \sum_{i=1}^k f_i(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}) \rightarrow \max \quad (3.46)$$

$$\sum_{i=1}^k x_{ij} \leq d_j \quad (3.47)$$

$$\sum_{j=1}^n c_j x_{ij} \leq p_i \quad (3.48)$$

$$x_{ij} \geq 0$$

gdzie: k – liczba zakładów przemysłowych,

n – liczba nośników użytkowych,

x_{ij} – ilość j -tego nośnika nabytego przez i -ty zakład przemysłowy,

c_j – cena j -tego nośnika,

d_j – podaż j -tego nośnika,
 p_j – dochód j -tego zakładu.

Metoda end-use

Modele typu *end-use* zostały opracowane w krajach uprzemysłowionych w latach siedemdziesiątych i od tego czasu stały się popularnymi i stosowanymi na całym świecie narzędziami techniczno-ekonomicznej analizy zapotrzebowania na energię.

Modele te są pomocne przede wszystkim w określaniu struktury zapotrzebowania na energię, bez skupiania się jedynie na jednym wybranym nośniku energii. Można je stosować zarówno do prognoz globalnych, jak i na poziomie regionalnym, czy też na rynku lokalnym. Z uwagi na realizowane funkcje oraz stosowaną metodologię wśród modeli typu *end-use* można wyróżnić:

- modele bilansujące, np. MEDEE 2 z modułem MAED, CONAES, OLADE,
- ekonometryczne modele typu *end-use*, np. ENDIM, MIDAS,
- symulacyjne modele typu *end-use*, m.in. MEDEE 3 ME, SPPS, SPRU.

Podstawową funkcją, którą model ma spełniać, jest uwzględnienie wpływu zmian strukturalnych gospodarki globalnej lub lokalnej na zapotrzebowanie energii w danym obszarze.

Model typu *end-use* umożliwia rozpatrywanie zapotrzebowania na energię na poziomie użytkownika końcowego, przy czym pojęcie to można przyporządkować odbiorcy na różnym poziomie hierarchicznym. W zależności od szczegółowości dezagregacji odbiorców użytkownikiem końcowym w analizie energochłonności może być sektor gospodarki, gałąź przemysłu bądź też określona technologia.

W modelowaniu typu *end-use* ważną rolę odgrywają zmiany w technologiach. W przeciwieństwie do modelowania ekonometrycznego, gdzie czynniki te są odzwierciedlane przez trendy lub też w terminach ewolucji przez kombinację czynników produkcyjnych, modele *end-use* traktują zmiany technologiczne w sposób jawny na dwóch poziomach: na poziomie technologii użytkowania finalnego (np. procesy technologiczne w przemyśle, zwłaszcza w przemysłach energochłonnych, normy izolacyjności przegród budowlanych, sprawności samochodów osobowych i ciężarowych) oraz na poziomie odbiorników energii (np. kotły, silniki, piece). Rozróżnienie takie jest istotne ze względu na zróżnicowaną zwłokę czasową oddziaływań. Technologie użytkowania finalnego zmieniają się zazwyczaj wolno i czas zwłoki jest znaczny, podczas gdy zmiany na poziomie odbiorników mogą zachodzić znacznie szybciej, a zwłoka czasowa nie przekracza czasu żywotności tych urządzeń (tj. od 7 do 15 lat).

Sztuczne sieci neuronowe – SSN

Sztuczne sieci neuronowe zostały zastosowane do analizy i prognozy (w tym elektroenergetycznej) dla krótkich wyprzedzeń czasowych. Sieci te z reguły nie wymagają znajomości jawnej (analitycznej) zależności między obciążeniem bieżącym a obciążeniami poprzedzającymi (historycznymi) oraz oddziałującymi na nie czynnikami (jak uwa-

runkowania klimatyczne), ponieważ same stanowią elastyczne (ogólnie biorąc – nieliniowe) odwzorowanie w postaci uwikłanej zależności odpowiednio ekstrapolowanej, dając dobrą ocenę przyszłego obciążenia (prognozę). Ogólnie, SSN jest siecią, której węzły są elementami przetwarzającymi lub operacyjnymi (*processing elements*), nazywanymi sztucznymi neuronami (*artificial neurons*), które są wzajemnie połączone przez wiązania zwane łączami ważonymi i które współpracują, wykonując równoległe rozłożone przetwarzanie w celu rozwiązania danego problemu. SSN są zatem scharakteryzowane przez architekturę (strukturę) ze związanym z nią prawidłem propagacji sygnałów, a także przez rodzaj neuronów, przez procedurę trenowania (metody i strategie uczenia) i przez zasadę działania.

Z punktu widzenia architektury i zastosowania do predykcji, spośród sieci neuronowych (SN) można wydzielić dwie duże klasy:

- sieci (wielo)-warstwowe (*multilayered*), czyli sieci przenoszące jednokierunkowo sygnały, lub też krótko – przenoszące w przód (*feedforward*),
- sieci quasi-warstwowe, czyli sieci przenoszące dwukierunkowo sygnały, tj. ze sprzężeniem zwrotnym (*feedback*), zwane też rekurencyjnymi (*recurrent*), jak np. sieci Hopfielda.

Podstawowe elementy przetwarzające, tj. sztuczne neurony bez właściwości dynamicznych, mogą być podzielone na liniowe i nieliniowe i odpowiednio – utworzone z nich sieci neuronowe. Są dwie podstawowe metody uczenia tych sieci neuronowych: uczenie nadzorowane (*supervised learning*) lub reguła DELTA i jej uogólnienie oraz bez nadzorowania (*unsupervised*) lub reguła Hebba z modyfikacjami Grossberga.

Rodzaje sieci neuronowych opisywanych najczęściej w praktyce prognozowania:

1. *Sieć Kohonena*, nazywana również samoorganizującą się mapą (*Self-Organizing Map, SOM*), jest jednokierunkową siecią dwuwarstwową z liniową warstwą wyjściową. Funkcjonalnie sieć SOM jest klasyfikatorem uczonym bez nadzoru za pomocą algorytmu Kohonena.
2. *Sieć Hecht-Nielsena* nazywana jest też siecią z kontrpropagacją (*Counter Propagation, CP*) lub siecią „przesyłającą żetony”. Składa się z trzech warstw. Warstwa wejściowa dostarcza sygnał do ukrytej warstwy konkurencyjnej, której zadaniem jest klasyfikacja prezentowanych sieci wektorów. Warstwa wyjściowa, nazywana też warstwą Grossberga, jest liniowa.
3. *Wielowarstwowy perceptron* (*Multi Layer Perceptron, MLP*) jest jednolitą wielowarstwową, jednokierunkową siecią o nieliniowych funkcjach aktywacji.
4. *Sieć o radialnych funkcjach bazowych* (*Radial Basis Function, RBF*) jest jednokierunkową, nieliniową siecią trójwarstwową o atrakcyjnych z punktu widzenia szybkości uczenia właściwościach.

W praktyce używania SSN do prognozowania elektroenergetycznego najczęstszym obszarem zastosowań jest prognozowanie godzinowego zapotrzebowania na moc z krótkimi i bardzo krótkimi wyprzedzeniami czasowymi.

Metoda analizy trendów zużycia energii

Analizę trendów zużycia energii wykorzystuje się w najprostszych metodach badania zmian popytu na energię. Metody prognozowania na podstawie wyznaczonej dynamiki zmian poziomu i struktury zużycia energii w przeszłości są nie tylko proste, ale i wysoce efektywne w prognozach krótkookresowych. Niezwykle użytecznym narzędziem jest również analiza energochłonności produkcji przemysłowej, zarówno na poziomie kraju, jak i na poziomie działów, gałęzi i branż. Równie istotne są statystycznie obserwowane zmiany energochłonności wytwarzania wyrobów i dostarczania usług szczególnie energochłonnych. Metody prognozowania oparte na wynikach takiej analizy są efektywne również w prognozach wieloletnich, w warunkach gdy nie występują znaczące i gwałtowne zmiany w technikach produkcji, a dane statystyczne dotyczące poziomu i struktury produktu krajowego są w pełni porównywalne w całym analizowanym okresie (minionym i przyszłym).

Modele ekonometryczne w badaniach elastyczności popytu

Modele ekonometryczne, uwzględniające aspekty energetyczne wzrostu gospodarczego, stanowią klasę modeli przyczynowo-skutkowych. Najprostsze modele ekonometryczne wykorzystują jedną tylko zmienną objaśniającą, np. produkt krajowy brutto, bardziej złożone modele wyróżniają specyficzne działania w przemyśle, usługach, zachowania odbiorców oraz ich skutki energetyczne. Ogólną postać można zapisać następująco

$$P_{it} = a_i + \sum_j b_{ij} X_{ijt} + e_{it} \quad (3.49)$$

gdzie: P_{it} – zapotrzebowanie energii i -tego sektora w okresie t ,

a_i – stała w i -tym sektorze,

b_{ij} – współczynnik charakteryzujący zmienną objaśniającą (egzogeniczną) j oraz i -ty sektor,

X_{ijt} – poziom zmiennej objaśniającej j (produkt, cena paliwa itd.),

e_{it} – składnik losowy.

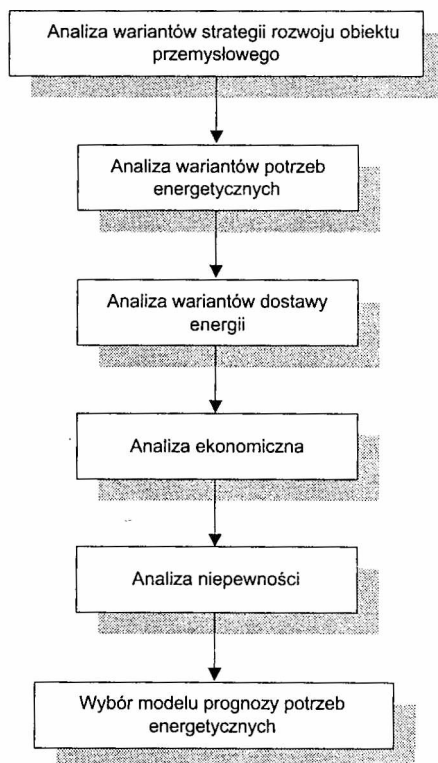
Aktualnie najpowszechniej stosowany jest model, w którym zapotrzebowanie na energię P jest korelowane ze wskaźnikiem aktywności ekonomicznej lub produktem brutto A i cenami energii C

$$P = A^a C^b \quad (3.50)$$

gdzie: a – elastyczność popytu na energię względem zmian aktywności (lub dochodu),
 b – elastyczność cenowa popytu na energię.

W rzeczywistości nie występuje natychmiastowa reakcja użytkowników na zmianę ceny. Pewne opóźnienie reakcji popytu jest powodowane tym, że odbiorca energii w pierwszej kolejności zmienia użytkowanie swego wyposażenia, a dopiero później modyfikuje je lub wymienia. Jest to powód, dla którego prosty model podwójnej elastyczności jest często odmiennie adaptowany do wersji krótkoterminowej (tj. bez wymiany

wyposażenia) i długoterminowej (5–10 lat), odmiennie reagujących na zmiany cenowe. Zapotrzebowanie długoterminowe jest integrowane w równanie modelu w postaci wprowadzenia czynnika zwłoki czasowej (C_p). Stąd też można wyróżnić elastyczności cenowe krótko- i długookresowe.



Rys. 3.6. Scenariusz określania zapotrzebowania energii w obiektach przemysłowych

Fig. 3.6. Scenario of power demand definition in industrial plants

Do wyznaczenia wartości wskaźnika elastyczności cenowej popytu wykorzystuje się wielkości popytu na energię wybranej grupy odbiorców oraz ceny energii w dwóch różnych okresach. Może to być przede wszystkim popyt bezpośredni na energię całego kraju i średnia cena energii w roku lub popyt na energię elektryczną ze strony odbiorców przemysłowych i cena energii dla zakładów według odpowiedniej taryfy. Wskaźniki te wyznacza się z zależności

$$e = \frac{\frac{P_{t1} - P_{t0}}{P_{t0}}}{\frac{C_{t1} - C_{t0}}{C_{t0}}} \quad (3.51)$$

w której: e – wskaźnik elastyczności cenowej popytu,

p_{t0}, p_{t1} – popyt na energię w roku t_0 i t_1 ,

c_{t0}, c_{t1} – cena energii w roku t_0 i t_1 .

W obecnej sytuacji bardzo ważna dla prognozowania popytu na wszystkie paliwa i energię jest diagnostyka stanu urządzeń zużywających energię, bowiem jedną z wielkich niewiadomych jest tempo modernizacji technicznej w najbliższych latach. Brak kapitału w kraju utrudnia modernizację dużych przedsiębiorstw. Znacznie szybsza wymiana urządzeń jest często możliwa w małych i średnich zakładach.

Prognozowanie potrzeb energetycznych jest zagadnieniem złożonym i wieloaspektowym (rys. 3.6). Wiarygodne i możliwie trafne oszacowanie potrzeb energetycznych powinno być oparte na naukowych podstawach prognozowania elektroenergetycznego, m.in. ze względu na znaczne ekonomiczne konsekwencje nieoptymalnego rozwoju i eksploatacji istniejących elementów systemu.

3.7. Audyting energetyczny

Audyting energetyczny jest to systematyczna analiza potrzeb energetycznych oraz procesów wykorzystujących energię w obiektach przemysłowych wykonana w taki sposób, że jej liniowym efektem jest opracowanie propozycji przedsięwzięć usprawniających użytkowanie energii przy zachowaniu lub zwiększeniu dotychczasowego poziomu produkcji [38, 125].

Wykonany audyting powinien stanowić uzasadnioną podstawę do przygotowania efektywnego programu wykorzystania energii w zakładzie. Stanowi jednak pierwszy krok w kierunku poprawy efektywności wykorzystania energii.

Etapy audytingu energetycznego to:

- ocena dotychczasowego sposobu użytkowania energii,
- określenie sposobów zmniejszenia zużycia energii, sprecyzowanie działań, które doprowadzą do osiągnięcia celu.

Zadaniem audytora energii jest opracowanie programu poprawy efektywności wykorzystania energii analizowanego obiektu.

Audyting energetyczny zakłada następujące działania:

- sporządzenie wykazu obiektów wraz ze wszystkimi urządzeniami pomocniczymi i ocena ich stanu technicznego na podstawie wizji lokalnej,
- opis sposobu eksploatacji obiektu w odniesieniu do stosowanych procedur technologicznych, harmonogramu pracy urządzeń produkcyjnych i czasu pracy,
- określenie ilości zużytej energii w przypadku poprawnego jej użytkowania oraz ocena rzeczywistego zużycia energii przez porównanie z ilością zużytej energii w podobnych obiektach lub normach,
- wyszczególnienie i opis potencjalnych działań niezbędnych do zwiększenia efektywności wykorzystania energii, które będą podstawą do sformułowania programu efek-

tywności wykorzystania energii, a także ocena technicznej wykonalności proponowanych prac,

- określenie wpływu przyszłych prac na warunki pracy i środowisko naturalne,
- analiza opłacalności realizacji proponowanych działań.

Audyting jest podstawowym warunkiem poprawy efektywności wykorzystania energii i wskazuje na możliwość usprawnienia gospodarki energetycznej. Najczęściej jest zainicjowany przez kierownictwo zakładu, które w oszczędzaniu energii dostrzega źródło zmniejszenia kosztów. W wielu krajach o rozwiniętej gospodarce rynkowej jest częścią programu sponsorowanego przez rząd.

W obiektach charakteryzujących się niską efektywnością wykorzystania energii określenie przedsięwzięć do wykonania w ramach przyszłego programu jest stosunkowo łatwe. Jest natomiast trudniejsze i może wymagać przeprowadzenia dodatkowych pomiarów i obliczeń w zakładach, w których energia użytkowana jest poprawnie.

Rodzaje audytingu ze względu na zakres i sposób przeprowadzenia:

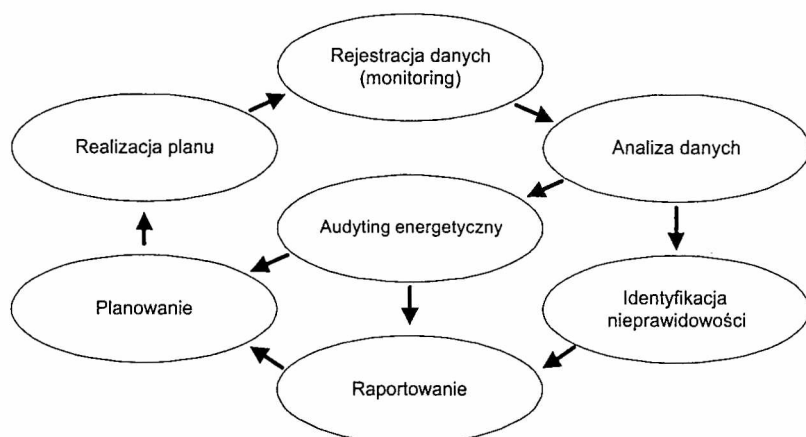
- *audyting wstępny* – polega na jednodniowej obserwacji pracy urządzeń zużywających energię i śledzeniu przebiegu procesów produkcyjnych w całym zakładzie. Celem tej inspekcji jest zaproponowanie prostych rozwiązań usprawniających gospodarkę energetyczną oraz zebranie danych niezbędnych do ewentualnego uzasadnienia potrzeby wykonania pogłębionej analizy,
- *audyting diagnostyczny (pełny)* – wymaga przeprowadzenia obserwacji i pomiarów w celu dokonania analizy strat energii oraz kosztów, które należy ponieść na realizację usprawnień. Konieczne jest określenie zużycia energii w poszczególnych procesach technologicznych i procesach pomocniczych, komputerowe analizowanie zebranych informacji oraz oszacowanie bilansu potrzeb i zużycia energii dla roku wybranego jako typowy w danym zakładzie,
- *audyting o ograniczonym zakresie* – nie obejmuje całości problemów gospodarki energetycznej w danym zakładzie i dotyczy analizy jednego lub kilku systemów, pojedynczego urządzenia czy linii technologicznej. Analizie może być poddany np. system ogrzewania, wentylacji, sprężonego powietrza, sieć ciepłna, kotły itp.

Metodyka badań

Zadaniem pierwszoplanowym jest sprecyzowanie celu badań i skoncentrowanie się na najważniejszych problemach. Ustalenie planu prac obserwacyjnych i pomiarowych przedstawia procedura na rys. 3.7.

Rejestracja danych na potrzeby audytingu to:

- wykorzystanie danych zgromadzonych w przeszłości bez ich modyfikacji,
- dostosowanie sposobu zbierania danych do potrzeb audytingu, np. przez zmianę okresów odczytów,
- poszerzenie bazy danych o nowe wielkości i pomiary,
- wprowadzenie automatycznych procedur gromadzenia danych.



Rys. 3.7. Schemat postępowania podczas audytingu energetycznego

Fig. 3.7. Procedure to be followed in energetic audit

Wyróżnia się następujące grupy informacji zbieranych na potrzeby procedury audytu:

- dane o zużyciu energii elektrycznej, mocy elektrycznej czynnej i biernej,
- dane charakteryzujące wielkość produkcji lub wydajność procesu technologicznego w zależności od specyfiki technologii,
- dane mogące wpływać na zużycie energii, a nie mające bezpośredniego związku z procesem produkcyjnym, np. parametry charakteryzujące jakość materiałów użytkowanych w procesie produkcyjnym (temperatura, wilgotność),
- dane uzupełniające, np. informacje o przestojach.

Analiza danych polega głównie na poszukiwaniu zależności pomiędzy gromadzonymi danymi w celu identyfikacji podstawowych wskaźników energetycznych procesów produkcyjnych. Jest to najbardziej złożony etap w całej procedurze audytu i wymaga dostosowania do specyfiki technologicznej obiektu, a także dużej ostrożności w interpretacji uzyskanych wskaźników. Bardziej przydatne jest poszukiwanie wskaźników mniej zagregowanych, np. związanych z pojedynczymi identyfikatorami procesów użytkowania energii. Proces analizy danych najczęściej jest wspomagany komputerowo z użyciem programów analizujących przystosowanych do wykorzystania baz danych. W najprostszych rozwiązaniach systemów zarządzania energią (roz. 5.7 i 5.8) wprowadzenie danych odbywa się z klawiatury i dodatkowym problemem staje się kontrola poprawności wprowadzanych danych.

Identyfikacja nieprawidłowości – poprawna realizacja procesu rejestracji i obróbki danych pozwala na przedstawienie ich w formie umożliwiającej dokonanie analizy poprawności pracy poszczególnych urządzeń, przebiegu całego procesu produkcyjnego i identyfikację nieprawidłowości, a także podjęcie odpowiednich działań zaradczych.

Przygotowanie raportów – raporty powinny być opracowywane w ustalonych stałych okresach (np. dobowe, tygodniowe, roczne) w odróżnieniu od wcześniej opisanych procesów, które są realizowane na bieżąco. Zasadniczym celem jest pełna informacja o prowadzonej gospodarce energetycznej i wykazanie możliwości przedsięwzięć modernizacyjnych w kierunku racjonalnego wykorzystania energii. Nagromadzenie zbyt dużej liczby danych w postaci złożonych tabel nie jest uzasadnione. Bardziej przydatne są wykresy pokazujące tendencje zmian badanych wskaźników w rozpatrywanych okresach. Szczególnie ważne jest wskazywanie na zmiany w analizowanych wskaźnikach i trafna interpretacja ich przyczyn.

4. Przegląd literatury, sformułowanie celu pracy

Analiza i prognozowanie potrzeb energetycznych jest stale aktualnym problemem, do rozwiązywania którego poszukuje się efektywnych metod. Podstawowym kryterium wyboru wariantu rozwoju struktury energetycznej jest kryterium ekonomiczne (minimum kosztów lub maksimum zysku). Można jednak zauważyć zasadniczą tendencję w proponowanych rozwiązaniach metodycznych, a mianowicie przejście od metod optymalizujących strukturę gospodarki energetycznej do metod, w których dąży się do uzyskania możliwie najlepszej niezawodności dostarczania energii odbiorcom przy spełnieniu różnych ograniczeń zewnętrznych, zwłaszcza dotyczących ochrony środowiska. W ostatnich latach w metodyce analizy i prognozowania należy uwzględnić wprowadzenie zasad rynkowości w energetyce. Zagadnieniom tym poświęcone są między innymi opracowania [50, 68, 125, 141, 146]. Obecnie, wraz z dostępem strony trzeciej do sieci przesyłowej oraz możliwym wprowadzeniem konkurencji w przesył i dostawie energii, staje się to problemem politycznych dyskusji.

Rosnące zużycie energii powoduje wyczerpywanie zasobów energetycznych i coraz wyraźniej widać nadejście chwili, w której ich zabraknie. Interesujące są zatem analizy oszacowań ilości zasobów energii w Polsce i na świecie prowadzone między innymi przez R. Neya [81, 82, 84] i S. Pytko [100, 101]. Podstawową kwestią jest także efektywne i bardziej racjonalne wykorzystanie energii oraz opracowanie ekonomicznie uzasadnionych nowych technologii wytwarzania energii. Problem ten pokazano między innymi w pracach [76, 99, 108, 113, 129]. Stosowane obecnie technologie produkcji energii stwarzają groźbę niebezpiecznych dla życia na ziemi zmian klimatycznych. Ekologiczne konsekwencje produkcji energii są często przedmiotem większej troski, niż fakt wyczerpywania się zasobów. W pracach [60, 63, 78, 89, 143, 152] opisane są problemy dotyczące gospodarki energetycznej, ze szczególnym uwzględnieniem aspektów ekologicznych, w odniesieniu zarówno do konwencjonalnych metod wytwarzania energii, opierających się na nieodnawialnych źródłach surowców energetycznych, jak i metod wykorzystujących odnawialne źródła energii.

Zaburzenia w międzynarodowym handlu paliwami, wywołane gwałtowną podwyżką cen ropy naftowej, a następnie gazu ziemnego, pociągnęły za sobą już od roku 1974 niebываły wzrost zainteresowania problemami gospodarki energetycznej, między innymi uwidacznia się to w licznych publikacjach oraz krajowych i międzynarodowych konfe-

rencjach [1, 9, 32, 33, 57, 81, 82, 100, 101, 102, 115, 155]. Niewątpliwa konieczność oszczędzania energii zmusiła do zwrócenia uwagi na problem jeszcze szerszy, jakim jest struktura krajowego przemysłu, rozpatrywana pod kątem widzenia jej energochłonności.

W pracy [80] przedstawiono najważniejsze zagadnienia techniczno-ekonomiczne gospodarki energią na tle dotychczasowego i przewidywanego rozwoju systemów elektroenergetycznych, ciepłowniczych i gazoenergetyki, a także rozwój i perspektywy polskiego systemu energetycznego. Wykazano w nich rolę rachunku ekonomicznego oraz złożoność problematyki energetycznej. Ujęto wpływ cen paliw i ich podaży na przyszłą strukturę bilansu energetycznego. Opisano powiązania systemu energetycznego z innymi dziedzinami gospodarki narodowej oraz wynikające stąd ograniczenia w rozwoju energetyki. Natomiast planowanie, budowa i eksploatacja systemów energetycznych oraz użytkowanie energii to temat między innymi prac [21, 34, 51, 69]. Na przełomie lat 80. i 90. w Europie, a później w Polsce prowadzone były badania nad wypracowaniem zasad handlu energią elektryczną. Ich wyniki miały odzwierciedlenie w uregulowaniach prawnych [8, 29, 31, 98, 117]. Wraz z reformą elektroenergetyki, problem bezpieczeństwa energetycznego staje się coraz ważniejszy. W nowej strukturze sektora energetycznego pewna określona liczba niezależnych wytwórców dostarcza energię elektryczną pewnej liczbie niezależnych dystrybutorów, przesyłając ją siecią kierowaną przez operatorów *poolu*.

W Polsce prowadzone są od lat dziewięćdziesiątych prace dotyczące wdrażania struktur rynkowych dla potrzeb planowania rozwoju sektora energetycznego i restrukturyzacji przemysłu. Istotnym efektem tych przedsięwzięć jest opracowanie modelu rynku energii. Problemy te przedstawione są między innymi w pracach [13, 20, 96, 122, 149, 158, 159]. Na przykład autorzy J. Niebrzydowski i L. Twardy w pracy [85] zajęli się zagadnieniem zawierania długoterminowych kontraktów na dostawę energii

W całym okresie powojennym decyzje dotyczące wielu dziedzin życia gospodarczego były podejmowane centralnie. Znajdowało to wyraz w planach społeczno-gospodarczych, a w zasadzie w celach tych planów. Poza tym centrum podejmowało nie umieszczone w planach decyzje gospodarcze. Zmiany systemu gospodarczego w Polsce w ostatnich latach, nie ominęły również szeroko rozumianego sektora energii. Spowodowało to między innymi próby podjęcia szeregu działań inicjujących procesy kreowania polityki regionalnej gospodarki energetycznej. Charakterystykę tych zmian pokazano w pracy [48, 49]. W gospodarce rynkowej na skutek równoważącego oddziaływania mechanizmu rynkowego proporcje między akumulacją i zużyciem układają się na poziomie społecznie akceptowalnym i z zapewnieniem efektywności procesów gospodarowania. Próbę udowodnienia tej tezy podjęto w pracach [22, 46, 66].

Rozważania nad energochłonnością sektorów gospodarki narodowej wynikają w prosty sposób z nowej sytuacji energetycznej i przemian restrukturyzacyjnych, w jakiej znalazł się świat. W okresie względnego dostatku energii, który minął, jeśli nie na zawsze, to na bardzo długo, istnieje potrzeba racjonalizacji jej zużycia. Statystykę energetyki polskiej i światowej zamieszczono w pracach [4, 17, 26, 43, 118]. Pogłębiające się trudno-

ści w pokryciu zapotrzebowania na energię, przy jednocześnie ograniczonych możliwościach inwestycyjnych przemysłu, zwiększyły znacznie, w ostatnich latach, zainteresowanie w przedsiębiorstwach i zakładach przemysłowych racjonalizacją gospodarki energetycznej.

Przekonanie o potrzebie wdrażania zasad racjonalnej gospodarki, przede wszystkim w przemyśle, zrodziło się w krajowych ośrodkach naukowych wiele lat przed pojawieniem się odczuwalnych obecnie zjawisk. Na przełomie lat 50. i 60. pod kierunkiem L. Nehrebeckiego opracowano wiele programów energetyzacji regionów. Z początkiem lat 60. między innymi K. Kopecki, Cz. Mejro, L. Nehrebecki, J. Szargut i in. zainicjowali prace, które były nadal kontynuowane [36, 37, 52, 53, 54, 79, 114, 160], nad metodologią analizy i oceny techniczno-ekonomicznej gospodarki energetycznej w przedsiębiorstwach przemysłowych. Duży wkład merytoryczny wniosła też I. Dobrzańska [28]. Z tego samego zakresu badań wywodzi się wiele prac o zasadniczym znaczeniu [7, 24, 41, 56, 59, 84, 106] nad doskonaleniem metod bilansowania energii i oceną energochłonnych procesów technologicznych.

Już od II połowy lat 60. zaczęto koncentrować się na problemach optymalizacji i oceny gospodarowania energią elektryczną w przemyśle. Charakterystyczne są tu wcześniejsze prace w zakresie doskonalenia metod oceny gospodarki energetycznej opartej na analizie wskaźnikowej. Szczególnego znaczenia nabierały także zamierzenia badawcze dotyczące prognozowania zużycia energii w różnych sektorach gospodarki. Znaczące propozycje metodologiczne w zakresie analizy wskaźnikowej znalazły się też w dużym dorobku polskich energetyków w ramach prac Konferencji Energetyki Przemysłowej nad ujednoliceniem i opracowaniem wskaźników jednostkowego zużycia energii. Dorobek ten znalazł przede wszystkim odzwierciedlenie w kryteriach stosowanych w sprawozdawczości GUS, obowiązujący z pewnymi modyfikacjami aktualnie [12, 17, 35, 89, 104]. Podobnie przebiegał rozwój badań nad problematyką gospodarki energetycznej w przemyśle w innych krajach, między innymi prace [1, 2, 21, 32, 33, 39, 43, 108, 115]. Ciekawe są również prace pozostałych autorów [10, 16, 36, 69, 96, 141, 147, 148, 149, 159], zwłaszcza dotyczące wielu interesujących przykładów realizacji systemów monitorowania gospodarki energetycznej w przemyśle.

W pracach [10, 18, 30, 93, 139, 142] przedstawiono kilka funkcjonujących w praktyce przemysłowej systemów monitorowania zużycia energii, takich jak: ETNA, Sapien, eSPiM, Plankton, Krakatau. Zaproponowane programy mogą stanowić dodatkowe narzędzie do sprawdzania spełnienia zadanych warunków technicznych. W opracowaniach [44, 61, 88, 110, 120, 123, 133, 134, 135, 142] przedstawiono algorytmy i programy służące na przykład do wizualizacji i monitorowania przebiegu procesów przemysłowych, które są już stosowane w praktyce.

Badania nad energochłonnością skumulowaną były oczywistym wynikiem napiętej sytuacji energetycznej świata i kraju. Badania te są bowiem bardzo głęboko związane z całokształtem systemu energetycznego, między innymi ze strukturą krajowego bilan-

su paliwowo-energetycznego przy systemowym podejściu do niego. Zagadnienia metodologiczne badań nad energochłonnością skumulowaną były podejmowane przez autorów związanych z Zakładem Problemów Energetyki Instytutu Podstawowych Problemów Techniki PAN. W szerszym zakresie rozpoczęły się w końcu lat 60. w Wielkiej Brytanii, USA, RFN i in. Badania te podjęto również w Polsce w Zakładzie Gospodarki Energetycznej Politechniki Warszawskiej pod kierunkiem Cz. Mejro. Opracowano jednolitą metodykę badań przystosowaną do warunków gospodarki krajowej. Nawiązana współpraca z Ośrodkiem Badawczo-Rozwojowym Państwowego Inspektoratu Gospodarki Paliwowo-Energetycznej pozwoliła na spopularyzowanie tych prac i stworzenie jednolitego kierunku badań w wielu ośrodkach naukowo-badawczych w kraju. Warto przytoczyć tu między innymi prace [14, 15, 16].

W pracach [73, 77] podano procedury formułowania i opiniowania propozycji poprawy przemysłowej gospodarki energetycznej. Możliwość racjonalnej gospodarki energetycznej w głównych branżach przemysłowych, analiza systemowa racjonalizacji gospodarki energetycznej zakładów przemysłowych, zasady wykorzystania energii odpadowej w przemyśle są głównymi zagadnieniami poruszonymi między innymi przez autorów prac [62, 116, 126, 144]. W pracach [38, 107] omówiono zagadnienie energochłonności produkcji przemysłowej, możliwości jej zmniejszenia w warunkach polskich oraz przedsięwzięcia prowadzące do racjonalizacji wykorzystania energii. Zamieszczone przykładowe procedury wykonywania ocen na podstawie przeprowadzonego audytu wraz z podanymi informacjami umożliwiają lepsze uwzględnienie problemów poprawy efektywności użytkowania energii, a prace [113, 125] szczegółowo przedstawiają sposób wykonywania analiz energetycznych typowych obiektów przemysłowych. Interesującą pozycją jest książka [114] poświęcona analizie opłacalności przedsięwzięć prowadzących do usprawnienia użytkowania energii. Omówiono w niej aspekt efektywności wykorzystania energii występujący w większości zakładów przemysłowych. Problemy te dotyczą źródeł ciepła, budynków przemysłowych, przemysłowych sieci ciepłych i wymienników ciepła.

Wskaźniki energochłonności są obliczane na podstawie identyfikacji energetycznej. Programy badania energochłonności mogą być ukierunkowane na następujące zastosowania: do oszacowania zdolności dostawy energii do odbiorców, do porównywania różnych planowanych wariantów substytucji energii oraz do określenia korzyści i kosztów wynikających z podjęcia decyzji o poprawie niezawodności.

Znanym z teorii ekonomii sformułowaniem dotyczącym modelowania popytu na podstawie szeregów czasowych między innymi w pracach [7, 25, 66, 111] i z definicji według Kamerschena, McKenziego i Nardinelliego [47] wynika, że popyt jest odwrotną relacją między ceną energii a jej ilością, którą odbiorcy są skłonni i są w stanie zakupić w danym okresie, przy założeniu, że wszystkie inne uwarunkowania charakteryzujące sytuację rynkową pozostaną bez zmiany. Zgodnie z tym podejściem metodologicznym z punktu widzenia interpretacji ekonomicznej bardzo ważną sprawą jest zagadnienie planowania w energetyce. Jedną z podstawowych prawidłowości sformułowanych w teorii

ekonomii jest więc hierarchia zaspokajania potrzeb. Skala i zakres potrzeb są wynikiem istniejącego poziomu rozwoju gospodarczego, a zatem podlegają ciągłym modyfikacjom. Konsekwencją tego jest prawidłowość określająca relacje pomiędzy skalą i strukturą zużycia. Próby wyjaśnienia tych problemów zawierają opracowania [64, 65, 124].

Stan i przemiany zużycia energii oraz jej uwarunkowania stanowią dla każdego społeczeństwa bardzo istotny problem egzystencjonalny. Jest to także problem z zakresu polityki społecznej i gospodarczej, mający kluczowe znaczenie praktyczne. Do kształtowania zużycia energii w skali całej gospodarki czy też wyróżnionych sektorów, niezbędne są określone podstawy teoretyczne, tworzone w wyniku badań interdyscyplinarnych. Istotne znaczenie mają tu badania, w których w szerokim zakresie wykorzystuje się metody statystyczne i ekonometryczne, wspomagające rozważania o charakterze jakościowym. Ich ilustracją mogą być publikacje [86, 87, 91, 92, 137, 138].

W przeprowadzonych badaniach zużycia energii, między innymi przez autorkę prac [126, 127, 128, 130, 131], szeroko wykorzystywane jest modelowanie ekonometryczne. Model ekonometryczny stanowi konstrukcję formalną [23, 121]. Niewątpliwą zaletą tego typu modeli w porównaniu z modelami statystyczno-teoretycznymi jest fakt, że parametry są ustalane za pomocą sformalizowanych i teoretycznie uzasadnionych na gruncie ekonometrii procedur. Pozwalają one również ocenić jakość oszacowanych modeli i dokładność uzyskiwanych na ich podstawie prognoz [23, 119]. W wielu badaniach ekonometrycznych kształtowanie się wartości zmiennej objaśnianej (Y) może być w sposób wystarczający opisane poprzez zmiany jednej lub kilku zmiennych objaśniających (X). Przykładem może być model ekonometryczny z jedną zmienną objaśniającą jako model tendencji rozwojowej, opisującej zmiany danej wielkości w czasie. Jakkolwiek modele ekonometryczne z jedną zmienną objaśniającą są przedstawiane także w postaci nieliniowej, to podstawowe znaczenie mają modele liniowe, gdyż dają one w wielu przypadkach dobrą aproksymację nieznanej postaci związku. Większość modeli nieliniowych sprawdza się do liniowych poprzez odpowiednią ich transformację. Omówieniu metod estymacji liniowych modeli ekonometrycznych w zapisie skalarnym i macierzowym dotyczą między innymi prace [5, 6]. Modele ekonometryczne są budowane, a następnie szacowane, przede wszystkim, w celu wnioskowania, na podstawie szeregów czasowych, o historycznych zależnościach między wyróżnionymi wielkościami i formułowania wniosków dotyczących przyszłego przebiegu analizowanych procesów. Wnioskowanie o przyszłości generalnie przyjmuje dwie formy: bierną i aktywną. Przez formę bierną rozumie się formułowanie wniosków co do przyszłego kształtowania się określonych wielkości ekonomicznych, czy też przebiegu procesów gospodarczych, na przykład przewidywanie przyszłej inflacji, określenie poziomu kursu dolara czy euro. Aktywna forma to wyznaczenie przyszłych wartości zmiennych uznanych za instrumenty w taki sposób, aby zmienne uznane za cele polityki gospodarczej przyjęły określone warunki. Zagadnieniom tego rodzaju wchodzącym w zakres teorii sterowania optymalnego oraz optymalizacji wielokryterialnej poświęcona jest praca [112].

Klasyfikacja obiektów społeczno-gospodarczych za pomocą metod analizy wieloczynnikowej wymaga wyspecyfikowania zestawu cech diagnostycznych, które charakteryzują te obiekty ze względu na tematykę badania. Dobór cech diagnostycznych przeprowadza się poprzez przetwarzanie i analizę danych statystycznych z wykorzystaniem odpowiednich procedur na podstawie merytorycznej znajomości badanego zjawiska i badań literaturowych, co jest przedmiotem między innymi opracowań [58, 105].

Ze względu na trudności w pozyskaniu danych do szczegółowej analizy, częściej stosuje się rozważania orientacyjne, w których na podstawie oszacowanej ilości niedostarczonej energii, możliwe byłoby określenie na przykład ponoszonych kosztów.

Najbardziej godną polecenia w badaniach taksonomicznych jest procedura dwuetapowa. W pierwszym etapie sporządza się zestaw tzw. potencjalnych cech diagnostycznych na podstawie wiedzy merytorycznej, doświadczenia i studiów literaturowych. Można także zastosować metodę ekspertów (ankietową). W drugim etapie redukuje się wstępną listę cech korzystając z metod formalnych poprzez analizę ich statystycznych właściwości. Podstawowym kryterium oceny przydatności poszczególnych cech jest wartość merytoryczna ze względu na tematykę badania. Za jednego z inicjatorów zastosowania zmienionych syntetycznych do porządkowania wielowymiarowych obiektów społeczno-gospodarczych ze względu na poziom badanych zjawisk uważany jest Z. Hellwig, który w pracy [40] zaproponował tzw. taksonomiczną miarę rozwoju gospodarczego. Zdarza się, że ze względu na koszt, czas, a także charakter badania, posługiwanie się badaniem całkowitym, tj. obejmującym całą populację, bardzo rzadko jest możliwe. Najczęściej korzysta się wtedy z informacji z próby, tzn. z obserwacji przeprowadzonych tylko na części populacji. Jednak najczęściej celem badania jest podjęcie decyzji dotyczących całej zbiorowości, zatem stwarza to potrzebę zapoznania się z metodami i pojęciami wnioskowania statystycznego, które opisane są między innymi w pracach [3, 55, 67, 86, 87, 105].

Zagadnienie przestrzennego zróżnicowania struktur zużycia w ujęciu dynamicznym było przedmiotem badań M. Kruszki [59] i C. Ponsarda [95]. Szeroko potraktowano w nim problem związków przyczynowo-skutkowych pomiędzy uwarunkowaniami zużycia energii a jej poziomem. Badania przestrzenne mogą odnosić się do wydzielonych obszarów terytorialnych, na przykład regionu lub makroregionu.

Region jest obiektywną kategorią przestrzenną i gospodarczą. Jego rozmiary i wewnętrzna struktura uzależnione są od poziomu rozwoju sił wytwórczych i panujących środków produkcji. Różnice w warunkach geograficzno-przyrodniczych, działanie czynników społeczno-ekonomicznych powodują, że regiony mogą różnić się sytuacją gospodarczą, ekologiczną, poziomem zagospodarowania i rozwoju. Zróżnicowany jest też poziom i struktura zużycia energii, jest to uwidocznione między innymi w pracy [10].

Stosowane w analizach przestrzennego zróżnicowania zużycia energii tradycyjnych metod statystycznych jest niewystarczające. Szczególnie ujawnia się to w trakcie prowadzenia analiz kwalifikacyjnych i porównawczych. W związku z tym, w coraz szerszym zakresie, autorzy prac, np. [90, 93, 94, 109, 127, 153, 154], stosują w badaniach metody

taksonomiczne, które umożliwiają analizę (kwalifikację, porównywanie) obiektów w przestrzeni wielowymiarowej.

Jednym z wcześniejszych przykładów badań energochłonności kopalń węgla kamiennego, w których przeprowadzono klasyfikację i analizę porównawczą wraz z poszukiwaniem zależności przyczynowo-skutkowych pomiędzy uwarunkowaniami a osiągniętym poziomem wydobywania węgla były na przykład prace [56, 130].

Przy podejmowaniu decyzji ważna jest nie tylko świadomość korzyści płynących z prognozowania, ale również znajomość jego ograniczeń. Niespełnienie się prognoz gospodarczych bądź obarczanie tych prognoz dużym błędem może zawsze się zdarzyć, ale częstość formułowania błędnych prognoz będzie maleć w miarę opanowywania metod przewidywania przyszłości. Prognozy będą tym trafniejsze, im lepiej uda się sformułować zadania prognostyczne i w większym stopniu korzystać się będzie z informacji przyszłościowej, jaką niesie prognoza. Spośród wielu wariantów prognostycznych opracowanych dla Polski, na przykład [50, 71, 83, 92, 156,], szczególnie ważną rolę odgrywają prognozy rozwoju polityki energetycznej, które mogą być podstawą podejmowania decyzji w zakresie produkcji czy zakupu energii. Jednak złożoność zadań i warunków realizacji prognozowania technicznego skłania do opracowania i stosowania wielu różnorodnych technik prognostycznych, różniących się zarówno zakresem danych wejściowych, jak i przyjętym modelem matematycznym. Umożliwia to eliminację błędów losowych, wprowadzanych wraz z informacjami oraz wzajemne porównywanie wyników, pokazanych na przykład w opracowaniach [97, 103]. Dlatego żadna z technik predykcji, również w dziedzinie elektroenergetyki, nie może pretendować do miana jedynej, a nawet optymalnej w sensie ogólnym, gdyż duża zależność skuteczności procedur prognostycznych od zmiennych warunków ich realizacji skłania do ostrożności w osądach i zmusza do jednoczesnego stosowania metod wzajemnie się uzupełniających.

W licznych publikacjach, między innymi w [54, 65, 70, 71, 72, 74, 84], zaproponowano różne podejścia do zagadnienia zapotrzebowania energii.

Podstawowe pojęcia teorii predykcji oraz sposób wyznaczania prognoz na podstawie statycznego, jednorównaniowego modelu ekonometrycznego przedstawiają prace [23, 119, 157]. Predykcja ekonometryczna jest to proces wnioskowania o przyszłości na podstawie znajomości przeszłości, na przykład oszacowanego modelu ekonometrycznego. Wynikiem tego procesu jest prognoza, a predykcja ekonometryczna ma charakter ekstrapolacyjno-warunkowy.

W przeglądzie literaturowym niniejszej monografii starano się przybliżyć obecny stan wiedzy na temat metod prognozowania w energetyce, między innymi warto tu przytoczyć publikacje M. Cieślak [23], I. Dobrzańskiej [28], J. Malko [74] i in. [27, 86], w których podano zasady rozpoznawania sytuacji prognostycznych, formułowania adekwatnych do nich przesłanek prognostycznych i wynikające z nich reguły doboru metod budowy prognoz. Spośród dużej liczby spotykanych w literaturze metod progno-

stycznych zamieszczono tylko najważniejsze wraz z uwagami dotyczącymi warunków ich stosowania. Ogłaszane w poprzednich latach prace prognostyczne [27] koncentrują się zazwyczaj na specyficznych zakresach horyzontów czasowych lub ograniczają się do konkretnych zastosowań. Bogato udokumentowany od strony wdrożeniowej opis prognozowania zawierają na przykład prace [19, 27]. Ocenę istniejących metod prognostycznych w elektroenergetyce zawiera też praca [70], która prezentuje przykłady metod stosowanych w planowaniu rozwoju systemu.

Bezpośrednia obserwacja rodzaju i ilości energii zużywanej przez odbiorcę przemysłowego oraz identyfikacja efektywności jej wykorzystania wymaga specyficznych technik zbierania informacji i z reguły wymusza ograniczenie badań do części zbiorowości. Empiryczne badania zużycia w aspekcie efektywnościowym mają zwykle u podstaw założenie statystycznego pomiaru rzeczywistego stopnia zaspokojenia potrzeb. Na podstawie oficjalnej statystyki można jedynie ustalić niektóre przejawy zaspokojenia potrzeb. W większości ocena stanu zaspokojenia potrzeb energetycznych wymaga zbadania przede wszystkim różnych uwarunkowań. Przykładem mogą tu być prace [141, 145, 147].

Aby zmierzyć stopień zaspokojenia potrzeb według wybranej klasyfikacji, konieczne jest ustalenie mierników reprezentujących każdą grupę odbiorców i strukturę potrzeb. Jest to proces złożony i w tego typu badaniach uznawany za podstawowy. Zagadnieniom tym poświęcone są między innymi prace [58, 136].

Obecna sytuacja skłania do rozszerzenia metodyki, szczególnie w zakresie zastosowań, wymaga to jednak dalszych poszukiwań badawczych. Proponowany przegląd pozycji literaturowych odzwierciedla nurt badawczo-metodologiczny głównych tendencji pojawiających się w użytkowaniu energii.

Podana literatura nie przedstawia pełnej bibliografii badanego zagadnienia, lecz jest jedynie próbą prezentacji najbardziej charakterystycznych publikacji dotyczących podjętej tematyki. W kraju odczuwa się brak pozycji wydawniczych, które omawiają zagadnienia związane z gospodarką energetyczną w przemyśle w sposób zwarty. Starano się zatem omówić współczesny dorobek prac prowadzonych w tym kierunku, z przypomnieniem również ważnych wcześniejszych pozycji, które zapoczątkowały tego typu badania. Zastosowane przez autorkę kryteria doboru propozycji metodycznych obarczone są zapewne sporą dozą subiektywizmu w prezentacji poszczególnych zagadnień, jak i w szczególności ich opisu.

Na podstawie dokonanego omówienia podstawowych pozycji literaturowych wnosić można o różnorodności problemów występujących w gospodarce energetycznej w przemyśle. Ich rozwiązanie wymaga spełnienia wielu ograniczeń, narzuconych zarówno ze strony użytkowników (odbiorców), jak i wytwórców (dostawców) energii. Istnieje więc potrzeba opracowania metod zdolnych do syntezy optymalnego rozwoju sektora energetycznego. Praktyka pokazała, że konwencjonalne procedury nie są wystarczające dla dużych odbiorców przemysłowych. Jest to spowodowane faktem, że długoterminowe prognozowanie rozwoju sektora energetycznego stanowi trudny problem. Jako alternatywe

dla konwencjonalnych metod obliczeniowych w przemyśle proponuje się algorytm obliczeń oparty na hierarchiczności określania potrzeb energii dla wyróżnionego odbiorcy. Wynika stąd istotna rola analizy i prognozowania potrzeb energetycznych we właściwym zarządzaniu dostawami energii. Uzyskane obliczenia mogą być wykorzystywane do rozwiązywania różnych problemów, a mianowicie do badania zmian rozdziału wytwarzanej mocy, poziomu potrzeb i ich struktury w odniesieniu do wielkich odbiorców przemysłowych, a także do analizy różnych zakłóceń występujących w procesach produkcyjnych. Rozwiązanie ich służyć może do zmniejszenia zainstalowanej mocy, dostosowania do wymagań bezpieczeństwa energetycznego, zapewnienia ekonomiczności dostawy i struktury energii, a przez to do właściwego podziału środków regionalnych i realizacji strategii gospodarki krajowej.

Na podstawie przeglądu literatury naukowej, opracowań specjalistycznych i prac badawczych, których uproszczony zarys przedstawiono oraz własnych doświadczeń autorki zdobytych w praktyce przemysłowej w kraju, między innymi w Hucie Miedzi w Legnicy, Zakładach Górniczych w Polkowicach i Sieroszowicach, w hucie stali, w elektrowniach Bełchatów, Konin, Turoszów, a także w cementowniach i koksowniach oraz w zakładach Bumar-Fadroma, Weltex, Polar i in. stało się koniecznym opracowanie zwartej koncepcji metodyki analizy i prognozowania zawierającej elementy podjętego wcześniej przez autorkę zagadnienia [125, 132, 136, 140, 148, 150, 151]. Dokonując przeglądu, kierowano się próbą syntezy dorobku w zakresie problemów istotnych w nowoczesnej gospodarce energetycznej.

Na podstawie studiów opracowań naukowo-badawczych można jednak stwierdzić brak syntetycznego i kompleksowego ujęcia zagadnień związanych ze strukturą potrzeb energetycznych wielkich odbiorców przemysłowych, szczególnie w warunkach powstawania lokalnych rynków energii, w sytuacji konieczności racjonalnego podejmowania złożonych decyzji związanych między innymi z zarządzaniem gospodarką energetyczną w sektorze przemysłowym.

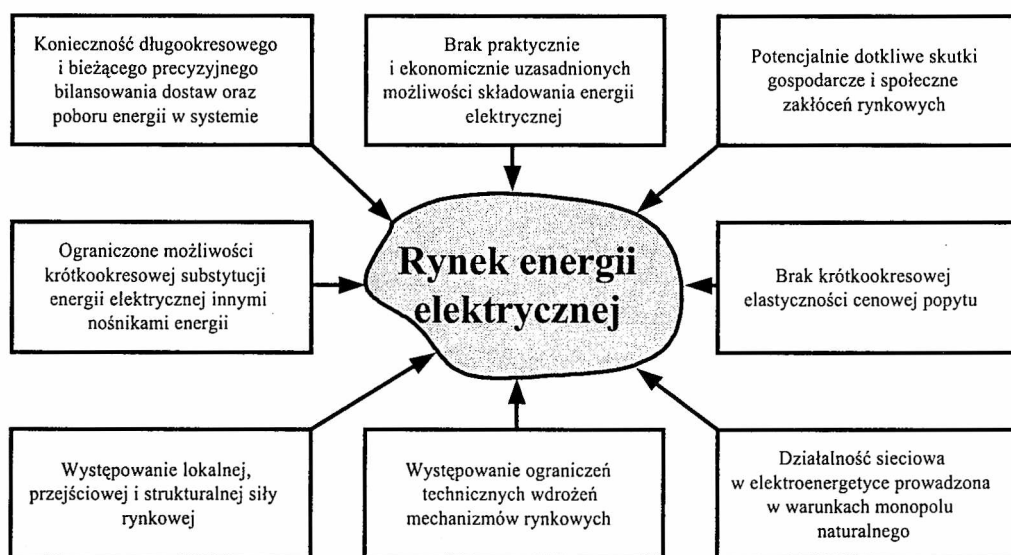
Celem niniejszej rozprawy jest zatem dokonanie systematyki metod analizy i prognozowania rzeczywistych potrzeb energetycznych, spełniających w sposób możliwie pełny wymagania w nowych uwarunkowaniach rozwoju rynków energii.

Cel ten sformułowano następująco: opracowanie spójnej metodyki analizy i prognozowania potrzeb energetycznych odbiorców przemysłowych w nowych uwarunkowaniach rynku energii, a także zaproponowanie rozszerzenia metodyki badań poprzez zaprezentowanie oryginalnej metody określania potrzeb energetycznych przemysłu, przy różnym stopniu ich hierarchiczności oraz z wykorzystaniem metod taksonomicznych i wielowymiarowej analizy porównawczej.

5. Wielki odbiorca na rynku energii

5.1. Ewolucyjne wdrażanie struktur rynkowych

Prace nad restrukturyzacją polskiej elektroenergetyki prowadzone od początku lat dziewięćdziesiątych, zostały oparte na zasadach pełnego urynkowienia i prywatyzacji. W podstawowych założeniach i sposobie przeprowadzenia restrukturyzacji energetyki wykorzystano krajowe i zagraniczne doświadczenia dotyczące urynkowienia elektroenergetyki, a także uwarunkowania zewnętrzne i wewnętrzne. Związane to było z zasadniczymi zmianami ustrojowymi w kierunku gospodarki rynkowej o daleko idącej liberalizacji i denacjonalizacji, dotyczącymi, zgodnie z zaleceniami Unii Europejskiej, handlu energią elektryczną, a także informacjami o programach ich realizacji w wielu krajach. Należało też uwzględnić uwarunkowania wewnętrzne polskiej elektroenergetyki [13, 48, 71, 96, 118, 146]. Na rysunku 5.1 przedstawiono najważniejsze determinanty



Rys. 5.1. Cechy funkcjonowania rynku energii elektrycznej

Fig. 5.1. Operation of electric energy market

w kształtowaniu strategii rynkowych, w większości nastawionych na maksymalizację zysku.

W okresie państwowych monopolii elektroenergetycznych dominowała sprzedaż taryfowa w obrocie detalicznym i hurtowym. Wskutek tego systemy sieciowe nie stanowiły naturalnej bazy do rozwoju rynku energii elektrycznej. Przełomem było rozdzielanie energii elektrycznej jako towaru od usług.

Poza ograniczeniami prawnymi największy wpływ na kształtowanie rynku energii mają techniczno-organizacyjne warunki funkcjonowania systemów sieciowych. W wielu przypadkach historycznie ukształtowane obszary regulacyjne i podziały sieci między operatorów utrudniają rozwój rynku. Stąd też podejmowane są działania przez poszczególne państwa i UE zmierzające do standaryzacji podziałów systemów sieciowych, systemów zarządzania, struktur operatorskich, kryteriów i parametrów jakościowych itp. Działania te podejmowane są w celu stworzenia systemów łączących się ze sobą obszarów handlowych, rozumianych jako obszary sieci, w których można handlować energią elektryczną czynną bez bezpośredniego powiązania z techniką, ale z wyraźnym jej uwzględnieniem. Podstawowym obszarem handlowym przez długi czas będzie system jako obszar regulacyjny, a zwłaszcza jego sieć zamknięta. W technicznie i ekonomicznie uzasadnionych przypadkach w systemie mogą być tworzone strefy, w których będą ustalane ceny energii jako ceny równowagi na rynkach zorganizowanych. Kolejnym obszarem handlowym może być zwarta sekcja sieci 110 kV lub gałąź sieci promieniowej.

Tworzenie obszaru handlowego poniżej sieci zamkniętej znacznie zmniejsza liczbę podmiotów uczestniczących w takim rynku. Rozwój rynków energii na tych obszarach będzie dotyczył wykorzystania lokalnych zasobów i przede wszystkim umożliwienia podmiotom przyłączonym do sieci dystrybucyjnej uczestniczenia w innych rynkach. Szybciej będą rozwijać się obszary handlowe obejmujące wiele systemów. Jednak stopień integracji tych systemów w ramach tworzenia jednego obszaru handlowego może być bardzo różny.

Obecnie funkcjonują obszary handlowe zorganizowane według *modelu pool*, na przykład PJM w USA, w których granica między obszarami regulacyjnymi i strefami wewnątrz nich praktycznie zanika. Obszary handlowe według *modelu bilateralnego* są ograniczone do obrotu energią czynną, a usługi, oprócz transportu energii między strefami, rozlicza się według *modelu pool*. Rozwiązanie takie zastosowano na przykład w Niemczech po ostatnio wprowadzonych zmianach funkcjonowania ich obszarów regulacyjnych, zawartych głównie w dokumencie Kodeks Sieci.

Ze względu na narastający w ostatnim czasie udział opłat przesyłowych w kosztach dostawy energii do odbiorców, podstawowego znaczenia nabiera problem odpowiedniego kształtowania systemu i wysokości stawek opłat przesyłowych stosownie do stopnia rozwoju rynku.

W Europie obszary handlowe energii tworzyły się regionalnie z wykorzystaniem istniejących powiązań. UE jako jedno z pierwszych zadań potraktowała rozwój połączeń

międzysystemowych i linii przesyłowych dalekiego zasięgu. Kolejnym etapem było sprecyzowanie głównych zasad funkcjonowania systemów jako obszarów regulacyjnych i zadań operatorów sieciowych w Dyrektywie 96/92/EC [29, 98], która zobowiązuje kraje członkowskie do uregulowania prawa i przepisów dotyczących systemów elektroenergetycznych zapewniających tworzenie jednolitego rynku energii czynnej, pozostawiając usługi w gestii poszczególnych operatorów z zaznaczeniem, że za dostępność i bilansowanie usług systemowych odpowiadają OSP, utożsamiani w tej dyrektywie z operatorami systemu jako obszaru regulacyjnego.

W ramach prac nad przyspieszeniem liberalizacji rynku energii w Europie opublikowano znowelizowaną dyrektywę 2003/54/EC w sprawie wewnętrznego rynku energii elektrycznej oraz rozporządzenie w sprawie warunków dostępu do sieci w sytuacji transgranicznej wymiany energii elektrycznej.

Zmiany w funkcjonowaniu rynków energii dotyczą przede wszystkim struktury organizacyjnej sektorów elektroenergetycznych i rynków energii, zapewniających rozwój mechanizmów konkurencji. Obejmują powoływanie nowych podmiotów i instytucji rynkowych, wdrażanie zasad zarządzania rynkiem, systemów stanowienia cen i rozliczeń w obrocie energią oraz zasad i systemów regulacji działalności przedsiębiorstw energetycznych, ich struktury własnościowej, systemów zarządzania ryzykiem z tytułu udziału w obrocie energią, a także rozwoju międzynarodowego handlu energią elektryczną.

Mechanizmy wdrażania konkurencyjnych rynków energii elektrycznej podlegają ciągłej ewolucji. Do elementów, które determinują kształt i skuteczność działania konkurencyjnego rynku energii należą:

- odpowiedzialność za zbilansowanie systemu,
- cenotwórstwo usług bilansujących,
- rozliczenia z tytułu braku zbilansowania,
- bezpieczeństwo energetyczne,
- wymiana informacji.

Jednym z istotnych zagadnień budowy konkurencyjnych rynków energii elektrycznej jest organizacja wdrożenia nowych rozwiązań z uwzględnieniem barier formalno-prawnych, organizacyjnych, technicznych, ekonomicznych, a także mentalnych wynikających z dotychczasowych działań i przyzwyczajeń. Próba rozwiązania tego typu problemów jest przyjęcie ewolucyjnego trybu kształtowania rynku poczynając od struktur prostych, bezpiecznych i łatwych do wprowadzenia, do rozwiązań coraz bardziej złożonych, obejmujących mechanizmami rynkowymi kolejne obszary działalności w elektroenergetyce.

Czynnikami decydującymi o trybie budowy rynku są:

- cena energii elektrycznej uwzględniająca koszty wytwarzania i dostaw,
- wielkość zdolności wytwórczych,
- stan rozwoju regulacji formalno-prawnych i instytucji odpowiedzialnych za kształtowanie i realizację polityki energetycznej państwa i działalności przedsiębiorstw energetycznych.

Jako początkowe formy budowy konkurencyjnego rynku są proponowane przede wszystkim:

- rynki, na których ceny są kształtowane na podstawie kosztowej, przy obowiązkowym utrzymaniu rezerw i świadczeniu usług systemowych przez uczestników rynku,
- rynki umożliwiające bezpośrednie kontraktowanie energii elektrycznej przez przedsiębiorstwa dystrybucyjne i wielkich odbiorców z kontraktami o zróżnicowanym horyzoncie czasowym,
- rynek wyłącznego nabywcy (*single buyer*) jako forma uproszczonego handlu,
- ofertowy rynek bieżący będący źródłem skutecznych sygnałów cenowych skierowanych do odbiorcy i inwestorów.

Ocena gospodarki energetycznej może być dokonywana według dwóch poziomów. Aktualnie dominujący przy podejmowaniu decyzji w zakresie organizacji i zasad współdziałania jest związany z perspektywą gospodarczo wyodrębnionego bloku producentów i dostawców energii. Natomiast drugi obejmuje dodatkowo odbiorców.

Pierwsze podejście zakłada możliwość stworzenia takich warunków funkcjonowania gospodarki energetycznej, w których pojawia się konkurencja między podmiotami wytwórczymi. W ramach tego bloku, nawet w gospodarkach rynkowych, samorzutny mechanizm konkurencji funkcjonuje w bardzo ograniczonym stopniu, co spowodowane jest naturalnym monopolem na przesył i dostawę energii oraz systemowym charakterem współdziałania niezależnych podmiotów gospodarczych, pracujących wspólnie na potrzeby popytowe energii. Stworzenie konkurencyjności wymaga specjalnych zabiegów doprowadzających do konkurencji produkcji oraz sztucznego eliminowania ograniczeń dostępu do sieci przesyłowych i dystrybucyjnych.

Drugie podejście, nie negując celów i metod stosowanych w pierwszym podejściu, proponuje obiektywne rozwiązania propozycji producentów przez porównanie ich z propozycjami odbiorców. Zatem podjęta jest próba rozszerzenia konkurencyjnego rynku i objęcia nim podmiotów gospodarczych o podobnych celach działania (sprzedaż energii) oraz podmiotów o celach przeciwnych (minimum wydatków na zakup energii), dając podstawy do wyważenia relacji pomiędzy rozwojem podaży a ograniczeniem popytu.

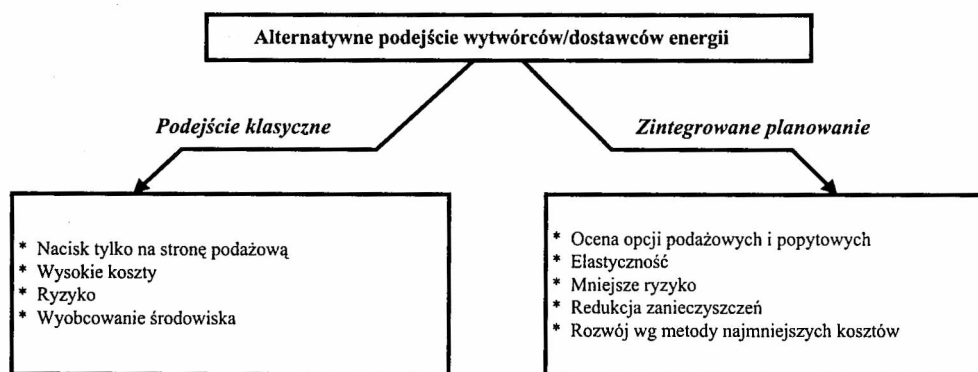
Analiza i ocena możliwości kształtowania popytu na energię u większości odbiorców, negocjowanie warunków finansowania poszczególnych projektów oraz podziału korzyści odbywać się będzie przede wszystkim na szczeblu regionalnym, gdzie w perspektywie powinno być również stosowane zintegrowane planowanie rozwoju [10, 71, 72].

Przy realizacji większości projektów *DSM* niezbędna będzie partycypacja systemu gospodarczego państwa, gdyż zmiany społeczne i ekonomiczne stawiają wyjątkowe wyzwania przed całą gospodarką narodową. Największe znaczenie mają:

- aktywność gospodarcza,
- potrzeby energii,

- energochłonne gałęzie przemysłu,
- wymagania ekologiczne,
- struktura sektora energetycznego.

Poruszanie się w otoczeniu obciążonym tak wielkim stopniem niepewności i ryzyka wymaga dużej umiejętności prognozowania potrzeb i nowego podejścia do planowania inwestycji energetycznych. Do tego celu służy między innymi *regionalne zintegrowane planowanie energetyczne*, które próbuje pogodzić problemy ekonomiczne i finansowe strony podażowej (SSM) i popytowej (DSM). Różnice w rozwiązywaniu tych zagadnień przez wytwórców (dostawców) energii w sposób klasyczny (tradycyjny) i z uwzględnieniem zasad zintegrowanego planowania przedstawiono na rys. 5.2.



Rys. 5.2. Planowanie energetyczne

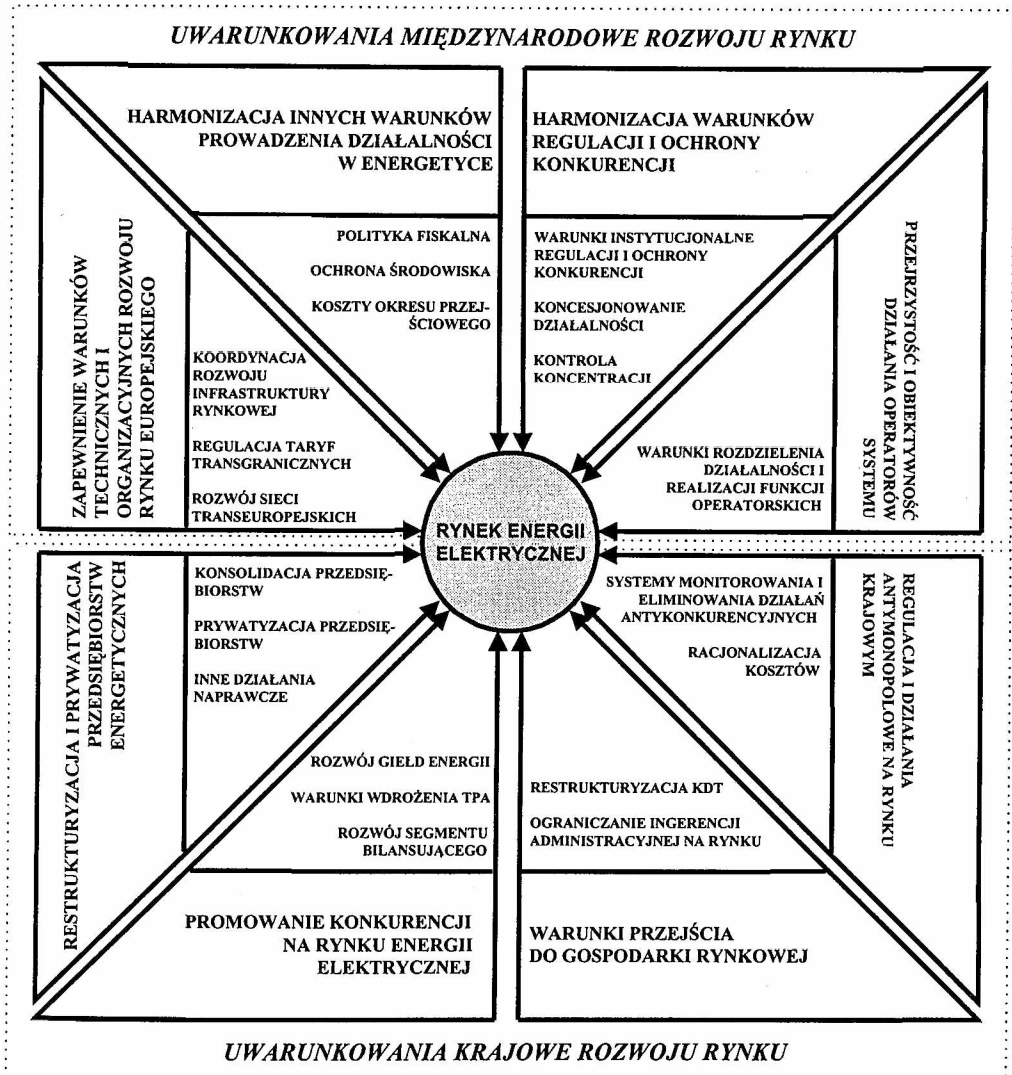
Fig. 5.2. Planning of power demand

Proces zintegrowanego planowania energetycznego wymaga od wszystkich uczestników gospodarki energetycznej przejawiania zainteresowania w poszukiwaniu własnego dobra na drodze dostarczania (sprzedaży) usługi końcowej energii jako dobra finalnego, wpływającego na powiększenie zysku finansowego [24, 47]. Natomiast przedsiębiorstwa energetyczne zorganizowane na dotychczasowych zasadach zainteresowane były wyłącznie sprzedażą swojego produktu. Przy istniejącej strukturze i organizacji współdziałania różnego typu przedsiębiorstw energetycznych, od źródeł powstawania energii pierwotnej do energii dostarczanej bezpośrednio do odbiorców, prowadzone działania powodujące poprawę efektywności w zakresie wykorzystania energii u odbiorców finalnych są określane jako zabiegi prowadzone wbrew interesowi ekonomicznemu dostawców energii.

Działania podnoszące efektywność wykorzystania energii powodują między innymi obniżenie popytu na energię, a więc obniżenie ilości i wartości sprzedaży energii oraz zmniejszenie zysku finansowego.

Możliwe do osiągnięcia korzyści systemowe nie są widoczne dla bezpośrednich dostawców energii, gdyż występują na drugim końcu łańcucha przemian energetycznych.

Korzyści działań proefektywnościowych wynikają przede wszystkim z uniknięcia nakładów inwestycyjnych kierowanych na rozwój nowych źródeł wytwarzania energii oraz eliminowania drogiej produkcji energii.



Rys. 5.3. Czynniki determinujące rozwój rynku energii elektrycznej w Polsce

Fig. 5.3. Factors determining expansion of electric energy market in Poland

Przechodzenie od monopolu do rynku otwartego jest procesem ciągłym i przejawia się w elementach zwiększających:

- przejrzystość (transparentność) cen,
- dostępność danych opisujących obrót energią,
- swobodę dostępu do struktur sieciowych,
- liczbę i wolumen transakcji terminowych,
- dostępność instrumentów pochodnych (derywatów),

a także rozpoczęcie działalności giełdy energii elektrycznej z pakietem transakcji natychmiastowych i terminowych.

W ramach prac rozwojowych w kierunku poszukiwania oryginalnych i skutecznych strategii rynkowych [159] jest pożądanе uwzględnienie uwarunkowań zarówno w zasięgu krajowym, jak i międzynarodowym (rys. 5.3).

W obszarze międzynarodowym największe znaczenie ma proces integracji z UE, która jest silnie zdeterminowana wspieraniem jednolitego rynku energii elektrycznej, obejmującego kraje członkowskie. Działania te są ukierunkowane na wzrost efektywności ekonomicznej sektorów energetyki i bezpieczeństwa energetycznego w skali całej Unii, poprzez szersze wykorzystanie mechanizmów konkurencji w skali międzynarodowej w miejsce lokalnej interwencji administracyjnej.

W obszarze krajowym przede wszystkim podejmowane są działania w kierunku otwarcia krajowych rynków energii na konkurencję międzynarodową, a także w celu realizacji krajowego programu ogólnych przemian gospodarczo-społecznych.

5.2. Organizacja rynków energii

Demonopolizacja sektora energii wymusza powstawanie rynków lokalnych. Budowa rynku lokalnego polega na realizacji określonych zadań przez jego uczestników, czyli wytwórców i dystrybutorów [138, 149]. W podsektorze wytwarzania, oprócz elektrowni ciepłych, ważne zmiany dotyczą elektrociepłowni. *Restrukturyzacja źródeł* ma największe znaczenie z punktu widzenia wdrożenia zasad rzeczywistej konkurencji w procesie wytwarzania energii.

Drugi kierunek związany jest z *rozwojem lokalnych źródeł wytwórczych* (lokalne elektrociepłownie komunalne i przemysłowe).

Inny kierunek to *rozwój małych prywatnych źródeł wytwarzania*, na przykład niezależni producenci energii (NPE), mała energetyka wodna (MEW), elektrownie gazowe czy wiatrowe.

Powyższe kierunki kreowania rozwoju rynków lokalnych wymagają podejmowania decyzji inwestycyjnych, zawsze w warunkach niepewności i ryzyka. Wymusza to poszukiwanie najefektywniejszego przedsięwzięcia inwestycyjnego na rynku lokalnym. Te uwarunkowania stały się wyzwaniem dla rozwoju generacji rozproszonej, obejmującej obok technologii bazujących na klasycznych formach energii pierwotnej również sze-

roko zróżnicowane technologie wykorzystujące zasoby odnawialne (OZE), co często sygnalizowane jest anglosaskim akronimem RES+DG (*Renovable Energy Sources + Distributed Generation*). Jednym z ważnych skutków postępu naukowo-technicznego w obszarze źródeł jest już obserwowany rozwój rynku generacji bardzo małej skali (mikrogeneracji) [21, 69, 72, 79].

Znane w krajach wysoko rozwiniętych metody *DMP* (Decision Making Process) pozwalają na podejmowanie decyzji racjonalnych według różnych kryteriów.

Energia elektryczna i ciepło są specyficznym towarem. Efektywność działania mechanizmów konkurencji rynkowej jest ograniczona przez małą liczbę podmiotów gospodarczych, biorących w nich udział oraz równoczesność produkcji z jej zużyciem.

Energia elektryczna jako podstawa nowoczesnego społeczeństwa ma szczególne cechy:

- nie podlega magazynowaniu w większych ilościach (jednoczesność podaży i popytu),
- zawodność jednostek wytwórczych i ograniczenia przesyłowe mogą w pewnym momencie doprowadzić do niezrównoważenia popytu i podaży energii elektrycznej, co w konsekwencji spowoduje gwałtowny wzrost cen,
- zmienność czasowo-przestrzenna procesu zapotrzebowania (losowość),
- niesubstituowalność w wielu zastosowaniach,
- silne powiązania technologiczne procesów wytwarzania, przesyłu, dystrybucji i użytkowania,
- wysoka kapitałochłonność i wydłużony w czasie cykl inwestowania i eksploatacji obiektów wytwórczych i sieciowych,
- łatwość dostępu,
- różnorodność użytkowników i ich wymagań,
- złożoność systemu taryf,
- mała elastyczność cenowa.

Wprowadzenie gospodarki rynkowej powoduje nowe podejście do zagadnienia handlowego obrotu energią. Uczestnicy lokalnego rynku energii to:

- odbiorcy energii (budynki mieszkaniowe, zakłady przemysłowe, inne podmioty gospodarcze),
- przedsiębiorstwa energetyczne (dystrybutorzy energii elektrycznej i ciepła),
- dostawcy energii (elektrownie, elektrociepłownie itp.),
- zarządy miast i gmin, które kontrolują pośrednio poprzez rady nadzorcze lub bezpośrednio (miejskie spółki energetyczne, ciepłone) działalność przedsiębiorstw,
- agendy rządowe, które określają warunki formalno-prawne i ekonomiczne produkcji, dystrybucji i odbioru energii,
- pośrednicy.

Liberalizacja doprowadziła do zmian w sposobie funkcjonowania handlu energią elektryczną. W warunkach monopolu z powodu niejednoznacznych zasad rozliczania i dominacji pozagiełdowych kontraktów długoterminowych powstawała nierówność siły

rynkowej wytwórców i odbiorców. Utworzenie rynku jest związane z pojawieniem się nowych podmiotów rynkowych i systemu usług. Liberalizacja rynku energii skutkuje znaczącą nieprzewidywalnością zachowań odbiorców, których prawem stała się swoboda wyboru dostawców. W celu ograniczenia chaosu w procedurach kontraktowania wprowadzono pewne ograniczenia.

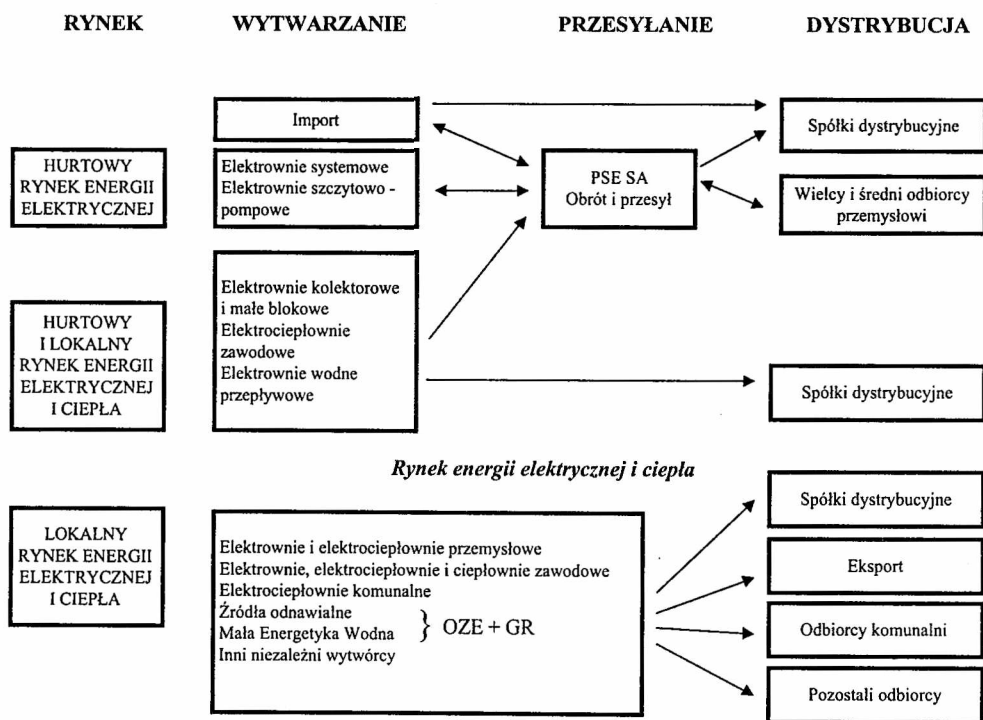
Do budowania strategii zabezpieczających wykorzystuje się przede wszystkim kontrakty terminowe typu *futures* i opcje. Utworzenie polskiej giełdy energii elektrycznej (GE S.A.) daje możliwość wykorzystania strategii zarządzania ryzykiem przez uczestników rynku [20].

Koncepcja struktury rynku energii w Polsce (rys. 5.4) zakłada podział krajowego hurtowego rynku energii elektrycznej według kryterium poziomu napięcia sieci elektroenergetycznej na:

- rynek systemowy (PSE S.A.), w tym rynek kontraktowy i rynek giełdowy,
- rynki lokalne (spółki dystrybucyjne lub PSE S.A.).

W hurtowym rynku systemowym biorą udział:

- elektrownie systemowe ciepłone,



Rys. 5.4. Koncepcja struktury rynku energii w Polsce

Fig. 5.4. Pattern of energy market in Poland

- elektrownie szczytowo-pompowe jako źródła regulacyjne,
- elektrownie kolektorowe i małe elektrownie blokowe,
- Polskie Sieci Elektroenergetyczne (PSE S.A.),
- spółki dystrybucyjne,
- **wielcy odbiorcy**.

W procesie obrotu energią i mocą realizacja będzie odbywać się poprzez umowy długo- i średnioterminowe na rynku kontraktowym, obejmującym ok. 85% produkcji energii elektrycznej ze źródeł, po cenach kontraktowych opartych na cenach negocjowanych (umowy wieloletnie) i cenach opartych na kosztach standardowych (umowy średnioterminowe). Rynek giełdowy jako uzupełnienie rynku w ok. 15%, będzie oparty na oferowanych przez wytwórców cenach energii elektrycznej. Oprócz tego przedmiotem obrotu handlowego może być moc deklarowana, tzn. z ceną jednakową dla wszystkich wytwórców, proporcjonalnie do wskaźnika niezawodności dostawy energii elektrycznej. Sprzedaż do spółek dystrybucyjnych i dużych odbiorców będzie odbywać się według taryfy hurtowej z opłatami za przesył i obsługę handlową, po różnych cenach w zależności od poziomu napięcia.

Po stronie wytwarzania na rynkach lokalnych energii elektrycznej i ciepła uczestnikami będą:

- elektrociepłownie zawodowe,
- elektrociepłownie i elektrownie przemysłowe i komunalne,
- elektrownie wodne przepływowe o mocy powyżej 5 MW,
- małe elektrownie wodne i inne źródła odnawialne,
- małe elektrownie gazowe,
- inni niezależni wytwórcy.

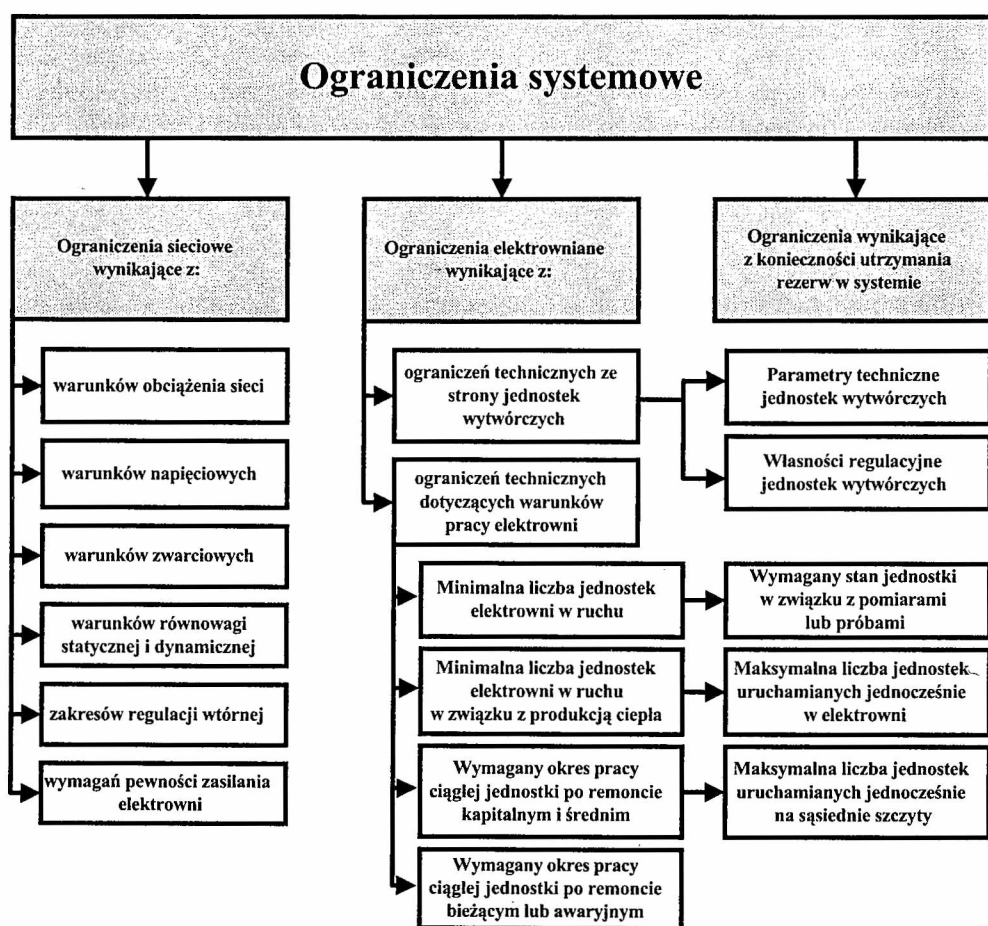
Po stronie dystrybucji i odbiorców:

- spółki dystrybucyjne,
- **wielcy i średni odbiorcy przemysłowi**,
- odbiorcy komunalni,
- pozostali odbiorcy.

Proces rynkowych przekształceń gospodarki narodowej i dążność do funkcjonowania ekonomicznego sektora energii jest związany z prognozowaniem podsystemu wytwarzania w energetyce funkcjonującej na lokalnym rynku energii [122]. W odniesieniu do energii elektrycznej i ciepła efektywność działania mechanizmów rynkowych jest ograniczona przez małą liczbę producentów w stosunku do liczebności odbiorców. Lokalny rynek energii jest silnie związany z rynkiem urządzeń wytwarzających, przetwarzających, rozprowadzających i przede wszystkim wykorzystujących energię, a także rynkiem usług energetycznych (ogrzewanie, oświetlenie, transport). Rynek wyrobów energooszczędnych stwarza warunki konkurencyjnego wyboru zakupu różnych nośników energii. Z punktu widzenia obrotu energią najważniejszą rolę odgrywać będą elektrociepłownie ze względu na ich jednoczesną działalność na: rynku energii elektrycznej

(skojarzone wytwarzanie energii) oraz na rynku ciepła. Ponadto na lokalnych rynkach energii przewiduje się udział innych elektrociepłowni jako niezależnych producentów energii elektrycznej i ciepła (NPE), wymuszających konkurencję na rynku dostaw energetycznych. Zmniejszanie roli sektora państwowego i tworzenie szerokiego rynku energii uzyskano w oparciu o zapisy legislacyjne i system taryf stymulujących racjonalne użytkowanie energii.

Istotnie zwiększa się poszukiwanie bardziej efektywnych energetyczno-ekonomicznych systemów zaopatrzenia w nośniki energetyczne, na przykład możliwość wykorzystania zasobów gazu ziemnego jako paliwa w nowych układach technologicznych, przetwarzających energię do postaci użytkowej. Wzrasta zatem rola generacji rozproszonej: OZE (Odnawialne Źródła Energii) i źródła (ko)generacyjne małej i bardzo małej mocy,



Rys. 5.5. Rodzaje ograniczeń systemowych
Fig. 5.5. Sorts of system restrictions

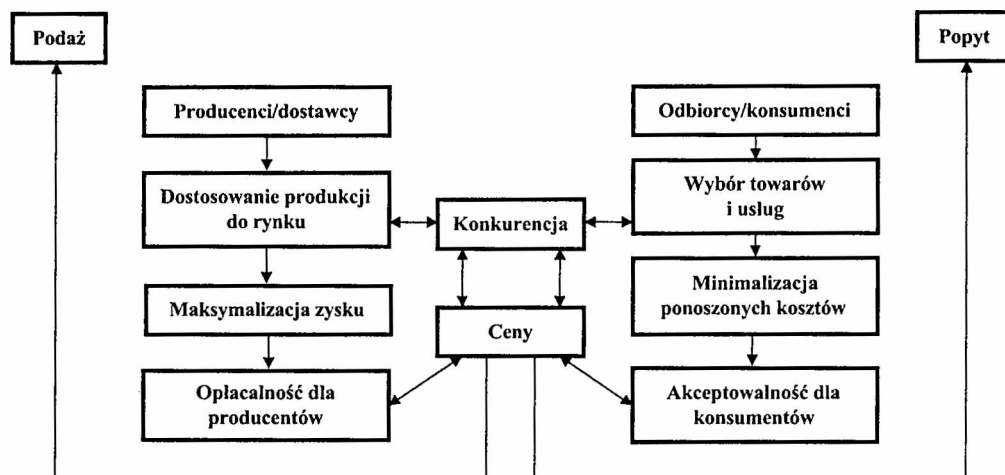
wykorzystujące paliwa klasyczne (głównie gaz ziemny) [69, 83]. Równoprawny dostęp NPE do rynku energii powinien umożliwić uzyskanie konkretnych korzyści ekonomicznych i sprawdzenie funkcjonowania w warunkach rynkowych. Doświadczenia krajów zachodnich pokazują, że NPE powinni być także rozważani jako ważne podmioty gry rynkowej z punktu widzenia dostawy energii do sieci dystrybucyjnej [99].

W swoich strategiach rynkowych uczestnicy często wykorzystują fakt, że swoboda handlu i zawierania transakcji w obrocie energią elektryczną nie przystaje do całkowitej możliwości ich fizycznej realizacji przez system przesyłowy. Wymagania techniczne związane z koniecznością zapewnienia bezpieczeństwa i niezawodności pracy systemu elektroenergetycznego, dotyczących zwłaszcza źródeł wytwórczych i sieci, tworzą tzw. ograniczenia systemowe w krajowym systemie elektroenergetycznym (rys. 5.5). W tej sytuacji istotnego znaczenia nabierają: stosunki własnościowe, wdrożenie Prawa Energetycznego, dostęp producentów energii do różnych nośników energetycznych i technologii ich przetwarzania, dostęp odbiorców energii do wysoce efektywnych technologii oraz zasady rozliczeń za energię.

5.3. Model rynku energii

Model rynku energii elektrycznej w Polsce o określonej strukturze, mechanizmach działania, harmonogramie wdrożenia, relacjach pomiędzy uczestnikami określił dokument zatwierdzony przez KERN i przyjęty na jego podstawie przez Radę Ministrów 10 kwietnia 2001 r. program wprowadzania rynku energii elektrycznej w Polsce. Jest to model zdecentralizowany, w którym gra rynkowa odbywa się między jego podmiotami i poszczególnymi segmentami w różnym czasie. Odbiorcy uprawnieni do dostępu do sieci (pozataryfowi) i wytwórcy wspomagani przez odbiorców handlowych mogą zawierać umowy sprzedaży bezpośrednio, za pośrednictwem giełd lub przedsiębiorstw obrotu. Realizację umów sprzedaży prowadzą OSP (Operator Systemu Przesyłowego) na podstawie zgłoszeń zawartych umów. Bezpieczeństwo dostaw energii zapewnia system kroczących planów koordynacyjnych, uwzględniający również planowe odstawienie elementów systemu. Rynek energii jest strukturą związaną z paliwami stałymi, cieplnymi, gazowymi, energią elektryczną i ciepłem.

Zasadnicze funkcjonowanie rynku polega na koordynacji zachowań między producentami a konsumentami za pomocą mechanizmu cen i zgodnie z zasadami podaży oraz popytu. Na rysunku 5.6 przedstawiono uproszczony schemat wolnego rynku, na którym producenci (samodzielni wytwórcy), kierując się zasadą maksymalizacji zysku, sami decydują jak i dla kogo produkować oraz komu sprzedać samodzielnie lub przez pośredników swoje towary lub usługi. Z kolei konsumenci, posiadając określone dochody, wydatkują je na rynku w sposób wynikający z poziomu oferowanych cen. I chociaż producenci i konsumenci mogą występować w podwójnej roli, to jednak prawie zawsze konsumenci dążą do minimalizacji kosztów, wybierając towary i usługi lepsze i tańsze.



Rys. 5.6. Ogólny schemat rynku energii
Fig. 5.6. General pattern of energy market

Ceny kształtowane są według zasady racjonalności dla producentów i akceptowalności dla konsumentów.

O rodzaju, ilości i jakości poszczególnych wyrobów decyduje konsument (odbiorca), natomiast na technologię i organizację produkcji mają wpływ producenci, a w szczególności konkurencja.

Struktura przedmiotowa rynku zdecentralizowanego składa się z trzech uzupełniających się elementów:

- rynku energii elektrycznej czynnej,
- rynku technicznego, w którym przedmiotem obrotu są regulacyjne usługi systemowe oraz energia produkowana jako generacja wymuszona,
- rynku finansowego, na którym przedmiotem obrotu są kontrakty finansowe dotyczące dostaw energii, ale nie związane bezpośrednio z fizyczną dostawą energii.

Struktura rynku nie jest obecnie zadowalająca, gdyż ok. 65% krajowego obrotu energią elektryczną obejmują kontrakty długoterminowe, a obrót giełdowy wynosi jedynie ok. 1,5%. Kontrakty długoterminowe zawarto w przeszłości między PSE S.A. i elektrowniami w celu umożliwienia realizacji programu ich modernizacji z dostosowaniem do norm ochrony środowiska naturalnego [85, 122].

Rynek bilansujący obejmuje rozliczenia działań bilansująco-dostosowawczych, niezbędnych do realizacji umów sprzedaży energii zawartych w segmencie kontraktowym i giełdowym. Wolumen obrotu na tym rynku jest niewielki (parę procent), ale odgrywa ważną rolę, gdyż umożliwia liberalny obrót energią elektryczną przez realizację umów sprzedaży energii z zapewnieniem:

- bieżącego bilansowania wytwarzania energii elektrycznej z poborem,

- technicznych warunków pracy systemu,
- zachowania standardów jakości i niezawodności dostaw energii.

Od połowy 2001 r. rozpoczął się proces wdrażania dobowo-godzinowego rynku bilansującego, administrowanego przez PSE S.A. Wymaga tzw. grafików zgłaszanych z dobowym wyprzedzeniem umów sprzedaży, czyli dla każdej godziny określania planowanej produkcji w jednostkach wytwórczych i poboru energii w określonym miejscu dostarczenia. Rozliczenia odbywają się w cyklu godzinowym. Wdrożenie tego rynku działającego w czasie rzeczywistym stwarza dobre warunki do rozwoju pozostałych segmentów konkurencyjnego rynku energii elektrycznej.

Wybrany w Polsce model rynku elektrycznego należy do grupy modeli zdecentralizowanych. Podobne modele rynku energii elektrycznej zostały dotychczas wdrożone z uwzględnieniem lokalnych uwarunkowań, między innymi w Kalifornii (USA), w Skandynawii i częściowo w Australii, a także obecnie w Anglii i Walii.

Struktura podmiotowa ma wyraźnie rozdzielone trzy podsektory:

- wytwarzania,
- przesyłu,
- dystrybucji

i stanowi bardzo dobry punkt wyjściowy do wdrażania zdecentralizowanego modelu rynku energii elektrycznej, na jaki zdecydowano się w Polsce. Ponadto wdrożenie mechanizmów konkurencyjnych spowoduje powstanie wielu nowych podmiotów, które będą świadczyć dotychczas istniejącym przedsiębiorstwom sektora specjalistyczne usługi w nowych warunkach:

- operatorzy handlowi OH,
- operatorzy handlowo-techniczni OHT.

Obecnie powstają w kraju przedsiębiorstwa obrotu, które mogą pełnić rolę OH i OHT. Podmioty sektora elektroenergetycznego pełnią na rynku elektroenergetycznym funkcje:

- dostawcy (wytwórcy i importerzy),
- przedsiębiorstw obrotu (hurtownicy, detaliści),
- operatorów handlowych (przedsiębiorstwa obrotu, giełdy energii, hurtownicy, detaliści),
- operatorów handlowo-technicznych,
- odbiorców końcowych.

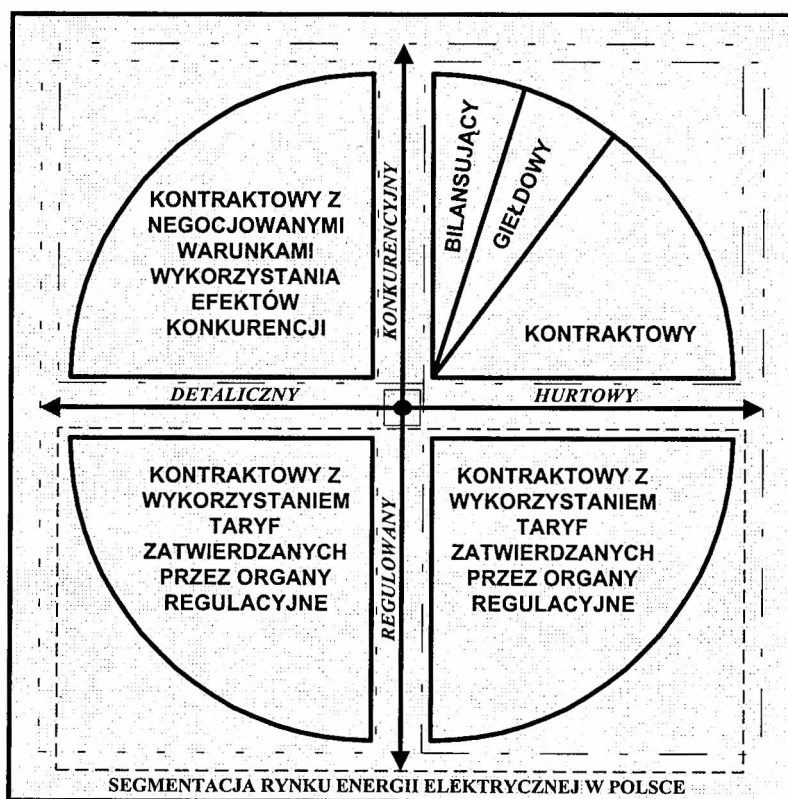
W praktyce jeden podmiot gospodarczy może prowadzić działalność obejmującą kilka wymienionych wyżej funkcji.

Rynek energii elektrycznej czynnej działa na dwóch poziomach jako *rynek hurtowy i detaliczny*, a każdy z nich składa się z dwóch obszarów: *konkurencyjnego i regulowanego* (taryfowego). Ze względu na cechy zawieranych umów sprzedaży różni się trzy uzupełniające się segmenty rynku energii czynnej: *kontraktowy* (bilateralny), *giełdowy* i *bilansujący* (rys. 5.7).

Na *rynku detalicznym* handel energią elektryczną jest realizowany na podstawie kontraktów, przy czym w obszarze regulowanym wykorzystywane są taryfy przedsiębiorstw energetycznych zatwierdzone przez organy regulacyjne, natomiast w części konkurencyjnej przedsiębiorstwa energetyczne na zasadzie umownej mogą oferować indywidualnym odbiorcom różne formy uproszczonego uczestnictwa w rynku konkurencyjnym, na przykład w formie taryf, w których stawki są pochodną cen rynkowych. Konkurencja w tym obszarze rynku przybiera formę walki przedsiębiorstw energetycznych o odbiorcę, który ma prawo wyboru dostawcy energii elektrycznej.

Na *rynku hurtowym* w obszarze regulowanym jest podobnie, natomiast w obszarze konkurencyjnym występują trzy zasadnicze segmenty, w których uczestnicy rynku mogą prowadzić swobodną grę rynkową i próbować realizować indywidualne strategie rynkowe:

- *segment kontraktowy* – obrót energią jest prowadzony w formie transakcji zawieranych bezpośrednio pomiędzy uczestnikami rynku, pozwala zawierać kontrakty o zróż-

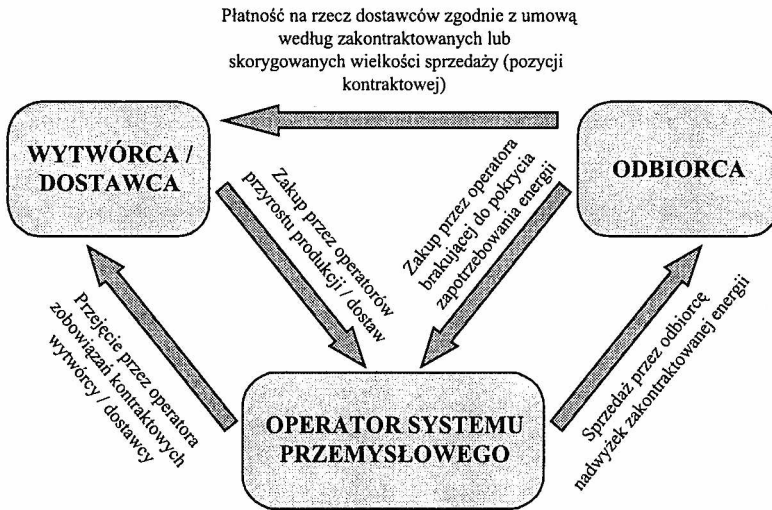


Rys. 5.7. Struktura rynku energii elektrycznej w Polsce

Fig. 5.7. Pattern of electric energy market in Poland

nicowanym horyzoncie czasowym (na przykład wieloletnie, roczne, miesięczne, wybrane okresy doby) i warunkach realizacji,

- *segment giełdowy* – obrót energią jest prowadzony w formie kontraktów zawieranych na giełdach energii, oferujący standaryzowane produkty w obrocie energią elektryczną,
- *segment bilansujący* – operator systemu przesyłowego bilansuje różnice pomiędzy podażą wynikającą z kontraktacji w segmentach kontraktowym i giełdowym, a bieżącym zapotrzebowaniem na energię elektryczną (rys. 5.8), stosujący się do określonych zasad planowania, prowadzenia ruchu systemu elektrycznego i rozliczeń.



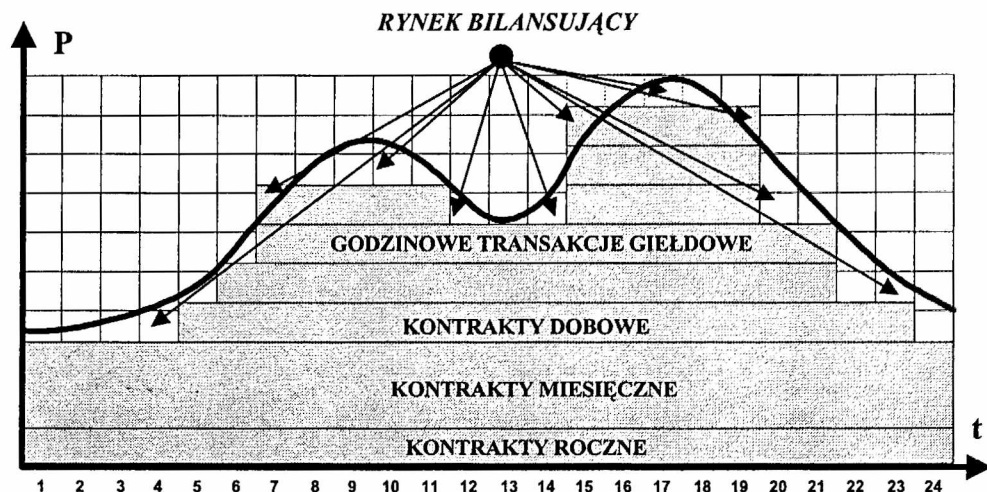
Rys. 5.8. Schemat transakcji w segmencie bilansującym

Fig. 5.8. Pattern of transactions in balance segment

Rynek hurtowy obrotu energią elektryczną jest realizowany głównie w obszarze sieci przesyłowej o napięciu wyższym niż 110 kV. Działają na nim:

- wytwórcy oferujący sprzedaż energii elektrycznej oraz świadczenie systemowych usług regulacyjnych,
- przedsiębiorstwa dystrybucyjne,
- **wielcy odbiorcy**,
- operatorzy handlowi OH,
- operatorzy handlowo-techniczni OHT,
- giełdy energii elektrycznej GE,
- operatorzy systemu przesyłowego OSP.

W obszarze konkurencyjnego rynku hurtowego uczestnicy mogą kreować kontrakty i transakcje pokrywające zmienne zapotrzebowanie odbiorcy (rys. 5.9).



Rys. 5.9. Przykład konstrukcji kontraktów i transakcji

Fig. 5.9. Example of making contracts and transactions

Doświadczenia z działania polskiego i brytyjskiego rynku bilansującego ze zróżnicowanymi cenami rozliczeniowymi wskazują, że przy wysokich cenach zakupu energii z tego rynku odbiorcy energii z przyczyn czysto pragmatycznych mogą preferować prekontraktowanie.

Kontrakty długoterminowe na dostawy energii elektrycznej zawarte przez PSE S.A. są istotnym elementem ograniczającym zakres i tempo rozwoju konkurencji na polskim rynku energii [85]. Zgodnie z programem rządowym z początku lat dziewięćdziesiątych w Polsce przez wiele lat rozwijał się rynek „jednego kupującego” (tzw. *single buyer*). Oznaczało to, że praktycznie cała energia była kupowana przez PSE S.A. po różnych cenach od poszczególnych wytwórców, a następnie sprzedawana odbiorcom hurtowym – spółkom dystrybucyjnym po jednolitych cenach według taryfy hurtowej. Próba utworzenia silnych firm wytwórczych na początku lat dziewięćdziesiątych zakończyła się niepowodzeniem. Dlatego w 1994 r. podjęto decyzję o przeprowadzeniu programu modernizacji wytwarzania energii elektrycznej, finansowanego w przeważającej części ze środków zewnętrznych, głównie kredytów. W 1998 r. został zmieniony program reformy elektroenergetycznej poprzez odejście od formuły „jednego kupującego”, mimo braku zapewnienia wymaganej struktury organizacyjnej sektora.

Od połowy 2000 r. trwają prace nad aneksem do kontraktów długoterminowych, w których wytwórca zostaje zwolniony z obowiązku sprzedaży energii elektrycznej do PSE S.A., a PSE S.A. z obowiązku jej zakupu. Pozostaje natomiast poza innymi obowiązkami wytwórcy utrzymanie mocy wytwórczej objętej kontraktem długoterminowym o określonej dyspozycyjności, sprawności i ustalonym poziomie emisji zanieczyszczeń.

Rynek detaliczny energii elektrycznej zapewnia dostawy energii dla odbiorców końcowych. Głównym podmiotem rynku detalicznego jest odbiorca energii, który zgodnie z procesem może bezpośrednio zakupić energię u wytwórcy, uczestniczyć w *segmencie giełdowym* lub *bilansującym* oraz korzystać z usług przedsiębiorstw obrotu energią lub operatorów handlowo-technicznych. Uczestnikami rynku detalicznego są przedsiębiorstwa energetyczne zajmujące się przesyłaniem i dystrybucją energii za pomocą sieci rozdzielczych (spółki dystrybucyjne). Ich zakres działalności obejmuje przede wszystkim funkcje operatora systemu rozdzielczego (OSR) oraz dostawcy energii elektrycznej dla odbiorców, którzy nie uzyskali lub nie wykorzystują prawa do usług przesyłowych na podstawie taryf zatwierdzonych przez Prezesa URE. Przedsiębiorstwa te mogą również uczestniczyć w konkurencyjnym segmencie rynku detalicznego pod warunkiem zapewnienia niezależności i obiektywności realizacji funkcji OSR. Na rynku detalicznym działają także przedsiębiorstwa obrotu energią, które dostarczają energię na podstawie zasady TPA tym z odbiorców, którzy posiadają i wykorzystują swoje prawo do usług przesyłowych.

Uwzględniając, że na rynku energii funkcjonują podmioty zajmujące się wytwarzaniem, przesyłaniem, dystrybucją i obrotem energią, można przyjąć następujące determinanty tzw. rynku doskonałego:

- duża liczba sprzedających i kupujących,
- zróżnicowanie funkcjonowania wytwórców,
- homogeniczność towaru,
- bliski kontakt sprzedających i kupujących,
- równoprawność podmiotów.

Nadrzędnym celem idealnego rynku energii elektrycznej jest zapewnienie racjonalnych cen dla odbiorcy, dostaw energii o wysokich parametrach jakościowych oraz zagwarantowanie rynkowej rentowności podmiotów funkcjonujących w rynku energii elektrycznej.

Instytucjonalne formy konkurencyjnego rynku energii elektrycznej są następujące:

- *rynek ofertowy* (pool, poolco) – gdy występuje jeden nabywca hurtowy. Poolco jest rządową agencją, dokonującą zakupu w imieniu wszystkich odbiorców. Z ofert zebranych od wszystkich sprzedających wybiera się ofertę o najniższej cenie,
- *transakcje dwustronne* – system wielu sprzedających i kupujących. Poszczególni uczestnicy dążą do transakcji na warunkach i po cenach nie ujawnianych,
- *giełda energii* – instytucja ustanawiana z polecenia rządu dla obrotu energią elektryczną.

Stwarza to warunki fluktuacji cenowych, zgodnych z procesem zapotrzebowania. Kontrakty są utajnione. Działanie tych trzech mechanizmów w znacznym stopniu zależy od lokalnych regulacji prawnych i nie wyklucza się ich symultanicznego funkcjonowania ze zróżnicowanym wyprzedzeniem czasowym.

5.4. Regulacje prawne i zarządzanie ryzykiem

Wśród podstaw prawnych określających ogólne zasady tworzenia rynków energii i prowadzenia działalności operatorów systemu można wyróżnić obowiązujące w tym zakresie regulacje krajowe i międzynarodowe [29, 98, 156]. W większości przypadków w poszczególnych krajach podstawę taką stanowią ustawy, akty wykonawcze do ustaw, do pewnego stopnia regulaminy techniczno-organizacyjne opracowane przez przedsiębiorstwa energetyczne i zatwierdzone przez wskazane organy administracji rządowej, a także zasady stanowione w ramach posiadanych kompetencji przez organy regulacyjne. Przykładami mogą tu być hiszpańska ustawa elektroenergetyczna, szczegółowo definiująca zakres odpowiedzialności poszczególnych podmiotów na rynku energii elektrycznej, a także zarządzenia amerykańskiej Federalnej Komisji Regulacji Energetyki (FERC), która ustanowiła ogólne zasady organizacji niezależnych operatorów systemu i zatwierdza ich powołanie [158, 159]. Przykładem regulacji o charakterze ponadkrajowym, która silnie oddziałuje również na rozwiązania przyjmowane w Polsce, jest ustawodawstwo UE. Jednym z elementów prac dotyczących reformy i trybu skutecznego programu restrukturyzacji polskiej elektroenergetyki, obok działań związanych z cenotwórstwem energii, były zagadnienia budowy rynku energii elektrycznej. Kontynuacją tych prac było przyjęcie we wrześniu 1996 r. przez RM proponowanego dokumentu, tzw. Białej Księgi [8], określającego warunki i kierunki demonopolizacji i prywatyzacji sektora elektroenergetycznego [122], który odnosił się między innymi do problemów prywatyzacji, wdrażania konkurencji, regulacji działalności przedsiębiorstw energetycznych oraz utrzymania bezpieczeństwa energetycznego, jak również określenia roli PSE S.A. i ochrony środowiska. W efekcie tych prac między innymi weszła w życie w 1997 roku Ustawa Prawa Energetycznego, która określiła ogólne zasady organizacji rynku energii elektrycznej w Polsce, a także kształtowanie polityki energetycznej państwa, regulacji działalności przedsiębiorstw energetycznych, konkurencyjnego charakteru rynku energii elektrycznej i stopniowe wprowadzanie mechanizmów rynkowych. W 1998 r. zostały wdrożone kluczowe rozporządzenia wykonawcze do ustawy, określające zasady przyłączenia do sieci i świadczenie usług przesyłowych, a także kształtowania i kalkulowania taryf energii elektrycznej. W grudniu 1998 r., po zakończeniu przez Prezesa URE koncesjonowania z urzędu przedsiębiorstw elektroenergetycznych, w PSE S.A. podjęte zostały prace nad zasadami, procedurami i systemami umożliwiającymi realizację podstawowych zadań przypisanych polskiemu operatorowi systemu przesyłowego, takich jak:

- planowanie i bezpieczne prowadzenie ruchu systemu elektroenergetycznego po wdrożeniu rozwiązań rynkowych,
- zapewnienie zbilansowania dostaw energii w systemie,
- realizację kontraktów w obrocie energią,
- planowanie koordynacyjne produkcji.

Na początku kwietnia 1999 r. ministrowie gospodarki, finansów i skarbu państwa przyjęli harmonogram działań dla liberalizacji rynku energii elektrycznej i prywatyzacji sektora elektroenergetycznego, zakładający powstanie dokumentu zawierającego między innymi koncepcję powołania i funkcjonowania giełdy energii elektrycznej. Przyjęto również projekt działań w stosunku do kontraktów długoterminowych na dostawy energii elektrycznej zawartych przez PSE S.A., pozwalający na stopniowe otwieranie rynku na konkurencję. Projekt dokumentu został poddany pod dyskusję ekspertów ministerialnych oraz Urzędu Regulacji Energetyki i Urzędu Ochrony Konkurencji i Konsumentów, a także uwzględniono opinie amerykańskiego instytutu (*Electric Power Research Institute*), który był zaangażowany przy tworzeniu rynku energii elektrycznej w krajach skandynawskich, w Kalifornii i przy realizacji studium taryfowego w Polsce. W grudniu 1999 r. Komitet Ekonomiczny RM przyjął trzy dokumenty przedłożone przez Ministerstwo Gospodarki i Urząd Regulacji Energetyki, które określały kształt rynku oraz etapy i harmonogram jego wdrożenia:

1. *Rynek energii elektrycznej w Polsce. Zasady działania i wdrożenia rynku energii elektrycznej w Polsce w roku 2000 i latach następnych* – synteza struktury i najważniejszych zasad działania rynku.
2. *Zasady rynku energii elektrycznej w Polsce* – pomoc przy budowie nowych rozporządzeń wykonawczych do ustawy Prawo Energetyczne oraz przy kształtowaniu zasad prowadzenia ruchu i eksploatacji systemu przesyłowego i systemów rozdzielczych.
3. *Projekt rynku energii elektrycznej w Polsce. Działanie rynku hurtowego i rynku detalicznego w roku 2000 i latach następnych* – szczegółowy zbiór zasad działania rynku, pozwalający uczestnikom na zapoznanie się z uwarunkowaniami uczestnictwa w obrocie energią elektryczną.

Przedstawiono także opisy hurtowego i detalicznego rynku energii elektrycznej, ich główne funkcje i uwarunkowanie wdrożenia, a także ustalono zakres niezbędnych do opracowania lub weryfikacji dokumentów regulujących działanie rynku. Prace nad skutecznym wdrożeniem w Polsce konkurencyjnego rynku energii elektrycznej i powołaniem giełdy energii elektrycznej prowadziło Ministerstwo Skarbu Państwa. Nastąpił wybór konsorcjum, które podjęło się organizacji giełdy energii elektrycznej. Powstała spółka Giełda Energii S.A., uruchomiono transakcje *rynku dnia następnego* od początku lipca 2000 roku. Również w połowie 2000 roku operator systemu przesyłowego opracował i udostępnił uczestnikom rynku dokumenty określające zasady organizacji segmentu bilansującego rynku energii elektrycznej w Polsce, które między innymi ustaliły zasady i warunki planowania i rozliczeń w cyklu dobowo-godzinowym.

Podstawy prawne rynku energii elektrycznej w Polsce są określone w ustawie Prawo Energetyczne z dn. 10 kwietnia 1997 r., znowelizowanej w połowie 2000 roku. Przepisy wykonawcze do tej ustawy zawarte są w odpowiednich rozporządzeniach Ministra Gospodarki. Najważniejsze rozporządzenia dotyczą między innymi:

- warunków przyłączenia podmiotów do sieci elektroenergetycznej, obrotu energią elektryczną, standardów jakościowych obsługi odbiorców,
- kształtowania i kalkulacji taryf,
- obowiązku zakupu energii elektrycznej ze źródeł niekonwencjonalnych i odnawialnych oraz wytwarzanej w skojarzeniu z ciepłem, a także ciepła ze źródeł niekonwencjonalnych i odnawialnych.

Nowelizacja wymienionych rozporządzeń wykonawczych umożliwiła między innymi:

- utworzenie jednolitego „placu handlowego” w obszarze rynku energii elektrycznej,
- rozwiązanie problemu kontraktów długoterminowych poprzez wdrożenie systemu opłat kompensacyjnych (SOK) pozwalającego na ich zamianę na kontrakty finansowe,
- wdrożenie zasad ustawowego obowiązku zakupu energii elektrycznej produkowanej w skojarzeniu oraz z odnawialnych źródeł energii.

Istotnym elementem rozwoju rynku energii elektrycznej było ustalenie programu i warunków integracji Polski z UE, który zakładał otwarcie w 2003 roku na konkurencję międzynarodową co najmniej 37% rynku krajowego, a uprawnionymi do zakupów energii elektrycznej wytworzonej poza granicami kraju mogą być krajowi odbiorcy zużywający nie mniej niż 100 GWh rocznie. Można przyjąć, że efektem rozwoju europejskiego rynku energii elektrycznej jest zmniejszenie zróżnicowania cen w poszczególnych krajach w wyniku zadziałania mechanizmów bezpośredniej konkurencji energii w obrocie międzynarodowym i deregulacji poszczególnych rynków krajowych, w których zamiast dotychczasowych mało wydajnych monopolii będą mogły pojawiać się nowe przedsiębiorstwa przystosowane do działania w warunkach konkurencji. Przesyłanie energii elektrycznej pomiędzy różnymi krajami, po pokonaniu barier o charakterze formalno-prawnym, technicznym i ekonomicznym, z pewnością pomoże w bardziej efektywnym wykorzystaniu ich zasobów energetycznych, w tym także odnawialnych źródeł energii. Ograniczenie zróżnicowania cen nastąpi wskutek wyrównywania poziomów możliwości społeczeństw i stopniowego ujednolicenia polityki fiskalnej w poszczególnych krajach. Nastąpi to w wyniku silnego nacisku odbiorców, wspólnego działania na rzecz ochrony środowiska w formie na przykład nowego podatku od emisji CO₂ i innych gazów cieplarnianych, a także upowszechniania nowych technologii produkcji i dostaw energii. Podstawą tych zmian jest też zapewnienie rozwoju konkurencyjnych rynków paliw wykorzystywanych do produkcji energii elektrycznej, głównie węgla kamiennego i gazu ziemnego.

Konsekwentna liberalizacja polskiego rynku poprzez wdrażanie przepisów ustawy Prawo Energetyczne i rozporządzeń wykonawczych, zapewnienie konkurencyjności polskich przedsiębiorstw energetycznych w drodze ich prywatyzacji i poddaniu mechanizmom konkurencji i możliwości wpływu na rozwiązania przyjmowane w UE, między innymi poprzez udział w inicjatywach na rzecz harmonizacji systemów regulacji dzia-

łałości przedsiębiorstw energetycznych, na przykład działalność Forum Regulatorów czy operatorów systemów przesyłowych, mogą dać podstawy do integracji rynków energii elektrycznej. Wskazane jest również przyjęcie i egzekwowanie jednolitego stanowiska Polski w stosunku do innych krajów nie będących członkami UE, które zamierzają wykorzystać polski system przesyłowy do tranzytu energii, na przykład Ukraina, Białoruś i Rosja. Tempo zmian w organizacji rynków energii w Europie i wzrost konkurencji prowadzić będzie do integracji między innymi giełd energii elektrycznej. Jest to też wyzwanie dla organizatorów giełdy w Polsce. Przykładem tego może być powstanie w ostatnim okresie giełd energii elektrycznej w Londynie, Lipsku, Amsterdamie i Frankfurtach.

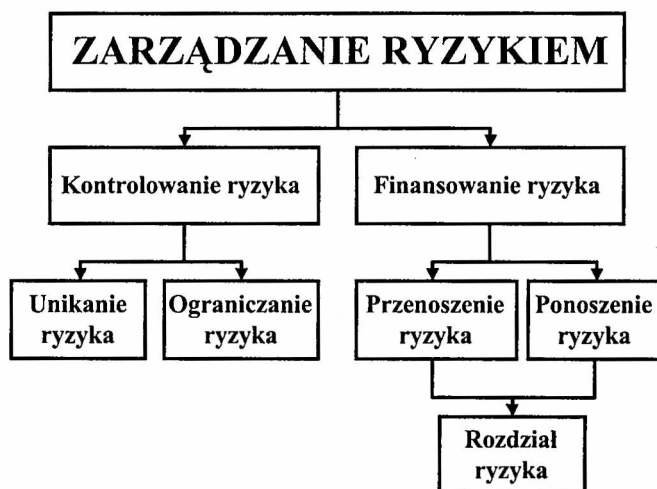
Zagadnienia legislacyjne stanowiące podstawowe uwarunkowania lokalnych rynków energii dotyczą zatem:

- stosunków własności w sektorze energii,
- dostępności do różnych nośników energetycznych przy wytwarzaniu energii,
- wyboru sposobu produkcji energii (gospodarka skojarzona, wydzielona, ciepłownictwo scentralizowane, indywidualne),
- konkurencji i swobodnego dostępu do sieci dystrybucyjnych,
- prowadzenia swobodnej gry rynkowej w sektorze wytwarzania, przesyłania i dystrybucji,
- zasad w sprawie rozliczeń między uczestnikami rynku w oparciu o rynkowe mechanizmy cen.

Do niedawna sektor energii elektrycznej był domeną struktur monopolistycznych, zintegrowanych pionowo, gdzie pozycja odbiorcy była podporządkowana interesom monopolisty. Liberalizacja sprawiła, że zarówno wytwórcy energii elektrycznej, jak i jej użytkownicy narażeni są na ryzyko rynkowe i dużą zmienność cen. Forma i zakres zarządzania ryzykiem przedsiębiorstwa zależy od: utrzymania poziomu rentowności, ekspozycji kredytowej, wymagań w zakresie przepływów gotówkowych, obsługi zadłużenia, ekonomiki przedsięwzięć i wymogów planistycznych.

Każde ryzyko cechuje nieprzewidywalność i straty, natomiast gdy wynik jest pewny, nie ma ryzyka. Udział w obrocie energią na konkurencyjnym rynku energii elektrycznej w Polsce jest związany z ponoszeniem określonych rodzajów ryzyka, które mogą być zagrożeniem dla prowadzonej działalności przedsiębiorstw. Jednym z najważniejszych jest ryzyko finansowe o charakterze dynamicznym, zależne między innymi od zmian w całej gospodarce i działań konkurentów, a także od wyboru technologii wytwarzania i strategii marketingowej. Zarządzanie ryzykiem przez przedsiębiorstwa energetyczne (rys. 5.10) w celu ograniczenia negatywnych skutków odbywa się poprzez kontrolowanie ryzyka (unikanie i ograniczanie) oraz finansowanie ryzyka (świadome ponoszenie ryzyka, zarządzanie określonym rodzajem ryzyka i rozdział ryzyka).

Zarządy przedsiębiorstw energetycznych uczestniczących w obrocie energią elektryczną powinny zapewnić realizację wszystkich elementów procesu zarządzania ryzykiem rynkowym (rys. 5.11).



Rys. 5.10. Metody zarządzania ryzykiem

Fig. 5.10. Methods of risk management



Rys. 5.11. Typowe procesy zarządzania ryzykiem

Fig. 5.11. Typical processes of risk management

Skuteczne zarządzanie ryzykiem przez zarządy musi łączyć się z trafnym prognozowaniem trendów, rozwijaniem scenariuszy i przewidywaniem działania mechanizmów. Podobnie jak w przypadku innych przedsiębiorstw do celów zarządzania ryzykiem należy:

- zapewnienie ciągłości, stabilności i rodzaju funkcjonowania firmy,
- ograniczanie niepewności,
- zapewnienie ekonomicznie uzasadnionego finansowania działań,

- dotrzymanie zobowiązań zewnętrznych.

Przedsiębiorstwa energetyczne mogą stosować się do następujących zasad zarządzania ryzykiem:

- określenia maksymalnej dopuszczalnej straty,
- uwzględnienia stopnia zagrożenia,
- prawdopodobieństwa jego wystąpienia,
- zachowania rozsądnych relacji pomiędzy kosztami ryzyka i korzyściami.

Ryzyko występujące na rynku energii elektrycznej w Polsce może mieć charakter trwały, związany z rynkiem konkurencyjnym, i przejściowy (tymczasowy). Jednak wszyscy uczestnicy rynku energii elektrycznej w różnym stopniu narażeni są na:

- *ryzyko polityczne* powodowane niestabilnością sytuacji polityczno-gospodarczej,
- *ryzyko regulacyjne* zależne od organizacji i rozwoju organów regulacyjnych.

Proces integracji Polski z UE niesie konieczność uwzględnienia także oddziaływania ze strony organów Unii. Ich kompetencje wiążą się przede wszystkim z działaniami antymonopolowymi, promowaniem rozwoju rynku i konkurencji, rozwojem infrastruktury rynkowej i współpracy operatorów systemów przesyłowych, a także wymianą informacji.

Podstawowe ryzyko rynkowe

Wytwórcy energii elektrycznej i jej odbiorcy zawierając transakcje kupna- sprzedaży ciągle narażeni są na:

- ryzyko cenowe wynikające z niekorzystnej zmiany cen,
- ryzyko bazowe wynikające z różnicy pomiędzy ceną odniesienia przyjętą w kontrakcie i aktualną ceną energii w chwili jej dostawy,
- ryzyko kredytowe (wiarygodności) wynikające ze zdolności stron kontraktu dotrzymania zobowiązań kontraktowych.

Na rynku energii elektrycznej można mieć do czynienia z ryzykiem:

- zmian (fluktuacji) cen energii elektrycznej wpływających na rentowność,
- organicznym (systemowym) związanym z nie uzyskaniem należności w obrocie energią elektryczną,
- utraty płynności na rynku spowodowanej brakiem swobodnej możliwości obrotu kontraktami podstawowymi lub pochodnymi,
- kontraktowym wywołanym brakiem zdolności regulowania zobowiązań,
- prawnym przy braku możliwości realizacji zobowiązań kontraktowych z przyczyn prawnych,
- wynikającym z odpowiedzialności cywilnej w związku ze szkodami z tytułu prowadzonej przez przedsiębiorstwo działalności na rynku.

Główne działania w kierunku kontroli i ograniczania ryzyka wszystkich uczestników obrotu na rynku energii elektrycznej polegają przede wszystkim na wdrażaniu:

- standardów i procedur odnoszących się do urządzeń elektroenergetycznych,
- zasad kontroli dostaw energii,

- zasad współpracy z siecią elektroenergetyczną,
- zasad kontroli kwalifikacji personelu,
- procedur postępowania w przypadkach awarii i zagrożeń,
- systemów i procedur planistycznych podnoszących niezawodność i bezpieczeństwo pracy systemu elektroenergetycznego.

Zarządzanie ryzykiem wytwórców

Do głównych rodzajów szczególnego ryzyka występujących z tytułu prowadzenia działalności wytwórczej należy ryzyko zmian:

- ilości produkowanej energii elektrycznej,
- cen energii elektrycznej w obrocie hurtowym i na rynku bilansującym,
- cen paliw wykorzystywanych do produkcji energii elektrycznej.

Działania ukierunkowane na kontrolę ryzyka wytwórców uczestniczących w obrocie energią elektryczną na rynku polegają między innymi na:

- dywersyfikacji źródeł energii elektrycznej,
- dywersyfikacji paliw do produkcji energii elektrycznej i źródeł oraz kierunków zaopatrzenia w paliwa, a także wykorzystanie strategii hedgingowych,
- planach postępowania w stanach awaryjnych i katastrofalnych,
- utrzymywaniu ekonomicznie uzasadnionych rezerw zdolności wytwórczych.

Zarządzanie ryzykiem przedsiębiorstw obrotu

Przedsiębiorstwa energetyczne zaangażowane w obrót energią elektryczną powinny uwzględniać przede wszystkim ryzyko:

- fluktuacji cen energii na rynku hurtowym,
- fluktuacji wolumenu sprzedaży, które związane jest z możliwością wyboru w ramach konkurencji krajowej i zagranicznej dostawcy przez coraz bardziej rosnącą grupę odbiorców,
- regulacyjne związane z ustalaniem cen regulowanych w obrocie detalicznym,
- organiczne (systemowe) o charakterze przejściowym.

Zarządzanie ryzykiem w obrocie energią elektryczną obejmuje przede wszystkim:

- przenoszenie ryzyka utraty płynności poprzez wykorzystanie usług podmiotów wspomagających transakcje rynkowe (*market makers*),
- przenoszenie ryzyka organicznego (systemowego) i kontraktowego dzięki wykorzystaniu izby rozrachunkowej (*clearing house*),
- ograniczanie ryzyka prawnego poprzez standaryzację kontraktów i wiarygodność podmiotów biorących udział w obrocie.

5.5. Możliwe zachowania odbiorcy na rynku energii

Restrukturyzacja polskiej elektroenergetyki została przesądzona ustawą sejmową z lutego 1990 r. o likwidacji Wspólnoty Energetyki i Węgla Brunatnego (także Wspólnoty Węgla Kamiennego) do końca września 1990 r. Mocą tej ustawy Minister Przemysłu

słu został zobowiązany do działań gwarantujących wzrost efektywności ekonomicznej elektroenergetyki i niedopuszczenia do obniżenia bezpieczeństwa energetycznego państwa. Dla skoordynowania tych działań z zapoczątkowaną na przełomie lat 1989/1990 transformacją ustrojową państwa i długofalowymi celami, podjęte zostały prace nad koncepcją restrukturyzacji elektroenergetyki. Kształt koncepcji, uwzględniający konieczność rozpatrywania w przypadku elektroenergetyki perspektywy przynajmniej 20-letniej oraz zaawansowanie restrukturyzacji i dalsze działania, przedstawiają raporty [96, 122, 159], które obejmują szczegółowe rozwiązania w zakresie: prawa, systemu regulacji, stosunków własnościowych, organizacji, a także rynku energii elektrycznej (w tym cenotwórstwa i planowania oraz finansowania rozwoju systemu elektroenergetycznego).

Główne cele restrukturyzacji polskiej elektroenergetyki to:

- tania energia dla gospodarki i ludności, bez jawnych i ukrytych form subsydiowania,
- utrzymanie na racjonalnym poziomie bezpieczeństwa energetycznego państwa,
- poprawa ochrony środowiska naturalnego, przy uwzględnieniu wymogów procesu integracji Polski z Europą Zachodnią.

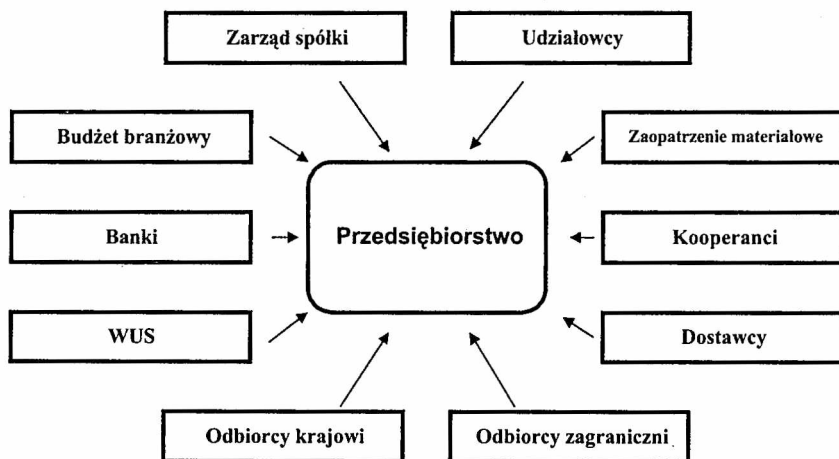
W latach 90. w Prawie Energetycznym zawarte zostały ważne zapisy o konkurencji i wolnym handlu. Regulacje prawne dotyczące uwolnienia energii i stworzenie rynku oraz ich realizacja z pewnością nie są proste. Wyłania się wiele problemów. Co trzeba zrobić, aby dopuścić do handlu energią podmioty, które nie zajmują się ani produkcją, ani przesyłem energii? Jak zapewnić, by dotychczasowe podmioty – 33 zakłady energetyczne, 19 elektrowni systemowych i wiele innych, nie zginęły na konkurencyjnym rynku? Co wreszcie zrobić, by koszty transformacji „olbrzyma” nie spadły na małych odbiorców?

Podpatrywanie zachodnich rozwiązań spowodowało powstanie giełdy energii oraz rynku bilansującego. Energię elektryczną można więc zakupić bezpośrednio od kontrahenta (kontrakty dwustronne), na giełdzie lub uzupełnić jej braki (lub pozbyć się nadmiaru) nawet niemal w ostatniej chwili na rynku bilansującym. Jest to tylko możliwe, gdy w tle działa system informatyczny (rozdz. 5.7), który umożliwia pełną, bieżącą i natychmiastową informację o wszelkich kontraktach i ilości dostępnej energii.

Dzięki uruchomieniu giełdy energii oraz dokonywaniu transakcji z wykorzystaniem instytucji finansowych, rozliczenia przeprowadza się w cyklach dobowo-godzinowych. Zakłady energetyczne oraz elektrownie konsolidują się, pojawiają się spółki obrotu energią. **Wielcy odbiorcy** mają możliwość uczestniczenia w rynku bilansującym. Potrzebna do tego jest pełna wymiana informacji (rys. 5.12).

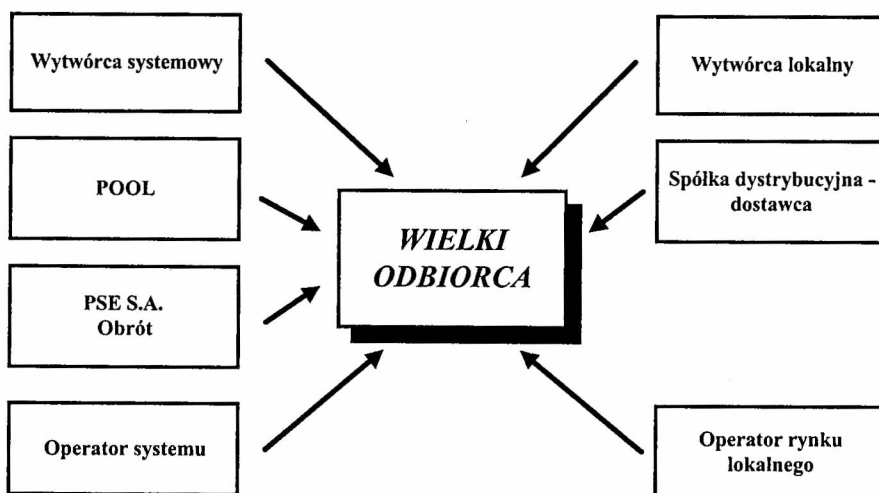
Dotychczasowy rozwój informatyzacji zakładów [11, 44, 61, 88, 110, 123, 147] był ukierunkowany na wycinkowe systemy informatyczne, przeznaczone głównie dla potrzeb wspomagania zarządzania wybranymi dziedzinami działalności, na przykład w zarządzaniu zakładami energetycznymi zastosowanie informatyki dotyczyło sprzedaży energii elektrycznej, gospodarki materiałowej i środków trwałych oraz płac i funkcji ewidencyjno-rozliczeniowych.

Występowały duże dysproporcje zastosowania informatyki w poszczególnych pionach organizacyjnych. Większość zastosowań związana była z pionem ekonomiczno-handlo-



Rys. 5.12. Wymiana informacji między przedsiębiorstwem a otoczeniem
Fig. 5.12. Exchange of information between enterprise and environment

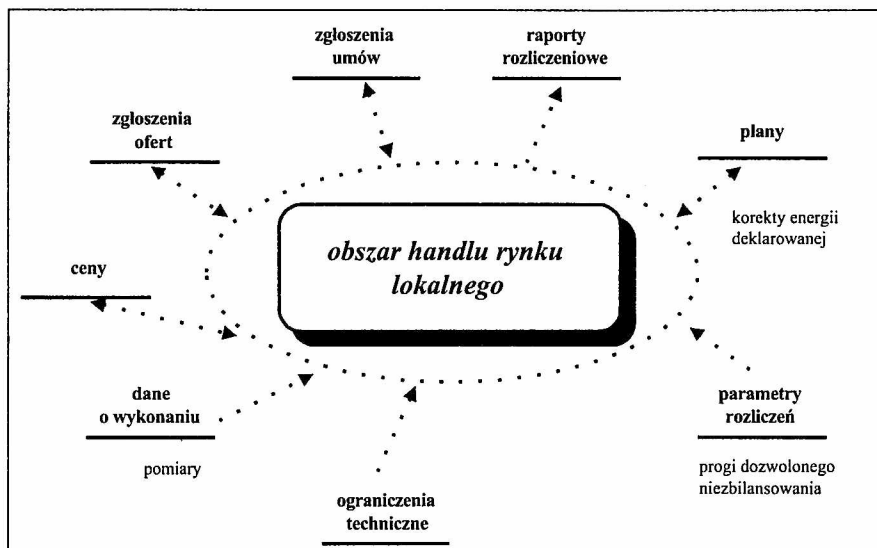
wym. Pion techniczny zakładu, który dysponuje większością majątku trwałego i środków obrotowych nie był bezpośrednio obsługiwany przez istniejące systemy. Obecnie zastosowanie komputerów w dużych obiektach przemysłowych jest znacznie szersze i obejmuje prawie wszystkie dziedziny. Możliwa jest też wymiana informacji między zakładami znacznie odległymi od siebie za pomocą zastosowania sieci komputerowych, wykluczających błędy związane z transmisją danych [18, 103, 120]. Odbiorcy przemysłowi mogą ak-



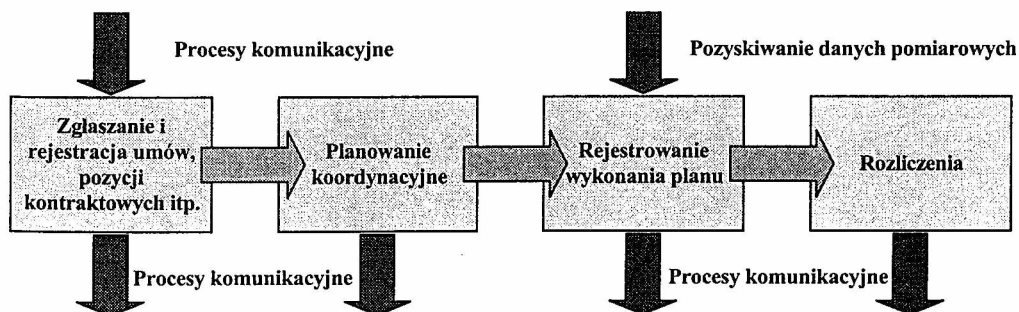
Rys. 5.13. Możliwość zakupu energii przez wielkich odbiorców przemysłowych
Fig. 5.13. Possibility of energy purchase by large industrial consumers

tywnie uczestniczyć w rynkowym obrocie energią elektryczną, korzystając z różnych form zakupu (rys. 5.13).

Zmiany te powodują, że lawinowo przyrasta liczba danych do przetworzenia czy wykorzystywania. Pomocne są tu bazy danych Oracle oraz stworzone na przykład przez WINUEL od podstaw aplikacje: system wspomagający funkcje operatora systemu przesyłowego oraz systemy wymiany danych handlowych (WIRE) i technicznych (SOWE). Przykład przepływu informacji wymienianych na rynku lokalnym z punktu widzenia spółki dystrybucyjnej i na wszystkich poziomach rynku energii przedstawiono na rys. 5.14 i 5.15.



Rys. 5.14. Dane wymieniane na rynku lokalnym z punktu widzenia spółki dystrybucyjnej
Fig. 5.14. Data exchanged on local market from the viewpoint of distribution company

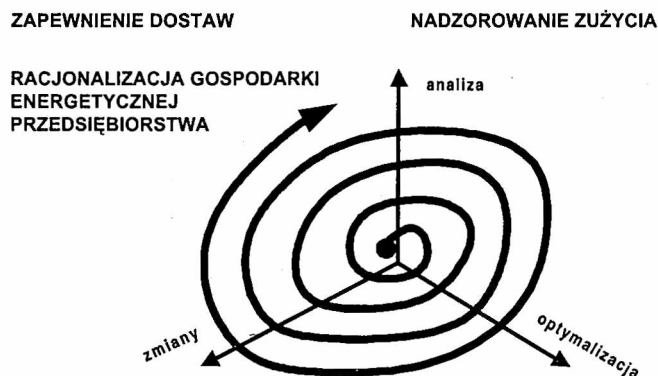


Rys. 5.15. Schemat procesów zachodzących na wszystkich poziomach rynku energii: systemowym, lokalnym i pojedynczego przedsiębiorstwa

Fig. 5.15. Pattern of processes taking place on all levels of energy market, i.e. systematic, local and single enterprise ones

5.6. Zarządzanie gospodarką energetyczną

Przez pojęcie gospodarki nośnikami energetycznymi przedsiębiorstwa rozumiany jest zwykle zespół działań zapewniających zasilenie jego procesów technologicznych nośnikami energetycznymi (energia, gaz, ciepło itd.) [49]. Tradycyjnie działania te związane były z jednej strony z zapewnianiem dostaw poszczególnych nośników (zawieranie umów o dostawę, kontrola dostaw, rozliczenia), z drugiej zaś z nadzorowaniem ich zużycia wewnątrz zakładu, uzależnionym od zakresu opomiarowania poboru nośników przez zlokalizowane w nim urządzenia lub jednostki organizacyjne (rys. 5.16).



Rys. 5.16. Proces gospodarowania nośnikami energetycznymi przedsiębiorstwa

Fig. 5.16. Management of power sources in enterprise

W warunkach coraz silniejszej konkurencji, istotnym i zyskującym stale na znaczeniu elementem gospodarki energetycznej staje się dążenie przedsiębiorstw do racjonalizacji procesu gospodarowania nośnikami energetycznymi (rozdz. 2.5), mające na celu obniżenie udziału kosztów nośników w całkowitych kosztach działalności przedsiębiorstwa. Źródeł potencjalnych oszczędności poszukuje się przy tym zarówno w sferze zakupu (odpowiadając na pytanie jak taniej kupić pożądaną ilość nośnika), jak i zużycia, na przykład przez instalację energooszczędnych urządzeń.

Racjonalizacja gospodarowania nośnikami energetycznymi jest procesem ciągłym, w którym nabywane stopniowo wiedza i doświadczenie stają się inspiracją do formułowania nowych rozwiązań. W procesie tym na podstawie analizy:

- kosztów zakupu nośników energetycznych,
- struktury ich zużycia,
- roli nośników energetycznych w procesie technologicznym oraz
- istniejących uwarunkowań organizacyjno-prawnych

podejmowane są próby optymalizacji działań gospodarowania nośnikami energetycznymi, w ramach których ustalane są parametry tych działań minimalizujące koszty zu-

życia nośników przez zakład. Wynikiem tych prób są zmiany w gospodarce nośnikami energetycznymi, których zakres uwarunkowany jest obowiązującymi uregulowaniami prawnymi, organizacyjnymi oraz dostępnymi środkami technicznymi. Analiza efektów zmian daje podstawę do poszukiwania dalszych możliwości redukcji kosztów, korekty parametrów uznanych wcześniej za optymalne i wdrożenia kolejnych zmian. Proces powtarza się cyklicznie, w kolejnych krokach wzrasta świadomość jego uczestników, którzy odczuwają też rosnące zapotrzebowanie na coraz lepsze środki wspomagające (na przykład sprzęt, oprogramowanie, szkolenia i konsultacje). Typowa kolejność działań racjonalizujących gospodarowanie nośnikami energetycznymi przebiega etapowo.

Optymalizacja zasad rozliczeń – oparta jest na analizie aktualnych i historycznych danych rozliczeniowych (ilościowych i wartościowych) oraz analizie obowiązujących regulacji prawnych. Polega na ustaleniu najkorzystniejszych, spośród prawnie dopuszczalnych, zasad rozliczeń za dostawę nośnika przy znanej strukturze jego zużycia. Zasady te dotyczą zarówno zakupu nośników energetycznych na potrzeby przedsiębiorstwa, jak i sprzedaży odbiorcom wewnętrznym lub wydzielonym podmiotom gospodarczym.

Potencjalnymi efektami są:

- zmiana dostawcy (na podstawie analizy cen oferowanych przez wytwórców oraz podmioty pośredniczące w dostawie nośników energetycznych),
- bezpośrednie kontrakty długo- i średnioterminowe z lokalnymi wytwórcami,
- aktywny udział w giełdzie energii,
- zmiana taryfy na korzystniejszą z punktu widzenia istniejącej struktury poboru nośnika,
- kontrola realizacji umów w zakresie zarówno dostaw, jak i sprzedaży nośników energetycznych,
- podpisanie umowy specjalnej uwzględniającej rozliczenia sumaryczne i w wybranych dniach i strefach czasowych,
- weryfikacja zasad rozliczeń z odbiorcami w przypadku sprzedaży nośników energetycznych.

Optymalizacja poziomu zamówienia nośnika – bazuje na analizie składników rozliczeń oraz danych o przeszłym i prognozowanym zapotrzebowaniu na nośnik energetyczny w przedsiębiorstwie. Polega na wyznaczeniu takiego poziomu zamówienia nośnika, który uwzględniając prognozowane zapotrzebowanie i obowiązujące zasady rozliczeń minimalizowałby jednostkowy koszt zakupu nośnika od dostawcy. Pełny efekt racjonalizacji osiąga się poprzez zainstalowanie systemów do kontroli, monitorowania (rozdz. 5.7 i 5.8) i sterowania poborem nośników przez odbiorniki, dzięki którym możliwe jest utrzymywanie zużycia nośnika na zamówionym poziomie.

Optymalizacja zużycia nośników energetycznych – jest „najmłodszym” kierunkiem racjonalizacji gospodarki nośnikami energetycznymi. Kierunek ten jest atrakcyjny dla **dużych przedsiębiorstw**, które wykorzystały już możliwości redukcji kosztów nośników energetycznych poprzez zastosowanie rozwiązań technicznych oraz zmiany uregulowań formalno-prawnych. Opiera się na analizie:

- miesięcznych i dobowych rozkładów poboru nośników energetycznych przez jednostki technologiczne (urządzenia i ich ciągi), organizacyjne (zakłady, wydziały) oraz lokalizacyjne (budynki i budowle),
- planów rozwojowych przedsiębiorstwa w zakresie energochłonności procesów produkcyjnych i ich korelacji z umowami na dostawę nośników energetycznych,
- kosztów zakupu, sprzedaży i produkcji nośników energetycznych i ich udziału w kosztach działalności przedsiębiorstwa.

Polega na:

- minimalizacji zużycia nośników energetycznych poprzez zmiany w procesie technologicznym lub wymianę urządzeń na bardziej energooszczędne,
- minimalizacji kosztów zużycia nośników poprzez zmiany godzin pracy urządzeń (pozwalające na obniżenie poziomu zamówienia nośnika oraz obniżenie zużycia w strefach szczytowych),
- analizie długoterminowej kosztów nośników energetycznych w korelacji z planami produkcyjnymi bazując na danych historycznych oraz prognozowanych.

Mechanizmami stymulującymi jednostki organizacyjne i zatrudnionych w nich ludzi do zachowań uznanych za optymalne są taryfy wewnątrzzakładowe oraz idące w ślad za nimi rozwiązania organizacyjne, które określają zasady premiowania za oszczędności nośników energetycznych wyliczone na podstawie taryf wewnątrzzakładowych. Ich wprowadzenie wymaga opomiarowania obiektów objętych systemem taryf, co umożliwi rozliczanie i analizę kosztów zużycia nośników energetycznych. Na podstawie analiz zrealizowanych wdrożeń szacuje się, że wprowadzenie mechanizmu rozliczeń wewnątrzzakładowych pozwala na redukcję kosztów energii o kilkanaście procent.

Liberalizacja rynku energii elektrycznej, gazu i ciepła powoduje wzrost zainteresowania komputerowymi systemami wspomagającymi zarządzanie gospodarką energetyczną, szczególnie w dużych zakładach przemysłowych. Znajomość problemów gospodarki energią w dużych obiektach przemysłowych, a zwłaszcza prawidłowość wykorzystania maszyn i urządzeń oraz ochrona środowiska są podstawowymi czynnikami decydującymi o rozwoju społeczno-gospodarczym.

5.7. Komputerowe systemy wspomagające zarządzanie gospodarką energetyczną w dużych zakładach przemysłowych

Systemy zarządzania gospodarką energetyczną, w odróżnieniu od większości systemów komputerowych funkcjonujących w przedsiębiorstwach, poza warstwą informacyjną (sprzęt komputerowy oraz oprogramowanie) posiadają rozbudowaną warstwę techniczną dotyczącą:

- punktów pomiarowych,
- punktów koncentracji i rejestracji danych,
- instalacji transmisji danych.

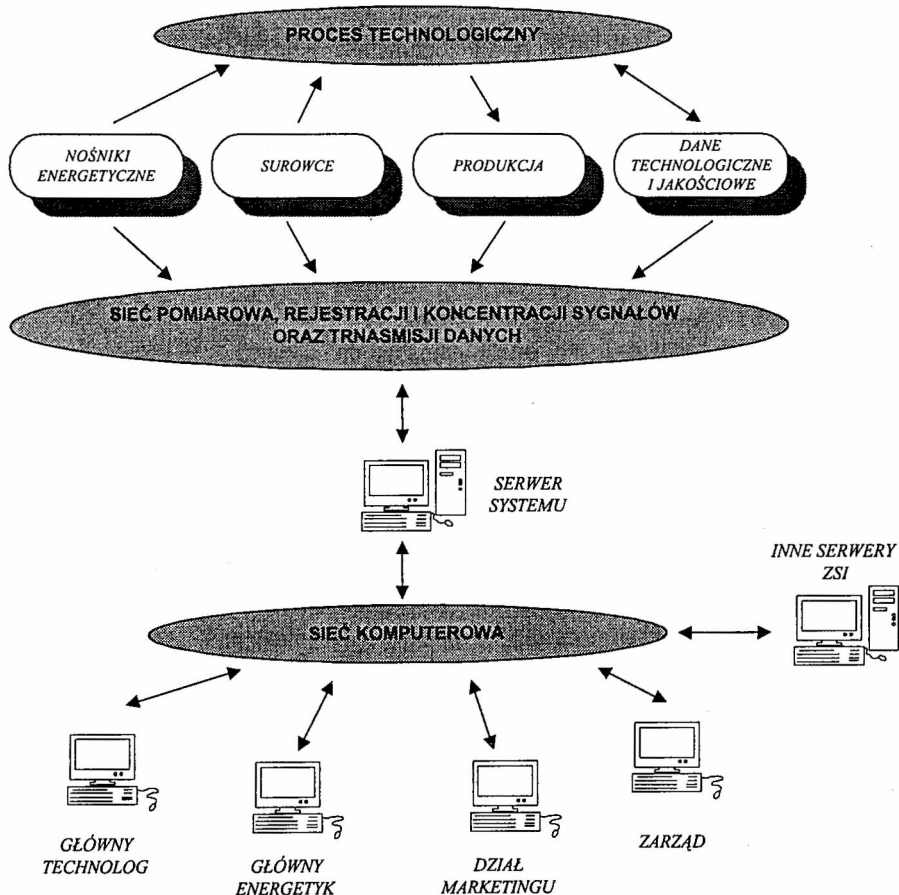
Schemat struktury komputerowego systemu wspomagającego zarządzanie gospodarką energetyczną w zakładzie przemysłowym przedstawiono na rys. 5.17.

Wdrażanie systemu komputerowego przebiega etapowo (rys. 5.18).

Etap *STRATEGIA* – ma za zadanie ustalenie stanu istniejącego w zakresie gospodarki nośnikami energetycznymi oraz określenie koncepcji działań racjonalizacyjnych.

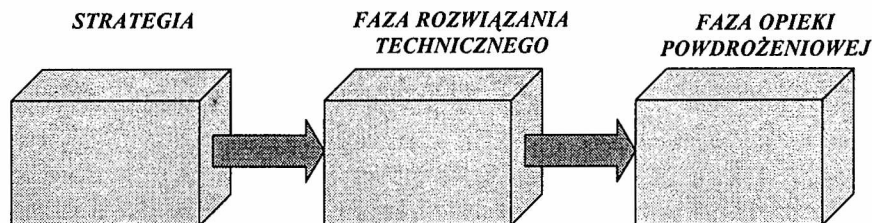
Etap *REALIZACJA ROZWIĄZANIA TECHNICZNEGO* – to dostarczenie użytkownikowi systemu złożonego z sieci pomiarowej, łączności komputerowej oraz oprogramowania skonfigurowanego według potrzeb.

Etap *OPIEKA POWDROŻENIOWA* – to utrzymanie sprawności infrastruktury dostarczonej w ramach rozwiązania technicznego (serwis) oraz świadczenie usług doradczych w zakresie analizy, optymalizacji i zmian gospodarowania nośnikami energetycznymi. Usługi te są oparte na współpracy z energetyką przemysłową.



Rys. 5.17. Schemat struktury systemu komputerowego

Fig. 5.17. Pattern of computer-system structure



Rys. 5.18. Etapy wdrażania systemu
Fig. 5.18. Stages of system implementation

Wyznaczenie parametrów określających najkorzystniejsze z punktu widzenia przedsiębiorstwa zasad zakupu i zużycia energii nie jest równoznaczne z osiągnięciem pożądaných efektów ekonomicznych.

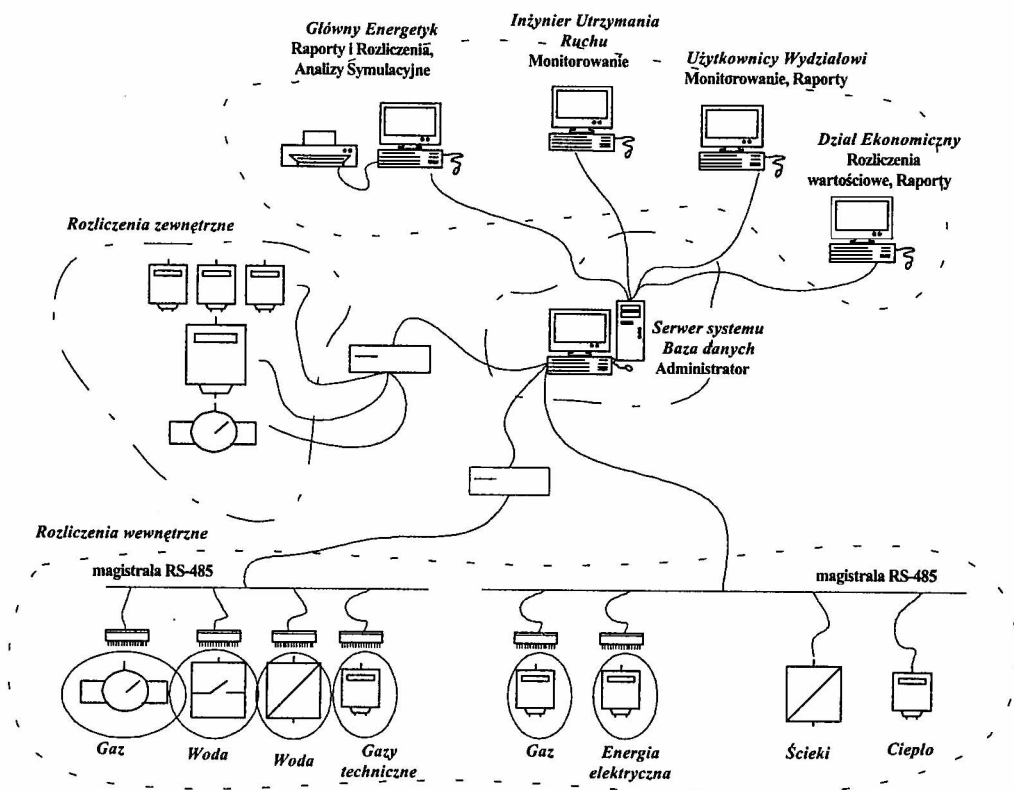
Struktury komputerowych systemów wspomagających zarządzanie gospodarką energetyczną w zakładach przemysłowych są bardzo różne [30, 42, 133, 134, 135]. Różnice wynikają z:

- różnorodności nośników energetycznych zużywanych w zakładzie,
- liczby punktów pomiarowych,
- struktury organizacyjnej przedsiębiorstwa,
- dostępnych sieci transmisyjnych,
- potrzeb służb energetycznych w zakresie monitorowania i rejestracji danych o zużyciu poszczególnych nośników energetycznych.

Najprostsza konstrukcja systemu występuje, gdy oprogramowaniu podlega tylko jeden z nośników energetycznych zużywanych w zakładzie. System zbudowany jest wtedy tylko z jednego rejestratora danych impulsowych. Takie struktury systemów stosowane są w zakładach przemysłowych o niewielkim zużyciu nośników energetycznych. Zwykle zużycie pozostałych jest w porównaniu do niego znikomo małe, więc potrzeby służb energetycznych w zakresie opomiarowania ograniczają się do precyzyjnego monitorowania właśnie tego nośnika. W większości rozwiązań, wdrażanie systemów wspomagających zarządzanie gospodarką energetyczną rozpoczynano od takich mało złożonych struktur, rozbudowując je w miarę wzrostu zadań systemu [97, 103].

W przypadku rozbudowanej struktury systemu, obejmującej wszystkie nośniki energetyczne zużywane w zakładzie przemysłowym, sieć punktów pomiarowych obejmuje cały zakład (rys. 5.19). System pracuje w oparciu o sieć kilkunastu rejestratorów wielojęściowych przekazujących dane pomiarowe do wydzielonego serwera danych pomiarowych. Transmisja danych z rejestratorów do serwera odbywa się poprzez zakładową sieć komputerową.

Dla przedsiębiorstw o strukturze rozproszonej na terenie miasta czy kraju, na przykład MPK, PKP, dane z poszczególnych oddziałów przekazywane są do centralnego serwera zlokalizowanego w jednym z oddziałów. Jako linie transmisji danych między po-



Rys. 5.19. Przykładowa konfiguracja systemu wspomagającego gospodarkę różnymi nośnikami energetycznymi

Fig. 5.19. Example of system configuration for different power sources' management

szczególnymi rejestratorami i serwerem wykorzystane zostały dzierżawione linie telekomunikacyjne zapewniające stałą łączność z serwerem. Stanowiska robocze także rozproszone są na terenie miasta. Dane z podstacji trakcyjnych lub zajezdni z całego miasta przekazywane są do centralnego serwera, a następnie do dyrekcji i odpowiednich służb. Takie struktury obejmować mogą nie tylko teren miast, ale także województwa czy kraju, a za pośrednictwem Internetu nawet całego świata.

Możliwości zastosowania komputerowych systemów

Systemy wspomagające zarządzanie gospodarką energetyczną w różnych obiektach to między innymi:

- System Zarządzania Środowiskiem Energetycznym *SAPEN*,
- System Kontroli i Rozliczeń Mediów Energetycznych *SKOME*,
- Elastyczny System Pomiaru i Monitorowania *ETNA*,
- System Wspomagania Zarządzania Dystrybucją Nośnikami Energii *eSPiM 3.0*,

- System Rynku Obrotu Energią *PLANKTON/UR*,
- System Obsługi Elektrowni *KRAKATAU*.

System ETNA – zapewnia nowoczesne zarządzanie kosztami nośników energetycznych. Wspomaga dokonywanie pomiarów, rozliczeń, analiz, optymalizacji i zmian gospodarki energetycznej za pomocą zintegrowanych ze sobą rozwiązań technicznych i informatycznych. Stworzony został z myślą o odbiorcach energii elektrycznej, ciepła i innych nośników energetycznych biorących udział w procesie wytwórczym i mających decydujący wpływ na koszt końcowego produktu. System *ETNA* to powiązane ze sobą dwie infrastruktury: techniczna i informatyczna, odzwierciedlające rzeczywisty układ pomiarowy nośników energetycznych i związanych z nimi handlowych korelacji. Aplikacja dostarczana jest w wersjach dostosowanych do złożoności systemów pomiarowo-rozliczeniowych będących pochodną wielkości przedsiębiorstw. Wdrożenie systemu *ETNA* w przedsiębiorstwie jest ściśle powiązane z cyklem działań racjonalizujących gospodarowanie nośnikami energetycznymi. Nowatorstwo *ETNY* przejawia się w tym, że oprócz systemu wspomagającego rozliczenia i monitorowanie zużycia nośnika energetycznego, obejmuje również specjalistyczne usługi doradcze w zakresie racjonalizacji gospodarki energetycznej. Doradztwo to oferowane jest na etapie *STRATEGII*, gdzie jego wynikiem jest koncepcja rozwiązania technicznego oraz działań racjonalizujących gospodarkę nośnikami energetycznymi. Również na etapie *OPIEKI POWDROŻENIOWEJ* (w oparciu o możliwości stworzone przez rozwiązanie techniczne) optymalizowane są zasady rozliczeń, poziom zamówienia ilości nośników energetycznych oraz struktura ich zużycia.

System eSPiM 3.0 – wspomaga zarządzanie dystrybucją energii elektrycznej. Jest to najnowocześniejszy system klasy *EMS (Energy Management Systems)* oferowany polskiemu sektorowi energetycznemu. Został stworzony z myślą o zapewnieniu działania w nowych warunkach rynku energii elektrycznej. Oznacza to, że system stymuluje jego rozwój i umożliwia korzystanie z nowych form obrotu energią. System przeznaczony jest dla przedsiębiorstw sieciowych zajmujących się dystrybucją i przesyłem energii elektrycznej, jak również dla wytwórców i odbiorców. System *eSPiM 3.0* to zintegrowane środowisko aplikacji wspomagających procesy zakupu i przesyłu energii elektrycznej, wzbogacone o zintegrowane narzędzia i systemy analiz symulacyjnych, prognostycznych i planistycznych. Dzięki odpowiedniej architekturze możliwy jest: pomiar wszystkich wielkości związanych z przepływem energii elektrycznej, kompletna rejestracja źródłowych danych pomiarowych, monitoring parametrów przepływu energii, realizacja złożonych funkcji rozliczeniowych, symulacyjnych, statystycznych i prognostycznych, udostępnianie danych w postaci raportów, tabel, wykresów oraz wielowymiarowych analiz symulacyjnych, wymiana danych z innymi systemami z zachowaniem typowych standardów komunikacyjnych.

System PLANKTON/UR – jest systemem informatycznym przeznaczonym dla uczestników Rynku Energii Elektrycznej. Wspomaga podejmowanie decyzji w zakresie obrotu energią na rynku dobowo-godzinowym zgodnie z obowiązującymi zasadami. Stanowi

narzędzie umożliwiające współużytkowanie jednego środowiska w dwóch wymiarach: technicznym i handlowym. Termin „koordynacyjność planowania” oznacza, że planowanie techniczne związane z ograniczeniami technicznymi obiektów energetycznych (remonty, ograniczenia dyspozycyjności jednostek wytwórczych, planowanie wyłączeń itp.) oraz planowanie handlowe (zawieranie kontraktów, zapewnienie pokrycia zapotrzebowania poprzez kontrakty) w przededniu doby handlowej muszą być spójne ze sobą.

Założeniem systemu *PLANKTON / UR* jest:

- koordynacja planowania technicznego i handlowego,
- agregacja danych z różnych systemów dzięki ich ścisłej współpracy,
- koordynacja działań różnych służb przedsiębiorstwa i jego kontrahentów.

System *PLANKTON/UR* wspomaga proces planistyczny związany z uczestniczeniem w Rynku Energii. Elementami procesu planistycznego są funkcje prognozowania zapotrzebowania na energię elektryczną oraz funkcje planowania koordynacyjnego. System ten umożliwia też śledzenie wpływu poszczególnych decyzji planistycznych na bilans (aspekt techniczny) i wykonanie planów realizacji kontraktów (aspekt handlowy).

System KRAKATAU – jest unikatowym rozwiązaniem pozwalającym na pełną obsługę elektrowni w zakresie danych związanych z usługami systemowymi i regulacyjnymi. Konstrukcja systemu pozwala na stałe monitorowanie parametrów zarówno bieżących, jak i zarchiwizowanych. Do zadań systemu należy wspomaganie służb ruchowych i rozliczeniowych w zakresie prawidłowej realizacji kontraktów zawartych z odbiorcami energii, a także ewidencjonowanie i obsługa następujących grup informacji o pracy elektrowni:

- parametry związane z wykonaniem mocy dyspozycyjnej: strefy szczytowe, moc dyspozycyjna strefowa, korekta mocy dyspozycyjnej, obciążenie bloków, rezerwa mocy, ubytki mocy, miesięczna oraz dobową moc dyspozycyjną,
- parametry związane z usługami systemowymi: ocena ARCM (między innymi parametry mocowe regulacji, charakterystyki regulacyjne bloków, czasy pracy w poszczególnych stanach, chwilowa jakość regulacji),
- w zakresie wspomagania służb ruchowych system pozwala na dyspozytorską kontrolę dyscypliny regulacyjnej, bieżącą ewidencję, wizualizację parametrów związanych z mocą dyspozycyjną sumarycznie i w rozbiciu na bloki.

Wdrożenie systemu jest przeprowadzane według sprawdzonej procedury. Pierwszym etapem jest dokładna analiza potrzeb elektrowni. W kolejnych etapach przygotowywane są szczegółowe projekty sprzętu, oprogramowania akwizycji i transmisji danych, a następnie instalacja i uruchomienie serwerów.

Przykładem technicznego rozwiązania zastosowania systemów komputerowych w poszczególnych kopalniach i hutach może być Kombinat Górniczo-Hutniczy KGHM Polska Miedź S. A. w Lubinie. Obecnie w siedmiu Oddziałach:

- Zakłady Górnicze Polkowice-Sieroszowice,
- Zakłady Górnicze Rudna,
- Zakłady Górnicze Lubin,

- Huta Miedzi Głogów,
- Huta Miedzi Cedynia,
- Huta Miedzi Legnica,
- Zakład Hydrotechniczny

wprowadzane i zastosowane są trzy systemy pomiarowe: *ETNA*, *eSPiM 3.0* i *PLANKTON/UR*. Zadaniem Centralnego Systemu Bilansowania i Rozliczania Energii Elektrycznej jest wspomaganie kierownictwa i służb energetycznych w zakresie kontroli i zarządzania zakupem i zużyciem energii elektrycznej we wszystkich Oddziałach KGHM. Jest to realizowane poprzez integrację lokalnych układów pomiarowo-rozliczeniowych poszczególnych Oddziałów w systemie centralnym i uzyskanie pełnej, bieżącej informacji o strukturze poboru mocy i energii. Pozwala to na sprawne zarządzanie zakupem energii elektrycznej i szybkie podejmowanie decyzji w kierunku minimalizacji kosztów, poprzez umiejętne planowanie i prognozowanie zapotrzebowania na moc i energię elektryczną.

5.8. Monitorowanie zużycia energii w zakładzie przemysłowym

Monitorowanie umożliwia bieżącą kontrolę poboru nośników energetycznych przez odbiorców oraz sygnalizuje ryzyko przekroczenia wartości progowych. Do podstawowych funkcji monitorowania należą:

- wizualizacja aktualnych wartości,
- prognozowanie,
- sygnalizacja i rejestrowanie przekroczeń,
- diagnozowanie stanu urządzeń pomiarowych,
- tworzenie raportów.

Skutecznym środkiem jest zastosowanie systemu informatycznego zarządzającego, a także monitorującego zużycie energii [133, 139]. Każdy większy zakład produkcyjny może stosować własną metodę monitorowania zużycia energii i większość z tych problemów próbuje się rozwiązać za pomocą komputerów. Zastosowanie urządzeń mikroprocesorowych jest bardzo popularne. Dzięki ich wykorzystaniu możliwa jest wymiana informacji nie tylko wewnątrz przedsiębiorstw, ale i poza ich obszarem.

Dane pomiarowe gromadzone w komputerowych systemach wspomagających zarządzanie gospodarką energetyczną mogą być wykorzystywane w procesie monitorowania, który służy wizualizacji i kontroli wartości mierzonych w wybranych punktach pomiarowych. W procesie monitorowania wykorzystywane są chwilowe dane pomiarowe pozyskiwane w procesie akwizycji ciągłej.

W systemach wspomagających zarządzanie gospodarką energetyczną w zakładzie przemysłowym monitorowanie realizowane jest zwykle dwoma sposobami:

- *pierwszy sposób* polega na tworzeniu map synoptycznych obrazujących sieć dystrybucji nośników energetycznych w zakładzie przemysłowym. Jako mapy synoptycz-

ne wykorzystuje się zwykle zeskanowane schematy sieci elektroenergetycznej, wodociągowej itp., na których umieszcza się pola pomiarowe odzwierciedlające punkty pomiarowe na terenie zakładu dostępne poprzez zdalną akwizycję ciągłą. Okres „odświeżania” danych dla każdego pola pomiarowego zależy od konfiguracji systemu. Zwykle przyjmuje się, że jest to 30 sekund lub 1 minuta. Dodatkowo dla każdego pola pomiarowego można zdefiniować wartości progowe, których przekroczenie będzie sygnalizowane;

- *drugi sposób* związany jest z monitorowaniem szczególnie istotnych punktów pomiarowych, na przykład układów rozliczeniowych nośników energetycznych. Wynika to z konieczności kontroli podstawowych parametrów wpływających dynamicznie na rozliczenie, na przykład dla energii elektrycznej: moc umowna i $\tan \varphi$. Przekroczenie zadanych limitów dla tych parametrów powoduje zwiększenie opłat za nośnik energetyczny. Monitorowanie mocy umownej polega więc na odczytywaniu co 30 sekund lub 1 minutę bieżącej wartości poboru mocy i obliczaniu prognozowanej mocy 15-minutowej. W przypadku przewidywanego przekroczenia zadanego limitu system generuje sygnał alarmowy. Generowane przez moduły monitorowania sygnały alarmowe można wykorzystać do sterowania obciążeniem. Sprzężenie serwera systemu z odpowiednimi sterownikami może, w przypadku przekroczenia zadanych limitów, powodować czasowe wyłączenie określonej grupy urządzeń w celu zmniejszenia obciążenia i uchronić przed przekroczeniem limitów określonych przez dostawcę.

W procesie analizy danych korzysta się z zarchiwizowanych i odpowiednio zagregowanych danych pomiarowych zgromadzonych w bazie danych systemu (rozdz. 6.1). Analiza danych pomiarowych w komputerowych systemach wspomagających zarządzanie gospodarką energetyczną obejmuje przygotowywanie raportów, zestawień graficznych, bilansów zużycia energii, obliczeń i symulacji ekonomicznych.

Komputerowe systemy wspomagające zarządzanie gospodarką energetyczną umożliwiają opracowanie przekrojowych zestawień raportowych na zdefiniowanym poziomie agregowania i hierarchii. Liczba i forma dostępnych raportów zależy przede wszystkim od potrzeb służb energetycznych związanych ze sprawozdawczością. Systemy umożliwiają dostarczenie takich raportów, jak na przykład: średniogodzinowy pobór mocy czynnej w zadanym okresie, raport rozliczeniowy energii elektrycznej z uwzględnieniem stref dobowych i określonych limitów, raport z różnic układów kontrolno-pomiarowych, raport zmianowy itd.

W związku ze specyfiką zakładów przemysłowych, związaną z różnymi w formie i zawartości wymaganych raportów, systemy wspomagające zarządzanie gospodarką energetyczną wyposażone są w możliwość przygotowywania zestawień w oparciu o arkusze kalkulacyjne. Raporty takie można przekształcać w bardzo elastyczny sposób poprzez zmianę kolumn i wierszy. Możliwe jest wykonanie dowolnych modyfikacji przy wykorzystaniu funkcji dostępnych w arkuszach kalkulacyjnych.

Inną formą prezentacji i analizy danych zgromadzonych w bazie danych pomiarowych jest przygotowywanie zestawień graficznych. Systemy umożliwiają generowanie

wykresów liniowych, słupkowych, kołowych z konfigurowalnym okresem integracji i dla dowolnie zadanego okresu. Możliwe jest wyróżnienie na wykresach stref czasowych i zmian. Dodatkowo, po określeniu limitów, możliwe jest przygotowywanie zestawień graficznych dla zadanych wielkości z zaznaczeniem przekroczeń limitów. W zakładach o złożonej gospodarce energetycznej i rozbudowanej sieci pomiarowej bardzo ważne jest wykonanie zestawień bilansowych, które umożliwiają kontrolę zużycia nośników energetycznych w podziale na wydziały, etapy procesu technologicznego i na cały proces produkcyjny. Przygotowane zestawienia bilansowe dają pogląd o stratach pojawiających się w zakładzie, a także umożliwiają precyzyjną ocenę rozdziału kosztów użytkowania energii w odniesieniu do całego zakładu i jego fragmentów.

Jednym z systemów komputerowego zarządzania gospodarką energetyczną jest *System Gospodarki Energetycznej Przedsiębiorstwa (SGEP)*. Przeznaczony jest do wspomaganie analizy rozliczania, monitorowania, optymalizacji i zmian gospodarki energetycznej w zakładzie przemysłowym. Wdrażanie przebiega etapowo i jest skorelowane z działaniami racjonalizacyjnymi w gospodarce nośnikami energetycznymi.

System *SGEP* jest bardzo elastyczny, tzn. istnieje możliwość po pewnych konfiguracjach dopasowania go do różnych przedsiębiorstw, spełniając żądane wymagania.

Użytkownik określa w monitoringu:

- punkty pomiarowe wybrane według kryteriów: rodzaj nośnika energii, poziom napięcia, linia, transformator itp.,
- przedział czasu i poziom szczegółowości (15-minutowe, godzinne, dobowe, roczne itp.),
- kryteria podziału danych.

W każdym z wydziałów w badanym zakładzie (rys. 5.20) zainstalowane są następujące urządzenia:

Wydział I – tokarki, szlifierki, wiertarki, piece, urządzenia galwanizacyjne.

Wydział II – wtryskarki, małe obrabiarki (wiertarki i szlifierki małej mocy).

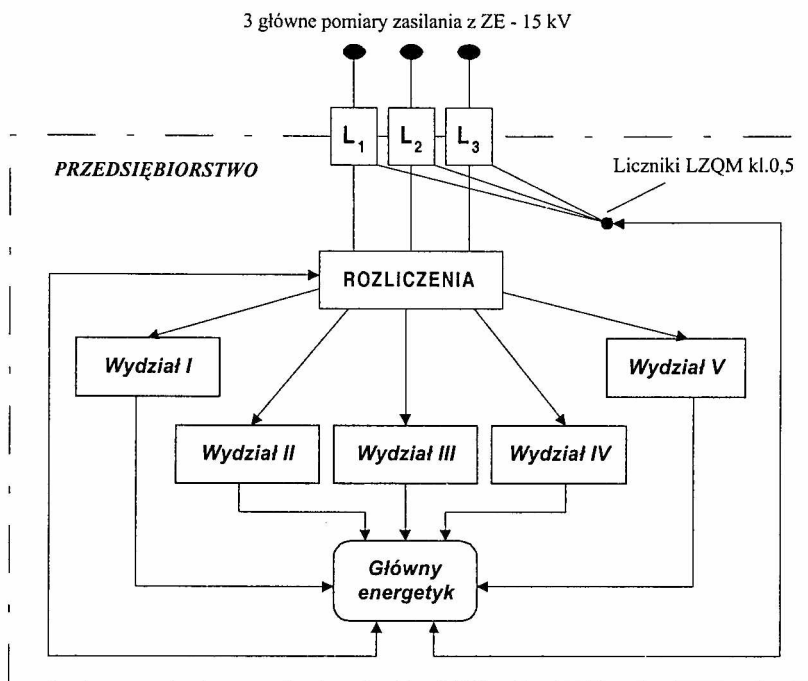
Wydział III – prasy, spawarki.

Wydział IV – klimatyzatory.

Wydział V – dział administracyjno-techniczny.

Dzięki wprowadzeniu systemu *SGEP* można kontrolować zużycie energii i decydować o ilości, którą należy zamówić w Zakładzie Energetycznym. Wyróżnienie pięciu głównych punktów pomiarowych pozwala kontrolować zużycie energii w poszczególnych jednostkach, wprowadzać niezbędne zmiany, a także kontrolować ograniczenia techniczno-organizacyjne.

Wydziały I–IV mają kilka punktów pomiarowych, ze względu na różnorodność urządzeń i na duże zużycie energii. Liczniki połączone są z rejestratorami, które za pomocą sieci transmisji komunikują się z głównym komputerem analizującym wszystkie pomiary. Każdy *wydział I–IV* ma jeden rejestrator i kilka liczników.



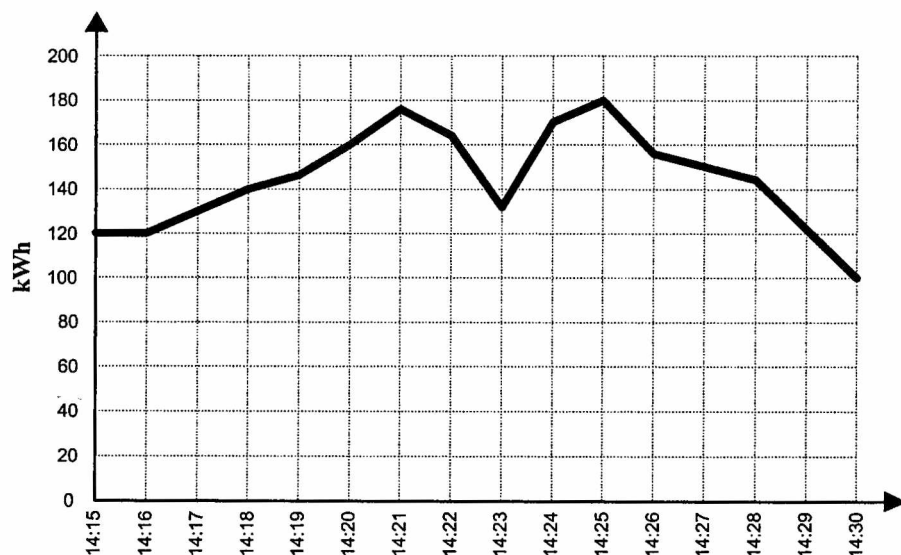
Rys. 5.20. Schemat organizacji zakładu

Fig. 5.20. Pattern of organisation of production plant

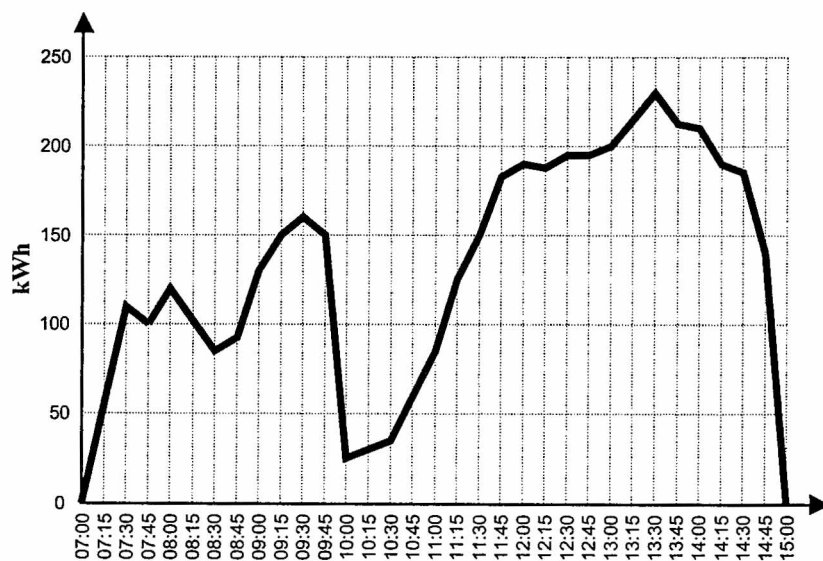
Monitorowanie mocy 1-minutowej z prognozowaniem mocy 15-minutowych we wszystkich punktach polega na możliwości sprawdzenia przez Głównego Energetyka co 15 minut zużycia energii i mocy elektrycznej pobieranej przez zakład.

Pomiary co 1 minutę są dokonywane przez liczniki, a następnie informacje z nich wysyła się do rejestratorów i stamtąd przez sieć transmisji do bazy danych, z której użytkownik może skorzystać na przykład w postaci wykresów 15-minutowych (rys. 5.21 i 5.22).

Synchronizacja odczytu czasu punktów pomiarowych pozwala na uzyskanie w jednej chwili wartości wszystkich punktów i wysłanie ich do bazy danych. Funkcja: „pamięć profilu obciążenia” ma na celu zapamiętanie wartości obciążenia dla okresu co najmniej 1 miesiąca, co w dużym stopniu ułatwia analizę zużycia energii i mocy zamówionej. Pozwala także oszacować bilans energetyczny na kolejne miesiące. Bardzo istotne jest też monitorowanie $\text{tg } \varphi$, ponieważ duża liczba silników i innych urządzeń wykorzystuje moc bierną. Zdalna transmisja danych, na przykład do Zakładu Energetycznego i Głównego Energetyka, to wykorzystanie modemów, które pozwalają w każ-



Rys. 5.21. Wykres 15-minutowy zużycia energii elektrycznej z pomiarami co 1 minutę
 Fig. 5.21. Diagram of 15-minute electric energy consumption with every minute measurements



Rys. 5.22. Wykres 15-minutowy zużycia energii elektrycznej w zakładzie w ciągu jednej zmiany
 Fig. 5.22. Diagram of 15-minute electric energy consumption in production plant in one shift

dej chwili na wgląd do systemu i skorzystanie z danych potrzebnych do analizy, bądź sprawdzenia prawidłowego gospodarowania energią.

Zastosowanie informatyki w zakładach przemysłowych pociąga za sobą bardzo często zmianę metod zarządzania i organizacji pracy zapewniając także określone korzyści. Oszczędności zależą od obszarów zastosowania informatyki, a także od tego jaka metoda przetwarzania danych stosowana była w zakładzie. System zarządzania gospodarką energetyczną w zakładach przemysłowych powinien zapewniać możliwość przystosowania do każdych warunków bez utraty jakości i bez wchodzenia w konflikt z innymi systemami działającymi w przedsiębiorstwie. W innych badanych obiektach monitorowano zużycie energii elektrycznej używając programu *XBS (Excel Building Supervisor* firmy Honeywell) oraz poboru gazu – *GASWIN* (firmy Tel-Ster) [142].

6. Wielowariantowa metoda badań zużycia energii w przemyśle

6.1. Założenia wstępne

Identyfikacja energetyczna procesów przemysłowych może mieć różny zakres i stopień szczegółowości w zależności od celu badania [135, 136, 140, 151].

Zbiór przedsiębiorstw przemysłowych w pewnym obszarze gospodarczym można przyporządkować odpowiednim gałęziom przemysłu. Zakłady przemysłowe, chociaż należą do tej samej gałęzi przemysłu, różnią się jednak wartościami takich cech, jak: struktura produkcji, rozmiar i jakość produkcji, jednorodność procesu technologicznego, zużywane przedmioty i środki pracy, automatyzacja procesu, zużycie nośników energii, ponoszone nakłady inwestycyjne, wielkość produkcji, liczba zatrudnionych, zmienność itp.

Założenia wielokryterialnej metody (rys. 6.1) są następujące:

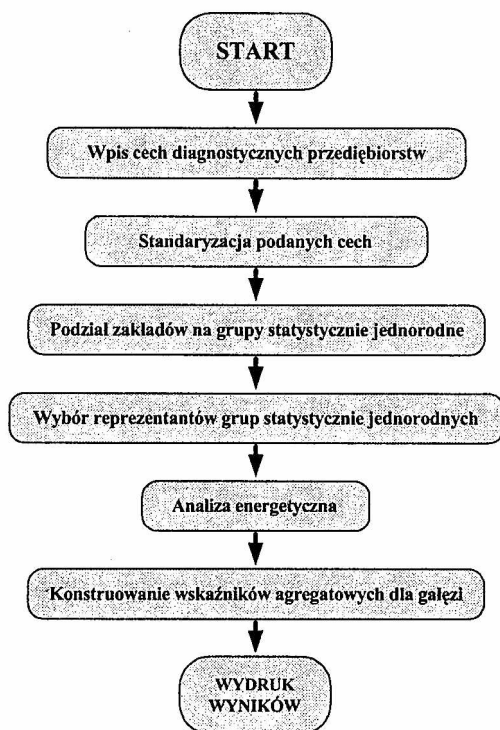
Jeśli Ω oznacza zbiór przedsiębiorstw przemysłowych w R -tym obszarze gospodarczym (region, makroregion, kraj), a $\Theta_1, \dots, \Theta_m$ zbiory przedsiębiorstw przynależnym m gałęziom przemysłu, gdzie

$$\Omega = \Theta_1 \cup \Theta_2 \cup \dots \cup \Theta_m \quad (6.1)$$

to w każdej gałęzi można znaleźć grupy zakładów podobnych, korzystając z metod stosowanych przy wydzieleniu grup cech podobnych.

Identyfikacja procesów użytkowania nośników energii w różnych zakładach z tej samej gałęzi przemysłu wymaga więc porównania ze sobą i sklasyfikowania obiektów wielocechowych, jakimi są zakłady przemysłowe. Jest to możliwe dzięki zastosowaniu metod taksonomicznych, będących dziedziną statystycznej analizy wielowymiarowej. Metody te pozwalają na dokonanie podziału wieloelementowego zbioru obiektów wielocechowych (zakładów przemysłowych z danej gałęzi) na grupy statystycznie jednorodne i wybór reprezentantów tych grup.

Jeśli $\Theta_l = \{\alpha_1^l, \alpha_2^l, \dots, \alpha_t^l\}$ oznacza t -elementowy zbiór zakładów w l -tej gałęzi przemysłu, charakteryzowany przez k cech diagnostycznych, to $\Theta_{l_1}, \Theta_{l_2}, \dots$ są podzbiorami zbioru Θ_l i oznaczają grupy przedsiębiorstw podobnych w l -tej gałęzi ($l = 1, 2, \dots, m$).



Rys. 6.1. Algorytm postępowania w metodzie wielowariantowej

Fig. 6.1. Algorithm of procedures in multivariant method

Każde więc przedsiębiorstwo można uważać za punkt przestrzeni k -wymiarowej, którego współrzędnymi są wartości ustalonego zespołu cech diagnostycznych.

Zbiór Θ_l przedsiębiorstw można określić macierzą obserwacji B

$$B = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1k} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{t1} & x_{t2} & \dots & x_{tk} \end{bmatrix} \quad (6.2)$$

gdzie: t – liczba przedsiębiorstw w l -tej gałęzi, ($i = 1, \dots, t$; $l = 1, \dots, m$),

k – liczba cech diagnostycznych, ($j = 1, \dots, k$),

x_{ij} – wartość j -tej cechy w i -tym przedsiębiorstwie.

Ujednolnienie zmiennych macierzy obserwacji B dokonać można na drodze ich standaryzacji, zaś znaczenie oraz rolę każdej ze zmiennych w prowadzonym badaniu określa wprowadzenie hierarchizacji na drodze przypisania odpowiednich współczynników wagowych λ_j .

Po dokonaniu standaryzacji zmiennych i uwzględnieniu wag przystępuje się do obliczenia elementów macierzy odległości C

$$C = \begin{bmatrix} 0 & c_{12} & \dots & c_{1t} \\ c_{21} & 0 & \dots & c_{2t} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{t1} & c_{t2} & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad (6.3)$$

przy czym: $c_{rs} = \rho(\alpha_r, \alpha_s)$ oznacza odległość elementu r od elementu s ,

$$c_{rs} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k |x''_{rj} - x''_{sj}| \quad \text{dla } r, s = 1, 2, \dots, t; j = 1, 2, \dots, k \quad (6.4)$$

gdzie: x''_{rj}, x''_{sj} – odpowiednio wartości liczbowe standaryzowanej cechy j w przedsiębiorstwach r i s z uwzględnieniem współczynników wagowych λ_j .

Elementy powyższej macierzy stanowią podstawę przy prowadzeniu badań za pomocą procedur taksonomicznych. Mają one następujące własności

$$c_{rr} = 0, \quad c_{rs} = c_{sr}, \quad c_{rs} \leq c_{rw} + c_{ws} \quad (6.5)$$

Wyznaczona w taki sposób macierz odległości może być bezpośrednio wykorzystywana przy wydzielaniu grup przedsiębiorstw podobnych $\Theta_{l_1}, \Theta_{l_2}, \dots$ w l -tej gałęzi lub też użyta do wyboru *reprezentantów* grup przedsiębiorstw podobnych.

Przy rozwiązywaniu zagadnienia wyboru *reprezentantów* grup stosować można dwie metody. W metodzie środka ciężkości postępuje się według sposobu podanego przy ustalaniu zespołu cech diagnostycznych. Prowadzi to do wybrania takiego przedsiębiorstwa, które ma przeciętne wartości cech z danej grupy przedsiębiorstw. Sposób wybierania *reprezentantów* zależy w tej metodzie od liczebności grup. Wyróżnia się grupy jedno- oraz wieloelementowe. Wydzielenie się grup jednoelementowych świadczy o tym, że przedsiębiorstwa te różnią się wyraźnie od pozostałych przedsiębiorstw i zalicza się je do zespołu przedsiębiorstw – *wzorców*.

W grupach o liczbie elementów większej od dwóch wyboru przedsiębiorstwa *wzorca* dokonuje się po obliczeniu sumy odległości każdego elementu od pozostałych elementów badanej grupy przedsiębiorstw podobnych

$$d_i = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^l \rho(\alpha_i, \alpha_j), \quad i, j = 1, 2, \dots, l \quad (6.6)$$

gdzie: α_i – element o numerze i ,

l – liczba zmiennych w grupie,

d_i – suma odległości i -tego elementu od pozostałych elementów l -tej grupy.

Do zespołu przedsiębiorstw *wzorców* zalicza się ten element grupy, którego suma odległości od pozostałych elementów jest najmniejsza

$$d_m = \min_i d_i \quad (6.7)$$

W grupie dwuelementowej oblicza się sumę odległości każdego elementu tej grupy od ustalonych poprzednio *wzorców* (tj. przedsiębiorstw grup jednoelementowych i przedsiębiorstw wybranych z grup o liczbie elementów większej od dwóch):

$$d_i = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^p \rho(\alpha_i, \alpha_j), \quad i = 1, 2, \dots, 2k, \quad j = 1, 2, \dots, p \quad (6.8)$$

gdzie: α_i – element o numerze i ,

$2k$ – liczba elementów w k grupach dwuelementowych,

p – liczba elementów odosobnionych i elementów wybranych z grup wieloelementowych.

Reprezentantem każdej z grup jest element, którego odległość od elementów odosobnionych i pochodzących z grup wieloelementowych (o liczbie elementów większej od dwóch) jest największa

$$d_m = \max_i d_i, \quad i = 1, 2. \quad (6.9)$$

Po wykonaniu wymienionych czynności otrzymuje się zespół elementów *wzorców*, reprezentujących każdą z wyróżnionych grup. Wybrane elementy znajdują się blisko środka ciężkości grupy i dlatego mają przeciętne wartości charakteryzujących je zmiennych.

W drugiej z proponowanych metod, prowadzących do ustalenia przedsiębiorstw *wzorców*, korzysta się z miernika syntetycznego, charakteryzującego badane przedsiębiorstwa. Miernik ten stanowi wypadkową cech zespołu diagnostycznego, a tym samym pozwala uszeregować przedsiębiorstwa wewnątrz wydzielonych grup jednorodnych. Wśród cech zespołu diagnostycznego wyróżnia się stymulanty i destymulanty. Stymulantami lub destymulantami są więc te cechy, których duże lub małe wartości wpływają na wzrost lub odpowiednio na zmniejszenie rozwoju przedsiębiorstw. Rozróżnienie wśród zespołu cech diagnostycznych stymulant i destymulant służy do skonstruowania tzw. *wzorca rozwoju*.

Dla wybranych reprezentantów grup przedsiębiorstw jednorodnych przeprowadza się analizę energetyczną. Proces poznania rzeczywistości rozpatrywanego zjawiska polega na estymacji parametrów modelu i wreszcie na wnioskowaniu – w oparciu o dany model – o mechanizmie rozwoju danego zjawiska w czasie i z tego też względu problemy prawidłowej budowy modeli należą do podstawowych zagadnień teorii ekonometrii.

Dobór zmiennych, wybór postaci modelu ekonometrycznego i estymacja parametrów

Pierwszy etap badań sprowadza się do wyboru zmiennych, które powinny być uwzględnione w modelu ekonometrycznym, a więc zmiennych objaśnianych i zmiennych objaśniających. Po ustaleniu zmiennych wybiera się analityczną postać modelu, czego dokonuje się jedną z kilku metod (heurystyczną, badania przyrostów itp.).

Zastosowanie modeli ekonometrycznych w praktyce jest możliwe, gdy znamy oceny ich parametrów strukturalnych. Znane metody estymacji parametrów strukturalnych opierają się na tej samej zasadzie „dobrego dopasowania” albo zgodności modelu z danymi empirycznymi. Przy wyborze metod estymacji należy uwzględnić klasę rozpatrywanego modelu oraz właściwości rozkładu składników losowych modelu.

Weryfikacja modeli ekonometrycznych

Weryfikacja modeli ekonometrycznych polega na zbadaniu, czy model w poprawny sposób opisuje wybrany fragment rzeczywistości. W procesie weryfikacji wyróżnić można następujące etapy:

- badanie istotności parametrów strukturalnych,
- badanie istotności współczynnika korelacji,
- badanie dopuszczalności relacji modelu: współczynnika zbieżności φ^2 , współczynnika korelacji R , stopnia regresji u_w w %,
 - badanie składnika losowego: badanie stacjonarności, autokorelacji, symetrii i losowości (testy t -Studenta, Durbina–Watsona, von Neumanna, test zgodności Hellwiga i test serii).

Zgodnie z tzw. modelowaniem predyktywnym za ostateczne kryterium poprawności budowanego modelu przyjmuje się rząd dokładności z jaką model ten pozwala przewidywać kształtowanie się zmiennej Y . Kryterium to ma na względzie dokładność budowanych prognoz [23, 157]. Przy takim podejściu obserwuje się głównie wartość standardowego błędu oceny S i współczynnika zbieżności φ^2 . Tymi właśnie kryteriami kierowano się głównie dokonując wstępnej weryfikacji modeli.

Metoda konstruowania agregatowych zmiennych diagnostycznych

Do badania zmian przeciętnej energochłonności gałęzi wykorzystuje się tzw. współczynniki agregatowe. Dane są szeregi czasowe, na przykład produkcji globalnej $\{P_t\}_t$, liczby zatrudnionych $\{Z_t\}_t$, nakładów inwestycyjnych $\{I_t\}_t$, zużycia nośników energetycznych $\{A_t\}_t$ oraz szeregi wyliczonych wskaźników energochłonności $\{e_t\}_t$ dla każdego przedsiębiorstwa wzorca w badanej gałęzi.

Oznaczono:

- A_{it} – zużycie rzeczywiste nośników energetycznych i -tego przedsiębiorstwa w roku t ,
- P_{it} – produkcja globalna w i -tym przedsiębiorstwie w roku t ,
- Z_{it} – liczba zatrudnionych w i -tym przedsiębiorstwie w roku t ,
- I_{it} – nakłady inwestycyjne w i -tym przedsiębiorstwie w roku t ,
- e_{it} – rzeczywisty współczynnik energochłonności i -tego przedsiębiorstwa w roku t .

Ponadto wprowadzono pojęcie roku bazowego t_B , w którym dokonuje się wyboru reprezentantów gałęzi przemysłu.

W celu wyznaczenia hipotetycznego zużycia energii w badanej gałęzi należy najpierw określić udziały przedsiębiorstw wzorców w zużyciu nośników energii przez grupy przedsiębiorstw podobnych, które reprezentują.

Całkowite zużycie hipotetyczne nośników energetycznych w gałęzi przemysłu dla dowolnego roku oblicza się według wzoru:

$$A_{C_{ht}} = \sum_{f=1}^g A_{R_{ft}} \frac{1}{u_{fB}} \quad (6.10)$$

$$u_{fB} = \frac{A_{R_{fB}}}{A_{FB}} 100 \quad (6.11)$$

dla $f = 1, \dots, g$; $F = 1, \dots, G$;

gdzie: $A_{C_{ht}}$ – całkowite zużycie hipotetyczne nośników energetycznych w gałęzi przemysłu dla roku t ,

$A_{R_{ft}}$ – zużycie nośników energetycznych przez f -tego reprezentanta w roku t ,

A_{FB} – całkowite zużycie nośników energetycznych przez F -tą grupę przedsiębiorstw podobnych w roku wyjściowym t_B ,

u_{fB} – udział zużycia nośników energetycznych przez f -tego reprezentanta w całkowitym zużyciu energii przez F -tą grupę przedsiębiorstw podobnych w roku t_B (w %),

f – liczba reprezentantów w gałęzi przemysłu,

F – liczba grup przedsiębiorstw podobnych w gałęzi przemysłu.

Zużycie hipotetyczne reprezentuje wartość energii, która byłaby zużyta przez gałąź przemysłu w wybranych latach, gdyby udziały reprezentantów w zużyciu energii przez grupy przedsiębiorstw podobnych pozostały na poziomie wyjściowym t_B .

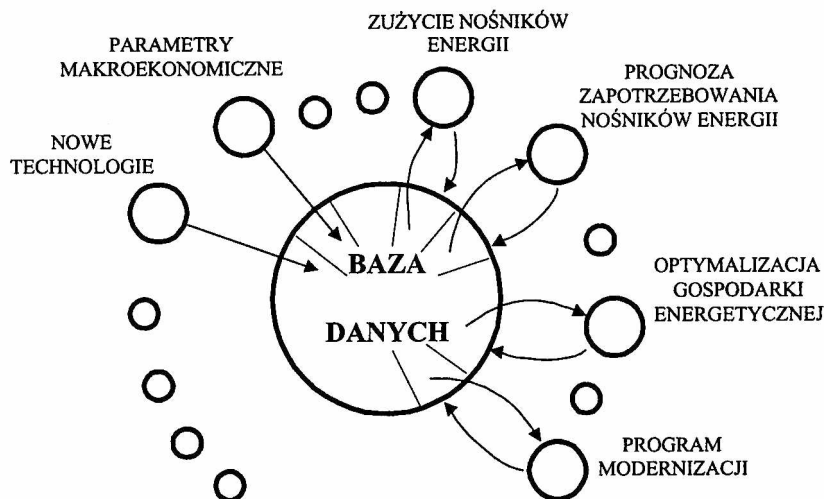
Podobny sposób postępowania i odpowiednie wzory można stosować w przypadku pozostałych zmiennych diagnostycznych, na przykład P , Z , I .

Hipotetyczne wartości współczynników energochłonności dla badanych gałęzi wyznacza się jako średnie ważone wskaźników energochłonności reprezentantów grup przedsiębiorstw podobnych.

Po zastosowaniu odpowiednich procedur wydziela się w badanej gałęzi reprezentantów, dla których przeprowadza się analizę statystyczną energochłonności, polegającą na wyborze analitycznej postaci modelu, estymacji parametrów i weryfikacji modeli ekonometrycznych.

Za miarę energochłonności produkcji przyjmuje się wskaźnik energochłonności a_e wyrażający ilość energii A w TJ zużytej do produkcji P w zł

$$a_e = \frac{A}{P} \quad (6.12)$$



Rys. 6.2. Baza danych

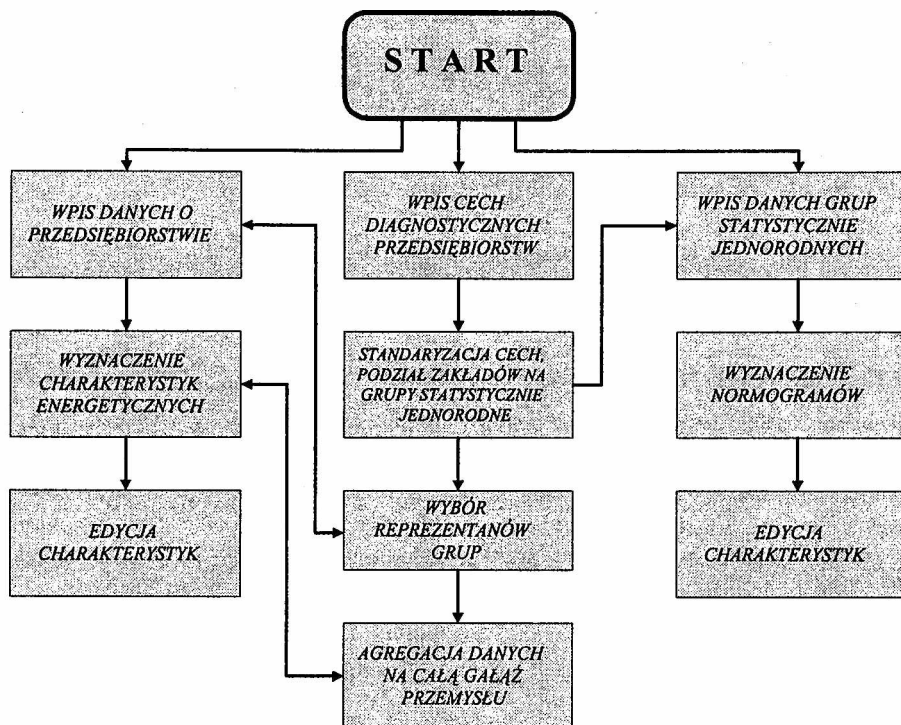
Fig. 6.2. Database

Identyfikacja energetyczna może polegać między innymi na znalezieniu równań tendencji energochłonności $a_e = f(t)$ oraz równań regresji wyrażających zależności: $A = f(P)$, $A = f(Z)$, $A = f(I)$, a także $A = f(P, Z, I)$ dla reprezentantów i transponowaniu otrzymanych wyników na całą gałąź przemysłu.

Opracowany przez autorkę algorytm i program komputerowy *ENERGIA* (rozdz. 6.2) do badania kształtowania się potrzeb energetycznych procesów przemysłowych pozwala na wykonanie w trybie konwersacyjnym obliczeń na podstawie tej procedury. Program wykorzystuje pewne elementy metod taksonomicznych, statystycznych i ekonometrycznych. Bazę danych wejściowych stanowią dane statystyczno-pomiarowe.

Podjęcie decyzji o rejestracji danych powinno być poprzedzone analizą celowości tego działania, w wyniku którego są określone rodzaje i częstotliwość wprowadzania parametrów charakteryzujących rozpatrywane zagadnienie (przemysł ogółem, podział gałęziowy, branże, zakłady przemysłowe, procesy technologiczne). Odpowiednio przygotowana baza danych znakomicie ułatwia i przyspiesza obróbkę zgromadzonych informacji oraz analizę przyczyn zaistniałych nieprawidłowości. W przypadku przemysłu, istotnego znaczenia nabiera powiązanie wszystkich danych mających wpływ na energochłonność (dane o zapotrzebowaniu i użytkowaniu, możliwość substytucji, wtórne wykorzystanie nośników itp.).

Możliwe są warianty komputerowej analizy energetycznej przemysłu dla całej gałęzi, wybranego zakładu lub wyróżnionego etapu procesu produkcyjnego (rys. 6.3). Badania zrealizowane przez autorkę, za pomocą programu *ENERGIA*, pozwalają wyznaczyć równania modelowych charakterystyk energetycznych i trendy potrzeb energetycznych, mogące być przydatne do prognozowania.



Rys. 6.3. Uproszczony algorytm programu ENERGIA

Fig. 6.3. Simplified algorithm of ENERGIA program

6.2. Program komputerowy *ENERGIA*

6.2.1. Metody zastosowane w programie

Metody obliczeniowe zastosowane do analizy użytkowania energii w przemyśle w programie *ENERGIA* (rozdz. 6.1) pozwalają na badanie zarówno pojedynczych zakładów, jak i całych gałęzi przemysłu w wybranym obszarze. Dzięki nim jest możliwe przeprowadzenie analizy zakładów przemysłowych, opisanych zbiorem cech diagnostycznych, co przy tradycyjnych metodach jest bardzo pracochłonne lub niemożliwe. Pozwalają one, między innymi na wyznaczenie charakterystyk energetycznych, a także na analizę całej gałęzi przemysłu, na podstawie badań wcześniej wybranych zakładów – *reprezentantów* grup statystycznie jednorodnych, za pomocą metody współczynników agregatowych.

METODY TAKSONOMICZNE

Metoda kul dokonuje podziału zbioru wieloelementowego na grupy statystycznie jednorodne (tzn. posiadające najbardziej zbliżone cechy). W metodzie tej przyjmuje się,

że każde przedsiębiorstwo stanowi punkt przestrzeni wielowymiarowej określony przez zbiór jego cech diagnostycznych.

Sposób wyboru *reprezentanta* w *metodzie środka ciężkości* zależy od liczebności poszczególnych grup statystycznie jednorodnych. Przy zastosowaniu tej metody należy zachować następującą kolejność działań:

- wyznaczenie *reprezentantów* grup jednoelementowych,
- wyznaczenie *reprezentantów* grup wieloelementowych,
- wyznaczenie *reprezentantów* grup zawierających dwa elementy.

Wybrany reprezentant będzie miał cechy przeciętne dla danej grupy statystycznie jednorodnej.

METODY EKONOMETRYCZNE

Powszechnie stosowaną metodą szacowania parametrów liniowych modeli ekonometrycznych jest metoda najmniejszych kwadratów. Idea tej metody sprowadza się do takiego wyznaczenia wartości ocen parametrów strukturalnych, aby suma kwadratów odchyleń zaobserwowanych wartości zmiennej objaśnianej od jej wartości teoretycznych obliczonych z modelu była najmniejsza. Metody liniowej funkcji regresji służą do przeprowadzenia analizy energetycznej *reprezentanta* grupy statystycznie jednorodnej.

Liniowy model ekonometryczny z jedną zmienną objaśniającą ma ogólną postać

$$Y = \beta + \alpha X + \varepsilon \quad (6.13)$$

gdzie: Y – zmienna objaśniana (na przykład zużycie energii elektrycznej, węgla, suma nośników),

X – zmienna objaśniająca (na przykład wielkość produkcji, nakładów inwestycyjnych, zatrudnienia itp.),

α, β – parametry strukturalne modelu,

ε – składnik losowy.

Wartości ocen a i b parametrów strukturalnych α i β otrzymuje się z warunku

$$S = \sum (y_t - b - ax_t)^2 \rightarrow \min \quad (6.14)$$

gdzie: t – szereg czasowy ($t = 1, 2, \dots, n$),

y, x – wartości zmiennych objaśniających i zmiennej objaśnianej,

a, b – wartości ocen parametrów strukturalnych.

Wartości ocen a i b parametrów strukturalnych wyznacza się ze wzorów

$$a = \frac{\sum_{t=1}^n y_t x_t - n x_{\bar{s}r} y_{\bar{s}r}}{\sum_{t=1}^n x_t^2 - n (x_{\bar{s}r})^2} \quad (6.15)$$

$$b = y_{\bar{s}r} - a x_{\bar{s}r} \quad (6.16)$$

Standardowe błędy $S(a)$ i $S(b)$ szacunku parametrów strukturalnych α i β wyznacza się ze wzorów

$$S(a) = \frac{S_e}{\sqrt{\sum_{t=1}^n (x_t - x_{sr})^2}} \quad (6.17)$$

$$S(b) = S_e \cdot \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n x_t^2}{n \cdot \sum_{t=1}^n (x_t - x_{sr})^2}} \quad (6.18)$$

gdzie: S_e – ocena wariancji odchyleń losowych modelu obliczona ze wzoru

$$S_e = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n e_t^2}{n-2}} \quad (6.19)$$

w którym: e_t ($t = 1, 2, \dots, n$) – odchylenia empirycznych wartości zmiennej objaśnianej od jej wartości teoretycznych, nazywane resztami modelu,

x_{sr}, y_{sr} – wartości średnie zmiennej objaśniającej i objaśnianej.

W celu przedstawienia klasycznej metody najmniejszych kwadratów w zastosowaniu do modelu liniowego z wieloma zmiennymi objaśniającymi

$$Y = \alpha_0 + \alpha_1 X_1 + \alpha_2 X_2 + \dots + \alpha_k X_k + \varepsilon \quad (6.20)$$

wprowadzono symbolikę macierzową:

$$\mathbf{Y} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} \quad \text{– wektor obserwacji zmiennej objaśnianej,}$$

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1k} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nk} \end{bmatrix} \quad \text{– macierz obserwacji zmiennych objaśniających,}$$

$$a = \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ a_k \end{bmatrix} - \text{wektor ocen parametrów strukturalnych},$$

$$e = \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ e_n \end{bmatrix} - \text{wektor reszt modelu}.$$

Wektor a ocen parametrów strukturalnych modelu obliczono ze wzoru

$$a = (X^T X)^{-1} X^T y \quad (6.21)$$

Macierz wariancji i kowariancji ocen parametrów strukturalnych szacuje się na podstawie wzoru:

$$D^2(a) = S_e (X^T X)^{-1} \quad (6.22)$$

w którym: S_e – wariancja odchyłeń losowych szacowana jest na podstawie wzoru

$$S_e = \frac{e^T e}{n - k - 1} \quad (6.23)$$

k – liczba stopni swobody.

W macierzy tej elementy na głównej przekątnej są wariancjami $V(a_i)$ ($i = 0, 1, \dots, k$) ocen parametrów strukturalnych. Wielkości

$$S(a_i) = \sqrt{V(a_i)} \quad \text{dla } (i = 0, 1, \dots, k) \quad (6.24)$$

są standardowymi błędami szacunku parametrów strukturalnych.

OCENA DOPASOWANIA MODELU DO DANYCH EMPIRYCZNYCH

Ocena dopasowania modelu do danych empirycznych ma na celu sprawdzenie, czy model ten w wystarczająco wysokim stopniu wyjaśnia kształtowanie się zmiennej objaśnianej. Do tego celu służą różne miary zgodności modelu z danymi empirycznymi.

Współczynnik zmienności losowej wyznacza się ze wzoru

$$W_e = \frac{S_e}{y_{sr}} \cdot 100\% \quad (6.25)$$

w którym: S_e – wariancja odchyłeń losowych,
 y_{sr} – wartość średnia zmiennej objaśnianej.

Współczynnik ten informuje jaki procent średniej arytmetycznej zmiennej objaśnianej stanowi odchylenie standardowe reszt. Mniejsze wartości współczynnika wskazują na lepsze dopasowanie modelu do danych empirycznych.

Współczynnik zbieżności wyraża się wzorem

$$\varphi^2 = \frac{\sum_{t=1}^n e_t^2}{\sum (y_t - y_{sr})^2} \quad (6.26)$$

w którym: e_t – reszty modelu,
 y_t – wartość zmiennej objaśnianej ($t = 1, 2, \dots, n$),
 y_{sr} – wartość średnia zmiennej objaśnianej.

Współczynnik zbieżności przyjmuje wartości z przedziału $<0, 1>$. Informuje o tym, jaka część całkowitej zmienności zmiennej objaśnianej nie jest wyjaśniana przez model. Dopasowanie modelu do danych jest tym lepsze, im współczynnik zbieżności jest bliższy zeru.

Współczynnik korelacji wielorakiej określony jest wzorami

$$R^2 = 1 - \varphi^2, \quad R = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (\tilde{y} - y_{sr})^2}{\sum_{t=1}^n (y_t - y_{sr})^2}} \quad (6.27)$$

w którym: $\tilde{y}$ – wartość teoretyczna zmiennej objaśnianej,
 y_{sr} – wartość średnia zmiennej objaśnianej,
 y_t – wartość zmiennej objaśnianej ($t = 1, 2, \dots, n$).

Współczynnik korelacji wielorakiej przyjmuje wartości z przedziału $<0, 1>$. Osiąga tym większe wartości, im związek zmiennej objaśnianej ze zmiennymi objaśniającymi jest silniejszy.

PREDYKCJA EKONOMETRYCZNA

Predykcją ekonometryczną nazywa się proces wnioskowania w przyszłość na podstawie modelu ekonometrycznego. Wynikiem procesu predykcji jest oszacowanie nieznannej wartości zmiennej prognozowanej w okresie prognozowania.

Predykcja na podstawie trendu

Prognozy punktowe uzyskuje się na podstawie modelu tendencji rozwojowej drogą prostej jego ekstrapolacji. Prognozę punktową wyznacza się ze wzoru

$$y_T^* = b + aT \quad (6.28)$$

gdzie: a, b – oceny parametrów strukturalnych tendencji rozwojowej zmiennej objaśnianej,

T – okres prognozowania ($T = 1, 2, \dots, n$).

Średni błąd prognozy *ex ante* służy do oceny dopuszczalności prognozy i określony jest wzorem

$$S_{pT} = \sqrt{\left(\frac{(T + \bar{t})^2}{\sum_{t=1}^n (t - \bar{t})^2} + \frac{1}{n} + 1 \right) \cdot S_e^2} \quad (6.29)$$

w którym: S_{pT} – średni błąd prognozy,

T – okres prognozowania ($T = 1, 2, \dots, k$),

t – zmienna czasowa ($t = 1, 2, \dots, n$),

$\bar{t}$ – średnia wartość zmiennej czasowej.

Dolna granica prognozy określona jest wzorem

$$dy_T^* = y_T^* - u_\beta S_{pT} \quad (6.30)$$

a górna granica prognozy wzorem

$$gy_T^* = y_T^* + u_\beta S_{pT} \quad (6.31)$$

gdzie: S_{pT} – średni błąd prognozy,

u_β – dystrybuenta rozkładu normalnego dla założonej wiarygodności prognozy $\beta = 0,95$,

y_T^* – prognoza punktowa.

Predykcja na podstawie modelu przyczynowo-skutkowego

Warunkiem dokonania predykcji zmiennej objaśnianej Y na podstawie modelu przyczynowo-skutkowego jest znajomość wartości $x_{T1}^*, x_{T2}^*, \dots, x_{Tk}^*$ zmiennych objaśniających $X_1, X_2, \dots, X_k$ w okresie prognozowania T . Za źródło tych wartości przyjmuje się trendy zmiennych objaśniających. Prognoza punktowa wyznaczana jest jako

$$y_T^* = a_0 + a_1 x_{T1}^* + a_2 x_{T2}^* + \dots + a_k x_{Tk}^* \quad (6.32)$$

Średni błąd prognozy *ex ante* wyznacza się ze wzoru:

$$S_{pT} = \sqrt{x_T^T \cdot D^2(a) \cdot x_T + S_e^2} \quad (6.33)$$

gdzie: $x_T = \begin{bmatrix} 1 \\ x_{T1}^* \\ x_{T2}^* \\ \vdots \\ x_{Tk}^* \end{bmatrix}$ – wektor wartości zmiennych objaśniających w okresie prognozowania,

$x_T^T = [1 \ x_{T1}^* \ x_{T2}^* \dots x_{Tk}^*]$ – wektor transponowany wartości zmiennych objaśniających w okresie prognozowania,

$D^2(a)$ – macierz wariancji i kowariancji ocen parametrów strukturalnych.

Ocenę dopuszczalności prognozy możemy stwierdzić na podstawie oszacowania błędu prognozy *ex ante* oraz dolnej i górnej granicy prognozy, zgodnie z wzorami:

dla dolnej granicy prognozy $dy_T^* = y_T^* - u_\beta S_{pT}$ (6.34)

dla górnej granicy prognozy $gy_T^* = y_T^* + u_\beta S_{pT}$ (6.35)

gdzie: S_{pT} – średni błąd prognozy,

u_β – dystrybuanta rozkładu normalnego dla założonej wiarygodności prognozy $\beta = 0,95$,

y_T^* – prognoza punktowa.

WYZNACZANIE WSPÓŁCZYNNIKÓW AGREGATOWYCH

W metodzie tej przelicza się wyniki analizy energetycznej poszczególnych *reprezentantów* grup jednorodnych na całą gałąź przemysłu, z której zostały wytypowane w następującej kolejności:

1. Oblicza się zużycie energii grupy statystycznie jednorodnej w j -tej obserwacji

$$A_{jg} = A_{jr} \cdot l \quad (6.36)$$

gdzie: A_{jg} – zużycie energii w j -tej obserwacji,

A_{jr} – zużycie energii w j -tej obserwacji reprezentanta g -tej grupy,

l – liczebność g -tej grupy.

2. Określa się wielkość produkcji w j -tej obserwacji

$$G_{jg} = G_{jr} \cdot l \quad (6.37)$$

gdzie: G_{jg} – wielkość produkcji w j -tej obserwacji g -tej grupy,

G_{jr} – wielkość produkcji w j -tej obserwacji reprezentanta g -tej grupy.

3. Wyznacza się zużycie energii oraz wielkość produkcji w j -tej obserwacji dla badanej gałęzi przemysłu

$$A_j = \sum_{g=1}^m A_{jg} \quad (6.38)$$

$$G_j = \sum_{g=1}^m G_{jg} \quad (6.39)$$

gdzie: $g = 1, 2, \dots, m$,

m – liczba grup statystycznie jednorodnych.

WYZNACZENIE NORMATYWU ZUŻYCIA ENERGII

Wyznaczenie normatywu zużycia energii oparte jest na klasycznej metodzie najmniejszych kwadratów

$$B = (X^T X)^{-1} X^T Y \quad (6.40)$$

gdzie: B – wektor ocen parametrów strukturalnych,

X – macierz obserwacji zmiennych objaśniających,

Y – macierz obserwacji zmiennych objaśnianych.

Równanie normatywu zużycia energii elektrycznej ma postać:

$$y_k = e^{\tilde{a}} \cdot x_k^{\tilde{b}} \quad (6.41)$$

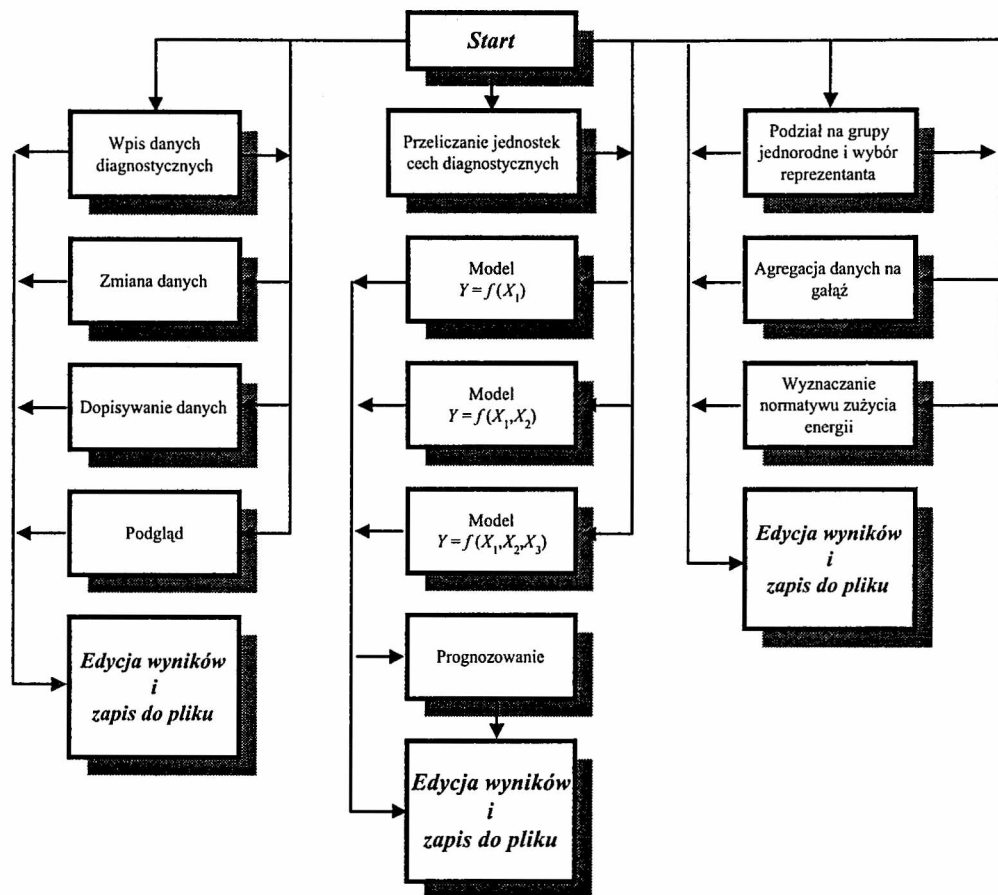
gdzie: $\tilde{a}, \tilde{b}$ – parametry stałe,

x_k – wartość produkcji,

y_k – hipotetyczna wartość zużycia energii elektrycznej.

6.2.2. Opis funkcji programu

Program służy do kompleksowej analizy energetycznej na podstawie charakterystyk energetycznych [125]. W swoich algorytmach obliczeniowych wykorzystuje metody taksonomiczne, ekonometryczne, predykcji ekonometrycznej, współczynników agregatowych i wyznaczanie normatywu zużycia nośników energetycznych [5, 40, 91, 103].



Rys. 6.4. Algorytm części obliczeniowej EN 1

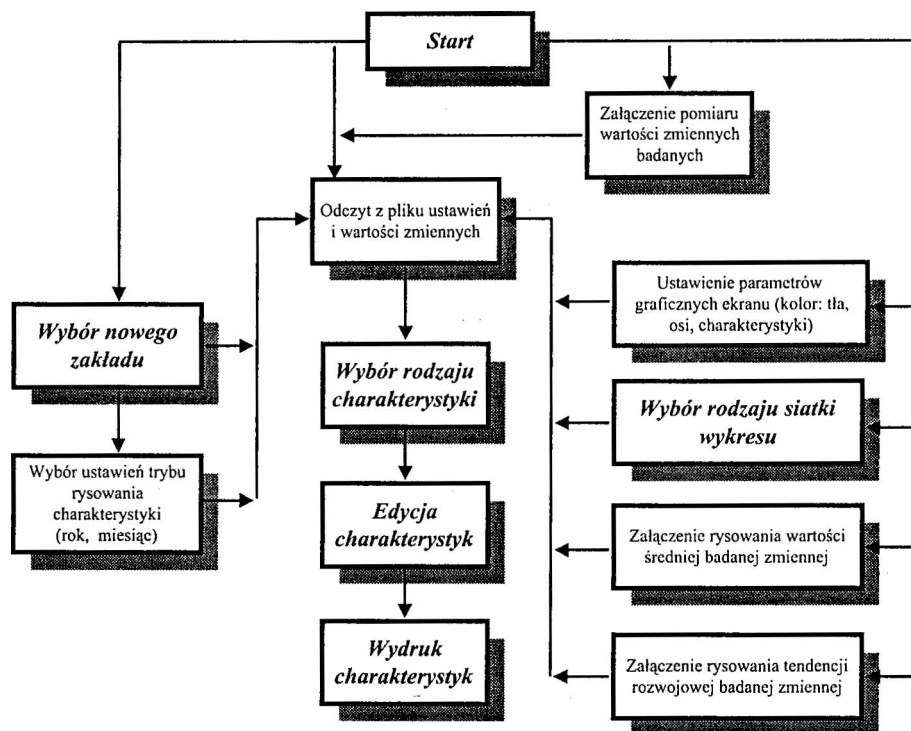
Fig. 6.4. Algorithm of calculation part EN 1

Program *ENERGIA* składa się z dwóch części:

- części obliczeniowej EN 1,
- części prezentacyjnej EN 2.

Część obliczeniowa (rys. 6.4) składa się z trzech bloków funkcjonalnych pozwalających na:

- wpisywanie, poprawianie i edycję danych diagnostycznych,
- tworzenie modelowych charakterystyk energetycznych i prognozowanie,
- wyznaczanie normatywu zużycia energii,
- podział zakładów z danej gałęzi przemysłu na grupy statystycznie jednorodne,
- wybór reprezentantów w poszczególnych grupach,
- tworzenie gałęzi zagregowanej z reprezentantów.



Rys. 6.5. Algorytm części prezentacyjnej EN 2

Fig. 6.5. Algorithm of introduction part EN 2

Część prezentacyjna (rys. 6.5) składa się z czterech bloków funkcyjnych pozwalających na edycję:

- charakterystyk dynamicznych,
- charakterystyk funkcji regresji,
- prognoz wielkości zużycia badanych nośników energetycznych,
- normogramów zużycia energii,
- charakterystyk w przekroju rocznym i miesięcznym,
- wyznaczania na wykresach charakterystyk wartości średniej i tendencji rozwojowej.

Tworzenie charakterystyk modelowych w postaci analitycznej, jak i graficznej, jest możliwe dla okresu nie przekraczającego dziesięciu lat. Również wyznaczanie prognoz zużycia energii sprecyzowane jest dla okresu nie dłuższego niż 10 lat.

Program nie ma wpisanych na stałe nazw cech diagnostycznych. Maksymalnie można wpisać 6 cech dla kilkudziesięciu obiektów. W zależności od potrzeb i posiadanych danych statystycznych, użytkownik programu może swobodnie je edytować.

7. Analiza statystyczna i prognozowanie zużycia energii przez odbiorców przemysłowych

7.1. Opis przeprowadzonych badań

W badaniach zbiorowości i zjawisk znajdują zastosowanie metody opisu i wnioskowania statystycznego.

Opis statystyczny jest liczbowym opisem badanych zbiorowości lub zjawisk w formie tabelarycznej, graficznej i parametrycznej. Parametryczna forma opisu dokonywana jest za pomocą charakterystyk liczbowych, takich jak miary położenia, dyspersji i asymetrii, zwanych parametrami (w populacji) lub ocenami parametrów (w próbie).

Wnioskowanie statystyczne polega na uogólnieniu wniosków wynikających z badania i wykracza poza informacje wynikające ze zgromadzonych danych.

Statystyka matematyczna zajmuje się zasadami i metodami uogólniania wnioskowania o całą zbiorowość statystycznej na podstawie znajomości części tej zbiorowości. Podstawą tych uogólnień są znane z rachunku prawdopodobieństwa rozkłady zmiennych losowych, które wykorzystuje się do określania rozkładów prawdopodobieństwa statystyk z prób.

Uogólnianie wyników obserwacji statystycznej na całą populację odbywa się poprzez *estymację statystyczną* i *weryfikację hipotez*. Estymacja polega na oszacowaniu nieznanego rozkładu i parametrów populacji na podstawie wyników zaobserwowanych w próbie. *Weryfikacja hipotez* pozwala na podstawie wyników badania części zbiorowości rozstrzygnąć słuszność hipotez (sądów) do całej populacji [3, 67, 105].

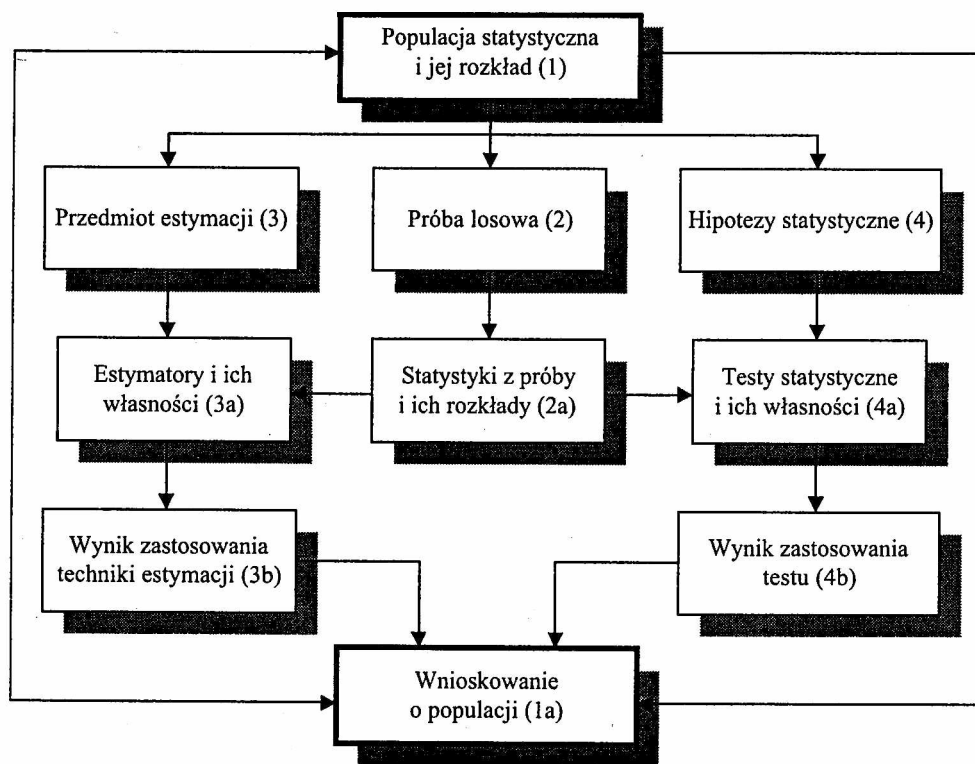
Logiczną kolejność postępowania we wnioskowaniu statystycznym przedstawia rys. 7.1. Z populacji generalnej (1), której rozkładu i parametrów nie znamy, pobieramy próbę losową (2). Uogólnianie wyników obserwacji próby na całą populację jest oparte na założonym prawdopodobieństwie słuszności sądów lub ryzyka popełnienia błędu. Dlatego podstawową kwestią jest określenie rozkładów prawdopodobieństw odpowiednich statystyk z prób (2a).

Wnioskując o właściwościach populacji posługujemy się metodami estymacji (3), korzystając przy tym z estymatorów (3a). Wyniki zastosowanej techniki estymacyjnej (3b) pozwalają na sformułowanie wniosków o parametrach i rozkładzie w populacji (1a). Weryfikacja hipotez (4) polega na wnioskowaniu o populacji poprzez sprawdzanie pew-

nych przypuszczeń dotyczących parametrów i rozkładu cechy w populacji. Do weryfikacji hipotez służą testy statystyczne (4a). Wynik zastosowanego testu (4b) prowadzi do sformułowania wniosków o populacji (1a).

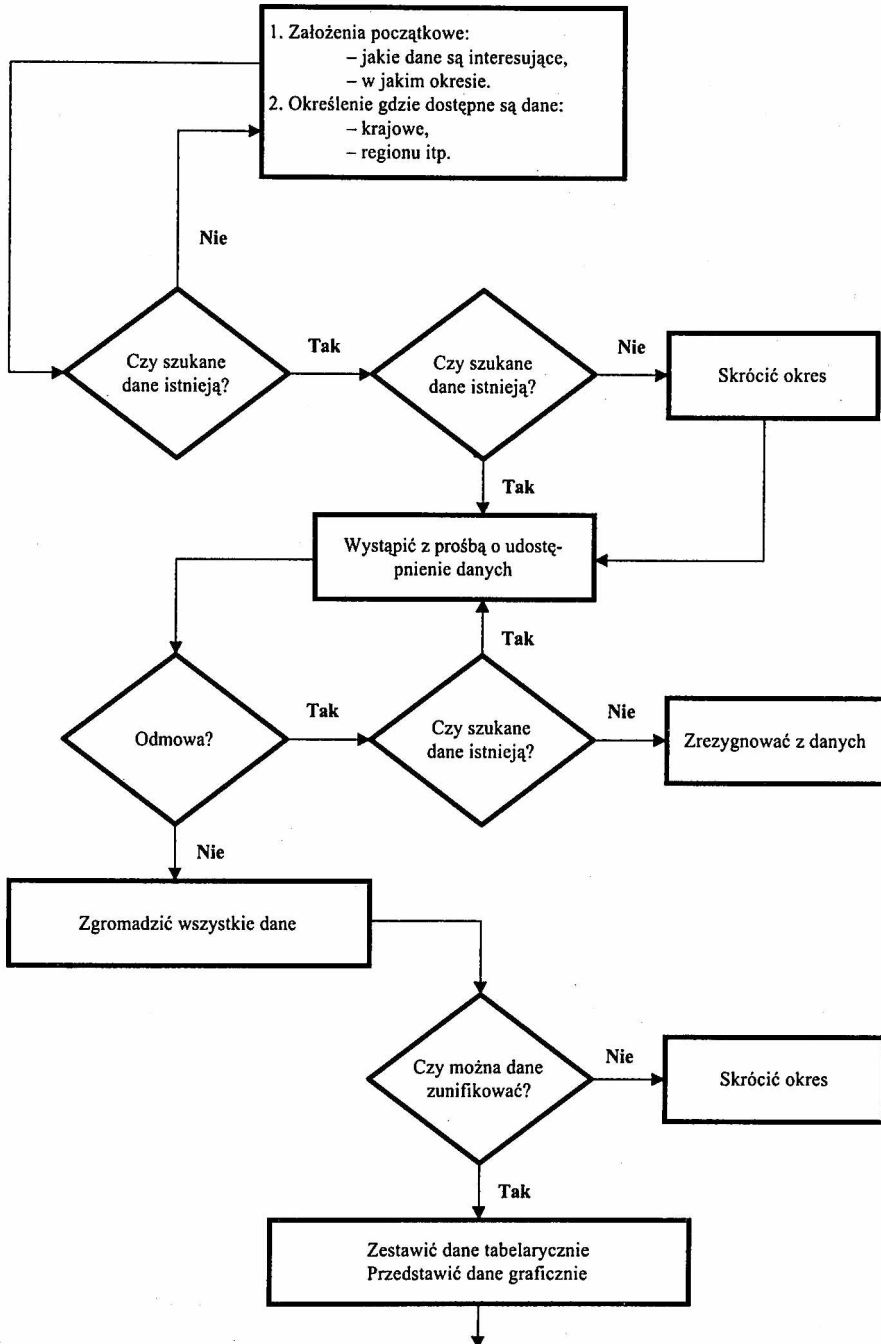
Jest wiele sposobów losowania próby z populacji skończonej. Są one przedmiotem na przykład wielokryterialnej metody (rozdz. 6). Metoda ta proponuje takie schematy losowania, które nie dają prób prostych. Dlatego też dla każdego schematu muszą być opracowane odrębne sposoby wnioskowania.

Źródłem informacji statystycznych niezbędnych do przeprowadzenia analizy potrzeb energetycznych w przemyśle są publikacje ogólnie dostępne podawane przez Ministerstwo Gospodarki, Główny Urząd Statystyczny, raporty i opracowania specjalistyczne, a także dane zebrane w badanych zakładach przemysłowych [4, 12, 17, 35, 50, 54, 75, 104, 126, 127]. Większość danych statystycznych stanowią wyliczenia własne wykonane na podstawie pozyskanych materiałów źródłowych. Niektóre oszacowania przeprowadzono po konsultacjach ze specjalistami. Zasadniczy okres badań obejmuje lata 1990–2002, chociaż w niektórych przypadkach dotyczy również wcześniejszych lat, tzn. 1980–1990. Schemat postępowania pozyskiwania danych przedstawia rys. 7.2.



Rys. 7.1. Etapy wnioskowania statystycznego

Fig. 7.1. Stages of statistical deduction



Rys. 7.2. Schemat gromadzenia danych
Fig. 7.2. Pattern of data accumulation

Zakres informacji jest następujący: dane o zużyciu poszczególnych nośników energii, wielkość produkcji, struktura i asortyment wyrobów, technologia procesów przemysłowych, automatyzacja produkcji przemysłowej itp.

Konsekwencją korzystania z rozmaitych źródeł jest niejednorodność zebranego materiału statystycznego, bowiem informacje w nich zawarte były gromadzone i grupowane dla różnych celów i często według odmiennych schematów. W tej sytuacji przed przystąpieniem do analizy należało zebrany materiał odpowiednio opracować i przystosować do wymagań wynikających z celu podjętego badania. Przeprowadzone w tym kierunku czynności polegały na:

- uzgodnieniu rzeczowego i czasowego zakresu informacji,
- skorygowaniu dostrzeżonych błędów,
- zgrupowaniu danych według schematów klasyfikacyjnych odpowiadających potrzebom postępowania analitycznego,
- dokonaniu niezbędnych oszacowań,
- transformacji przekrojów rzeczowych i czasowych.

W rezultacie wymienionych prac przygotowawczych otrzymano dość zwarty zespół informacji, dający podstawę do wszczęcia postępowania analitycznego zgodnie z celem i przyjętymi metodami badania. Narzędziem opisu kształtowania się prawidłowości i zależności badanych zjawisk są w prezentowanym opracowaniu między innymi modele, które pozwalają przedstawić główne tendencje. Za takim podejściem przemawia fakt, że większość rozpatrywanych kategorii jest mierzalna oraz istnieje przyczynowo-skutkowy charakter związków pomiędzy nimi.

7.2. Badania przeprowadzone z wykorzystaniem programu ENERGIA

Analizę energetyczną zakładów przemysłowych z makroregionu dolnośląskiego przeprowadzono za pomocą opracowanego przez autorkę programu komputerowego ENERGIA (rozdz. 6.2) wykorzystując metody: taksonomiczne, ekonometryczne, predykcji ekonometrycznej i wyznaczania trendu prognostycznego [125, 153].

Badania statystyczne zrealizowano w następujących etapach:

- etap 1 – zebranie danych o ilości zużycia nośników energetycznych, produkcji, nakładów inwestycyjnych, zatrudnienia itp. w przemyśle badanego regionu,
- etap 2 – wytypowanie gałęzi przemysłu do badań,
- etap 3 – podział zakładów przemysłowych w badanej gałęzi na grupy statystycznie jednorodne i wybór w każdej z nich *reprezentantów*,
- etap 4 – przyjęcie okresu badań i oszacowanie niezbędnej próbki statystycznej,
- etap 5 – zebranie danych o ilości zużycia nośników energetycznych, produkcji, nakładów inwestycyjnych, zatrudnienia itp. w zakładach-*reprezentantach*,
- etap 6 – agregacja danych dla badanych gałęzi przemysłu,

etap 7 – analiza energetyczna zakładów-reprezentantów, gałęzi zagregowanej i przemysłu w badanym regionie,

etap 8 – analiza i interpretacja uzyskanych wyników.

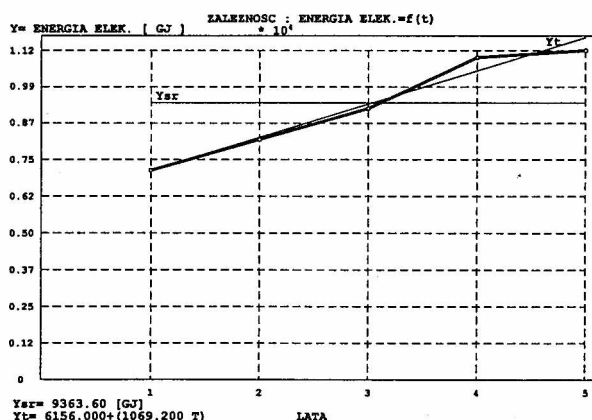
Za pomocą programu ENERGIA wyznaczono charakterystyki przedstawione w tabelach 7.1–7.6 i na rysunkach 7.3–7.10. Tok postępowania empirycznego według procedury tego programu został przedstawiony dla wybranego przykładu spośród badań przeprowadzonych przez autorkę w poszczególnych gałęziach przemysłu w kraju i makroregionie. Studium zaprezentowanego przypadku dotyczy przemysłu elektromaszynowego z regionu dolnośląskiego. W analizowanej gałęzi, z grupy sześciu przedsiębiorstw w pełni funkcjonujących, dokonano podziału na dwie grupy przedsiębiorstw podobnych, tzn.: jednoelementową i pięcioelementową, z których następnie wyłoniono reprezentantów. Szczegółowe informacje dotyczące zakładów-reprezentantów zebrano na podstawie dostępnej dokumentacji [35, 75, 125], konsultacji z osobami odpowiedzialnymi za działalność badanych zakładów (główny energetyk, technolog, mechanik, księgowy), jak również własnych oszacowań. Wyniki obliczeń dla jednego z reprezentantów w funkcji jednej, dwóch i trzech zmiennych objaśniających przedstawiono w tabelach 7.1–7.3 oraz

Tabela 7.1. Współczynniki równania charakterystyki zużycia energii elektrycznej $Y = f(X_i)$ – zakład
Table 7.1. Coefficients of equation representing electric energy consumption $Y = f(X_i)$ at industrial plant

Lp.	Nazwa	Oznaczenie	Wartość	Jednostka
1.	Równanie charakterystyki	$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3$	$Y = 6047,96 + (0,57 \cdot X_1)$	GJ
2.	Zmienna objaśniana	Y	Zużycie energii elektr.	GJ
3.	Zmienna objaśniająca	X_1	Produkcja	tys. zł
4.	Zmienna objaśniająca	X_2	–	–
5.	Zmienna objaśniająca	X_3	–	–
6.	Parametr stały Przedział ufności	a_0	6047,956	GJ
		$a_0 + S_{(a0)}$	6830,551	GJ
		$a_0 - S_{(a0)}$	5265,36	GJ
7.	Parametr stały Przedział ufności	a_1	0,568	GJ/tys. zł
		$a_1 + S_{(a1)}$	0,691	GJ/tys. zł
		$a_1 - S_{(a1)}$	0,445	GJ/tys. zł
8.	Parametr stały Przedział ufności	a_2	–	–
		$a_2 + S_{(a2)}$	–	–
		$a_2 - S_{(a2)}$	–	–
9.	Parametr stały Przedział ufności	a_3	–	–
		$a_3 + S_{(a3)}$	–	–
		$a_3 - S_{(a3)}$	–	–
10.	Współczynnik zmienności losowej	W_e	7,439	%
11.	Współczynnik zbieżności	φ^2	0,124	–
12.	Współczynnik korelacji	R	0,936	–
13.	Wariancja odchyłeń losowych	S_e	639,542	GJ

Tabela 7.2. Współczynniki równania charakterystyki zużycia energii elektrycznej $Y = f(X_1, X_2)$ – zakład
 Table 7.2. Coefficients of equation representing electric energy consumption $Y = f(X_1, X_2)$ at industrial plant

Lp.	Nazwa	Oznaczenie	Wartość	Jednostka
1.	Równanie charakterystyki	$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3$	$Y = 5998,176 + (0,491X_1) + (1,081X_2)$	GJ
2.	Zmienna objaśniana	Y	Zużycie energii elektr.	GJ
3.	Zmienna objaśniająca	X_1	Produkcja	tys. zł
4.	Zmienna objaśniająca	X_2	Nakłady inwestycyjne	tys. zł
5.	Zmienna objaśniająca	X_3	–	–
6.	Parametr stały Przedział ufności	a_0	5998,176	GJ
		$a_0 + S_{(a0)}$	6963,8	GJ
		$a_0 - S_{(a0)}$	5032,551	GJ
7.	Parametr stały Przedział ufności	a_1	0,491	GJ/tys. zł
		$a_1 + S_{(a1)}$	0,838	GJ/tys. zł
		$a_1 - S_{(a1)}$	0,143	GJ/tys. zł
8.	Parametr stały Przedział ufności	a_2	1,081	–
		$a_2 + S_{(a2)}$	5,467	–
		$a_2 - S_{(a2)}$	-3,306	–
9.	Parametr stały Przedział ufności	a_3	–	–
		$a_3 + S_{(a3)}$	–	–
		$a_3 - S_{(a3)}$	–	–
10.	Współczynnik zmienności losowej	W_e	8,975	%
11.	Współczynnik zbieżności	ϕ^2	0,12	–
12.	Współczynnik korelacji	R	0,938	–
13.	Wariancja odchyłeń losowych	S_e	840,425	GJ



Rys. 7.3. Charakterystyka rzeczywistego zużycia energii elektrycznej w badanym zakładzie

Fig. 7.3. Characteristic of real consumption of electric energy in industrial plant under investigation

Tabela 7.3. Współczynniki równania charakterystyki zużycia energii elektrycznej $Y=f(X_1, X_2, X_3)$ – zakładTable 7.3. Coefficients of equation representing electric energy consumption $Y=f(X_1, X_2, X_3)$ at industrial plant

Lp.	Nazwa	Oznaczenie	Wartość	Jednostka
1.	Równanie charakterystyki	$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3$	$Y = -9300,119 + (54,81X_1) + (4,791X_2) + (-0,658X_3)$	GJ
2.	Zmienna objaśniana	Y	Zużycie energii elektr.	GJ
3.	Zmienna objaśniająca	X_1	Produkcja	tys. zł
4.	Zmienna objaśniająca	X_2	Nakłady inwestycyjne	tys. zł
5.	Zmienna objaśniająca	X_3	Zatrudnienie	osób
6.	Parametr stały Przedział ufności	a_0	-9300,119	GJ
		$a_0 + S_{(a0)}$	-5051,259	GJ
		$a_0 - S_{(a0)}$	-13548,979	GJ
7.	Parametr stały Przedział ufności	a_1	54,811	GJ/tys. zł
		$a_1 + S_{(a1)}$	69,970	GJ/tys. zł
		$a_1 - S_{(a1)}$	39,649	GJ/tys. zł
8.	Parametr stały Przedział ufności	a_2	4,791	GJ/tys. zł
		$a_2 + S_{(a2)}$	6,738	GJ/tys. zł
		$a_2 - S_{(a2)}$	2,844	GJ/tys. zł
9.	Parametr stały Przedział ufności	a_3	-0,658	GJ/osobę
		$a_3 + S_{(a3)}$	-0,314	GJ/osobę
		$a_3 - S_{(a3)}$	-1,001	GJ/osobę
10.	Współczynnik zmienności losowej	W_e	3,385	%
11.	Współczynnik zbieżności	φ^2	0,009	–
12.	Współczynnik korelacji	R	0,996	–
13.	Wariancja odchyłeń losowych	S_e	316,972	GJ

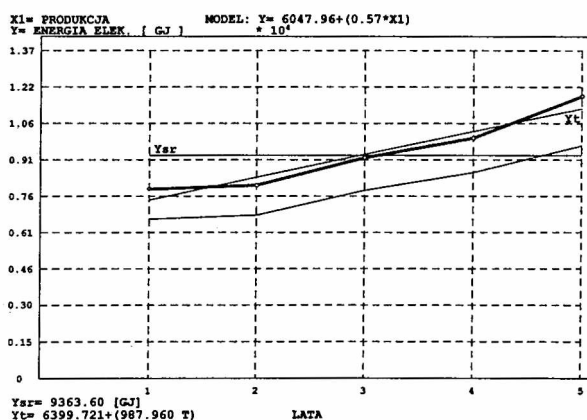
Rys. 7.4. Regresyjna charakterystyka zużycia energii elektrycznej przez zakład, dla modelu: Energia elektryczna = $f(X_1)$ Fig. 7.4. Regression characteristic of electric energy consumption in industrial plant, model: electric energy = $f(X_1)$

Tabela 7.4. Współczynniki równania charakterystyki zużycia energii elektrycznej – gałąź przemysłu
 Table 7.4. Coefficients of equation representing electric energy consumption in industrial branch

Lp.	Nazwa	Oznaczenie	Wartość	Jednostka
1.	Równanie charakterystyki	$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3$	$Y = 32157,12 + (0,174X_1)$	GJ
2.	Zmienna objaśniana	Y	Zużycie energii elektr.	GJ
3.	Zmienna objaśniająca	X_1	Produkcja	tys. zł
4.	Zmienna objaśniająca	X_2	–	–
5.	Zmienna objaśniająca	X_3	–	–
6.	Parametr stały Przedział ufności	a_0	32157,118	GJ
		$a_0 + S_{(a0)}$	37832,019	GJ
		$a_0 - S_{(a0)}$	26482,216	GJ
7.	Parametr stały Przedział ufności	a_1	0,174	GJ/tys. zł
		$a_1 + S_{(a1)}$	0,455	GJ/tys. zł
		$a_1 - S_{(a1)}$	-0,097	GJ/tys. zł
8.	Parametr stały Przedział ufności	a_2	–	–
		$a_2 + S_{(a2)}$	–	–
		$a_2 - S_{(a2)}$	–	–
9.	Parametr stały Przedział ufności	a_3	–	–
		$a_3 + S_{(a3)}$	–	–
		$a_3 - S_{(a3)}$	–	–
10.	Współczynnik zmienności losowej	W_e	5,831	%
11.	Współczynnik zbieżności	φ^2	0,728	–
12.	Współczynnik korelacji	R	0,521	–
13.	Wariancja odchyłeń losowych	S_e	2084,454	GJ

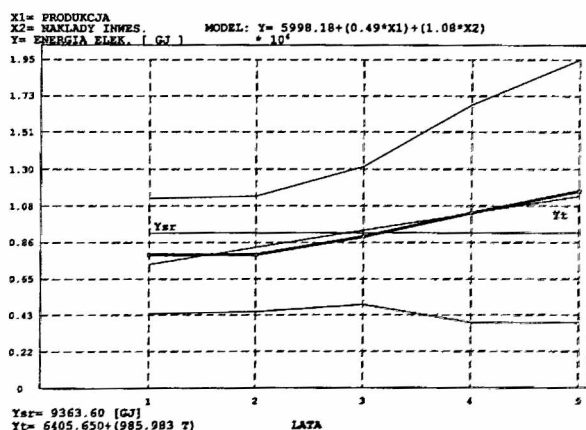
na rysunkach 7.3–7.6, a dla gałęzi zagregowanej odpowiednio w tabelach 7.4–7.6 i na wykresach 7.7–7.10.

Celem ilustracji funkcjonowania i możliwości obliczeniowych programu ENERGIA, w wyniku ujednolicenia danych oraz ze względu na ich lepszą wiarygodność w rozpatrywanym regionie i w zakładach, przedstawiono rezultaty badań dla wybranego okresu pięciu lat. Zebrane dane statystyczne, w przekrojach: miesięcznym i rocznym, pozwoliły na utworzenie próbki statystycznej o liczebności 60 elementów.

Dane dotyczące ilości zużytej energii elektrycznej uzyskano z odczytów liczników w węzłach przyłączeniowych. Natomiast rozdział zużycia energii w poszczególnych wydziałach określono na podstawie wewnątrzzakładowych rozdzielników kosztów energii elektrycznej, które szacowane są na podstawie mocy zainstalowanych odbiorników. Dane dotyczące zużycia pozostałych nośników energetycznych uzyskano ze sprawozdań bilansowych, a częściowo z faktur zakupu w przekrojach: miesięcznym, kwartalnym i rocznym.

Tabela 7.5. Współczynniki równania charakterystyki zużycia energii elektrycznej – gałąź przemysłu
 Table 7.5. Coefficients of equation representing electric energy consumption in industrial branch

Lp.	Nazwa	Oznaczenie	Wartość	Jednostka
1.	Równanie charakterystyki	$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3$	$Y = 33696,503 + (0,027X_1) + (1,988X_2)$	GJ
2.	Zmienna objaśniana	Y	Zużycie energii elektr.	GJ
3.	Zmienna objaśniająca	X_1	Produkcja	tys. zł
4.	Zmienna objaśniająca	X_2	Nakłady inwestycyjne	tys. zł
5.	Zmienna objaśniająca	X_3	–	–
6.	Parametr stały Przedział ufności	a_0	33693,503	GJ
		$a_0 + S_{(a0)}$	41277,439	GJ
		$a_0 - S_{(a0)}$	26109,567	GJ
7.	Parametr stały Przedział ufności	a_1	0,027	GJ/tys. zł
		$a_1 + S_{(a1)}$	0,498	GJ/tys. zł
		$a_1 - S_{(a1)}$	-0,444	GJ/tys. zł
8.	Parametr stały Przedział ufności	a_2	1,988	GJ/tys. zł
		$a_2 + S_{(a2)}$	6,685	GJ/tys. zł
		$a_2 - S_{(a2)}$	-2,709	GJ/tys. zł
9.	Parametr stały Przedział ufności	a_3	–	–
		$a_3 + S_{(a3)}$	–	–
		$a_3 - S_{(a3)}$	–	–
10.	Współczynnik zmienności losowej	W_e	6,841	%
11.	Współczynnik zbieżności	φ^2	0,807	–
12.	Współczynnik korelacji	R	0,439	–
13.	Wariancja odchyłeń losowych	S_e	2445,7622	GJ



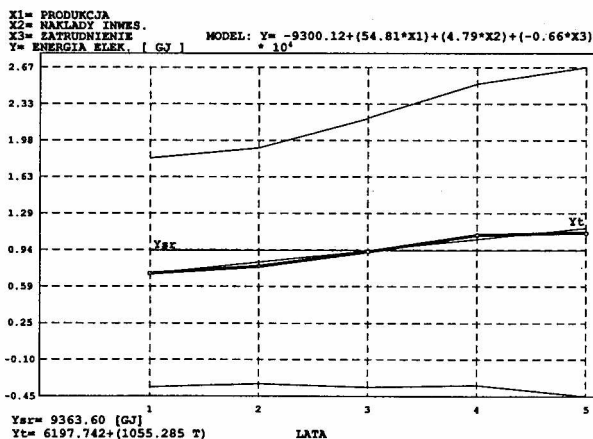
Rys. 7.5. Regresyjna charakterystyka zużycia energii elektrycznej przez zakład,
 dla modelu: Energia elektryczna = $f(X_1, X_2)$

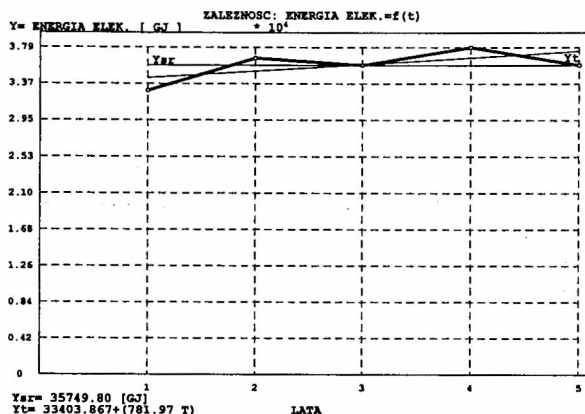
Fig. 7.5. Regression characteristic of electric energy consumption in industrial plant,
 model: electric energy = $f(X_1, X_2)$

Tabela 7.6. Współczynniki równania charakterystyki zużycia energii elektrycznej – gałąź przemysłu

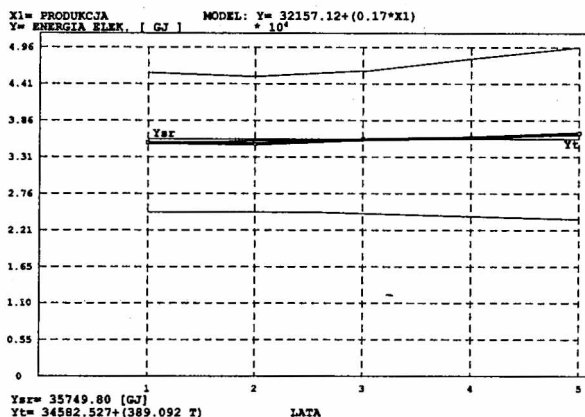
Table 7.6. Coefficients of equation representing electric energy consumption in industrial branch

Lp.	Nazwa	Oznaczenie	Wartość	Jednostka
1.	Równanie charakterystyki	$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3$	$Y = -80126,138 + (-0,346X_1) + (0,457X_2) + (68,654X_3)$	GJ
2.	Zmienna objaśniana	Y	Zużycie energii elektr.	GJ
3.	Zmienna objaśniająca	X_1	Produkcja	tys. zł
4.	Zmienna objaśniająca	X_2	Nakłady inwestycyjne	tys. zł
5.	Zmienna objaśniająca	X_3	Zatrudnienie	osób
6.	Parametr stały Przedział ufności	a_0	-80126,138	GJ
		$a_0 + S_{(a0)}$	39573,424	GJ
		$a_0 - S_{(a0)}$	-199825,701	GJ
7.	Parametr stały Przedział ufności	a_1	-0,346	GJ/tys. zł
		$a_1 + S_{(a1)}$	0,275	GJ/tys. zł
		$a_1 - S_{(a1)}$	-0,968	GJ/tys. zł
8.	Parametr stały Przedział ufności	a_2	0,457	GJ/tys. zł
		$a_2 + S_{(a2)}$	5,528	GJ/tys. zł
		$a_2 - S_{(a2)}$	-4,614	GJ/tys. zł
9.	Parametr stały Przedział ufności	a_3	68,654	GJ/tys. zł
		$a_3 + S_{(a3)}$	140,702	GJ/tys. zł
		$a_3 - S_{(a3)}$	-3,395	GJ/tys. zł
10.	Współczynnik zmienności losowej	W_e	7,004	%
11.	Współczynnik zbieżności	φ^2	0,423	-
12.	Współczynnik korelacji	R	0,760	-
13.	Wariancja odchyłeń losowych	S_e	2504,035	GJ

Rys. 7.6. Regresyjna charakterystyka zużycia energii elektrycznej przez zakład, dla modelu: Energia elektryczna = $f(X_1, X_2, X_3)$ Fig. 7.6. Regression characteristic of electric energy consumption in industrial plant, model: electric energy = $f(X_1, X_2, X_3)$



Rys. 7.7. Charakterystyka rzeczywistego zużycia energii elektrycznej w badanej gałęzi przemysłu
 Fig. 7.7. Characteristic of real consumption of electric energy in industrial branch under investigation

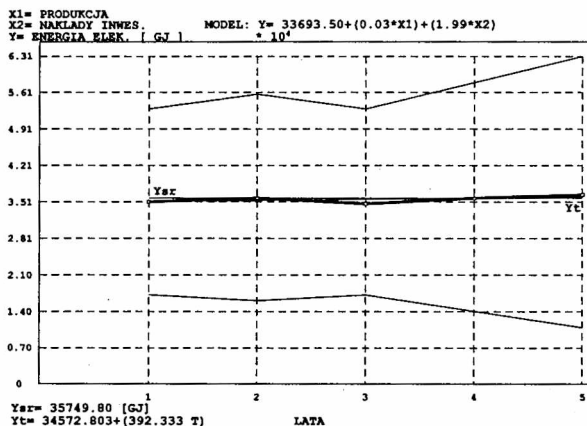


Rys. 7.8. Regresyjna charakterystyka zużycia energii elektrycznej przez gałąź zagregowaną,
 dla modelu: Energia elektryczna = $f(X_1)$

Fig 7.8. Regression characteristic of electric energy consumption in industrial branch,
 model: electric energy = $f(X_1)$

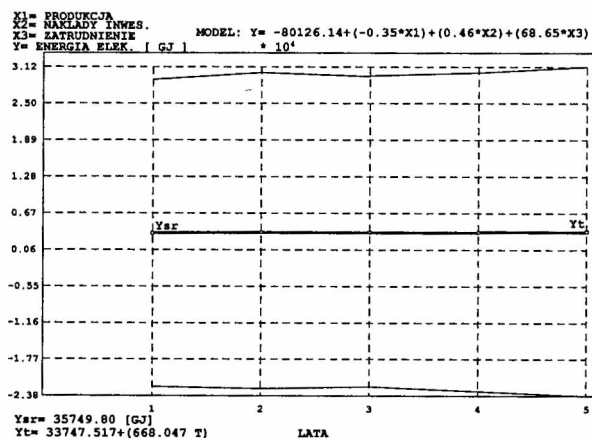
Gospodarka paliwowo-energetyczna badanych zakładów polegała między innymi na dostarczeniu do procesów produkcyjnych określonych nośników energetycznych. Dlatego do analizy wskaźników energochłonności brano pod uwagę jedynie zużycie bezpośrednie energii w procesach produkcyjnych. Natomiast do celów analizy porównawczej badanych zakładów, gałęzi zagregowanej i przemysłu całego regionu, ze względu na niejednorodność materiału statystycznego, rozpatrywano jedynie dane dotyczące energii elektrycznej z powodu ich lepszej wiarygodności.

Szczegółowa identyfikacja energetyczna badanych zakładów wymagała zgromadzenia danych energetycznych i ekonomicznych, a także poznania organizacji procesu pro-



Rys. 7.9. Regresyjna charakterystyka zużycia energii elektrycznej przez gałąź zagregowaną, dla modelu: Energia elektryczna = $f(X_1, X_2)$

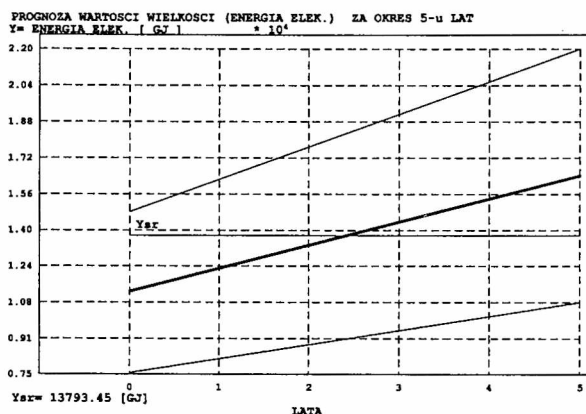
Fig 7.9. Regression characteristic of electric energy consumption in industrial branch, model: electric energy = $f(X_1, X_2)$



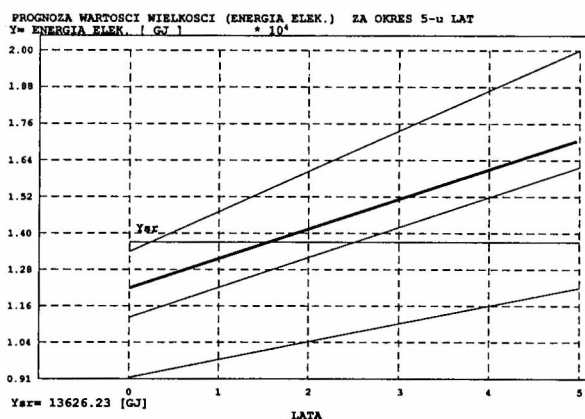
Rys. 7.10. Regresyjna charakterystyka zużycia energii elektrycznej przez gałąź zagregowaną, dla modelu: Energia elektryczna = $f(X_1, X_2, X_3)$

Fig 7.10. Regression characteristic of electric energy consumption in industrial branch, model: electric energy = $f(X_1, X_2, X_3)$

dukcyjnego, stosowanej technologii, sposobu pozyskiwania energii, ponoszonych kosztów zakupu energii, nakładów inwestycyjnych itp. Badania wykonano na podstawie danych uzyskanych z dokumentacji i raportów z badanych zakładów, Zakładów Energetycznych i Gazowniczych oraz roczników statystycznych.



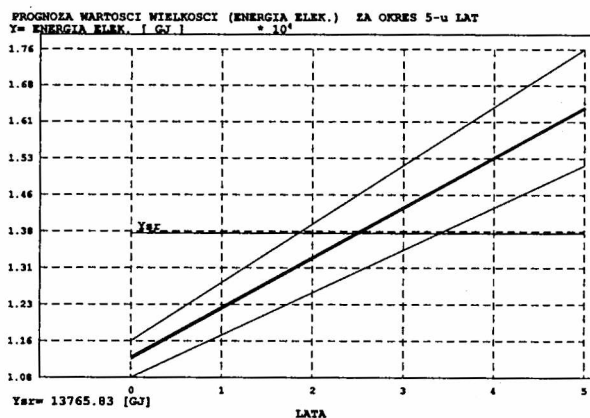
Rys. 7.11. Prognoza zużycia energii elektrycznej, dla modelu: $Y=f(X_1)$ – zakład
Fig. 7.11. Forecast of electric energy consumption at industrial plant; model: $Y=f(X_1)$



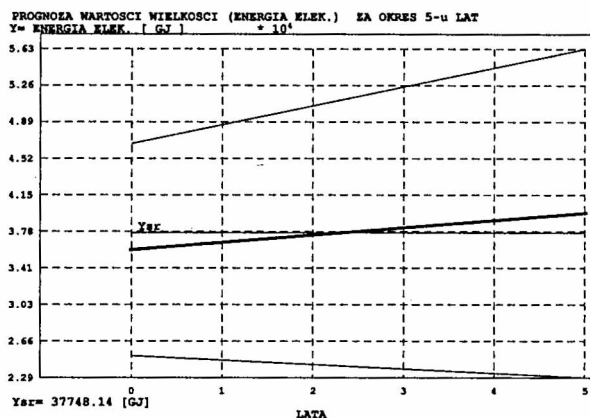
Rys. 7.12. Prognoza zużycia energii elektrycznej, dla modelu: $Y=f(X_1, X_2)$ – zakład
Fig. 7.12. Forecast of electric energy consumption at industrial plant; model: $Y=f(X_1, X_2)$

Przeprowadzone przez autorkę badania statystyczne zakładów-reprezentantów, gałęzi zagregowanej i przemysłu regionu dotyczyły:

- analizy zużycia nośników energetycznych,
- analizy charakterystycznych wielkości ekonomicznych,
- wyznaczenia równań charakterystyk energetycznych w zależności od czynników ekonomicznych (wielkości produkcji, nakładów inwestycyjnych i zatrudnienia),
- sporządzenia wykresów charakterystyk,



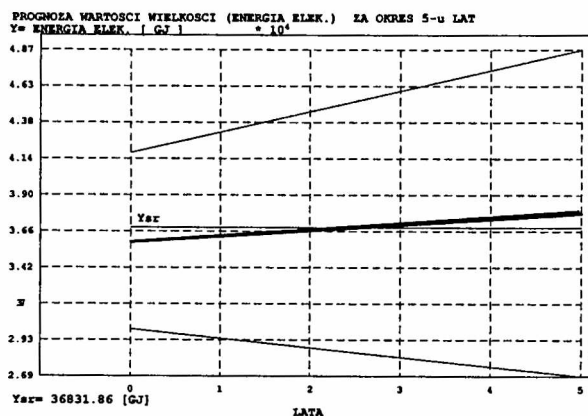
Rys. 7.13. Prognoza zużycia energii elektrycznej, dla modelu: $Y = f(X_1, X_2, X_3)$ – zakład
Fig. 7.13. Forecast of electric energy consumption at industrial plant; model: $Y = f(X_1, X_2, X_3)$



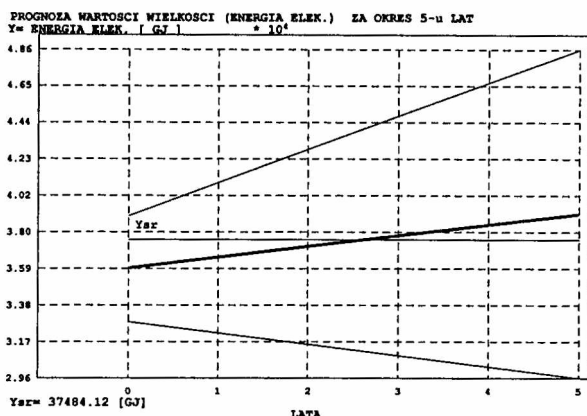
Rys. 7.14. Prognoza zużycia energii elektrycznej, dla modelu: $Y = f(X_1)$ – gałąź zagregowana
Fig. 7.14. Forecast of electric energy consumption at industrial branch; model: $Y = f(X_1)$

- wyznaczenia tendencji rozwojowych,
- opracowania prognoz zużycia nośników energetycznych.

Na podstawie wyznaczonych równań charakterystyk opracowano prognozy ilości zużycia nośników energetycznych w badanych zakładach (rys. 7.11–7.13) i gałęzi przemysłu (rys. 7.14–7.16) dla okresu pięciu lat.



Rys. 7.15. Prognoza zużycia energii elektrycznej, dla modelu: $Y=f(X_1, X_2)$ – gałąź zagregowana
Fig. 7.15. Forecast of electric energy consumption at industrial branch; model: $Y=f(X_1, X_2)$



Rys. 7.16. Prognoza zużycia energii elektrycznej, dla modelu: $Y=f(X_1, X_2, X_3)$ – gałąź zagregowana
Fig. 7.16. Forecast of electric energy consumption at industrial branch; model: $Y=f(X_1, X_2, X_3)$

7.3. Przykład analizy i prognozy trendów zużycia energii w makroregionie

Zainteresowanie problemem użytkowania energii jest zazwyczaj skutkiem dążenia do zmniejszenia kosztów eksploatacyjnych przedsiębiorstw oraz podniesienia konkurencyjności wytwarzanych produktów [24, 46, 107, 111]. Na podstawie zebranych i poddanych analizie informacji staje się możliwe kierowanie procesami użytkowania energii.

Pozwalają one dostrzec odstępstwa od wartości przeciętnych oraz poznać obszar zmian w gospodarowaniu energią z ewentualnymi zyskami lub stratami ekonomicznymi. W roku 1989 nastąpiło w Polsce przejście do systemu opartego na gospodarce rynkowej, dlatego przedstawienie stanu polskiego przemysłu w okresie zmian gospodarczych pozwala na zaobserwowanie wielu nowych tendencji. Interesująca jest zatem analiza zużycia energii w przemyśle w ujęciu ogólnokrajowym i w przekroju gałęziowym, a także z uwzględnieniem poszczególnych nośników w wyróżnionym makroregionie oraz określenie tendencji energochłonności z wykorzystaniem metod ekonometrycznych (rozdz. 3.4). Badania są próbą przeprowadzenia analizy zużycia energii dla Dolnego Śląska, jak również pokazania tego regionu na tle kraju. Dotychczas takie badania obejmowały głównie obszar całego kraju.

Rozpatrywany makroregion obejmuje cztery dawne województwa: wrocławskie, legnickie, wałbrzyskie i jeleniogórskie. Całkowity obszar makroregionu wynosi prawie 20 tys. km², co stanowi ok. 6% powierzchni kraju. Według danych GUS Dolny Śląsk zamieszkuje ok. 3 mln ludzi, czyli ok. 8% ludności kraju. Przemysł na terenie Dolnego Śląska zużywa ok. 10% energii elektrycznej zużytej ogółem przez przemysł krajowy [35, 75, 104]. Fakt ten przemawia za potrzebą szerszej analizy makroregionu.

Aby można było analizować i prognozować zużycie nośników energetycznych należy opracować bazę danych zawierającą wymagane, w zależności od celu badania, informacje (rozdz. 3.3). Dane statystyczne dotyczą między innymi zużycia nośników energetycznych, wielkości produkcji, nakładów inwestycyjnych, liczby zatrudnionych w poszczególnych gałęziach i w przemyśle ogółem w kraju i regionie dolnośląskim. Zbiór danych, odpowiednio pogrupowanych i uszeregowanych, obejmuje okres od 1983 do 2002 roku, a więc dwudziestu lat.

Badaniami objęto poszczególne gałęzie przemysłu w kraju i na Dolnym Śląsku. Analizę energetyczną przeprowadzono za pomocą programu komputerowego (rozdz. 6.2), metodą liniowej funkcji regresji. Po opracowaniu wstępnych charakterystyk energetycznych badanych obiektów zaproponowano procedurę badań polegającą na podzieleniu badanego okresu na dwa podokresy: lata 1983–1993 i 1993–2002. Granice okresów są podyktowane zmianami w układzie Klasyfikacji Gospodarki Narodowej w 1993 roku. Takie podejście umożliwia porównanie tych dwóch okresów, różnych pod względem systemu gospodarczego, oraz pozwala w przybliżeniu określić, na podstawie opracowanych modeli ekonometrycznych, czy nastąpiły zmiany wskaźników energochłonności w badanych podokresach. Przyjęto za najbardziej charakterystyczny okres 1989–1993, gdyż w tym czasie w większości charakterystyk zaobserwowano zmianę tendencji zużycia nośników energetycznych. Rok 1989 jest również umownym progiem przejścia od systemu gospodarki planistycznej do gospodarki rynkowej. Przyczyniło się to do wielu zmian w zużyciu poszczególnych nośników energetycznych, między innymi wskutek załamania się rynków zbytu. Opracowując charakterystyki zużycia nośników energetycznych dla poszczególnych podokresów uzyskano lepsze dopasowanie modelu do danych. Oznacza to, że związek zmiennych objaśniających ze zmienną objaśnianą był silniejszy. Opracowano modele dla przemysłu krajowego i na Dolnym Śląsku w funkcji jednej, dwóch i trzech zmiennych. Jako zmienne przyjęto:

X_1 – ponoszone nakłady inwestycyjne, X_2 – wielkość zatrudnienia oraz X_3 – wielkość produkcji. Na podstawie danych statystycznych wyznaczono współczynniki równań oraz funkcje trendu. W przypadku modelu z dwiema zmiennymi objaśniającymi, wybrano ten o większym współczynniku determinacji R^2 . Opracowano dwa scenariusze kształtowania się zużycia nośników energetycznych:

- scenariusz umownie wysoki, w którym zużycie energii jest kształtowane według modelu z lat 1983–1993 (*model A*),
- scenariusz umownie niski, w którym zużycie jest kształtowane według modelu z lat 1993–2002 (*model B*).

W tabelach 7.7–7.12 przedstawiono wyniki analizy zużycia energii elektrycznej, gazu ziemnego i węgla kamiennego w makroregionie. Przykładowe obliczenia dla przemysłu chemicznego w kraju zawierają tabele 7.13 i 7.14, a graficzną ilustrację przeprowadzonych badań pokazano na rysunkach 7.17–7.20.

Tabela 7.7. Zużycie energii elektrycznej przez przemysł w makroregionie (model A)

Table 7.7. Electric energy consumption by macroregional industry (model A)

	$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3$	$Y = a_0 + a_1X_1 + a_3X_3$	$Y = a_0 + a_2X_2 + a_3X_3$
a_0	6616,241	4034,471	5164,219
$S_{(a0)}$	10657,3783	2437,4511	5690,4492
t_0	0,6208	1,6552	0,9075
a_1	-0,019	0,006	
$S_{(a1)}$	0,1105	0,0438	
t_1	0,1725	0,1291	
a_2	-0,007		-0,0030
$S_{(a2)}$	0,0261		0,0103
t_2	0,251		0,2464
a_3	5,267	3,951	4,118
$S_{(a3)}$	7,3168	4,4654	2,6327
t_3	0,7199	0,8848	1,564
F	0,9947	1,9073	1,9502
wsp. wyr. W	0,037	0,037	0,037
wsp. determ. R^2	0,4987	0,4881	0,4937
Wartość modelu	$Y = 6616,241 - 0,027X_1 - 0,007X_2 + 5,267X_3$	$Y = 4034,471 + 0,006X_1 + 3,951X_3$	$Y = 5164,219 + 0,003X_2 + 4,118X_3$
Funkcja trendu	$Y = 7025,273 + 109,644t$		$Y = 7011,744 + 111,366t$
wsp. wyr. W	0,059		0,028
wsp. determ. R^2	0,299		0,622

Skróty w tabelach 7.7–7.14: wsp. wyr. W – współczynnik wyrazistosci W ,
wsp. determ. R^2 – współczynnik determinacji R^2

W latach 1993–2002 zmniejszyło się zużycie wszystkich nośników energii w kraju i na Dolnym Śląsku. Na podstawie dostępnych informacji można stwierdzić, że jest to długookresowy trend. Niestety, ciągłe zmiany sposobów gromadzenia danych znacznie utrudniają lub wręcz, przy braku pożądanych statystyk, uniemożliwiają prowadzenie niezbędnych analiz porównawczych.

Dopasowanie modeli do danych empirycznych jest zróżnicowane w zależności od okresu badań. Modele z lat 1983–1993 charakteryzują się, poza modelami zużycia energii elektrycznej, stosunkowo niskimi współczynnikami determinacji. Może to oznaczać wykorzystywanie poszczególnych nośników do celów innych niż produkcyjne. Modele z lat 1993–2002 charakteryzują się dużymi wartościami współczynników determinacji. Oznacza to bardzo dobre dopasowanie danych empirycznych do modeli. W modelach z lat 1989–2002 zmienna objaśniana zależy od wysokości ponoszonych nakładów inwestycyjnych i wielkości produkcji, przy czym nakłady inwestycyjne przyczyniają się do lepszego wykorzystania energii. Załamanie w końcu lat dziewięćdziesiątych wzrostowych tendencji

Tabela 7.8. Zużycie energii elektrycznej przez przemysł w makroregionie (model B)

Table 7.8. Electric energy consumption by macroregional industry (model B)

	$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3$	$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2$	$Y = a_0 + a_1X_1 + a_3X_3$
a_0	4421,127	4184,585	4788,784
$S_{(a0)}$	1887,6958	578,3905	638,0555
t_0	2,3421	7,2349	7,5053
a_1	0,042	0,05	0,038
$S_{(a1)}$	0,0661	0,0236	0,0464
t_1	0,6307	2,1036	0,8211
a_2	0,002	0,002	
$S_{(a2)}$	0,0077	0,004	
t_2	0,2202	0,6046	
a_3	0,491		1,023
$S_{(a3)}$	3,5353		1,8686
t_3	0,1387		0,5473
F	9,8085	28,851	28,0181
wsp. wyr. W	0,013	0,013	0,013
wsp. determ. R^2	0,9671	0,9665	0,9655
Wartość modelu	$Y = 4421,127 + 0,042X_1 - 0,002X_2 + 0,491X_3$	$Y = 4184,585 + 0,05X_1 + 0,002X_2$	$Y = 4788,784 + 0,038X_1 + 1,023X_3$
Funkcja trendu	$Y = 7803,403 - 323,099t$	$Y = 7506,147 - 301,055t$	
wsp. wyr. W	0,033	0,033	
wsp. determ. R^2	0,872	0,862	

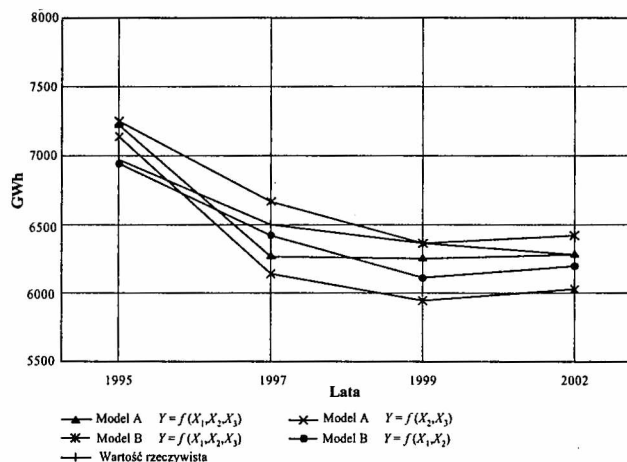
zużycia energii w przemyśle krajowym może świadczyć o wystąpieniu jakościowych zmian w strukturze zużycia energii przez przemysł od 1989 roku. Jednocześnie sygnalizuje to o konieczności zachowania ostrożności w stosowaniu analizy ekonometrycznej do badań okresów przejściowych w gospodarce krajowej.

W przemyśle Dolnego Śląska tendencje zużycia badanych nośników energetycznych są zbieżne z tendencjami zaobserwowanymi w kraju. Niepokojące jest zmniejszenie produkcji sprzedanej przemysłu w badanym regionie. Mniejszy niż w kraju spadek zużycia nośników energetycznych może wskazywać na udział w strukturze gospodarczej energochłonnych gałęzi przemysłu. Zużycie energii elektrycznej jednakowo jest opisane przez modele z różnych okresów. Oznacza to niezmienną strukturę zużycia i tym samym brak poprawy w jej wykorzystaniu, czyli dużą elektrochłonność przemysłu. Porównanie modeli zużycia węgla kamiennego wskazuje na niezmienną strukturę wykorzystania tego paliwa. Modele zużycia gazu ziemnego wskazują na zmianę w sposobie gospodarowania tym nośnikiem i lepsze wykorzystanie w procesach przemysłowych. Natomiast modele

Tabela 7.9. Zużycie gazu ziemnego przez przemysł w makroregionie (model A)

Table 7.9. Natural gas consumption by macroregional industry (model A)

	$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3$	$Y = a_0 + a_1X_1 + a_3X_3$	$Y = a_0 + a_2X_2 + a_3X_3$
a_0	459135,352	340780,313	271416,627
$S_{(a0)}$	208587,8396	49858,1611	132663,6294
t_0	2,2012	6,835	2,0459
a_1	-2,464	-1,331	
$S_{(a1)}$	2,1619	0,8961	
t_1	1,1396	1,4853	
a_2	-0,3		0,218
$S_{(a2)}$	0,5105		0,2398
t_2	5878		0,911
a_3	176,152	115,822	27,551
$S_{(a3)}$	143,205	91,3409	61,3761
t_3	1,2301	1,268	0,4489
F	0,7303	1,1032	0,4151
wsp. wyr. W	0,014	0,015	0,017
wsp. determ. R^2	0,4221	0,3555	0,1719
Wartość modelu	$Y = 459135,352 - 2,464X_1 - 0,3X_2 + 176,152X_3$	$Y = 340780,313 - 1,331X_1 + 115,822X_3$	$Y = 271416,627 + 0,218X_2 + 27,551X_3$
Funkcja trendu	$Y = 389553,484 - 1303,16t$	$Y = 390279,246 - 1491,851t$	
wsp. wyr. W	0,012	0,010	
wsp. determ. R^2	0,310	0,482	



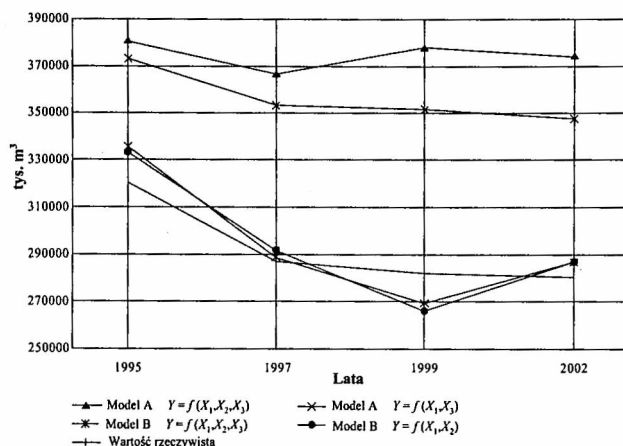
Rys. 7.17. Zużycie energii elektrycznej przez przemysł w makroregionie

Fig. 7.17. Electric energy consumption by macroregional industry

Tabela 7.10. Zużycie gazu ziemnego przez przemysł w makroregionie (model B)

Table 7.10. Natural gas consumption by macroregional industry (model B)

	$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3$	$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2$	$Y = a_0 + a_1X_1 + a_3X_3$
a_0	185175,335	152424,915	145497,692
$S_{(a_0)}$	221191,1602	68026,0872	74501,4468
t_0	0,8372	2,2407	1,953
a_1	4,03	5,131	4,424
$S_{(a_1)}$	7,7505	2,7768	5,4139
t_1	0,52	1,8477	0,8172
a_2	-0,182	-0,082	
$S_{(a_2)}$	0,8991	0,4703	
t_2	0,2028	0,1736	
a_3	67,913		10,477
$S_{(a_3)}$	414,2782		218,1858
t_3	0,1639		0,048
F	3,9252	11,4414	11,2708
wsp. wyr. W	0,033	0,034	0,034
wsp. determ. R^2	0,9217	0,9196	0,9185
Wartość modelu	$Y = 185175,335 + 4,03X_1 + 0,182X_2 + 67,913X_3$	$Y = 152424,915 + 5,131X_1 + 0,082X_2$	$Y = 145497,692 + 4,424X_1 + 10,477X_3$
Funkcja trendu	$Y = 374928,863 - 21997,011t$	$Y = 374765,651 - 22013,363t$	
wsp. wyr. W	0,033	0,033	
wsp. determ. R^2	0,872	0,862	



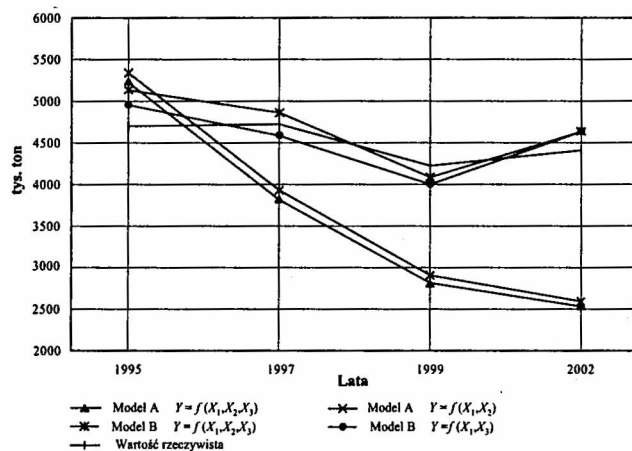
Rys. 7.18. Zużycie gazu ziemnego przez przemysł w makroregionie

Fig. 7.18. Natural gas consumption by macroregional industry

Tabela 7.11. Zużycie węgla kamiennego przez przemysł w makroregionie (model A)

Table 7.11. Hard coal consumption by macroregional industry (model A)

	$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3$	$Y = a_0 + a_1X_1 + a_3X_3$	$Y = a_0 + a_2X_2 + a_3X_3$
a_0	-4663,166	-4882,093	-2828,637
$S_{(a0)}$	5367,6547	3964,1953	2939,6020
t_0	0,8688	1,2315	0,9623
a_1	0,024	0,028	
$S_{(a1)}$	0,0556	0,0199	
t_1	0,4328	1,4055	
a_2	0,024	0,025	0,019
$S_{(a2)}$	0,0131	0,0079	0,0053
t_2	1,8555	3,1613	3,6328
a_3	0,287		1,739
$S_{(a3)}$	3,6851		1,36
t_3	0,0779		1,2789
F	3,6811	7,3434	6,8121
wsp. wyr. W	0,022	0,022	0,022
wsp. determ. R^2	0,7864	0,7859	0,773
Wartość modelu	$Y = -4663,166 + 0,024X_1 + 0,024X_2 + 0,287X_3$	$Y = -4882,093 + 0,028X_1 + 0,025X_2$	$Y = -2828,637 + 0,019X_2 + 1,739X_3$
Funkcja trendu	$Y = 6814,646 - 104,536t$	$Y = 6933,254 - 106,343t$	
wsp. wyr. W	0,030	0,030	
wsp. determ. R^2	0,621	0,625	



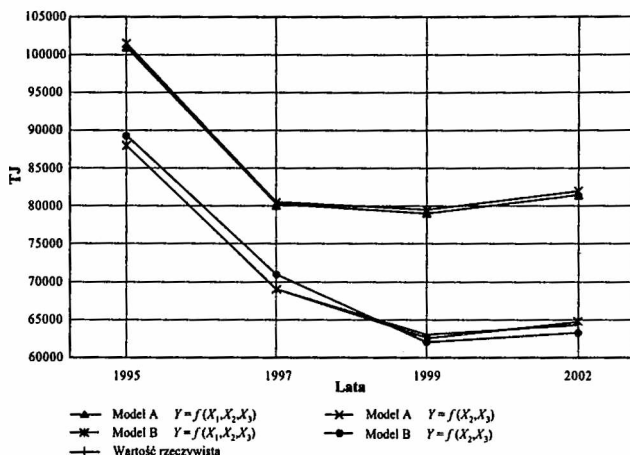
Rys. 7.19. Zużycie węgla kamiennego przez przemysł w makroregionie.

Fig. 7.19. Hard coal consumption by macroregional industry

Tabela 7.12. Zużycie węgla kamiennego przez przemysł w makroregionie (model B)

Table 7.12. Hard coal consumption by macroregional industry (model B)

	$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3$	$Y = a_0 + a_1X_1 + a_3X_3$	$Y = a_0 + a_2X_2 + a_3X_3$
a_0	-850,487	2588,682	859,909
$S_{(a0)}$	4213,2555	1713,418	1523,3865
t_0	0,1912	1,5108	0,5645
a_1	0,201	0,087	0,184
$S_{(a1)}$	0,1476	0,0699	0,1107
t_1	1,3616	1,2437	1,666
a_2	0,008	-0,003	
$S_{(a2)}$	0,0171	0,0118	
t_2	0,447	0,2352	
a_3	-7,038		-4,628
$S_{(a3)}$	7,8912		4,4614
t_3	0,8919		1,0372
F	2,8046	4,2429	6,8463
wsp. wyr. W	0,041	0,055	0,045
wsp. determ. R^2	0,8938	0,8093	0,8726
Wartość modelu	$Y = -805,487 + 0,201X_1 + 0,008X_2 - 7,038X_3$	$Y = 2588,682 + 0,087X_1 - 0,003X_2$	$Y = 859,909 + 0,184X_1 - 4,628X_3$
Funkcja trendu	$Y = 5935,162 - 344,386t$		$Y = 5709,407 - 311,775t$
wsp. wyr. W	0,082		0,091
wsp. determ. R^2	0,708		0,631



Rys. 7.20. Zużycie gazu ziemnego w przemyśle chemicznym w makroregionie

Fig. 7.20. Natural gas consumption by macroregional chemical industry

Tabela 7.13. Zużycie gazu ziemnego w przemyśle chemicznym w makroregionie (model A)

Table 7.13. Natural gas consumption by macroregional chemical industry (model A)

	$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3$	$Y = a_0 + a_1X_1 + a_3X_3$	$Y = a_0 + a_2X_2 + a_3X_3$
a_0	94013,502	44138,561	94224,514
$S_{(a0)}$	39652,6685	26089,2693	25090,8191
t_0	2,3709	1,6961	3,7553
a_1	0,008	0,427	
$S_{(a1)}$	0,6445	0,7281	
t_1	0,0119	0,587	
a_2	-0,266		-0,267
$S_{(a2)}$	0,1802		0,1143
t_2	1,4737		2,3315
a_3	0,097	0,039	0,098
$S_{(a3)}$	0,0553	0,0489	0,0231
t_3	1,7597	0,8036	4,244
F	3,0827	2,2309	9,2466
wsp. wyr. W	0,02	0,035	0,02
wsp. determ. R^2	0,9024	0,6905	0,9024
Wartość modelu	$Y = 94013,502 + 0,008X_1 + 0,266X_2 + 0,097X_3$	$Y = 44138,561 + 0,427X_1 + 0,039X_3$	$Y = 94224,514 - 0,267X_2 + 0,098X_3$
Funkcja trendu	$Y = 86263,941 + 3922,28t$		$Y = 86586,475 + 3935,669t$
wsp. wyr. W	0,027		0,027
wsp. determ. R^2	0,879		0,876

z dwiema i trzema zmiennymi objaśniającymi w sposób wystarczający opisują zmienną objaśnianą.

Prognozę zużycia nośników energii wyznaczono w oparciu o określone modele. Zaproponowano metodę badań polegającą na porównaniu wszystkich otrzymanych funkcji trendu. Rezultaty otrzymanych wyników przedstawiają przykłady zamieszczone między innymi w tabelach 7.15–7.17 i na rysunkach 7.21–7.23.

Za najbardziej prawdopodobną prognozę ilości zużycia energii przyjęto uśredniony model. Założeniem takiego postępowania jest konieczność częściowej eliminacji niekorzystnych trendów w gospodarce narodowej okresu „przejściowego” lat 1989–1993, który charakteryzował się spadkiem obserwowanych wielkości w kraju i w badanym makroregionie. Prognozy zużycia nośników energetycznych w przemyśle dolnośląskim wykazują tendencję spadkową, jest to jednak prognoza minimum. Założono, że gdyby nie nastąpiły zmiany w systemie gospodarczym, to rozwój przemysłu następowałby zgodnie z funkcją

Tabela 7.14. Zużycie gazu ziemnego w przemyśle chemicznym w makroregionie (model B)

Table 7.14. Natural gas consumption by macroregional chemical industry (model B)

	$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3$	$Y = a_0 + a_1X_1 + a_3X_3$	$Y = a_0 + a_2X_2 + a_3X_3$
a_0	-38260,701	8868,293	-29045,517
$S_{(a0)}$	6878,7583	5905,9868	2511,4994
t_0	5,5622	1,5016	1,1566
a_1	-0,345	-0,228	
$S_{(a1)}$	0,0658	0,316	
t_1	5,2457	0,7223	
a_2	0,246		0,198
$S_{(a2)}$	0,0353		0,1289
t_2	6,956		1,5385
a_3	0,11	0,125	0,09
$S_{(a3)}$	0,0053	0,0241	0,0138
t_3	20,9172	5,1893	6,546
F	1198,3453	71,8156	125,0993
wsp. wyr. W	0,003	0,024	0,018
wsp. determ. R^2	0,9997	0,9863	0,9921
Wartość modelu	$Y = -38260,701 - 0,345X_1 + 0,246X_2 + 0,11X_3$	$Y = 8868,293 - 0,228X_1 + 0,125X_3$	$Y = -29045,517 + 0,198X_2 + 0,09X_3$
Funkcja trendu	$Y = 108804,126 - 10373,106t$		$Y = 109200,844 - 10577,626t$
wsp. wyr. W	0,102		0,086
wsp. determ. R^2	0,85		0,893

Tabela 7.15. Prognoza zużycia energii elektrycznej przez przemysł w makroregionie w GWh

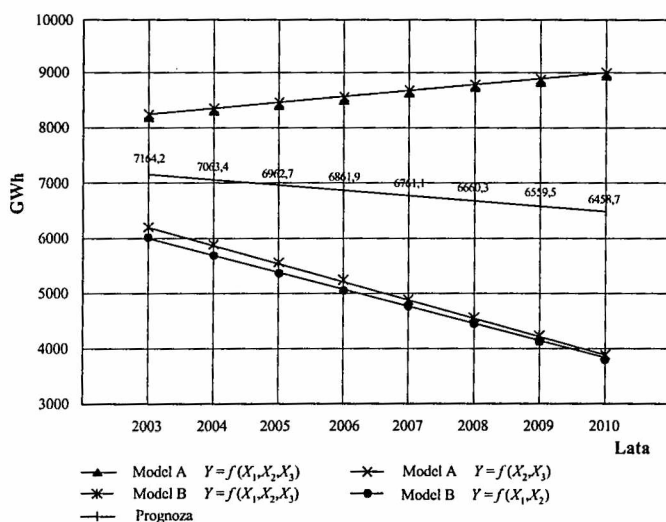
Table 7.15. Forecast of electric energy consumption by macroregional industry in GWh

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Model A $Y=f(X_1, X_2, X_3)$	8231,4	8341,0	8450,6	8560,3	8669,9	8779,6	8889,2	8998,9
Model A $Y=f(X_2, X_3)$	8236,8	8348,1	8459,5	8570,9	8682,2	8793,6	8905,0	9016,3
Model B $Y=f(X_1, X_2, X_3)$	6187,9	5864,8	5541,7	5218,6	4895,5	4572,4	4249,3	3926,2
Model B $Y=f(X_1, X_2)$	6000,9	5699,8	5398,8	5097,7	4796,6	4495,6	4194,5	3893,5
Prognoza	7164,2	7063,4	6962,7	6861,9	6761,1	6660,3	6559,5	6458,7

Tabela 7.16. Prognoza zużycia gazu ziemnego przez przemysł w makroregionie w tys. m³Table 7.16. Forecast of natural gas consumption by macroregional industry in thousands of m³

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Model A $Y=f(X_1, X_2, X_3)$	375218,6	373915,5	372612,3	371309,1	370006,0	368702,8	367399,6	366096,5
Model A $Y=f(X_1, X_3)$	373868,9	372377,0	370885,2	369393,3	367901,5	366409,6	364917,8	363425,9
Model B $Y=f(X_1, X_2, X_3)$	264943,8	242946,8	220949,8	198952,8	176955,8	154958,8	132961,7	110964,7
Model B $Y=f(X_1, X_2)$	264698,8	242685,5	220672,1	198658,7	176645,4	154632,0	132618,7	110605,3
Prognoza	319682,5	307981,2	296279,8	284578,5	272877,1	261175,8	249474,5	237773,1

trendu z lat 1983–1993. Prognozę zużycia energii w przemyśle należy zatem traktować jedynie porównawczo na uśrednionym poziomie prognoz opracowanych na podstawie modelu z okresu od 1983 do 1993 roku (wariant maksymalny) i modelu z lat 1993–2002 (wariant minimalny). Dokładna analiza i prognozowanie zużycia energii w sektorach

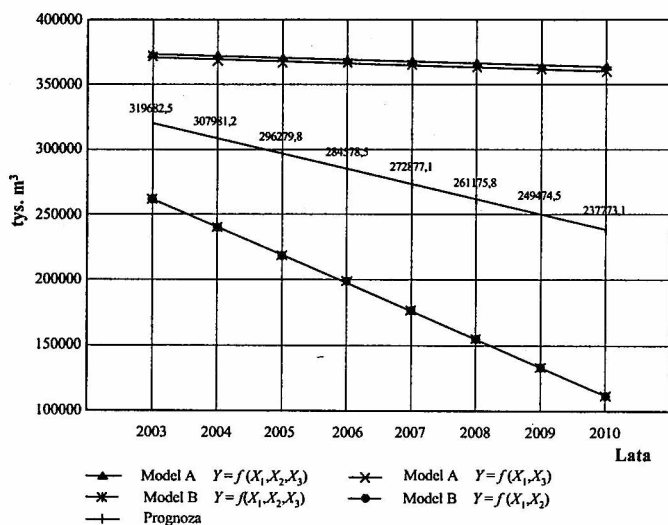


Rys. 7.21. Prognoza zużycia energii elektrycznej przez przemysł w makroregionie

Fig. 7.21. Forecast of electric energy consumption by macroregional industry

Tabela 7.17. Prognoza zużycia węgla kamiennego przez przemysł w makroregionie w [tys. t]
 Table 7.17. Forecast of hard coal consumption by macroregional industry [thousands of tons]

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Model A $Y=f(X_1, X_2, X_3)$	5664,8	5560,2	5455,7	5351,1	5246,6	5142,1	5037,5	4933,0
Model A $Y=f(X_1, X_2)$	5763,5	5657,1	5550,8	5444,5	5338,1	5231,8	5125,4	5019,1
Model B $Y=f(X_1, X_2, X_3)$	4213,2	3868,8	3524,5	3180,1	2835,7	2491,3	2146,9	1802,5
Model B $Y=f(X_1, X_3)$	4150,5	3838,8	3527,0	3215,2	2903,4	2591,7	2279,9	1968,1
Prognoza	4948,0	4731,2	4514,5	4297,7	4081,0	3864,2	3647,4	3430,7



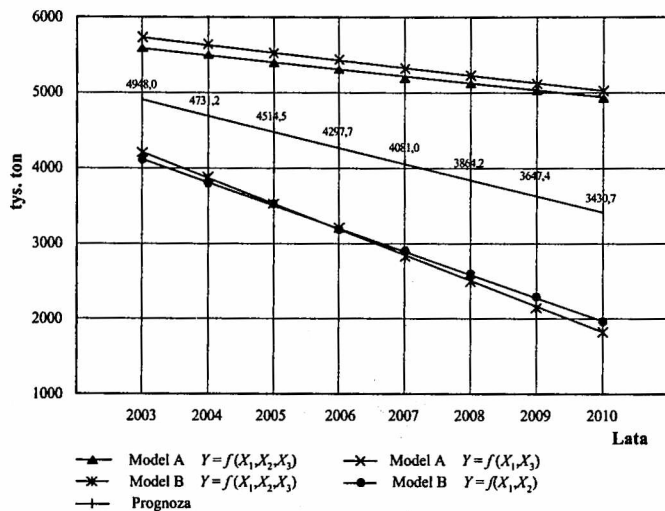
Rys. 7.22. Prognoza zużycia gazu ziemnego przez przemysł w makroregionie

Fig. 7.22. Forecast of natural gas consumption by macroregional industry

gospodarki narodowej jest możliwa przy jednolitym systemie gromadzenia informacji. Obecnie dane te są opracowane według innego systemu niż w latach 1983–1993. Prezentowane modele i procedura prognozowania zostały opracowane przy przyjęciu założeń odpowiadających procesom zachodzącym w gospodarce narodowej.

7.4. Analiza porównawcza

Na podstawie zebranych danych statystycznych i własnych oszacowań cząstkowych autorka przeprowadziła analizę porównawczą zużycia energii w poszczególnych gałęziach przemysłu w kraju, w ciągu 10 lat, to jest w okresie od 1993 do 2002 roku. W pierwszym etapie poddano badaniom 26 gałęzi przemysłu (rys. 7.24, 7.26, 7.28, 7.30, 7.32, 7.34), zgodnie z oznaczeniami: 1 – przemysł górniczy, 2 – spożywczy, 3 – tytoniowy, 4 – włókienniczy, 5 – odzieżowy, 6 – skórzaný, 7 – drzewny, 8 – celulozowo-



Rys. 7.23. Prognoza zużycia węgla kamiennego przez przemysł w makroregionie

Fig. 7.23. Forecast of hard coal consumption by macroregional industry

-papierniczy, 9 – wydawniczy i poligraficzny, 10 – koksoowniczy i ropy naftowej, 11 – chemiczny, 12 – gumy i tworzyw sztucznych, 13 – pozostałych surowców niemetalicznych, 14 – metalurgiczny, 15 – wyrobów z metali, 16 – maszynowy, 17 – maszyn biurowych, 18 – maszyn i aparatury elektronicznej, 19 – aparatury radiowej, telewizyjnej i komunikacyjnej, 20 – instrumentów medycznych i precyzyjny, 21 – pojazdów mechanicznych i przyczep, 22 – pozostałego sprzętu transportowego, 23 – metali innych, 24 – zagospodarowania odpadami, 25 – energetyczny, 26 – wodny.

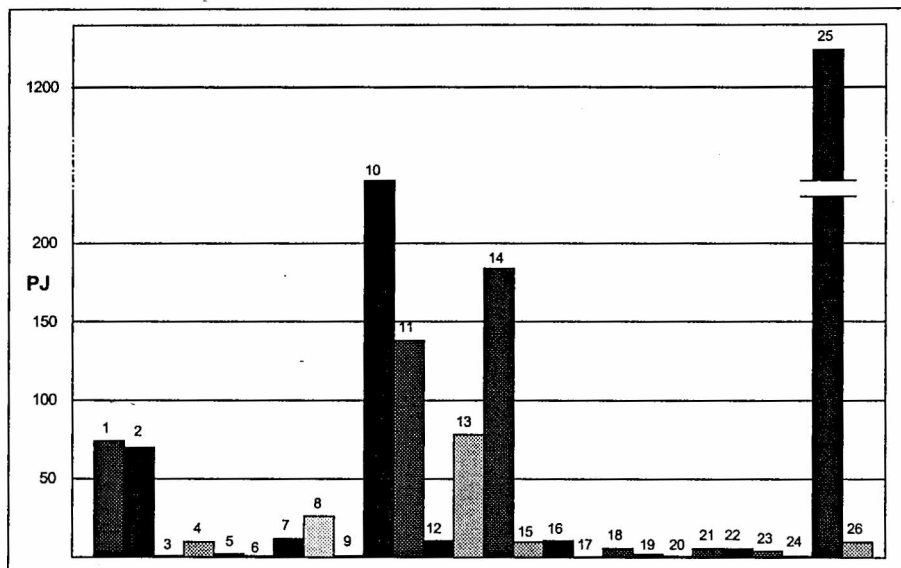
W drugim etapie spośród 26 wybrano 7 gałęzi o znaczącej wielkości zużycia energii (rys. 7.25, 7.27, 7.29, 7.31, 7.33, 7.35), zgodnie z oznaczeniami: 1 – przemysł górniczy, 2 – spożywczy, 3 – koksoowniczy i ropy naftowej, 4 – chemiczny, 5 – pozostałych surowców niemetalicznych, 6 – metalurgiczny, 7 – energetyczny.

Analizowano zużycie energii całkowitej, energii elektrycznej, węgla kamiennego, koksu i półkoksu, gazu ziemnego wysokometanowego i gazu ziemnego zaazotowanego przez sektor przemysłowy w kraju w 2002 roku.

Cennym źródłem informacji o zmianach poziomu zużycia poszczególnych nośników energii w wybranych gałęziach przemysłu jest analiza porównawcza w badanym okresie, to jest dla lat 1993 i 2002 (rys. 7.36–7.40).

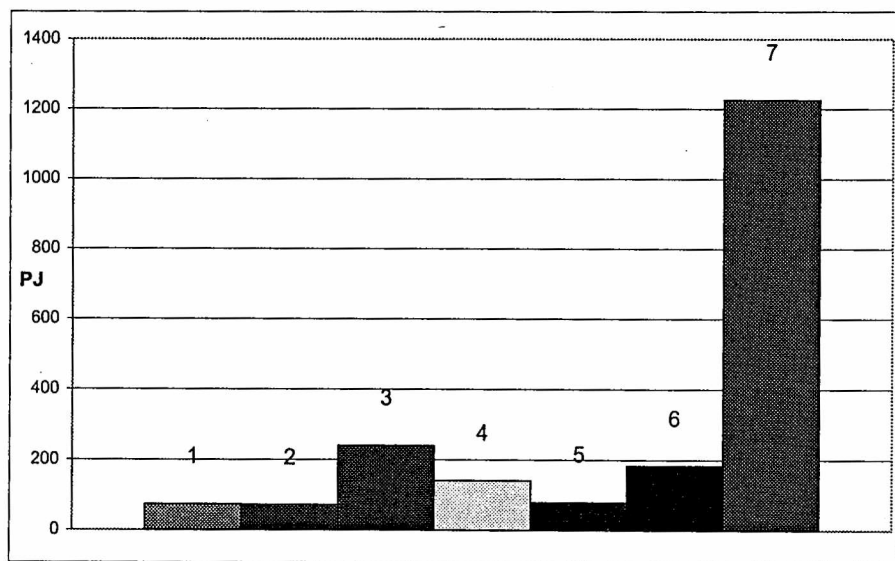
Strukturę zużycia poszczególnych nośników energetycznych w 2002 roku w sektorze przemysłowym oraz w trzech wyróżnionych gałęziach przedstawiono na rys. 7.41 i 7.42.

Na rysunkach 7.43 i 7.44 pokazano kształtowanie potrzeb energetycznych przez przemysł na przestrzeni 10 lat, to jest dla okresu od 1993 do 2002 roku.



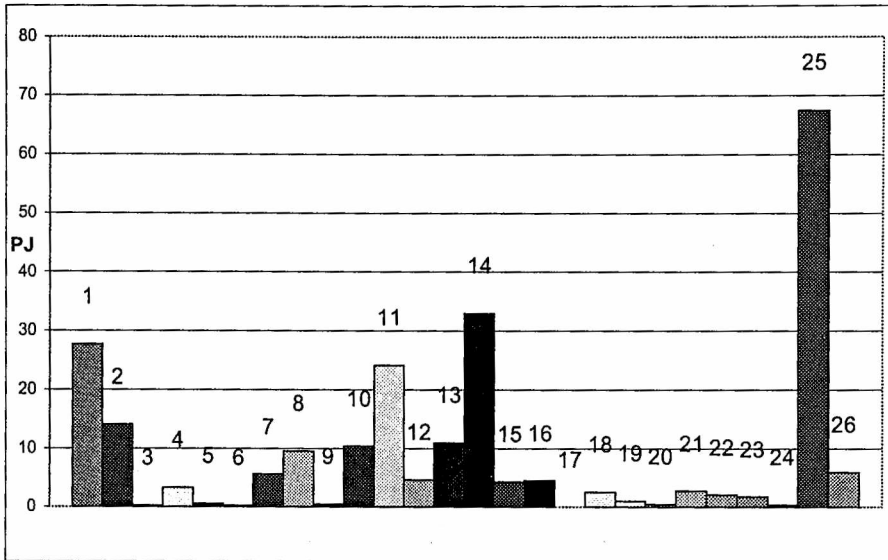
Rys. 7.24. Całkowite zużycie energii w poszczególnych gałęziach przemysłu w 2002 roku

Fig. 7.24. Total energy consumption in particular industrial branches in 2002

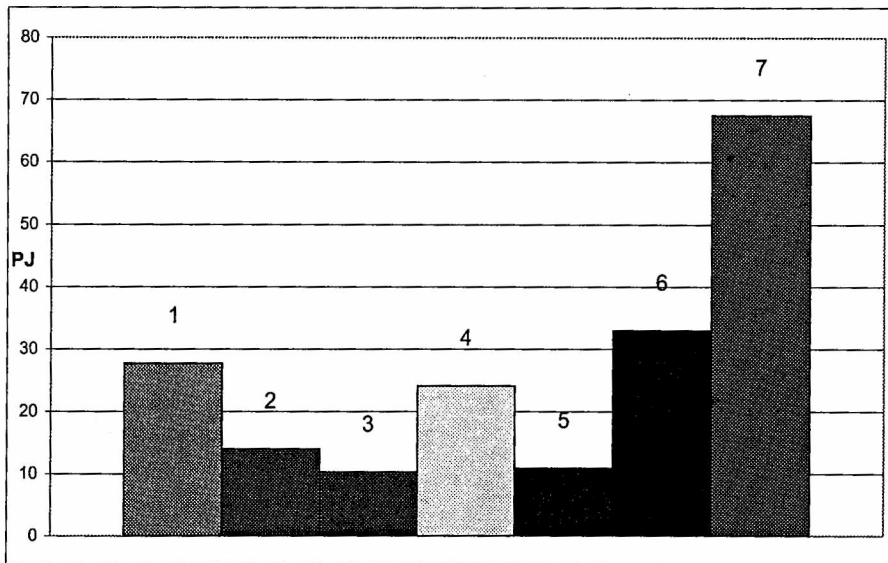


Rys. 7.25. Całkowite zużycie energii w wybranych gałęziach przemysłu w 2002 roku

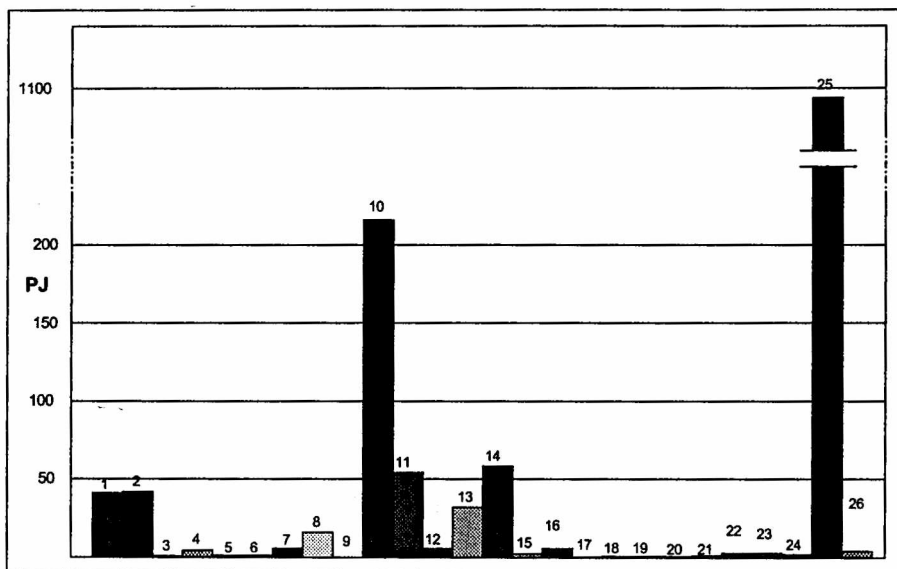
Fig. 7.25. Total energy consumption in chosen industrial branches in 2002



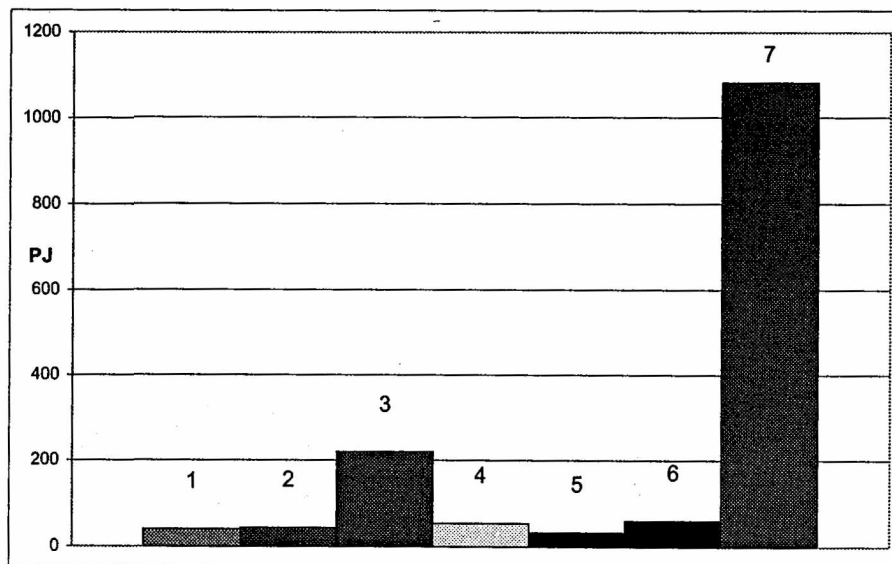
Rys. 7.26. Zużycie energii elektrycznej w poszczególnych gałęziach przemysłu w 2002 roku
 Fig. 7.26. Electric energy consumption in particular industrial branches in 2002



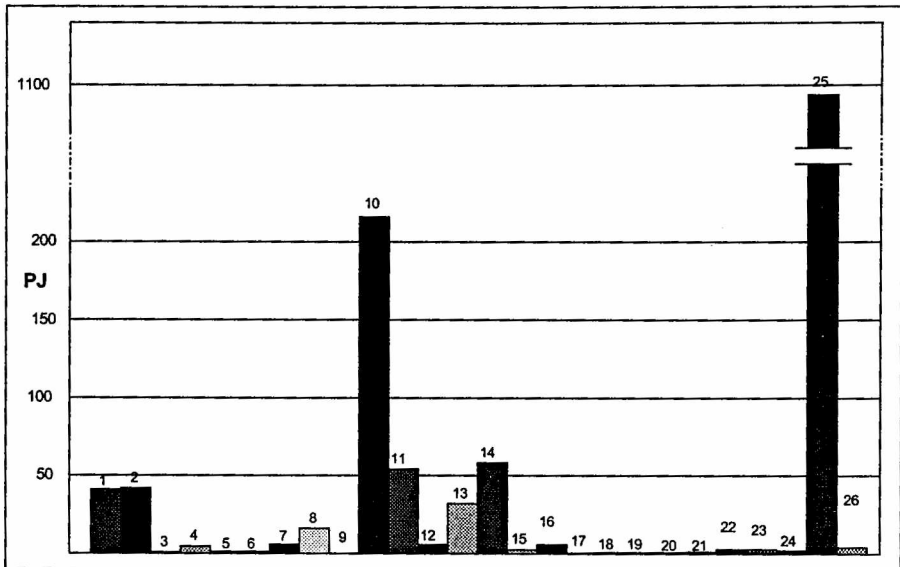
Rys. 7.27. Zużycie energii elektrycznej w wybranych gałęziach przemysłu w 2002 roku
 Fig. 7.27. Electric energy consumption in chosen industrial branches in 2002



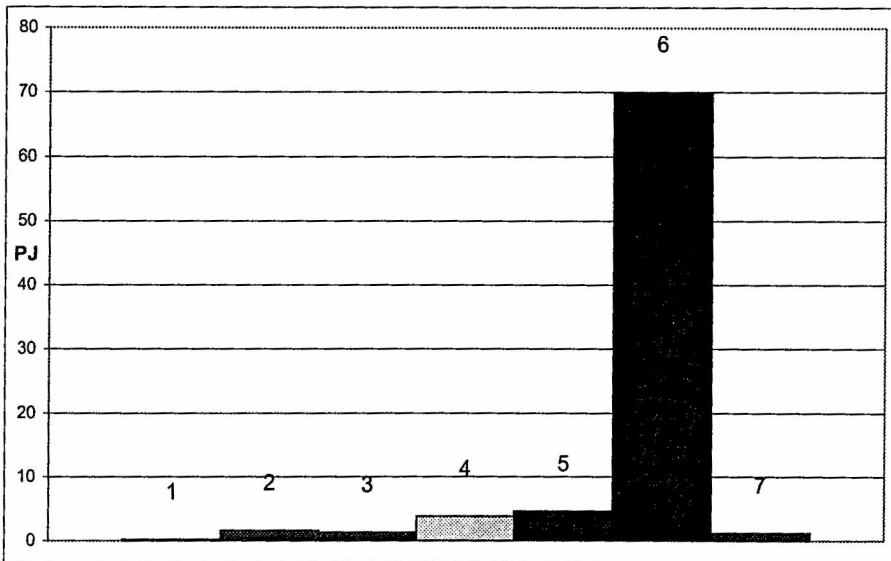
Rys. 7.28. Zużycie węgla kamiennego w poszczególnych gałęziach przemysłu w 2002 roku
 Fig. 7.28. Hard coal consumption in particular industrial branches in 2002



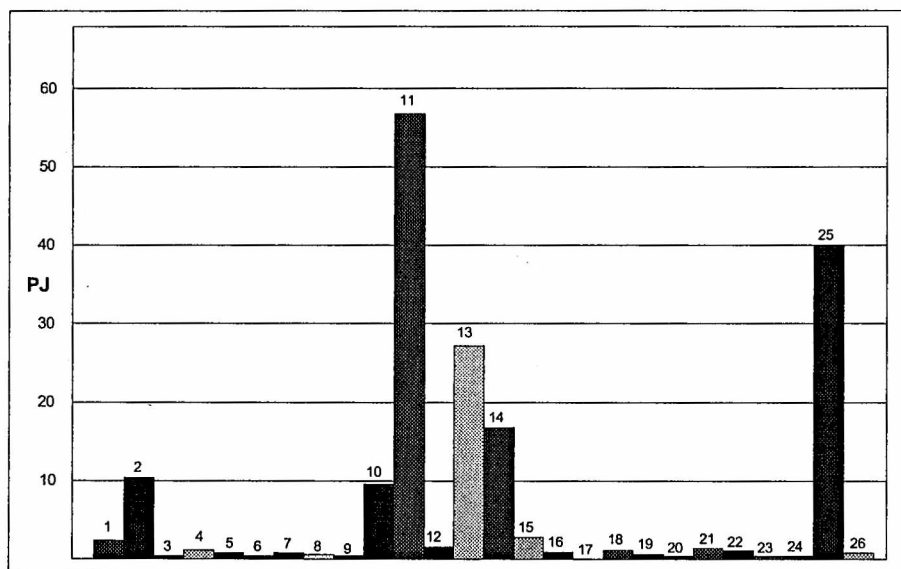
Rys. 7.29. Zużycie węgla kamiennego w wybranych gałęziach przemysłu w 2002 roku
 Fig. 7.29. Hard coal consumption in chosen industrial branches in 2002



Rys. 7.30. Analiza zużycia koksu i półkoksu w poszczególnych gałęziach przemysłu w 2002 roku
 Fig. 7.30. Coke and semi-coke consumption in particular industrial branches in 2002

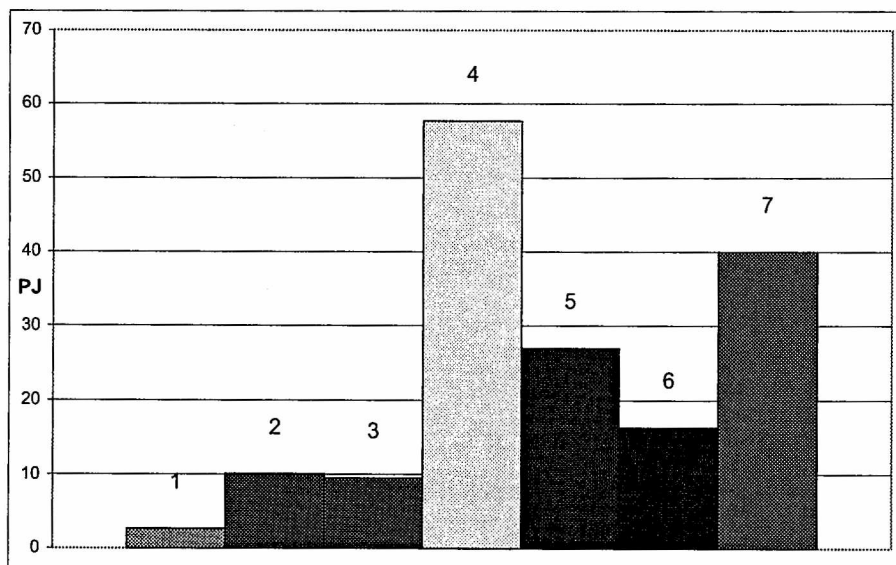


Rys. 7.31. Analiza zużycia koksu i półkoksu w wybranych gałęziach przemysłu w 2002 roku
 Fig. 7.31. Coke and semi-coke consumption in chosen industrial branches in 2002



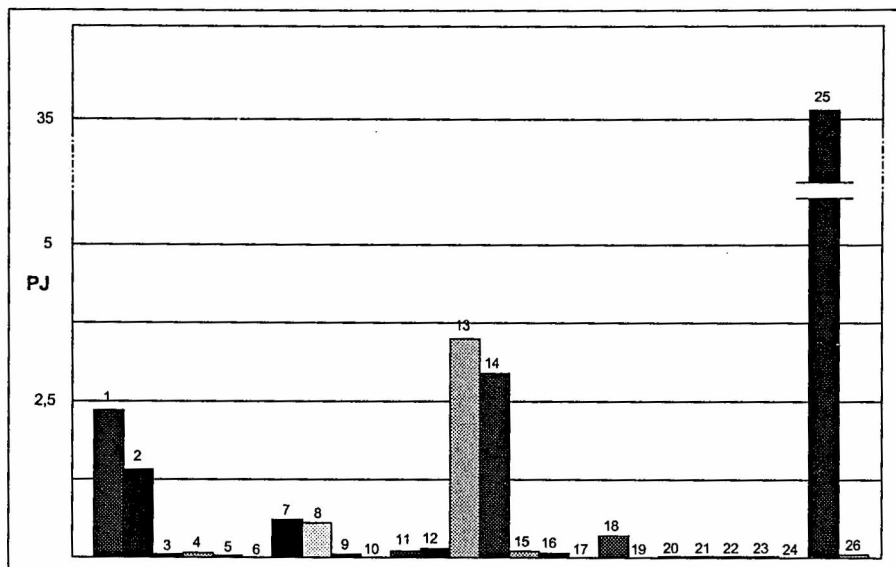
Rys. 7.32. Zużycie gazu ziemnego wysokometanowego
w poszczególnych gałęziach przemysłu w 2002 roku

Fig. 7.32. Consumption of natural gas of high methane content
in particular industrial branches in 2002



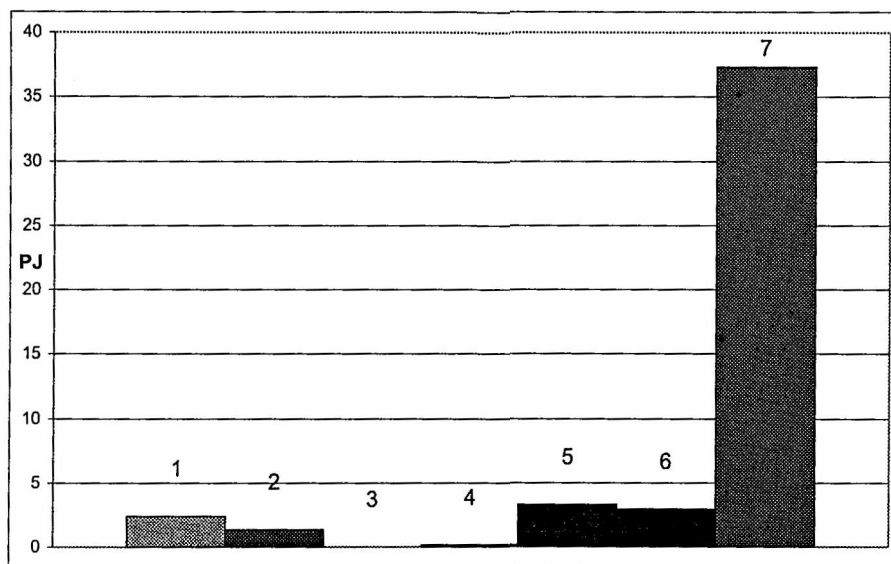
Rys. 7.33. Zużycie gazu ziemnego wysokometanowego
w wybranych gałęziach przemysłu w 2002 roku

Fig. 7.33. Consumption of natural gas of high methane content
in chosen industrial branches in 2002



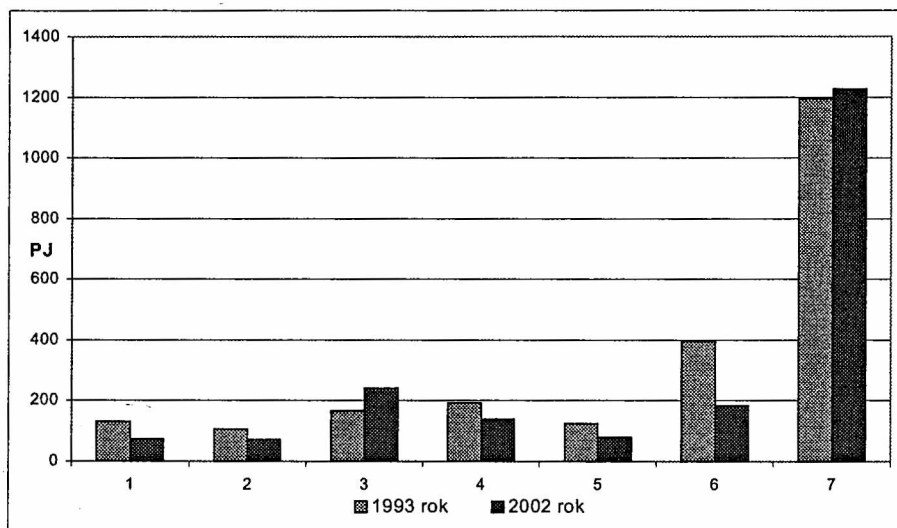
Rys. 7.34. Zużycie gazu ziemnego zaazotowanego
w poszczególnych gałęziach przemysłu w 2002 roku

Fig. 7.34. Natural nitrided gas consumption in particular industrial branches in 2002



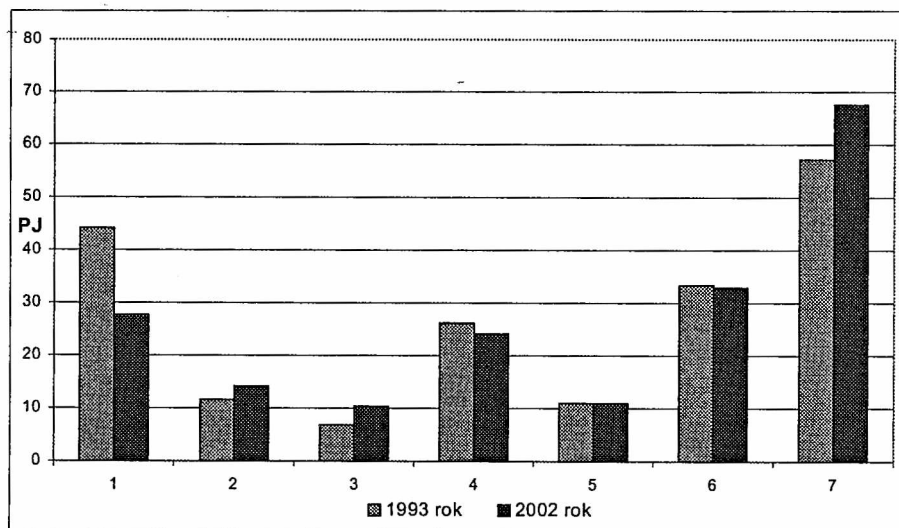
Rys. 7.35. Zużycie gazu ziemnego zaazotowanego
w wybranych gałęziach przemysłu w 2002 roku

Fig. 7.35. Natural nitrided gas consumption in chosen industrial branches in 2002



Rys. 7.36. Porównanie całkowitego zużycia energii w gałęziach przemysłu (1993 i 2002)

Fig. 7.36. Comparison of total energy consumption in industrial branches (1993 and 2002)

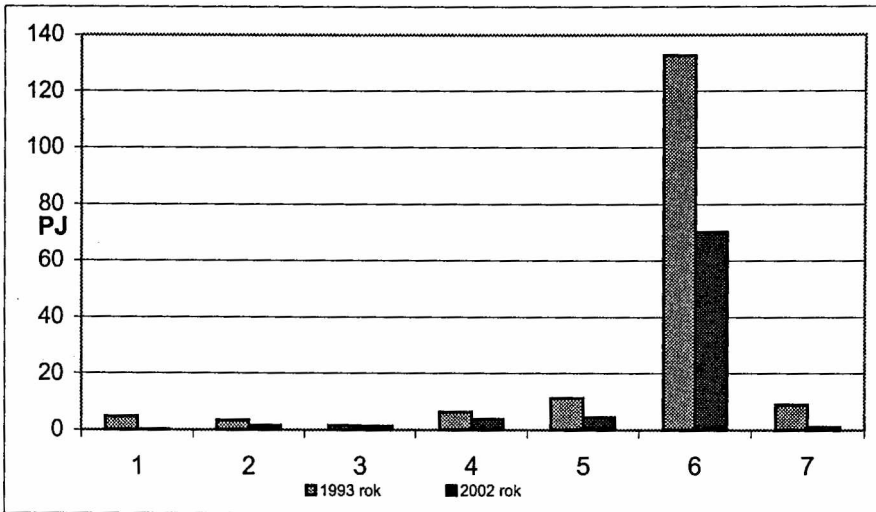


Rys. 7.37. Porównanie zużycia energii elektrycznej w gałęziach przemysłu (1993 i 2002)

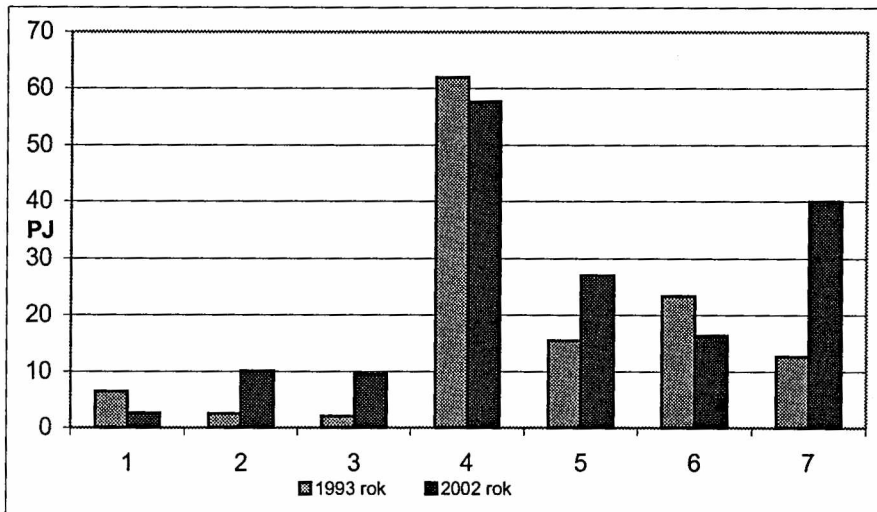
Fig. 7.37. Comparison of electric energy consumption in industrial branches (1993 and 2002)

Tendencje w kształtowaniu wielkości potrzeb energetycznych w badanym okresie w siedmiu wyróżnionych gałęziach pokazano na rys. 7.45–7.50.

Kolejnym etapem badań była analiza porównawcza zużycia poszczególnych nośników energetycznych dla lat 1993 i 2002 w siedmiu wyróżnionych gałęziach przemysłu (rys. 7.51–7.57).

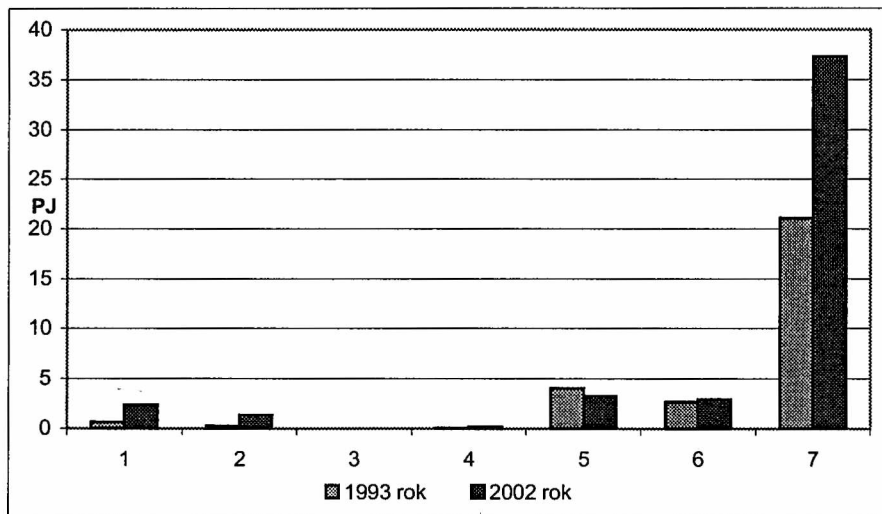


Rys. 7.38. Porównanie zużycia koksu i półkoksu w gałęziach przemysłu
 Fig. 7.38. Comparison coke and half-coke consumption in industrial branches



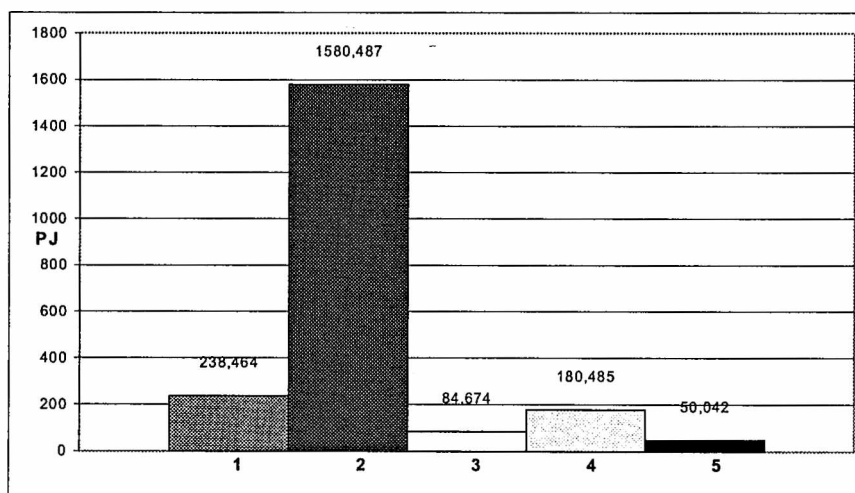
Rys. 7.39. Porównanie zużycia gazu ziemnego wysokometanowego w gałęziach przemysłu
 Fig. 7.39. Comparison of consumption of natural gas with high methane content in industrial branches

Z przeprowadzonych badań całkowitego zużycia energii w 26 gałęziach sektora przemysłowego w kraju (rys. 7.24) wynika, że znaczący udział w zapotrzebowaniu energii ma 7 gałęzi, a mianowicie: przemysł energetyczny, koksowniczy i ropy naftowej, metalurgiczny, chemiczny, pozostałych surowców niemetalicznych, górniczy i spożywczy.



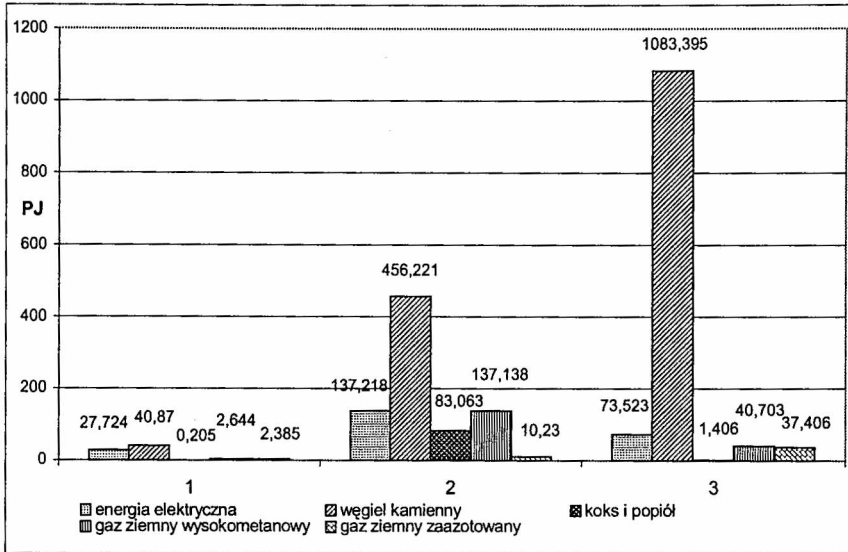
Rys. 7.40. Porównanie zużycia gazu ziemnego zaazotowanego w gałęziach przemysłu

Fig. 7.40. Comparison nitrated natural gas consumption in industrial branches



Rys. 7.41. Struktura zużycia poszczególnych nośników energii w 2002 roku: 1 – energia elektryczna, 2 – węgiel kamienny, 3 – koks i popiół, 4 – gaz ziemny wysokometanowy, 5 – gaz ziemny zaazotowany

Fig. 7.41. Pattern of particular power sources' consumption in 2002: 1 – electric energy, 2 – hard coal, 3 – coke and ash, 4 – natural gas with high methane content, 5 – nitrated natural gas

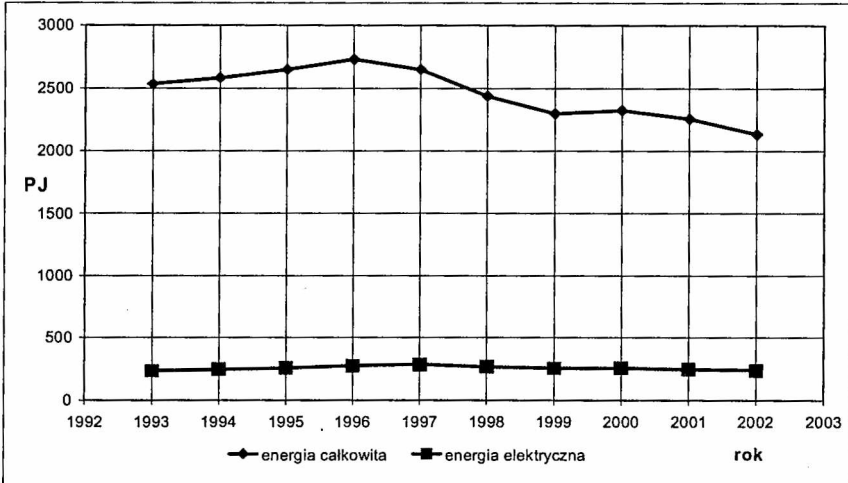


Rys. 7.42. Struktura zużycia poszczególnych nośników energii w gałęziach przemysłu w 2002 roku:

1 – przemysł górniczy, 2 – przemysł produkcyjny, 3 – przemysł energetyczny i wodny

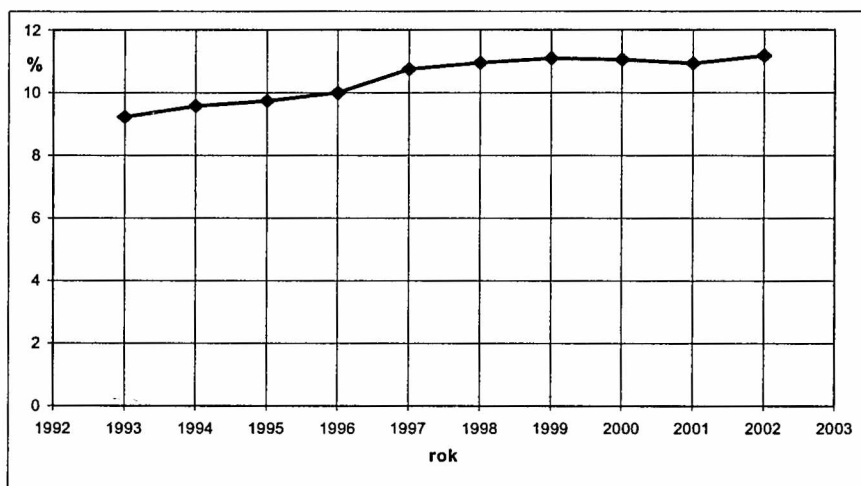
Fig. 7.42. Pattern of particular power sources' consumption in industrial branches in 2002:

1 – mining industry, 2 – manufacturing industry, 3 – power industry



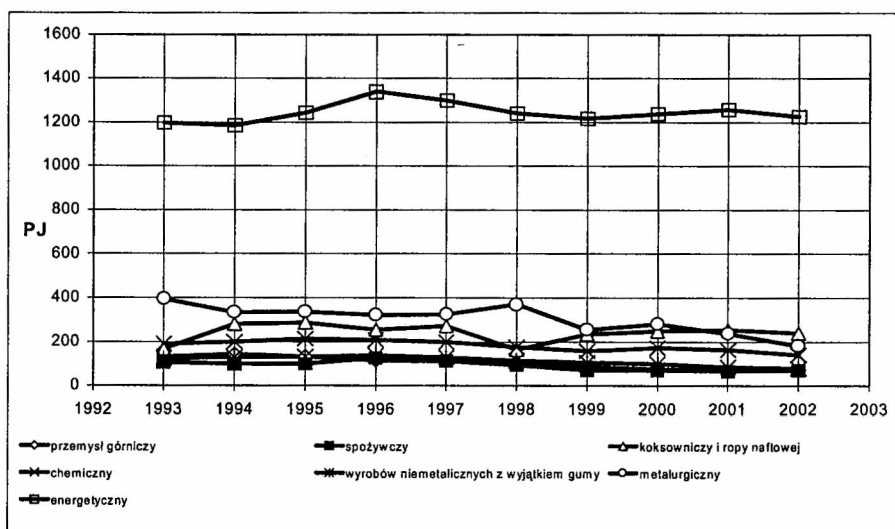
Rys. 7.43. Porównanie zużycia energii elektrycznej i całkowitego zużycia energii w przemyśle

Fig. 7.43. Comparison of electric energy and total energy consumption in industry



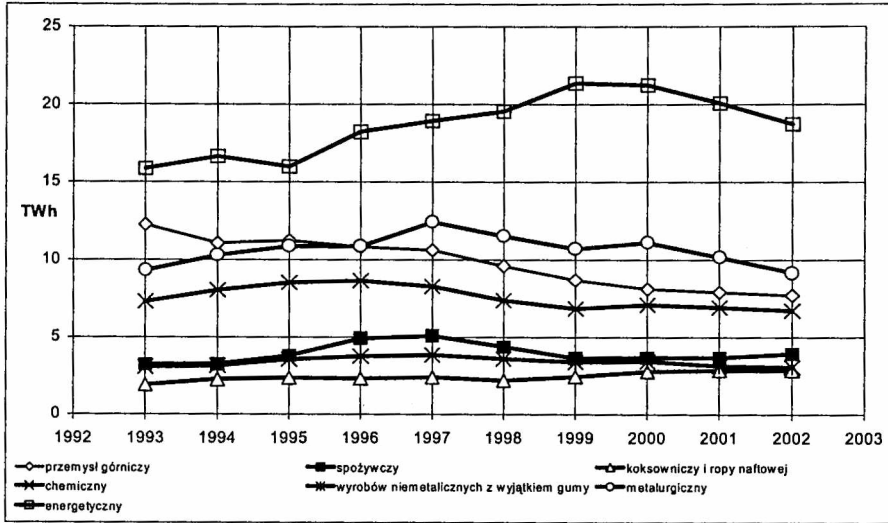
Rys. 7.44. Procentowe zużycie energii elektrycznej na tle całkowitego zużycia energii w przemyśle

Fig. 7.44. Percentage electric energy consumption compared to total energy consumption in industry



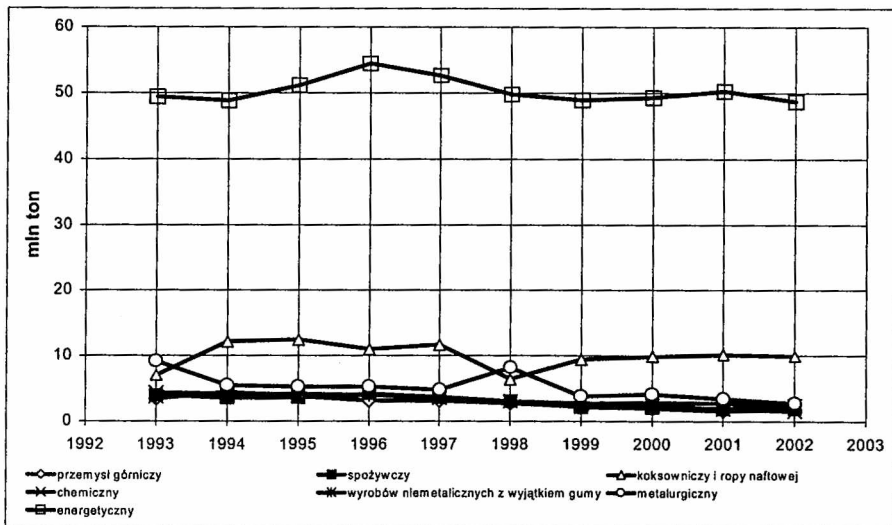
Rys. 7.45. Zużycie energii całkowitej w poszczególnych gałęziach przemysłu

Fig. 7.45. Total energy consumption in particular industrial branches



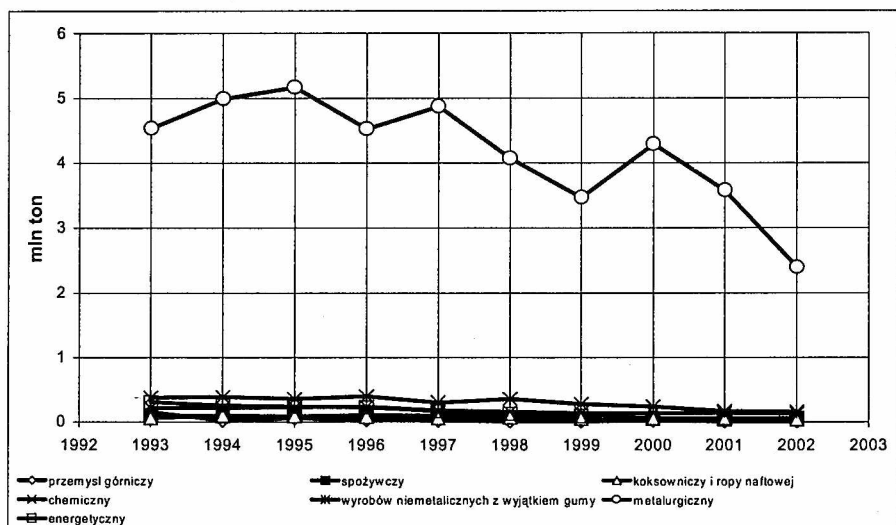
Rys. 7.46. Zużycie energii elektrycznej w poszczególnych gałęziach przemysłu

Fig. 7.46. Electric energy consumption in particular industrial branches



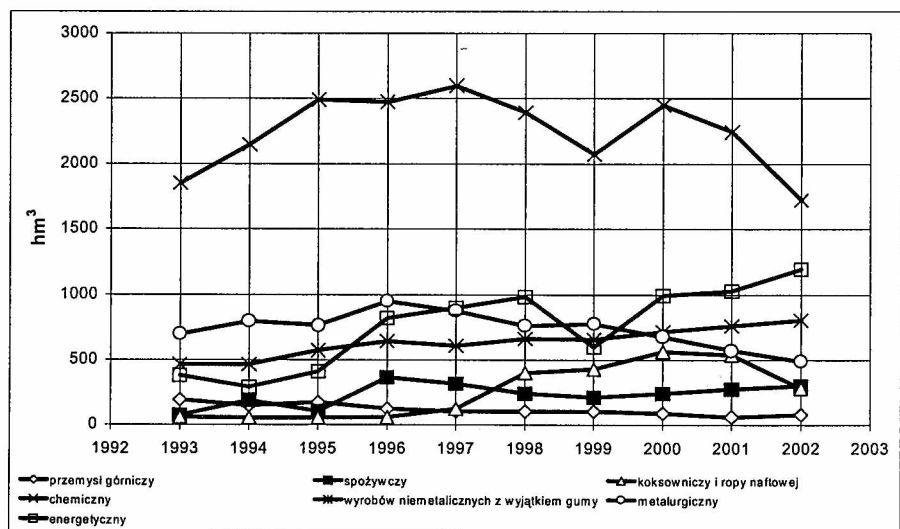
Rys. 7.47. Zużycie węgla kamiennego w poszczególnych gałęziach przemysłu

Fig. 7.47. Hard coal consumption in particular industrial branches



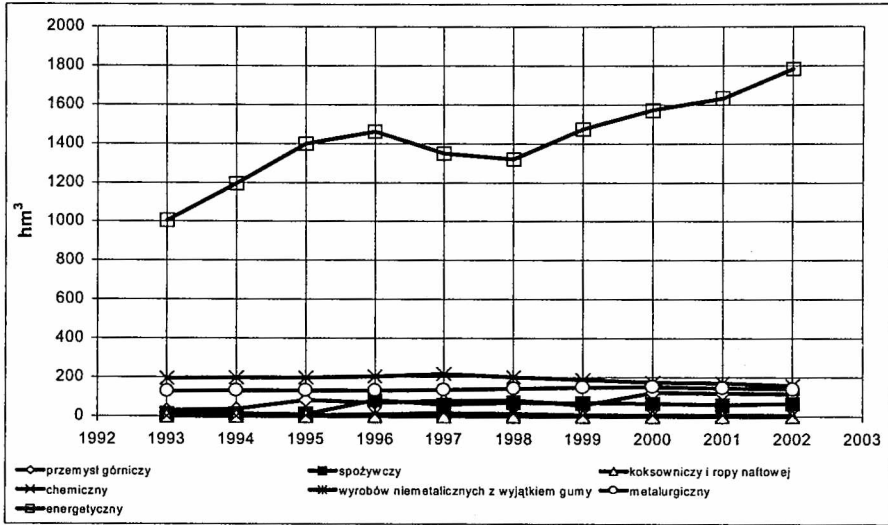
Rys. 7.48. Zużycie koksu i półkoksu w poszczególnych gałęziach przemysłu

Fig. 7.48. Coke and half-coke consumption in particular industrial branches

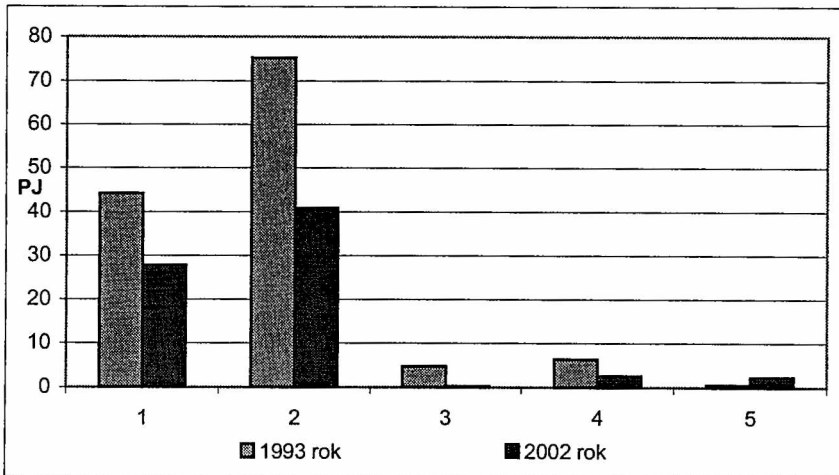


Rys. 7.49. Zużycie gazu ziemnego wysokometanowego w poszczególnych gałęziach przemysłu

Fig. 7.49. Consumption of natural gas with high methane content
in particular industrial branches

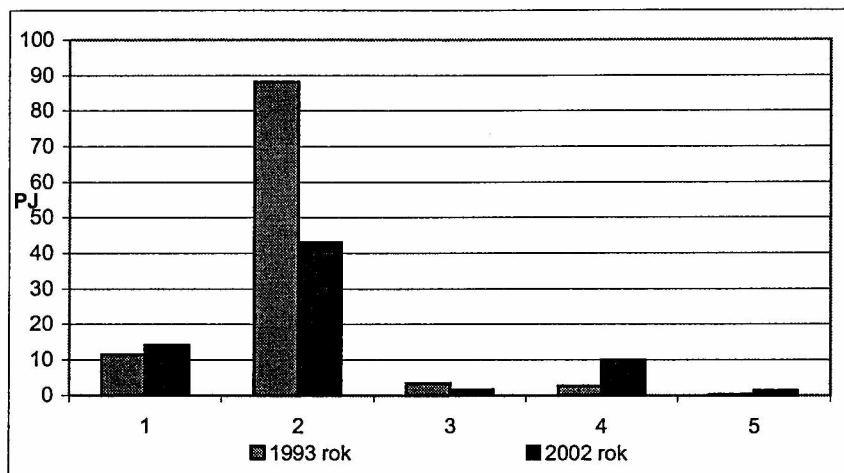


Rys. 7.50. Zużycie gazu ziemnego zaazotowanego w poszczególnych gałęziach przemysłu
 Fig. 7.50. Consumption of nitrated natural gas in particular industrial branches



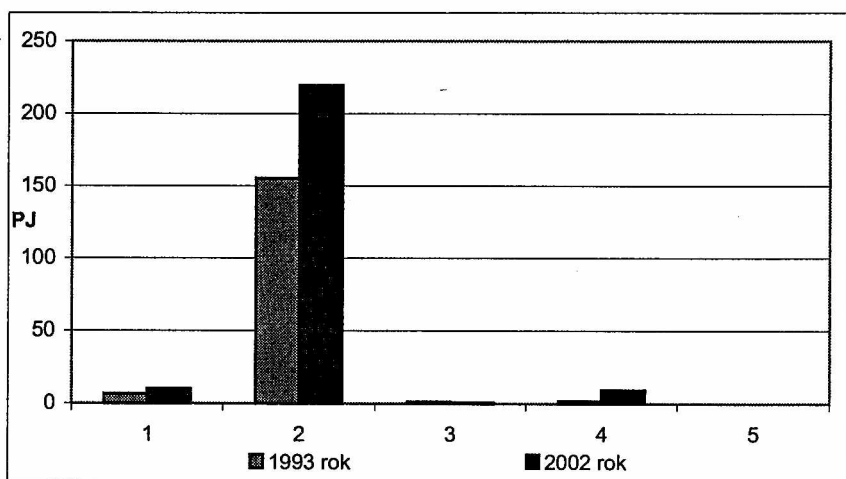
Rys. 7.51. Porównanie zużycia poszczególnych nośników energii w przemyśle górnym:
 1 – energia elektryczna, 2 – węgiel kamienny, 3 – koks i półkoks, 4 – gaz ziemny
 wysokometanowy, 5 – gaz ziemny zaazotowany

Fig. 7.51. Comparison of particular power sources' consumption in mining industry:
 1 – electric energy, 2 – hard coal, 3 – coke and half-coke, 4 – natural gas
 with high methane content, 5 – nitrated natural gas



Rys. 7.52. Porównanie zużycia poszczególnych nośników energii w przemyśle spożywczym

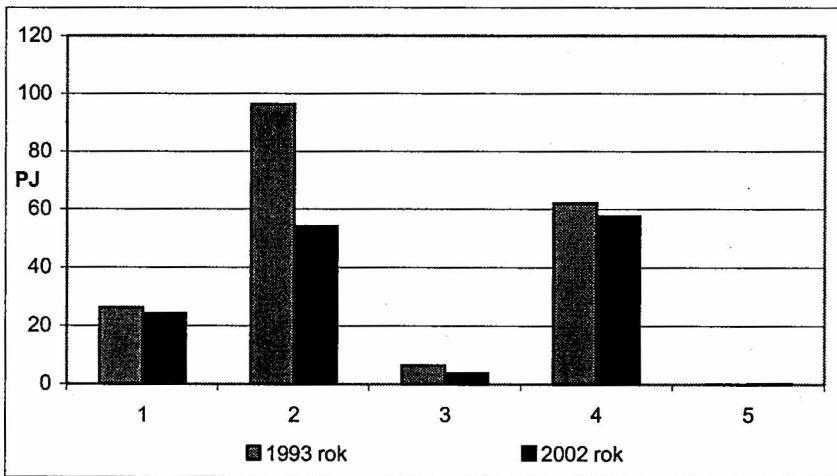
Fig. 7.52. Comparison of particular power sources' consumption in food industry



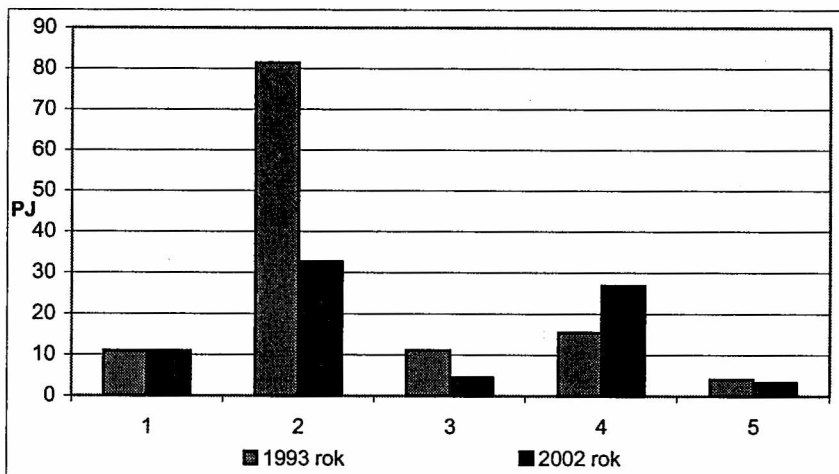
Rys. 7.53. Porównanie zużycia poszczególnych nośników energii w przemyśle koksowniczym i ropy naftowej

Fig. 7.53. Comparison of particular power sources' consumption in coke and petroleum industry

Dlatego też gałęzie te poddano szczegółowej analizie. Największe zapotrzebowanie na energię elektryczną, węgiel kamienny i gaz ziemny zaazotowany wykazuje przemysł energetyczny (rys. 7.27, 7.29 i 7.35), natomiast koksu i półkoksu – przemysł metalurgiczny (rys. 7.31), a gazu ziemnego wysokometanowego – przemysł chemiczny i energetyczny (rys. 7.32). Analiza porównawcza całkowitego zużycia energii oraz koksu w latach 1993 i 2002 wykazuje w większości przypadków tendencję spadkową (rys. 7.36 i 7.38), nato-



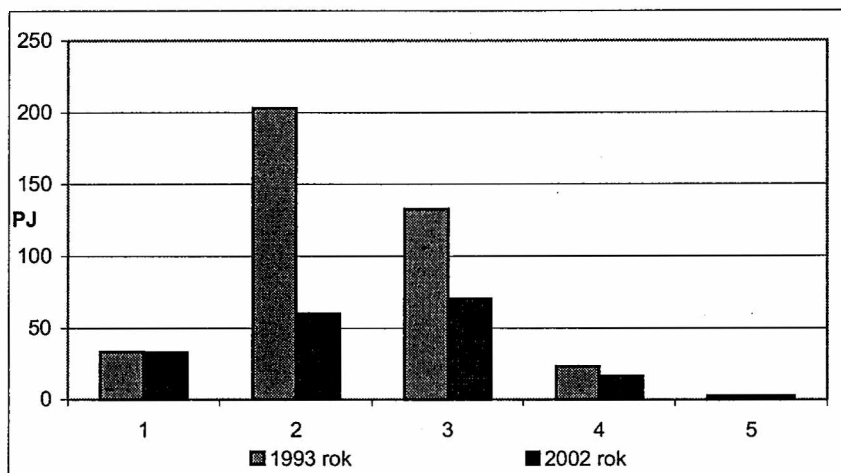
Rys. 7.54. Porównanie zużycia poszczególnych nośników energii w przemyśle chemicznym
 Fig. 7.54. Comparison of particular power sources' consumption in chemical industry



Rys. 7.55. Porównanie zużycia poszczególnych nośników energii w przemyśle surowców niemetalicznych

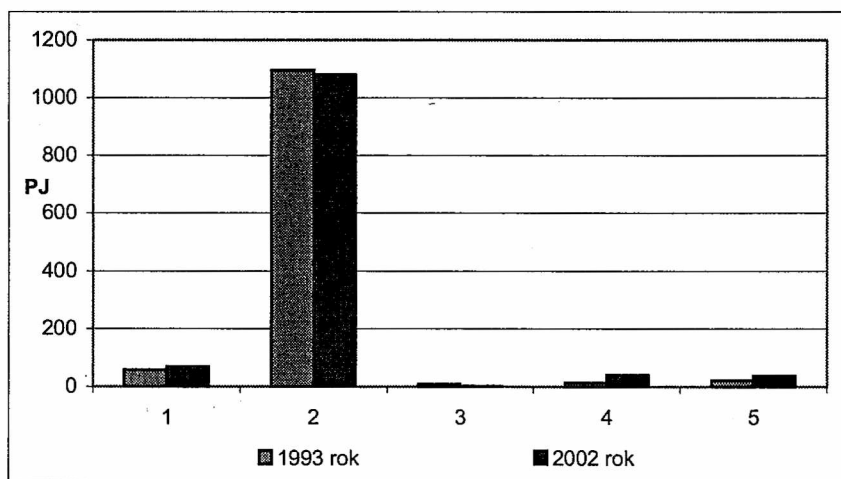
Fig. 7.55. Comparison of particular power sources' consumption in non-metallic raw materials industry

miast poziom potrzeb energii elektrycznej utrzymuje się prawie taki sam (rys. 7.37). Pokazana na rysunku 7.41 struktura zużycia energii elektrycznej, węgla kamiennego, koksu i półkoksu oraz gazu ziemnego zaazotowanego i gazu ziemnego wysokometanowego w roku 2002 potwierdza znaczący udział energii elektrycznej. Ciekawą ilustrację struktury zużycia energii w trzech wybranych gałęziach stanowi rys. 7.42, a na rys. 7.43–7.50 po-



Rys. 7.56. Porównanie zużycia poszczególnych nośników energii w przemyśle metalurgicznym

Fig. 7.56. Comparison of particular power sources consumption in metallurgical industry



Rys. 7.57. Porównanie zużycia poszczególnych nośników energii w przemyśle energetycznym

Fig. 7.57. Comparison of particular power sources' consumption in power industry

kazano zaobserwowane trendy kształtowania potrzeb energetycznych przez odbiorców przemysłowych w ciągu całego 10-letniego okresu (1993–2002). Również te przypadki potwierdzają znaczącą rolę przemysłu energetycznego, metalurgicznego i chemicznego w kształtowaniu się poziomu potrzeb energetycznych.

Przeprowadzone analizy porównawcze pokazują dominujący wpływ kilku gałęzi na wielkość potrzeb energetycznych w sektorze przemysłowym i jest to w większości przypadków spowodowane przez duże zakłady produkcyjne. Potwierdza się tym samym słuszność poglądów o roli i znaczeniu wielkich odbiorców przemysłowych na rynku energii. Zasadne jest zatem rozszerzenie i kontynuowanie tego typu badań.

8. Osiągnięcia autorki rozprawy

8.1. Osiągnięcia naukowe

Za najistotniejsze w monografii i jednocześnie oryginalne naukowo osiągnięcia autorka uważa:

- zebranie, uporządkowanie i podział różnorodnych uwarunkowań potrzeb energetycznych odbiorców przemysłowych, które mogą być wykorzystane w sprawnym zarządzaniu gospodarką energetyczną w przemyśle,
- usystematyzowanie i rozbudowę metod analizy i prognozowania potrzeb energetycznych odbiorców przemysłowych,
- opracowanie i przetestowanie oryginalnej metody identyfikacji potrzeb energetycznych z wykorzystaniem metod taksonomicznych i wielowymiarowej analizy porównawczej, umożliwiającej wykonywanie obliczeń na różnym poziomie struktury hierarchicznej przemysłu,
- opracowanie schematu organizacji bazy danych do proponowanej wielokryterialnej metody badań potrzeb energetycznych odbiorców przemysłowych,
- opracowanie algorytmu programu komputerowego do wielowariantowych badań zużycia energii w gałęziach przemysłu i zakładach o różnej strukturze i profilu produkcji,
- uproszczenie procedury identyfikacji potrzeb energetycznych przemysłu przy niepełnej informacji statystycznej,
- zbadanie przesłanek rozwoju przekształceń strukturalnych w sektorze przemysłowym w aspekcie transformacji polskiej energetyki,
- sprecyzowanie i zbadanie makroekonomicznej struktury potrzeb energetycznych sektora przemysłowego,
- kompleksowe ujęcie znaczenia i zakresu kreowania rynków energii oraz warunków ich rozwoju w świetle nowych uwarunkowań obowiązujących w Unii Europejskiej,
- zbadanie mechanizmów determinant zachowań wielkich odbiorców przemysłowych na lokalnym rynku energii,
- sprecyzowanie problemów i kryteriów gospodarowania energią w zakładach przemysłowych,
- określenie pożądanych kierunków racjonalnego użytkowania energii w przemyśle,

- zaproponowanie rozwiązań komputerowych systemów do monitorowania gospodarki energetycznej w obiektach przemysłowych,
- syntetyczne przedstawienie różnorodnych aplikacji identyfikacji, analizy i prognozowania potrzeb energetycznych w praktyce przemysłowej.

Przeprowadzone przez autorkę badania pozwoliły na stworzenie metodologicznych podstaw określania tendencji użytkowania energii w przemyśle w dowolnym obszarze z wykorzystaniem określonych procedur formalnych. W warstwie poznawczej praca może stanowić przyczynek do opracowania spójnej metodyki analizy i prognozowania potrzeb energetycznych odbiorców przemysłowych.

8.2. Badania szczegółowe

Opisane w rozprawie rozważania na temat identyfikacji potrzeb energetycznych przemysłu, ich różnorodne aplikacje w rozwiązywaniu problemów występujących w praktyce przemysłowej oraz przeprowadzone badania dotyczyły przede wszystkim:

- analizy pozyskiwania i zapotrzebowania energii w świecie i Polsce,
- analizy scenariuszowych prognoz zapotrzebowania na nośniki energetyczne (węgiel kamienny i brunatny, gaz ziemny, ropa naftowa, energia jądrowa, energia elektryczna, ciepło, energia odnawialna),
- analizy struktury mocy zainstalowanej i produkcji energii elektrycznej w Polsce według rodzaju źródeł i różnych scenariuszy,
- wymiany energii elektrycznej z krajami sąsiednimi,
- struktury odbiorców energii elektrycznej według grup napięciowych,
- analizy wielkości ekonomicznych (dochód narodowy, produkcja globalna, zatrudnienie w przemyśle itp.),
- ilości zużycia paliw i energii w wybranych zakładach przemysłowych i poszczególnych gałęziach przemysłu,
- wyznaczenia charakterystyk rzeczywistego zużycia energii dla badanych przypadków zakładów i gałęzi przemysłu,
- wyznaczenia równań regresyjnych charakterystyk energetycznych w funkcji jednej i kilku zmiennych objaśniających,
- wyznaczenia tendencji rozwojowych zużycia nośników energetycznych odbiorców przemysłowych,
- opracowania prognoz zużycia nośników energetycznych dla zakładów przemysłowych, gałęzi przemysłu i makroregionu,
- analizy przestrzennego zróżnicowania zużycia energii w makroregionie,
- opracowania wyników badań modelowych identyfikacji i prognozy potrzeb energetycznych odbiorców przemysłowych w makroregionie w zależności od wielkości ekonomicznych,
- analizy całkowitego zużycia energii we wszystkich gałęziach przemysłu w kraju,

- wyłonienia najbardziej energochłonnych gałęzi przemysłu w kraju,
- szczegółowej analizy zużycia całkowitego i poszczególnych nośników energetycznych w wyróżnionych gałęziach przemysłu,
- porównań poziomu zużycia różnych nośników energetycznych w poszczególnych gałęziach przemysłu dla lat progowych w badanym okresie,
- analizy struktury zużycia różnych nośników energetycznych w sektorze przemysłowym i poszczególnych gałęziach przemysłu,
- kształtowania potrzeb energetycznych sektora przemysłowego w badanym okresie,
- określenia udziału wybranych nośników w całkowitym zużyciu energii sektora przemysłowego,
- analizy zmian w tendencjach kształtowania całkowitego zużycia energii i różnych nośników energetycznych w badanym okresie,
- porównań zużycia poszczególnych nośników energetycznych w gałęziach przemysłu dla lat progowych rozpatrywanego okresu.

Uzyskane wyniki mogą być przydatne w rozwiązywaniu różnych problemów związanych z zapewnieniem struktury dostaw energii dla sektora przemysłowego, jej ekonomiczności, dostosowania do wymagań zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego, a także do właściwego podziału środków regionalnych w danym obszarze i realizacji strategii zgodnej z założeniami rozwoju polityki energetycznej.

Autorka wyraża przekonanie, że opisane w rozprawie idee, metody badań i szczegółowe rozwiązania problemów pojawiających się w gospodarowaniu energią w przemyśle w pełni uzasadniają postawiony cel monografii.

9. Podsumowanie

Metodyka analizy i prognozowania potrzeb energetycznych w przemyśle stanowi bardzo szeroki nurt, w którym wydzielić można cały szereg bardziej szczegółowych metod i kierunków badawczych. Prawidłowości i uwarunkowania ilości zużycia energii przez odbiorców przemysłowych należą do ważnych badań w energetyce.

W niniejszym opracowaniu, obok metod i ocen zweryfikowanych w praktyce przemysłowej w badaniach procesów produkcyjnych w wielu zakładach z różnych gałęzi przemysłu, przedstawiono aspekty, które zasługują na szczególną uwagę przy rozwiązywaniu problemów z zakresu gospodarowania energią.

Ze względu na obszerny zakres problematyki i możliwości aplikacyjnych podjętej przez autorkę tematyki, w pracy przedstawiono główny nurt tych badań, podano różnorodne przykłady zastosowań przemysłowych, a także pokazano możliwości wykorzystania do analiz i porównań.

Praca ma charakter teoretyczny w warstwie modelowo-poznawczej oraz charakter praktyczny w części empirycznej poświęconej identyfikacji, prognozowaniu i analizie rzeczywistych procesów zużycia energii opartych na wykorzystaniu zebranych danych i oszacowanych zależnościach ilościowych w pojedynczych zakładach, w poszczególnych gałęziach przemysłu lub w całym sektorze przemysłowym w dowolnych ramach terytorialnych.

Zdaniem autorki, dalsze prace z tego zakresu powinny zmierzać do systematycznego doskonalenia metod badania gospodarki energetycznej z uwzględnieniem pojawiających się nowych uwarunkowań rozwoju rynku energii.

Literatura

- [1] *Annual Energy Review – 2000*, Luxembourg, European Communities, 2001.
- [2] *An Industrial Competitiveness Policy for the European Union*, European Commission, Bulletin of the European Communities, 1994, Supplement, No. 3.
- [3] Balicki A., Makać W., *Metody wnioskowania statystycznego*, Gdańsk, Wyd. Uniwersytetu Gdańskiego, 2002.
- [4] Barc W., Gajda A., Jaworski W., *Energetyka polska na tle energetyki europejskiej*, Biuletyn Miesięczny, 2002, nr 12.
- [5] Bartosiewicz S., *Komputerowa analiza ekonometryczna*, Wrocław, Wyd. Akademii Ekonomicznej, 1995.
- [6] Bartosiewicz S., *Metody ekonometryczne. Przykłady i zadania*, Warszawa, PWE, 1974.
- [7] Baumol W. I., Blinder A., *Economics, Principles and Policy*, H.B. Publishers, Princeton University, 1989.
- [8] *Biała Księga, Przygotowanie krajów stowarzyszonych Europy Środkowej i Wschodniej do integracji z rynkiem Unii Europejskiej*, Aneks (polskie tłumaczenie), Warszawa, 1995.
- [9] Bibrowski Z., *Energochłonność skumulowana*, Warszawa, PWN, 1983.
- [10] Bielecki Cz., *Ekonomika i planowanie rozwoju regionów*, Warszawa, PWE, 1974.
- [11] Bieliński K., *Funkcjonalność systemów monitorowania procesów technologicznych*, Mat. Konf. Inżynieria Maszyn, Gdańsk, 2002, s. 118–235.
- [12] *Bilans energii pierwotnej w latach 1989–2002*, Warszawa, Agencja Rynku Energii, 2001.
- [13] Bobińska K., *Rynek w infrastrukturze i infrastruktura na rynku*, Warszawa, PAN, 2000.
- [14] Bojarski W., Cofała J., *Gospodarka energetyczna jako dyscyplina naukowa*, Warszawa, PAN, Instytut Podstawowych Problemów Techniki, 1977.
- [15] Bojarski W., Cofała J., *Model optymalizacji rozwoju krajowego systemu paliwowo-energetycznego*, Warszawa, PAN, Instytut Podstawowych Problemów Techniki, 1978.
- [16] Bojarski W., *Racjonalizacja użytkowania paliw i energii w przemyśle*, PAN, Instytut Podstawowych Problemów Techniki, Wrocław, Ossolineum, 1978.
- [17] Bolkowska Z., *Kraj w 1999 roku*, Magazyn Przemysłowy, 2000, nr 1(30).
- [18] Bratek A., *Wizualizacja procesów produkcyjnych na przykładzie komputerowego systemu monitorowania pracy ciepłowni*, Warszawa, Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów, 1999.
- [19] Brzyski L., *Metody statystyczne w analizie i prognozowaniu działalności przedsiębiorstw*, Warszawa, PWE, 1977.
- [20] Buczkowski J., *Gięda Energii – potrzeba czy fanaberia?*, Wokół Energetyki, 2001, nr 9, s. 11–15.
- [21] Casten T., *Distributed Generation – Breaking down barriers*, Power Engineering International, 2003, Vol. 11.

- [22] Ciechomski W., *Interwencjonizm państwowy*, Poznań, Wyd. Akademii Ekonomicznej w Poznaniu, 1997.
- [23] Cieślak M. (red.), *Prognozowanie gospodarcze. Metody i zastosowania*, Warszawa, PWN, 2004.
- [24] Czarnek J., *Rachunek efektywności inwestycji i postępu technicznego w przemyśle*, Warszawa, PWE, 1976.
- [25] Czerwiński Z., *Dylematy ekonomiczne*, Warszawa, PWE, 1996.
- [26] Dąbrowski S., *Dekada obfitości – Światowa energetyka w statystyce*, Magazyn Przemysłowy, 2000, nr 1 (30), s. 1–5.
- [27] Dittmann P., *Metody prognozowania sprzedaży w przedsiębiorstwie*, Wrocław, Wyd. Akademii Ekonomicznej, 1998.
- [28] Dobrzańska I., *Prognozowanie w elektroenergetyce – Zagadnienia Wybrane*, Częstochowa, Wyd. Politechniki Częstochowskiej, 2002.
- [29] *Dyrektywa 96/92/EC Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 19.12.1996 r. w sprawie jednolitych zasad wewnętrznego rynku energii*.
- [30] *ETNA wersja 1.18 dla Windows NT-Opis Systemu*, Wrocław, WINUEL S.A., 2002.
- [31] *Europejska Karta Energetyczna*, Haga, 17.12.1991.
- [32] *Europe in Figures*, Wyd. 5, Luxembourg, European Communities, 2000.
- [33] *European Union Energy Outlook to 2020*, Luxembourg, European Commission, 1999.
- [34] Gładys H., Matla R., *Praca elektrowni w systemie elektroenergetycznym*, Warszawa, WNT, 1999.
- [35] *Gospodarka Paliwowo-Energetyczna*, Warszawa, GUS, 1995–2003.
- [36] Gósztowt W., *Gospodarka elektroenergetyczna w przemyśle*, Warszawa, WNT, 1973.
- [37] Góra S., *Gospodarka elektroenergetyczna w przemyśle*, Warszawa, PWN, 1975.
- [38] Górzyński J., *Audytting energetyczny obiektów przemysłowych*, Warszawa, Fundacja Poszanowania Energii, 1995.
- [39] *Grid Code 2000 – Network and System Rules of the German Transmission System Operators*, DVG, May 2000.
- [40] Hellwig Z., *Elementy rachunku prawdopodobieństwa i statystyki matematycznej*, Warszawa, PWN, 1987.
- [41] Hołdowska E., *Postęp organizacyjny i postęp techniczny a niepewność w gospodarowaniu*, Warszawa, PWN, 1983.
- [42] *Instrukcja administratora systemu SAPEN 3*, Bydgoszcz, TELMAX, 2002.
- [43] International Energy Agency, *IEA Statistics 2003*, Paris, OECD/ IEA, 2003.
- [44] Jajszczyk A., *Wstęp do telekomunikacji*, Warszawa, WNT, 1998.
- [45] Janasz W., *Podstawy ekonomiki przemysłu*, Warszawa, PWN, 1997.
- [46] Jakubów L., *Spoleczne uwarunkowania rozwoju przedsiębiorstw*, Wrocław, Wyd. Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu, 2000.
- [47] Kamerschen D.R., McKenzie R.B., Nardinelli C., *Ekonomia*, Gdańsk, Fundacja Gospodarcza NSZZ „Solidarność”, 1990.
- [48] Kamrat W., *Metodologia oceny efektywności inwestowania na lokalnym rynku energii*, Gdańsk, Wyd. Politechniki Gdańskiej, 1999.
- [49] Kamrat W., *Wspomaganie zarządzania infrastrukturą sieciową w elektroenergetyce*, PSE S.A., Elektroenergetyka, 2001, nr 3, s. 20–26.
- [50] Kerner L. (red), *Długoterminowa prognoza rozwoju gospodarki paliwami i energią. Synteza*, Warszawa, Agencja Rynku Energii, 1999.
- [51] Kinsner K. (red.), *Sieci elektroenergetyczne*, Wrocław, Wyd. Politechniki Wrocławskiej, 1993.

-
- [52] Kopecki K., *Człowiek w świecie energii. Prognozy – perspektywy*, Warszawa, Wyd. Książka i Wiedza, 1976.
 - [53] Kopecki K., *Gospodarka paliwowo-energetyczna Polski do 2000 r. jako przedmiot badań rozwojowych*, PAN, 1979, nr 7, s. 3–23.
 - [54] Kopecki K., *Sytuacja energetyczna Polski na tle gospodarki światowej. Badania systemowe w gospodarce paliwowo-energetycznej*, Wrocław, Ossolineum, 1997.
 - [55] Koronacki J., Mielniczuk J., *Statystyka dla studentów kierunku technicznego i przyrodniczego*, Wrocław, WNT, 2000.
 - [56] Kozdrój-Weigel M., *Energochłonność procesów produkcji górniczej w kopalniach węgla kamiennego*, Gliwice, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, 1986, z. 142.
 - [57] Koziół J., *Efektywność kontroli i sterowania energetycznych procesów przemysłowych*, Mat. Konf. Racjonalizacja Użytkowania Energii i Środowiska, Gdańsk, 1990, t. 1, s. 29–46.
 - [58] Kreft A., *Oszacowanie funkcji strukturalnej opisującej stan obiektu przy niepełnych informacjach typu statystycznego*, Wrocław, Prace Naukowe i Prognostyczne, 1983, nr 3–4 (32–33), s. 39–56.
 - [59] Kruska K., *Użytkowanie energii elektrycznej w Polsce w układzie regionalnym*, Warszawa–Poznań, PWN, 1976.
 - [60] Kucowski J., Laudyn D., Przekwas M., *Energetyka a ochrona środowiska*, Warszawa, WNT, 1997.
 - [61] Kujaszczuk Sz., *Informatyzacja zakładów energetycznych*, Warszawa, WNT, 1990.
 - [62] Kumider J., *Utylizacja odpadów przemysłu*, Poznań, Wyd. Akademii Ekonomicznej w Poznaniu, 1996.
 - [63] Laudyn D., Pawlik M., Strzelczyk F., *Elektrownie*, Warszawa, WNT, 2000.
 - [64] Lesz M., *Metody symulacyjne. Zastosowania techniczno-ekonomiczne*, Warszawa, PWE, 1977.
 - [65] Leszek W., *Badania empiryczne. Wybrane zagadnienia metodyczne*, Radom, Wyd. Instytutu Technologii Eksploatacji, 1997.
 - [66] Maciejewski W., *Makroekonomia*, Łódź, PWE, 1991.
 - [67] Makać W., Urbanek-Krzysztofiak D., *Metody opisu statystycznego*, Gdańsk, Wyd. Uniwersytetu Gdańskiego, 2001.
 - [68] Malko J., *Energetyka rozproszona – uwarunkowania i perspektywy*, Kraków, Polityka Energetyczna, 2004, Zeszyt Specjalny, t. 7, s. 257–266.
 - [69] Malko J., *Generacja rozproszona w europejskiej przestrzeni badawczej (ERA): zasadnicze problemy, wyzwania i propozycje rozwiązań*, Wiśła, Mat. XIII Międzynarodowej Konf. Nauk. Aktualne Problemy w Elektroenergetyce APE 04-Południe, 2004, s. 152–155.
 - [70] Malko J., *Planowanie systemów elektroenergetycznych*, Wrocław–Warszawa, PWN, 1976.
 - [71] Malko J., *Quo vadis energetyka – czyli o realności wizji rozwoju zrównoważonego*, Wokół Energetyki, 2002, nr 2.
 - [72] Malko J., *Systemy ciepłownicze przyszłości. Ewolucja struktur*, Puławy, XVI Spotkanie producentów, dystrybutorów i odbiorców ciepła, Izba Gosp. Ciepłownictwo Polskie, 2004.
 - [73] Malko J., Wnukowska B., *Ocena gospodarki energetycznej zakładu przemysłowego*, Gospodarka Paliwami i Energią, 1990, nr 4, s. 14–15.
 - [74] Malko J., *Wybrane zagadnienia prognozowania w elektroenergetyce*, Wrocław, Oficyna Wyd. Politechniki Wrocławskiej, 1995.
 - [75] *Mały Rocznik Statystyczny*, Warszawa, GUS, 1999–2003.
 - [76] Marecki J., *Podstawy przemian energetycznych*, Warszawa, WNT, 2000.
 - [77] Matczewski A., *Zarządzanie gospodarką energetyczną w przedsiębiorstwie przemysłowym. Zagadnienia wybrane*, Warszawa, WNT, 1985.

- [78] Matuszek W., Tokarz J., *Perspektywy wykorzystania energii ze źródeł odnawialnych w Polsce a stan obecny*, Biuletyn Miesięczny, 2003, nr 3, s. 10–14.
- [79] Mejro Cz., Troszkiewicz J., Wierzbicka B., *Energetyka dziś i jutro*, Warszawa, WNT, 1986.
- [80] Mejro Cz., *Podstawy gospodarki energetycznej*, Warszawa, WNT, 1980.
- [81] Ney R., *Ocena zasobów surowców energetycznych Polski*, Elektroenergetyka, 2002, nr 1, s. 2–8.
- [82] Ney R., *Perspektywy energetyczne Polski w świetle tendencji światowych*, Kraków, Polityka Energetyczna, 2000, t. 3, z. 1, s. 5–26.
- [83] Ney R., *Uwarunkowania wykorzystania energii odnawialnej jako czynnika zrównoważonego rozwoju energetyki*, Kraków, Polityka Energetyczna, 2004, t. 7, z. 1, s. 5–36.
- [84] Ney R., *Efektywność wykorzystania energii ważnym zadaniem polityki energetycznej*, Kraków, Polityka Energetyczna, 2004, Zeszyt Specjalny, t. 7, s. 11–24.
- [85] Niebrzydowski J., Twardy L., *Kontrakty długoterminowe (KDT) – propozycje rozwiązania problemu*, Wiśła, Mat. XIII Międzynarodowej Konf. Nauk. Aktualne Problemy w Elektroenergetyce APE 04-Południe, 2004, s.138–140.
- [86] Niebrzydowski J., *Probabilistyczna metoda obliczania wartości mocy zamówionej dla zakładów przemysłu rolno-spożywczego*, Białystok, Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej, 1992, Nauki Techniczne Nr 84, Elektryka, z. 12, s. 85–91.
- [87] Niebrzydowski J., *Zastosowanie liniowej funkcji regresji do wyznaczania charakterystyk energetycznych zakładów przemysłu rolno-spożywczego*, Archiwum Energetyki, 1989, nr 1–2, s. 29–38.
- [88] Niedzwiedziński M., *Ocena zamierzeń informatyzacyjnych przedsiębiorstwa*, Warszawa, PWE, 1999.
- [89] Nierzwicki W., *Energia Gospodarka Środowisko*, Gdańsk, Wyd. Uniwersytetu Gdańskiego, 2002.
- [90] Nowak E., *Metody taksonomiczne w klasyfikacji obiektów społeczno-gospodarczych*, Warszawa, PWE, 1990.
- [91] Nowak E., *Zarys metod ekonometrii. Zbiór zadań*, Warszawa, PWN, 1990.
- [92] Pawłowski Z., *Ekonometria*, Warszawa, PWN, 1975.
- [93] Pluta W., *Wielowymiarowa analiza porównawcza w modelowaniu ekonometrycznym*, Warszawa, PWE, 1986.
- [94] Pocięcha J. (red.), *Metody taksonomiczne w badaniach społeczno-ekonomicznych*, Warszawa, PWE, Warszawa 1988.
- [95] Ponsard C., *Ekonomiczna analiza przestrzenna*, Poznań, Wyd. Akademii Ekonomicznej w Poznaniu, 1992.
- [96] Popczyk J., *Aktualna sytuacja wielkich odbiorców na rynku energii elektrycznej w Polsce*, Energetyka, 2003, nr 7, s. 443–445.
- [97] Proakis J. G., *Digital Communication*, Mc Graw Hill 1995.
- [98] *Propozycje nowelizacji dyrektywy elektroenergetyki UE. Fakty Dokumenty*, PSE S.A., 2001, Nr II.
- [99] Przygodzki M., *Wpływ własnego źródła na niezawodność pokrycia zapotrzebowania odbiorcy*, Wiśła, Mat. XIII Międzynarodowej Konf. Nauk. Aktualne Problemy w Elektroenergetyce APE 04-Południe, 2004, s. 186–189.
- [100] Pytko S., Pytko P., *Problemy energetyczno-surowcowe świata i Polski*, Budownictwo Okrętowe, 1989, nr 11, s. 3–9.
- [101] Pytko S., Stolarski B., *Problemy energetyczno-surowcowe świata*, Zagadnienia Eksploatacji Maszyn, 1995, z.1, (vol. 24), s. 35–41.
- [102] Pytko S., Stolarski B., *Weltenergie- und Rohstoffprobleme und damit zusammen haengende Tendenzen der Fahrzeugentwicklung*, Proc. Intern. Kolloquium „Kraftfahrzeuge – Schmierung”, Techn. Akademie Esslingen, 1990.
- [103] Richard E. B., *Theory and Practice of Error Control Codes*, Adison-Weley Co., 1983.

- [104] *Rocznik Statystyczny Przemysłu*, Warszawa, GUS, 2002.
- [105] Romaniuk K., *Analiza struktury zbiorowości*, Warszawa, PWE, 1989.
- [106] *Rynek energii elektrycznej w Polsce*, Warszawa, Ministerstwo Gospodarki i Urząd Regulacji Energetyki, 1999.
- [107] Sala A., *Zmniejszenie energochłonności*, Radom, Międzyresortowe Centrum Eksploatacji Majątku Trwałego, 1993.
- [108] Samotyj M., Gellings G., Amin M., *Power system infrastructure for a digital society: creating the new frontiers*, Electra, No. 210, Oct. 2003.
- [109] Siedlecka U., *Analiza taksonomiczna retrospektywnego rozwoju gospodarczego Polski*, Prace Naukowe i Progностyczne, 1989, nr 1(69), s. 43–57.
- [110] Simmonds A., *Wprowadzenie do transmisji danych*, Warszawa, Wyd. Komunikacji i Łączności, 1999.
- [111] Sławińska M., *Podstawy ekonomiki przedsiębiorstwa*, Poznań, Wyd. Akademii Ekonomicznej w Poznaniu, 1996.
- [112] Strzała K., Przechlewski T., *Ekonometria inaczej*, Gdańsk, Wyd. Uniwersytetu Gdańskiego, 2002.
- [113] Szargut J. (red.), *Racjonalizacja użytkowania energii w zakładach przemysłowych*, Warszawa, Fundacja Poszanowania Energii, 1994.
- [114] Szargut J., *Analiza termodynamiczna i ekonomiczna w energetyce przemysłowej*, Warszawa, WNT, 1983.
- [115] *Światowa Statystyka Energii*, Warszawa, Agencja Rynku Energii, nr 4, 2000.
- [116] Teresiak Z. (red.), *Elektroenergetyka zakładów przemysłowych*, Wrocław, Wyd. Politechniki Wrocławskiej, 1981.
- [117] *Traktat Karty Energetycznej*, Lizbona, 17.12.1994.
- [118] Twardy L., *Rynek energii elektrycznej ante portas krajów Unii Europejskiej – sytuacja w Polsce*, Gdańsk, Mat. Konf. Racjonalizacja Użytkowania Energii i Środowiska, 1999, t. 1, s. 5–23.
- [119] Waszkiewicz L., *Weryfikacja procedur progностycznych*, Warszawa, PWN, 1976.
- [120] Weiss Z., *Techniki komputerowe w przedsiębiorstwie*, Poznań, Wyd. Politechniki Poznańskiej, 1998.
- [121] Welfe A., *Ekonometria. Metody i zastosowanie*, Warszawa, PWE, 1995.
- [122] Wilkosz K. (red.), *Problemy systemów elektroenergetycznych*, Wrocław, Wyd. Politechniki Wrocławskiej, 2002.
- [123] Winiecki W., *Organizacja komputerowych systemów pomiarowych*, Warszawa, Oficyna Wyd. Politechniki Warszawskiej, 1997.
- [124] Witkowski T., *Decyzje w zarządzaniu przedsiębiorstwem*, Warszawa, WNT, 2000.
- [125] Wnukowska B., *Analiza i prognozowanie potrzeb energetycznych odbiorców przemysłowych na rynku energii*, Wrocław, Raport Instytutu Energoelektryki Politechniki Wrocławskiej, 2004, Seria SPR nr 12.
- [126] Wnukowska B., *Badania diagnostyczne energochłonności wybranych procesów przemysłowych*, Zakopane, Mat. IV Konf. Postępy w Elektrotechnice Stosowanej, Polskie Towarzystwo Elektrotechniki Teoretycznej i Stosowanej, Oddział Warszawski, 2003, t. II, s. 67–74.
- [127] Wnukowska B., *Badanie energochłonności przemysłu dla różnych poziomów jego struktury hierarchicznej*, Wrocław, Raport Instytutu Energoelektryki Politechniki Wrocławskiej, 1995, Seria SPR nr 5.
- [128] Wnukowska B., *Diagnostician investigations of industrial processes*, Warszawa, II International Congress of Technical Diagnostics, Warsaw University of Technology. Institut of Maschine Design Fundamentals. Faculty of Automobiles and Heavy Machinery Engineering, 2000, s. 1–6.
- [129] Wnukowska B., *Ekonomiczność energooszczędności w przemyśle*, Częstochowa, Mat. III Konf. Nauk. Progностowanie w Elektroenergetyce, Polit. Częstochowska, 1996, s. 95–97.

- [130] Wnukowska B., *Energieverbrauch in polnischen Braunkohletagebauen*, Dresden, XVIII Kraftwerkstechnisches Kolloquium, TU Dresden, 1986, s. 1–6.
- [131] Wnukowska B., *Energieverbrauchstendenzen in der Industrie*, Zittau, Wissenschaftliche Konferenz für Energiewirtschaft der Technische Hochschule Zittau, Session 4, 1989, s. 30–31.
- [132] Wnukowska B., *Gospodariea rationala a energiei in interprinderile industriale*, Bukareszt, Energetica, 1999, nr 4, s. 152–156.
- [133] Wnukowska B., *Komputerowe systemy wspomagające zarządzanie gospodarką energetyczną*, Radom, Prace Naukowe Politechniki Radomskiej ELEKTRYKA nr 2(5), 2002, s. 179–184.
- [134] Wnukowska B., *Komputerowe wspomaganie analizy procesów zużycia energii w przemyśle*, Gdańsk, Kongres Diagnostyki Technicznej, PAN, 1996, t. III, s. 359–364.
- [135] Wnukowska B., *Komputerowy algorytm obliczeń w identyfikacji potrzeb energetycznych*, Jurata, Mat. VIII Międzynar. Konf. Nauk. Aktualne Problemy w Elektroenergetyce, Politechnika Gdańska, 1997, t. IV, s. 47–54.
- [136] Wnukowska B., *Metoda statystycznej identyfikacji potrzeb energetycznych przemysłu makroregionu*, Archiwum Energetyki, 1981, nr 3, s. 219–227.
- [137] Wnukowska B., *Modele ekonometryczne w identyfikacji potrzeb energetycznych*, Szklarska Poręba, Mat. Konf. Elektroenergetyka dziś i jutro. Problemy Eksploatacyjne, Politechnika Wrocławska, 1997, s. 101–106.
- [138] Wnukowska B., *Modelowanie potrzeb energetycznych w przemyśle*, Zakopane, Mat. III Konf. MiS-3 Modelowanie i Symulacja, Polskie Towarzystwo Elektrotechniki Teoretycznej i Stosowanej, Oddział Warszawski, 2004, s. 645–652.
- [139] Wnukowska B., *Monitorowanie zużycia energii w przemyśle*, Zakopane, Mat. V Konf. Komputerowe Systemy Wspomagania Nauki, Przemysłu i Transportu TRANSCOMP, Politechnika Radomska, 2001, s. 615–622.
- [140] Wnukowska B., *Obieg informacji w zarządzaniu energią w przemyśle*, Białystok, Mat. Seminarium Nauk. (red. Niebrzydowski J.), Elektroenergetyka. Wybrane Zagadnienia, Wyd. Politechniki Białostockiej, 2001, s. 117–124.
- [141] Wnukowska B., *Problemy identyfikacji potrzeb energetycznych*, Wrocław, Mat. III Kraj. Konf. Nauk.-Techn. Sieci Elektroenergetyczne w Przemysle i Energetyce SIECI 98, Prace Naukowe Instytutu Energoelektryki Polit. Wrocławskiej, 1998, nr 90, Seria Konferencje nr 33, t. I, s. 159–169.
- [142] Wnukowska B., *Problemy wdrażania komputerowych systemów do zarządzania gospodarką energetyczną w zakładach przemysłowych*, Jurata, Mat. XI Międzynarodowej Konf. Naukowej Aktualne Problemy w Elektroenergetyce, Polit. Gdańska, 2003, t. II, s. 163–168.
- [143] Wnukowska B., *Przedsięwzięcia ekologiczne w przemyśle*, Warszawa, Mat. II Sympozjum Ochrona Środowiska w Dydaktyce Wydziałów Elektrycznych Szkół Wyższych, Politechnika Warszawska, 1995, s. 87–91.
- [144] Wnukowska B., *Racjonalizacja użytkowania energii w wybranej gałęzi przemysłu pod kątem zmniejszenia energochłonności*, Jachranka, Mat. Konf. Optymalizacja w Elektroenergetyce, Stowarzyszenie Elektryków Polskich, Oddział Warszawski, 1997, s. 247–254.
- [145] Wnukowska B., *Rozwój gospodarki nośnikami energii na Dolnym Śląsku*, Wrocław, Prace Naukowe Instytutu Energoelektryki Politechniki Wrocławskiej, 1997, nr 37, Studia i Materiały nr 28, s. 33–54.
- [146] Wnukowska B., *Rynek energii w Polsce*, Wrocław, Raport Instytutu Energoelektryki Politechniki Wrocławskiej, 2004, Seria SPR nr 26.
- [147] Wnukowska B., *Sporządzanie bilansów energetycznych wspomaganych komputerowo*, Polanica, Mat. VI Konf. Komputerowe Wspomaganie Badań Naukowych VI KK KOWBAN, Wrocławskie Towarzystwo Naukowe, 1999, s. 321–326.

- [148] Wnukowska B., *Untersuchung des Energieverbrauchs von Maschinen und Anlagen in der Leichtindustrie. Komplexe Energieversorgungslagen*, Dresden, XIII Kraftwerkstechnisches Kolloquium, TU Dresden, 1986, s. 1–5.
- [149] Wnukowska B., Wróblewski Z., Stosur M., *Wdrażanie modelu rynku energii*, Zakopane, Mat. III Konf. MiS-3 Modelowanie i Symulacja, Polskie Towarzystwo Elektrotechniki Teoretycznej i Stosowanej, Oddział Warszawski, 2004, s. 653–660.
- [150] Wnukowska B., *Zagadnienia gospodarki energią w dużych zakładach przemysłowych*, Gdańsk, Mat. VII Konf. Racjonalizacja użytkowania energii i środowiska, NOT, 1999, s. 45–49.
- [151] Wnukowska B., *Zagadnienie identyfikacji potrzeb energetycznych do celów prognozowania*, Warszawa, Mat. Kongresu Metrologii KKM Metrologia u progu Trzeciego Millenium, 2001, s. 139–142.
- [152] Wnukowska B., *Zagadnienia poszanowania energii z uwzględnieniem wymogów ekologicznych*, Jura, Mat. X Międzyn. Konf. Nauk. Aktualne Problemy w Elektroenergetyce, Politechnika Gdańska, 2001, t. IV, s. 157–164.
- [153] Wnukowska B., *Zastosowanie metod taksonomicznych w badaniach energochłonności przemysłu*, Zakopane, Mat. IV Symp. Metody Matematyczne w Elektroenergetyce MM w EE 98, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Zakład Elektroenergetyki, 1998, s. 545–550.
- [154] Wnukowska B., *Zastosowanie metod taksonomicznych w komputerowym badaniu energochłonności przemysłu*, Warszawa, Mat. III Szkoły - Konf. Metrologia Wspomagana Komputerowo, Instytut Metrologii i Aparatury Naukowej PAN, KBN, 1997, t. II, s. 235–240.
- [155] *World Economic Outlook*, Washington, IMF, 1999, www: <http://www.cire.pl>.
- [156] *Założenia polityki energetycznej Polski do 2020 r.*, Ministerstwo Gospodarki, Dokument przyjęty przez RM RP, 22.02.2000 r.
- [157] Zeliaś A., *Teoria prognozy*, Warszawa, PWE, 1997.
- [158] Zerka M., *Mechanizmy rynkowe w elektroenergetyce – zagadnienia wybrane*, Warszawa, Instytut Doskonalenia Wiedzy o Rynku Energii, 2001.
- [159] Zerka M., *Strategie na rynkach energii elektrycznej*, Warszawa, Instytut Doskonalenia Wiedzy o Rynku Energii, 2003.
- [160] Ziębik A., Szargut J., *Podstawy gospodarki energetycznej*, Gliwice, Wyd. Politechniki Śląskiej, 1997.

Methods of analysis and forecast of power demand for industrial recipients

The monograph deals with the problems of energy consumption by the modern industry consumers. The investigations conducted allows us to systematize to develop the methods of analysis and forecasting, hence to estimate energy consumption by industrial recipients on different levels of their hierarchy and structure as well as in each area. The rank and significance of the energy market as well as its importance are discussed. An original method of analysing and forecasting the power demand with some features of taxonomic methods and multidimensional comparative analysis is proposed. The implementation of a method with a limited input of statistical data enable us to obtain a reliable estimation of high-probability level. Advantages of the method proposed allow its practical application in energy management with computer monitoring of industrial processes.

Spis treści

Wykaz ważniejszych oznaczeń i jednostek	3
Wprowadzenie	6
1. Potrzeby energetyczne w przemyśle jako przedmiot badań	9
1.1. Aktualne problemy polskiej energetyki	9
1.2. Przekształcenia struktury produkcji przemysłowej w Polsce	27
1.3. Makroekonomiczne uwarunkowania potrzeb energetycznych w procesach produkcyjnych	32
1.4. Podmioty zużycia energii	36
2. Problemy określania zużycia energii w przemyśle	44
2.1. Mierzalność kategorii ekonomicznych. Pojęcie zmiennej ilościowej	44
2.2. Identyfikacja potrzeb energetycznych w przemyśle oraz ich uwarunkowań	45
2.3. Kryteria gospodarowania energią w zakładach przemysłowych	47
2.4. Zarządzanie popytem <i>DSM</i>	52
2.5. Kierunki racjonalizacji użytkowania energii w przemyśle	54
3. Metody przydatne w badaniach zużycia energii w przemyśle	59
3.1. Metody analizy rozkładów zmiennych losowych	59
3.2. Metody analizy przestrzennego zróżnicowania zapotrzebowania na energię	62
3.3. Metody taksonomiczne	64
3.4. Modelowanie ekonometryczne zużycia energii	69
3.5. Modele zużycia końcowego (<i>end-use</i>)	73
3.6. Metody prognozowania potrzeb energetycznych	75
3.7. Audyting energetyczny	83
4. Przegląd literatury, sformułowanie celu pracy	87
5. Wielki odbiorca na rynku energii	96
5.1. Ewolucyjne wdrażanie struktur rynkowych	96
5.2. Organizacja rynków energii	102
5.3. Model rynku energii	107
5.4. Regulacje prawne i zarządzanie ryzykiem	114
5.5. Możliwe zachowania odbiorcy na rynku energii	120
5.6. Zarządzanie gospodarką energetyczną	124
5.7. Komputerowe systemy wspomagające zarządzanie gospodarką energetyczną w dużych zakładach przemysłowych	126
5.8. Monitorowanie zużycia energii w zakładzie przemysłowym	132
6. Wielowariantowa metoda badań zużycia energii w przemyśle	138

6.1. Założenia wstępne	138
6.2. Program komputerowy <i>ENERGIA</i>	145
6.2.1. Metody zastosowane w programie	145
6.2.2. Opis funkcji programu	152
7. Analiza statystyczna i prognozowanie zużycia energii przez odbiorców przemysłowych	155
7.1. Opis przeprowadzonych badań	155
7.2. Badania przeprowadzone z wykorzystaniem programu <i>ENERGIA</i>	158
7.3. Przykład analizy i prognozy trendów zużycia energii w makroregionie	169
7.4. Analiza porównawcza	180
8. Osiągnięcia autorki rozprawy	199
8.1. Osiągnięcia naukowe	209
8.2. Badania szczegółowe	200
9. Podsumowanie	202
Literatura	203
Streszczenie (w j. ang.)	210

Contents

List of important symbols and units	3
Introduction	6
1. Energy input into industry	9
1.1. Current problems of domestic power industry	9
1.2. Transformations of industrial production structure in Poland	27
1.3. Macroeconomic conditions of energy input into production processes	32
1.4. Subjects of energy consumption	36
2. Some problems of energy consumption determination in industry	44
2.1. Measurability of economic categories the idea of quantitative variable	44
2.2. Identification of energy input into industry	45
2.3. Criteria of energy management in industrial plants	47
2.4. Demand management <i>DSM</i>	52
2.5. Rationalization of energy consumption in industry	54
3. Useful methods in investigation of energy consumption in industry	59
3.1. Methods of analysing the distribution of random variables	59
3.2. Methods of analysing spatial diversity of energy demand	62
3.3. Taxonomic methods	64
3.4. Econometric modelling of energy consumption	69
3.5. Models of <i>end-use</i> consumption	73
3.6. Methods of forecasting the energy consumption	75
3.7. Energetic audit	83
4. Literature review, aim and scope of the present study	87
5. Mass consumer in energy market	96
5.1. Evolutionary implementation of energy structures	96
5.2. Organization of energy market	102
5.3. Model of energy market	107
5.4. Legal regulations and risk management	114
5.5. Possible behaviour of consumer in energy market	120
5.6. Energy management	124
5.7. Computer-aided energy management in large industrial plants	126
5.8. Monitoring of energy consumption in industrial plants	132
6. Multivariant methods for estimating energy consumption in industry	138
6.1. Preliminary assumptions	138

6.2. Computer program <i>ENERGIA</i>	145
6.2.1. Methods used in computer program	145
6.2.2. Description of computer program	152
7. Statistical analysis and forecasting of energy consumption by industrial consumers.....	155
7.1. Description of investigations conducted	155
7.2. Investigations with using computer program <i>ENERGIA</i>	158
7.3. Example of analysis and forecast of energy consumption in macroregion.....	169
7.4. Comparative analysis.....	180
8. Achievements of the author	199
8.1. Research achievements	199
8.2. Detailed investigations	200
9. Resume	202
References	203
Summary	210



PRACE NAUKOWE INSTYTUTU ENERGOELEKTRYKI
(wydane w latach 1990–2005)

- Nr 83, Monografie nr 23, S. Szafran, *Rozpoznawanie sygnałów w cyfrowej automatyce zabezpieczeniowej*, Wrocław 1990
- Nr 84, Monografie nr 24, A. Wilkosz, *Metody wstępnego uwiarygodniania danych pomiarowych parametrów stanu pracy systemu elektroenergetycznego*, Wrocław 1990
- Nr 85, Monografie nr 25, A. Wilczyński, *Systemy taryfowe jako narzędzie ekonomicznego sterowania zapotrzebowaniem na moc i energię elektryczną*, Wrocław 1990
- Nr 86, Monografie nr 26, Z. Kozik, *Niezawodność wytwarzania energii elektrycznej. Rezerwa mocy w systemie elektroenergetycznym*, Wrocław 1991
- Nr 87, Konferencje nr 31, *Symulacja cyfrowa procesów dynamicznych i przetwarzania sygnałów do celów automatyki elektroenergetycznej*, Wrocław 1991
- Nr 88, Monografie nr 27, E. Rosołowski, *Analiza algorytmów zabezpieczeń elektroenergetycznych*, Wrocław 1992
- Nr 89, Konferencje nr 32, *Zjawiska i zabezpieczenia ziemnozwarciowe w sieciach rozdzielczych średniego napięcia*, II Krajowa konferencja naukowo-techniczna, Wrocław 1997
- Nr 90, Konferencje nr 33, *Sieci elektroenergetyczne w przemyśle i energetyce. SIECI '98*. III Krajowa konferencja naukowo-techniczna, Wrocław 1998
- Nr 91, Konferencje nr 34, *Sieci elektroenergetyczne w przemyśle i energetyce. SIECI 2000*. IV Krajowa konferencja naukowo-techniczna, Wrocław 2000
- Nr 92, Monografie nr 28, J. Iżykowski, *Impedancyjne algorytmy lokalizacji zwarć w liniach przesyłowych*, Wrocław 2004
- Nr 93, Monografie nr 29, W. Rebizant, *Metody inteligentne w automatyce zabezpieczeniowej*, Wrocław 2004
- Nr 94, Konferencje nr 35, *Sieci elektroenergetyczne w przemyśle i energetyce. SIECI 2004*. V Krajowa konferencja naukowo-techniczna. Wrocław 2004



Wydawnictwa Politechniki Wrocławskiej
są do nabycia w księgarni „Tech”
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław
budynek A-1 PWr., tel. (0-71) 321 32 52
Prowadzimy sprzedaż wysyłkową

ISSN 0324-976x