

**ZESZYTY
NAUKOWE
POLITECHNIKI
ŚLĄSKIEJ**



12-3347/78

ELEKTRYKA

**Z. 63
GLIWICE
1978**

POLITECHNIKA ŚLĄSKA

ZESZYTY NAUKOWE

Nr 585



P. 3347 / 78

ROMAN JANICZEK

**ZASADY PLANOWANIA
I PROJEKTOWANIA
ELEKTROWNI PAROWYCH
W UJĘCIU SYSTEMOWYM**

PL ISSN 0072-4688

GLIWICE

1978

OPINIODAWCY

Doc. dr hab. inż. Włodzimierz Bojarski

Prof. dr inż. Kazimierz Kopecki

Prof. zw. mgr inż. Lucjan Nehrebecki

REDAKTOR NACZELNY WYDAWNICTW UCZELNIANYCH
POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ

Jan Bandrowski

REDAKTOR DZIAŁU

Zofia Cichowska

SEKRETARZ REDAKCJI

Jan Znamirowski

OPRACOWANIE EDYTORSKIE

Kazimiera Rymarz

Wydano za zgodą
Rektora Politechniki Śląskiej

Dział Wydawnictw Politechniki Śląskiej
Gliwice, ul. Kujawska 2

Nakł. 230+85 Ark. wyd. 5,918 Ark. druk. 4,88 Papier offsetowy kl. V 70x100, 70 g
Oddano do druku 17.10.1978 Podpis. do druku 17.10.1978 Druk ukończ. w październ. 1978
Zam. 1219/78 Cena zł 15,-

Skład, fotokopie, druk i oprawę
wykonano w Zakładzie Graficznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach

S P I S T R E Ś C I

	Str.
1. WSTĘP - CEL I ZAKRES PRACY	5
2. CHARAKTERYSTYKA PROCESU INWESTYCYJNEGO ELEKTROWNI	7
2.1. Cechy elektrowni	7
2.2. Racjonalna organizacja procesu	7
2.3. Charakterystyka informacji w projektowaniu elektrowni	11
3. MODELE MATEMATYCZNE DLA PROJEKTOWANIA ELEKTROWNI	14
3.1. Klasyfikacja modeli	14
3.2. Postać i zakres zastosowań modeli funkcjonalnych	15
3.3. Postać i zakres zastosowań modeli ocenowych	16
3.4. Modele matematyczne dla kompleksowej optymalizacji	21
3.5. Wykorzystanie zasad optymalizacji wielopoziomowej do redukcji rozmia- rów zadań	23
3.6. Dokładność a rozmiary modelu optymalizacyjnego	25
3.7. Funkcja celu	27
3.7.1. Przyjęta postać ogólna	27
3.7.2. Analiza innych postaci funkcji celu i kryteriów optymalizacji ..	28
3.7.3. Bardziej szczegółowe ujęcie składników funkcji celu	31
3.7.4. Szczególne przypadki	33
4. PODEJMOWANIE DECYZJI W WARUNKACH NIEDETERMINISTYCZNYCH	34
4.1. Nieokreśloność w projektowaniu elektrowni	34
4.2. Przygotowywanie danych wejściowych	34
4.3. Formułowanie zadań optymalizacji w warunkach niedeterministycznych ..	36
4.4. Kryteria wyboru rozwiązań w warunkach niedeterministycznych	37
5. PRZEDPROJEKTOWE PRACE STUDIALNE	40
5.1. Zadania i zależności ogólne	40
5.2. Dobór optymalnych typów bloków perspektywicznych	41
5.2.1. Wpływ reli elektrowni w SE na dobór typu bloku	41
5.2.2. Wstępna optymalizacja typów bloków przyszłościowych	43
5.2.3. Dobór perspektywicznej struktury mocy systemu	48
5.3. Studia lokalizacyjne	49
5.3.1. Tek realizacji studiów lokalizacyjnych	49
5.3.2. Rejenizacja mocy elektrowni	50
5.3.3. Wybór typu bloku dla określonych warunków lokalizacji	53
5.3.4. Opłacalny stopień koncentracji mocy w elektrowni	57
5.3.5. Wstępne uszeregowanie wariantów lokalizacji elektrowni	60
5.4. Optymalizacja programu budowy elektrowni	61

6. PROJEKTOWANIE ELEKTRONNI	63
6.1. Konieczność racjonalizacji procesu projektowania	63
6.2. Klasyfikacja zastosowań maszyn cyfrowych w biurach projektów	63
6.3. Współpraca projektanta z systemem komputerowym	64
6.4. Efektywność komputeryzacji projektowania	66
6.5. Kryteria podejmowania decyzji projektowych	67
6.6. Elementy niedeterministyczne przy podejmowaniu decyzji projektowych .	70
7. ZAKOŃCZENIE	71
LITERATURA	72
STRESZCZENIA	75

1. WSTĘP - CEL I ZAKRES PRACY

W rozprawie podjęto próbę opracowania uogólnionych zasad rozwiązywania problemów decyzyjnych w szeroko rozumianym procesie projektowania elektrowni parowych, z wykorzystaniem nowoczesnych metod i środków projektowania oraz systemowego podejścia do procesu projektowania elektrowni.

Elektrownię traktuje się jako system względnie odosobniony, z silnymi powiązaniem z systemami nadrzędnymi i etaczającymi, a z drugiej strony o złożonej wewnętrznej strukturze. Proces projektowania elektrowni, jako podstawowych elementów systemu elektroenergetycznego (SE), powinien być ściśle związany z procesem projektowania rozwoju tego systemu. W dotychczasowej praktyce krajowej nie uzyskano zadawalającej spójności tych procesów i dlatego w rozdziale 2 zaproponowane uermowanie tej kwestii.

Współczesne maszyny cyfrowe stwarzają olbrzymie, a w praktyce nie w pełni wykorzystane możliwości usprawnienia procesu projektowania i zwiększenia jakości rozwiązań projektowych. Możliwe jest już stworzenie zintegrowanego systemu projektowania rozwoju SE, obejmującego również projektowanie elektrowni. Wymaga to jednak rozwiązania szeregu istotnych problemów, z których ważniejsze w zakresie elektrowni omówiono w niniejszej pracy, proponując równocześnie zasady ich rozwiązywania.

Jedną z istotnych korzyści, jakie daje zastosowanie maszyna cyfrowych w projektowaniu, jest możliwość wykorzystania do uzasadnienia decyzji znacznie doskonalszych modeli matematycznych, dokładniejszych i obejmujących więcej aspektów. Dla każdego zadania istnieje jednak racjonalny poziom szczegółowości i dokładności modelu, odpowiedni do miejsca zadania w całości kształcie procesu projektowania. Problem ten omówiono w rozdziale 3 łącznie z klasyfikacją i zakresem zastosowań różnych postaci modeli. Wykazano również, że do rozwiązywania zadań przez różnych współuczestników procesu projektowania elektrowni korzystne jest wykorzystanie zasad optymalizacji wielopłaszczyznowej.

Wobec dalekiego horyzontu czasowego niezbędnych analiz ekonomicznych, w rozdziale 4 rozważono możliwość i celowość uwzględnienia w procesie projektowania elektrowni elementów niedeterministycznych. Zaproponowany sposób rozwiązywania zadań w warunkach niedeterministycznych jest, zdaniem autora, wystarczająco dokładny i niezbyt skomplikowany dla zastosowań praktycznych.

Istotną cechą procesu projektowania elektrowni jest zmniejszanie się znaczenia gospodarczego decyzji wraz z realizacją poszczególnych faz projektowania. Dlatego też w rozdziale 5 poświęcono duże miejsca sformułowaniu zasad rozwiązywania zadań o zasadniczym znaczeniu w ramach studiów przedprojektowych. Zagadnienie to omówiono szerzej w zakresie zadań realizowanych przez projektantów elektrowni, podając jedynie ogólne wytyczne formułowania i rozwiązywania zadań przez projektantów SE i projektantów - konstruktorów urządzeń energetycznych, i to jedynie w zakresie niezbędnej współpracy tych projektantów.

Spesób wykerzystania maszyny cyfrowej w procesie projektowania istotnie zależy od potrzeb jej użytkowników. Do rozwiązywania zadań optymalizacyjnych (niezbyt licznych ale dość obszernych) w trakcie studiów przedprojektowych wystarcza wsadowe przetwa - rzenie danych, niekoniecznie na własnej maszynie cyfrowej. Natomiast w głównej fazie projektowania technicznego, do zaspokojenia różnorodnych i licznych potrzeb projekta - ntów w zakresie przetwarzania, gromadzenia, wyszukiwania i selekcji danych - potrzebna jest współpraca projektanta z maszyną cyfrową w trybie interakcyjnym. Specyficzne pro - blemu komputeryzacji projektowania i przepozycje w tym zakresie omówione w rozdziale 6 pracy.

Rezprawa wykerzystuje bogatą literaturę dotyczącą różnych zagadnień cząstkowych, ale równocześnie jest podsumowaniem i uogólnieniem wieleletnich prac własnych autora lub prac zbiorowych, realizowanych pod kierownictwem naukowym autora, nad omawianą te - matyką, z których w spisie literatury umieszczone jedynie prace opublikowane lub zamie - szczone w rozpowszechnionych materiałach z konferencji i sympozjów [14 do 16 i 21 do 31]. Pominęte natomiast 25 opracowań w maszynopisie, wykonanych głównie na zlecenie placówek energetyki, a dostępnych w Instytucie Elektrenergetyki i Sterowania Ukła - dów Politechniki Śląskiej.

2. CHARAKTERYSTYKA PROCESU INWESTYCYJNEGO ELEKTROWNI

2.1. Cechy elektrowni

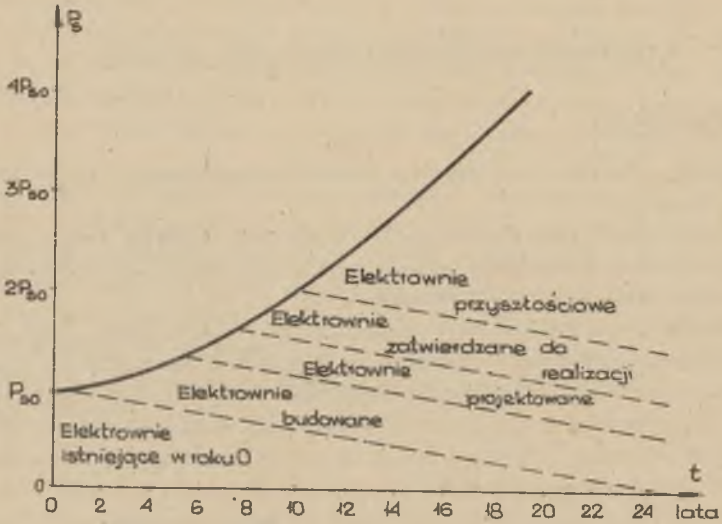
Projektowanie elektrowni ciepłych jest procesem skomplikowanym, o czym decydują następujące czynniki.

- 1) Cechy procesu technologicznego elektrowni; liczebność elementów i wielkości wymagających kontroli oraz charakter powiązań między nimi zmusza do traktowania elektrowni jako systemu wielkiego i złożonego [17].
- 2) Liczne powiązania elektrowni w fazie projektowania i eksploatacji z szerszym rezerwanym otoczeniem (zwłaszcza z systemami energetycznymi) wymagają traktowania elektrowni jako tzw. systemu względnie odseparowanego. Z powiązań tych wynika szereg ograniczeń oraz warunków projektowania i eksploatacji elektrowni; są też oddziaływania odwrotne - rozwój elektrowni wpływa na rozwój innych gałęzi przemysłu.
- 3) Elektrownia jest podsystemem w hierarchicznej strukturze SE, ale sama w zasadzie nie ma struktury czysto hierarchicznej w myśl warunków hierarchiczności systemu sformułowanych w pracy [17]. Jedyne z pewnym przybliżeniem można wydzielić w elektrowni struktury hierarchiczne. Najmniej wątpliwości budzi rozpatrywanie jako podsystemów elektrowni bloków energetycznych i układów ogólnoelektrowniowych, ale już w zakresie poszczególnych bloków istnieje tak duże istotnych powiązań poprzecznych między układami i urządzeniami składowymi, że ich niezależne rozpatrywanie jest możliwe jedynie w szczególnych przypadkach.
- 4) Wysoka kapitałochłonność inwestycji i wysokie koszty eksploatacji elektrowni wymagają szczególnie wnikliwej analizy ekonomicznej rozwiązań projektowych, przy uwzględnianiu różnych wymagań ekologicznych i technicznych (np. niezawodność i elastyczność pracy urządzeń).
- 5) W procesie projektowania elektrowni biorą udział różne jednostki organizacyjne, a w ramach każdej jednostki zespoły różnych specjalistów. Od działalności i współpracy tych ludzi istotnie zależy jakość rozwiązań projektowych.
- 6) Długi czas projektowania, budowy i późniejszej eksploatacji elektrowni zmusza do przewidywania i prognozowania na daleką perspektywę szeregu danych wejściowych dla projektowania, których wartości nie da się określić jednoznacznie.

2.2. Racjonalna organizacja procesu inwestycyjnego elektrowni

Cieczny przyrost szczytowego zapotrzebowania mocy w krajowym SE, w wysokości ok. 7,5%, zmusza do systematycznego rozwoju mocy zainstalowanej systemu. Decyduje to o dynamicznym charakterze rozwoju SE, którego moc w skali wieloletniej wzrasta wykładniczo (rys. 1) w ograniczonej perspektywie czasu, przy czym moce z nowych inwestycji powinny pokrywać przyrosty zapotrzebowania mocy oraz ubytki mocy w starej bazie

twórczej systemu. W stosunku do mocy SE moc poszczególnych inwestycji może być niewielka, ale każda elektrownia stanowi oddzielne zadanie inwestycyjne o dużym zaangażowaniu środków.



Rys.1 Wzrost mocy osiągalnej systemu w perspektywie wieloletniej i udział w nim poszczególnych grup elektrowni

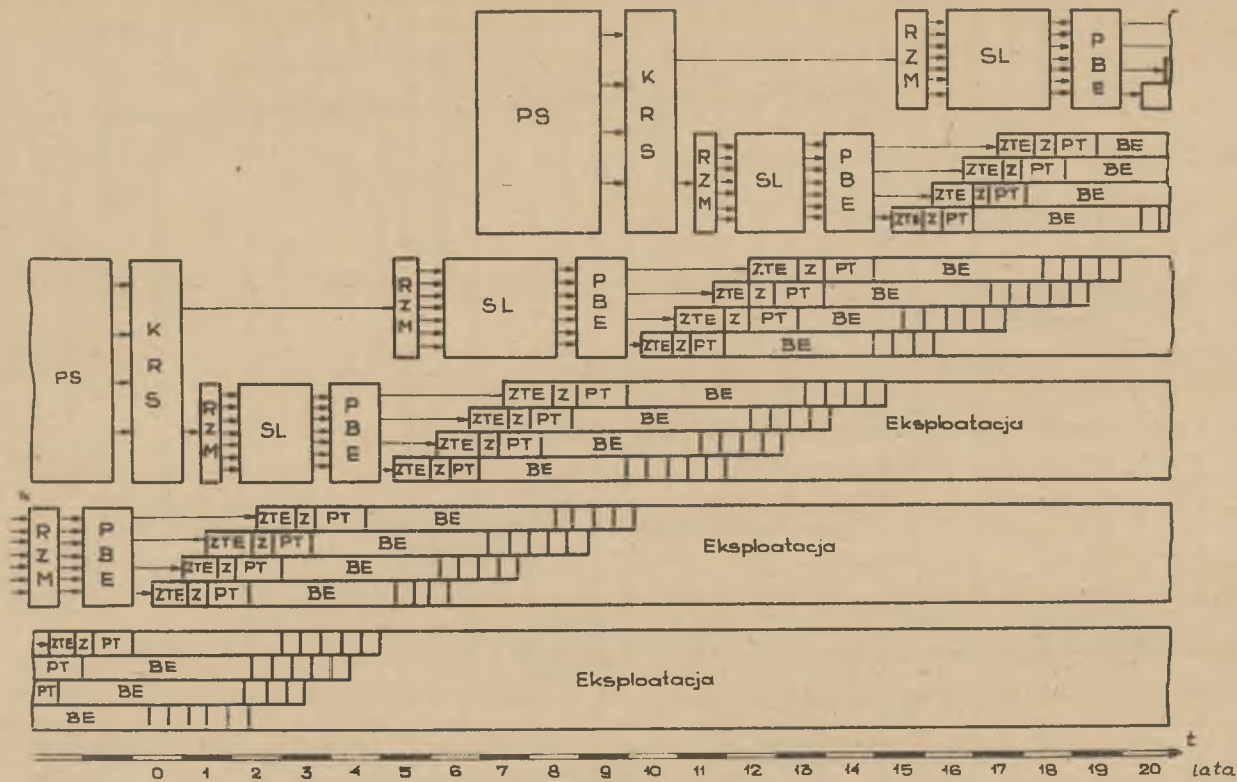
Proces planowania rozwoju SE jest więc typowym wieloetapowym procesem decyzyjnym, ale o dość złożonych właściwościach. Przejawiają się one przede wszystkim w nieskończoności rozwoju i w silnych powiązaniach wewnętrznych, powodujących, że np. uruchomienie nowej elektrowni wpływa na eksploatację elektrowni uruchomionych wcześniej i elektrowni przyszłościowych.

Poszczególne inwestycje elektrowniane muszą być planowane i projektowane w sposób zapewniający optymalny rozwój SE w długim okresie. Optymalizacja ta jest jednak bardzo złożonym zadaniem, którego rozwiązanie jest możliwe jedynie przy założeniach upraszczających. Do takich nieuniknionych założeń należy ograniczenie rozważań do skończonego horyzontu czasowego i podział procesu planowania rozwoju SE na charakterystyczne etapy, których okresowe powtarzanie zapewnia ciągłość rozwoju SE.

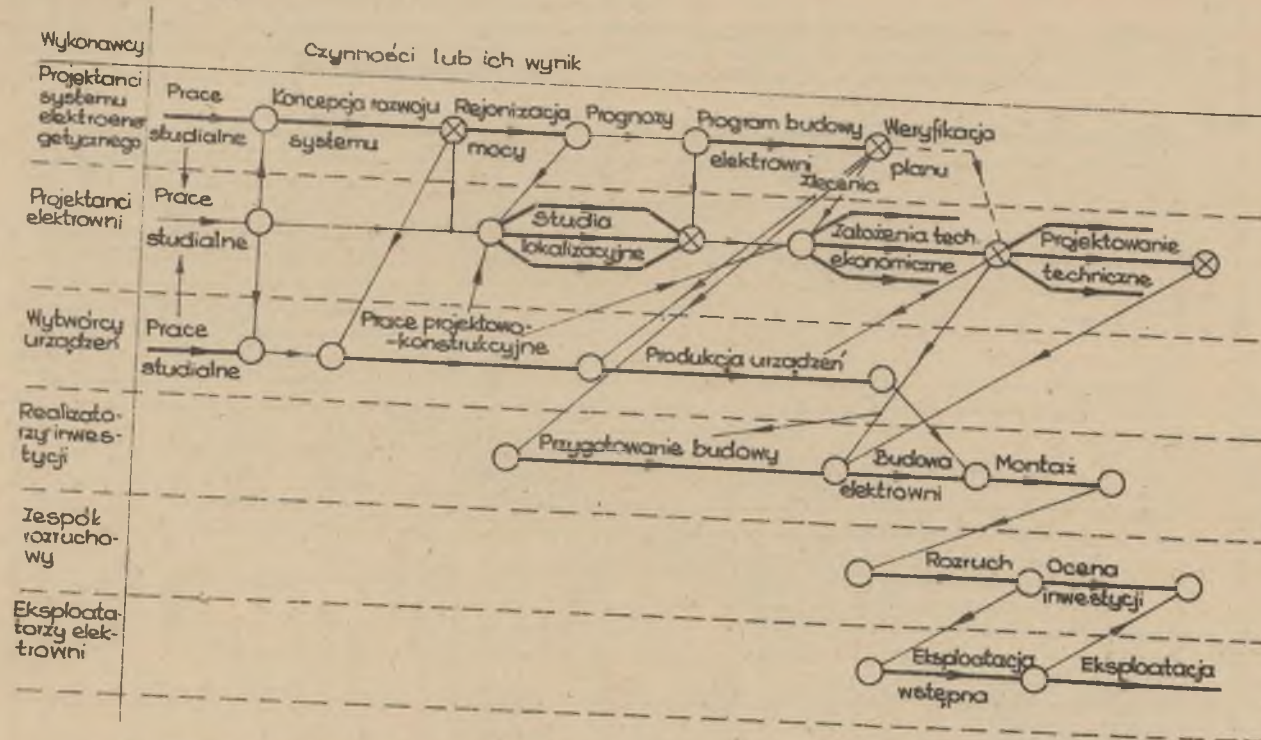
Na rys. 2 przedstawiono przyjętą do dalszych rozważań propozycję podziału procesu inwestycyjnego elektrowni na charakterystyczne etapy. Propozycja ta nawiązuje do dotychczasowych doświadczeń z zakresu planowania rozwoju SE [36,42].

Założono, że planowanie rozwoju SE odbywa się krocząco, poprzez cykliczne powtarzanie dwóch zasadniczych etapów.

Pierwszy daje koncepcję rozwoju SE na daleką perspektywę (ok.20 lat), która powinna określać m.in. docelową strukturę mocy systemu. Ten etap prac ma wyznaczać optymalne kierunki rozwoju elektrowni i na tym tle dawać informacje o niezbędnym rozwoju bazy paliwowej, przygotowaniu się przemysłu ciężkiego, transportu i innych działów gospodarki narodowej.



Rys.2. Przebieg w czasie procesu inwestycyjnego systemu elektroenergetycznego w zakresie elektrowni
 PS-prace studialne ; KRS-konceptcja rozwoju systemu na daleka perspektywe; RZM-rejonizacja zapotrzebowania mocy;
 SL-studia lokalizacyjne; PBE-program budowy elektrowni w systemie; ZTE-zalozenia techniczno-ekonomiczne elektrowni;
 Z-zatwierdzenia; PT- projekt techniczny; BE-budowa elektrowni.



Rys.3 Zastępcza sieć zależności dla procesu inwestycyjnego elektrowni

⊗ - zatwierdzenie wyników prac

W drugim etapie chodzi o ułożenie programu budowy elektrowni w określonym okresie bliższej perspektywy. Proponuje się, aby program budowy elektrowni ukiadać co 5 lat i obejmować nim okres od 5 do 10 roku perspektywy.

W takim ujęciu w ramach realizacji jednej koncepcji rozwoju Stb ukiadać się będzie i realizować dwa programy budowy elektrowni, a koncepcję należy aktualizować najpóźniej co 10 lat.

Umieszczona u dołu rysunku 2 skala czasu umożliwi szacunkowe określenie czasu i jednocześnie poszczególnych działań i ich wzajemnych wyprzedzeń czasowych. Rysunek dotyczy prostego przypadku instalowania w elektrowniach parowych bloków o opanowanej technologii produkcji, co zezwalało na pominięcie wśród działań składowych problematyki konstrukcji i produkcji urządzeń, jakie nie leżącej na ścieżce krytycznej procesu.

Nieco pełniejszy, ale w innym ujęciu, obraz procesu inwestycyjnego elektrowni przedstawiono na rys. 3 w postaci bardzo uproszczonej sieci działań poszczególnych uczestników tego procesu. Praca niniejsza dotyczy głównie działań wykonywanych przez projektantów elektrowni oraz związanych z tym działań projektantów SE i urządzeń dla elektrowni w zakresie niezbędnym dla optymalizacji rozwiązań projektowych elektrowni.

Prace projektantów elektrowni mają w proponowanym ujęciu dwa zasadnicze cele - przygotowanie danych dla projektantów systemu i urządzeń energetycznych oraz opracowanie dokumentacji inwestycyjnej.

Z czterech zasadniczych etapów prac projektantów elektrowni (rys. 3) pierwszy (prace studialne) jest wykonywany tylko dla potrzeb projektantów systemu, a ostatni (projekt techniczny) służy tylko realizatorom inwestycji. Pozostałe dwa etapy (studia lokalizacyjne i założenia techniczno-ekonomiczne) są użyteczne dla obu wymienionych celów.

Warunkiem poprawnego działania proponowanej organizacji procesu inwestycyjnego jest ścisły podział obowiązków między realizatorów tego procesu i zorganizowanie systemu wymiany informacji. W dalszych rozdziałach podano bliższe propozycje w tym zakresie, podobnie jak i w zakresie automatyzacji zbierania, przetwarzania i przepływu informacji. W zasadzie można by myśleć o utworzeniu jednego wspólnego systemu informatycznego dla całego procesu planowania i projektowania elektrowni. Jest to jednak realne w dalszej perspektywie, założono więc, że narazie każdy z uczestników procesu będzie miał własny system informatyczny dostosowany do specyfiki potrzeb.

2.3. Charakterystyka informacji w projektowaniu elektrowni

Projektowanie można traktować [13] jako proces wyszukiwania, przechowywania i przetwarzania informacji w celu wytwarzania nowych informacji. Dane wejściowe do danego etapu projektowania elektrowni są informacjami wynikowymi poprzednich faz jej projektowania lub systemów nadrzędnych, a wyniki są wykorzystywane w dalszych fazach projektowania i w końcu przez realizatorów inwestycji.

Istotny dla dalszych rozważań jest podział informacji wejściowych do projektowania na zewnętrzną (IZ) i wewnętrzną (IW). Informacje zewnętrzne można [39,46] podzielić na:

IZO - ogólnoekonomiczne, dotyczące np. cen, raty rozszerzonej reprodukcji;

IZP - wytwórcze, określające możliwości dostarczenia do elektrowni materiałów i urzą-

dzen oraz charakteryzujące ich właściwości techniczno-ekonomiczne;

IZh - rejonowe, dotyczące warunków lokalizacji elektrowni, a więc bazy paliwowej i wodnej, warunków klimatycznych i terenowych, itp.;

IZs - systemowe, określające wymagane przez SE parametry i właściwości elektrowni, a więc wymaganą moc, terminy jej uruchomienia, wielkości produkcji, elastyczność pracy.

Wśród informacji wewnętrznych rozróżnić można:

IWO - ogólnoelektrowniane, dotyczące np. liczby, mocy i typu bloków, rodzaju schematów układów elektrowni;

IWT - technologiczne, dotyczące parametrów i właściwości poszczególnych układów technologicznych i urządzeń, ich kompozycji przestrzennej, itp.;

IWK - konstrukcyjne, dotyczące kształtu, rozmiarów, materiałów, itp. parametrów konstrukcyjnych elementów i węzłów układów.

W projektowaniu elektrowni wszystkie potrzebne dla danej fazy informacje zewnętrzne powinny być znane i tworzyć tzw. warunki zewnętrzne projektowania, które opisuje zbiór parametrów zewnętrznych W_z .

W najogólniejszym ujęciu wszystkie informacje wewnętrzne powinny być traktowane jako zmienne decyzyjne. Wykorzystując jednak doświadczenie i poprzednie fazy optymalizacji rozwiązań można wiele z informacji wewnętrznych traktować jako znane. Tworzą one tzw. wewnętrzne warunki optymalizacyjne, które reprezentuje zbiór parametrów wewnętrznych zadania (W_w).

Zbiory zewnętrznych i wewnętrznych parametrów zadania tworzą zbiór warunków optymalizacji:

$$W = (W_z, W_w) . \quad (2.1)$$

Pozostałe zmienne wewnętrzne można podzielić na:

X - zmienne niezależne (decyzyjne),

Y = Y(X) - zmienne zależne.

Do zmiennych zależnych zaliczyć można te wielkości, które wpływają istotnie na wartość wskaźników charakterystycznych elektrowni, a które są zależne od parametrów i rozwiązań urządzeń i układów, np. przepływy czynników i prądów.

W zależności od charakteru zmian wartości wielkości rozróżnić można:

- ciągle (X_c, Y_c), jak np. większość parametrów termodynamicznych i elektrycznych, parametry zużycia paliw, czynników, materiałów itp.,
- dyskretno (X_d, Y_d), dotyczące wskaźników struktury układów, parametrów konstrukcyjno-kompozycyjnych i niektórych znormalizowanych parametrów termodynamicznych i elektrycznych (np. poziom napięcia).

Dla każdego zadania projektowego dane wejściowe podzielić można ze względu na źródło pochodzenia na stałe - czerpane z katalogów, norm, cenników, wynikające z poprzednich ustaleń, itp. oraz na dane zmienne, których wartości określić musi projektant w oparciu o wyniki własnej pracy twórczej, uzgodnień, itp.

Z punktu widzenia wiarygodności informacji określających warunki optymalizacji rozwiązań projektowych można rozróżnić wielkości deterministyczne, probabilistyczno-statystyczne i niepewne. W projektowaniu elektrowni występują wszystkie te rodzaje informacji w proporcjach zależnych głównie od fazy i poziomu projektowania.

Jako w pełni deterministyczne można traktować w zasadzie tylko dane wynikające z niektórych założeń z poprzednich faz projektowania, np. moc nominalną i liczbę bloków dane dotyczące przyjętych struktur układów itp. Również mało istotne wielkości w poszczególnych zadaniach można traktować jako deterministyczne (rozdz. 3).

Większość danych niezbędnych do projektowania to wyniki prognoz, obliczeń teoretycznych lub innych badań. Wiarygodność ich wyników zależy istotnie od ilości i jakości danych wejściowych do obliczeń oraz dokładności wykorzystanego modelu.

W zakresie projektowania elektrowni stosunkowo niewiele wielkości można traktować jako ściśle probabilistyczne, czyli o znanej postaci i parametrach rozkładu prawdopodobieństwa. Dotyczyć to może np. warunków hydrologiczno-meteorologicznych w miejscu lokalizacji elektrowni, i to nie zawsze. Przeważają wielkości statystyczne, których wartości określane są poprzez statystyczną obróbkę nielicznych danych z przeszłości. Występują przy tym zwykle poważne trudności związane z małą liczebnością danych statystycznych, a wywołane ich ograniczoną porównywalnością i reprezentacyjnością dla przyszłości, kosztami i czasem pozyskania, wpływem licznych czynników itp. Typowym przykładem są tu wskaźniki niezawodności i sprawności bloków energetycznych, które nadają się do obróbki statycznej dopiero po kilku latach eksploatacji bloków, ale wyniki tej analizy będą i tak mało przydatne dla nowego typu bloku. Spośród możliwych sposobów niedeterministycznych oceny wartości wielkości probabilistyczne-statystyczne dla celów praktycznych w p.4.2 zaproponowano najprostsz, bazujący na średniej arytmetycznej z próbki i odchyleniu standardowym.

Istnieje również zbiór takich wielkości o wartościach których w dalszej perspektywie nie można nic innego powiedzieć jak to, że mogą one przyjąć z równym prawdopodobieństwem jedną z kilku możliwych wartości z określonego obszaru. Taki niepewny charakter mają na ogół perspektywistyczne ceny materiałów, urządzeń, surowców i paliw a również wskaźniki zupełnie nowych rozwiązań konstrukcyjnych lub technologii.

3. MODELE MATEMATYCZNE DLA PROJEKTOWANIA ELEKTROWNI

3.1. Klasyfikacja modeli

Wynik pracy projektantów elektrowni, czyli wszelka dokumentacja jest graficznie - opisowym modelem elektrowni. Ze względu na wspomniane w p. 2.1 cechy elektrowni szybkie stworzenie tej dokumentacji na odpowiednim poziomie wymaga wykorzystania modeli i maszyn matematycznych, które spełniać mogą różnorodne funkcje w procesie projektowania. Szczególnie dużą rolę w podniesieniu jakości rozwiązań projektowych spełniać mogą numeryczne modele matematyczne. Postać i zakres zastosowań tych modeli w projektowaniu elektrowni może być bardzo różny. Poniżej podjęto próbę sklasyfikowania i scharakteryzowania typowych postaci modeli matematycznych przydatnych w projektowaniu elektrowni, a na tym tle wskazano możliwe drogi optymalizacji rozwiązań projektowych.

Modele matematyczne procesów technologicznych i urządzeń realizujących je autor dzieli [28] umownie na trzy grupy, zawierające następujące modele: funkcjonalne, ocenowe i optymalizacyjne.

Modele funkcjonalne opisują z określoną przybliżeniem przebieg procesu technologicznego i pracę urządzeń, czyli zawierają związki pomiędzy wybranymi wielkościami charakterystycznymi układu i warunkami jego pracy. Modele te tworzy się wykorzystując podstawowe prawa termodynamiki, elektrotechniki, mechaniki i innych nauk. Wśród modeli tych rozróżnić można statyczne, dające chwilową fotografię procesu technologicznego w określonych warunkach oraz dynamiczne - umożliwiające odwzorowanie zmian w czasie wybranych parametrów procesu wskutek oddziaływań sterujących lub zakłóceń.

Modelami ocenowymi nazwano umownie modele, które służą do określania różnych wskaźników charakterystycznych projektowanego układu. Wskaźniki te dotyczyć mogą aspektów technicznych (sprawność, niezawodność pracy, zużycie materiałów i surowców itd), ekonomicznych (nakłady inwestycyjne, koszty eksploatacji), ekologicznych (oddziaływanie procesu na środowisko naturalne) i ewentualnie innych. Modele ocenowe wykorzystują wyniki uzyskiwane z modeli funkcjonalnych.

Modele optymalizacyjne służą do bezpośredniego wyznaczania optymalnych wartości zbioru zmiennych decyzyjnych, ekstremalizujących określoną funkcję celu. Modele te mogą mieć różną postać - od najprostszej dotyczącej ekstremum bezwarunkowego funkcji jednej zmiennej, po najbardziej rozbudowane modele do tzw. optymalizacji kompleksowej, uwzględniające również szereg warunków ograniczających swobodę wyboru rozwiązań. Modele te, najmniej znane w kraju, omówiono szerzej w p.3.3.

W zależności od właściwości danych wejściowych do obliczeń (warunków optymalizacji) można rozróżnić modele deterministyczne, probabilistyczno-statystyczne i strategiczne. Dalsze rozważania tego rozdziału dotyczą modeli deterministycznych, a modele niedeterministyczne omówiono w p. 4.

3.2. Postać i zakres zastosowań modeli funkcjonalnych

Statyczne modele funkcjonalne bazują głównie na równaniach bilansowych o ogólnej postaci:

$$\varphi(W, X, Y) = 0, \quad (3.1)$$

gdzie:

$W = (w_1, w_2, \dots, w_p)$ - zbiór parametrów opisujących warunki pracy procesu, np. ceny paliw, i surowców, warunki meteorologiczne pracy układu,

$X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ - zbiór zmiennych niezależnych,

$Y = (y_1, y_2, \dots, y_m)$ - zbiór zmiennych zależnych od X .

W układach cieplnych taką postać mają bilanse masy, energii, pędu, ciśnienia, itp., a w układach elektrycznych równania wynikające z praw Kirchhoffa, bilanse mocy i energii. Modele te dla złożonych układów technologicznych zawierają zwykle dość liczny zbiór równań powyższego typu, sporządzonych dla poszczególnych węzłów lub oczek układu:

$$\phi = (\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_q). \quad (3.2)$$

Rozwiązanie omawianych modeli statycznych polega na wyznaczeniu wartości zmiennych zależnych Y dla określonych warunków pracy układu $W = W_0$ i dla dowolnych wartości zmiennych niezależnych:

$$Y = Y(X)_{W_0}. \quad (3.3)$$

W ten sposób oblicza się rozpiły masy, energii, prądów, mocy, spadki napięć i wartości innych parametrów.

Dynamiczne modele funkcjonalne zawierają tzw. równania stanu układu:

$$\dot{S}(t) = Q[S(t), U(t), t] \quad (3.4)$$

i równanie wyjścia:

$$y(t) = R[S(t), U(t), t] \quad (3.5)$$

gdzie:

S - wektor stanu układu, U - wektor oddziaływań (wejść) na układ, y - wektor odpowiedzi (wyjścia) układu, t - czas, Q, R - funkcje wektorowe.

Budowa i rozwiązywanie tego typu modeli dla złożonych nieliniowych, niestabilnych układów elektrownianych jest zadaniem bardzo złożonym. Pomimo wieloletnich prac w różnych ośrodkach dotychczas brak jest w kraju dostatecznie dokładnego modelu cyfrowego dużego bloku energetycznego. Konieczność opracowywania modeli dynamicznych wynika przede wszystkim z narastających wymagań odnośnie sterowalności elektrowni i jakości pracy automatyki. Trudności związane z budową i rozwiązywaniem tych modeli zainicjowały rozwój nowej gałęzi wiedzy - techniki symulacji systemów.

Modele funkcjonalne znajdują zastosowanie przede wszystkim do projektowania układów i urządzeń o określonych właściwościach technicznych, czyli do eliminacji rozwią-

zań nie spełniających prostych ograniczeń natury technologicznej, konstrukcyjnej itp. o postaci ogólnej:

$$Y_m \leq Y(X, W) \leq Y_M \quad (3.6)$$

$$y_i(t) \leq y_{zi}(t) \pm \delta y \quad (3.7)$$

gdzie:

Y_m, Y_M - minimalne i maksymalne dopuszczalne wartości zmiennych zależnych,
 $y_i, y_{zi}(t), \delta y$ - uzyskany z modelu i pożądaný przebieg w czasie i-tej wielkości wyjściowej procesu oraz dopuszczalny przedział jej odchyleń.

W niektórych, prostszych zadaniach decyzyjnych można, wykorzystując wyniki realizacji modeli funkcjonalnych, dojść w prosty sposób do ekonomicznie najkorzystniejszej - szczytowej wartości następnego zbioru zmiennych decyzyjnych, nie wchodzących w pierwotny model funkcjonalny (rys. 4). Jest to możliwe jedynie wówczas, gdy da się sformułować proste kryterium ekonomiczne w postaci zależności funkcyjnej, np:

$$\hat{X} = f(Y) \quad (3.8)$$

lub zależności logicznych, np. typu:

$$\begin{aligned} \text{gdy } Y < Y_g \quad \text{to } \hat{X} &= X_I \\ \text{gdy } Y > Y_g \quad \text{to } \hat{X} &= X_{II} \end{aligned} \quad (3.9)$$

gdzie:

\hat{X} - zalecane wartości ekonomiczne zmiennych decyzyjnych,
 Y_g - wartości graniczne zmiennych zależnych w modelu funkcjonalnym.

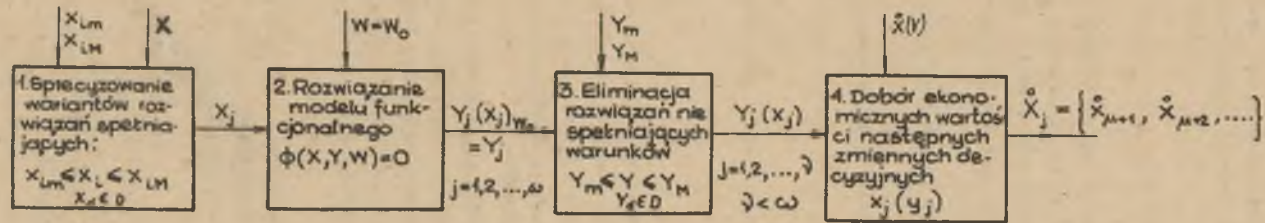
Według funkcji kryterium (3.8) dobierać można w sposób przybliżony, np. ekonomicznej średnicy rurociągów dla określonego uprzednio natężenia przepływu czynnika i granicznego spadku ciśnienia na długości rurociągu. Kryterium (3.9) jest wykorzystywane np. do wyboru napięcia znamionowego silników potrzeb własnych w zależności od określonej uprzednio mocy silnika.

Praktyczne wykorzystanie w projektowaniu tak prostych postaci modeli decyzyjnych jest uwarunkowane znajomością granicznych wartości jednych wielkości (Y_g) oraz ekonomicznych wartości innych (\hat{X}). Wartości te powinny być okresowo aktualizowane, przy wykorzystaniu innych szczegółowych modeli optymalizacyjnych.

3.3. Postać i zakres zastosowań modeli ocenowych

Modele funkcjonalne umożliwiają i ułatwiają zaprojektowanie układu, który będzie pracować poprawnie z technologicznego punktu widzenia, ale na ogół z bliżej nieokreślonymi wynikami techniczno-ekonomicznymi. Porównanie cech różnych możliwych rozwiązań projektowych układu wymaga obliczenia odpowiednich wskaźników, do czego niezbędne są modele ocenowe. Modele te, ogólnie mówiąc, opisują związki pomiędzy zmiennymi i parametrami układu a określonymi wskaźnikami:

$$V = V(X, Y, W) \quad (3.10)$$



$l = 1, 2, \dots, \mu$ - indeksy elementów zbioru pierwotnych zmiennych decyzyjnych: $X = \{x_1, x_2, \dots, x_l, \dots, x_\mu\}$

$j = 1, 2, \dots, \omega$ - indeksy wariantów wartości zmiennych decyzyjnych,

$X_j = \{x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{lj}, \dots, x_{\mu j}\}$ - zbiór wartości zmiennych decyzyjnych charakteryzujący j-ty wariant rozwiązania zadania,

$Y_j = \{y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{\omega j}\}$ - zbiór wartości zmiennych zależnych w j-tym wariantie rozwiązania

Rys. 4. Schemat blokowy realizacji prostego zadania podejmowania decyzji projektowej z wykorzystaniem modelu funkcjonalnego

Ustalenie tych związków w postaci jawnej funkcji jest zwykle dla złożonych układów bardzo trudne. Wykorzystując jednak modele funkcjonalne, np. zależności typu (3.3) oraz znajomość warunków pracy układu $W = W_0$, można tworzyć modele ocenowe o prostszej postaci:

$$V = V(Y)_{W_0} ; \text{ lub } V = V(X, Y)_{W_0} . \quad (3.11)$$

W ten sposób określa się zwykle sprawność układów, koszty budowy i eksploatacji, wskaźniki jednostkowego zużycia, niezawodności, itp. Dla niektórych wycinkowych zagadnień można na drodze analitycznej lub empirycznej sformułować w postaci jawnej funkcji obrazujące zależność (3.6). Zależności tego typu są wykorzystywane np. do określania oddziaływania elektrowni na środowisko naturalne.

Wyniki obliczeń wykonanych na modelach ocenowych są wykorzystywane do dwóch zasadniczych celów:

1) do sprawdzania warunków ograniczających o najogólniejszej postaci:

$$\psi_m \leq f(X, Y, W) \leq \psi_M . \quad (3.12)$$

gdzie:

indeksy m i M oznaczają minimalną i maksymalną dopuszczalną wartość funkcji ograniczającej ψ ,

2) do wyboru rozwiązań najkorzystniejszych.

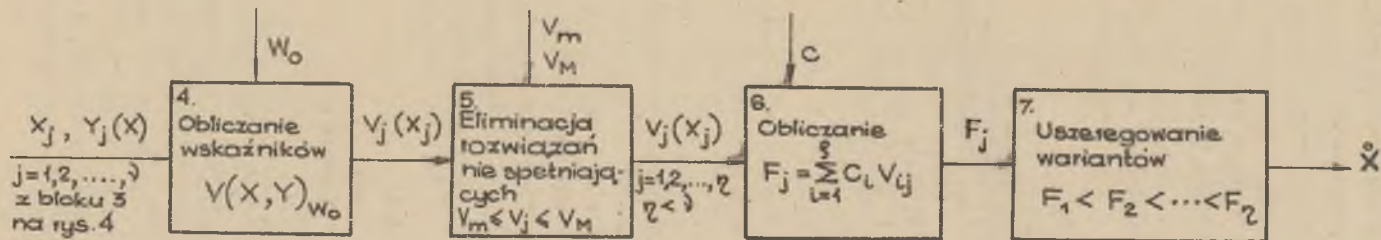
Warunki ograniczające typu (3.12) lub tylko jednostronne dotyczą zwykle różnorodnych aspektów technologicznych (np. parametry pary, temperatura metalu, moc zwarcio-wa, napięcie), technicznych (np. niezawodność i elastyczność pracy), ekologicznych (np. wyrzut szkodliwych odpadów produkcyjnych), ogólnogospodarczych (np. zużycia deficytowych materiałów i surowców, stan zatrudnienia).

Wykorzystanie wyników uzyskiwanych z modeli ocenowych do wyboru rozwiązań najkorzystniejszych z ogólnogospodarczego punktu widzenia wymaga sprawdzenia wszystkich wskaźników cząstkowych tworzących zbiór V do jednoznacznej postaci funkcji celu F (p. 3.7). Rozwiązanie zadania wyznaczenia rozwiązania najkorzystniejszego możliwe jest dwoma zasadniczymi drogami: przez porównanie wariantów możliwych rozwiązań lub wykorzystując model optymalizacyjny.

Metoda porównywania wariantów, której ogólny schemat blokowy przedstawiono na rys. 5, polega na dyskretyzacji zadania, eliminacji rozwiązań nie spełniających ograniczeń, a w końcu na uszeregowaniu wariantów wg obliczonych wartości funkcji celu:

$$F_j = F(V_j)_{W_0} \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3.13)$$

Taki sposób postępowania jest w praktyce chyba najbardziej rozpowszechniony, przy czym liczba porównywanych wariantów jest na ogół dość mała. Wynika to zwykle z wykorzystania przez projektantów poprzednich doświadczeń z rozwiązywania analogicznych zadań. Z drugiej strony taki sposób postępowania nie daje gwarancji, że wśród porównywanych wariantów znajduje się rozwiązanie rzeczywiście optymalne.



$V_j = \{V_{1j}, V_{2j}, \dots, V_{pj}\}$ - zbiór wskaźników oceny j -tego rozwiązania,

η, η - liczba wariantów przed i po wtórnej eliminacji rozwiązań w bloku 5

$\hat{X} = \{\hat{x}_1, \hat{x}_2, \dots, \hat{x}_u\}$ - zbiór zmiennych decyzyjnych dający najniższą wartość funkcji celu F

Rys. 5. Schemat blokowy poszukiwania rozwiązań ekonomicznie najkorzystniejszych metodą porównywania wariantów

Procedurę porównywania wariantów można w znacznym stopniu zautomatyzować, łącznie z generowaniem wariantów dopuszczalnych i możliwych rozwiązań oraz z uszeregowaniem wariantów. Niezbędny nakład obliczeniowy jednak szybko z wymiarowością zadania, np. gdy 4 zmienne mogą przyjmować 4 wartości to liczba wariantów, jakie trzeba porównać, wynosi 256. Dlatego taki sposób postępowania jest efektywny tylko dla niezbyt dużych zadań lub w przypadkach, gdy nie da się zbudować modeli optymalizacyjnych.

Metoda optymalizacji ciągłej bazuje na charakterystykach składowych funkcji celu $F_i(X)$, otrzymywanych przez przeliczenie charakterystyk $V(X,Y)$, np. na jednostki pieniężne, a więc:

$$F_i = C_i V_i(X,Y)_{W_0}, \quad (3.14)$$

gdzie

i - indeks i -tego składnika funkcji celu,

C_i - współczynnik przeliczeniowy (koszt jednostkowy).

Następnie tworzy się model optymalizacyjny:

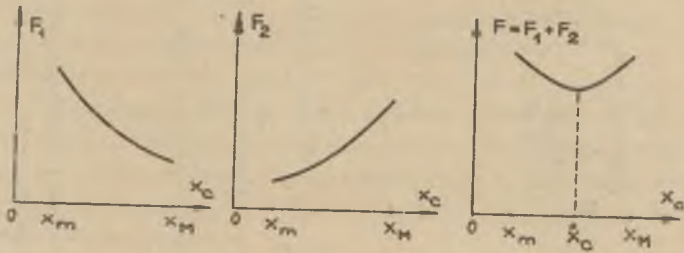
- znaleźć zbiór wartości \hat{X} zapewniających:

$$\text{ekstremum}_X \left\{ F(X) = \sum_{i=1}^n F_i [V_i(X)] \right\} \quad (3.15)$$

- przy ograniczeniach typu:

$$X_m \leq \hat{X} \leq X_M. \quad (3.16)$$

Na rys. 6 przedstawiono interpretację geometryczną tego zadania dla najprostszego przypadku jednej zmiennej decyzyjnej i dwóch składowych funkcji celu.



Rys. 6 Interpretacja graficzna prostego przypadku optymalizacji parametru ciągłego X_c

Rozwiązanie tego typu modeli przy pomocy metod programowania marginalnego nie stwarza poważniejszych trudności. Warunkiem umożliwiającym zastosowanie tego modelu jest addytywność funkcji celu, ciągłość i wypukłość w górę charakterystyk $F_i(X)$ oraz ich znajomość w postaci jawnej funkcji zmiennych decyzyjnych.

3.4. Modele matematyczne dla kompleksowej optymalizacji

Istotną różnicą, jaką wnoszą modele optymalizacyjne w stosunku do wyżej wymienionych, jest bezpośrednia, analityczna wyznaczenie zbioru optymalnych wartości zmiennych decyzyjnych X , przy czym wartość optymalna funkcji celu ma tu charakter informacji uzupełniającej. Modele dla kompleksowej optymalizacji umożliwiają rozwiązywanie zadań względem od razu większej liczby zmiennych ciągłych X_c i dyskretnych X_d , z uwzględnieniem różnych warunków ograniczających swobodę wyboru rozwiązań. W najogólniejszym ujęciu model dla kompleksowej optymalizacji rozwiązań, w określonych warunkach $W = W_0$, ma postać:

$$F(X_d, X_c, Y)_{W_0} \longrightarrow \min_{X_d, X_c}, \tag{3.17}$$

przy licznych ograniczeniach o postaci:

- równań bilansowych typu:

$$g(X, Y)_{W_0} = 0, \tag{3.18}$$

- nierówności typu:

$$\psi_m \leq \Psi(X, Y)_{W_0} \leq \psi_M, \tag{3.19}$$

$$X_m \leq X_c \leq X_M, \tag{3.20}$$

$$X_d \in D, \tag{3.21}$$

gdzie:

F, X, Y, W, g - jak poprzednio,

$\Psi = (\Psi_1, \Psi_2, \dots, \Psi_M)$ - zbiór funkcji, na które nałożone są ograniczenia o postaci nierówności (3.12),

D - zbiór dopuszczalnych wartości zmiennych dyskretnych X_d .

Funkcji celu F na ogół nie da się przedstawić w postaci jawnej funkcji wszystkich zmiennych niezależnych X . Jednak wykorzystując wynikającą z równań bilansowych (3.1) zależność (3.3) można wyeliminować z modelu zmienne zależne Y i sprowadzić go do prostszej postaci:

$$F(X_d, X_c)_{W_0} \longrightarrow \text{ekstremum}, \tag{3.22}$$

przy:

$$(X_d, X_c) \in R, \tag{3.23}$$

gdzie dopuszczalny obszar rozwiązań R określony jest warunkami (3.19) do (3.21). W warunkach ograniczających mieścić się mogą różne zagadnienia natury technologicznej, ekologicznej, ekonomicznej itp. Objętość takich modeli jest więc z reguły bardzo duża.

Wieloletnie doświadczenia Syberyjskiego Energetycznego Instytutu Akademii Nauk ZSRR w Irkucku [30,38,39,40,50] nad badaniem właściwości takich modeli do kompleksowej optymalizacji układów ciepłych elektrowni doprowadziły do następujących wniosków:

1) Modele mają silnie nieliniowy charakter, wynikający ze złożoności powiązań między wielkościami opisującymi układ, występującymi zarówno w funkcji celu jak i w ograniczeniach.

- 2) Dla zadanych: typu układu, konstrukcji, materiałów i warunków zewnętrznych funkcja $F(x_c)_{x_d}$ jest jednoznaczna, ciągła i wypukła w górę.
- 3) Funkcje ograniczające $\Psi(X)$ wzrastają monotonicznie względem jednych parametrów, a maleją względem innych, czyli obszar dopuszczalnych rozwiązań jest niewypukły.
- 4) Niewypukłość obszaru dopuszczalnych rozwiązań stwarza możliwość występowania kilku ekstremów lokalnych funkcji celu, należy więc poszukiwać optimum globalnego.
- 5) Rozmiary modelu układu cieplnego bloku są bardzo duże, np. ograniczenia bilansowe bloku 800 MW zawierają 170 równań typu (3.18), wiążących około 300 wielkości charakterystycznych układu [39].
- 6) Ostatecznie omawiane zadania optymalizacyjne należą do klasy najbardziej złożonych zadań niewypukłego programowania nieliniowego z ograniczeniami i z obecnością zmiennych o charakterze ciągłym i dyskretnym.
- 7) Dotychczas brak jest efektywnych metod bezpośredniego rozwiązywania zadań o takich właściwościach na dostępnych maszynach cyfrowych. Niezbędne jest stosowanie specjalnych zabiegów i wykorzystywania specjalnych cech zadań.

Jednym z najprostszych zabiegów, chociaż łagodzącym tylko część trudności, jest rozłączna optymalizacja zmiennych ciągłych i dyskretnych. W pierwszej kolejności optymalizuje się zbiory zmiennych ciągłych względem zakładanych wariantowo wartości zmiennych dyskretnych:

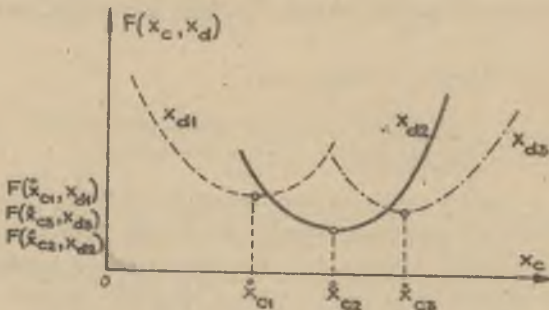
$$F(x_c)_{x_{di}} \longrightarrow \text{ekstremum}_{x_c} \quad (3.24)$$

otrzymując zbiór \hat{x}_{ci} , $i = 1, 2, \dots, n$,

a następnie poszukuje się optymalnych wartości zmiennych dyskretnych:

$$F(x_d)_{x_{ci}} \longrightarrow \text{ekstremum}_{x_d} \quad (3.25)$$

Na rys. 7 przedstawiono interpretację graficzną takiego podejścia dla najprostszego przypadku jednej zmiennej ciągłej x_c i dyskretnych x_d oraz przy pominięciu ograniczeń. Optymalne rozwiązanie w tym przypadku to \hat{x}_{c2} i \hat{x}_{d2} .



Rys. 7 Interpretacja geometryczna rozłącznej optymalizacji zmiennych ciągłych x_c i dyskretnych x_d

Każde z podzadań jest jednak nadal bardzo złożone i praktycznie rozwiązywalne dla niezbyt obszernych zadań i po wyborze efektywnych metod obliczeniowych optymalizacji. Te ostatnie przedsięwzięcie wymaga przeprowadzenia pracochłonnych badań numerycznych, tak jak zrobiono to w SEI [39,40]. Rezultaty tych badań autor przeanalizował w pracy [30], a poniżej przytoczono jedynie ważniejsze ogólne wnioski z nich wynikające.

- 8) Dotychczas nie udało się stworzyć jednej uniwersalnej metody obliczeniowej optymalizacji, przydatnej dla rozwiązywania wszystkich zadań z zakresu optymalizacji układów cieplnych; należy wątpić czy jest to możliwe i celowe.
- 9) Właściwości zadań uniemożliwiają zastosowanie klasycznych metod analitycznych i prostych metod programowania liniowego, również aproksymacja odcinkowo-liniowa liczących zależności nieliniowych prowadzi do poważnych trudności obliczeniowych. Sięgać trzeba po nowoczesne metody nieliniowego programowania matematycznego, z których najefektywniejsze są metody z grupy metod poszukiwań kierunkowych.
- 10) Wykorzystując nowoczesne metody programowania matematycznego można szybko i z dostateczną dokładnością rozwiązywać na maszynach cyfrowych o średnich możliwościach obliczeniowych zadania optymalizacyjne z kilkunastoma zmiennymi decyzyjnymi.
- 11) Szybkość metod obliczeniowych bardzo istotnie zależy od wykorzystania specyficznych cech zadania, a zwłaszcza od wyboru punktu startu w metodach gradientowych.

Wnioski w zakresie efektywności rozwiązywania zadań optymalizacyjnych zgodne są z wnioskami sformułowanymi przez czołowy ośrodek krajowy zajmujący się tymi problemami - Instytut Automatyki Politechniki Warszawskiej [18,54,55].

3.5. Wykorzystanie zasad optymalizacji wielopoziomowej do redukcji rozmiarów zadań

Nakłady obliczeniowe na rozwiązywanie obszernych i złożonych zadań optymalizacyjnych mogą być, przy spełnieniu określonych warunków, znacznie zmniejszone przez podział zadania pierwotnego na kilka zadań cząstkowych, np. wg metody prymalnej Findeisena [18]. Zadania te rozwiązuje się parametrycznie względem wprowadzonych zmiennych koordynacyjnych U , których optymalne wartości określa się na drugim poziomie optymalizacji. Podział taki można zapisać następująco:

$$\begin{array}{l} \min_{X \in R} F(X) = \min_{X \in R} F(X, U) = \min_{U \in \Omega} F[F_1(X_1, U), F_2(X_2, U) \dots F_N(X_N, U)] \\ \begin{array}{l} X \in R \\ U \in \Omega \end{array} \\ \begin{array}{l} X_1 \in R_1(U) \\ X_2 \in R_2(U) \\ \dots \dots \dots \\ X_N \in R_N(U) \\ U \in \Omega \end{array} \end{array} \quad (3.26)$$

Oznacza to, że funkcję celu F rozkłada się na N składników F_1, F_2, \dots, F_N , zależnych od odpowiednich podzbiorów zmiennych X_1, X_2, \dots, X_N i wprowadzonego zbioru zmiennych koordynacyjnych U . Równocześnie zbiór ograniczeń R podzielono na szereg podzbiorów R_1, R_2, \dots, R_N zależnych od zbioru zmiennych koordynacyjnych U .

Warunkiem wykorzystania zasady optymalizacji wielopoziomowej jest [18] możliwość rozbięcia zbioru X na rozłączone podzbiory X_1, X_2, \dots, X_N oraz możliwość rozłączonej optymalizacji każdego ze składników (3.26):

$$\min_{X \in R} F(X) = \min_{U \in \Omega} F \left[\min_{X_1 \in R_1(U)} F_1(X_1, U), \min_{X_2 \in R_2(U)} F_2(X_2, U), \dots, \min_{X_N \in R_N(U)} F_N(X_N, U) \right] \quad (3.27)$$

Wprowadzając oznaczenia:

$$\min_{X_1 \in R_1(U)} F_1(X_1, U) = \hat{F}_1(U) \quad (3.28)$$

związek (3.27) przyjmuje postać

$$\min_{X \in R} F(X) = \min_{U \in \Omega} F \left[\hat{F}_1(U), \hat{F}_2(U), \dots, \hat{F}_N(U) \right] \quad (3.29)$$

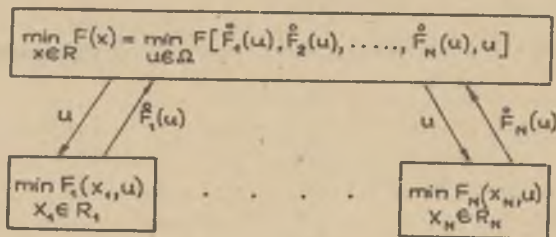
Wzór (3.28) wyraża zadanie niższego poziomu optymalizacji (zadanie lokalne), rozwiązywane parametrycznie względem U , a zadanie optymalizacji globalnej (wyższego poziomu) wyraża wzór (3.29). Z rozwiązania zadania (3.28) wynikają zależności funkcyjne:

$$\hat{X}_i(U) \quad i=1, 2, \dots, N, \quad (3.30)$$

czyli zadanie globalne można również zapisać w postaci:

$$\min_{X \in R} F(X) = \min_{U \in \Omega} F \left[\hat{X}_1(U), \hat{X}_2(U), \dots, \hat{X}_N(U), U \right] \quad (3.31)$$

Graficzną interpretację takiego podziału zadania przedstawiono na rys. 8, skąd wynika, że z niższego poziomu przepływają do wyższego charakterystyki $\hat{F}_i(U)$ lub $\hat{X}_i(U)$, a zwrótnie przekazywana jest optymalna wartość zmiennych koordynujących U . Numeryczne rozwiązywanie tego problemu wymaga albo znajomości charakterystyk $\hat{F}_i(U)$ w postaci jawnej funkcji, albo wielokrotnego, iteracyjnego rozwiązywania zadań na obu poziomach [55]. Sposób pierwszy jest bardziej czasochłonny, ale w niektórych przypadkach jest bardziej uzasadniony. Efektywność zastosowania drugiego sposobu zależy od wymaganej dokładności rozwiązania zadań niższego poziomu [55, 54].



Rys.8. Interpretacja metody optymalizacji wielopoziomowej

Wykorzystując powyższą ideę można wprowadzić następną poziom optymalizacji i zastosować analogiczny sposób postępowania. Taka optymalizacja wielopoziomowa daje malejszenie nakładów obliczeniowych jedynie wówczas, gdy zbiór zmiennych koordynacyjnych U będzie mniej liczny niż zbiór zmiennych decyzyjnych X w zadaniu pierwotnym.

Praktyczne wykorzystanie optymalizacji wielopoziomowej w projektowaniu elektrowni jest celowe przede wszystkim w zakresie koordynacji początną poszczególnych uczestników procesu projektowania (rys. 3). Wymaga to uzasadnionego wyboru zmiennych koordynacyjnych, względem których przeprowadzić się powinno optymalizację parametryczną na poszczególnych poziomach projektowania elektrowni (p.5).

3.6. Dokładność a rozmiary modelu optymalizacyjnego

Każdy model matematyczny jest tylko uproszczonym opisem wybranych właściwości rzeczywistego układu. Stopień tego przybliżenia może być różny. Z jednej strony mogą go narzucać ograniczone możliwości realizacji modelu na dostępnych maszynach cyfrowych przy wykorzystaniu znanych metod obliczeniowych optymalizacji, a z drugiej strony istnieje potrzeba racjonalnego dostosowywania dokładności modeli do dokładności danych wejściowych, potrzeb użytkowników (poziom i faza projektowania) oraz do relacji między efektami optymalizacji i jej kosztami.

Rezultaty obliczeń wykonywanych na modelach matematycznych są zawsze obarczone błędami, zależnymi od błędów sformułowania modelu, błędów danych wejściowych i błędów obliczeń. Wpływ ostatniej z wymienionych grup błędów jest pomijalny, gdyż nowoczesne metody obliczeniowe optymalizacji dają błędy rzędu 0,01%. Błędy danych wejściowych mogą osiągać kilka procent, a błędy modelowania zależą od sformułowania modelu i mogą być różnorakie, najistotniejsze są skutki gospodarcze. Ich miarą może być [45] błąd rozwiązania zadania optymalizacyjnego, zdefiniowany jako:

$$\Delta = F(\tilde{X}) - F^*(X^*), \quad (3.32)$$

gdzie:

$F(\tilde{X})$ - wartość funkcji celu, określona z przyjętego w modelu wzoru przybliżonego, dla wyznaczonego rozwiązania suboptymalnego \tilde{X} ,

$F^*(X^*)$ - wartość dokładna funkcji celu określona dla rzeczywistego rozwiązania optymalnego X^* .

Tak rozumiany błąd rozwiązania zadania jest mniejszy niż błąd określenia funkcji celu Δ_f . Interpretację geometryczną obu tych rodzajów błędów przedstawiono za pracę [45] na rys. 9 dla najprostszego przypadku jednej zmiennej niezależnej. Rzeczywistej wartości błędów rozwiązania zadania nie da się praktycznie określić, gdyż nie są znane rzeczywiste optymalne rozwiązania i odpowiadająca im wartość funkcji celu. Można jednak w analogiczny sposób porównywać bardziej i mniej dokładne modele względem siebie. Błąd rozwiązania zadania może służyć do oceny ilościowej skutków ekonomicznych zastosowania bardziej uproszczonego modelu, a również do uzasadniania celowości sto-

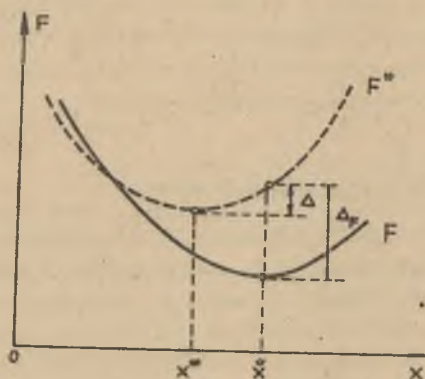
$$\Delta > \delta_k, \quad (3.33)$$

sewania bardziej dokładnych modeli. Kryterium bardziej dokładnego modelu może mieć postać:

celowości stosowania

gdzie:

δK_0 - wzrost kosztów realizacji procedury optymalizacyjnej przy przejściu z modelu uproszczonego do bardziej dokładnego.



Rys. 9. Interpretacja graficzna błędów funkcji celu (Δ_F) i błędów rozwiązania zadania optymalizacji (Δ)
 F^* - dokładna funkcja celu,
 F - przybliżona funkcja celu,
 x^* - rzeczywiste optymalne rozwiązanie,
 \bar{x} - rozwiązanie optymalne wyznaczone z obliczeń

W modelach probabilistycznych wartość błędów rozwiązania zadania można obliczyć traktując człony po prawej stronie wzoru (3.32) jako wartości oczekiwane funkcji celu.

Dla modeli strategicznych nie da się sformułować jednoznacznej miary błędów rozwiązania zadania. Logiczne jest więc wymaganie, aby modele uproszczone dawały ten sam zbiór rozwiązań równoważnych co modele dokładniejsze.

Tworząc uproszczone modele optymalizacyjne należy dążyć do ich ekwiwalentności z modelami dokładniejszymi celem zapewnienia otrzymywania możliwie bliskich rozwiązań. Inaczej mówiąc, upraszczając modele powinno pamiętać się jedynie czynniki małe wpływające na rozwiązanie zadania, co wymaga podziału zmiennych na istotne i nieistotne, przy założonej dokładności modelu.

Problem zmniejszenia wymiarowości złożonego zadania można rozwiązać stosunkowo najprościej przy pomocy metody planowania eksperymentów [32], która wykorzystuje wyniki niezbyt licznych doświadczeń na modelu, polegających na zmianach wartości zmiennych. W SEI wykorzystuje się [50] metodę bilansu losowego Satterthwaite'a, która wprowadzenie jest ściśle z matematycznego punktu widzenia, ale jej zaletą jest duża praktyczna przydatność do obliczeń przy pomocy maszyny cyfrowej [32]. Do eliminacji z modelu nieistotnych zmiennych przyjmuje się w tej metodzie najprostszą liniową zależność funkcji celu od zmiennych niezależnych

$$F = v_0 + v_1 x_1 + v_2 x_2 + \dots + v_g x_g + \Delta, \quad (3.34)$$

gdzie:

v_0, v_1, \dots, v_g - współczynniki liczbowe,

g - liczba zmiennych istotnych (dominant),

Δ - błąd modelu, zawierający również skutki pominięcia w modelu zmiennych nieistotnych.

Badania eksperymentalne na modelu poprzedzane są wstępną obróbką informacji. Na podstawie opinii wielu specjalistów o wpływie na obiekt i możliwych zakresach zmian poszczególnych zmiennych wstępnie porządkuje się je wg malejącego ich wpływu. Następnie losowo wybierając skrajne poziomy wartości zmiennych tworzy się dwu lub więcej poziomową macierz planowania doświadczenia. W następnym etapie bada się wpływ zmian wartości zmiennych na funkcję celu, tworząc tzw. diagram rozrzutu. Kryterium oceny znaczenia danej wielkości jest różnica pomiędzy medianami funkcji celu dla dwóch skrajnych poziomów wielkości i liczba tzw. odstających punktów. Po wydzieleniu istotnych zmiennych w modelu dokonuje się ich ilościowej oceny statystycznej przy pomocy metod analizy regresyjnej. W ten sposób można określić listę wielkości, które w danym modelu można z założoną dokładnością traktować jako stałe (parametry zadania), a które jako zmienne, otrzymując od razu ich statystyczną ocenę.

3.7. Funkcja celu

3.7.1. Przyjęta postać ogólna

Celem optymalizacji działalności inwestycyjnej w planowej gospodarce socjalistycznej jest minimalizacja nakładów społecznie niezbędnych na osiągnięcie określonych ilościowych i jakościowych efektów produkcyjnych, z uwzględnieniem również ujemnych skutków realizacji inwestycji. Cel ten powinna oczywiście odzwierciedlać każda funkcja celu i kryterium wyboru rozwiązań projektowych.

Sposób ujęcia funkcji celu w modelu decyzyjnym ma, zdaniem autora, największy wpływ na poprawność i jakość podejmowanych decyzji. Pomimo że problem zdefiniowania najodpowiedniejszej postaci funkcji celu dla obiektywnego uzasadnienia decyzji ma już w kraju wieloletnią historię [33], ciągle pojawiają się na ten temat nowe publikacje [8,10,34,35,52,53,29,27], świadczące o wadze problemu i potrzebie doskonalenia ujęcia funkcji celu w miarę rozszerzania się liczby aspektów, jakie należy uwzględnić przy podejmowaniu decyzji. Istotny wpływ na sposób definiowania funkcji celu ma zastosowanie tzw. podejścia systemowego, w którym każdy projektowany obiekt traktuje się jako element systemów nadrzędnych.

Z takiego podejścia wywodzą się rozwinięte przez W. Bojarskiego w pracy [53] funkcje celu oparte na pojęciach kosztu i efektu społecznego oraz zaproponowane przez K. Kopeckiego [35] rozszerzone kryterium minimalizacji nakładów społecznie potrzebnych.

Inną ważną wspólną cechą obu tych publikacji jest dążność do wywartościowania w jednostkach pieniężnych najważniejszych czynników mających wpływ na podjęcie decyzji, oczywiście z konsekwentnym wykorzystaniem reguł rachunku dyskonta kosztów.

Liczba czynników, które trzeba uwzględnić przy podejmowaniu decyzji w energetyce jest dość duża; K. Kopecki [35] wymienia 21 tzw. kryteriów częściowych, ale jak sam zauważa, kwantyfikacja pieniężna wszystkich tych czynników jest nierealna. Wprawdzie, jak słusznie zauważa W. Bojarski [53], liczba czynników trudno wymiernych ekonomicznie stale maleje w wyniku podejmowania nowych badań, ale od chwili pojawienia się jakiegos problemu społeczno-gospodarczego do jego rozeznania upływa zwykle dość dużo czasu i chyba nie do uniknięcia jest obecność części czynników trudno wymiernych. Można je uwzględniać albo w postaci wprowadzenia w modelu odpowiednich ograniczeń, albo w sposób opisany w p. 3.7.2.

W projektowaniu elektrowni, traktowanej jako system względnie odosobniony, proponuje się stosować do optymalizacji rozwiązań funkcję celu w postaci rozszerzonego kosztu rocznego:

$$K = K_r + K_d, \quad (3.35)$$

gdzie:

K_r - średnie dyskontowe roczne koszty elektrowni,

K_d - średnie dyskontowe roczne koszty dodatkowe.

Według K. Kopeckiego [35] w K_d powinno się uwzględnić koszty dodatkowe, jakie należy ponieść, aby spełnić żądania ograniczające, względnie pokryć szkody wynikłe z niedostatecznego spełnienia tych żądań.

Żądaniem autora w K_d powinno się uwzględnić nie tylko żądania ograniczające, ale wszystkie żądania stawiane przez szeroko rozumiane otoczenie projektowanej elektrowni, w tym głównie przez system elektroenergetyczny i środowisko naturalne, a więc głównie koszty:

$$K_d = K_m + K_{nd} + K_{śn} + K_{el}, \quad (3.36)$$

obejmujące skutki gospodarcze:

K_m - zmiany mocy netto elektrowni,

K_{nd} - niedyspozycyjności urządzeń elektrowni,

$K_{śn}$ - oddziaływania elektrowni na środowisko naturalne,

K_{el} - niedostatecznej elastyczności urządzeń elektrowni, trudno wymierne, pominięte w dalszych rozważaniach.

Sposób obliczania poszczególnych składników przedstawiono w p. 3.7.3, przy czym mogą one przyjmować wartość dodatnią lub ujemną, w zależności od tego czy zmiana rozwiązania daje dodatkową korzyść czy stratę.

3.7.2. Analiza innych ujęć funkcji celu i kryteriów optymalizacji

Z wielu innych możliwych ujęć funkcji celu warto zwrócić uwagę na dwa: zalecane w obowiązującej w kraju metodyce badania efektywności inwestycji i stosowane w tzw. optymalizacji wielokryterialnej.

Odnoszący w kraju wskaźnik efektywności inwestycji [52] ma, jak to wykazano w prac. [29], pewien związek z kosztem rocznym. Jeżeli koszt ten zostanie rozbity na

dwie podstawowe składniki:

$$K_r = K_{rr} + K_e \quad (3.37)$$

K_{rr} - średnie dyskontowane roczne koszty rozszerzonej reprodukcji,

K_e - średnie dyskontowane roczne koszty eksploatacyjne. ^{oraz postawi się wymaganie, aby koszt K_r dla projektowanego obiektu był nie wyższy od rocznej wartości pieniężnej przyszłej produkcji H :}

$$K_r \leq H \quad (3.38)$$

można obie te zależności przekształcić do postaci:

$$E = \frac{H - K_e}{K_{rr}} \geq 1, \quad (3.39)$$

co odpowiada tzw. minimalnemu wymogowi efektywności inwestycji, zdefiniowanemu w pracy [52]. W zakresie inwestycji dotyczących produkcji energii elektrycznej wymóg ten ma raczej sens kontroli poprawności cen zbytu energii niż oceny efektywności inwestycji. Ponadto w artykule [29] wykazano, że:

- warunki na optimum wskaźnika efektywności i kosztu rocznego pokrywają się jedynie przy $E = 1$,
- maksymalizacja wskaźników efektywności poszczególnych podukładów nie zapewnia maksimum wskaźnika całego układu, czyli nie jest spełniony warunek zgodności optimum cząstkowych z globalnym,
- maksymalizacja E przy warunku (3.39) preferuje rozwiązania tańsze inwestycyjnie, a mniej sprawne energetycznie,
- obliczanie wskaźnika efektywności jest utrudnione koniecznością określania perspektywicznej wartości produkcji.

Powyższe wady dyskwalifikują omawiany wskaźnik jako funkcję celu w optymalizacji wyposażenia elektrowni.

Problem kryteriów optymalizacji rozwiązań względem wielu celów ma dość długą historię. Jeszcze w 1896 r. V. Pareto zajmując się zagadnieniami dochodu narodowego i dobrobytu sformułował pojęcie optymalnego kompromisu (tzw. optimum Pareto) dla takiego rozwiązania, przy którym nie można polepszyć jednego ze wskaźników (składowych funkcji celu) bez pogorszenia innych. Również O. Lange jeszcze w latach czterdziestych porusza problem podejmowania decyzji w przypadkach tzw. wielorakości celów rozwijając go w pracy [37]. O. Lange rozróżnia przypadek, gdy można poszczególnym celom nadać odpowiednie wagi i zsumować (czyli stworzyć jedną funkcję celu), od przypadków, gdy nie można tego uczynić lub nie ma to sensu (np. dla zupełnie różnych produktów). Interesujące rozważania na temat tzw. optymalizacji wielocelowej w zastosowaniu do planowania rozwoju struktury mocy systemu elektroenergetycznego znaleźć można w literaturze radzieckiej [20, 27]. Również w kraju podjęto [55, 54] bardziej interesujące prace nad metodami obliczeniowymi optymalizacji z wieloma wskaźnikami jakości, czyli inaczej nad rozwiązywaniem modeli optymalizacji z wektorowymi wskaźnikami jakości. Rozwiązywanie zadań tego typu nazywa się polioptymalizacją.

Zadanie polioptymalizacji można formalnie przedstawić następująco:

- znaleźć wektor \vec{X} spełniający ograniczenia:

$$G(\bar{x}) > 0 \quad \bar{x} \in R \quad (3.40)$$

taki, że nie istnieje inny wektor dopuszczalny X , dla którego nie spełniony byłby warunek:

$$F(\bar{x}) \leq F(x) \quad (3.41)$$

gdzie $F(x), G(x)$ - funkcje wektorowe na zbiorze wypukłym i domkniętym R , przestrzeni wektorowej skończonej wymiarowej, których składowe są funkcjami wklęsłymi zmiennych X .

W literaturze [55, 54] znaleźć można dowody matematyczne na to, że optymalizacja wektorowa ściśle wiąże się z powszechnie stosowaną optymalizacją ze skalarną funkcją celu z ograniczeniami. Jedynie w tym drugim przypadku poszczególnym składowym funkcji celu przypisano określone współczynniki wagowe (ceny) g_i , tworzące wektor $g = g_1, g_2, \dots, g_n$, którego składowe spełniają warunki:

$$\sum_{i=1}^n g_i = 1 \quad g_i \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (3.42)$$

Wówczas funkcja celu (skalarna) ma postać:

$$f(x) = \langle g, F(x) \rangle. \quad (3.43)$$

W metodycie optymalizacji wielocelowej, stosowanej w ZSRB [20, 27], jako funkcję celu przyjmuje się bezwymiarowy wskaźnik efektywności o postaci:

$$E = \sum_{i=1}^n v_i \varepsilon_i \quad (3.44)$$

v_i - wskaźnik charakteryzujący wpływ i -tego składnika funkcji na globalną efektywność przedsięwzięcia

$$0 \leq v_i \leq 1; \quad \sum_{i=1}^n v_i = 1, \quad (3.45)$$

ε_i - wskaźnik wyrażający względną efektywność osiągnięcia i -tego celu optymalizacji

$$0 \leq \varepsilon_i \leq 1. \quad (3.46)$$

Na przykład gdy rozpatruje się tylko koszty roczne o składowych:

$$K = \sum_{i=1}^n K_i, \quad (3.47)$$

to odpowiednikiem tej funkcji celu w optymalizacji wielocelowej może być wskaźnik:

$$E = \frac{K_m}{K} = \frac{\sum_{i=1}^n K_{im}}{K} = \sum_{i=1}^n \frac{K_i}{K} \frac{K_{im}}{K_i} = \sum_{i=1}^n v_i \varepsilon_i \quad (3.48)$$

K_{im} - wartość minimalna i -tego składnika kosztów w dopuszczalnym obszarze,

K_m - wartość kosztów rocznych przy minimalnych wartościach składników, czyli dla praktycznie nieosiągalnego optymalnego rozwiązania,

$$v_i = \frac{K_i}{K}; \quad \varepsilon_i = \frac{K_{im}}{K_i}. \quad (3.49)$$

W takim ujęciu optymalizacja wielocelowa i klasyczna są całkowicie równoważne, gdyż:

$$\min K \hat{=} \max \left(\xi = \frac{\text{const}}{K} \right). \quad (3.50)$$

W Związku Radzieckim ideę optymalizacji wielocelowej stosuje się w znacznie szerszym ujęciu. Wykorzystując względną postać funkcji celu i jej składników (3.44) uwzględnia się w niej szereg trudno wymierznych ekonomicznie aspektów natury społecznej, ekologicznej, technicznej itp. Taki sposób podejścia ma bardziej ogólny sens niż optymalizacja klasyczna, gdyż umożliwia rozwiązanie zadań, w których ograniczenia są niewymierne lub trudno wymierne dla pojedynczego obiektu (np. minimalizacja zatrudnienia, zakupów dewizowych, zużycia cementu).

Jednakże zmusza to do szacowania wag poszczególnych cząstkowych kryteriów optymalizacji, do czego wykorzystuje się [20,27] metody oceny ekspertów i planowania doświadczeń czynnikowych [32]. Łagodzi to nieco wpływ czynnika subiektywizmu w takim kryterium optymalizacji, ale nie likwiduje go, a tym samym nie jest spełniony słusznie podkreślany przez K. Kopecckiego [35] postulat obiektywności optymalizacji. Ponadto metodyka rozszerzonej optymalizacji wielocelowej, w omówionym w pracy [27] ujęciu, jest zbyt złożona dla praktycznych zastosowań w procesie projektowania elektrowni.

3.7.3. Bardziej szczegółowe ujęcie składników funkcji celu

Średni zdyskontowany koszt roczny elektrowni zawiera następujące główne składniki:

$$K_r = K_{rr} + K_s + K_x \quad (3.51)$$

K_{rr} - koszty rozszerzonej reprodukcji, zł/a,

$$K_{rr} = r J \quad (3.52)$$

r - rata rozszerzonej reprodukcji dla przewidywanego okresu życia elektrowni, 1/a,

J - nakłady inwestycyjne zdyskontowane na koniec roku poprzedzającego uruchomienie elektrowni z uwzględnieniem zamrożenia, zł,

K_s - roczne stałe koszty eksploatacji elektrowni, zł/a,

K_x - roczne koszty zmienne eksploatacji elektrowni, zł/a.

Poszczególne składniki związane są z podstawowymi parametrami i wskaźnikami elektrowni następującymi zależnościami:

$$J = I P_1 \quad (3.53)$$

I - jednostkowe nakłady inwestycyjne, zł/MW,

P_1 - nominalna moc zainstalowana elektrowni, MW,

$$K_s = r_0 P_1 I \quad (3.54)$$

r_0 - współczynnik rocznych stałych kosztów eksploatacji, 1/a,

$$K_x = k_x A \quad (3.55)$$

k_z - jednostkowe koszty zmienne eksploatacji elektrowni, głównie koszty paliwa k_p , zł/MW · h

$$k_p = C_p b_r \quad (3.56)$$

C_p - cena 1 kg paliwa umownego loco elektrownia, zł/kg,

b_r - średnioroczne jednostkowe zużycie paliwa umownego brutto, kg/MW · h,

A - roczna produkcja energii elektrycznej, MW · h,

$$A = P_i T d z \quad (3.57)$$

d - średni roczny wskaźnik dyspozycyjności,

z - średni stopień wykorzystania zdolności produkcyjnej elektrowni, zdefiniowany jako:

$$z = \frac{A_n}{P_i T} = \frac{T_n}{T d} \quad (3.58)$$

A_n - nominalna roczna produkcja energii, tzn. produkcja jaką elektrownia powinna oddać do systemu przy pełnej zdatości do pracy urządzeń ($d=1$), MW · h,

T - liczba jednostek czasu w roku, $T = 8760$ h/a,

T_n - roczny czas wykorzystania mocy zainstalowanej elektrowni, h/a,

Współczynnik z lepiej niż powszechnie używany T_n charakteryzuje rolę elektrowni w systemie. Przy powyższych założeniach koszt roczny elektrowni można przedstawić w postaci ogólnej:

$$K_r = P_i \left[I(r+r_0) + k_p d z T \right]. \quad (3.59)$$

Jednym z podstawowych warunków porównywania rozwiązań jest równość ilościowych i jakościowych efektów produkcyjnych. Przy założeniu, że rola elektrowni (z) jest wyznaczana przez system elektroenergetyczny ze wzoru (3.57) wynika, że ilościowy efekt produkcyjny zależy ponadto od P i d . Jeżeli będzie się traktować nominalny poziom mocy zainstalowanej elektrowni P_i za stały, to moc rzeczywista przy dowolnym rozwiązaniu może być traktowana jako:

$$P_i^* = P_i + \Delta P, \quad (3.60)$$

gdzie zmiana mocy ΔP może mieć wartość dodatnią lub ujemną.

Ponieważ we wzorze (3.59) występuje moc P_i , więc w kosztach dodatkowych K_d (3.36) należy uwzględnić skutki wymaganej zmiany mocy, jaka musi być zainstalowana w innych elektrowniach systemu oraz zmiany kosztów paliwa w systemie:

$$K_m = (k_s - k_p) \Delta P T d z \quad (3.61)$$

k_s - jednostkowe koszty wytwarzania dla zastępczej elektrowni systemowej.

W zależności od kierunku zmiany mocy ΔP koszt K_m może mieć wartość dodatnią lub ujemną.

Niedyspozycyjność projektowanej elektrowni wpływa na poziom mocy zainstalowanej systemu (rezerva) i jego koszty paliwa. W najprostszym, chociaż tylko przybliżonym sposobie skutki te można uwzględniać poprzez następującą składową kosztów uzupełniających:

$$K_{nd} = (k_s - k_p) T P z (1-d). \quad (3.62)$$

Straty gospodarcze związane z oddziaływaniem elektrowni parowych na środowisko naturalne obejmują głównie straty związane z wyrzutem do atmosfery pyłów i tlenków siarki:

$$K_{\text{śm}} = K_{\text{py}} + K_{\text{SO}_2} = M_p S_p + M_{\text{SO}_2} S_{\text{SO}_2} \quad (3.63)$$

M_p, M_{SO_2} - masa wyrzucanego w skali roku popiołu i dwutlenku siarki,

$$M_p = m_p A; M_{\text{SO}_2} = m_{\text{SO}_2} A, \quad (3.64)$$

m_p, m_{SO_2} - jednostkowa emisja popiołu i dwutlenku siarki,

S_p, S_{SO_2} - straty w gospodarce narodowej z powodu emisji ^{1kg}pyłu i SO_2 .

W podobny sposób obliczać można skutki gospodarcze wyrzutów z elektrowni tlenków azotu, zajęcia przez elektrownię wartościowych terenów, odwiednienia terenu przez kopalnię węgla brunatnego itp.

3.7.4. S z e g ó l n e p r z y p a d k i

W wielu szczególnych przypadkach funkcja celu może mieć prostszą postać. Należy się przy tym kierować ogólną zasadą, że można pomijać tylko te ze składników funkcji celu, niezależnych od optymalizowanych zmiennych, które wchodzi w postaci sumy do funkcji celu. Wynika to stąd, że pominięcie składnika stałego C addytywnej funkcji

$$K = K(X) + C \quad (3.65)$$

nie wpływa na wynik optymalizacji.

Szczególnie duże możliwości pomijania w obliczeniach określonych składników funkcji celu są w zakresie nakładów inwestycyjnych, co wynika ze sposobu ich obliczania w postaci sumy kosztów wyposażenia. Również częste można pomijać składniki kosztów uzupełniających, zwłaszcza $K_{\text{śm}}$, który zmienia się np. przy projektowaniu kotłów i urządzeń oczyszczających spaliny, przy doborze paliwa, wyborze lokalizacji, ale nie zmieniają się przy rozwiązywaniu szeregu innych problemów projektowych.

Najmniejsze możliwości redukcji rozmiarów funkcji celu są w zakresie kosztów paliwa. W związku ze złożoną strukturą procesu technologicznego zmiany rozwiązań w układzie cieplnym mają zwykle rozległe skutki i niezbędne jest określenie ich wpływu na wskaźniki całego układu.

4. PODEJMOWANIE DECYZJI W WARUNKACH NIEDETERMINISTYCZNYCH

4.1. Nieokreśloność w projektowaniu elektrowni

Cecha nieokreśloności rozwoju dużych systemów energetycznych jest powszechnie [7, 10, 43, 46, 50] uznawana za jedną z najistotniejszych przy optymalizacji rozwoju tych systemów. Nieokreśloność ta wynika zarówno z niemożliwości pełnej identyfikacji stanu i cech systemu w przeszłości, a głównie z niemożliwości jednoznacznego (dokładnego) określenia przyszłych warunków rozwoju i pracy systemu. Pojęcie to, wprowadzone w literaturze radzieckiej dla systemów energetycznych, może być również zaadaptowane do procesu projektowania elektrowni. Nieokreśloność w projektowaniu elektrowni wynika przede wszystkim z cechy nieokreśloności systemów zewnętrznych, wyznaczających warunki ludowy i eksploatacji elektrowni, a więc z nieokreśloności informacji zewnętrznych (p. 2.3). W nieco mniejszym stopniu nieokreślone są informacje wewnętrzne, a więc wskaźniki charakterystyczne wyposażenia projektowanej elektrowni.

Stopień nieokreśloności warunków projektowania rośnie wraz z wydłużeniem się horyzontu czasowego rozważań. Wynika stąd, że w początkowych fazach procesu projektowania elektrowni warunki nieokreśloności odgrywają największą rolę, a w miarę postępu prac projektowych i napływu nowych informacji nieokreśloność maleje, ale nie zanika ona jednak zupełnie. O ile w początkowych fazach projektowania dopuszczalne, a nawet pożądane są wielowariantowe i parametryczne wyniki analiz rozwiązań, to dokumentacja robocza musi jednoznacznie precyzować wyposażenie elektrowni. Działanie zjawiska nieokreśloności powinno jednak znaleźć swój wyraz w sposobie określania wartości wskaźników charakterystycznych projektowej elektrowni.

Z nieokreśloności warunków optymalizacji rozwiązań projektowych oraz błędów budowy i rozwiązywania modeli optymalizacyjnych wynika tzw. strefa nieokreśloności rozwiązań, w której mierzą się równoważne ekonomicznie rozwiązania. Ponieważ istnienie tej strefy utrudnia podejmowanie decyzji, należy dążyć do zawężenia jej szerokości; największe możliwości daje odpowiednie przygotowanie danych wejściowych do obliczeń.

4.2. Przygotowywanie danych wejściowych

Sposób przygotowywania danych wejściowych do obliczeń optymalizacyjnych uwzględniać powinien następujące główne aspekty:

- 1) Wagę danej wielkości w zadaniu. Dla wielkości małoistotnych (p.3.6) zakładać można deterministyczne wartości, niezależnie od ich charakteru.
- 2) Wpływ sposobu ujęcia danych wejściowych na możliwość jednoznacznego wyboru optymalnego rozwiązania. Możliwości tej nie dają w zasadzie dane określane wielowariantowo, bez znajomości prawdopodobieństw występowania poszczególnych wartości. Niestety często brak jest dostatecznych informacji do określenia parametrów rozkładu prawdopodobieństwa.

- 3) Możliwości uzasadnionego wyboru jak najprostszej postaci danych wejściowych, z maksymalnym wykorzystaniem danych statystycznych i innych doświadczeń z przeszłości, metod analogii i prognozy, ocen ekspertów itp.
- 4) Możliwości realizacji modelu niedeterministycznego na dostępnej maszynie cyfrowej, uwzględniając, że złożoność obliczeń różnie szybciej niż liczba danych wejściowych wprowadzanych w postaci niedeterministycznej.
- 5) Nakład pracy na przygotowanie danych do obliczeń powinien odpowiadać efektom, jakie można osiągnąć z tej wstępnej obróbki danych i możliwościom czasowym projektantów. Wiąże się z tym potrzeba zorganizowania wspólnej bazy danych dla projektowania elektryczni.

Obecność w zadaniach parametrów niedeterministycznych o różnym charakterze (p.2.3) znacznie komplikuje rozwiązywanie takich zadań mieszanych. Należy więc sprowadzić je albo do postaci probabilistyczno-statystycznej albo strategicznej. Sprowadzenie zadania do pierwszej postaci wymaga nadania charakteru probabilistyczno-statystycznego wszystkim niedeterministycznym parametrom, czego na ogół nie da się zrobić bez licznych założeń upraszczających, w tym również subiektywnego zakładania rozkładów prawdopodobieństw. Wprawdzie ta ostatnia wada może nie mieć istotniejszego znaczenia przy odpowiednio zorganizowanej metodycy szacowania prawdopodobieństw [10, cz.II, zał.3], ale wbrew pozorom rozwiązywanie złożonych zadań probabilistycznych jest bardzo trudnym problemem (p.4.3), zwłaszcza w zakresie określania wynikowego rozkładu funkcji celu.

Dlatego też propocnuje się formułowanie zadań optymalizacyjnych w postaci strategicznej, wykorzystując estymację przedziałów ufnosci danych wejściowych do obliczeń. Każdy z istotnie niedeterministycznych parametrów zadania byłby wówczas określany w następującej postaci:

$$w = \bar{w} \pm \delta w, \quad (4.1)$$

\bar{w} - średnia arytmetyczna wartość parametru w ,

δw - spodziewane odchylenie wartości wielkości w od wartości przeciętnej \bar{w}

$$\delta w = \delta f \quad (4.2)$$

δ - odchylenie standardowe (średniokwadratowe) średniej arytmetycznej,

f - współczynnik uwzględniający ilość posiadanych informacji o wielkości w , przyjmujący orientacyjne wartości:

- 1) $f > 1,0$ - gdy liczebność danych statystycznych jest bardzo mała ($n=2$ do 6) i nieznana jest postać rozkładu prawdopodobieństw,
- 2) $0,3 < f < 1,0$ - gdy liczebność danych statystycznych jest mała ($n < 50$), a rozkładem postać zbliżoną do rozkładu studenta,
- 3) $f < 0,3$ - dla dużej liczby danych statystycznych.

Dokładne wartości współczynnika f trzeba obliczać zgodnie z zasadami statystyki matematycznej dla każdego przypadku indywidualnie, w zależności od liczebności danych, postaci rozkładu i poziomu ufnosci. Na podstawie obliczeń praktycznych [10] stwierdzono, że zadawalające zawężenie przedziału możliwych odchyleń δw osiąga się przy poziomie ufnosci równym $0,9$ i tej wartości dotyczą wymienione powyżej wartości f . Przy powyższym sposobie postępowania wzrost liczebności danych statystycznych może spowodować korzystne wielokrotne zmniejszenie szerokości przedziału możliwych odchyleń wartości parametrów wokół wartości przeciętnych.

Należy ponadto zwrócić uwagę na duże znaczenie wstępnej selekcji i odpowiedniej interpretacji danych wejściowych do obliczeń. Na przykład przy zbyt dużym rozrzucie właściwości paliwa można wyróżnić więcej klas paliwa (p.5.2.2) i rozpatrywać większą liczbę odpowiadających im optymalnych typów bloków. W ten sposób można nieraz zredukować lub nawet wyeliminować elementy niepewności w lokalnych zadaniach optymalizacyjnych.

4.3. Formułowanie zadań optymalizacji w warunkach niedeterministycznych

Przy powyższych założeniach zadanie przybiera postać strategiczną nawet wtedy, gdy abstrahuje się od niepewności niektórych parametrów zadania. Wynika te stąd, że skoro dopuszcza się możliwość wystąpienia dowolnej wartości z określonego przedziału zmian parametrów statystycznych, to różne kombinacje tych wartości tworzą różne zbioru sytuacji optymalizacji, w tym zbiór dotyczący wartości oczekiwanych (średnich) parametrów jest tylko szczególnym przypadkiem.

Określenie zbiorów sytuacji optymalizacji, spełniających równocześnie szereg warunków analogicznych do wymienionych w p. 4.2 jest dla złożonych układów dość kłopotliwe, wymaga przeprowadzenia szeregu analiz. Dla realizacji ich stosuje się w SLI [7,45,50] różne heurystyczne procedury, podkreślając jednak, że nie wszystkie problemy da się sformalizować i w szerokim zakresie trzeba wykorzystywać inżynierską intuicję i doświadczenie, zwłaszcza w praktycznych obliczeniach, gdyż chodzi o to, aby liczba sytuacji optymalizacji nie była zbyt liczna. Po sprezykowaniu zbioru $i=1,2, \dots, m$ sytuacji można, wykorzystując deterministyczne metody optymalizacji (p.3.4), dla każdego przypadku $i=1,2, \dots, m$ określić optymalne rozwiązania \bar{x}_i i odpowiadające im wartości funkcji celu \bar{k}_i . Następnie dla poszczególnych zbiorów zmiennych optymalizowanych można obliczyć wartość funkcji celu w innej niż przyjęta w optymalizacji sytuacji i stworzyć macierz kosztów (tablica 4.1). Jest to macierz kwadratowa o stopniu m zależnym od liczby rozpatrywanych sytuacji, a główna jej przekątna zawiera minimalne wartości funkcji celu dla poszczególnych zbiorów sytuacji optymalizacji (\bar{k}_i).

Macierz kosztów

Tablica 4.1

\bar{x}_j	1	2	...	1	...	m
\bar{x}_1	\bar{k}_1	k_{12}	...	k_{1i}	...	k_{1m}
\bar{x}_2	k_{21}	\bar{k}_2	...	k_{2i}	...	k_{2m}
\vdots	\vdots	\vdots	\ddots	\vdots	\ddots	\vdots
\bar{x}_j	k_{j1}	k_{j2}	...	\bar{k}_j	...	k_{jm}
\vdots	\vdots	\vdots	\ddots	\vdots	\ddots	\vdots
\bar{x}_m	k_{m1}	k_{m2}	...	k_{mi}	...	\bar{k}_m

Alternatywą powyższego ujęcia zadania jest jego modyfikacja do postaci probabilistycznej, a następnie rozwiązanie metodami programowania stochastycznego. Jest to stosunkowo młoda gałąź programowania matematycznego, w kraju mało znana, rozwijana dopiero głównie w Związku Radzieckim.

W pracy [50] sformułowano zadanie kompleksowej optymalizacji w ujęciu programowania stochastycznego i podano możliwości rozwiązania, podkreślając równocześnie, że duża pracochłonność obliczeń poważnie ogranicza zakres zastosowania takiego podejścia. Zwrócono również uwagę, że w wyniku obliczeń otrzymuje się również strefę nieokreśloności rozwiązań optymalnych, mniejszą wprawdzie niż w modelach strategicznych, ale również ostateczny wybór rozwiązania bazować musi na uzupełniających, trudnych do sformalizowania, analizach.

Istotną zaletą proponowanego sprowadzania zadań do postaci strategicznej jest możliwość wieloetapowej realizacji obliczeń optymalizacyjnych przy pomocy znanych metod deterministycznych, równocześnie znacznie wzbogacających wiedzę o rozwiązywanym zadaniu.

4.4. Kryteria wyboru rozwiązań w warunkach niedeterministycznych

W macierzy wartości kosztów (tabl.4.1) zawartych jest sporo informacji, ale bezpośrednio podjęcie decyzji na ich podstawie nie jest sprawą prostą. Niezbędne są analizy uzupełniające, które najogólniej mówiąc, zawierają powinny dwa główne etapy:

- I. Uśrednienie wartości kosztów dla każdego z rozwiązań.
- II. Analizę porównawczą uśrednionych wartości kosztów poszczególnych rozwiązań.

Inaczej mówiąc etap I polega na sprowadzeniu macierzy kosztów do postaci jednokolumnowej, w oparciu o którą w etapie II powinno zostać wybrane rozwiązanie najkorzystniejsze. Wspomniane trudności dotyczą głównie etapu I - uśredniania wartości kosztów w wierszach macierzy kosztów, co można zrealizować w różny sposób.

W literaturze dotyczącej klasycznego już ujęcia teorii gier [41,51] znanych jest wiele sposobów sprowadzenia macierzy gry do postaci jedneokolumnowej, a najogólniejsze zaproponował Hurwitz. Z każdego j -tego wiersza macierzy kosztów wybiera się najlepszą K_{jmin} i najgorszą K_{jmax} wartość kosztów, a następnie oblicza się wartość pośrednią ze wzoru:

$$\bar{k}_j = \alpha K_{jmin} + (1 - \alpha) K_{jmax} \quad (4.3)$$

gdzie α - współczynnik odwzorowujący stopień ryzyka, jaki chce podjąć decydent. Przy $\alpha = 1$ jest to podejście skrajnie optymistyczne, a przy $\alpha = 0$ skrajnie pesymistyczne. Dla $\alpha = 0,5$ \bar{k}_j stanowi średnią arytmetyczną ze skrajnych wartości kosztów. Metoda ta chociaż bardzo uniwersalna, kryje w sobie dużą dowolność w wyborze współczynnika α , a ponadto posługuje się tylko wartościami skrajnymi kosztów.

Znacznie korzystniejsze wykorzystanie informacji zawartej w macierzy gry dają metody uśredniania kosztów w oparciu o dane z wszystkich kolumn. Najprostszy sposób polega na obliczaniu średniej arytmetycznej wartości kosztów w wierszach:

$$\bar{k}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n k_{ji} \quad (4.4)$$

Sposób ten, chociaż słusznie krytykowany np. przez O. Lange [17] za bezzasadność, założony jest przez Makarowa i Mielenitiewa [43] jako najprostszy i dający jednoznaczne wyniki, niezależne od subiektywizmu człowieka.

Powyższe sposoby sprowadzania macierzy kosztów do postaci jednokolumnowej słuszne są przy założeniu, że wszystkie spodziewane sytuacje ($i=1, 2, \dots, m$) wystąpią z jednokolumnowym prawdopodobieństwem. W procesie projektowania elektrowni dane o charakterze całkowicie niepewnym występują w zasadzie tylko w studiach przedprojektowych i w niewielkiej liczbie. W właściwym procesie projektowania przeważają dane o znanej wartości oczekiwanej i możliwych odchyleniach od niej. Prawdopodobieństwo wystąpienia wartości oczekiwanej parametru jest oczywiście większe niż skrajnych wartości ze znanej go przedziału odchylen. Podobne właściwości będzie miała funkcja celu obliczona w oparciu o tego typu dane. Gdyby znane były prawdopodobieństwa p_i występowania poszczególnych sytuacji wyszczególnionych w tablicy kosztów, można by obliczyć wartość oczekiwaną kosztów w każdym wierszu macierzy:

$$\bar{K}_j = p_1 K_{j1} + p_2 K_{j2} + \dots + p_1 k_{j1} + \dots + p_m K_{jm} \quad (4.5)$$

Tak uśrednione koszty dawałyby najbardziej uzasadnioną postawę do porównywania rozwiązań. Niestety, brak danych i złożoność obliczeń prawdopodobieństw wypadkowych p_i w oparciu o znane rozkłady prawdopodobieństw poszczególnych parametrów praktycznie uniemożliwiają skorzystanie z tego sposobu.

Ideę powyższą można jednak wykorzystać w inny sposób. Jednym z nich jest wykorzystanie metody oceny ekspertów do budowy macierzy kosztów i oszacowania prawdopodobieństw p_i . Metody te, chociaż krytykowane za wprowadzenie elementów subiektywizmu [35], są coraz szerzej stosowane w ZSRR [10, 30, 43, 50]. Wyznaczanie tzw. prawdopodobieństw subiektywnych w oparciu o oceny kilku ekspertów jest jednak dosyć czasochłonne i dlatego możliwe do zastosowania jedynie w studiach przedprojektowych. W dalszych fazach procesu projektowania wykorzystywane mogą być tylko proste metody. Jednym z najprostszych możliwych podejść jest rozpatrywanie tylko trzech zestawów sytuacji optymalizacji i odpowiadających im następujących prawdopodobieństw:

- dla średnich wartości zbioru parametrów \bar{w} , $p = 0,5$,
- dla pesymistycznej w_p i optymistycznej w_o oceny wartości parametrów $p = 0,25$.

Wówczas macierz gry będzie zawierała tylko trzy kolumny, a wartości funkcji w poszczególnych wierszach obliczać się będzie ze wzoru:

$$\bar{K}_j = 0,25 K_j(w_p) + 0,5 K_j(\bar{w}) + 0,25 K_j(w_o) \quad (4.6)$$

Średnim wartościom parametrów zadania nadaje się dwukrotnie większe znaczenie niż skrajnym z przedziału możliwych odchylen. Taka propozycja ujednoczenia zasad obliczeń intuicyjnie wydaje się być słuszna, chociaż brak jej ścisłego uzasadnienia.

W drugim etapie analizy poszukuje się rozwiązania optymalnego, czyli zbioru \bar{X} zapewniającego:

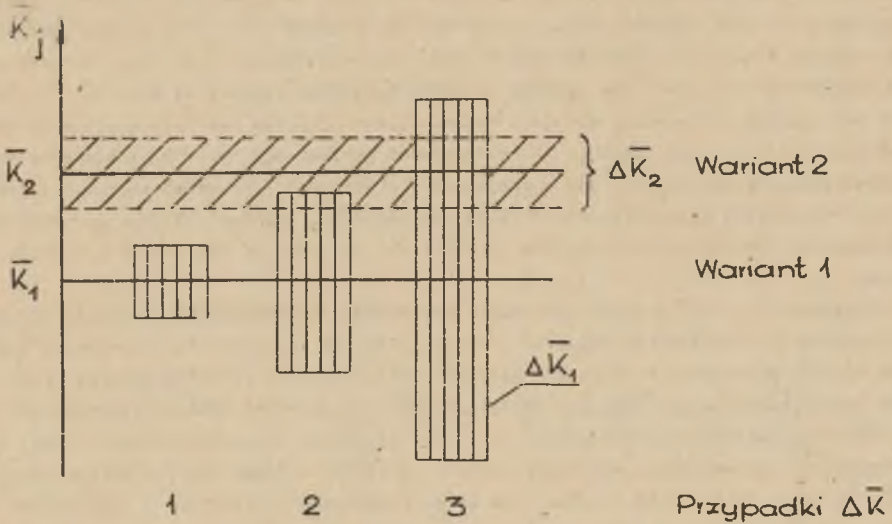
$$\bar{K} = \min_j \bar{K}_j \quad (4.7)$$

Płaski na ogół przebieg kosztów w pobliżu rozwiązań optymalnych i zjawisko tzw. stabilności ekonomicznej optymalnych rozwiązań systemów energetycznych [30, 50] powodują, że koszty kilku rozwiązań mogą się nieznacznie między sobą różnić. Wówczas na-

leżałoby sięgnąć po analizę możliwych odchyłeń średniokwadratowych kosztów:

$$\Delta K_j = \sqrt{\sum_{j=1}^n (\bar{K}_j - K_{j1})^2} . \quad (4.8)$$

Jedynie w przypadkach takich jak 1 na rys. 10 można powiedzieć o wyraźnej wyższości rozwiązania 1 nad 2. W pozostałych przypadkach można mówić o równowartości ekonomicznej rozwiązań, a o wyborze rozwiązania do realizacji zdecydować mogą inne cechy.



Rys.10 Porównanie wartości funkcji celu dla dwóch wariantów rozwiązań: \bar{K}_1, \bar{K}_2 - wartości przeciętne funkcji celu, $\Delta \bar{K}_1, \Delta \bar{K}_2$ - możliwe odchylenia funkcji celu

5. PRZEDPROJEKTOWE PRACE STUDIALNE

5.1. Zadania i założenia ogólne

Zgodnie z opisaną ogólnie w p.2.2 racjonalną organizacją procesu inwestycyjnego elektrowni w SE przed rozpoczęciem prac projektowych dla konkretnej elektrowni rozwiązać trzeba w kilku etapach szereg istotnych problemów decyzyjnych. Najistotniejsze z nich to dobór typu bloków, jakie powinny być instalowane w SE w określonym etapie jego rozwoju, a następnie ułożenie optymalnego programu budowy elektrowni. Ostateczne rozwiązywanie tych problemów powinno, zdaniem autora następować na szczeblu SE, ale są one tak złożone, że uzasadnione jest wykorzystanie przy tym zasad optymalizacji wielo-
poziomowej (p.3.5). Na szczeblu SE rozwiązywane powinny być tylko wymienione zadania optymalizacji globalnej (3.29), a projektanci elektrowni i urządzeń energetycznych powinni rozwiązywać parametrycznie zadania optymalizacji lokalnej (3.28). Ze względu na właściwości procesu (rys.3) zadania te muszą być realizowane rozłącznie i w kilku etapach.

Proponuje się, aby w pierwszym etapie projektanci elektrowni na podstawie informacji zebranych od wytwórców urządzeń i projektantów SE oraz ogólnego rozeznania warunków rozwoju elektrowni w kraju sporządzali charakterystyki (3.28) możliwych typów bloków, przy potraktowaniu jako zmiennych koordynacyjnych - typ bloku i współczynnik wykorzystania zdolności produkcyjnej elektrowni z. Wyniki tego etapu byłyby danymi wejściowymi do optymalizacji struktury mocy SE, z której otrzyma się ile bloków poszczególnych typów powinno się uruchomić do określonego roku perspektywy i jaka będzie ich rola w SE. Po tym wytwórcy urządzeń mogą przystąpić do projektowania podstawowego wyposażenia bloku. Na szczeblu SE trzeba określić rejony pożądanej lokalizacji nowych elektrowni, w których przeprowadzone będą studia lokalizacyjne (p.5.3), dające materiały dla ułożenia optymalnego programu budowy elektrowni (p.5.4) i podjęcia decyzji lokalizacyjnej.

Do optymalizacji rozwiązań urządzeń energetycznych w przemysłowych biurach projektowo-konstrukcyjnych wykorzystywane mogą być modele kompleksowej optymalizacji (p.3.4) o szczególności dostosowanej do fazy prac. W ramach studiów przedprojektowych należałoby szukać optymalnych współzależności pomiędzy podstawowymi wskaźnikami (nakłady, sprawność, dyspozycyjność) dla różnych mocy i zasadniczych rozwiązań urządzeń. Po wybrze optymalnych typów bloków perspektywicznych optymalizacji powinny podlegać pozostałe parametry i rozwiązania konstrukcyjne urządzeń. Szczegółowe omówienie tego zagadnienia wykracza jednak poza zakres niniejszej pracy.

5.2. Dobór optymalnych typów bloków perspektywicznych

5.2.1. wpływ roli elektrowni w SE na dobór typu bloku

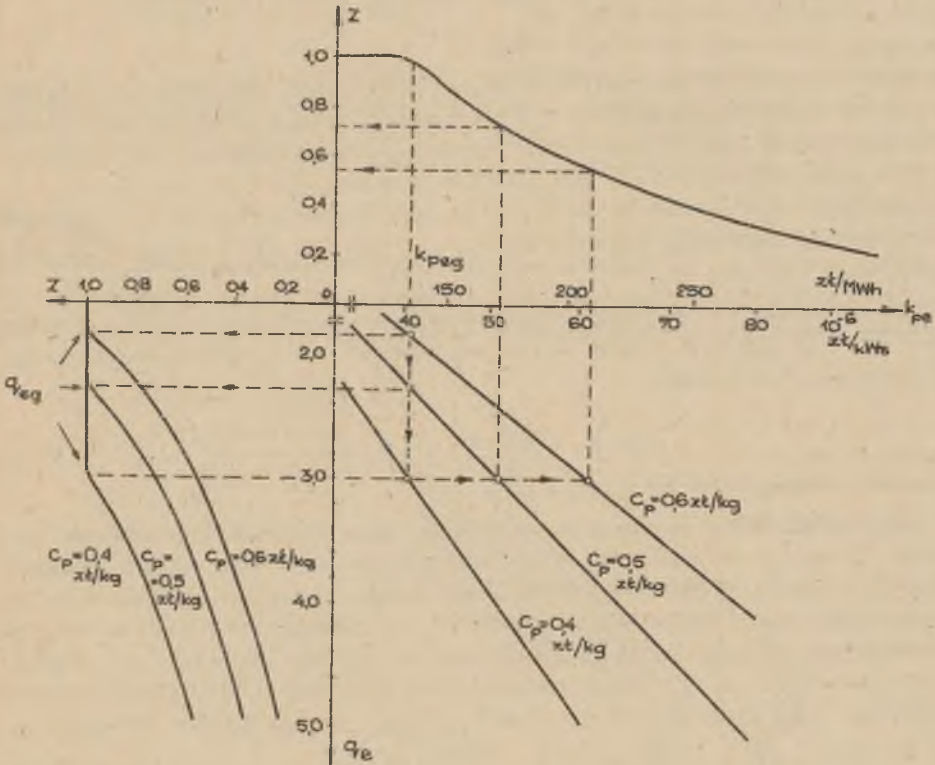
Zgodnie z zasadami ekonomicznego rozdziału obciążeń pomiędzy współpracujące w SE bloki energetyczne zadania produkcyjne i-tego bloku zależą głównie od sytuacji w SE i jednostkowego kosztu paliwa tego bloku przy obciążeniu ekonomicznym [21,26]:

$$k_{pei} = C_{pi} b_{ei} = C_{pi} \frac{q_{ei}}{Q} \quad (5.1)$$

gdzie:

b_{ei}, q_{ei} - jednostkowe zużycie paliwa umownego i energii chemicznej paliwa przy obciążeniu ekonomicznym bloku, $kg/kJ, kJ/kW \cdot s$,

Q - wartość opałowa paliwa umownego, kJ/kg .



Rys. 11. Zależność współczynnika Z wykorzystania zdolności produkcyjnej elektrowni od jednostkowego kosztu paliwa k_{pe} oraz jednostkowego zużycia energii q_e przy różnych cenach paliwa C_p (umownego)

Zależność ta w odniesieniu do współczynnika wykorzystania zdolności produkcyjnej z (3.59) ma, dla określonej sytuacji w SE, postać taką jak to przedstawiono przykładowo na rys. 11, co jest uzasadnione teoretycznie i znajduje potwierdzenie w danych statystycznych. W miarę zmiany sytuacji w SE (zmiana struktury mocy, wykresów obciążenia itp.) oraz zmiany relacji między kosztami paliwa wykres $z(k_{pe})$ może ulegać zmianom; projektanci SE powinni więc prognozować tę zależność dla różnych okresów perspektywy. Orientacyjny rys. 11 sporządzono wykorzystując dane statystyczne za 1975r., powiększając koszty paliwa o 50%.

Szczególnie istotne znaczenie w pracach studialnych ma znajomość tzw. granicznego kosztu paliwa k_{peg} (rys. 11), który dzieli elektrownie na dwie grupy:

1) elektrownie podstawowe:

$$k_{pe} < k_{peg}; z = 1, \quad (5.2)$$

2) elektrownie biorące udział w pokrywaniu składowej zmiennej obciążenia SE:

$$k_{pe} > k_{peg}; z < 1. \quad (5.3)$$

Na rys. 11 przedstawiono również wynikające ze wzoru 5.1. współzależności pomiędzy z i q_0 dla trzech różnych poziomów $C_p = 0,4; 0,5$ i $0,6$ zł/kg. Dla zadanego przez SE k_{peg} graniczna wartość jednostkowego zużycia energii q_{eg} , przy której blok będzie jeszcze mógł pracować podstawowo ($z=1$), jest odwrotnie proporcjonalna do C_p (rys. 11: $q_{eg} = 3,0; 2,27; 1,83$). Inaczej mówiąc blok o tej samej wartości wskaźnika q_0 w zależności od C_p spełniać może różną rolę w SE, np. dla $q_0 = 3,0$, dla poszczególnych C_p wypada $z=1; 0,72; 0,56$.

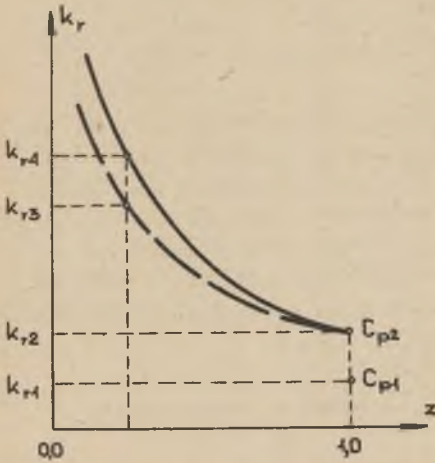
Wzrost elektrowni w SE decydująco wpływa na optymalne parametry i wyposażenia bloków, czyli na dobór typu bloku. Wynika to z silnej zależności od z średniorocznych jednostkowych kosztów elektrowni:

$$k_r = \frac{k_r}{A} = \frac{I(r+r_0)}{T d z} + C_p b_r(z), \quad (5.4)$$

przy oznaczeniach takich jak w p. 3.7.3.

Wpływ poszczególnych czynników na jednostkowe koszty elektrowni przedstawiono poglądowo na rys. 12 dla dwóch różnych lokalizacji elektrowni, wyposażonych w jednakowe bloki ($b_0 = \text{const}$). Elektrownia spalająca tanie paliwo C_{p1} (np. na węgle odpadowe, położona blisko kopalni) będzie osiągać koszty k_{r1} . Gdy odsunięcie tej elektrowni od bazy paliwowej zwiększy koszt paliwa loco elektrownia do C_{p2} , to tylko z tego powodu koszt elektrowni wzrośnie do k_{r2} . Jeżeli ponadto wystąpi przypadek (5.3) to wskutek zmiany pierwszego członu wzoru (5.4) koszt wzrośnie do k_{r3} , a po uwzględnieniu zależności $b_r(z)$ elektrownia osiągnie ostatecznie k_{r4} . Najistotniejsze znaczenie ma przy tym zmiana jednostkowego kosztu stałego (z k_{r2} do k_{r3}), która np. przy przejściu z $z=1,0$ do $z=0,5$ wyniesi około 25%. Zmiany jednostkowego zużycia paliwa $b_r(z)$ wprowadzają dużo mniejsze, paroprocentowe zmiany k_r , zgodnie z zależnością współczynnika strat (rys. 13) od z .

Wynika z powyższego, że dla elektrowni, które pracować będą przy $z < 1$, należy rozważyć celowość obniżenia nakładów inwestycyjnych i nawet kosztów pogorszenia sprawności.



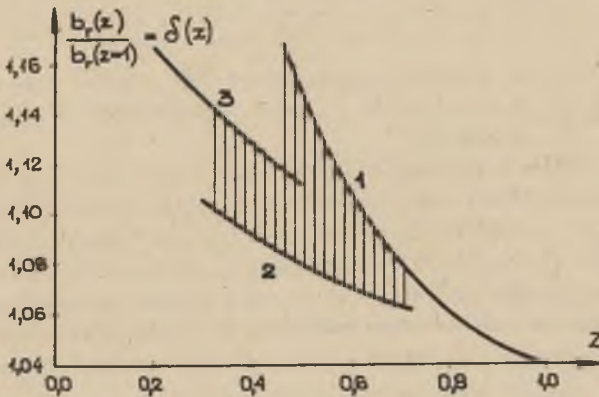
Rys.12. Wpływ kosztu paliwa C_p i stopnia wykorzystania zdolności produkcyjnej elektrowni z na średniocieczne jednostkowe koszty wytwarzania energii elektrycznej k_r

Problem wyboru dla przewidywanego z optymalnych, relacji między I i q_e w warunkach krajowych ma istotne znaczenie, gdyż w zależności od lokalizacji elektrowni (głównie jakości i kosztu transportu paliwa) koszty paliwa umownego loco elektrownia różnią się znacznie. Na przykład w 1975 r. wynosiły one: w Elektrowni Rybnik - 0,27 zł/kg, Elektrowni Koźlenice - 0,39 zł/kg, Elektrowni Ostrołęka II - 0,4 zł/kg.

5.2.2. Wstępna optymalizacja typów bloków przysięściowych

Realizacja pierwszego ze wspomnianych w p.5.1 etapów prac studialnych wymaga przygotowania odpowiednich danych na wszystkich trzech poziomach projektowania (rys.3). Projektanci rozwoju SE powinni oszacować górny poziom mocy bloków podstawowych i podszczytowych, których celowość wprowadzenia do systemu do określonego roku perspektywy

powinna być przeanalizowana, oraz perspektywiczną zależność $z(k_{pe})$. Warto zwrócić uwagę, że oszacowanie tej zależności można traktować jako wstępne, przybliżone rozwiązanie części zadania optymalizacji globalnej, dotyczącej minimalizacji kosztów paliwa SE.



Rys.13. Wpływ sposobu pracy bloku na współczynnik strat δ ;
1 - praca ciągła; 2 - przeciętnie jedno odstąpienie do rezerwy w dobie; 3 - dwukrotne odstąpienie w dobie.

Należy również rozemnieć perspektywiczną bazę paliwową energetyki, głównie pod kątem rodzajów, jakości, cen i rejonów pozyskania paliw. Paliwo powinno być podzielone na klasy, zawierające ten sam rodzaj paliwa, o zbliżonej wartości opałowej, zawartości popiołu i siarki. Podobnie projektanci elektrowni powinni rozemnieć i sklasyfikować warunki lokalizacji elektrowni, a zwłaszcza rodzaje i parametry układu chłodzącego.

Powyższe dane powinny być podstawą zamówienia przez energetykę zawodową ofert na urządzenia dla przyszłych bloków. Celem stworzenia większych możliwości wyboru optymalnych w skali SE rozwiązań bloków oferty te powinny być sporządzane w możliwie dużej liczbie wariantów, dotyczących podstawowych parametrów i rozwiązań konstrukcyjnych urządzeń, ale przy zoptymalizowanych lokalnie (p.3.5) pozostałych parametrach i rozwiązaniach i przy uwzględnieniu możliwości produkcyjnych przemysłu. Oferty wytwórców urządzeń powinny dać zbiór wartości podstawowych wskaźników urządzeń dla bloków przyszłościowych, czyli: J_{uij} , η_{euij} , d_{uij} , gdzie indeksy dotyczą:

u - rodzaju urządzenia (np. kocioł, turbozespół),

i - typu urządzenia, określonego mocą (wydajnością) znamionową, rodzajem paliwa i układu chłodzącego,

j - wariantu rozwiązania urządzenia, np. poziom parametrów pary, liczba wylotów z turbiny, typ komory paleniskowej, rodzaj układu wodno-parowego kotła,

e - obciążenia ekonomicznego.

Na bazie tych danych projektanci elektrowni powinni scharakteryzować możliwe warianty rozwiązań bloków przyszłościowych, głównie przy pomocy wskaźników: J_{ij} , q_{eij} , d_{ij} ,

gdzie:

q_{eij} - jednostkowe zużycie energii chemicznej paliwa przy i-ty typ bloku w j-tych wariantach, przy obciążeniu ekonomicznym:

$$q_{eij} = \frac{1}{\prod_u \eta_{euij}} \quad (5.5)$$

Wzrost liczby typów bloków należałoby powiększyć, uwzględniając wpływ odległości elektrowni od kopalni na koszt paliwa C_{pi} , czyli rozróżniając te najmniej bloki położone blisko i z dala od kopalni.

W oparciu o te dane problem wyboru optymalnych z punktu widzenia SE, wariantów typów bloków przyszłościowych można rozwiązać na szczeblu SE, ale wymagałoby to bardzo poważnych nakładów obliczeniowych i odpowiednio pojemnej maszyny cyfrowej. Dlatego też proponuje się podział tego zadania, powierzając projektantom elektrowni optymalizację lokalną, w postaci wyboru optymalnych wariantów rozwiązań poszczególnych typów bloków przy potraktowaniu jako zmiennej koordynacyjnej roli elektrowni w SE. Stopień wykorzystania zdolności produkcyjnej z_{ij} określany byłby dla każdego typu bloku (C_{pi}) i wariantu rozwiązania (q_{eij}) z charakterystyki $z(k_{pe})$ systemu.

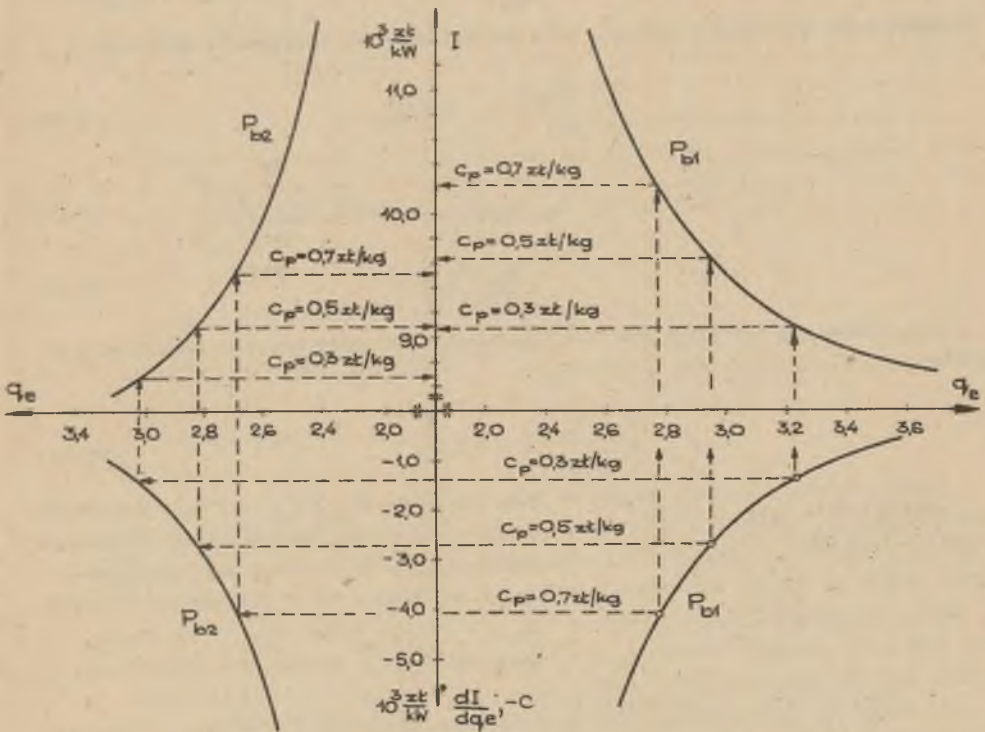
Jako kryterium optymalizacji przyjmując można minimalizację średniego zdyskontowanego rocznego kosztu rozszerzonego:

$$\min_j (k_{ij} = k_{rij} + k_{dij}) = \hat{k}_i \quad (5.6)$$

Rozwiązanie tak ogólnie sformułowanego zadania jest możliwe przy pomocy metod programowania dyskretnego. Pozostawiając otwartą kwestię budowy takiego modelu dla celów

praktycznych, w dalszym ciągu pracy przeprowadzono analizę pogłębiającą stronę teoretyczną zagadnienia w kierunku wypuklenia wpływu różnych czynników na rozwiązanie zadania. Poczynione założenia upraszczające i "idealizujące" problem nie zmieniają jego istoty, a założone do przykładowych obliczeń wartości wskaźników są zbliżone do rzeczywistości.

Rozpatruje się nieco prostsze zadanie doboru optymalnej wartości q_{e1} - jednostkowego zużycia energii i-tego bloku przy obciążeniu ekonomicznym - wpływającego w decydujący sposób na koszt elektrowni przez nakłady inwestycyjne (rys. 14) i rolę elektrowni w systemie (z_i). Zadanie to jest równoważne warunkowi (5.6), gdyż wartość wskaźnika q_{e1} zależy od wariantów rozwiązań (j) bloku. Założono ponadto ciągłość i różniczkowalność wymaganych charakterystyk typu bloku, głównie $J_j(q_{e1})$ oraz pominięto koszty dodatkowe (K_d).



Rys. 14. Zależność jednostkowych nakładów inwestycyjnych I od jednostkowego zużycia energii q_e dla dwóch różnych mocy znamionowych bloków $P_{b2} > P_{b1}$, oraz optymalne I i q_e dla trzech różnych cen paliwa c_p

Przy tych założeniach kryterium optymalizacji lokalnej ma postać:

$$\min_{q_{ei}} K_{ri}(q_{ei}) = \bar{K}_{ri}, \quad (5.7)$$

gdzie:

$$K_{ri} = J_i(q_{ei}) (r+r_e) + q_{ei} \delta_i(z_i) \frac{C_{pi}}{q} P_i d_i z_i T \quad (5.8)$$

δ_i - współczynnik rocznych strat energii i-tego bloku (rys.13), pozostałe oznaczenie jak w p. 3.7.3.

Zakładając, że spełnione są warunki umożliwiające zastosowanie rachunku różniczkowego oraz pomijając zależność $d_i(z_i)$ z warunku koniecznego na ekstremum kosztów:

$$\frac{dK_{ri}}{dq_{ei}} = 0 \quad (5.9)$$

otrzymać można następujący warunek, jaki powinno spełniać rozwiązanie optymalne \bar{q}_{ei} :

$$\frac{dI_i(\bar{q}_{ei})}{d\bar{q}_{ei}} = -c f(\bar{q}_{ei}) \quad (5.10)$$

$$f(\bar{q}_{ei}) = \delta_i(z_i) z_i (\bar{q}_{ei}) + \bar{q}_{ei} \left[\delta_i(z_i) + z_i (\bar{q}_{ei}) \frac{d\delta_i}{dz_i} \right] \frac{dz_i}{d\bar{q}_{ei}} \quad (5.11)$$

$$c = \frac{C_{pi} T d_i}{(r+r_e) q} \quad (5.12)$$

W przypadku gdy spełniony jest warunek (5.2), czyli blok pracuje podstawowo $z_i=1$, warunek (5.10) upraszcza się do postaci:

$$\frac{dI_i(\bar{q}_{ei})}{d\bar{q}_{ei}} = -c \delta_i \quad (5.13)$$

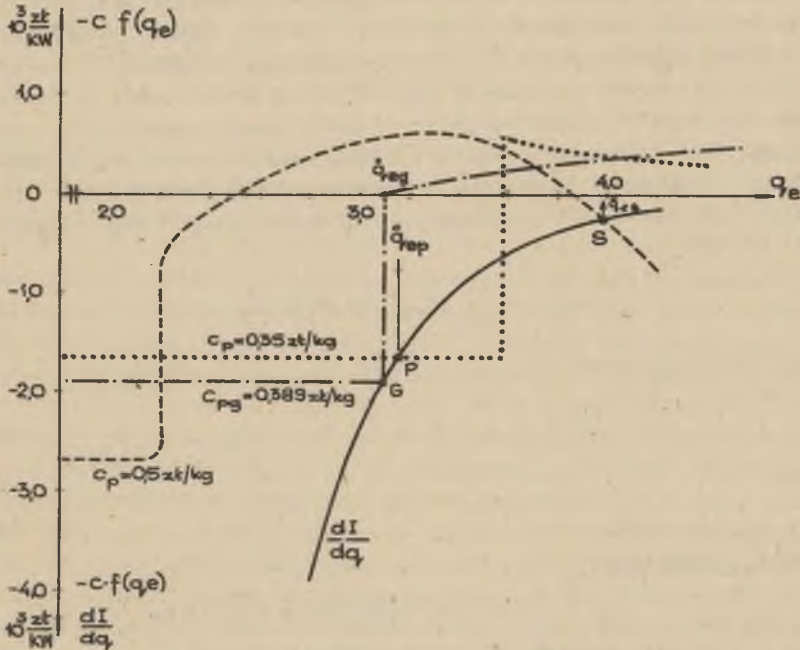
Wówczas im droższe paliwo ma spalać i-ty typ bloku ($C_{p2} > C_{p1}$, $C_2 > C_1$), tym optymalne wartości \bar{q}_{ei} wypadają niższe (rys.14), czyli opłaca się ponieść większe nakłady na uzyskanie większej sprawności bloku. Uwzględniając, że zwiększenie mocy znamionowej bloku wpływa na obniżkę wartości I (na rys. 14 założono o 10%), co wiąże się również z obniżeniem charakterystyki pochodnej $I(q_e)$, z warunku 5.13 i rys. 14 wynika, że dla bloków podstawowych o większej mocy optymalne \bar{q}_{ei} , \bar{I}_i powinny być (przy stałym C_p) niższe niż dla bloków mniejszej mocy.

Dla bloków mających pracować przy $z_i < 1$ funkcja pomocnicza (5.11) $f(q_{ei}) < 1$, czyli warunek (5.10) będzie spełniony przy wyższych wartościach \bar{q}_{ei} i niższych \bar{I}_i . Jest to dowód wspomnianej już w p. 5.2 celowości obniżania nakładów inwestycyjnych i sprawności bloków, dla których wypada $k_{pei} > k_{pgi}$. Bliższe przeanalizowanie tego problemu, w obec złożonej postaci funkcji pomocniczej $f(q_{ei})$, przeprowadzono na konkretnym przykładzie liczbowym, dla założonych zależności $z(k_{pe})$ takich jak na rys. 11, $I(q_e)$ jak po prawej stronie rys. 14, oraz przy pominięciu zależności $\delta(z)$.

W pierwszej kolejności określono maksymalną graniczną wartość kosztu paliwa C_{pk} , przy którym blok pracuje jeszcze podstawowo, a równocześnie spełnia warunek (5.10), czyli punkt G na rys. 15. Spełnione muszą być wówczas zależności:

$$\frac{dI(\dot{q}_{eg})}{dq_e} = C_{pg} \frac{T d}{Q(r+r_e)} ; k_{pg} = C_{pg} \frac{\dot{q}_{eg}}{Q} \quad (5.14)$$

Rozwiązując ten układ równań dla wspomnianych danych otrzymano $C_{pg} = 0,389 \text{ zł/kg}$, $q_{eg} = 3,2$. Następnie przeprowadzono obliczenia dla $C_p = 0,35 \text{ zł/kg} < C_{pg}$, czyli dla pracy podstawowej bloku. W tym przypadku warunek optymalności (5.10) jest spełniony w p. P (rys.15) a otrzymane $\dot{q}_{ep} > \dot{q}_{eg}$. Warto zwrócić uwagę, że w obu przypadkach na prawo od \dot{q}_{eg} prawa strona równania (5.10) ma wartość dodatnią i nie ma punktów wspólnych z ujemną wartością pochodnej funkcji $I(q_e)$.



Rys.15. Graficzna interpretacja zadania wyznaczania optymalnego jednostkowego zużycia energii \dot{q}_{re} dla trzech różnych cen paliwa C_p

Jest to pośredni dowód jednoznaczności rozwiązań optymalnych, wyznaczonych z warunku koniecznego (5.10), który tym samym staje się warunkiem wystarczającym. Stwierdzenie to dotyczy również przypadku, gdy $C_p > C_{pg}$, gdyż wówczas charakterystyczne załamanie się funkcji $f(q_e)$ przy przejściu z $z=1$ do $z < 1$ występuje na lewo od krzywej dI/dq , a jedyny punkt S, spełniający (5.10), leży w zakresie wyraźnie wyższych wartości \dot{q}_{es} (rys 15). Na podstawie tego rysunku można również wytłumaczyć, dlaczego wzrost ceny paliwa prowadzi do zmniejszenia \dot{q}_e dla bloków podstawowych, natomiast do wzrostu \dot{q}_e dla bloków, które mają pracować podszczytowe.

Pominięte w rozważaniach zależności $\delta(z)$, $d(z)$ powodują przesunięcie \dot{q}_{es} w zakres niższych wartości; ze wzoru (5.12) wynika ponadto, że im wyższa jest przewidywana dy-
 spozyć ^{ymosć} bloków, tym \dot{q}_{es} wypada większe.

wykorzystując wyniki rozwiązania omówionego zadania optymalizacji lokalnej każdy z możliwych typów bloków perspektywicznych może być scharakteryzowany konkretnymi wa-
 rtościami podstawowych wskaźników: \dot{q}_{ei} , \dot{I}_i , P_i , d_i , C_{pi} , δ_i , dla których osiąga się \dot{K}_i (5.6).

5.2.3. D o b ó r p e r s p e k t y w i c z n e j s t r u k t u r y m o c y s y s t e m u

Optymalizacja globalna na poziomie SE ma na celu określenie optymalnej perspekty-
 wicznej struktury mocy zainstalowanej SE we wszystkich typach elektrowni (również wo-
 dnych, jądrowych itp.) oraz uściślenie optymalnych wartości zmiennych koordynacyjnych
 $z_i \rightarrow z_j$. W związku z dalekim horyzontem czasowym rozwiązań, sięgającym 20 roku perspe-
 ktywy (rys. 2), oraz dynamiką rozwoju SE (rys. 1) proponuje się zadanie to rozwiązywać
 statycznie, tzn. określać jedynie do jakiej perspektywicznej struktury mocy powinno
 się dążyć pozostawiając problem dynamicznej optymalizacji struktury mocy i uruchomienia
 elektrowni do rozwiązania w dalszych etapach programowania rozwoju SE. Przy takim za-
 łożeniu kryterium optymalizacji globalnej może być minimalizacja rocznych kosztów roz-
 szerzonych systemu:

$$\min_N [K_S = \sum_{i=1}^n (K_{r1} + K_{d1}) N_i] = \dot{K}_S \quad (5.15)$$

przy podstawowych ograniczeniach:

$$\sum_{i=1}^n P_i N_i d_i = P_S; \quad \sum_{i=1}^n A_i N_i = A_B \quad (5.16)$$

$$N_{im} \leq N_i \leq N_{iM}; \quad 0 \leq A_i \quad (5.17)$$

guzie:

N_i - liczba bloków i-tego typu,

K_{r1}, K_{d1} - koszt roczny i przynależna część kosztów dodatkowych (3.36),

P_S, A_B - obciążenie szczytowe SE i roczna produkcja energii,

N_{im}, N_{iM} - dopuszczalna minimalna i maksymalna liczba bloków i-tego typu,
 uwzględniając np., że o budowie części bloków decyzję już podjęto,
 minimalną długość serii bloków, ograniczenia wynikające z bazy
 paliwowej lub wodnej itp.

wykorzystując poprzednie stosowane zależności, pomijając koszty stałe m bloków, o
 budowie których decyzje już podjęto oraz pomijając koszty dodatkowe (K_{d1}) funkcję ce-
 lu można przedstawić w postaci:

$$K_S = \sum_{i=1}^n \dot{I}_i a_i P_i N_i + \sum_{i=1}^n b_{ei} \delta_i(z_i) C_{pi} P_i d_i z_i N_i \quad (5.18)$$

Przyjmując, że określone uprzednio z zależności $z(k_{pe})$ poszczególne z_i są poprawne,
 powyższy model jest typowy dla zadań programowania liniowego w liczbach całkowitych.

Ponieważ wykorzystywana zależność $z(k_{pe})$ musi być sporządzona z wyprzedzeniem w stosunku do chwili rozwiązywania zadania globalnego oraz dla tylko oszacowanej struktury mocy SE, należałoby w omawianym modelu przeprowadzić dokładniejszy ekonomiczny rozdział produkcji pomiędzy poszczególne typy bloków dla optymalnej struktury mocy SE. Zdaniem autora przy zaproponowanym sposobie przygotowywania danych wejściowych (p.5.2.2), oraz biorąc pod uwagę horyzont czasowy omawianego etapu prac, uzasadnione jest zastosowanie dość daleko idących uproszczeń, jak np. rozdział produkcji proporcjonalnie do jednostkowych kosztów paliwa poszczególnych typów bloków, linearyzacja zależności $\hat{\sigma}_i(z_i)$ w pobliżu określonego uprzednio punktu z_i itp. Umożliwia to rozwiązywanie omawianego zadania prostymi metodami programowania liniowego. Błędy jakie można tu popełnić i tak będą mogły być skorygowane w dalszych fazach programowania rozwoju SE. Ponieważ w literaturze krajowej [19,42] znaleźć można przegląd znanych metod długoterminowej optymalizacji struktury mocy w warunkach deterministycznych, w dalszym ciągu ograniczono się jedynie do propozycji uwzględnienia elementów niedeterministycznych.

W omawianym zadaniu występują wprawdzie dające się określić probabilistycznie elementy ryzyka (np. zapotrzebowanie mocy i produkcja energii w SE), ale również i typowe elementy niepewności, jak: ceny paliw, urządzeń, materiałów oraz stopa procentowa.

Uwzględniając trudności w rozwiązywaniu tego typu zadań (p.4) proponuje się wykorzystanie metody prawdopodobieństw subiektywnych, określając dla każdej wielkości niedeterministycznej trzy poziomy wartości (średni, minimalny, maksymalny) oraz prawdopodobieństwa wystąpienia różnych kombinacji tych wartości metodą uśredniania ocen ekspertów.

Następnie, wykorzystując wielokrotnie deterministyczne metody optymalizacji, można sporządzić macierz gry (tabl.4.1), po czym sprowadzić ją do postaci jednokolumnowej i określić najkorzystniejszy wariant struktury mocy w oparciu o kryterium (4.7).

Nakład obliczeniowy na takie rozwiązanie zadania niedeterministycznego rośnie szybciej niż liczba wariantów kombinacji warunków rozwoju SE. Celowe może być w niektórych przypadkach zastosowanie metod planowania eksperymentów [32].

Z analizy wyników obliczeń przeprowadzonych dla warunków niedeterministycznych oraz z analiz parametrycznych można wyciągnąć szereg istotnych wniosków. Na przykład znaczenie poszczególnych typów bloków można ocenić na podstawie wyników obliczeń optymalizacyjnych dla różnych poziomów mocy SE i różnych poziomów ograniczeń N_{ig} .

5.3. Studia lokalizacyjne

5.3.1. Tok realizacji studiów lokalizacyjnych

Wybór optymalnych lokalizacji elektrowni ciepłych jest szczególnie złożonym fragmentem procesu projektowania SE i elektrowni. Rozwiązanie tego zadania jest uzależnione od wielu czynników wynikających z oddziaływania otoczenia i systemów nadrzędnych względem elektrowni, z istotnym sprzężeniem zwrotnym wpływającym na rozwój tych systemów (paliwowe, transportu, wodnego, SE itp.).

W rozwiązaniu tego zadania muszą więc uczestniczyć jednostki organizacyjne różnych resortów. Zakres współpracy tych jednostek regulują liczne akta prawne, które również postanawiają, że ostateczną decyzję o wyborze lokalizacji elektrowni podejmuje Komisja Planowania przy Radzie Ministrów na podstawie analizy wniosku lokalizacyjnego, który przygotowuje resort energetyki dla trzech różnych wariantów (nie wykluczających się) lokalizacji danej elektrowni.

Decyzja lokalizacyjna Komisji Planowania będzie na pewno optymalna jedynie wów czas, gdy wysuwane warianty lokalizacji będą suboptymalne. Określenie ich wymaga przeprowadzenia odpowiednich badań i analiz.

Wspomniane przepisy regulują przede wszystkim tok postępowania i zakres niezbędnych uzgodnień międzyresortowych, a w niniejszej pracy omówiono najważniejsze kryteria, jakie muszą być spełnione, by można było mówić o optymalnej lokalizacji elektrowni. Przed rozwinięciem wybranych zagadnień przedstawiono założony racjonalny sposób postępowania.

Punktem wyjścia do studiów lokalizacyjnych powinno być określenie wymaganych przez SE rejonów lokalizacji elektrowni i ich mocy. Sposób rozwiązania tego zadania, nazwanego umownie "rejonizacją mocy" (rys. 3), zaproponowano w p. 5.3.2. Uwzględniając otrzymane wyniki oraz pilność potrzeb poszczególnych rejonów na nową moc powinno się następnie zlecać projektantom elektrowni opracowanie dokumentu "Studium lokalizacji elektrowni..." w określonym rejonie, od którego zwykle elektrownia bierze swą przyszłą nazwę (np. Dolna Odra, Opole).

Studium lokalizacji elektrowni ma na celu rezeznanie możliwych w danym rejonie lokalizacji ogólnych oraz przeprowadzenie wstępnej ich analizy porównawczej. Wymaga to oprócz rezeznania możliwości i licznych uzgodnień, rozwiązania szeregu problemów, a głównie: wyboru optymalnych typów bloków dla danych warunków lokalizacji (p.5.3.3), określenia optymalnej mocy zainstalowanej elektrowni (p.5.3.4) oraz uszeregowania możliwych wariantów lokalizacji elektrowni (p.5.3.5) z eliminacją gorszych lokalizacji wzajemnie wykluczających się. Wszystkie te problemy powinny być rozwiązywane ostatecznie w ramach optymalizacji globalnej na szczeblu SE (5.3.6), a projektanci elektrowni powinni rozwiązywać wymienione problemy parametrycznie jako zadania optymalizacji lokalnej. Za zmienne koordynacyjne przyjąć można moc instalowaną elektrowni P_i oraz warianty lokalizacji i wyposażenia elektrowni.

Wariant lokalizacji i wyposażenia elektrowni, wskazany na szczeblu SE jako najkorzystniejszy, powinien być wysunięty we wniosku lokalizacyjnym jako preferowany przez resort energetyki, a jako warianty uzupełniające potraktowane powinny być te, które uznano z kolei w "Studium" za najkorzystniejsze. Decyzja lokalizacyjna, na którą mogą mieć wpływ również i inne aspekty, kończy etap wyboru lokalizacji ogólnej elektrowni, po czym można przystąpić do wyboru lokalizacji szczegółowej oraz opracowywania dokumentacji inwestycyjnej (p.6).

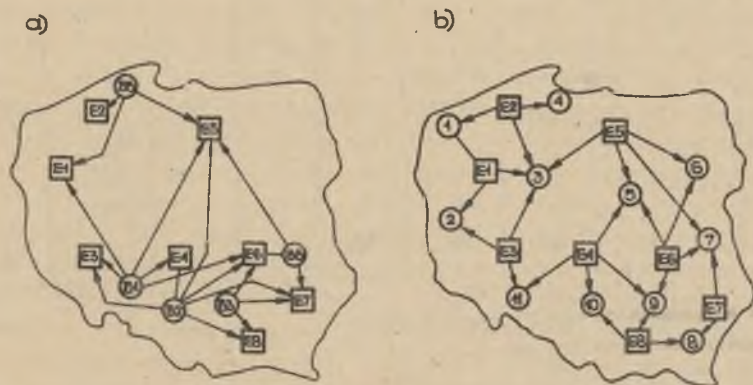
5.3.2. Rejonizacja mocy elektrowni

Określenie optymalnych rejonów lokalizacji nowych elektrowni i mocy jaka powinna być w nich zainstalowana bazować powinno na minimalizacji kosztów energii w węzłowych punktach odbiorczych sieci przesyłowej. Na koszt ten wpływa poza lokalizacją elektrowni również rodzaj środków i trasa transportu paliwa, rozdział paliw na elektrownie,

straty przesyłu energii elektrycznej. Elektrownie istniejące i projektowane o lokalizacji związanej (np. z bazą paliw niskokalorycznych) a również elektrociepłownie, powinny być traktowane jako wymuszone źródła energii elektrycznej, zaspakajające określoną część potrzeb SE.

Dla pozostałej części systemu proponuje się stworzyć model transportowy, w którym ważniejsze punkty odbioru energii z sieci przesyłowej są zasilane energią pochodzącą z określonych źródeł pozyskania paliw. Elektrownie w tym modelu spełniają rolę węzłów przetwarzających energię paliwa na energię elektryczną i rozdzielających tę energię do kilku punktów odbiorców. Proponuje się rozpatrywać elektrownie zastępcze, dla których sprecyzowany jest tylko możliwy rejon ich lokalizacji. Rozpatruje się sytuację w określonym roku perspektywy.

Punktem wyjścia do budowy modelu zagadnienia jest naniesienie na jednej mapce miejsc pozyskania paliw i rejonów lokalizacji elektrowni (rys.16). Następnie w oparciu o ustalone ważniejsze środki ciężkości odbiorów energii elektrycznej i rejonów lokalizacji elektrowni należy określić możliwy zakres rozwoju sieci przesyłowych, przy założeniu, że w zasadzie każdy punkt odbioru może być zasilany z dowolnej elektrowni, za wyjątkiem niektórych skrajnych połączeń, które byłyby nieracjonalne.



Rys. 16. Zestawienie możliwych wariantów transportu paliw i energii elektrycznej,
a) transport paliw z miejsc ich pozyskania (B) do rejonów możliwych lokalizacji elektrowni (E),
b) przesył energii elektrycznej z elektrowni do ważniejszych punktów odbioru energii

Dane te pozwalają na zestawienie możliwych realnych wariantów przepływów energii od miejsca pozyskania paliw przez określone elektrownie do poszczególnych punktów odbioru. Dalszym etapem prac jest określenie średniorecznych jednostkowych kosztów energii elektrycznej w poszczególnych punktach odbioru w różnych wariantach transportu paliw i energii (tabl.5.1). Koszty te ujmować muszą wszystkie społecznie niezbędne wydatki na rozwój i eksploatację środków transportu paliw i energii oraz elektrowni. O ile istnieje kilka możliwości transportu paliwa między danym źródłem a elektrownią (drogą wodną lub koleją, różnymi trasami lub pociągami), te możliwości te trzeba uwzględnić

przez zwiększenie liczby wariantów. Podobnie można rozróżnić warianty środków transportu (modernizacja trasy istniejącej lub budowa nowej, poziom napięć linii itp) lub wyposażenia elektrowni.

W proponowanym ujęciu pomija się zależność jednostkowego kosztu energii loco odbiorca od mocy elektrowni, parametrów linii przesyłowych itp. Błędy stąd wynikające można zmniejszyć odpowiednio debierając ograniczenia ce do zakresu możliwych zmian tych parametrów. Przy powyższym założeniu tabl.5.1 przedstawia zestaw stałych współczynników.

Tablica 5.1

Jednostkowe koszty dostawy energii elektrycznej do głównych punktów odbioru, dla różnych tras transportu paliwa i energii elektrycznej

Trasa transportu	Wariant	Punkty odbioru energii elektrycznej						
		1	2	3	...	i	....	m
B1 - E1	1	k_{11}	k_{12}	k_{13}	...	k_{1i}	....	k_{1m}
B1 - E2	2	k_{21}	k_{22}	k_{23}	...	k_{2i}	....	k_{2m}
.
.
Bj - Ei	j	k_{j1}	k_{j2}	k_{j3}	...	k_{ji}	....	k_{jm}
.
.
EX - EY	m	k_{m1}	k_{m2}	k_{mj}	...	k_{mi}	....	k_{mm}

E1, ... EX - numery źródeł pozyskania paliw,

E1, E2, ... EY - numery elektrowni.

Jako funkcję celu można przyjąć sumarczny koszt roczny energii u odbiercy (w punktach węzłowych sieci):

$$K_0 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m k_{ji} P_{ji} T_{si} \quad (5.19)$$

gdzie:

P_{ji} - moc transportowana w j-tym wariantcie do i-tego punktu odbioru,

k_{ji} - koszt jednostkowy energii loco i-ty odbierca w j-tym wariantcie transportu paliwa i energii,

T_{si} - roczny czas wykorzystania szczytowego zapotrzebowania mocy w i-tym węźle odbierczym.

Kryterium dla wyboru ekonomicznie najkorzystniejszych mocy P_{ji} można sformułować następująco:

znaleźć

$$\min_{P_{ji}} K_0 = K_0^0 \quad (5.20)$$

przy następujących ograniczeniach:

$$\sum_{j=1}^n P_{ji} = P_{zi}; \quad \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n P_{ji} = \sum_{i=1}^n P_{zi}; \quad \sum_{i=1}^n P_{zi} T_{zi} = A_n, \quad (5.21)$$

gdzie:

P_{zi} - szczytowe zapotrzebowanie mocy w punkcie i,
 A_n - wymagana produkcja roczna energii w systemie,

$$0 \leq P_{ji} \leq P_{jimax}; \quad 0 \leq P_w \leq P_{wmax}, \quad (5.22)$$

gdzie:

P_w - moc zainstalowana w w-tym węźle elektrownianym,

$$\sum_{i=1}^n P_w \geq \sum_{i=1}^n P_{zi} + \sum_{j=1}^n P_{sj}, \quad (5.23)$$

gdzie:

P_{sj} - straty przesyłu mocy w wariancie j,

oraz przy innych ograniczeniach dotyczących m.in. zasobności poszczególnych źródeł pozyskania paliw, przepustowości tras transportu.

Tak sformułowany liniowy model transportowy systemu można rozwiązać przy pomocy metody programowania liniowego; rozmiary modelu wskazują na celowość zastosowania tzw. algorytmu transportowego. W wyniku obliczeń otrzymuje się najkorzystniejszy zestaw przepływów paliw i mocy wg różnych wariantów. W węzłach elektrownianych, w których wszystkie przepływy $P_{ji} = 0$, nie opłaca się instalować nowej mocy, a moc elektrowni pozostałych można określić sumując moce wpływające z poszczególnych węzłów elektrownianych do różnych punktów odbieru. Poza informacjami o najkorzystniejszych rejonach lokalizacji elektrowni i o mocach, jakie należy zainstalować w tych rejonach, z otrzymanych wyników można również wyciągnąć wnioski o najkorzystniejszych rozpiętkach mocy w sieci przesyłowej oraz o kierunkach i zakresie transportu paliw.

Rozszerzenie przedstawionego modelu o elementy niedeterministyczne jest możliwe analogicznie jak poprzednio, przez wielokrotne powtarzanie obliczeń dla różnych kombinacji wartości niepewnych danych wejściowych, jak np. poziom zapotrzebowania mocy, zasobność źródeł paliwa, poziom ograniczeń. Po stworzeniu tablicy gry (tabl.4.1) dalszy sposób postępowania może być analogiczny jak zaproponowany w p.4.

Oddzielne potraktowanie wymaga problem określenia wymaganego w poszczególnych rejonach przyrostu mocy zainstalowanej w szczytowych i podszczytowych źródłach energii. Należałoby w tym celu sporządzić bilanse mocy szczytowej możliwej do uzyskania z istniejącej bazy wytwórczej oraz z elektrowni parowych i określić dla każdego rejonu przewidywany deficyt mocy szczytowej P_{zw} .

5.3.3. Wybór typu bloku dla określonych warunków lokalizacji

Rozpoczynając studia nad lokalizacją elektrowni w wybranym rejonie projektanci elektrowni powinni otrzymywać od projektantów SE następujące główne dane programowe - wymaganą moc zainstalowaną w tym rejonie P_w , w tym moc szczytową P_{zw} , - typy bloków na jakich może być oparte wyposażenie elektrowni,

- zależność $z(k_{pe})$ dla wybranych lat perspektywy (5,10,15,20).

W dotychczasowej praktyce krajowej typ bloku jest jednoznacznie zadawany projektantom elektrowni, co ma pewne zalety (ujednoczenie wyposażenia elektrowni), ale przy zróżnicowanych kosztach paliwa loco elektrownia jest to sposób nieoptymalny, zwiększający nakłady inwestycyjne (rys. 14 i 15). Zdaniem autora jednoznaczne narzucanie projektantom typu bloku ma sens jedynie wówczas, gdy wiadomo, że projektowana elektrownia będzie miała zagwarantowaną pracę podstawową ($k_{pe} < k_{pg}$) oraz gdy z optymalizacji struktury mocy SE wyniknie, że w systemie powinna być, w rozpatrywanym okresie, instalowany tylko jeden typ bloku podstawowego.

W dalszym ciągu rozpatrzonej będzie jednak bardziej ogólny przypadek. Dobierając wyposażenie elektrowni w określonych ogólnych warunkach lokalizacyjnych projektanci elektrowni powinni traktować jako wielkość zmienną koszt paliwa loco elektrownia, o ile istnieje możliwość zastosowania różnych środków transportu lub nie dokonane jednorazowego przydziału węgla elektrowni.

Dla każdego istotnie różniącego się poziomu kosztu paliwa C_p powinien być opracowany oddzielny wariant wyposażenia elektrowni. Wybór typu bloku dla danego C_p odbywać się może wg kryterium minimalizacji średnich dyskontowanych jednostkowych kosztów netto bloku:

$$\min \left\{ k_{db} = \frac{\sum_{t=t_0}^{t_k} K_{tb} (1+p)^{-t}}{\sum_{t=1}^{t_k} A_{tb} (1+p)^{-t}} \right\} \quad (5.24)$$

gdzie:

K_{tb} - koszt roczny bloku w roku t , A_{tb} - roczna produkcja netto energii przez blok w roku t , t_0 - rok rozpoczęcia budowy elektrowni, t_k - końcowy rok eksploatacji elektrowni.

Z dwóch porównywanych typów bloków blok 1 będzie korzystniejszy, gdy spełniony będzie warunek:

$$\frac{\sum_{t=t_{e1}}^{t_{k1}} K_{tb1} (1+p)^{-t}}{\sum_{t=1}^{t_{k1}} A_{tb1} (1+p)^{-t}} < \frac{\sum_{t=t_{e2}}^{t_{k2}} K_{tb2} (1+p)^{-t}}{\sum_{t=1}^{t_{k2}} A_{tb2} (1+p)^{-t}} \quad (5.25)$$

W niektórych szczególnych przypadkach kryterium (5.25) daje się sprowadzić do znacznie prostszej postaci. Gdy wchodzące w rachubę bloki cechuje $q_{e2} < q_{e1}$ dla danego C_p (rys. 11) w całym okresie obliczeniowym, czyli gdy $z_t = 1$, $t = 1, \dots, t_k$, warunek (5.25) przyjmie postać:

$$(r+r_e) (I_{dn1} - I_{dn2}) < \frac{C_p}{Q} (q_{e2} - q_{e1}), \quad (5.26)$$

gdzie:

I_{dn2} - jednostkowe nakłady inwestycyjne, odniesione do średniej mocy

dyspozycyjnej bloku netto, tj. $(P_d)(1-a_{pn})$,

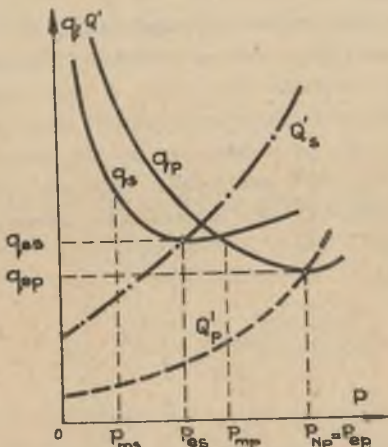
$q_{m2,1}$ - średnioroczne jednostkowe zużycie netto energii chemicznej paliwa umownego.

W innym skrajnym przypadku, gdy nie ma w zbiorze możliwych typów bloków takiego, który przy danym C_p osiągałby $q_e < q_{eg}$, czyli gdy rozwiązania trzeba szukać w okolicy punktu S na rys. 15, to przy założeniu $z_t = \text{const} < 1$, warunek wyższości wariantu 1 ma postać:

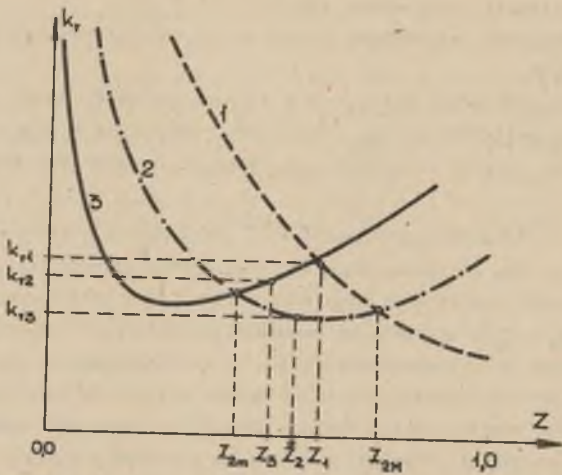
$$(r+r_e)(I_{dm1} - I_{dm2}) < \frac{C_p T}{Q} [z_2 q_{m2}(z_2) - z_1 q_{m1}(z_1)] \quad (5.27)$$

W najbardziej ogólnym przypadku okazać się może, że w danych warunkach lokalizacyjnych (C_p) dobrać można dwa różne typy bloków, w tym jeden podstawowy ($q_e < q_{eg}$) a drugi podszczytowy ($q_e > q_{eg}$). Optymalność instalowania obu typów w jednej elektrowni oraz ich optymalne udziały w mocy elektrowni można określić jedynie na szczeblu SE, w porównaniu do innych możliwości pokrycia potrzeb danego regionu na moc szczytową.

W omawianej fazie studiów należy również sformułować wymagania odnośnie kształtu charakterystyki energetycznej bloków, a zwłaszcza stosunku obciążenia ekonomicznego do znamionowego (P_e/P_N). Jedynie bloki przeznaczone do pracy podstawowej powinny być projektowane na uzyskanie sprawności maksymalnej przy obciążeniu znamionowym (charakterystyka p na rys. 17). Bloki projektowane na $z < 1$ powinny mieć możliwie płaski przebieg $q(P)$ w zakresie od P_N do dopuszczalnego obciążenia minimalnego P_m (charakterystyka s na rys. 17), przez co można istotnie zmniejszyć średnioroczne jednostkowe zużycie energii, czyli również jednostkowe koszty wytwarzania (rys. 18). Dla każdego przewidywanego z istnieje taki optymalny kształt charakterystyki $q(P)$ oraz poziom I, przy których osiąga się minimum średnich zdyskontowanych jednostkowych kosztów wytwarzania (przypadek 2 na rys. 18). Im niższa będzie przewidywana wartość z, tym niższy powinien być stosunek P_e/P_N oraz dopuszczalne minimalne obciążenie bloku P_m .



Rys. 17. Charakterystyki jednostkowego zużycia energii $q(P)$ i przyrostu względnego zużycia energii Q' dla bloku p - podstawowego, s - szczytowego



Rys. 18. Wybór ekonomicznie najkorzystniejszego wariantu rozwiązania bloku przy $k_{ps} > k_{peg}$;

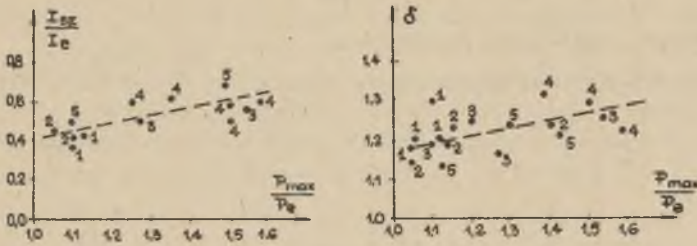
$$I_1 > I_2 > I_3 .$$

Wpływ kształtu charakterystyki energetycznej na średnie roczne jednostkowe koszty wytwarzania

$$P_{e1} > P_{e2} > P_{e3} \quad I_1 > I_2 > I_3 \quad P_N = \text{const.}$$

Z rys. 18 wynika ponadto ważny wniosek, że każdy typ bloku ma określony zakres ekonomicznej pracy (np. z_{2m} do z_{2M}), przy którym jednostkowe koszty wytwarzania są niższe niż dla innych typów bloków, a optymalne z_2 leżeć powinno wewnątrz tego przedziału.

Odpowiednie zaprojektowane bloki podstawowe mogą również być źródłem mocy szczytowej poprzez wykorzystanie możliwości przeciążeń urządzeń, wyłączanie podgrzewaczy regeneracyjnych itp. Koszt przystosowania bloków do tych przeciążeń jest na ogół znacznie niższy od kosztów zainstalowania mocy szczytowej w innych źródłach (rys.19), ale opłacalność poszczególnych sposobów przeciążeń powinna być potwierdzana w ramach optymalizacji globalnej na szczeblu SE, a projektanci elektrowni powinni proponować warianty bloków podstawowych o różnym stopniu przeciążenia, określając koszty uzyskania tej dodatkowej mocy szczytowej.



Rys. 19 Wpływ stopnia przeciążenia bloku ponad obciążenie ekonomiczne (P_{max} / P_e) na względne jednostkowe nakłady inwestycyjne (I_{sz} / I_e) na uzyskiwaną moc szczytową i na współczynnik strat energii (δ), wg danych różnych firm zagranicznych, dla następujących sposobów przedażeń:

- 1 - wyłączenie podgrzewaczy regeneracyjnych wysokociśnieniowych,
- 2 - okresowy wzrost ciśnienia pary świeżej, 3 - 1+2,
- 4 - zasilanie części średniociśnieniowej turbiny z pomocniczego kotła szczytowego,
- 5 - obejście kilku stopni części wysokociśnieniowej turbiny.

5.3.4. O p ł a c a l n y s t o p i e ń k o n c e n t r a c j i m o c y w e l e k t r o w n i

Wzrost mocy zainstalowanej w elektrowni wpływa korzystnie na jednostkowe koszty stałe elektrowni (rys. 20), ale zwiększa jednostkowe koszty przesyłu energii. Można wykazać [26], że przy pominięciu ograniczeń istnieje taka ekonomiczna moc instalowana elektrowni \bar{P}_i (rys. 21), przy której osiąga się minimum średniorocznych jednostkowych kosztów energii w głównych punktach odbioru k_{r0} , czyli:

$$\bar{P}_i = \arg \min [k_{r0}(P_i) = k_r(P_i) + k_{r1}(P_i)], \quad (5.28)$$

gdzie:

k_r - średnioroczne jednostkowe koszty wytwarzania,

k_{r1} - średnioroczne jednostkowe koszty przesyłu, które można [26] w przybliżeniu opisać zależnością:

$$k_{r1} = \frac{C_1 + C_2 P_{sz}^2 [I(P_i) + I k_x]}{\gamma T_s}, \quad (5.29)$$

C_1, C_2 - stałe dla określonych parametrów linii,

P_{sz} - moc szczytowa przesyłana liniami wyprowadzającymi energię netto z elektrowni:

$$P_{sz} = P_i - P_{ps} - P_{ob} \quad (5.30)$$

P_{ob} - moc odbiorców położonych bliżej elektrowni,

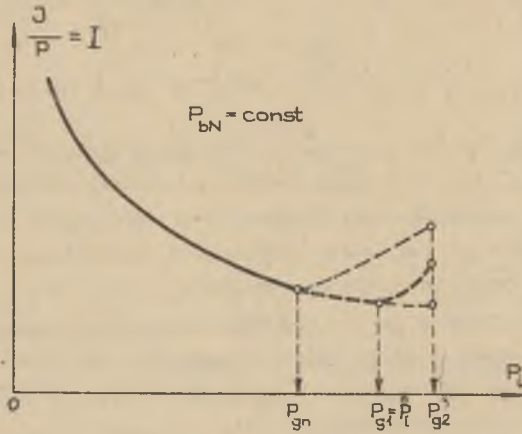
γ - wskaźnik gęstości obciążenia linii:

$$\gamma = \frac{P_{ss}}{I}$$

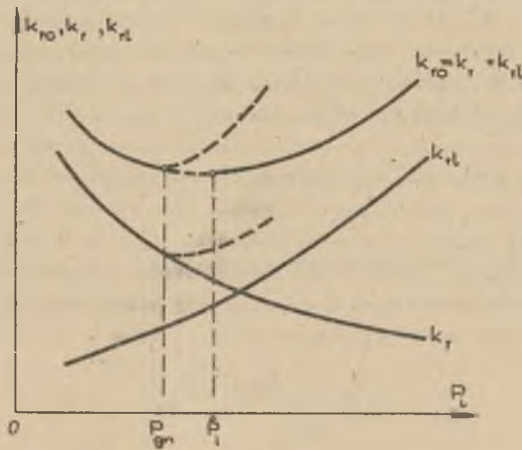
(5.31)

L - średnia długość linii przesyłowych,

γ - czas trwania maksymalnych strat w liniach.

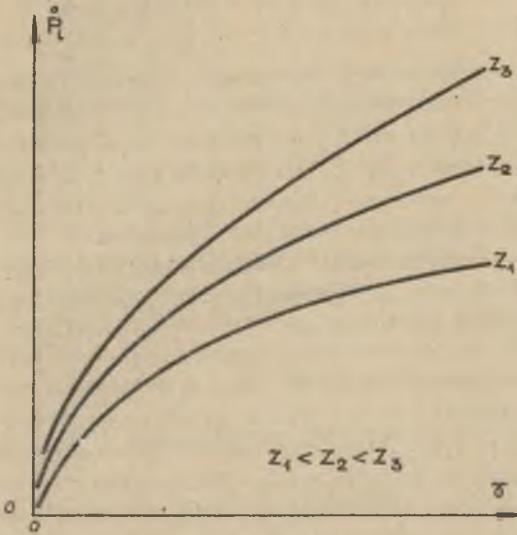


Rys.20 Wpływ mocy zainstalowanej elektrowni P_i na jednostkowe nakłady inwestycyjne



Rys.21 Wpływ mocy zainstalowanej elektrowni na jednostkowe roczne koszty wytwarzania k_r , przesyłu k_{it} i koszty energii u odbiorcy k_{10} , linią przerywaną, oznaczono jeden z przypadków gdy $P_{gn} < P_i$.

Wykorzystując powyższe zależności można w danych warunkach lokalizacyjnych określić moc P_1 , która wypada tym wyższa, im wyższa jest średnia gęstość obciążenia linii δ oraz wyższy współczynnik z (rys. 22). Z przeprowadzonych przykładowych obliczeń wynika, że przy spotkanych w kraju gęstościach obciążenia linii przesyłowych ekonomiczna moc zainstalowana elektrowni wypada stosunkowo duża, rzędu kilku GW, czyli leży na ogół powyżej tzw. mocy granicznej elektrowni.



Rys.22 Ekonomicznie najkorzystniejsza moc elektrowni P_1 w zależności od wskaźnika gęstości obciążenia linii δ i stopnia wykorzystania zdolności produkcyjnej elektrowni z

Moc graniczna, jaką można zainstalować w elektrowni o określonej lokalizacji, zależy głównie od będącej do dyspozycji ilości wody, bazy paliwowej (z uwzględnieniem ewentualnych ograniczeń w transporcie paliwa), stanu zanieczyszczenia atmosfery i możliwości składowania lub zagospodarowania odpadów produkcyjnych. Działanie każdego j-tego czynnika z osobna wyznacza górną granicę mocy zainstalowanej elektrowni (P_{ij}), którą można określić ze znanych wzorów praktycznych. Po uwzględnieniu działania wszystkich tych czynników łącznie otrzyma się tzw. graniczną moc zainstalowaną:

$$P_{ig} = \min_j (P_{ij}). \quad (5.32)$$

Moc graniczna elektrowni zależy również istotnie od rozwiązań technicznych i wyposażenia elektrowni, np. budując elektrownię przy określonym źródle wody zasadniczo różne moce graniczne wypadną przy otwartym i zamkniętym układzie chłodzącym, nie mówiąc już o przypadku zastosowania chłodni suchych. Podobnie moc graniczna zależy od mocy bloków, typu kotłów i układu cieplnego, wyposażenia bloków w instalacje odsiarczania spalin itp. Istnieje więc ścisła współzależność między mocą graniczną elektrowni i wysokością nakładów inwestycyjnych na elektrownię (rys.20).

Rozróżnić można tzw. naturalną moc graniczną elektrowni P_{gn} , tzn. taką, którą można zainstalować w elektrowni przy możliwie najtańszym wyposażeniu elektrowni oraz moc graniczną maksymalną P_{gm} , możliwą do zainstalowania przy zastosowaniu wszystkich znanych aktualnie na skalę przemysłową środków dla forsowania mocy granicznej elektrowni. Pomiędzy tymi skrajnymi wartościami mocy granicznej możliwe są rozwiązania pośrednie.

5.3.5. Wstępne uszeregowanie wariantów lokalizacji elektrowni

Pełnym kryterium wyboru optymalnych lokalizacji elektrowni powinna być minimalizacja średnich jednostkowych rozszerzonych kosztów energii u odbiorców. W proponowanej organizacji prac problem minimalizacji strat przesyłu został już wstępnie rozwiązany (p.5.3.2) i będzie jeszcze uściślony (p.5.3.6). Można więc jako kryterium porównywania wariantów lokalizacji i rozwiązań elektrowni przyjąć minimalizację średnich dyskontowanych jednostkowych rozszerzonych kosztów wytwarzania.

Uwzględniając przedstawioną propozycję parametrycznego rozwiązywania zadań lokalnych każdy j-ty wariant wyposażenia elektrowni w i-tej lokalizacji charakteryzowany byłby estatementnie kosztem rocznym w ujęciu:

$$K_{rij} = J_{ij}(P_b, N) + C_{pij} \frac{e_{ij}}{q} \delta_{ij} P_b N T z_{ij} d_j \quad (5.33)$$

Nakłady inwestycyjne mogą być opisywane zaproponowanymi w [23] funkcjami liniowymi o postaci:

$$J_{ij} = [J_0(P_b) + \Delta J(P_b) N] \prod_j h_j \quad \prod_i h_i \quad (5.34)$$

gdzie:

J_0 - część zdyskontowanych nakładów inwestycyjnych na budowę elektrowni niezależna od liczby bloków, a zależna od mocy bloku, określona dla umownych warunków budowy i wyposażenia elektrowni,

ΔJ - przyrost nakładów inwestycyjnych, przypadający na jeden blok instalowany, zależny od mocy bloku, określony dla umownych warunków budowy i wyposażenia elektrowni,

h_i, h_j - współczynniki korygujące wartość nakładów z warunków umownych na rzeczywiste, ujmujące wpływ i-tego warunku lokalizacyjnego lub j-tego parametru wyposażenia.

wspomniane warunki umowne powinny dotyczyć rodzaju i jakości paliwa, typu układu chłodzącego, warunków terenowych budowy elektrowni, typu bloku itp. czynników. Określenie konkretnych wartości $J_0, \Delta J, h_j$ wymaga okresowego przeprowadzania specjalnych badań i analiz, ale ich wykonanie procentuje w dalszych pracach, gdyż umożliwia szybkie określanie nakładów dla różnych wariantów lokalizacji i wyposażenia elektrowni.

W zakresie mocy instalowanej elektrowni, leżącej poniżej granicznej mocy naturalnej, dla wyboru wariantu najkorzystniejszego wystarcza porównanie kosztów jednostkowych elektrowni. W najczęstszym przypadku, gdy $P_{gn} < P_i$ (rys. 20), rozpatrzyć trzeba celowość forsowania mocy instalowanej ponad naturalną moc graniczną, a w rachunku uwzględnić należy wszystkie koszty dodatkowe.

Z dalszych rozważań należy wyeliminować warianty lokalizacji i wyposażenia elektrowni, osiągające najgorsze wskaźniki, pozostawiając jednak do dalszych analiz dostatecznie dużą liczbę wariantów (≥ 3) dla uzasadnienia wyboru decyzji lokalizacyjnej.

5.4. Optymalizacja programu budowy elektrowni

Optymalizacja programu budowy elektrowni w określonym bliskim okresie perspektywy (rys. 2) ma na celu wskazanie, które z elektrowni o rozeznaczonych lokalizacjach, w jakim wariantcie rozwiązań, o jakiej mocy i w jakim terminie mają być uruchamiane. W oparciu o wyniki tej optymalizacji układa się średnieterminowy plan realizacji inwestycji, a więc metody optymalizacji powinny cechować się odpowiednią dokładnością. Najważniejsze jest dostatecznie wierne odwzorowanie w modelach przyszłych warunków pracy systemu, z uwzględnieniem dynamiki jego rozwoju oraz spełnienie szeregu innych istotnych wymagań omówionych w pracy [11].

Spełnienie tych wymagań w jednym, ściśle matematycznym modelu zagadnienia, jest niemiernie trudne, a ponadto model taki byłby chyba niemożliwy do praktycznej realizacji ze względu na obszerność zadania. Realne i potrzebne jest natomiast tworzenie modeli cząstkowych zagadnień składowych, które odpowiednio skoordynowane mogą tworzyć procedurę oceny wariantów rozwiązań. Tak ukierunkowano prace nad tym problemem w kilku krajach, a Instytut Energetyki w Warszawie opracował procedurę [9] obejmującą 22 bloki czynnoci, z których 15 realizuje się przy pomocy komputera.

Procedura ta wykorzystuje metodę porównywania wariantów w dwóch etapach. W pierwszym, w oparciu o uproszczone kryteria, przeprowadza się eliminację wstępną najmniej korzystnych wariantów, a następnie dla pozostałej grupy wariantów przeprowadza się dokładną ocenę ich efektywności. Dokładniej metodykę tę autor niniejszej pracy ocenił w koreferacie wygłoszonym w 1973 r. na sympozjum Komitetu Energetyki PAN w Jablonnie, podając również propozycje jej udoskonalenia.

Wyniki programowania średnieterminowego rozwoju elektrowni powinny być podstawą do sporządzania przez resort energetyki planów budowy elektrowni, a po ich zatwierdzeniu do zlecenia projektantom elektrowni przygotowania dokumentacji inwestycyjnej.

6. PROJEKTOWANIE ELEKTROWNI

6.1. Ważność racjonalizacji procesu projektowania elektrowni

Projektowanie elektrowni w rozumieniu sporządzania dokumentacji inwestycyjnej elektrowni jest bardzo złożonym procesem, komplikującym się w miarę rozwoju techniki wytwarzania energii elektrycznej i wzrostu liczby aspektów, jakie projektanci muszą uwzględnić. Pomimo obiektywnego uwarunkowania i niewątpliwego postępu proces projektowania elektrowni w kraju trudno uznać za dostatecznie efektywny, głównie pod względem organizacji i wydajności pracy. Jest to zresztą problem ogólnoswiatowy, gdyż wg pracy [4] wydajność pracy w fazie przygotowywania produkcji wzrastała w minionym stuleciu pięciokrotnie wolniej niż wydajność pracy w przemyśle. Nic więc dziwnego, że szereg krajów szeroko rozwinęło prace nad automatyzacją projektowania [48,56], a w kraju najbardziej zaawansowane są prace w przemyśle stoczniowym i w budownictwie [54].

Ma stosunkowo długi czas sporządzania dokumentacji inwestycyjnej elektrowni decydujący wpływ na duże obciążenie projektantów zrutynizowanymi pracami, z których znaczną część można dziś wykonać przy wykorzystaniu maszyn cyfrowych. Wbrew utartym poglądom nie chodzi tu tylko o obliczenia, lecz również o wyszukiwanie (z katalogów, norm itp) danych, ich sortowanie, magazynowanie, porównywanie, przetwarzanie na inną formę itp.

Odciążenie projektantów od realizacji tych prac powoduje nie tylko wzrost wydajności pracy, ale umożliwia również poświęcenie więcej czasu projektantów na działalność twórczą w kierunku polepszenia jakości rozwiązań projektowych. Dlatego też w niniejszym rozdziale główną uwagę zwrócono na problemy zastosowań maszyn cyfrowych w specyficznym procesie projektowania elektrowni (p.6.2 do 6.4).

Komputeryzacja procesu projektowania umożliwi ponadto zmniejszenie wpływu subiektywnego podejścia poszczególnych projektantów do rozwiązywania podobnych zadań oraz przeciwdziałać będzie obserwowanemu spłycaaniu analiz techniczno-ekonomicznych i rozważaniu zbyt małej liczby możliwych rozwiązań. Dotychczasowe prace nad komputeryzacją projektowania elektrowni często bagatelizują rolę rachunku ekonomicznego przy podejmowaniu decyzji projektowych, dlatego w p. 6.5. pracy podane uproszczone kryteria, jakie należy stosować w różnych przypadkach. W zakończeniu rozdziału omówiono celowość niedeterministycznego podejścia do rozwiązywania zadań projektowych.

6.2. Klasyfikacja zastosowań maszyn cyfrowych w biurach projektów

Maszyny cyfrowe mogą znaleźć szerokie zastosowanie w biurach projektowych, na wszystkich trzech głównych poziomach struktur organizacyjnych do celów:

- administracyjno-gospodarczych (płace, rozliczenia, sprawozdawczość itp),
- organizacyjne-planistyczno-kontrolnych (np. rozdział zadań na branże, pracownie i

projektantów, a następnie kontrola ich realizacji),

- sporządzania dokumentacji i prac studialnych.

Zgodnie z ujęciem rozprawy w dalszym ciągu omawiana będzie tylko ostatnia grupa zastosowań komputerów, bezpośrednio ingerująca w działalność projektantów. Działalność ta, w przypadku rozwiązywania poważniejszego zadania projektowego, zawiera następujące czynności składowe:

- a) sprecyzowanie i rozeznanie zadania,
- b) opracowanie koncepcji rozwiązania zadania na tle wytycznych programowych i ograniczeń ze strony dostawców urządzeń i wykonawców inwestycyjnych,
- c) skompletowanie danych niezbędnych do rozwiązania zadania,
- d) analizę liczbą wariantów rozwiązań,
- e) ocenę wyników obliczeń,
- f) uzgodnienia, wybór rozwiązania,
- g) sporządzenie dokumentacji projektowej,
- h) nadzór autorski na budowie.

W literaturze [3,12,56] za najistotniejsze uważa się zwykle następujące składowe podstawowe cyklu projektowego: syntezę (b), - analizę (d), - ocenę (e), ale zdaniem autora nie zawsze są te czynności najbardziej absorbujące projektantów. Na przykład częste skompletowanie danych lub sporządzenie części graficznej dokumentacji pochłania więcej czasu niż wymienione trzy czynności.

Wśród składowych działań projektantów do czynności twórczych, z reguły niemożliwych lub bardzo trudnych do sformalizowania, zaliczyć można: a), b), f) i h). Do tzw. czynności zrutynizowanych, dających się opisać jednoznacznymi algorytmami należą: d) i e) oraz częściowo c) i g).

Zakres komputeryzacji procesu projektowania może być bardzo różny, ale najogólniej rozróżnia się: wspomaganie projektowania przy pomocy komputera [56,55] oraz automatyzację projektowania, obejmującą również sporządzanie części graficznej projektów. Wspomaganie dotyczy może albo realizacji tylko obliczeń (d), albo również wyszukiwania, przechowywania i przesyłania danych.

Z przeprowadzonych szczegółowych analiz czynności wykonywanych przez projektantów branży cieplnej i elektrycznej "Energeprojektu" wynika, że ilość poważnych problemów obliczeniowych jest niewielka, chociaż w sumie liczba czynności dających się skomputeryzować jest duża. Dlatego zastanawiając się nad najlepszym sposobem wykorzystania komputera w "Energeprojekcie" Gliwice, zespół pod kierownictwem naukowym autora sformułował koncepcję wielofunkcyjnych, branżowych komputerowych systemów wspomaganie projektowania [14,15,16], o których będzie mowa w p. 6.3.

Komputer może spełniać różne funkcje obliczeniowe, które umownie można sklasyfikować następująco:

- obliczenia wg pojedynczych wzorów,
- obliczenia wg algorytmów, zawierających co najmniej kilka wzorów i zależności logicznych,
- obliczenia oparte na złożonych modelach matematycznych.

W przypadku pierwszym komputer spełnia jedynie rolę arytmetru, a dopiero w pozostałych uwidaczniają się zalety komputera i możliwe jest wprowadzenie do procesu projektowania zupełnie nowych jakościowo problemów, jak np. symulacyjnych badań właściwo-

ści dynamicznych urządzeń lub optymalizację rozwiązań. Kwestię tę rozwinięto w pracy [28] w nawiązaniu do opisanej w p.3 klasyfikacji modeli matematycznych. W dalszych rozważaniach pominięto jednak specyficzne problemy związane z realizacją obliczeń na złożonych modelach matematycznych, gdyż ich zastosowanie w procesie sporządzania dokumentacji inwestycyjnej jest sporadyczne i zrealizowane może być na zlecenie projektanta w dowolnym ośrodku LTO. Zajęto się natomiast bliżej problematyką komputeryzacji codziennej działalności projektantów.

Z punktu widzenia konfiguracji sprzętu komputerowego i współpracy z nim projektantów rozróżnić można różne sposoby komputeryzacji - od najprostszycch z kalkulatorami programowanymi na stole projektantów aż po rozbudowane systemy wielodostępne i wielomaszynowe.

6.3. Współpraca projektanta z systemem komputerowym

Dzięki wprowadzeniu języków algorytmicznych i specjalistycznych oraz zdalnej komunikacji człowiek - komputer (przez monitory lub drukarki, możliwa jest już od kilku lat bezpośrednia współpraca projektantów z systemami komputerowymi przy niezbyt dużych wymaganiach odnośnie wiedzy informatycznej projektantów. Dzięki temu można lepiej wykorzystać możliwości odciążenia projektantów przez komputer nie tylko od obliczeń, lecz również od pracochłonnej czynności wyszukiwania, przechowywania i selekcji danych.

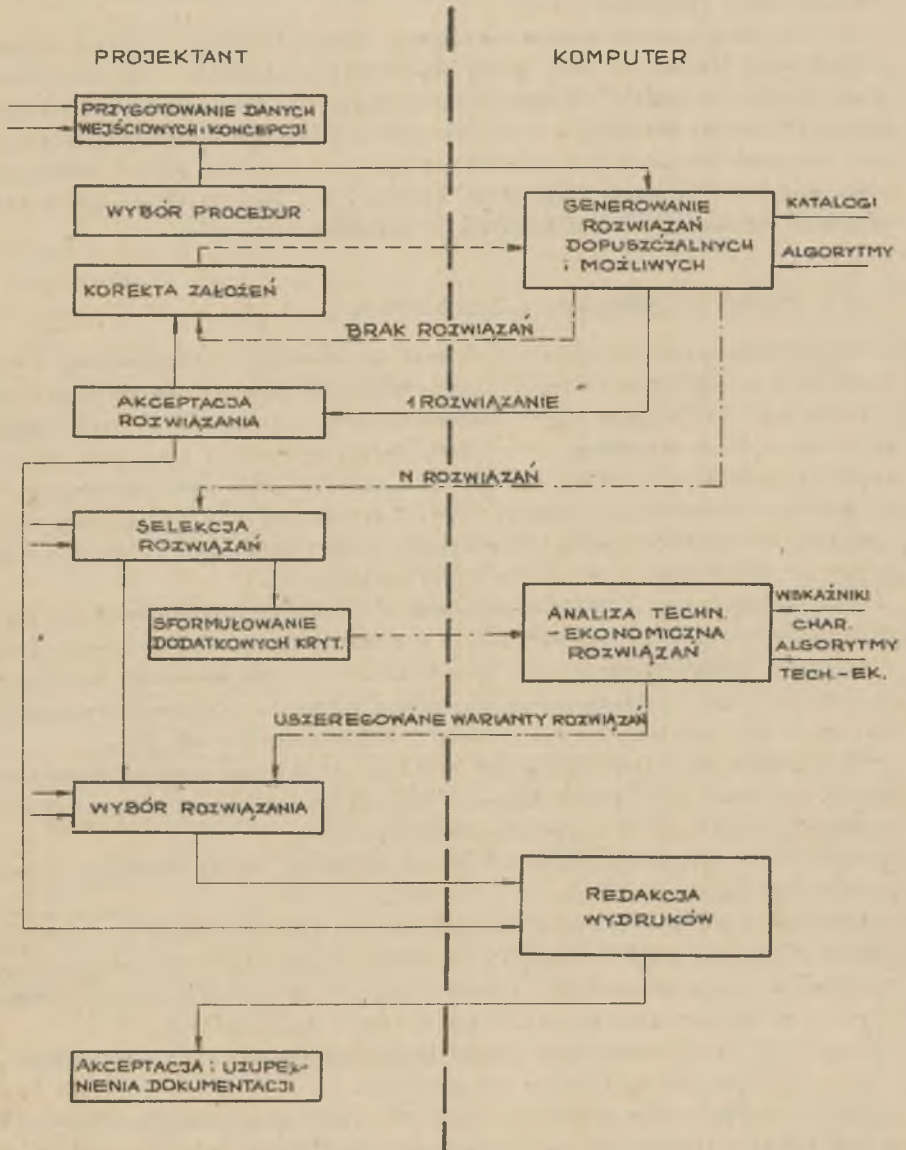
Takie wykorzystanie maszyny cyfrowej założono w ramach projektowanych dla "Energo-projektu" w Gliwicach branżowych komputerowych systemów wspomaganie projektowania (KS). Pomińjąc znany [15] opis struktury informatycznej KS w dalszym ciągu ograniczono się jedynie do opisu organizacji współpracy projektanta z KS, której celem ostatecznym jest ułatwienie i zapewnienie wyboru przez projektanta optymalnych rozwiązań projektowych.

Uwzględniając specyfikę procesu projektowania elektrowni, polegającą na ciągłym przeplataniu się różnych rodzajów czynności (twórczych i zrutynizowanych), KS pracować powinien w trybie konwersacyjnym. Zrealizowanie tego postulatu wymaga jednak odpowiedniego sprzętu (np. monitorów ekranowych z piórem świetlnym), nieosiągalnego na razie na rynku krajowym. Możliwa jest jednak interakcyjna praca komputera, ze sterowaniem i kontrolą realizacji poszczególnych kroków algorytmu przez projektanta np. poprzez dalekopis (pseudokonwersacja). W skład KS wchodzi więc szereg programów i procedur rozwiązujących określone problemy cząstkowe, odpowiednia do życzeń projektanta, który ponadto podaje tzw. dane zmienne, niezbędne do rozwiązania zadań cząstkowych. Wszystkie pozostałe dane, a więc katalogi wytwórców, normy, rozwiązania zunifikowane, zalecenia projektowe itp., znajdują się mogą w bazie danych stałych KS.

Na rys. 23 przedstawiono uogólniony schemat współpracy projektanta z KS przy rozwiązywaniu dowolnego zadania projektowego, zakładający optymalizację rozwiązań metodą porównywania wariantów (p.3.3).

Komputer realizuje dwa podstawowe etapy. W pierwszym, wykorzystując modele i algorytmy funkcjonalne (p.3.2), generuje zbiór rozwiązań dopuszczalnych i możliwych do realizacji. Mogą przy tym wystąpić trzy przypadki. W pierwszym - z elementów zawartych w bazie danych KS nie da się dobrać żadnego, który spełniałby wymagane kryteria tech-

nologiczne. Wówczas albo projektant musi zweryfikować założenia, albo bazę danych trzeba rozszerzyć o nowe pozycje katalogowe (np. z importu). W przypadku gdy wygenerowane zostanie tylko jedno dopuszczalne i możliwe rozwiązanie, projektant albo akceptuje je, albo nie i cykl powtarza się.



Rys.23 Schemat realizacji zadania projektowego przy wykorzystaniu komputerowego systemu wspomagania

W najogólniejszym przypadku, gdy wygenerowanych zostanie kilka rozwiązań dopuszczalnych i możliwych, projektant może dokonać ich wstępnej selekcji (np. odrzucając urządzenia mniej solidnych dostawców), a pozostałe warianty, o ile będzie ich więcej niż jeden, powinien skierować do porównawczej analizy techniczno-ekonomicznej. Analizę tę wykonuje komputer, wykorzystując medele ocenowe (p.3.3) oraz kryteria uszeregowania wariantów rozwiązań.

Ostatecznie projektant otrzyma uszeregowany wykaz wariantów rozwiązań zadania, z których każdy scharakteryzowany będzie podstawowymi wskaźnikami techniczno-ekonomicznymi. Po podjęciu decyzji o wyborze wariantu projektant może zażądać sporządzenia wydawnictw w postaci nadającej się do włączenia do dokumentacji inwestycyjnej, a następnie sporządza niezbędny opis. Wydawnictwa komputera mogą mieć postać tablic uzupełnionych opisami, zestawień (materiałów, kosztów itp.) jak również rysunków, o ile są do dyspozycji automatyczne stoły kreślarskie, sterowane komputerem.

6.4. Efektywność komputeryzacji projektowania

Komputeryzacja procesu projektowania musi być opłacalna i przeprowadzona w sposób optymalny z ekonomicznego punktu widzenia. Problem efektywności komputeryzacji projektowania oraz wybreru optymalnych, w warunkach danego użytkownika, strategii komputeryzacji jest w kraju zaniedbany. Do rzadkości należą nawet takie prace nad analizą potrzeb użytkowników i możliwe zakresu komputeryzacji, jakie pod kierownictwem autora przeprowadzone w "Emergoprojekcie" [14]. W wyniku tych prac powstała koncepcja stworzenia branżowych systemów komputerowych, zawierających ok. 25 programów w branży ciepło-mechanicznej i ok. 50 - w branży elektrycznej.

Prace te rozpoczęte z chwilą zainstalowania w "Emergoprojekcie" komputera Odra 1204, co zezwoliło na zajęcie się jedynie problemem jak najefektywniejszego wykorzystania go. W ogólnym przypadku, gdy sprzęt cyfrowy nie jest narzucany, należy zastanowić się nad wyborem najkorzystniejszego sprzętu cyfrowego. Ilustracją złożoności tego problemu i jego wagi mogą być wyniki badań przeprowadzonych w USA [48].

Na podstawie materiałów zebranych z 3000 biur projektowych przeprowadzone analizę kosztów realizacji 143 typowych czynności inżynierskich przy pomocy 7 różnych środków technicznych. Wnioski z tej analizy są następujące:

- usprawnienie pracy projektantów jest zawsze opłacalne, koszty sprzętu mają drugoplanowe znaczenie,
- największy wpływ na efektywność komputeryzacji ma czas oczekiwania projektanta na wyniki, czyli optymalne są konfiguracje sprzętu dające najkrótszy czas oczekiwania,
- podstawowy poziom automatyzacji, zaspakajający ok. 50% potrzeb, stanowić powinny stołowe kalkulatory programowane, w ilości 1szt./3 projektantów,
- dalszych 35% potrzeb zaspokajając powinna maszyna cyfrowa średniej klasa, pracująca w trybie wsadowym, lub mały system wielodostępny,
- jedynie 15% prac wymaga wykorzystania maszyny o dużych możliwościach obliczeniowych.

Powyższe wnioski dotyczą uprawdzie warunków amerykańskich, ale wiele przesłanek wskazuje na to, że wyniki badań krajowych dalyby zbliżone wyniki. Niestety braki sprzętowe uniemożliwiają realizację tych zaleceń; brak jest na rynku krajowym kalkulatorów programowanych, a pierwszy krajowy mały system komputerowy dla omawianych celów dopiero powstaje na bazie minikomputera MERA 400.

Jako kryterium efektywności komputeryzacji przjąć można wyższość średnich dyskontowanych rocznych efektów z komputeryzacji nad niezbędnymi nakładami:

$$[Z = \Delta K_b + \Delta K_j - J_k r_k - K_{ek}] > 0, \quad (6.1)$$

gdzie:

- Z - zysk roczny z komputeryzacji,
- ΔK_b - roczna oszczędność kosztów własnych (lub wzrost przerobu) biura wskutek komputeryzacji,
- ΔK_j - roczne oszczędności uzyskiwane z poprawy jakości rozwiązań projektowych,
- J_k - nakłady na zakup sprzętu, programowanie, przystosowanie pomieszczeń, itp.,
- r_k - rata rozszerzonej reprodukcji, zależna od przewidywanego okresu użytkowania systemu,
- K_{ek} - roczne koszty eksploatacji systemu komputerowego, obejmujące płace personelu informatycznego, materiałów, części zamiennych itp.

Określenie efektów komputeryzacji w jednostkach pieniężnych jest bardzo trudne, wymaga przeprowadzenia specjalnych badań dotyczących nie tylko biura projektowego lecz również nakładów inwestycyjnych i kosztów eksploatacji elektrowni. Dotychczas te rodzaje badań w kraju nie przeprowadzono, a w literaturze krajowej i zagranicznej oszczędności z wdrożenia programów komputerowych dla rozwiązywania zagadnień elektroenergetycznych szacuje się na 5 do 20% w kosztach branżowej części obiektu i 15 do 40% czasu projektantów.

Szacunkowe obliczenia wykazują dość dużą efektywność komputeryzacji projektowania. Na przykład dla $J_k = 10$ mln zł, $K_{ek} = 0,5$ mln zł/a, $r_k = 0,15$ warunek (6.1) będzie spełniony, gdy $\Delta K_b + \Delta K_j > 1,8$ mln zł/a. Przy pominięciu ΔK_j oraz przy założeniu, że z systemu korzystać będzie średnio 100 projektantów o rocznym przerobie 200 tys. zł/a każdy, powyższy warunek jest równowarty wymaganej oszczędności 10% czasu projektanta, co jest w pełni realne. Znacznie większą wagę mogą mieć jednak pominięte oszczędności ΔK_j wynikające z poprawy jakości rozwiązań projektowych. Na przykład zmniejszenie o 1% zużycia rocznego energii na potrzeby własne elektrowni o mocy 1000 MW dać może oszczędność rzędu 1 mln zł/a.

W praktyce komputeryzacja projektowania napotyka na szereg trudności natury sprzętowej, kadrowej, finansowej itp. Niezbędne prace studialne, projektowe i programowe wymagają odpowiednich funduszy, kadry i dość długie trwają, a ponadto wymagają ścisłej współpracy z projektantami, którzy początkowo z reguły dość niechętnie odnoszą się do prac nad sformalizowaniem ich działalności. Dlatego też prace nad budową systemu komputerowego wspomagania projektowania układu elektrycznego potrzeb własnych elektrowni posuwają się dość wolno i objęły dotychczas opracowanie i wdrożenie kilku programów [15, 16] zaspakających najpilniejsze potrzeby projektantów.

6.5. Kryteria podejmowania decyzji projektowych

Projektując elektrownie uwzględniać trzeba szereg różnorodnych aspektów dotyczących: warunków prawidłowego przebiegu procesu technologicznego, ekonomiki, cech technicznych (elastyczność, niezawodność), cech ergonomicznych (łatwość i bezpieczeństwo użytkowania i remontowania), ekologicznych itp. Dlatego też projektantem elektrowni

przydatne są wszystkie typy modeli matematycznych opisanych w p. 3 pracy, z tym że nie wszystkie muszą być wykorzystane do rozwiązywania każdego z zadań projektowych. Z reguły każde zadanie musi mieć swój model funkcjonalny, umożliwiający generowanie rozwiązań dopuszczalnych i możliwych (rys. 23). Jeżeli istnieje tylko jedno rozwiązanie spełniające kryteria techniczne (3.6 i 3.7) i możliwe do realizacji, to dalsze analizy ekonomiczne nie są potrzebne, a sprawdzić należy jedynie inne ograniczenia (3.12). Jednak w ogólnym przypadku, gdy istnieje możliwość wyboru większej liczby rozwiązań spełniających podstawowe wymagania techniczne, niezbędne są uzupełniające analizy ekonomiczne.

Dalsze rozważania dotyczą takich przypadków, z wykluczeniem sytuacji gdy któreś z rozwiązań cechują wyraźnie niższe koszty budowy i eksploatacji.

Porównując dwa rozwiązania dające różne wartości podstawowych wskaźników elektrowni jako funkcję celu można przyjąć różnicę średnich dyskontowanych rozszerzonych kosztów rocznych elektrowni (3.35):

$$\Delta K = K_2 - K_1 = K_{r2} - K_{r1} + \Delta K_d. \quad (6.2)$$

Uwzględniając w kosztach dodatkowych jedynie skutki w efektach produkcyjnych netto, wzór powyższy można rozpisać w postaci:

$$\Delta K = \Delta J(r+r_e) + k_{p2}A_2 - k_{p1}A_1 + k_s(\Delta A_{pw} - \Delta A), \quad (6.3)$$

gdzie:

$$\Delta J = J_2 - J_1; \quad \Delta A = A_2 - A_1; \quad \Delta A_{pw} = A_{pw2} - A_{pw1}, \quad (6.4)$$

k_s - jednostkowe koszty wytwarzania dla zastępczej elektrowni systemowej, pracującej w tej samej warstwie obciążeń SE co rozpatrywana elektrownia.

W najczęściej spotykanych w projektowaniu technicznym przypadkach zmiana rozwiązań nie pociąga za sobą zmian wszystkich podstawowych wskaźników elektrowni, a wówczas funkcję celu można sprowadzić do prostszych postaci. Najczęściej ma się do czynienia z przypadkami, gdy kosztem zmiany nakładów inwestycyjnych uzyskać można zmianę sprawności elektrowni, zużycia energii na potrzeby własne lub poprawę wskaźnika dyspozycyjności. W poszczególnych przypadkach warunek wyższości ekonomicznej rozwiązania 2 nad 1, czyli $\Delta K < 0$, można sprowadzić do następujących postaci.

Przypadek I: $A_1 = A_2; \quad \Delta A_{pw} = 0$

$$\Delta J < \theta_q \Delta q \quad (6.5)$$

θ_q - ekonomiczny równoważnik zmian jednostkowego zużycia energii

$$\theta_q = - \frac{k_{p1}A}{r} \quad (6.6)$$

Δq - względna zmiana jednostkowego zużycia energii

$$\Delta q = \frac{q_2 - q_1}{q_1} \quad (6.7)$$

Przypadek II: $q_1 = q_2, \quad A_1 = A_2$

$$\Delta J < \theta_{pw} \Delta p_s \quad (6.8)$$

θ_{pw} - ekonomiczny równoważnik zmiany zużycia energii na potrzeby własne

$$\Theta_{pw} = - \frac{k_s \cdot A_{pw}}{r} \quad (6.9)$$

$\frac{\Delta A}{A_{pw}}$ - względna zmiany zużycia energii na potrzeby własne

$$\frac{\Delta A}{A_{pw}} = \frac{A_{pw}^{2-A_{pw1}}}{A_{pw1}} \quad (6.10)$$

Przypadek III: $q_1 = q_2$, $\Delta A_{pw} = 0$

$$\Delta J < \Theta_A \cdot \frac{\Delta A}{A} \quad (6.11)$$

Θ_A - ekonomiczny równoważnik zmiany produkcji energii

$$\Theta_A = \frac{k_s - k_p}{r} \cdot A \quad (6.12)$$

$\frac{\Delta A}{A}$ - względna zmiana produkcji energii

$$\frac{\Delta A}{A} = \frac{A_2 - A_1}{A_1} \quad (6.13)$$

Przykłady liczbowe wykorzystania wprowadzonych równoważników

Dane ogólne:

$P = 1,0$ GW; $d = 0,8$; $C_p = 0,4$ zł/kg; $q = 2,8$ J/W·s; $z = 0,8$;
 $I = 10$ zł/W; $r = 0,1$; $\Theta_{pw} = 5\%$; $k_s = 350$ zł/MWh = $97,2 \cdot 10^{-2}$ zł/W·s

Obliczone wartości wielkości pomocniczych:

$k_p = 38,2 \cdot 10^{-9}$ zł/W·s; $A = 20,2$ PW·s;

$A_{pw} = 0,05$ A = $1,01$ PW·s;

$\Theta_q = -7,7 \cdot 10^9$ zł; $\Theta_{pw} = -981,7 \cdot 10^6$ zł; $\Theta_A = 11,9 \cdot 10^9$ zł.

Przykład I: Zbadać opłacalność wprowadzenia rozwiązania dającego poprawę q o 5% kosztem wzrostu I o 5%

$\Delta J = 0,5 \cdot 10^9$ zł; $\Theta_q \cdot \frac{\Delta q}{q} = 0,385 \cdot 10^9$ zł; $\Delta J > \Theta_q \cdot \frac{\Delta q}{q}$, czyli nieopłacalne.

Przykład II: Zbadać opłacalność zastosowania tyrystorowych układów regulacji silników potrzeb własnych kosztem 2 mln zł, dających oszczędność zużycia energii na potrzeby własne o 1%.

$\frac{\Delta A}{A_{pw}} = -0,01$; $\frac{\Delta A}{A} \cdot \Theta_{pw} = 9,82 \cdot 10^6$ zł;

$\Delta J < \Theta_{pw} \cdot \frac{\Delta A}{A_{pw}}$, czyli opłacalne.

Przykład III: Obliczyć o ile opłaca się zwiększyć nakłady inwestycyjne na poprawę wskaźnika dyspozycyjności elektrowni o 5%

$\frac{\Delta A}{A} = 0,05$; $\Theta_A \cdot \frac{\Delta A}{A} = 595 \cdot 10^6$ zł;

$\Delta J < 595 \cdot 10^6$ zł

Z powyższych rozważań wynika, że gdy dla projektowanej elektrowni określi się wartości wprowadzonych równoważników, projektanci różnych branż mogą rozwiązywać szereg problemów cząstkowych w oparciu o bardziej proste kryteria. W systemie komputerowym wartości równoważników dla każdej projektowanej elektrowni powinny być wprowadzane do bazy danych.

W podobny sposób rozwiązują problemy cząstkowe projektanci niektórych firm zachodnich [49], wykorzystując jednak inaczej zdefiniowane równoważniki.

6.6. Elementy niedeterministyczne przy podejmowaniu decyzji projektowych

Wobec dużej pracochłonności prac nad sporządzaniem dokumentacji inwestycyjnej celowość jej zwiększenia przez uwzględnianie niedeterministycznych warunków podejmowania decyzji wymaga szczególnie wnikliwego rozważania. Decydującą rolę odgrywają przy tym następujące aspekty:

- I - możliwe odstępstwa pomiędzy warunkami zakładanymi przy projektowaniu i rzeczywistymi w trakcie realizacji projektu,
- II - skutki gospodarcze błędów w ocenie przyszłych warunków budowy i eksploatacji elektrowni,
- III - wzrost pracochłonności procesu projektowania.

Projekty elektrowni opracowuje się wprawdzie kilka lat przed ich budową, ale wiele lat przed zasadniczym okresem ich eksploatacji. Dlatego należy oczekiwać, że z dużą większą niepewnością mogą być określone przyszłe warunki pracy elektrowni (C_p, z) niż warunki jej budowy (np. ceny materiałów i urządzeń). Pomimo że projektanci opierają się już w tej fazie projektowania na cennikach i danych wytwórców, trudno jednak traktować te dane jako całkowicie pewne nawet w perspektywie kilku lat. Również obliczeniowe wskaźniki eksploatacyjne bloków (d, q) z reguły realizowane są z określonym przybliżeniem, powinny więc być podawane przez wytwórców z tzw. tolerancją. Dlatego też wyniki obliczeń wszelkich wskaźników projektowanej elektrowni powinny być podawane wraz z tolerancją, określaną zgodnie z prawem rozprzestrzeniania się błędów.

Szacunkowe obliczenia wykazały, że tolerancja określenia jednostkowych kosztów wytwarzania wynosi ponad 1%, a największy wpływ mają błędy określenia wskaźników wpływających na produkcję energii (d, z). Zmiana wartości tych wskaźników o 1% daje zmianę kosztów jednostkowych elektrowni rzędu 0,6%, a jednostkowych kosztów rozszerzonych o 1,6%.

W drugiej kolejności wpływają na k_r zmiany nakładów inwestycyjnych i składników kosztów zmiennych (C_p, q), których zmiana o 1% daje zmianę k_r rzędu 0,4%. Analogiczne zmiany stopy procentowej i okresu amortyzacji dają zmianę k_r o 0,27 i 0,13%.

Fluktuacje danych wejściowych do obliczeń i wynikowych wskaźników projektowanej elektrowni nie mają jednak na ogół poważniejszych skutków gospodarczych, gdyż wpływają w analogiczny sposób na ocenę wszystkich porównywanych wariantów, co nie zmienia rozwiązania optymalnego. Jednak ta tzw. stabilność ekonomiczna rozwiązań powinna być dla najważniejszych zadań projektowych potwierdzana analitycznie przy pomocy błędu rozwiązania zadania (3.32).

Wzrost pracochłonności prac projektowych w przypadku niedeterministycznego podejścia do analiz ekonomicznych jest tak duży, nawet przy zastosowaniu uproszczonej meto-

dyki zaproponowanej w p.4.4, że jest to możliwe do praktycznego wdrożenia jedynie przy wykorzystaniu maszyn cyfrowych. Przy sporządzaniu oprogramowania dla rozwiązywania poszczególnych zadań projektowych celowość i zakres uwzględniania elementów niedeterministycznych powinny być badane indywidualnie.

7. ZAKOŃCZENIE

Wypełniając wyraźną lukę w literaturze przedmiotu praca nie naświetla wyczerpująco całokształtu obszernej i złożonej problematyki. Niezbędne jest podjęcie i rozwiązanie, głównie przez projektantów SE, elektrowni i urządzeń energetycznych, szeregu dalszych problemów szczegółowych, celem stworzenia w przyszłości zintegrowanego komputerowego systemu wspomagania projektowania elektrowni, zapewniającego optymalny rozwój systemu elektroenergetycznego.

LITERATURA

- [1] ANDRUSZAKIŁKO A.I., ZMACZINSKIJ A.W., PONJATOW W.A.: Optimizacija 'iepiowych cikłow i processow TES. Wysszaja Szkoła, Moskwa 1974.
- [2] ANDRZEJEWSKI St.: Podstawy projektowania siłowni cieplnych, WNT, Warszawa 1972.
- [3] AWDZIEJCZYK H.: Problemy automatyzacji projektowania. Stosowanie ETO w projektowaniu. Biuletyn Techniczny Energoprojektu. Elektrownie i Elektrociepłownie, nr 4/1972 i 1-4/1975.
- [4] BEGER W., KLOEPPIL F.W.: Die Rolle von Technologie und Projektierung bei der Rationalisierung von Produktionsprozessen in Elektroanlagenbau. Energietechnik 12/1974.
- [5] BIELIAJEW L.S. (red.): Matematičeskie modeli dlja analiza i ekonomičeskoj ocenki variantów razwitia elektroenergēticheskich sistem. SEISOAN SSSR Irkuck 1974.
- [6] BIELIAJEW L.S., ZEJLIGERA N. (redaktorzy): Woprosy postrojenija awtomatizirovannyh sistem uprawlenija razwitiem elektroenergēticheskich sistem. SEI SOAN SSSR Irkuck, wyd. I-1973, wyd., II-1975.
- [7] BIELIAJEW L.S. (red.): Faktor nieopredelonnosti pri prinjatii optimalnyh reszenij w bolszych sistemach energetiki, SEI SOAN SSSR, Irkuck 1974, tom 1.
- [8] BOJARSKI W.: Kryteria oceny ekonomičnej programów rozbudowy systemu krajowego oraz układów sieciowych. Archiwum Energetyki PAN, nr 2/1972.
- [9] BOJARSKI W.: Skomputeryzowana procesura informatyczno-optymalizacyjna średnio - terminowego planowania budowy elektrowni cieplnych. Archiwum Energetyki PAN, nr 4/1975.
- [10] BOJARSKI W., BOJARSKI N.: Podstawy metodyczne oceny efektywności społeczno-gospodarczej rozwiązań energetycznych. Komitet Problemów Energetyki PAN, Warszawa, cz. I-1975 r., cz. II-1976.
- [11] BOJARSKI W.: Problemy optymalizacji struktury mocy wytwórczych w krajowym systemie elektroenergetycznym. Archiwum Energetyki PAN, nr 1/1976.
- [12] MĄBIŃSKI Cz., WOLPE M.: Automatyzacja projektowania. Arkady, 1976.
- [13] MĄBIŃSKI Cz.: Elementy nauki o projektowaniu, WNT, Warszawa 1969.
- [14] DELAWSKI A., JANICZEK R., MATCZEWSKI A., MAZUR Cz.: Prace nad komputerowymi systemami projektowania układu cieplnego i elektrycznego elektrowni. Materiały II Sympozjum Zastosowań Informatyki w Energetyce, NOT, Poznań 1975.
- [15] DELAWSKI A., JANICZEK R., MAZUR Cz.: Komputerowe systemy projektowania układów technologicznych elektrowni. Prace Instytutu Elektroenergetyki i Sterowania Układów Politechniki Śląskiej, Gliwice kwiecień 1976.
- [16] DELAWSKI A., JANICZEK R., BARTODZIEJ G.: Einsatz von Computern bei der Projektierung elektrischen Einrichtungen in Energieerzeugungs und Verteilanlagen, Energietechnik, Heft 10/1976.
- [17] DRUŽININ W.W., KANTOROW D.S.: Problemy sistiemologii. Sowietskoje radio. Moskwa 1976.

- [18] FINDEISEN W., SZYMANOWSKI J., WIENZBICKI A.: Teoria i metody obliczeniowe optymalizacji, PWN, Warszawa 1977.
- [19] GÓRA St.: Modele matematyczne planowania elektrowni w systemie elektroenergetycznym. Prace Komisji Elektrotechniki Poznańskiego Towarzystwa Przyjaciół Nauk, t.I, zeszyt 1, Poznań 1970.
- [20] GUK J.B., OKOROW W.R. i in.: Mnogocelewaja optimalizacija struktury elektriczeskich sistem. Elektriczeskije stanciji 3/1973, Izwiestija AN SSSR, Energietika i Transport 1/1973.
- [21] JANICZEK R.: Ekonomiczne aspekty pracy szczytowej konwencjonalnych elektrowni parowych. Praca doktorska, Katedra Elektrowni - ZEOPd, Katowice 1968.
- [22] JANICZEK R.: Optimization of annual maintenance schedules for Power Generating Units in a National Power System. Materiały Sympozjum Europejskiej Komisji Gospodarczej ONZ, Warna, maj 1970.
- [23] JANICZEK R.: Koszt wytwarzania energii elektrycznej w elektrowni parowej w ujęciu niedeterministycznym. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Elektryka nr 35 1972.
- [24] JANICZEK R.: Interrelation between the Equipment of Steam Power Station, its role in Power Supply System and its location. Materiały Konferencji EKG ONZ, Sztokholm, wrzesień 1972.
- [25] JANICZEK R.: Wpływ bazy paliwowej na rozwój elektrowni w krajowym systemie elektroenergetycznym. Materiały Sympozjum Komitetu Energetyki PAN, Jablonna, grudzień 1972.
- [26] JANICZEK R.: Wpływ lokalizacji elektrowni parowej na jej zadania produkcyjne oraz na dobór parametrów i wyposażenia. Archiwum Energetyki PAN, nr 3/4 1972.
- [27] JANICZEK R.: O wielocelowej optymalizacji struktury mocy systemu elektroenergetycznego. Materiały I Międzynarodowego Sympozjum "Nowe kierunki optymalizacji w energetyce", Politechnika Poznańska, PAN, Poznań 1975.
- [28] JANICZEK R.: "Zbiór modeli matematycznych w komputeryzacji projektowania złożonych procesów produkcyjnych. Materiały I Konferencji "Metody i środki projektowania automatycznego", Politechnika warszawska, listopad 1977.
- [29] JANICZEK R.: Analiza kryteriów optymalizacji rozwiązań projektowych z zakresu gospodarki energetycznej. Gospodarka Paliwami i Energią 6/1977.
- [30] JANICZEK R.: Analiza stosowanej w ZSRR metodyki kompleksowej optymalizacji układów cieplnych (praca przekazana Ossolineum do powielenia).
- [31] JANICZEK R.: Zadania optymalizacji wyposażenia elektrowni w procesie inwestycyjnym systemu elektroenergetycznego. Prace Naukowe Instytutu Energoelektryki Politechniki Wrocławskiej, seria "Konferencje" nr 12/1978.
- [32] KACPRZYŃSKI B.: Planowanie eksperymentów - Podstawy matematyczne. WNT, Warszawa 1974.
- [33] KOPECKI K.: Ogólne założenia i metodyka rachunku gospodarczego w pracach planowo-projektowych w elektroenergetyce. Materiały i studia Komitetu Elektryfikacji Polski PAN, T.V., PWN, Warszawa 1960.
- [34] KOPECKI K.: Optymalne planowanie rozwoju systemu elektroenergetycznego. Zeszyty Naukowe Politechniki Gdańskiej "Elektryka" nr 135/1970.
- [35] KOPECKI K.: Wybór optymalnego rozwiązania a zagadnienie tzw. wielokryterialności na przykładzie kompleksowej gospodarki paliwowo-energetycznej. Archiwum Energetyki PAN 4/1976.

- [36] KWIATKOWSKI S.: Problemy programowania rozwoju systemu elektroenergetycznego. Archiwum Energetyki PAN, nr 2/1972.
- [37] LANGE O.: Optymalne decyzje. Zasady programowania, PAN, Warszawa 1967.
- [38] LEWENTAL G.B., POPYRIN L.S.: Primenienije matematičeskiwo modelirowanija pri wyborie parametrow tieploenergeticzeskich ustanowok, Nauka, Moskwa 1966.
- [39] LEWENTAL G.B., POPYRIN L.S.: Optimalizacija tieploenergeticzeskich ustanowok. Energija, Moskwa 1970.
- [40] LEWENTAL G.B., POPYRIN L.S. (redaktorzy): Metody matematičeskiego modelirowanija i optimizacji tieploenergeticzeskich ustanowok. Nauka, Moskwa 1972.
- [41] LUCE R.D., RAIFFA H.: Gry i decyzje. PWN, Warszawa 1964.
- [42] MALKO J.: Planowanie systemów elektroenergetycznych. PWN, Wrocław 1976.
- [43] MAKAROW A.A., MIELENTIEW L.A.: Metody issledowanija i optimizacji energetičeskiego chozjajstwa. Nauka, Nowosybirsk 1973.
- [44] MASSÉ P.: Le choix des investissements. Dunod Paris 1968.
- [45] MIELENTIEW L.A.: Optymalizacja rozwoju i sterowania dużymi systemami energetyki. Ossolineum, Wrocław 1975.
- [46] MIELENTIEW L.A., BIELIAJEW L.S. (redaktorzy): Optimizacija i uprawlenie w bolszich sistemach energetyki. Tom I i II, SEI AN SSSR, Irkuck 1970.
- [47] MIELENTIEW L.A., WIENIKOW W.A. (redaktorzy): Kibernetika i modelirowanie w energetike. Nauka, Moskwa 1972.
- [48] MILLER R.E., Mc CASLIN J.: Cost-effective matching of task and computing device. Journal of the Structural Division ASCE, vol. 97, N^o ST1, I 1971.
- [49] OPLATKA G.: Parity Factors for Comparing the Economics of projected Power Station. Combustion, III 1974.
- [50] POPYRIN L.S. (red.): Kompleksnaja optimizacija tieplošilowych sistem. Nauka, Nowosybirsk 1976.
- [51] SADOWSKI W.: Teoria podejmowania decyzji. PWE, Warszawa 1975.
- [52] Zbiór przepisów: Ocena ekonomicznej efektywności inwestycji i innych zamierzeń rozwojowych. PWE, Warszawa 1975.
- [53] Praca zbiorowa: Badania systemowe w gospodarce paliwowo-energetycznej. Ossolineum, 1977.
- [54] Praca zbiorowa: Podstawy teoretyczne metod obliczeniowych optimizacji. Instytut Automatyki Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1976.
- [55] Zbiór referatów z konferencji pt. "Metody i środki projektowania automatycznego" Prace Instytutu Podstaw Budowy Maszyn Politechniki Warszawskiej, listopad 1977.
- [56] Zbiór referatów z konferencji pt. "Wspomaganie projektowania technicznego". Prace Naukowe Instytutu Cybernetyki Technicznej Politechniki Wrocławskiej, nr 48/1977.

ZASADY PLANOWANIA I PROJEKTOWANIA ELEKTROWNI
PARCOWYCH W UJĘCIU SYSTEMOWYM

S t r e s z c z e n i e

W pracy podjęto próbę uogólnienia i usystematyzowania metodyki podejmowania decyzji w procesie projektowania elektrowni parowych. Zastosowano systemowe podejście do rozwiązywania problemów decyzyjnych, zwracając szczególną uwagę na taki podział zadań wśród uczestników procesu projektowania elektrowni, który zapewniłby optimum globalne rozwoju systemu elektroenergetycznego. Założono racjonalne wykorzystanie nowoczesnych metod i środków projektowania, a więc modeli matematycznych i maszyn cyfrowych. Szerzej omówiono metodykę rozwiązywania najważniejszych problemów w ramach studiów przedprojektowych. W rozważaniach uwzględniono również niedeterministyczne warunki podejmowania decyzji w planowaniu i projektowaniu elektrowni.

ОСНОВЫ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА К ПЛАНИРОВАНИЮ И ПРОЕКТИРОВАНИЮ ПАРОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Р е з ю м е

Автор пытается обобщить и упорядочить методику принятия решения при проектировании парозлектростанции. Применяется системный подход для решения основных вопросов, особое внимание обращается на такое распределение задач, среди участников процесса проектирования электростанции, какое обеспечило бы оптимальное валовое развитие электроэнергетической системы.

Учитывая рациональное использование современных методов и средств проектирования, т.е. математических моделей и вычислительных машин. Шире обсуждается методика решения важнейших вопросов в рамках допроектных исследований.

В рассуждениях учитываются недетерминистические условия принятия решений при планировании и проектировании электростанции.

A SYSTEMS APPROACH TO PLANNING AND
DESIGNING STEAM POWER PLANTS

S u m m a r y

The paper is an attempt to generalize and systemize the methodology of taking up decisions in the process of designing steam power plants. The method of systematic treatment of solving decision problems has been applied.

Special attention has been given to a certain distribution task among the designers involved in the project, thus ensuring the optimal global development of power supply system.

The rational use of modern methods and designing means have been given preference, hence the mathematical models and digital computers. The methodology of solving the most important problems within the undergraduate training scheme have been widely discussed.

Undetermined conditions of decision taking in planning and designing the power plants have been also considered.

BIBLIOTEKA GŁÓWNA
Politechniki Śląskiej

P 3347 / 78 / 63

WYDAWNICTWA NAUKOWE I DYDAKTYCZNE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ MOŻNA NABYĆ W NASTĘPUJĄCYCH PLACÓWKACH:

Gliwice — Księgarnia Techniczna, ul. Konstytucji 14b;

Gliwice — Punkt sprzedaży Studenckiej Spółdzielni Pracy, ul. Wrocławska 4/6;

Katowice — Księgarnia nr 004, ul. Warszawska 11;

Katowice — Księgarnia nr 015, ul. Żwirki i Wigury 33;

Chorzów — Księgarnia nr 063, ul. Wolności 22;

Dąbrowa Górnicza — Księgarnia nr 081, ul. ZBoWiD-u 2;

Rybnik — Księgarnia nr 126, Rynek 1;

Warszawa — Ośrodek Rozpowszechniania Wydawnictw PAN, Pałac Kultury i Nauki.

Wszystkie wydawnictwa naukowe i dydaktyczne zamawiać można poprzez Składnicę Księgarską w Warszawie, ul. Mazowiecka 9.