ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1996
Seria: ELEKTRYKA z. 153 Nr kol. 1325

Witold KADUK

PROCES PROGRAMOWANIA ROZWOJU SEE - KRÓTKA CHARAKTERYSTYKA ORAZ PRZEGLĄD UŻYWANYCH NARZĘDZI

Streszczenie. Niniejszy artykuł pokrótce opisuje stan rynku narzędzi komputerowych wspomagających proces programowania rozwoju systemu elektroenergetycznego (SEE). Opis ten jest poprzedzony krótką charakterystyką specyfiki procesu i występujących w nim trudności. Główny nacisk położono na wskazanie różnic w przeznaczeniu i specyfice poszczególnych narzędzi (skupiając się na tych narzędziach, które nie są jeszcze szeroko znane w Polsce).

PLANNING IN POWER SYSTEM - SHORT CHARACTERISTIC AND SURVEY OF TOOLS

Summary. The aim of this article is to give a state-of-the-art survey of tools for planning purposes in energy sector. The specific background of the power system planning is shortly described. The most widely used programmes are mentioned only - main stress is laid on new developed or still unknown in Poland programmes. Emphasis is put also on some detailed differences and attributes especially interesting in the present set of tools. The place of the planning tools (optimization and simulation programmes) in computer systems i generally mentioned.

UŻYWANE SKRÓTY I PODSTAWOWE DEFINICJE

Krajowy system elektroenergetyczny - KSE

Programowanie rozwoju KSE - wyznaczanie za pomocą metod programowania matematycznego względnie optymalnej strategii rozwoju KSE w długim horyzoncie czasu. Wyniki programowania nie stanowią gotowego planu inwestycyjnego, pełnią jednak rolę strategicznych wskazówek dla instytucji odpowiedzialnych za kształtowanie polityki energetycznej państwa, jej realizację i kontrolę oraz dla wszystkich podmiotów na rynku energii.

Scenariusz - zbiór (zestaw) wartości tych parametrów procesu programowania rozwoju, których przyszły stan obarczony jest niepewnością, założony przy uwzględnieniu zmienności czynników zewnętrznych.

Strategia - zbiór opcji o strategicznym znaczeniu dla przyszłego rozwoju systemu będącego podmiotem procesu programowania rozwoju, traktowanych jako pewniki w rozpatrywanym przedziale czasu (np. "energetyka nuklearna nie będzie rozwijana w Polsce", "do roku 2020 należy ograniczyć emisję CO_2 o 25%").

System informatyczny - zbiór procedur organizacyjnych, sprzętu komputerowego, infrastruktury sieciowej i telekomunikacyjnej wraz z ich oprogramowaniem oraz specjalizowanego oprogramowania, powiązanych wzajemnie i współdziałających w gromadzeniu, przesyłaniu i informacji dla osiągnięcia zamierzonych celów (np. wzrost efektywności procesu programowania rozwoju KSE mierzony skróceniem czasu wypracowywania prognozy).

Narzędzia optymalizacyjne - pozwalają określić minimum lub maksimum funkcji celu, przez co możliwe jest wskazanie zestawu optymalnych wartości zmiennych decyzyjnych dla określonego scenariusza i zbioru ograniczeń.

Narzędzia symulacyjne - na podstawie przyjętego modelu systemu symulują przyszły stan lub przyszłe zachowanie systemu dla założonych warunków jego rozwoju i zestawu ograniczeń; dla zadanego scenariusza i strategii określają wartości zmiennych.

1. KRÓTKA CHARAKTERYSTYKA PROCESU PROGRAMOWANIA ROZWOJU SYSTEMU ELEKTROENERGETYCZNEGO

Zmienność warunków zewnętrznych (ekonomicznych, ekologicznych, politycznych i społecznych - szczególnie w fazie transformacji gospodarczej) i duży stopień niepewności prognoz czynią podjęcie optymalnych decyzji co do kierunków rozwoju SEE sprawą wyjątkowo trudną.

Proces programowania rozwoju SEE jest wieloetapowym, skomplikowanym procesem decyzyjnym, wymagającym uwzględniania dużej ilości informacji. Jest też procesem ciągłym, gdyż zmiany zapotrzebowania mocy w KSE mają charakter dynamiczny. Szczególnie w gospodarce rynkowej, przy ciągle zmieniającym się otoczeniu gospodarczo-ekonomicznym, występuje potrzeba cyklicznego ponawiania i aktualizowania prognoz oraz programu rozwoju SEE. Nie można też zapominać o szybkim postępie technicznym i ciągłym rozwoju nowych technologii w sektorze energetycznym, rozszerzającym paletę możliwości decydentów. W przypadku naszego kraju, będącego w trakcie transformacji systemowej, należy brać pod uwagę również trwający proces zmiany przepisów prawa i przyszłą integrację ze strukturami europejskimi.

Wielkość kapitału angażowanego w przedsięwzięcia rozwojowe w SEE, a także wieloletni wpływ przyjętych rozwiązań na całą gospodarkę narodową zmuszają do przeprowa-

dzania szczególnie wnikliwych analiz ekonomicznych i technicznych, ale również ekonomicznych, a nawet społecznych. Zmiany w SEE wpływają bowiem poprzez wielorakie czynniki na rozwój innych gałęzi gospodarki, a tym samym w mniej lub bardziej bezpośredni sposób na poziom i jakość życia ludności.

Proces programowania rozwoju SEE zawiera w sobie cechę nieokreśloności. Przy dość długim horyzoncie czasowym planowania (ok. 20-30 lat) znaczna część danych wejściowych pochodzi z długoterminowych prognoz i przewidywań, co powoduje obarczenie wyników sporą dozą niejednoznaczności. Oprócz niemożności jednoznacznego określenia przyszłego otoczenia SEE oraz jego warunków rozwoju i pracy czynnik niepewności jest dodatkowo zwiększany przez trudności z pełną identyfikacją przeszłych i obecnego stanu systemu. Ponadto model optymalizowanego systemu zazwyczaj jest tak skomplikowany, że wykonanie niezbędnych obliczeń jest możliwe jedynie pod warunkiem przyjęcia szeregu założeń upraszczających.

Proces zintegrowanego (tj. uwzględniającego opcje popytowe na równi z podażowymi) programowania rozwoju SEE posiada swoją specyfikę - konieczne jest uwzględnienie w nim kilku charakterystycznych cech systemu i przebiegających w nim procesów:

- ekonomiczny rozdział produkcji pomiędzy poszczególne elektrownie,
- proces modernizacji odtworzeniowych i ekologicznych,
- proces wycofywania jednostek z eksploatacji,
- możliwość wprowadzania w przyszłości nowych technologii wytwarzania energii,
- możliwość sterowania popytem (DSM),
- proces decentralizacji systemu,
- konieczność uwzględniania lokalnych ograniczeń ekologicznych,
- konieczność uwzględniania dyspozycyjności elektrowni, gospodarki remontowej,
- możliwość stosowania interwencyjnych zakupów energii z zewnątrz.

Każda z wymienionych cech stwarza możliwość wyboru jednej z kilku opcji, potęgując tym samym wielokrotnie złożoność zadania. Te komplikacje wynikające ze specyfiki SEE nakładają się na typową dla gospodarki rynkowej niepewność (szczególnie dużą w czasie transformacji gospodarczej). Dopiero po uwzględnieniu wszystkich czynników (łącznie z wymienionymi poniżej) można uzyskać obraz trudności stających przed osobami próbującymi wypracować strategię rozwoju SEE:

- zależność popytu na energię elektryczną od koniunktury gospodarczej w kraju i na świecie, poziomu cen itp.,
- długi czas trwania i bardzo duża kapitałochłonność procesów inwestycyjnych w podsektorze wytwórczym,
- zmienność cen paliw i konieczność uwzględniania ich dostępności w dłuższym okresie czasu,
- zmienność ekonomicznego otoczenia inwestycji - stopy procentowe, system podatkowy,
- nakładający się w czasie proces wypracowywania systemu taryf w energetyce.

Programowanie rozwoju KSE jest procesem ciągłym, rozłożonym na wiele lat. Ciągłe zmiany warunków na rynku energii i jego otoczeniu, możliwość praktycznej weryfikacji wcześniejszych wyników i podjętych na ich podstawie decyzji oraz pojawienie się nowych, nie uwzględnianych wcześniej opcji powodują, że co pewien czas (w praktyce co rok) należy ponowić obliczenia (tzw. *pętla programistyczna*). W każdej kolejnej pętli część danych wejściowych stanowią wyniki poprzedniego cyklu.

Na ostatnim etapie programowania rozwoju, czyli w trakcie procesu decyzyjnego, pojawia się problem wielokryterialności (*multicriterial decision under uncertainity*). Zbiór rozwiązań możliwych, spełniających założone wymagania przy wielu kryteriach podejmowanej decyzji (a z takim przypadkiem mamy prawie zawsze do czynienia) nie poddaje się automatycznej optymalizacji - chyba że decydent jest w stanie jednoznacznie uszeregować wszystkie kryteria według z góry założonej hierarchii ważności. Najczęściej jednak to przed decydentem staje zadanie elastycznego określenia priorytetów i dokonania wyboru jednego z kilku "suboptymalnych" wariantów. Tego etapu nie można standardowo zalgorytmizować, podstawowe znaczenie ma tutaj wiedza, doświadczenie i intuicja decydenta. Gdyby myśleć o próbie wprowadzenia komputerów do procesu decyzyjnego, bardziej odpowiednie wydają się być w tym przypadku techniki "sztucznej inteligencji" (*AI - Artificial Intelligence*), np. systemy ekspertowe - bazujące na odwzorowanej w pamięci komputera wiedzy ekspertów z danej dziedziny.

2. NARZĘDZIA KOMPUTEROWE W PROCESIE PROGRAMOWANIA ROZWOJU SEE - KRÓTKI PRZEGLĄD

Procesy prognozowania i programowania rozwoju systemu ze względu na stopień ich złożoności i komplikacji są wspomagane przez zastosowanie różnorodnych technik i narzędzi komputerowych, często ujętych w ramy specjalistycznego systemu informatycznego. Pomimo wykorzystywania od wielu już lat komputerowych programów (pakietów komputerowych) optymalizacyjnych i symulacyjnych (których najbardziej znanymi przykładami są: *WASP, EFOM, MARKAL, PC-VALORAGUA, IPM*) proces prognozowania lub planowania rozwoju złożonych systemów jest wciąż praco- i czasochłonny oraz wymaga sporego doświadczenia od osób tworzących dane, na podstawie których podejmowane są późniejsze decyzje. Nie należy spodziewać się jednak możliwości całkowitego zautomatyzowania procesu decyzyjnego przy wykorzystaniu komputera. Wymienione pakiety generują zestawy danych będących podstawą do podjęcia decyzji i im zadanie bardziej złożone, tym więcej zestawów takich danych i tym trudniej o dokonanie optymalnego wyboru.

Każdy z istniejących na rynku pakietów posiada określony zakres zastosowań - złożoność tematu powoduje, że nie istnieje narzędzie uniwersalne. Zależnie od specyfiki procesu planowania użyte powinno być to narzędzie, które w zadanym przypadku w najpełniejszy sposób realizuje oczekiwania użytkownika. Wynika stąd, że nie zawsze wystarczy posiadać jeden optymizator (a co za tym idzie - wiedzę pozwalającą na jego wykorzystanie). Przykładowo, w pakiecie *WASP* nie ma możliwości uwzględnienia zasobników energii w strukturze SEE, natomiast *PC-VALORAGUA*, będący wersją rozwojową *WASP*, kosztem ograniczenia pewnych opcji rozszerza pakiet o możliwości wprowadzenia hydrotermalnych źródeł energii, elektrowni wodnych i szczytowo-pompowych. Z tego powodu *PC-VALORAGUA* jest szczególnie często wykorzystywany w regionach o dużym znaczeniu energii wodnej (podstawowe narzędzie w krajach Ameryki Południowej i Środkowej).

Częstokroć w ostatniej fazie procesu programowania rozwoju do porównywania wyników różnych scenariuszy obliczeń bądź do wykonywania pomocniczych obliczeń wykorzystuje się któryś z popularnych arkuszy kalkulacyjnych - *Microsoft Excel, Lotus 1-2-3* lub *Quatro Pro*.

Szczególnie wówczas, oprócz identyfikacji specyfiki procesu planowania, przed wyborem konkretnego narzędzia należy ocenić również obszerność zadania (w sensie ilości danych). Ograniczenia rozmiaru zadania dotyczą także specjalistycznych pakietów optymizacyjnych, gdyż większość z nich posiada kilka wersji przeznaczonych na różne platformy sprzętowo-programowe (odmiany *UNIX*-a, *PC* itp.). Wersje te różnią się wymaganiami sprzętowymi z jednej strony, z drugiej zaś wydajnością i wielkością modeli, które mogą być poddawane optymalizacji (symulacji).

Waga decyzji podejmowanych na podstawie wyników pracy tych programów powoduje, że nastawienie użytkowników jest bardzo konserwatywne. Dopiero wielokrotnie sprawdzone i rozwijane przez lata narzędzia optymalizacyjne/symulacyjne zyskują sobie zaufanie i są wykorzystywane do rozwiązywania zadań o dużej wadze. Jeden z najpopularniejszych obecnie pakietów dla sektora energetycznego - *WASP* - powstał w 1965 roku, a jest jeszcze wciąż rozwijany. Te "zaszłości historyczne" powodują, że można łatwo odnaleźć kilka charakterystycznych, wspólnych cech tych narzędzi:

- rdzeń pakietu, czyli moduł optymalizatora, najczęściej napisany jest w Fortranie - języku programowania mającym długą historię, dobrze nadającym się do skomplikowanych zastosowań numerycznych, a przy tym posiadającym kompilatory cieszące się opinią pewnych i niezawodnych (tworzących bezbłędny kod maszynowy),
- pakiety działają w trybie wsadowym, gdzie zarówno dane wejściowe, wyniki kolejnych iteracji, jak i dane wynikowe sformatowane są w postaci tablic—plików tekstowych, niezależnie od tego czy pakiet posiada własną bazę danych, czy też korzysta z zewnętrznej,
- moduł optymalizatora z biegiem lat obudowywany był różnymi warstwami komunikacyjnymi (*user's interface*) ułatwiającymi posługiwanie się pakietem.

Najnowsze pakiety programów wspomagających procesy planowania rozwoju sektora energetycznego (takie jak *SAFIRE*, *Environmental Manual*, *MESAP III*, czy *DECADES*) projektowane są z uwzględnieniem łatwości obsługi, właściwej organizacji procesu planowania oraz ułatwionego dostępu do danych (własne bazy danych, często wstępnie wypełnione bogatymi zestawami danych przez producenta). Jednak i w ich przypadku nie można mówić o ich uniwersalności, wręcz przeciwnie - w wielu z nich można zaobserwować tendencję do specjalizacji i zawężania obszaru zastosowań. *Environmental Manual* na przykład jest narzędziem raczej analitycznym niż optymalizacyjnym, tworzącym wariantowe prognozy wpływu rozwoju sektora energetycznego na środowisko naturalne (emisje zanieczyszczeń).

SAFIRE, opierający się na systemie baz danych *FoxPro* firmy *Microsoft Corp.*, jest ukierunkowany na badanie wprowadzenia do SEE (i gospodarki w ogólności) nowych i odnawialnych źródeł energii. *SAFIRE* projektowany był specjalnie dla państw – członków Unii Europejskiej. Jego dużą zaletą jest dostarczana wraz z pakietem olbrzymia baza danych zawierająca dane o systemach energetycznych wszystkich 15 państw członkowskich Unii. Operując zestawem wielkości wejściowych (prognoza zapotrzebowania na energię, struktura cen, dostępność zasobów energii pierwotnej, dane techniczne oraz techniczne i ekonomiczne potencjały danego rynku) przy użyciu *SAFIRE* można w prosty sposób stworzyć (w horyzoncie czasowym od roku 1990 do roku 2020) prognozę wpływu zastosowania nowych technologii w energetyce na takie parametry gospodarcze, jak:

- zmiany nasycenia rynku,
- wpływ nowych technologii na rynek pracy,
- zmiany wielkości szkodliwych emisji,
- niezmienne wydatki budżetowe/rządowe,
- dodatkowe koszty.

Jednak mimo wszytkich zalet, takich jak względna prostota obsługi, silniejsza kontrola nad przebiegiem procesu i dobrze zorganizowane bazy danych, musi minąć jeszcze pewien czas, zanim te narzędzia osiągną stadium dojrzałości i zaufanie użytkowników.

Znaczącą rolę w kraju zaczyna odgrywać sprawdzony pakiet symulacyjny *IPM* amerykańskiej firmy *ICF Resources Inc.*, wybrany przez Dyrekcję Programowania Rozwoju PSE SA. Stanowić on będzie centralne narzędzie realizujące obliczenia w ramach tzw. *zintegrowanego programowania rozwoju*. Pakiet *IPM* należy do grupy pakietów wyspecjalizowanych - jest stworzony z myślą o optymalizacji strategii rozwoju źródeł i pozwala na bardzo szczegółową reprezentację systemu oraz uwzględnienie szeregu ograniczeń rozwojowych. Jego dużą zaletą jest możliwość reprezentowania zasobników energii w strukturze SEE - istnieje możliwość uwzględniania pracy np. elektrowni szczytowo-pompowych. Danymi wejściowymi do programu *IPM* są:

- prognozy zapotrzebowania na energię dla kolejnych lat obliczeniowych (w formie uporządkowanych wykresów obciążeń),

- prognozy cen paliw oraz zewnętrznych cen zakupu i sprzedaży energii,
- wskaźniki techniczno-ekonomiczne istniejącej i projektowanej bazy wytwórczej wraz z planami modernizacji i odstawień poszczególnych jednostek,
- charakterystyki opcji popytowych (DSM),
- dane o źródłach nie podlegających regulacjom ekonomicznego rozdziału obciążeń,
- ograniczenia ruchowe (techniczne) i ograniczenia ekologiczne.

Bazując na zestawie powyższych danych za pomocą pakietu *IPM* można przeprowadzić dla założonego horyzontu czasowego (do 70 lat) szczegółową analizę dynamiki rozwoju systemu z uwzględnieniem aspektów technicznych, ekonomicznych i ekologicznych. Uwzględniając w matematycznym modelu SEE szczegółową strukturę systemu (różne typy elektrowni, elektrociepłowni, różne paliwa itp.) i różnorodne ograniczenia (np. ruchowe czy ograniczenia w przepływie mocy pomiędzy regionami) pakiet *IPM* generuje szereg zestawień opisujących optymalny stan SEE dla każdego roku analizy. Analiza ta, dokonywana z podziałem na podsystemy: wytwórczy, przesyłowy i dystrybucyjny, może być uzupełniana:

- symulacją ekonomicznego rozdziału obciążeń pomiędzy wszystkie źródła wytwórcze,
- opisem specyfiki rozwoju regionalnego systemu,
- propozycją optymalnego podziału nakładów inwestycyjnych pomiędzy stronę podażową i popytową,
- analizami opłacalności handlu pozwoleniami na emisję.

3. KIERUNKI DALSZYCH BADAŃ

Wszystkie opisane wyżej narzędzia należy traktować jako elementy większego systemu informatycznego wspomagającego podejmowanie strategicznych decyzji. Ze względu na swą specjalizację, pakiety optymalizacyjny i symulacyjne może stanowić jedynie fragment zintegrowanego systemu planowania rozwoju SEE. Każdy z nich korzysta bowiem z wielu prognoz i danych pochodzących z różnych źródeł, w tym będących wynikiem działań innych programów. Również rezultaty pracy samego optymalizatora często wymagają dodatkowego przetworzenia przed zaprezentowaniem ich decydentom jako przesłanek do podejmowania decyzji.

System komputerowy wspomagający proces programowania rozwoju KSE (specjalizowany system informatyczny) powinien przede wszystkim integrować różnorodne metody i programy stosowane w fazie gromadzenia danych wejściowych i tworzenia danych wynikowych, na podstawie których podejmowane są decyzje. Integrację tę może zapewnić zastosowanie jednolitego podsystemu baz danych, pozwalającego gromadzić dane i umożliwiającego ich wykorzystywanie przez wszystkich użytkowników procesu decyzyjnego we wszystkich fazach oraz spełniającego funkcje archiwum dla kolejnych prognoz i ich danych

wejściowych. Z drugiej zaś strony ten podsystem powinien wymuszać właściwą organizację całego procesu (od gromadzenia danych wejściowych, aż po podejmowanie strategicznych decyzji) i udostępniać narzędzia ułatwiające podjęcie optymalnej decyzji przez inteligentne zarządzanie danymi, zwłaszcza na ostatnim etapie procesu decyzyjnego.

LITERATURA

1. Janiczek R.: Założenia metodyczne Zintegrowanego Programu Rozwoju (ZPR-2) źródeł energii elektrycznej do 2020 r. Dyrekcja Programowania Rozwoju PSE SA, Warszawa 1995.
2. Ottendörfer W., Gutenberger J.: Optimierung in der Energie-versorgung: Optimale Leistungsaufteilung bei Sparcherkraftwerken im praktischen Einsatz". VDI Verlag GmbH, Düsseldorf 1994, ss. 31-44.
3. Daellenbach H. G., George A. J.: Introduction to Operation Research techniques. Allyn and Bacon Inc., Boston 1978.
4. Gill P. E., Murray W., Saunders M., Wright M. H.: Recent developments in constrained optimization. Journal of Computational and Applied Mathematics 22 (1988), Elsevier Science Publishers B. V. (North Holland), 1988.
5. Hirshfeld D. S.: Some Thoughts on Math Programming Practice in the '90s. The Institute of Management Sciences, Washington 1990.
6. Praca zbiorowa: Programy IPM/EUFM - Sprawozdanie z wdrażania w I półroczu 1995 r. Dyrekcja Programowania Rozwoju PSE SA, Warszawa 1995.
7. Beale E. M. L.: Introduction to Optimization. John Wiley & Sons Ltd., New York 1988.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Roman Janiczek

Wpłynęło do Redakcji dnia 15 grudnia 1995 r.

Abstract

Energy planning (planning in power systems) is a continuous process of a complete, rational and solid basis development for investment decisions making. Numerous uncertain information and assumptions appear in this process, such as further development of a country or region, energy prices, forecast of energy demand and many more. For this reason planning couldn't be seen just as a prediction of future and as a once happening action. It becomes a dynamic iterative process.

The complexity of energy planning requires a huge quantity of data processing. This "natural" difficulty is multiplied by impact of the uncertainty factor, and the more with regard of multiple criteria in decision-making process.

Because of many complex interactions between energy, economy, social policy and environment planning of the power systems should be integrated. It means that a planning process is multi-disciplinary and it should consider:

- the analysis of demand and supply,
- all economic sectors and policy recommendations,
- the potential of all available, different fuels,
- feasibility of new technologies,
- interdependencies between regions,
- environmental impacts.

In addition planning in power systems has a few different, specific aspects:

- optimal share energy demand on all sources on all energy sources in the power system,
- withdrawals of the old generation sources,
- modernization process,
- possibility of demand side management,
- renovation plan and its influence of disposability of sources,
- local environmental restrictions,
- possibility of energy buying from external sources.

These many aspects of the problem make it necessary to involve a number of disciplines into decision-making process. All of those make it difficult to find a simple, synonymous and optimal solution. Objective for computer aided systems (in field of energy planning) are to assist the decision maker to find a possibly best solution of a complex problem. The most widespread energy models and related optimization or simulation programmes are *IPM, WASP, EFOM, MARKAL.* They were developed over a long time and represent highest state of knowledge about modeling and optimization. On the other hand they have restricted handling and some of methodological improvements as multi-objective optimization, fuzzy set mathematics or stochastic programming cannot be integrated into existing models.

Many of them have limited or specialized versions, e.g. *PC-VALORAGUA* is a version of *WASP* specially developed for countries with a large share of energy from the water sources. Since last two years the significant and still growing part in Poland plays *IPM*, chosen as a main simulation tool in the Polish Power Grid Co.

Follow to the changing approaches and aspects of the problem a new generation of planning tools (computer models, simulating and optimizing tools) is being developed. The future generations of the planning tools are modular, complex systems rather than one single programme. They incorporate the sophisticated algorithm of the models (earlier developed

in most cases) and add to them a powerful data management system and a user's interface. Their goal is not only to do analysis or simulation of the model but also decision support provided by enhancement components. The few examples of the new approach are systems like *SAFIRE*, *Environmental Manual*, *MESAP III* or *DECADES*. They are very promising, but the use of these is still in introductory or even "under-construction" phase yet.