

Barbara Bialecka

WSPOMAGANIE PROEKOLOGICZNEGO ZARZĄDZANIA ZAKŁADEM ENERGETYCZNYM

Streszczenie

Wprowadzenie nowych, drastycznych norm emisji, zgodnych z wymogami UE, może w niedalekiej przyszłości spowodować zamykanie elektrowni opalanych węglem kamiennym, obciążających środowisko naturalne. Aby elektrownie te nie musiały być zamykane możliwe jest przystosowanie ich instalacji do obowiązujących norm środowiskowych, przez modernizację i inwestycje doposażeniowe. Działania te, oprócz zaangażowania znacznych środków inwestycyjnych, wymagają także pełnej informacji o wdrożonych technologiach obejmujących ich wycenę w powiązaniu z efektywnością ekologiczną oraz o przydatności do dalszej eksploatacji posiadanych przez elektrociepłownię środków technicznych.

Z tych przesłanek wynikał cel pracy, który dotyczył sporządzenia modelu umożliwiającego zwiększenie (podwyższenie) trafności decyzji dotyczących wyboru technologii redukcji zanieczyszczeń gazowych w określonej sytuacji ekonomicznej i technicznej zakładu.

Przy rozwiązywaniu problemów związanych z modernizacją elektrociepłowni wymagana jest optymalizacja decyzji, zaś matematyczne ujęcie tematu w postaci modelu decyzyjnego gwarantuje prawidłową procedurę i kompleksowe uwzględnienie dominujących zmiennych decyzyjnych i dominujących parametrów w procesie doboru trafnych rozwiązań.

Sporządzenie modelu decyzyjnego wymagało zdefiniowania, w układzie sekwencyjnym, następujących elementów: głównych celów, funkcji kryterialnej, warunku optymalizacyjnego podstawowych zmiennych decyzyjnych.

Czynnikami warunkującymi podejmowanie trafnych decyzji inwestycyjnych dotyczących modernizacji EC jest znajomość aktualnie stosowanych technologii produkcji, stanu technicznego maszyn i urządzeń oraz dostępnych technologii chroniących środowisko naturalne.

Istotne znaczenie mają przyjęte w modelu mierniki i kryteria oceny efektywności działań modernizacyjnych. Do podstawowych kryteriów, od których był uzależniony wybór technologii, zaliczono: skuteczność ekologiczną, efektywność ekonomiczną oraz sprawność energetyczną. Do realizacji przyjętego celu badawczego podstawowe znaczenie miało zebranie danych będących podstawą baz wiedzy dostępnych w programie, jak również zebranie i przygotowanie danych empirycznych do weryfikacji modelu.

Model wykonano zgodnie ze zdefiniowanymi celami i zadaniami, przyjętymi założeniami dotyczącymi jego struktury, z rodzajem wykorzystywanych danych oraz scenariuszami badawczymi. W artykule przedstawiono strukturę i opis matematyczny zbudowanego modelu, jego implementację komputerową i weryfikację pod kątem poprawności działania.

Pro-ecological power plant management support

Abstract

The introduction of new, drastic, consistent with EU requirements, emission standards may cause in near future the closure of hard coal-fired power plants, affecting the natural environment. In order to avoid the closure of these power plants, possible is the adaptation of their installation to being in force environmental standards by means of modernization and equipment-related investments. These activities, apart from the engagement of considerable investment funds, require also complete information on the implemented technologies, comprising their valuation in connection with ecological

efficiency and the suitability of technical means, being in the power plant's possession, for further exploitation.

From these promises arose the aim of the work, which concerned the development of a model enabling to improve the accuracy of decisions regarding the selection of technologies relating to the reduction of gaseous pollutions in a determined economic and technical situation of the plant.

In case of solving problems connected with the modernization of a thermal-electric power station, optimization of decisions is required, and a mathematical approach to the problem in the form of a decision-making model guarantees correct procedure and comprehensive consideration of predominant decisive variables and predominant parameters in the process of accurate solution selection.

The development of the decisive model has required to define, in a sequential system, the following elements: main objectives, criterial function, optimization condition of basic decisive variables.

The factors conditioning accurate investment decision taking, concerning the modernization of thermal-electric power stations, is the knowledge of currently applied production technologies, technical state of machines and devices, and accessible technologies, protecting the natural environment.

Essential significance have the measuring instruments and efficiency criteria of modernization activities, adopted in the model. To the basic criteria, relating to technology selection, belong: ecological efficiency, economic effectiveness and power efficiency. For the realization of the adopted investigation objective, the basic significance had the collection of data, which constituted the basis of data bases available in the programme, as well as actions aiming at the collection and preparation of empirical data for model verification.

The model has been performed in accordance with defined objectives and targets, adopted assumptions concerning its structure, with the kind of data use and research scenarios. The article presents the structure and mathematical description of the constructed model, its computer implementation and verification regarding the correctness of action.

1. WSTĘP

Transformacja polskiej gospodarki wymuszająca zmiany w procesie zarządzania przedsiębiorstwem powoduje, że rozszerza się zakres potrzeb informatycznych kadry kierowniczej, warunkujących podejmowanie trafnych, odpowiedzialnych decyzji strategicznych, uwzględniających współczesne, a także przyszłościowe wymagania ekologiczne wynikające z przystosowania polskiej gospodarki do integracji z Unią Europejską.

Przy opracowywaniu strategii rozwoju lub podejmowaniu decyzji inwestycyjnych w przedsiębiorstwach sektora energetycznego, oprócz analizy aktualnych krajowych uwarunkowań prawnych, ekologicznych, technologicznych, finansowych czy paliwowych, niezbędne staje się przewidywanie nadchodzących zmian oraz poszerzenie analiz o wymagania europejskie, a czasami również światowe. Uwzględnienie tych wymagań jest warunkiem niezbędnym do osiągnięcia sukcesu w najbliższej przyszłości.

W celu rozszerzenia możliwości podejmowania trafniejszych decyzji, na przykładzie decyzji dotyczących modernizacji elektrociepłowni opracowano model wspomagający. Model ten obejmuje aspekty ekologiczne, techniczne i ekonomiczne w ujęciu uwzględniającym zarówno wymagania współczesnej ekonomii, techniki zarządzania, jak i metod minimalizacji kosztów.

2. MODEL WSPOMAGANIA DECYZJI

Wybór określonego sposobu redukcji zanieczyszczeń wymaga stworzenia odpowiedniego narzędzia badawczego, które w zakładach elektroenergetycznych pozwoli na określenie skutków ekonomicznych takiej decyzji. Narzędzie to powinno umożliwić określenie optymalnych kosztów i nakładów inwestycyjnych modernizacji proekologicznej dla różnych scenariuszy badawczych precyzujących wymagania ochrony środowiska [2, 6, 10, 15]. Założenia takie może spełnić omawiany model wspomagający decyzję modernizacji proekologicznej, który dla konkretnych warunków działania zakładu elektroenergetycznego umożliwi podjęcie decyzji optymalnej pod względem ekologicznym, technicznym i ekonomicznym.

W opracowanym modelu, określenie skutków ekonomicznych jest związane z wyborem odpowiedniej strategii redukcji zanieczyszczeń. Szczegółowo rozważono dwie strategie, zgodnie z którymi:

- zakładano respektowanie aktualnie obowiązującego prawodawstwa (strategia reaktywna) oraz
- wskazywano na możliwość spełniania wymogów Unii Europejskiej (strategia aktywna).

Dla każdej z analizowanych strategii oceniano efektywnie ekologicznie procesy redukcji SO_2 , NO_2 i pyłu na podstawie:

- analizy redukcji zanieczyszczeń gazowych poprzez dobór paliw węglowych ze szczególnym uwzględnieniem jakości i cen dostarczanego węgla,
- analizy redukcji emisji poprzez modernizację proekologiczną,
- analizy redukcji emisji poprzez budowę instalacji odsiarczania i odazotowania spalin.

W przypadku zakładów elektroenergetycznych o średnim i niskim czasie wykorzystania w ciągu roku oraz wyposażonych w stare jednostki kotłowe (dobiegające granicznego czasu żywotności) rozważono także:

- możliwość przestawienia się na inny rodzaj paliwa,
- ograniczenie produkcji poprzez wycofywanie jednostek, których modernizacja jest nieopłacalna,
- możliwość zakupu pozwoleń na emisję.

Analiza wyników obliczeń powinna umożliwić sformułowanie wskazań dla zarządu EC kształtującego politykę ekologiczną zakładu, dotyczących kierunku usprawniania jego funkcjonowania [1, 5].

Uogólniając, opracowany model matematyczny umożliwi określanie optymalnych kosztów w celu osiągnięcia redukcji emisji zanieczyszczeń gazowych dla różnych scenariuszy badawczych, a wyniki obliczeń będą stanowić podstawę podjęcia decyzji o zastosowaniu odpowiedniego rozwiązania.

2.1. Opis matematyczny modelu

Strukturę modelu przedstawiono na rysunku 1. Dotrzymanie przez elektrociepłownie wybranych, zgodnie z przyjętą strategią, limitów emisji wymaga podjęcia określonych działań. Generalnie elektrociepłownie dysponują trzema sposobami redukcji zanieczyszczeń gazowych: zakup węgla o lepszych parametrach eksploatacyjnych, modernizacja procesu spalania, budowa instalacji redukcji zanieczyszczeń. Konieczna wielkość redukcji zanieczyszczeń jest w ścisłym związku z jakością dostarczanego paliwa, a budowa instalacji redukcji zanieczyszczeń uwarunkowana jest możliwościami zakładu. Wybór określonego sposobu redukcji zanieczyszczeń wpływa znacząco na koszty wytwarzania energii elektrycznej [3, 4, 7, 9]. Celem zakładu jest więc minimalizacja proekologicznych nakładów inwestycyjnych, jak i rocznych kosztów produkcji, a zadanie optymalizacyjne sprowadza się do minimalizacji kosztów redukcji emisji przy założonym jej poziomie. Wybór najtańszego rozwiązania spełniającego to podstawowe ograniczenie umożliwia zastosowanie modelu wspomagającego.

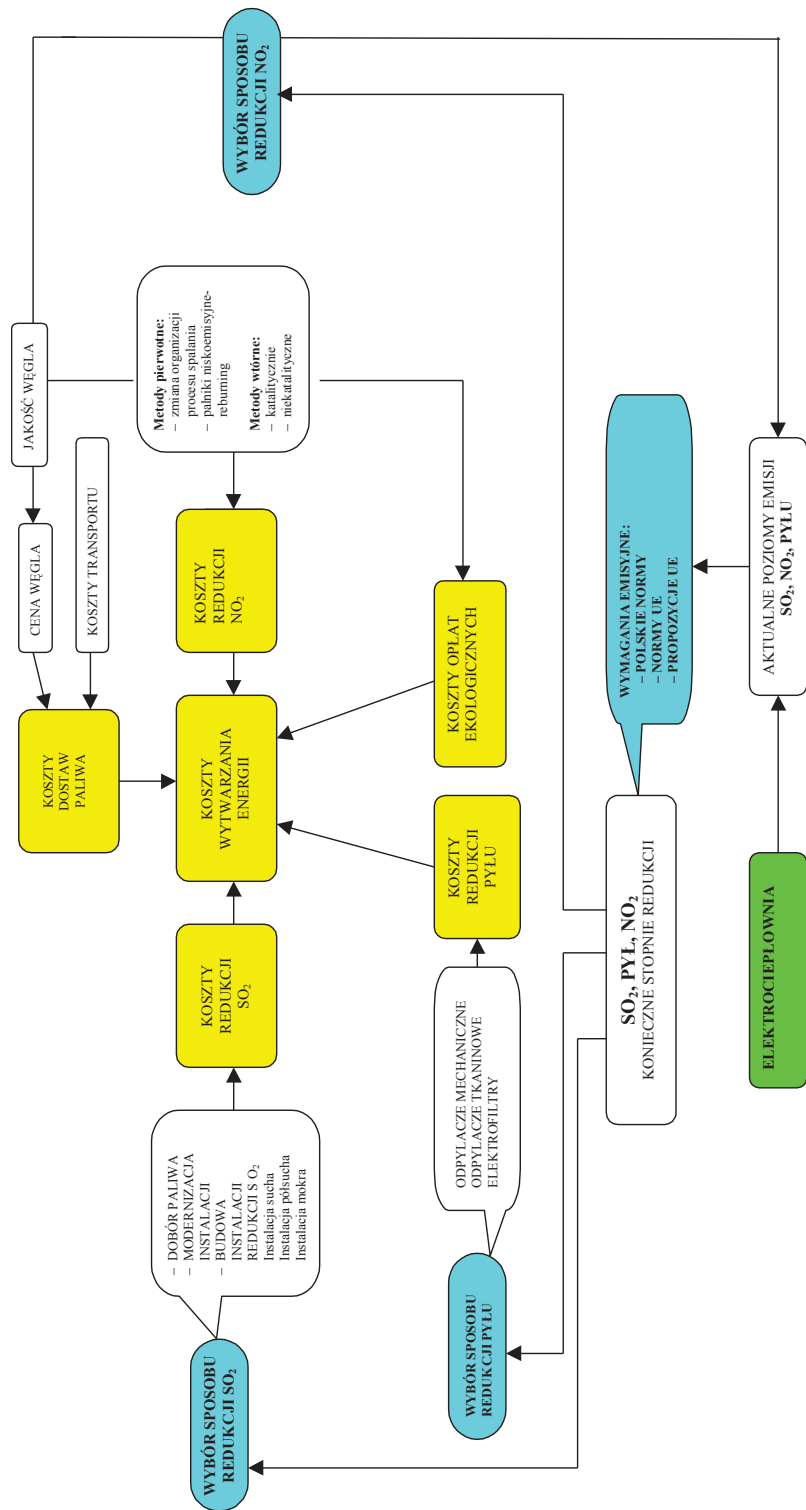
Zmienne decyzyjne, zawarte w modelu, to: wybór jakości dostaw węgla kamiennego, stopień redukcji emisji SO_2 , NO_2 i pyłów, a co za tym idzie wybór sposobu technicznej eksploatacji zakładu. Zbiór decyzji jest zatem zbiorem skończonym, a konkretna decyzja polega na wyborze określonego wariantu modernizacyjnego, a więc na inwestowaniu w kolejnych miesiącach lub latach, środków inwestycyjnych w określonej wysokości na wybrany wariant modernizacji proekologicznej. Źródłem tych środków jest fundusz przedsiębiorstwa, który może być uzupełniany kredytami bankowymi, ewentualnie emisją akcji i/lub obligacji, a także obsługa zadłużeń oraz wypłata dywidend dla akcjonariuszy.

Jako decyzje jest także traktowane niepodejmowanie decyzji inwestycyjnych, a w związku z tym zgoda na płacenie, oprócz opłat emisyjnych, dodatkowo kar za przekroczenie lub naruszenie warunków korzystania ze środowiska.

W opracowanym modelu można wyróżnić następujące grupy równań:

- ogólne równania charakteryzujące zachowania zakładu w zależności od kosztów urządzeń ochrony środowiska oraz możliwych do zastosowania instrumentów ochrony środowiska,
- funkcję celu będącą jednocześnie kryterium optymalizacyjnym,
- równania kosztów opisujące poszczególne składniki funkcji celu,
- równania bilansowe.

Poniżej przedstawiono główne równania modelu oraz stosowane kryteria optymalizacyjne.



Rys. 1. Struktura modelu wspomaganie decyzji modernizacji proekologicznej (opracowanie własne)

Fig. 1. Structure of model of pro-ecological modernization decision support (own elaboration)

Ogólne równania. Za podstawę działań proekologicznych przyjmuje się spełnienie przez zakład standardów emisyjnych

$$VE_i \leq E_{sti}$$

gdzie:

i – indeks zanieczyszczenia,

j – indeks urządzenia do redukcji zanieczyszczenia i ,

E_i – końcowa emisja zanieczyszczenia i $E_i = E_{0i} - \sum_j U_{ij}$,

E_{0i} – początkowa emisja zanieczyszczenia i w zakładzie,

U_{ij} – poziom redukcji zanieczyszczenia i w urządzeniu j ,

E_{sti} – przyjęty do obliczeń standard emisji dla zanieczyszczenia i .

Zadanie optymalizacyjne dla zakładu sprowadza się do minimalizacji kosztów redukcji (Ku) pozwalających na dotrzymanie założonych standardów emisyjnych krajowych lub UE

$$\sum_i \sum_j Ku_{ij} \Rightarrow \min$$

Dla danego zakładu koszt całkowity związany z redukcją emisji zanieczyszczeń powietrza składa się z sumy kosztów redukcji oraz końcowych opłat emisyjnych O_i (zł/jednostkę emisji zanieczyszczenia i) po zainstalowaniu urządzeń redukujących emisję

$$\sum_i (O_i E_i + \sum_j Ku_{ij}) \Rightarrow \min$$

Funkcja celu. W procesie podejmowania decyzji funkcja celu jest podstawowym kryterium oceny decyzji polegających na wyborze zdefiniowanych wartości zmiennych modelu. Przyjętą w modelu funkcją celu jest minimalizacja kosztów wytwarzania energii, przy czym analizie poddaje się przede wszystkim koszty związane z ochroną powietrza atmosferycznego, na które składają się: koszty dostaw węgla kamiennego, koszty redukcji emisji zanieczyszczeń gazowych i koszty opłat ekologicznych. Dodatkowo uwzględnia się koszty zakupu pozwoleń na emisję. Matematyczny zapis zastosowanej w modelu funkcji celu przedstawiono poniżej.

– minimalizacja kosztów pozwalających na spełnienie dopuszczalnych poziomów emisji

$$\sum_t a_t (K_t^w + Ku_t^{SO_2} + Ku_t^{NO_2} + Ku_t^P) \Rightarrow \min$$

gdzie:

K_t^w – koszt dostaw węgla kamiennego,

$Ku_t^{SO_2}$ – koszt redukcji dwutlenku siarki,

- $Ku_t^{NO_2}$ – koszt redukcji tlenków azotu,
 Ku_t^P – koszt redukcji pyłu,
 a_t – czynnik dyskontujący,
 t – czas analizy.

Podczas korzystania z programu wszystkie obliczenia prowadzono z uwzględnieniem stopy dyskonta. Wyliczone zdyskontowane koszty i korzyści każdej z analizowanych technologii redukcji stanowią podstawowy parametr oceny danej technologii. Według tego parametru można dokonywać rankingu technologii redukcji.

Model umożliwia przeprowadzanie obliczeń modernizacji proekologicznej w dwojaki sposób. Zgodnie z pierwszym sposobem obliczenie kosztów redukcji emisji zanieczyszczeń gazowych przeprowadza się bazując na szacunkowych jednostkowych nakładach inwestycyjnych i operacyjnych wybranych technologii redukcji. Jednostkowe koszty inwestycyjne i eksploatacyjne stosuje się do obliczeń wstępnych tylko w przypadku odsiarczania spalin. Koszty odazotowania i odpylania spalin analizuje się w każdym przypadku, bazując na indywidualnej ocenie procesu spalania realizowanego w kotle dla lokalnych warunków elektrowni. Kosztów zamykających w przypadku szacunkowych obliczeń nie uwzględnia się.

Drugi sposób obliczeń pozwala na pełną ocenę wszystkich elementów kosztów. Podstawę obliczeń stanowią dane udostępnione przez krajowe elektrociepłownie, które wdrożyły instalacje redukcji zanieczyszczeń oraz dane przekazane przez producentów instalacji redukcji. Dane te zawarte są w bazie danych, która stanowi integralną część komputerowego systemu wspomaganie decyzji.

Budowa programu wspomaganie decyzji modernizacji proekologicznych

Program napisano w języku programowania FOX PRO wykorzystywanym do obsługi baz danych. Struktura programu umożliwia modernizację jego funkcji oraz dostosowanie do potrzeb użytkownika. Całość oprogramowania została napisana i uruchomiona przez autorkę niniejszego artykułu.

Dialog pomiędzy użytkownikiem a programem nie wymaga od użytkownika przygotowania informatycznego i odbywa się poprzez okna dialogowe. Program pozwala na:

- wykonanie kompletu obliczeń dla każdego rozwiązania,
- porównanie wyników obliczeń.

W wyniku obliczeń w zbiorze roboczym programu akumulowane są wielkości opisujące stan obliczanego układu. W celu prześledzenia zmian parametrów, program umożliwia wydrukowanie tabel kontrolnych dla dowolnie wybranego okresu czasu obliczeń.

Obecnie nie jest możliwa graficzna interpretacja wyników obliczeń. Jednakże dane w formie tabelarycznej można przetransponować do formatu czytanego przez arkusz kalkulacyjny EXCEL.

Poprawność opracowanego modelu stwierdzono na podstawie badań wpływu najistotniejszych parametrów modelu na wartość funkcji celu. Opracowano program –

test umożliwiające minimalizację czasu obliczeń oraz badanie stabilności układu (zależność rozwiązań od warunków początkowych) oraz czułości na zmiany parametrów modelu i scenariuszy badawczych.

Struktura programu

Program wspomaganie decyzji dotyczących modernizacji proekologicznych zawiera następujące elementy:

- podprogram ekonomiczny,
- podprogram ocen efektywności proponowanych rozwiązań według przyjętych mierników,
- podprogram optymalizacji decyzji według przyjętej funkcji celu

oraz bazy danych zawierające:

- zbiór danych o krajowych węglach energetycznych,
- zbiór przepisów ochrony środowiska krajowych, obowiązujących w UE oraz przygotowywanych do wprowadzenia,
- zbiór technologii/metod obniżania emisji zanieczyszczeń,
- zbiór wskaźników umożliwiających ocenę stanu technicznego elementów instalacji.

Podprogram ekonomiczny

Pomimo technicznego charakteru niniejszej pracy, ze względu na ekonomiczną funkcję procesów modernizacyjnych konieczne stało się włączenie do metodyki modelowania elementów systemu ekonomicznego [12, 13]. W programie rozpatrzono dwa problemy:

- koszty modernizacji proekologicznych,
- wpływ modernizacji na kondycję finansową zakładu.

W celu oceny nakładów inwestycyjnych na realizację inwestycji proekologicznych w podsystemie nakładów finansowych wydzielono oddzielny blok realizujący tę funkcję.

W ramach tego bloku opracowano dwa podprogramy:

- podprogram rozliczeń wyniku finansowego,
- podprogram kosztów.

Warunki działalności elektrociepłowni w czasie modernizacji przedstawiono w formie syntetycznego raportu ekonomiczno-finansowego, która zawiera informacje obrazujące kondycję finansową firmy. Dodatkowo w raporcie tym zawarto informacje o ilości wyprodukowanej energii elektrycznej i/lub cieplnej, mocy dyspozycyjnej elektrowni, cenach mocy dyspozycyjnej i energii.

Warunki działalności zakładu przed rozpoczęciem inwestycji stanowią element zbioru danych wejściowych do programu.

W podprogramie kosztów uwzględniono dwie opcje, tj. koszty związane z bieżącą działalnością EC (koszt paliwa, koszt transportu paliwa, koszt opłat ekologicznych) oraz koszty modernizacji proekologicznych.

Podprogram ocen efektywności

W przyjętej metodzie obliczeń za mierniki oceny inwestycji przyjęto:

- skuteczność ekologiczną (stopień redukcji),
- zintegrowany efekt ekologiczny,
- wartość zaktualizowaną netto przychodów i kosztów,
- wskaźnik efektywności przedsięwzięcia ekologicznego jako stosunek zdyskontowanych przychodów i kosztów,
- analizę całkowitych kosztów budowy i eksploatacji instalacji,
- analizę zysku netto,
- okres zwrotu.

Wszystkie te mierniki powinny być obliczane dla każdej analizowanej technologii.

Należy podkreślić znaczenie możliwości wyboru oceny, która zapewnia analiza powyższych mierników. Zapewnienie możliwości wyboru jest bardzo ważnym elementem analizy często rozumianej jako pewien proces, którego wynik ma zdecydować o realizacji lub zaniechaniu realizacji określonego przedsięwzięcia. Otrzymane wyniki mogą służyć do porównania różnych rozwiązań i wyboru najkorzystniejszych pod względem ekologicznym w aktualnych warunkach finansowych przedsiębiorstwa. Gdy brak jest wielu rozwiązań alternatywą zawsze może być stan istniejący i ocena wykonywana w odniesieniu do tego stanu.

Warunkami ograniczającymi możliwość zastosowania danego rozwiązania modernizacyjnego jest szeroko pojęta ekonomika działania przedsiębiorstwa energetycznego.

Podprogram optymalizacji decyzji według przyjętej funkcji celu

Podprogram umożliwia wybór najlepszej możliwości z myślą o osiągnięciu celu lub realizacji zadania, co można uznać za optymalizowanie (minimalizowanie lub maksymalizowanie) pewnej obiektywnej funkcji kryterium, takiej jak nakłady na redukcję zanieczyszczeń [8, 11, 14]. W praktyce nakłady te są uzależnione od techniczno-ekonomicznych wskaźników, charakteryzujących przyjęty sposób redukcji zanieczyszczeń. W procesie optymalizacji tak dobiera się wskaźniki techniczno-ekonomiczne (w trybie wyboru wariantu technologii redukcji), aby koszt modernizacji był możliwie najmniejszy.

Dane do obliczeń

Zbiór warunków charakteryzujących działalność elektrociepłowni przed modernizacją można przedstawić ogólnie w postaci

$$Y = \{a, b, c, d, e, f, g, h, i\}$$

gdzie:

- a – ilość i skład spalin,
- b – charakterystyka ilościowo-jakościowa stosowanego paliwa,
- c – charakterystyka urządzenia kotłowego,

- d – uwarunkowania techniczne (aktualny stan maszyn i urządzeń),
- e – uwarunkowania lokalizacyjne,
- f – możliwość zbytu bądź składowania produktu z zastosowanej technologii oczyszczania spalin,
- g – posiadane środki finansowe (raport finansowo-księgowy),
- h – sposób finansowania inwestycji (kredyty, dotacje itp.),
- i – dopuszczalny poziom emisji (wybór scenariusza obliczeń).

Warunki a i b razem wskazują na konieczną wielkość instalacji oczyszczania spalin oraz jej pożądaną skuteczność. Relacja ta pozwala wskazać bądź wykluczyć konkretne działania modernizacyjne. Warunki a+b+c oraz d mogą wybór ten dalej zrelatywizować. Dodatkowe rozważenie warunku e umożliwia dalszą eliminację. I wreszcie warunki g+h mogą zdecydować o końcowym ukierunkowaniu przedsięwzięcia z określeniem jego zakresu i komfortu rozwiązań.

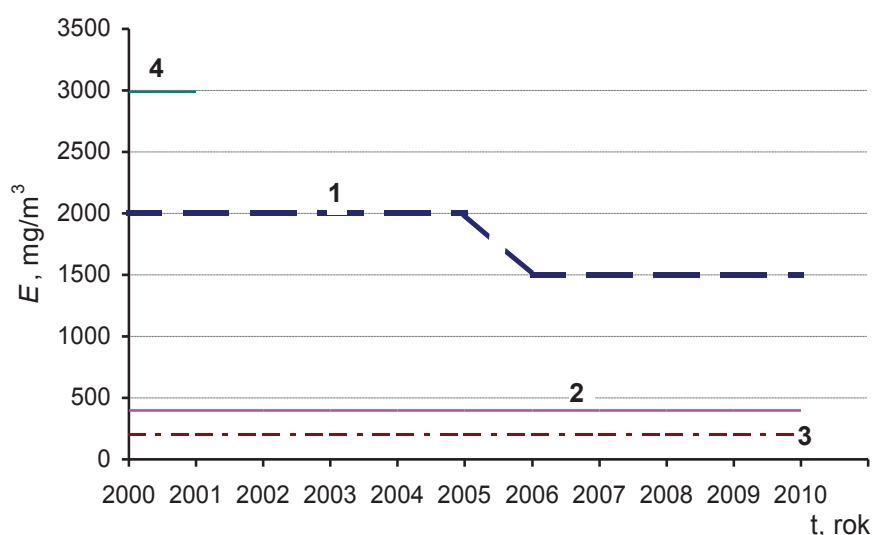
Minimalna ilość danych niezbędna do uruchomienia programu to około 200 informacji zgromadzonych zarówno w bazach danych, jak również w zbiorze danych wejściowych. Wśród wielkości wejściowych do obliczeń wiele z nich to dwu- i trójwymiarowe tablice.

Aktualne poziomy emisji analizowanych zanieczyszczeń stanowią dane wejściowe do modelu. Poziomy emisji po zastosowaniu paliwa innej jakości oblicza się na podstawie wzorów na emisję, uwzględniających wielkość zużycia i parametry jakościowe węgla oraz typ zainstalowanego kotła dla SO₂, jak również wskaźniki emisji dla NO₂ i popiołu.

Przykład zastosowania modelu

Dotychczasowe wdrożenia opracowanego modelu mają charakter wstępny – były realizowane na jednym obiekcie i służyły głównie weryfikacji modelu. Zrealizowane przykładowe obliczenia optymalizacyjne dają obraz korzyści, jakie wynikają z zastosowania opracowanego modelu wspomagającego decyzje modernizacyjne. Poniżej przedstawiono przykład szczególnie ważnego procesu decyzyjnego, jakim jest dobór paliwa.

Analizie poddano kocioł typu OR-16. Eksploatacja kotła powoduje emisję dwutlenku siarki znacznie przekraczającą dopuszczalną normę. Emisję SO₂ z kotła, z uwzględnieniem obowiązujących w kraju dopuszczalnych emisji dla kotłów uruchomionych przed 28.03.1990 roku przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Emisja SO_2 z kotła typu OR-16: 1 – w Polsce (dopuszczalna), 2 – w Unii Europejskiej (dopuszczalna), 3 – w Unii Europejskiej (proponowana), 4 – aktualna, t – czas, E – emisja

Fig. 2. SO_2 emissions from boiler of OR-16 type: 1 – in Poland (admissible), 2 – in the European Union (admissible), 3 – in the European Union (proposed), 4 – current, t – time, E – emission

W pierwszym kroku program, analizując dane wejściowe charakteryzujące urządzenie kotłowe i stosowane paliwo, wskazuje konieczne stopnie redukcji emisji SO_2 w celu spełnienia norm dopuszczalnej emisji, zgodnie z wybranym scenariuszem obliczeń. Analizowano możliwości dostosowania się do krajowych norm emisji. Najtańszym dopuszczalnym rozwiązaniem jest optymalizacja doboru paliwa do procesu spalania. Obliczenia doboru paliwa przeprowadzono dla siedmiu rodzajów węgla kamiennych i ich mieszanek. Przy wyborze węgla do analizy wzięto pod uwagę: zróżnicowanie zawartości siarki w produkowanych sortymentach, cenę paliwa, odległość kopalni od elektrociepłowni. Ceny paliw i transportu paliw do analizy przyjęto jak w roku 2000.

Charakterystykę węgla przyjętych do analizy zamieszczono w tabelicy 1. Wynika z niej wyraźna zależność ceny węgla dla celów energetycznych od jego parametrów jakościowych. Ceny węgla wzrastają wraz ze zwiększaniem się kaloryczności węgla oraz zmniejszaniem się zawartości popiołu i siarki. W tabelicy 1 także podano przykład jak mieszanie kilku sortymentów handlowych może wpływać na koszt pozyskania paliwa.

Wstępne obliczenia wykazały, że do końca 2005 roku dla analizowanego kotła wystarczy spalać węgiel o zawartości siarki do 0,82% (węgle o nr 3, 4, 5, 6, 7 oraz mieszanka 8), aby sprostać wymogom ochrony środowiska. Znacznie większe wymagania, które wystąpią w okresie od 2006 do 2010 roku wymuszą na użytkownikach kotłów zastosowanie innych metod, zapewniających większą redukcję emisji SO_2 . Analiza stanu technicznego kotła, ocena trwałości indywidualnej, projektowej i dopuszczalnej, krytycznych jego elementów, wskazała na brak celowości technicznej

i ekonomicznej angażowania znacznych kosztów na modernizację proekologiczną. Z obliczeń przeprowadzonych przez autorkę wynika, że nakłady na modernizację analizowanego kotła są uzasadnione tylko wtedy, gdy możliwa jest dalsza eksploatacja elektrowni przez 10–15 lat. To założenie wymaga jednocześnie nakładów na zwiększenie sprawności urządzeń. W aktualnej sytuacji zakładu dopuszczalne rozwiązania to:

- zmiana paliwa (olejowe, gazowe),
- zakup pozwoleń na ponadnormatywną emisję,
- wyłączenie kotła.

Po ocenie efektu ekologicznego, będącego wynikiem określonego działania, konieczne jest dokonanie kalkulacji ich opłacalności.

Tablica 1. Przykładowe dane do obliczeń dla kotła typu OR-16

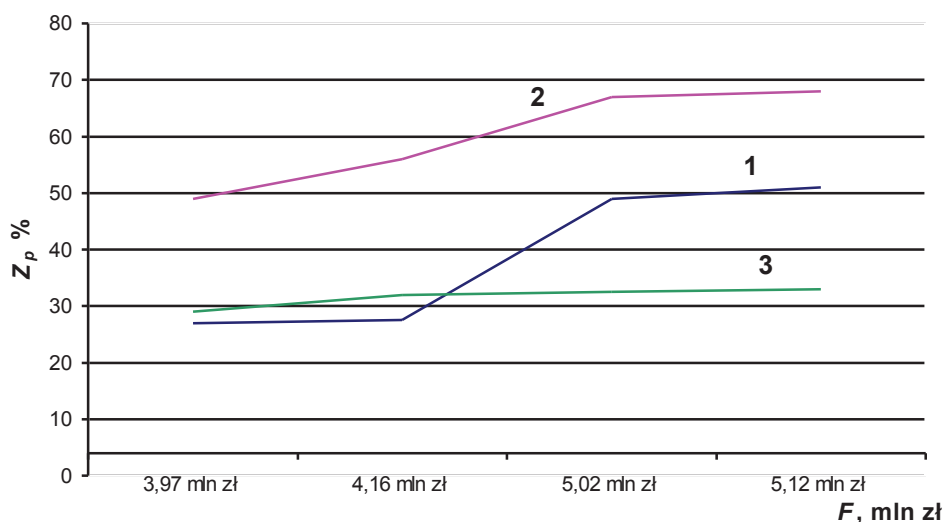
Wyszczególnienie	Jednostka	Paliwo bazowe 0	Paliwo 1 przerost	Paliwo 2 przerost	Paliwo 3 miał	Paliwo 4 miał	Paliwo 5 miał	Paliwo 8 Mieszanka 50% paliwo 3 50% paliwo 5	Paliwo 6 miał	Paliwo 7 miał wzbogacony
wartość opałowa	KJ/kg	17 500	17 580	19 800	20 330	22 600	24253	22 281	24 900	25 000
$S_{całk}$	%	–	1,02	0,99	0,69	0,77	0,76	0,73	0,56	0,81
S_{palna}	%	–	0,82	0,72	0,61	0,60	0,58	0,55	0,42	0,60
popiół	%	<36	23,22	20,86	25,4	19,80	17,30	21,34	14,71	9,76
zużycie	Mg/rok	30000	29259	25041	22037	21037	20413	20012	19911	19833
cena	zł/Mg	108,00	112,54	148,54	126,83	187,63	174,28	132,57	232,92	245,49
transport (z najbliższej kopalni)	zł/Mg	217	2,17	2,17	2,17	2,17	2,17	2,17	2,17	2,17

Wartość minimum funkcji celu osiągnięto dla mieszanki węgla 8. Także dla węgla 3 i 5 funkcja celu znajduje się w pobliżu minimum około 4,2 mln zł.

Zmiany parametrów charakteryzujących paliwo w % bezwzględnych przedstawiono na rysunku 3. Poniżej, na rysunku 4, przedstawiono wpływ zmian cen węgla na zmianę cen wyprodukowanej energii. Obliczenia prowadzono przy założeniu, że cena paliwa stanowi około 50% kosztów produkcji energii elektrycznej. W analizie (tabl. 1) uwzględniono węgle różniące się około 55% ceną.

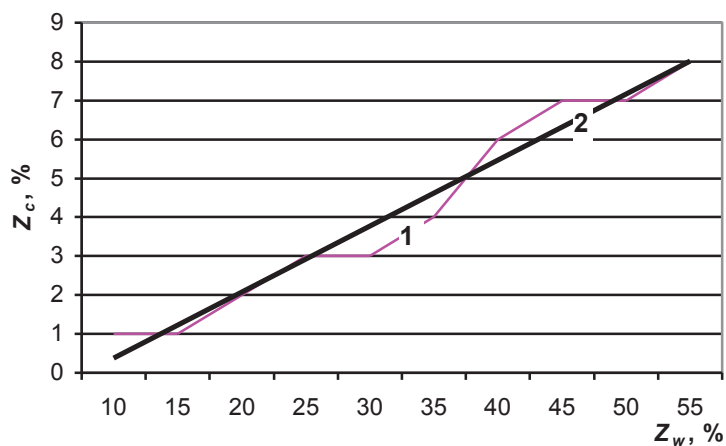
Koszty obciążenia środowiska naturalnego w przypadku zastosowania w procesie spalania w kotle OR-16 węgla 4, 6, 7 oraz mieszanki 8 przedstawiono na rysunku 5.

W analizie przedstawiono wybrane z tablic generowanych przez program i opracowane graficznie wartości parametrów, które mogą stanowić podstawę do podjęcia decyzji odnośnie do doboru paliwa do elektrociepłowni. W każdym z analizowanych przypadków dobór paliwa nie zagrażał płynności finansowej zakładu.



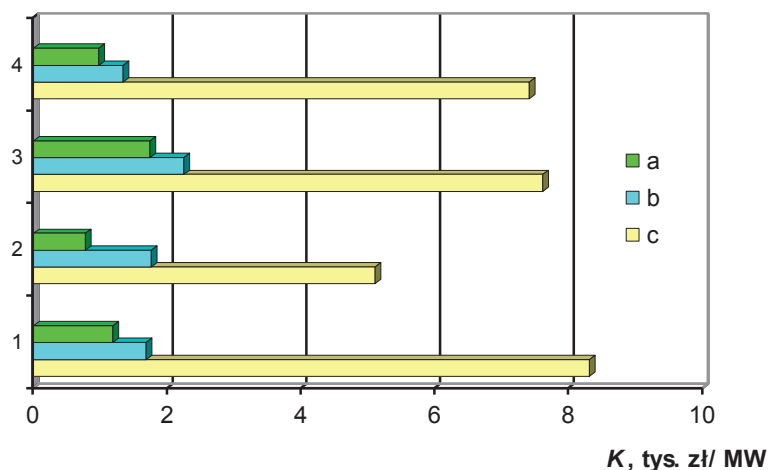
Rys. 3. Wpływ zmian podstawowych parametrów Z_p charakteryzujących paliwa na funkcję celu F modelu: 1 – S_{palna} , 2 – SO_2 , 3 – zużycie paliwa

Fig. 3. Impact of changes of basic parameters Z_p , characterizing fuels as regards objective function F of model: 1 – $S_{\text{combustible}}$, 2 – SO_2 , 3 – fuel consumption



Rys. 4. Wpływ zmian cen węgla Z_w na zmianę cen energii Z_c : 1 – wzrost cen energii, 2 – liniowy wzrost cen energii

Fig. 4. Influence of changes of coal prices Z_w on the change of energy prices Z_c : 1 – increase of energy prices, 2 – linear increase of energy prices



Rys. 5. Koszty obciążenia środowiska naturalnego K w przypadku zastosowania: 1 – paliwa 4, 2 – paliwa 6, 3 – paliwa 7, 4 – paliwa 8, a – pył, b – NO₂, c – SO₂

Fig. 5. Costs of natural environment loading K in case of application: 1 – fuel 4, 2 – fuel 6, 3 – fuel 7, 4 – fuel 8, a – dust, b – NO₂, c – SO₂

PODSUMOWANIE

Opracowany model stanowi odpowiednie narzędzie badawcze do wspomagania podejmowania decyzji dotyczących wyboru sposobów modernizacji proekologicznej, co uzasadniają własności modelu wynikające z przyjętych założeń oraz wyniki analiz uzyskane za pomocą tego narzędzia. Model umożliwia analizę wielu zagadnień związanych z modernizacją zakładu, a przede wszystkim:

- analizę prawodawstwa krajowego i obowiązującego w krajach Unii Europejskiej,
- analizę jakościową krajowych węgli kamiennych wraz z wyborem produkujących je grup kapitałowych, kopalń,
- analizę ekonomicznie efektywnych technologii redukcji zanieczyszczeń powietrza w elektrowniach,
- analizę wysokości koniecznych do poniesienia nakładów w celu dostosowania się do obecnych przepisów emisyjnych oraz norm wynikających ze zobowiązań międzynarodowych,
- analizę ekonomicznie efektywnego zakresu redukcji emisji zanieczyszczeń powietrza w zakładzie.

Własności modelu oraz otrzymane wyniki badań potwierdzają aplikacyjny charakter opracowanego programu komputerowego oraz możliwość wykorzystania go do optymalizacji procesu produkcji energii. Po przeprowadzeniu modernizacji proekologicznej program ten może stanowić stałe narzędzia kontroli osiągniętej efektywności ekologicznej. Ma on charakter uniwersalny i może być wykorzystywany do podejmowania decyzji dotyczących modernizacji w różnych obszarach energetyki.

Podkreślić należy, że dokładność wyników uzyskanych z zastosowaniem modelu jest ściśle uzależniona od odwzorowania rzeczywistych warunków i potencjalnych możliwości realizacji inwestycji w elektrowni z uwzględnieniem wszelkich występujących ograniczeń, co wiąże się z koniecznością dostarczenia kilkuset danych do programu.

Literatura

1. Beberka K.: *Przegląd wybranych modeli komputerowych umożliwiających szacowanie i prognozowanie kosztów ochrony środowiska*. Ekonomia i Środowisko, Kraków 1995.
2. Biolik W.W.: *Ekonometryczne modele wspomaganie decyzji w przedsiębiorstwie*. Zeszyty Naukowe Akademii Ekonomicznej w Katowicach. Katowice 1993.
3. Bis Z., Gajewski W.: *Analiza porównawcza niskoemisyjnych technik spalania*. Gospodarka Paliwami i Energią 1997 nr 6.
4. Brzozowski W.: *Modelowanie i optymalizacja procesu eksploatacji elektrowni cieplnej*. Seria Monografie nr 35, Częstochowa, Wydaw. Politechniki Częstochowskiej 1995.
5. Bujko J., Kyzioł A., Majchrzak H., Szwada J., Witos T.: *Ochrona środowiska a proces planowania pracy elektrowni zawodowych na przykładzie Elektrowni Opole*. Energetyka 2000 nr 2.
6. Burchard-Dziubińska M.: *Strategiczne zarządzania środowiskowe w przedsiębiorstwie przemysłowym*. Ekonomia i Środowisko nr 1(16) Białystok 2000.
7. Chmielniak T.: *Stan rozwoju i znaczenie nowych technologii energetycznych dla modernizacji, rekonstrukcji oraz budowy instalacji wytwarzania energii elektrycznej i ciepła*. Gospodarka Paliwami i Energią, 1995 nr 11.
8. Fortuna Z., Macukow B., Wąsowski J.: *Metody numeryczne*. Warszawa, WNT 1992.
9. Kaproń F.: *Efektywność technologii energetycznych*. Rynek Energii 1998 nr 3.
10. Kożuchowski J.: *Informatyka, sterowanie i zarządzanie w elektroenergetyce*. Warszawa, PWN 1987.
11. Krawczyk S.: *Matematyczna analiza sytuacji decyzyjnych*. Warszawa, PWE 1990.
12. Krusztal J., Lorek E., Lorek D.: *Ocena efektywności ekonomicznej inwestycji proekologicznych*. Ekoinżynieria 1998 nr 11.
13. Kryk B.: *Proekologiczne zarządzanie firmą*. Problemy Ekologii 1999 nr 1.
14. Legh W.E., Doherty M.E.: *Decision support and expert systems*. Cincinnati, Ohio, South-West Publ. Co. 1996.
15. Malik K., Parvi R.: *Potrzeby informatyczne w ekologizacji zarządzania przedsiębiorstwem*. Czysta Produkcja w Polsce 1999 nr 2.
16. Piontek F.: *Środowisko przyrodnicze a strategia gospodarowania*. Problemy Ekologii 1999 nr 2.
17. Sroczan E.M.: *Zarządzanie współpracą elektrowni w systemie elektroenergetycznym*. Rynek Energii 1998 nr 2.

Recenzent: dr inż. Krzysztof Stańczyk