

## LOGISTYCZNY PROCES ZAOPATRZENIA ELEKTROCIĘPŁOWNI W PALIWA

*W artykule przedstawiono modele procesu zaopatrzenia elektrociepłowni w węgiel opałowy. Pierwszy model powstał na podstawie rzeczywistych procedur stosowanych w wybranej elektrociepłowni podczas procesu zaopatrzenia w węgiel opałowy. Pokazuje on sposób planowania zużycia opału, a także zasady planowania i zamawiania opału na podstawie dokumentów uzyskanych z elektrociepłowni. Drugi przedstawiony model to model symulacyjny, który zakłada możliwość reakcji elektrociepłowni na różne stany zapotrzebowania na energię dzięki procedurom modyfikacji ilości zakontraktowanego węgla. Model ten został stworzony do przeprowadzenia symulacji komputerowych, pozwalających zoptymalizować procedury zaopatrzenia elektrociepłowni w węgiel.*

### WSTĘP

Energetyka jest jedną z podstawowych gałęzi gospodarki, która podlega obecnie dynamicznym zmianom. Przed menagerami przedsiębiorstw energetycznych stawiane są ciągle wyzwania związane z koniecznością zapewnienia bezpieczeństwa dostaw, spełnienia wymogów zarówno regulacyjnych [12], jak i tych związanych z ochroną środowiska, czy postępującą liberalizacją rynków energii.

Aby uniknąć strat w przedsiębiorstwach energetycznych, niezmiernie ważne jest wdrożenie takiego rozwiązania w zakresie organizacji łańcucha dostaw, które będzie efektywne bez względu na sytuację na rynku. Wykorzystywane rozwiązania muszą się także charakteryzować elastycznością umożliwiającą jego przystosowanie do zachodzących zmian bez wpływu na wydajność operacyjną. Jeśli firmy nie są w stanie reagować na zmiany, otwierają nisze szybko zajmowane przez innych, lepiej potrafiących przystosować się do nowej sytuacji.

Zapewnienie bezpieczeństwa ciągłości dostaw energii wymaga zastosowania odpowiednich rozwiązań w zakresie logistyki zaopatrzenia, które pozwolą na efektywne prowadzenie działalności.

Podstawowym problemem jaki trzeba rozwiązać na każdym etapie wytwarzania energii cieplnej i elektrycznej, jest uzyskanie precyzyjnej prognozy zapotrzebowania na energię w systemie energetycznym (lokalnym) i odpowiednie zaplanowanie dostaw paliw do elektrociepłowni, bez tworzenia zbędnych zapasów [22], które generują koszty. Od jakości tej prognozy uzależnione jest bezpieczeństwo energetyczne obsługiwanego obszaru [23], jak i poziom osiąganego zysku z dostarczenia energii cieplnej i elektrycznej odbiorcom. Prognoza zapotrzebowania na energię cieplną i elektryczną wpływa również na dostawy paliw stałych i zapasy węgla gromadzone w magazynach elektrociepłowni. Dlatego też odpowiednio dobrane procesy zaopatrzenia [17] mogą zasadniczo ograniczyć ilość dostarczanego węgla do elektrociepłowni i wielkość gromadzonych zapasów, co w znaczący sposób może wpłynąć na koszty.

Celem artykułu jest przedstawienie modelu logistycznego procesu zaopatrzenia elektrociepłowni w węgiel. Z jednej strony model ten zapewnia bezpieczeństwo dostaw energii, z drugiej zaś ograniczając koszty magazynowania węgla w przedsiębiorstwach energetycznych, dzięki procedurze modyfikacji zakontraktowanego wcześniej węgla.

### 1. LOGISTYCZNY PROCES ZAOPATRZENIA ELEKTROCIĘPŁOWNI W WĘGIEL

Zarządzanie procesami logistycznymi w elektrociepłowni wiąże się z analizą wybranych obszarów związanych z zapewnieniem płynności dostaw ciepła i energii odbiorcom. Należą do nich głównie procesy logistyki zaopatrzenia, takie jak [7]:

1. Czas cyklu uzupełnienia zapasu, który jest sekwencją wielu zdarzeń, tj. :
  - wystąpienie potrzeby uzupełnienia zapasu surowców(fakt obiektywny),
  - stwierdzenie wystąpienia tej potrzeby,
  - przygotowanie zamówienia,
  - przyjęcie zamówienia przez dostawcę,
  - kompletacja lub produkcja surowca zgodnie z zamówieniem,
  - przygotowanie dostawy surowców do wysyłki,
  - transport dostawy surowców,
  - przyjęcie dostawy surowców (kontrola jakości),
  - złożenie w magazynie,
  - udostępnienie do zużycia.
2. Dostępność surowców (zapasów) w cyklu uzupełnienia zapasu. Analiza tego obszaru polegać będzie na uwzględnieniu prawdopodobieństwa wystąpienia braków w cyklu uzupełnienia zapasów. Częstość dostawy związana jest z szybką reakcją na potrzeby klienta. Analiza tego obszaru wymaga uwzględnienia wahań w terminach realizacji zamówienia.
3. Niezawodność dostawy dotyczy zgodności dostawy ze specyfikacją zamówienia odbiorcy. Rozpatrując poziom obsługi klienta [6] należy stwierdzić, że im jest on wyższy, tym wyższe są koszty realizacji tej obsługi.
4. Koncepcja kompleksowej analizy kosztów jest kolejnym problemem, rozpatrywanym w analizach zarządzania łańcuchem dostaw oraz zarządzania procesami logistycznymi. Ze względu na fakt, iż celem zarządzania procesami logistycznymi jest integracja zasobów wzdłuż łańcucha dostaw, konieczne jest zastosowanie takich kryteriów pomiaru, dzięki którym można będzie określić koszty i wyniki funkcjonowania każdego z ogniw tego łańcucha [1].

Niezmiernie ważne dla przedsiębiorstwa energetycznego jest uniknięcie strat poprzez zarządzanie procesami logistycznymi [15], które udostępnia wszystkie funkcjonalności niezbędne do efektyw-

nego prowadzenia działalności bez względu na panującą na rynku sytuację.

W praktyce oznacza to spełnienie czterech warunków :

- bezpieczeństwa technologicznego , a więc posiadanie odpowiednich i niezawodnych urządzeń oraz instalacji w sferze zarówno produkcji paliw, jak i ich wykorzystywania w procesach wytwórczych energii [5];
- opłacalność inwestycji w tych dwóch sferach z punktu widzenia kapitału;
- ciągłość i niezawodność dostaw paliwa o odpowiednich parametrach jakościowych oraz wytworzonej energii;
- akceptowalność cen powyższych produktów górniczych i energetycznych [6] (oznacza to taki poziom cen, który nie będzie powodował nieopłacalności produkcji u odbiorców przemysłowych oraz nadmiernego obciążenia budżetów gospodarstw domowych w przypadku odbiorców indywidualnych).

Ważnym elementem z punktu widzenia bezpieczeństwa ciągłości dostaw, a zatem zapewnienia płynności w elektrociepłowni, ma proces planowania dostaw paliw i gromadzenia zapasów [2],[4],[9],[11],[13],[14],[19],[20],[21], a zatem logistyka zaopatrzenia. Głównym powodem tworzenia zapasów w przedsiębiorstwach energetycznych jest konieczność wyrównywania różnych strumieni przepływów: materiałowych, finansowych i informacyjnych. Innym powodem gromadzenia zapasów jest oddziaływanie na procesy logistyczne czynnika losowego. Uniemożliwia on budowanie bezbłędnych prognoz, zmuszając tym samym do zabezpieczenia się przed ujemnymi skutkami losowych zakłóceń poprzez tworzenie odpowiednich rezerw. Decyzje logistyczne są zatem podejmowane w warunkach ryzyka [10].

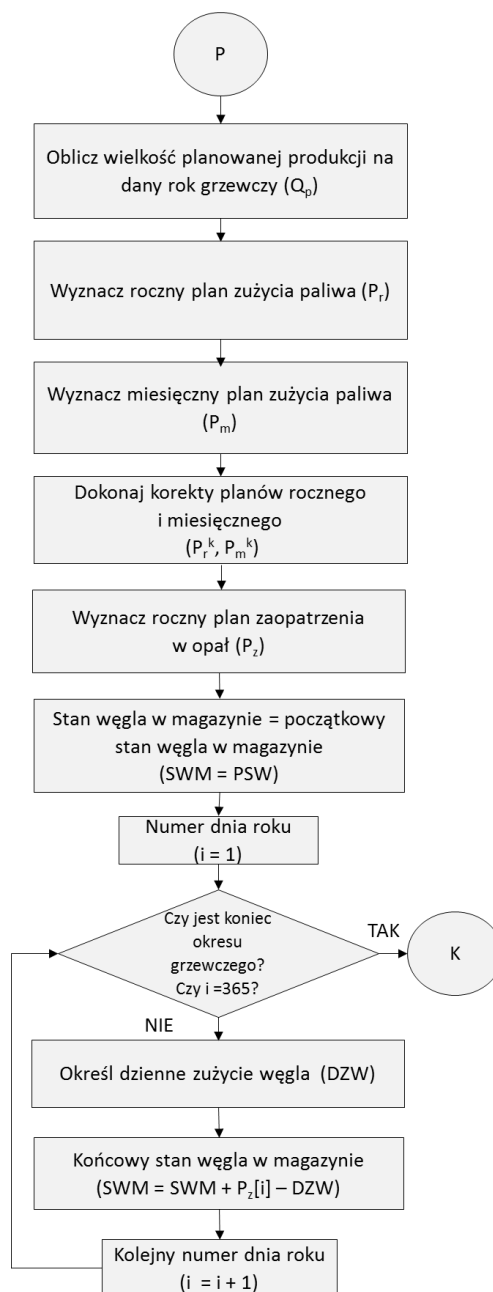
Przedsiębiorstwa energetyczne, aby zapewnić bezpieczeństwo ciągłości dostaw energii do odbiorców, muszą posiadać odpowiednie zapasy paliw [18] zabezpieczających utratę płynności w sytuacjach kryzysowych, które podlegają ścisłym kontrolom. Z jednej strony utrzymanie zapasów węgla na wysokim poziomie zapewnia bezpieczeństwo energetyczne obszaru, z drugiej zaś wiąże się z okresowym zamrażaniem znacznych środków finansowych. Z raportów NIK [3],[16] wynika, że w większości skontrolowanych przedsiębiorstw energetycznych wysokość gromadzonych zapasów znacznie przekraczała wielkości normatywne [24] wynikające z rozporządzenia w sprawie zapasów paliw [18]. W niektórych przedsiębiorstwach, w procedurach wewnętrznych, minimalny poziom zapasów bezpieczeństwa ustalono na znacznie wyższym poziomie niż wymagały tego normy.

## 2. MODEL LOGISTYCZNEGO PROCESU ZAOPATRZENIA ELEKTROCIĘPŁOWNI W WĘGIEL OPALOWY

Na podstawie wybranej elektrociepłowni funkcjonującej w Polsce, będącej wzorcem do przeprowadzenia badań, zaprezentowano dwa modele procesu zaopatrzenia elektrociepłowni w węgiel opalowy. Pierwszy z nich to model zbudowany w oparciu o dostępne dokumenty pozyskane z elektrociepłowni (nazywany modelem MBD), natomiast drugi to Model Symulacyjny (w skrócie MS), w którym pewne parametry symulacji zostały dopasowane do zmiennych, opisujących elektrociepłownię.

### 2.1. Model zaopatrzenia elektrociepłowni w węgiel opalowy

Pierwszy model procesu zaopatrzenia elektrociepłowni w węgiel opalowy bazuje na dokumentach udostępnionych przez elektrociepłownię (MBD). Odtwarza on rzeczywiste procedury stosowane podczas procesu zaopatrzenia przedsiębiorstwa w węgiel [7]. Model MBD można przedstawić za pomocą algorytmu (rys. 1.).



Rys.1. Rzeczywisty model zaopatrzenia elektrociepłowni w węgiel (MBD) [7]

Elektrociepłownia zmierzająca do zapewnienia ciągłości dostaw energii do odbiorców jest przez odpowiednie planowanie zaopatrzenia w węgiel (rys.1.) przy jednoczesnym utrzymaniu awaryjnego stanu węgla w magazynie, który wystarczy na pokrycie założonych wielkości miesięcznego zużycia. Planowanie to jest dokonywane na początku pewnego wybranego rocznego okresu grzewczego. Okres ten rozpoczyna się zazwyczaj w listopadzie, a kończy się w październiku roku następnego. W zależności od zużycia węgla w trakcie jednego okresu grzewczego, elektrociepłownia może dokonywać korekt planu zaopatrzenia w węgiel, ale procedura ta nie jest sformalizowana. Brak jest odpowiednich dokumentów, które jasno określają proces dokonywania korekt zakontraktowanego już wcześniej węgla. Korekty dokonywane są na podstawie wcześniejszych doświadczeń osób, które zajmują się zaopatrzeniem w węgiel, dlatego też została ona pominięta w algorytmie (rys.1.)

Planowanie zużycia węgla w elektrociepłowni opiera się na przewidywanym zapotrzebowaniu na energię przez odbiorców na dany rok. Wynika ono z mocy zamówionej przez odbiorców, jak

i przewidywanych parametrów pogody ustalanej na podstawie wieloletnich obserwacji meteorologicznych. Na podstawie planów zużycia energii wylicza się planowaną produkcję energii elektrycznej, a następnie z tych danych wyznacza się planowane dzienne zużycie węgla.

## 2.2. Model zaopatrzenia elektrociepłowni w węgiel opałowy – model symulacyjny (MS)

Model symulacyjny MS opracowano na podstawie rzeczywistego modelu zaopatrzenia elektrociepłowni w węgiel (model MBD). Odtwarza on te same procedury planowania miesięcznego i rocznego zaopatrzenia elektrociepłowni w opał jak model MBD. Model MS jest skonstruowany w taki sposób, żeby można było przeprowadzić symulację komputerową pozwalającą na określenie optymalnych procedur zaopatrzenia elektrociepłowni w węgiel oraz wyznaczenia optymalnych wartości zmiennych charakteryzujących ten proces. Model MS oprócz procedur planowania zastosowanych również w modelu MBD, dostarcza inne możliwości dopasowania zaopatrzenia w węgiel do zaistniałych potrzeb. Model MS implementuje propozycję procedur uruchamianych przez elektrociepłownię w odpowiedzi na stany węgla w magazynie wymagające odpowiedniej reakcji, tj. dokupienia dodatkowego węgla albo rezygnacji z części zakontraktowanego już wcześniej węgla.

Postać algorytmiczną modelu symulacyjnego MS zaopatrzenia elektrociepłowni w węgiel opałowy przedstawiono na rysunku 2.

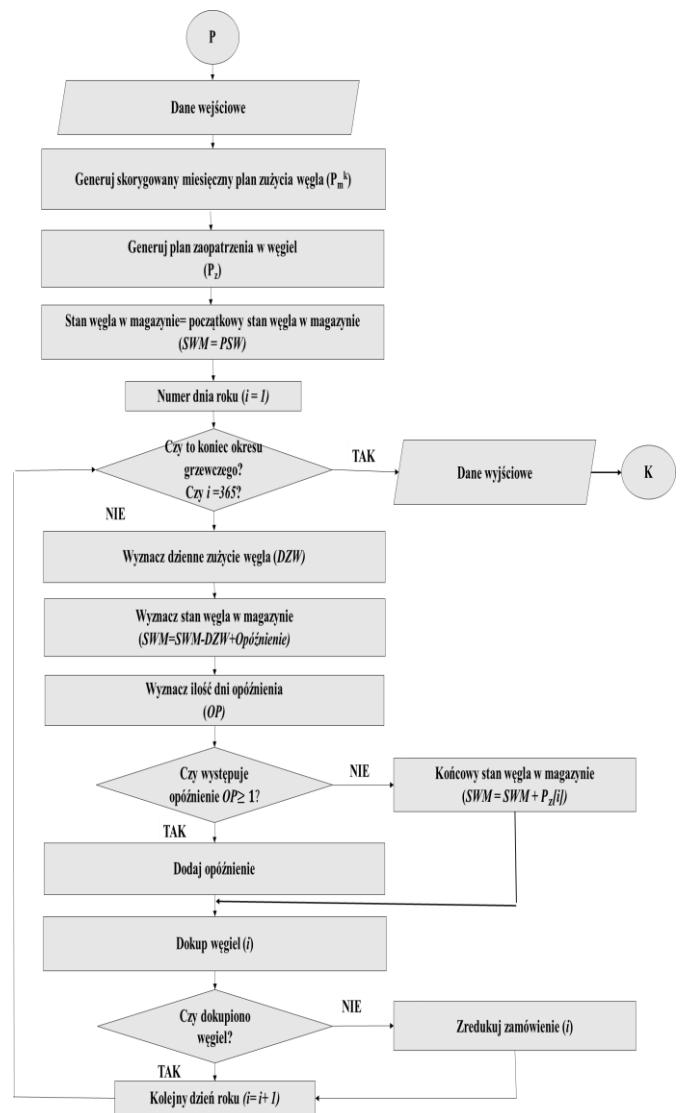
W modelu MS (rys. 2.) pierwszą czynnością realizowaną podczas symulacji jest opracowanie skorygowanego planu miesięcznego zużycia węgla  $P_m^k$ . Model MS umożliwia konstrukcję planu  $P_m^k$  na dwa sposoby. Pierwszy z nich zakłada ustalenie planowanego miesięcznego zużycia na pewnym założonym poziomie niezależnym od aktualnego zakontraktowanego zapotrzebowania na węgiel oraz zużycia węgla w poprzednich latach. W tym przypadku założono, że jedyną operacją w trakcie roku grzewczego przeznaczoną do korekty wielkości zamówionego węgla jest jego dokupowanie, nie ma możliwości redukcji ilości wcześniej już zakontraktowanego węgla.

Model MS uwzględnia również inne elementy istotne z punktu widzenia wiarygodności prowadzonych symulacji, czyli:

- losowość dziennego zużycia węgla wynikającą z niedeterministycznego zapotrzebowania na ciepło,
- opóźnienia w dostawach węgla wynikające z trudnych warunków pogodowych mających wpływ na skuteczność systemu transportowego.

W modelu MS ustalone zostały następujące założenia szczegółowe:

- ciepła systemowego nie można niczym zastąpić,
- każdy kocioł potrzebuje węgla o określonej kaloryczności,
- nie możemy zastąpić węgla kamiennego biomasą,
- nie analizujemy sprawności instalacji i urządzeń wykorzystywanych do produkcji i dystrybucji ciepła i energii,
- gospodarka odpadami nie ma znaczącego wpływu na dostawy, magazynowanie paliw czy dystrybucję ciepła i energii.



Rys. 2. Model symulacyjny (MS) zaopatrzenia elektrociepłowni w węgiel [7]

Model MS posiada możliwość parametryzacji, w celu analizy różnych wariantów funkcjonowania elektrociepłowni. Przedsiębiorstwo może działać w różnorodnych warunkach pogodowych, z czego wynika różne zużycie węgla. Parametrami modelu MS są zatem:

1.  $L_P$  – liczba profili zużycia węgla. W celu przeprowadzenia badań symulacyjnych zdefiniowano 15 profili przykładowego dziennego zużycia węgla w roku zarówno profile ze skrajnym, jak i „średnim” zużyciem węgla. Profile ze skrajnym zużyciem to te odpowiadające okresom grzewczym z dużym zużyciem węgla oraz te odpowiadające okresom, w których zużycie węgla jest małe. „Średnie” zużycie to zużycie, które znajduje się pomiędzy zużyciem bardzo dużym oraz małym, występujące bardzo często w Polsce.
2.  $ZW$  – macierz profili zużycia węgla, zawierająca codzienne zużycie węgla w ciągu 15 lat, reprezentująca w założeniu spektrum możliwych sytuacji, w jakich może funkcjonować elektrociepłownia w Polsce.
3. AZ1, AZ2, AZ3 – numery profili zawierających archiwalne (1,2,3 lata wstecz) zużycie węgla, numery wskazujące kolumny w  $ZW$  odpowiadające rzeczywistemu zużyciu węgla roku, dwa lata i trzy lata wstecz w stosunku do roku, w którym prowadzona jest symulacja. W stosunku do wektorów kolumnowych odpowiadających

- ww. numerom, stosowane będzie oznaczenie  $AZM1_{(365 \times 1)}$ ,  $AZM2_{(365 \times 1)}$ ,  $AZM3_{(365 \times 1)}$ .
4.  $RZ[i]$  – numer profilu  $i = 1, 2, \dots, 15$  zawierającego oczekiwane zużycie węgla w roku, w którym prowadzona jest symulacja<sup>1</sup>. Wektor kolumnowy macierzy  $ZW$  odpowiadający temu numerowi oznaczany będzie  $RZM_{(365 \times 1)}$ .
  5.  $\sigma_{RZ}$  – odchylenie standardowe dla dziennego zużycia węgla.
  6.  $ZZ[i]$  – numer profilu  $i = 1, 2, \dots, 15$  zawierającego zużycie dziennie wykorzystywane na początku symulacji do określenia ilości węgla potrzebnej do dostarczenia przez elektrociepłownię mocy zamówionej przez odbiorców.  $ZZM_{(365 \times 1)}$  to wektor kolumnowy macierzy  $ZW$  o numerze  $ZZ$ .
  7.  $WM$  – pojemność magazynu, ilość węgla wyrażana w tysiącach ton, która może się pomieścić w magazynie używanym przez elektrociepłownię do składowania węgla<sup>2</sup>.
  8.  $PSW$  – początkowy stan węgla w magazynie, ilość węgla w magazynie na początku roku grzewczego w tysiącach ton, ilość węgla, która pozostała w magazynie po poprzednim roku grzewczym.
  9.  $WSM_{(12 \times 1)}$  – macierz zawierająca współczynniki potrzebne do obliczenia stanów minimalnych węgla w magazynie dla każdego miesiąca w roku. Współczynniki te zostały podane w poprzednim podrozdziale, model MS umożliwia jednak ich dowolną modyfikację. Macierz zawierająca stany minimalne oznaczana będzie w pracy jako  $SM_{(12 \times 1)}$ .
  10.  $TW$  – czas transportu węgla, czas (liczba dni) pomiędzy zamówieniem węgla w kopalni, a jego dotarciem do magazynu.
  11.  $D_{max}$  – maksymalna ilość węgla, którą można dziennie dostarczyć do magazynu wyrażana w tysiącach ton.
  12.  $K_z$  – koszt zakupu i dostarczenia jednej tony węgla (koszt zakupu węgla zakupionego zgodnie z planem) wyrażany w jednostkach wirtualnego pieniądza.
  13.  $wsp_d = \frac{K_d}{K_z}$ , gdzie  $K_d$  jest kosztem, który elektrociepłownia musi ponieść za zakupienie oraz dostarczenie jednej tony węgla w trakcie procesu grzewczego (zakup węgla niezaplanowanego) – współczynnik wykorzystywany w trakcie symulacji do obliczenia  $K_d$ .
  14.  $wsp_r = \frac{K_r}{K_z}$ , gdzie  $K_r$  jest kosztem, który elektrociepłownia musi ponieść za rezygnację w trakcie roku grzewczego z zakontraktowanej wcześniej jednej tony węgla – współczynnik wykorzystywany w trakcie symulacji do obliczenia  $K_r$ .
  15.  $wsp_{mag}$  – współczynnik wykorzystywany w trakcie symulacji do wyznaczenia kosztu, który jest związany z utrzymaniem magazynu, odnosi się on do  $K_z$ .
  16.  $\sigma_{op}$  – odchylenie standardowe zmiennej losowej oznaczającej wielkość opóźnienia w dostarczeniu dziennej dostawy węgla umieszczonej w macierzy rocznego planowanego zaopatrzenia w węgiel  $P_z$ . Wartość oczekiwana opóźnienia została w modelu MS ustalona na stałe i wynosi 0.

Oprócz parametrów podanych powyżej, model MS posiada jeszcze zmienne, które definiują nieopisane do tej pory procedury planowania, dokopywania węgla w trakcie roku grzewczego oraz redukcji ilości zakontraktowanego wcześniej węgla, z tego też względu te zmienne zdefiniowane zostaną w dalszej części pracy.

Implementacja modelu MS umożliwi jego uruchomienie zarówno dla pojedynczej wartości  $RZ$  – profilu zużycia węgla – w celu analizy zachowania się elektrociepłowni dla zużycia węgla w jednym wybranym roku grzewczym, jak również dla  $RZ = 1, 2, 3, \dots, L_p$ . W tym przypadku także możliwa jest analiza pracy elektrociepłowni w każdym z wyspecyfikowanych profili dziennego zużycia węgla. Analizę tę można prowadzić każdorazowo dla różnych wartości wyżej opisanych parametrów (1-16).

Ocena funkcjonowania elektrociepłowni reprezentowanej przez model MS, dla ustalonego zestawu parametrów wejściowych zdefiniowanych powyżej, realizowana jest poprzez analizę danych wyjściowych generowanych przez model. Do danych tych należą zarówno zmienne określające dzienny stan węgla w magazynie elektrociepłowni, jak również statystyki wyznaczane dla wszystkich profili znajdujących się w macierzy  $ZW$ . Danymi wyjściowymi modelu MS są:

Statystyki wyznaczane dla wszystkich profili symulacji:

- a)  $LPSM_{\bar{s}r}$ ,  $LPSM_{max}$  – średnia oraz maksymalna liczba dni uzyskana dla  $L$  symulacji<sup>3</sup>, w których stan węgla w magazynie znajdował się poniżej ustalonego poziomu minimalnego określonego w macierzy  $SM$ ,  $SWM < SM[m]$ , gdzie  $m$  jest numerem miesiąca, w którym aktualnie znajduje się symulacja.
- b)  $LPWM_{\bar{s}r}$ ,  $LPWM_{max}$  – średnia oraz maksymalna liczba dni uzyskana dla  $L$  symulacji, w których stan węgla w magazynie przewyższał pojemność magazynu  $SWM > WM$ .
- c)  $LBW_{\bar{s}r}$ ,  $LBW_{max}$  – średnia oraz maksymalna liczba dni uzyskana dla  $L$  symulacji, w których zabrakło węgla w magazynie  $SWM < 0$ .
- d)  $LDW_{\bar{s}r}$ ,  $LDW_{max}$  – średnia oraz maksymalna liczba dni uzyskana dla  $L$  symulacji, w których nastąpiło dokupienie węgla dla elektrociepłowni w trakcie roku grzewczego.
- e)  $LRW_{\bar{s}r}$ ,  $LRW_{max}$  – średnia oraz maksymalna liczba dni uzyskana dla  $L$  symulacji, w których nastąpiła redukcja wielkości zamówionego węgla dla elektrociepłowni w trakcie roku grzewczego.
- f)  $KCFC_{\bar{s}r}$ ,  $KCFC_{max}$  – średni oraz maksymalny koszt funkcjonowania elektrociepłowni dla  $L$  symulacji.
- g)  $KCDW_{\bar{s}r}$ ,  $KCDW_{max}$  – średni oraz maksymalny koszt poniesiony w związku z dokupieniem węgla w trakcie roku grzewczego dla  $L$  symulacji.
- h)  $KCRW_{\bar{s}r}$ ,  $KCRW_{max}$  – średni oraz maksymalny koszt poniesiony w związku z redukcją wielkości zamówionego węgla w trakcie roku grzewczego dla  $L$  symulacji.

<sup>1</sup> Rzeczywiste zużycie w każdym dniu symulacji jest wartością losową o rozkładzie normalnym o parametrach:  $\mu = RZM[i]$ ,  $\sigma_{RZ}$ , gdzie  $i$  jest numerem dnia w roku  $i = 1, 2, \dots, 365$ .

<sup>2</sup> Parametr ten można zinterpretować również jako maksymalną ilość węgla, którą zakładamy, że ze względów ekonomicznych będziemy przechowywać w magazynie, w takim przypadku magazyn może mieć większą pojemność niż  $WM$ .

<sup>3</sup> W przypadku, kiedy symulacje prowadzone są dla wszystkich profili w macierzy  $ZW$  takie symulacje należy traktować jako  $L_p$  oddzielnych symulacji dla tych samych danych wejściowych. Nie występuje w tym przypadku sytuacja, kiedy mamy do czynienia z ciągiem kolejnych  $L_p$  lat.

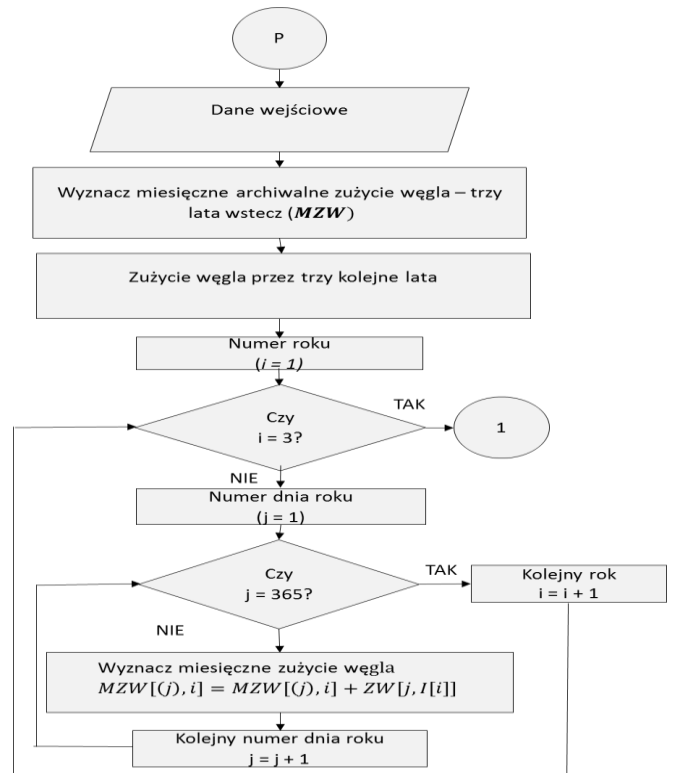
## Parametry dzienne

- i)  $SWM$  – stan węgla w magazynie w każdym dniu symulacji.
- j)  $DZW$  – dzienne zużycie węgla,  
 $DZW = N(RZM[i], \sigma_{RZ}^2)$ ,  $i$  jest dniem w roku  
 $i = 1, 2, \dots, 365$ .

- k)  $P_z[i]$  – dzienna wartość w planie zaopatrzenia elektrociepłowni w węgiel (ilość węgla, która ma być dostarczona do magazynu).
- l)  $DW$  – ilość węgla zamówiona (dokupiona) w danym dniu trwającego okresu grzewczego (węgiel wcześniej niezaplanowany), zakupiony węgiel jest dostarczany do magazynu elektrociepłowni po  $TW$  dniach od złożenia zamówienia.
- m)  $RW$  – ilość węgla, o którą zostało zredukowane roczne zamówienie węgla złożone na początku okresu grzewczego, redukcja dotyczy węgla wcześniej zaplanowanego.
- n)  $OP$  – liczba dni opóźnienia w dostarczeniu dziennego zaopatrzenia w węgiel ( $P_z$ ),  $OP = N(0, \sigma_{op}^2)$ , opóźnienie oznacza, że węgiel z dnia  $i$  dostarczany jest do magazynu elektrociepłowni w dniu  $i + OP$ .

Drugi sposób podejścia do konstrukcji planu  $P_m^k$ , to wyznaczenie go na podstawie danych zgromadzonych w macierzy  $ZW$ , zawierającej codzienne zużycie węgla w ciągu 15 lat, w sposób analogiczny do tego zastosowanego w modelu MBD. W tym celu wykorzystywane są trzy kolumny tej macierzy jako zużycie archiwalne z trzech ostatnich lat ( $AZ1, AZ2, AZ3$ ) oraz jedna kolumna reprezentująca zamówioną moc cieplną w danym roku grzewczym wyrażoną w ilości węgla ( $ZZ$ ). Zarówno zużycie archiwalne, jak i zamówiona moc grzewcza są określone dla każdego dnia w roku grzewczym. W przeciwieństwie do modelu MBD zamówiona moc cieplna nie dotyczy całego roku grzewczego, ale pojedynczych dni.

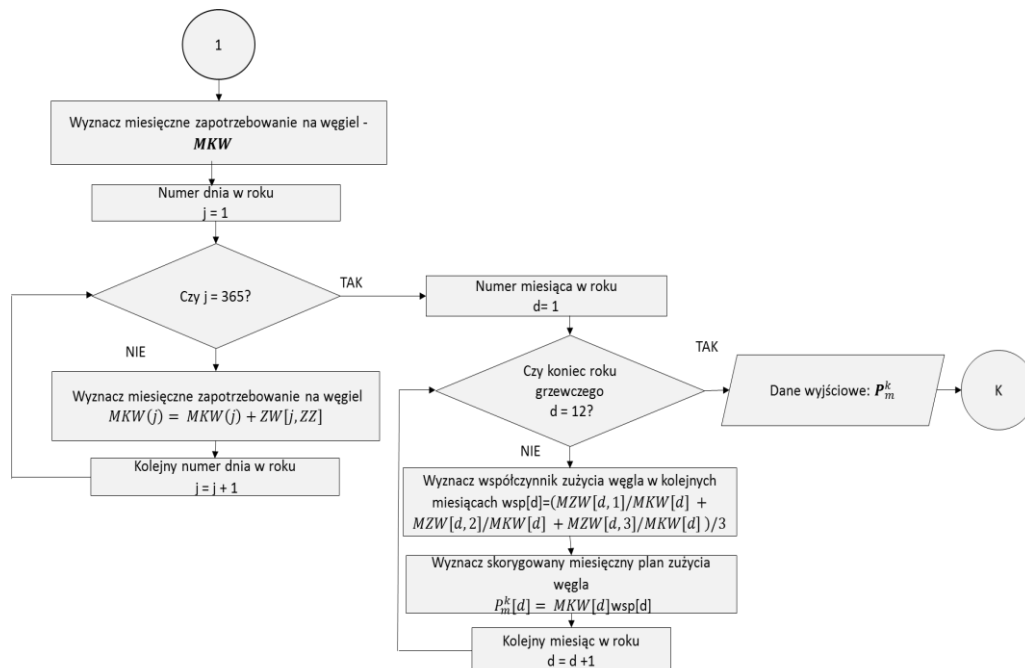
Proces generowania planu  $P_m^k$  na podstawie zawartości macierzy  $ZW$ , można szczegółowo przedstawić w postaci algorytmu (rys. 3., rys. 4).



Rys. 3. Algorytm wyznaczenia skorygowanego miesięcznego planu zużycia węgla  $P_m^k$

Algorytm przedstawiony powyżej w postaci graficznej (rys. 3., rys. 4.) prezentuje sposób wyznaczania skorygowanego miesięcznego planu zużycia węgla na podstawie trzech archiwalnych lat. Algorytm wyznaczania planu  $P_m^k$  zakłada, że zamówiona moc grzewcza jest w każdym roku grzewczym taka sama.

Następną czynnością w ramach modelu MS jest określenie dziennego planu zaopatrzenia elektrociepłowni w węgiel  $P_z$ , czyli jest to ilość węgla dostarczanego każdego dnia do magazynu. Czynność ta jest realizowana oddzielnie dla każdego miesiąca w



Rys. 4. Algorytm wyznaczenia skorygowanego miesięcznego planu zużycia węgla  $P_m^k$  (c.d.)

roku. Miesięczne zapotrzebowanie na węgiel jest rozbijane najpierw na  $n$  części o wielkości nieprzekraczającej maksymalnej ilość węgla, która może być dziennie dostarczona do magazynu ( $D_{max}$ ).

Części te przyporządkowywane są do pierwszych dni roboczych (bez sobót, niedziel i świąt) w miesiącu. Reszta o wielkości  $P_m^k[i] - nD_{max}$  jest dostarczana w kolejny dzień roboczy.

W każdym dniu ilość dostarczanego węgla nie przekracza  $D_{max}$ .

W kolejnym kroku inicjowany jest stan węgla w magazynie, który w pierwszym dniu symulacji jest równy początkowej ilości węgla w magazynie ( $SWM = PSW$ ), a następnie rozpoczyna się symulacja roku grzewczego. W każdym dniu roku grzewczego następuje modyfikacja stanu magazynu o losową wartość dziennego zużycia węgla, wielkość węgla z opóźnioną dostawą oraz dzienną ilość węgla dostarczanego do magazynu. Ponadto, w każdym dniu analizowana jest pojemność magazynu oraz dzienny plan dostaw i na tej podstawie podejmowana jest decyzja dotycząca modyfikacji wielkości zamówionego węgla – dokupienia węgla lub redukcji wielkości zakontraktowanego już wcześniej węgla.

Bardzo ważnym elementem modelu MS są procedury modyfikacji ilości zamówionego do elektrociepłowni węgla w trakcie roku grzewczego. Obie procedury, czyli procedura dokupienia węgla oraz procedura redukcji ilości zamówionego wcześniej węgla, mogą zostać zapisane w postaci następującej formuły:

Procedura modyfikacji ilości zamówionego węgla:

$$PMZW(P_1, P_2, P_3, P_4) = \begin{cases} \left( \frac{P_1 - P_2}{WM} \right)^{P_3} P_4 & \text{jeśli } P_2 \leq P_1 \\ 0 & \text{w przeciwnym przypadku} \end{cases} \quad (1)$$

gdzie:

$P_1, P_2, P_3, P_4$  – są zmiennymi procedury modyfikacji.

Interpretacja zmiennych  $PD_1, PD_2, PD_3, PD_4$  (zmiennie procedury dokupowania) w uogólnionej formule modyfikacji zamówionego węgla (2.10) jest inna niż zmiennych  $PR_1, PR_2, PR_3, PR_4$  (zmiennie procedury redukcji), dlatego też poniżej podano odniesienie każdej z ww. zmiennych do zmiennych w formule (2.10), a także interpretację każdej z nich:

- $PD_1 = P_1, PR_1 = P_2$  – zmiennie procedury oznaczające „próg”, czyli wielkość węgla w magazynie, która wymaga interwencji, czyli dokupienia węgla albo jego redukcji;
- $PD_2 = P_3, PR_2 = P_3$  – zmiennie procedury oznaczające „potęgę” – wartość liczbowa nieposiadająca interpretacji odnoszącej się do problemu zaopatrzenia elektrociepłowni w węgiel;
- $PD_3 = P_4, PR_3 = P_4$  – zmiennie procedury oznaczające „mnożnik” – wartość liczbowa nieposiadająca interpretacji odnoszącej się do problemu zaopatrzenia elektrociepłowni w węgiel;
- $PD_4, PR_4$  – zmiennie procedury oznaczające „liczbę dni”, obie zmiennie określają przyszły punkt w czasie, na który prognozowany będzie stan węgla w magazynie.

Przedstawiony powyżej model MS pozwala przedsiębiorstwom energetycznym na planowanie zakupów i zapasów węgla minimalizujących koszty funkcjonowania elektrociepłowni, a także konstruowanie umów z dostawcami węgla. Z drugiej strony umożliwia operatywne zarządzanie zapasami i zakupami węgla, bez gromadzenia zbędnych zapasów, ale przy zachowaniu bezpieczeństwa dostaw energii odbiorcom.

## PODSUMOWANIE

Przedsiębiorstwo energetyczne, żeby mogło utrzymać się na rynku i uzyskać przewagę konkurencyjną, musi posiadać sprawnie działający system logistyczny. Bez dobrze zaplanowanego, zorganizowanego, kierowanego i kontrolowanego systemu logistycznego, firma nie ma szans na przetrwanie w ciągle zmieniających się warunkach rynkowych i wśród rosnącej konkurencji.

Jednym z najważniejszych działań, jakie przedsiębiorstwa energetyczne powinny wdrożyć, aby zapobiec nadmiernemu wzrostowi kosztów energii elektrycznej i ciepłej dla odbiorców, jest poprawa ich efektywności, rozumiana jako optymalizacja kosztów. Poprawa efektywności przedsiębiorstw energetycznych jest obowiązkiem nałożonym na nie przez prawo. Dlatego też odpowiednio dobrane procesy zaopatrzenia mogą zasadniczo ograniczyć ilość dostaw węgla do elektrociepłowni i wielkość gromadzonych zapasów, co w znaczący sposób może wpłynąć na koszty, jednocześnie gwarantując bezpieczeństwo energetyczne obsługiwane obszaru.

## BIBLIOGRAFIA

1. Christopher M., *Logistyka i zarządzanie łańcuchem dostaw, strategię obniżki kosztów i poprawy poziomu usług*. Wydanie II, PCDL 2000.
2. Gajdzik B., Kurp A.: *Polityka zapasów w systemie obsługi infrastruktury produkcji na przykładzie elektrociepłowni - analiza ABC/XYZ*, *Gospodarka Materialowa i Logistyka*, 7/2012.
3. *Informacja o wynikach kontroli tworzenia i utrzymania zapasów paliw przez elektrownie i elektrociepłownie*, Najwyższa Izba Kontroli, 2011, <https://www.nik.gov.pl/plik/id,3392,vp,4297.pdf>. [wgląd: grudzień 2015]
4. Juszcak-Szumacher G., Sadowski A.: *Strategiczne zarządzanie łańcuchem dostaw*, *Logistyka* 6/2010.
5. Kozyra J.: *Zdolności przesyłowe i wytwórcze krajowego systemu elektroenergetycznego*, *Odnawialne Źródła Energii*, 2012.
6. Krajewska R., Łukasik Z.: *Alternatywne dostawy paliw dla rynku energetycznego w Polsce*, *TTS* 9/2012.
7. Krajewska R., Łukasik Z.: *Model procesu zaopatrzenia elektrociepłowni w węgiel opałowy*, *Logistyka* 1/2016.
8. Krajewska R., Łukasik Z.: *Obsługa klienta jako podstawowy element kształtowania strategii logistycznej przedsiębiorstw*, *Logistyka* 3/2011.
9. Krajewska R., Łukasik Z.: *Projektowanie systemów magazynowania*, *Logistyka*, 6/2009.
10. Krajewska R., Łukasik Z.: *Zapewnienie płynności dostaw paliw stałych do elektrociepłowni poprzez sprawne zarządzanie ryzykiem operacyjnym*, *Autobusy. Technika, Eksploatacja, Systemy transportowe*, 3/2013.
11. Krzyżaniak S.: *Podstawy zarządzania zapasami w przykładach*, *Biblioteka Logistyka*, Poznań 2008.
12. Łukasik Z., Nowakowski W., Kuśmińska-Fijałkowska A.: *Zarządzanie bezpieczeństwem infrastruktury krytycznej*, *Logistyka* 4/2014.
13. Milewski D.: *Problemy optymalizacji i modelowania w uzupełnianiu zapasów*, *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego. Problemy Transportu i Logistyki*, nr 17, 2012, s. 141-150.
14. Niemczyk A.: *Zapasy i magazynowanie*, t. 2, *Instytut Logistyki i Magazynowania*, Poznań 2008.
15. Nowakowski T.: *Problematyka niezawodności procesów logistycznych. Proces magazynowania*. *Logistics and Transport*, Vol.4, No 1 (2007).
16. *Organizacja zaopatrzenia w węgiel kamienny producentów energii elektrycznej i ciepłej w latach 2004- 2006 (I półr.)*, ze

- szczególnym uwzględnieniem źródeł i kosztów zakupu tego surowca. NIK Delegatura w Katowicach, 2007.
17. Pfohl H.C.: *Systemy logistyczne. Podstawy organizacji i zarządzania*, Wydawnictwo Biblioteka Logistyka, Poznań 2001.
  18. Rozporządzenie Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej w sprawie zapasów paliw w przedsiębiorstwach energetycznych z dnia 12 lutego 2003 r. (Dz. U. nr 39, poz. 338 ze zm.).
  19. Sabo A., Trzaskalik T.: *Optymalizacja poziomu zapasów z uwzględnieniem prognoz sprzedaży przy wykorzystaniu modeli adaptacyjnych prognozowania, Modelowanie preferencji a ryzyko*, nr 96, 2011, s.393-407.
  20. Sarjusz-Wolski Z.: *Sterowanie zapasami w przedsiębiorstwie*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2000.
  21. Sarjusz-Wolski Z.: *Strategia zarządzania zapasami. Praktyka logistyki biznesu*, Agencja Wydawnicza Placet, Warszawa 1998.
  22. Skowron-Grabowska B.: *Analiza wpływu zarządzania zapasami na wyniki finansowe przedsiębiorstw energetycznych*, Acta Universitatis Lodzianis. Folia Oeconomica, Tom 226 Przedsiębiorstwo w warunkach gospodarki rynkowej, 2009, s. 171-184.
  23. Szymła W.: *Efekty restrukturyzacji przedsiębiorstw sektora elektroenergetycznego a bezpieczeństwo energetyczne Polski po 1989 r.*, Zarządzanie Publiczne / Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie, nr 4 (26), 2013, s. 20-33.
  24. *W energetyce zapasy węgla ciągłe powyżej obowiązkowych*, artykuł dostępny na stronie: [http://energetyka.wnp.pl/w-](http://energetyka.wnp.pl/w-energetyce-zapasy-węgla-ciagle-powyzej-obowiazkowych)

energetyce-zapasy-węgla-ciagle-powyzej-obowiazkowych, 250082\_1\_0\_0.html [wgląd: czerwiec 2015]

## Logistics process of supply power plants with coal

*Paper presented models of the process of supply power plant with coal. The first model (MBD) take into account the actual procedures used in the selected power plant during the supply of coal. It describes how to plan fuel consumption, as well as the principles of planning and ordering of fuel on the basis on the documents obtained from CHP. The second presented model was used in the processes of simulation allows to optimize procurement coal procedure at the power plant.*

Autorzy:

dr **Renata Krajewska** – Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu, Wydział Transportu i Elektrotechniki, Instytut Systemów Transportowych i Elektrotechniki, Zakład Logistyki i Marketingu, [r.krajewska@uthrad.pl](mailto:r.krajewska@uthrad.pl).

prof. dr hab. inż. **Zbigniew Łukasik** – Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu, Wydział Transportu i Elektrotechniki, Instytut Automatyki i Telematyki, Zakład Automatykacji Procesów.