

Ignacy Łuczak, Arkadiusz Utrata**

TEORETYCZNE ASPEKTY PROGNOZOWANIA OBSAD DLA WYBRANYCH PROCESÓW GÓRNICZYCH Z WYKORZYSTANIEM MODELI MASOWEJ OBSŁUGI**

1. Wstęp

Celem prognozowania jest przewidywanie przyszłych faktów. Podstawowe metody prognozowania bazują na analizie danych źródłowych dostępnych w postaci szeregu czasowego. W prognozowaniu wykorzystuje się również dane źródłowe opisujące badaną rzeczywistość w postaci zmiennych objaśnianych i objaśniających, co pozwala na tworzenie modeli przyczynowo-skutkowych. Istnieją jednak w otaczającej rzeczywistości, w szczególności w górnictwie, procesy (np. realizowane w ramach niestabilnych robót pomocniczych), których zadaniem jest zaspokajanie potrzeb zgłaszanych przez oddziały, realizujące główne procesy technologiczne w kopalni. Przebiegu takich procesów nie da się efektywnie prognozować, wykorzystując czy to klasyczne metody prognozowania, czy też metody prognostyczne oparte na modelach przyczynowo-skutkowych. Wynika to z faktu, że takich procesów nie można efektywnie opisać poprzez określenie zależności między zmienną objaśnianą a zmiennymi objaśnianymi, trudno jest też skompletować odpowiedni szereg czasowy, charakteryzujący jedną czy też kilka cech procesu. Stąd pozostaje badanie relacji, jakie mogą zachodzić między strumieniem zgłoszeń wymagających realizacji (strumieniem wchodzącym) i strumieniem zaspokajającym (strumieniem wychodzącym). Znajomość tej relacji pozwala na przewidywanie skutków przebiegu tych procesów i podjęcie na tej podstawie odpowiednich decyzji zarządczych. Taki sposób podejścia do opisu procesu jest charakterystyczny w modelowaniu cyfrowym, wykorzystującym teorię i modele masowej obsługi.

* Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

** Artykuł opracowano w ramach pracy statutowej 11.11.100.971, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii AGH

2. Charakterystyka pomocniczych robót dołowych

Pomocniczymi robotami dołowymi w kopalniach nazywa się wszystkie prace wykonywane pod ziemią, a niezaliczane do robót przodkowych [1, 13, 15]. Są to zatem roboty niezwiązane bezpośrednio technologicznie z postępowaniem przodków wybierkowych (eksploatacyjnych) i przygotowawczych, ale konieczne do prawidłowego funkcjonowania tych przodków. Od ilości i jakości pracy wykonawców zatrudnionych na stanowiskach pomocniczych zależy ciągłość pracy przodków, a tym samym wielkość wydobycia kopaliny użytecznej. Do wykonywania robót pomocniczych wydziela się w strukturze każdej kopalni oddziały robót pomocniczych, o odpowiednim zakresie obowiązków służbowych (np. oddziały mechaniczne, elektryczne, łączności i sygnalizacji itp.).

W każdym oddziale robót pomocniczych można wyróżnić następujące grupy wykonawców:

- wykonawcy mający stały zestaw czynności do wykonywania (wykonawcy obsługujący stabilne roboty pomocnicze i posiadający stałe miejsca pracy),
- wykonawcy niemający stałego zestawu czynności (wykonawcy obsługujący niestabilne roboty pomocnicze).

Czynnikami decydującymi o podziale robót pomocniczych na stabilne i niestabilne są [1, 15]:

- stałość zakresu treści technologicznej prac realizowanych w ramach zadania roboczego,
- cykliczność powtarzania się treści zadania roboczego,
- stabilność warunków wykonywania zadania roboczego,
- niezależność lub względna zależność pracy stanowiska roboczego realizującego zadanie produkcyjne.

Wykonawcy realizujący stały zestaw czynności, niezależnie od zakresu obowiązków, przebywają przez całą zmianę na jednym konkretnym stanowisku pracy.

Dla tej grupy wykonawców ustala się obsadę wynikającą z [13]:

- normatywów liczebności (normatywów obsługi);
- normatywów wyposażenia technicznego;
- odpowiednich przepisów związanych z kontrolą parametrów produkcyjnych, bhp, wentylacyjnych, pożarowych itp.;
- przyjętych norm produkcyjnych (czasowych) i czasookresu wykonania zadania roboczego; dotyczy to tych wykonawców, którzy wykonują zadania robocze, dla których istnieje możliwość określenia normy pracy.

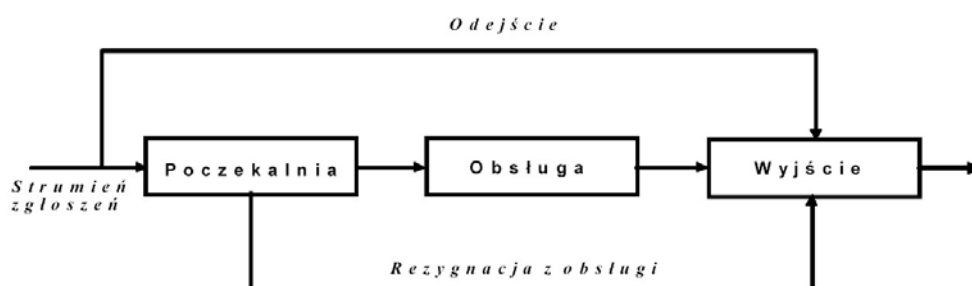
Wykonawcy niemający stałego zestawu czynności (wykonawcy o niestabilnym charakterze pracy) wykonują różne prace, w różnych miejscach kopalni, w zależności od przyporządkowania i aktualnych obowiązków danego oddziału robót pomocniczych. Dla tej grupy wykonawców trudno jest jednoznacznie określić wielkość obsady tradycyjnymi metodami ze względu na dużą i często losową zmienność pracochłonności wykonywanych prac, jak również ze względu na zmienność zakresu technologicznego i ilościowego wykonywanych zadań produkcyjnych. W przypadku konieczności wykonywania większego zakresu prac o niestabilnym charakterze, zwiększa się obsadę wykonawców niemających stałego zestawu realizowanych czynności, poprzez zmniejszenie obsady wykonawców mających stały zestaw realizowanych czynności.

Wobec powyższego w grupie wykonawców o niestabilnym charakterze pracy można wyróżnić dwie podgrupy:

- 1) wykonawcy o zmiennym zakresie czynności, ale stanowiący stałą obsadę przeznaczoną do wykonywania różnych prac, na różnych stanowiskach pracy o charakterze niestabilnym;
- 2) wykonawcy o zmiennym zakresie czynności, ale stanowiący obsadę „ruchomą” przeznaczoną do wykonywania niestabilnych prac wówczas, gdy stała obsada niestabilnych robót nie jest w stanie wykonać powierzonych im zadań; wykonawcy ci stanowią tzw. „rezerwę zimną” i na co dzień mogą być zatrudnieni w różnego rodzaju warsztatach naprawczych; „rezerwę zimną” powinni stanowić pracownicy mogący wykonywać co najmniej dwa zawody, dzięki czemu możliwe jest pełne wykorzystanie czasu ich pracy oraz uzyskanie pożądanej efektywności ich działań.

3. Krótka charakterystyka teorii masowej obsługi

Teoria masowej obsługi (teoria kolejek) zajmuje się badaniem procesów związanych z masową obsługą (tzn. obsługą dużej liczby zgłoszeń oczekujących na obsługę, np. obsługa wozów przybywających do podszycia, usuwanie awarii w oddziałach produkcyjnych). Model masowej obsługi można przedstawić w postaci schematu pokazanego na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat masowej obsługi

Źródło: opracowanie własne na podstawie [2, 5, 19]

Dla oznaczenia poszczególnych modeli masowej obsługi stosuje się następującą klasyfikację [2, 5, 19]

$$X/Y/n:(R, L) \quad (1)$$

gdzie:

- X — symbol rozkładu wejściowego strumienia zgłoszeń,
- Y — symbol rozkładu czasów obsługi zgłoszeń,
- n — liczba kanałów obsługi,
- R — liczebność obsługiwanej populacji,
- L — maksymalna dopuszczalna liczba zgłoszeń oczekujących na rozpoczęcie obsługi.

Dla oznaczenia typu rozkładu strumienia wejściowego oraz czasów obsługi przyjęto następujące symbole:

- D — strumień zgłoszeń zdeterminowany lub stały czas obsługi,
- M — wykładniczy rozkład czasów obsługi lub odstępów między zgłoszeniami,
- E_k — rozkład Erlanga k -tego rzędu, który może wystąpić zarówno po stronie kanałów obsługi, jak i po stronie zgłoszeń,
- GI — dowolny i niezależny rozkład odstępów między kolejnymi zgłoszeniami,
- G — dowolny rozkład odstępów między kolejnymi zgłoszeniami lub dowolny rozkład czasów obsługi,
- K_n — rozkład χ^2 odstępów między zgłoszeniami lub rozkład χ^2 czasów obsługi.

Dla oznaczenia liczebności obsługiwanej populacji przyjęto następujące symbole:

- $R = m$, gdzie $m = 1, 2, 3, \dots$ – co oznacza ograniczony strumień zgłoszeń,
- $R = \infty$ – co oznacza nieograniczony strumień zgłoszeń.

Dla oznaczenia maksymalnej dopuszczalnej liczby zgłoszeń oczekujących na rozpoczęcie obsługi przyjęto następujące oznaczenia:

- $L = l$, gdzie $l = 1, 2, 3, \dots, m$ – co oznacza ograniczoną długość kolejki,
- $L = \infty$ – co oznacza nieograniczoną długość kolejki.

Niektóre z tych modeli mogą być rozwiązane metodami analitycznymi, w szczególności modele z wykładniczym rozkładem czasów obsługi i poissonowskim strumieniem zgłoszeń, inne modele można rozwiązać z wykorzystaniem techniki modelowania cyfrowego.

Niemniej, dotychczasowe modele masowej obsługi nie mogą być wykorzystywane w każdym przypadku, ponieważ niektóre systemy masowej obsługi, a w szczególności niektóre roboty pomocnicze w kopalni, zwane niestabilnymi robotami pomocniczymi [1, 15] charakteryzują się:

- niejednorodnymi kanałami obsługi, co oznacza, że parametr n modelu masowej obsługi przedstawiony wzorem (1) nie może być wielkością stałą, ale powinien być traktowany jako zmienna losowa dyskretna;
- niestacjonarnymi kanałami obsługi, co oznacza, że istotnym elementem uwzględnianym w modelu masowej obsługi powinien być także czas dojścia do miejsca obsługi, co w przypadku dołowych robót pomocniczych ma szczególne znaczenie; należy założyć, że czas dojścia jest zmienną losową ciągłą.

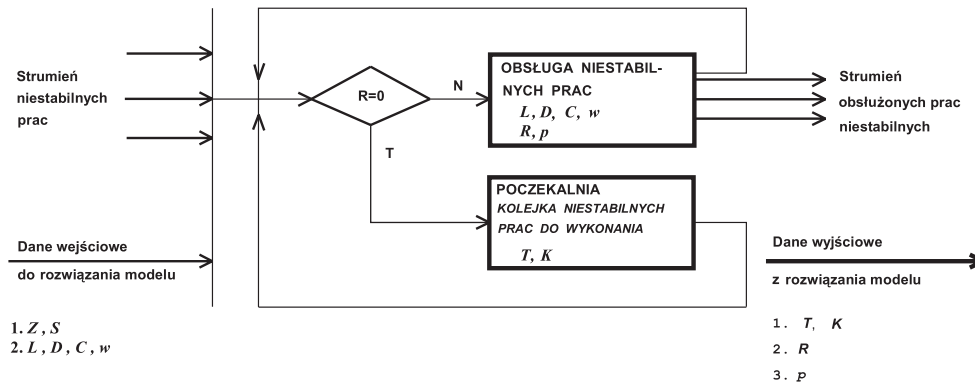
Ponadto:

- nie można założyć, że strumień zgłoszeń jest procesem Poissona;
- nie można założyć, że czasy obsługi podlegają rozkładowi wykładniczemu lub Erlanga.

Z tego też względu do analizy organizacji niestabilnych robót pomocniczych, a w szczególności do prognozowania liczebności obsady tych robót, należy posługiwać się modelem masowej obsługi z niejednorodnymi i niestacjonarnymi kanałami obsługi.

4. Model funkcjonowania niestabilnych robót pomocniczych i jego wykorzystanie do predykcji wybranych parametrów

Ogólny schemat modelu obrazującego funkcjonowanie niestabilnych robót pomocniczych przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Ogólny schemat modelu funkcjonowania niestabilnych robót pomocniczych

Źródło: opracowanie własne

Model ten opracowano w oparciu o teorię procesów stochastycznych. W strukturze tego modelu wyróżniono następujące elementy:

- Strumień niestabilnych prac scharakteryzowany przez zmienne losowe:
 - Z – liczba prac koniecznych do wykonania w ciągu zmiany,
 - S – zmienna charakteryzująca strumień niestabilnych prac koniecznych do wykonania w ciągu zmiany.
- Obsługa scharakteryzowana przez:
 - zmienne losowe:
 - L – liczebność zespołu wykonawców obsługujących poszczególne roboty niestabilne,
 - C – czasochłonność obsługi niestabilnych prac,
 - D – czas dojścia wykonawców do miejsca wykonania niestabilnych prac,
 - R – rezerwa, tzn. liczba wykonawców niezajęta, w danym momencie, obsługą (wykonywaniem) prac o charakterze niestabilnym;
 - parametry:
 - w – ogólna liczba wykonawców (obsada) realizujących obsługę niestabilnych prac,
 - p – liczba obsłużonych prac.
- Poczekalnia scharakteryzowana przez zmienne losowe:
 - T – czasy oczekiwania niestabilnych prac w kolejce na swoją realizację,
 - K – liczba niestabilnych prac oczekujących w kolejce na swoją realizację.

Danymi wejściowymi do rozwiązania modelu są:

- zmienne losowe: Z, S, L, D, C ;
- parametr: w (określony wielowariantowo).

Danymi wyjściowymi z rozwiązania modelu dla każdego wariantu obsady w są:

- zmienne losowe: T, K, R ;
- parametr: p .

Z uwagi na charakter stochastyczny modelu jego rozwiązanie następuje za pomocą modelowania cyfrowego (symulacji komputerowej) i z tego względu dane wyjściowe z tego modelowania mają charakter prognozy (dane wyjściowe mają charakter prognostyk).

Interpretacja opracowanego modelu funkcjonowania niestabilnych robót pozaprzedkowych jest następująca: w rejonie działania oddziały robót pomocniczych powstaje strumień niestabilnych prac koniecznych do wykonania w ciągu zmiany; do obsługi pojawiających się prac wydzielona jest grupa wykonawców określonych zawodów, niemająca stałego zestawu realizowanych czynności; liczbę tych wykonawców w modelu określa się parametrem w , a stopień zaangażowania pracą charakteryzuje zmienna losowa R , tzn. liczba wykonawców pozostająca w danym momencie w rezerwie. Na początku zmiany pojawia się Z prac o charakterze niestabilnym, do każdej z tych prac może zostać skierowana różna liczba wykonawców, w zależności od rodzaju pracy i aktualnych możliwości oddziały. Liczebność poszczególnych brygad wykonujących dane prace o charakterze niestabilnym charakteryzuje zmienna losowa L (liczba wykonawców realizujących dane zadanie), przy czym liczebność brygady powinna być taka, aby możliwe było wykonanie zadania roboczego w ciągu zmiany roboczej. Z tego też względu nie zawsze wszystkie prace będą miały zapewnioną natychmiastową obsługę, część prac, które nie mają zapewnionej obsługi, nie może zostać wykonana podczas analizowanej zmiany. Sytuację taką w modelu obrazuje poczekalnia, tzn. prace o niestabilnym charakterze, niemające zapewnionej obsługi (zmienna $R = 0$), muszą zająć miejsce w kolejce, oczekując na swoją realizację. Każda brygada wykonawców, po otrzymaniu zadań roboczych, musi dojść (dojechać) do miejsca wykonywania pracy. Fakt ten charakteryzuje zmienna losowa D . Po dotarciu do miejsca wykonywania pracy wykonawcy realizują zgłoszone im zadania robocze. Czasochłonność wykonania zadania roboczego w modelu scharakteryzowana jest przez zmienną losową C . Po wykonaniu zadania roboczego brygada wykonawców może podjąć obsługę kolejnego zadania roboczego lub, gdy zbliża się koniec dniówki, kończyć swoją pracę. Dane wyjściowe z rozwiązania modelu obrazujące funkcjonowanie niestabilnych robót pozaprzedkowych mogą stanowić materiał wyjściowy do ustalania racjonalnej obsady wykonawców nie mających stałego zestawu realizowanych czynności w analizowanym oddziale pomocniczym.

Dlatego też z opracowanym modelem ściśle koreluje funkcja celu, która określa maksymalizację współczynnika pewności ruchu

$$\sigma(w) = P(T \leq t_0) \rightarrow \max (\rightarrow 1)$$

$$w_1 \leq w \leq w_2 \tag{2}$$

$$\text{dla } \sigma(w) \rightarrow \max (\rightarrow 1) O = w$$

gdzie:

- $\sigma(w)$ — współczynnik pewności ruchu, określony prawdopodobieństwem tego, że każda praca o charakterze niestabilnym zostanie obsłużona natychmiast lub co najwyżej będzie oczekiwała na realizację t_0 jednostek czasu, tzn. przyjęty maksymalny czas oczekiwania na realizację zlecenia,
- w — wielkość obsady wykonawców, przyjęta w danym wariantcie rozwiązania modelu,
- w_1, w_2 — odpowiednio: minimalna i maksymalna wielkość obsady wykonawców przyjęta przy rozwiązywaniu modelu funkcjonowania robót pomocniczych,
- t_0 — arbitralnie ustalony dopuszczalny czas oczekiwania prac niestabilnych na początek ich realizacji; wielkość tę przyjmuje decydent systemu w zależności od posiadanych u siebie warunków lokalnych,
- O — obsada wykonawców wytypowanych zarówno do stałego, jak i do doraźnego wykonywania robót niestabilnych – wielkość poszukiwana (prognozowana) przy rozwiązywaniu modelu.

Współczynnik pewności ruchu określić można ze wzoru

$$\sigma(w) = \frac{p}{z} \quad (3)$$

gdzie:

- p — liczba prac o niestabilnym charakterze, które zostały zrealizowane podczas przebiegu symulacyjnego,
- z — liczba prac o niestabilnym charakterze, które przybyły (powinny zostać obsłużone) podczas przebiegu symulacyjnego.

Każdemu wariantowi obsady w , przyjętej do rozwiązania prezentowanego modelu, odpowiada odpowiedni współczynnik pewności ruchu, z których szczególne znaczenie w prezentowanej metodzie ma współczynnik $\sigma(O)$, tzn. współczynnik pewności ruchu określony dla obsady O .

Współczynnik ten można wyznaczyć ze wzoru (3), opierając się na danych wyjściowych z rozwiązania przedstawionego modelu. Współczynnik $\sigma(O)$, określony dla obsady O (uznanej za racjonalną), przyjmuje wartości bliskie lub prawie równe 1, uzależnione to jest przede wszystkim od przyjętego parametru t_0 , tzn. czy dopuszcza się możliwość istnienia kolejki prac o niestabilnym charakterze, czy też nie ma takiej możliwości i wszystkie zgłoszenia muszą być natychmiast realizowane. Dla wariantów obsady w mniejszych od O współczynnik pewności ruchu przyjmuje wartości mniejsze od jedności, co oznacza niepełną (nie natychmiastową) obsługę robót przygotowawczych i wybierkowych.

Prognozowanie liczebności obsady w z wykorzystaniem modelu funkcjonowania niestabilnych robót powinno przebiegać według następujących czterech etapów:

1. Zbieranie danych źródłowych.
2. Statystyczna analiza danych źródłowych.
3. Modelowanie cyfrowe – symulacyjne rozwiązanie modelu.
4. Prognoza obsady (dobór racjonalnej wielkości obsady).

W etapie pierwszym prognozowania gromadzi się materiał faktograficzny, charakteryzujący analizowany oddział robót pomocniczych, w szczególności informacje o realizowanych przez niego pracach o charakterze niestabilnym. W wyniku realizacji tego etapu można uzyskać dane pozwalające określić parametry i zmienne modelu funkcjonowania niestabilnych robót.

Określenie rodzaju i parametrów rozkładów zmiennych losowych: Z , S , L , D , C , opisujących model funkcjonowania niestabilnych robót jest zadaniem drugiego etapu prognozowania. Do analizy statystycznej można wykorzystać m.in. test zgodności χ^2 .

Celem modelowania cyfrowego (trzeci etap prognozowania) jest rozwiązanie modelu funkcjonowania niestabilnych robót pomocniczych. Powyższy model rozwiązuje się dla różnych wariantów obsady w dla każdej analizowanej grupy robót pomocniczych. Jako metodę rozwiązania modelu zastosowano metodę symulacyjną, wykorzystującą technikę Monte Carlo. Czas trwania cyklu symulacyjnego oraz liczbę cykli symulacyjnych określa się indywidualnie dla każdego przypadku.

Dane wyjściowe z programu symulacyjnego (zmienne losowe: T , K , R , oraz parametr p) stanowią podstawę do predykcji obsady wykonawców prowadzących obsługę prac o niestabilnym charakterze, co jest przedmiotem analiz w etapie czwartym prognozowania. Celem tego etapu prognozowania jest ostateczne ustalenie liczebności obsady oddziału robót pomocniczych, realizujących prace o niestabilnym charakterze.

5. Zakończenie

W pracy zaprezentowano rozważania dotyczące zastosowania stochastycznego modelu funkcjonowania niestabilnych robót pomocniczych do prognozowania wielkości obsady, koniecznej do właściwego przebiegu procesów pomocniczych, zabezpieczających prawidłowe funkcjonowanie przodków eksploatacyjnych i przygotowawczych.

Na podstawie analiz przeprowadzonych w pracy można sformułować następujące uwagi i wnioski:

1. W prognozowaniu wielkości techniczno-organizacyjnych, charakteryzujących procesy górnicze o charakterze niestabilnym, można wykorzystać nieklasyczną metodę predykcji, bazującą na teorii masowej obsługi.
2. Do analizy organizacji niestabilnych robót pomocniczych, a w szczególności do prognozowania liczebności obsady tych robót należy posługiwać się modelem masowej obsługi z niejednorodnymi i niestacjonarnymi kanałami obsługi, rozwiązanie tego modelu, ze względu na jego złożoność, następuje wyłącznie za pomocą modelowania cyfrowego.
3. Procedura prognozowania liczebności obsady z wykorzystaniem modelu funkcjonowania niestabilnych robót powinna przebiegać według czterech etapów, z których każdy jest równoważnie istotnym elementem składowym w całym procesie predykcji, przy wykorzystaniu modelowania cyfrowego.

LITERATURA

- [1] *Banaś J., Utrata A.*: Zasady podziału pomocniczych robót dołowych w kopalniach węgla kamiennego dla potrzeb normowania pracy. Kwartalnik AGH Górnictwo, 2, 1991
- [2] *Burzyński J.*: Teoria obsługi masowej. Skrypt AGH nr 587, Kraków, 1977
- [3] *Dittmann P.*: Prognozowanie w przedsiębiorstwie. Kraków, Oficyna Ekonomiczna 2003
- [4] *Greń J.*: Statystyka matematyczna. Modele i zadania. Wyd. VII. Warszawa, PWN 1982
- [5] *Koźniewska I., Włodarczyk M.*: Modele odnowy, niezawodności i masowej obsługi. Warszawa, PWN 1978
- [6] *Mikuś J.*: Prognozowanie w badaniach marketingowych. Wrocław, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej 2003
- [7] *Pawłowski Z.*: Ekonometryczna analiza procesu produkcyjnego. Wyd. 2. Warszawa, PWN 1976
- [8] Praca zbiorowa pod redakcją M. Woźniaka: Statystyka ogólna. Wyd. II poprawione. Kraków, AE 1997
- [9] Praca zbiorowa pod redakcją M. Cieślak: Prognozowanie gospodarcze. Metody i zastosowania. Warszawa, PWN 2002
- [10] Praca zbiorowa pod redakcją M. Krzysztofiaka: Ekonometria. Warszawa, PWE 1984
- [11] Praca zbiorowa pod redakcją T. Szapiro: Decyzje menedżerskie z Excelem. Warszawa, PWE 2000
- [12] *Starzyńska W.*: Statystyka praktyczna. Warszawa, PWN 2000
- [13] *Szczyba W.*: Normowanie techniczne. Planowanie. Organizacja produkcji w górnictwie węgla kamiennego. Katowice, WG-H 1961
- [14] *Utrata A.*: Adaptacyjne metody predykcji mierników oceny pracy przedsiębiorstwa. Materiały konferencyjne Szkoły Ekonomiki i Zarządzania w Górnictwie 2004, 455–461, Bukowina Tatrzańska 15–17 września 2004
- [15] *Utrata A.*: Metoda ustalania racjonalnej obsady dla wybranych grup robót pozaprzodkowych w podziemnej kopalni węgla. Kraków, AGH 1983 (praca doktorska)
- [16] *Utrata A.*: Wpływ sposobu prezentacji zmiennej egzogenicznej na stopień dopasowania klasycznych modeli tendencji rozwojowej. Materiały konferencyjne Szkoły Ekonomiki i Zarządzania w Górnictwie 2003, 351–358, Bukowina Tatrzańska 10–12 września 2003
- [17] *Zeliaś A., Pawelek B., Wanat S.*: Prognozowanie ekonomiczne. Teoria. Przykłady. Zadania. Warszawa, PWN 2003
- [18] *Zeliaś A.*: Teoria prognozy. Warszawa, PWE 1997
- [19] *Zitek F.*: Stracony czas. Elementy teorii obsługi masowej. Warszawa, PWN 1974