ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1979
Seria: GÓRNICTWO z.96 Nr kol. 595

Andrzej KARBOWNIK

USTALANIE OPTYMALNEJ KOLEJNOŚCI EKSPLOATACJI ZŁOŻA NA POZIOMIE WYDOBYWCZYM KOPALNI WĘGLA KAMIENNEGO

Streszczenie. W artykule wskazno na istotę stosowania metod operacyjnych do rozwiązywania różnych zagadnień optymalizacyjnych w projektowaniu górniczym. Przedstawiono sposób wykorzystania metody programowania dynamicznego do ustalania optymalnej kolejności eksploatacji złoża na poziomie. Podano wyniki obliczeń wykonanych za pomocą opracowanego programu na maszynę cyfrową.

1. WSTĘP

W procesie projektowania dążymy do tego, aby wszystkie podejmowane decyzje były decyzjami optymalnymi. Zbiór takich decyzji utworzy nam optymalne rozwiązanie projektowe, tzn. takie, że żaden inny wariant projektowy nie jest w stanie polepszyć wartości funkcji celu. Aby to osiągnąć, często konieczne staje się stosowanie metod badań operacyjnych. Można powiedzieć, że badania operacyjne w górnictwie zajmują się tworzeniem możliwie powszechnie obowiązujących modeli dla celów analizy i badania procesu technologicznego, przy zastosowaniu metod matematycznych, np.: [2, 3, 4, 5, 7, 9]. Badania operacyjne zmierzają więc do tego, aby dla konkretnego problemu znaleźć nie jakiekolwiek dobre rozwiązanie, lecz rozwiązanie najlepsze - optymalne. Cel ten badania operacyjne pozwalają osiągnąć przez badanie modelu matematycznego zjawiska, czy problemu. Badanie to może być przeprowadzone za pomocą metod matematycznych, jak np.: metod analizy matematycznej, metod statystyki matematycznej, metod programowania: liniowego, nieliniowego i dynamicznego, metod symulacyjnych, sieciowych i innych. Zakres zastosowań badań operacyjnych dość znacznie się rozszerzył dzięki stosowaniu do obliczeń EMC. Możliwe staje się tworzenie bardzo skomplikowanych nieraz modeli i ich wielowariantowa analiza. Tak więc modelowanie matematyczne i badania operacyjne zastępują kosztowne eksperymentowanie w rzeczywistych warunkach, które w dodatku nie zawsze jest możliwe.

Znane są próby opracowania metody ustalania optymalnej kolejności eksploatacji złoża na poziomie wydobywczym kopalni węgla kamiennego [4,9]. Prezentowana w niniejszym artykule metoda w tym zakresie została opracowana dla potrzeb metody projektowania optymalnej struktury poziomu wydobywczego kopalni węgla kamiennego [6].

2. SFORMUŁOWANIE PROBLEMU

Projekty nowych poziomów w kopalniach czynnych i projekty nowych kopalń nie zawierają w zasadzie ustaleń dotyczących kolejności udostępnienia poszczególnych pól eksploatacyjnych na danym poziomie w zakresie większym, aniżeli jest to potrzebne do uzyskania docelowego wydobycia. Planowanie rozwoju eksploatacji z czynnego poziomu dokonywane jest przez kopalnię w formie rocznych oraz pięcioletnich planów rozwoju wydobycia. Plane te, z uwagi na znaczną pracochłonność ich wykonywania, sporządza się zazwyczaj jako jednowariantowe. Nie gwarantuje to możliwości wyboru najkorzystniejszej kolejności eksploatacji pól eksploatacyjnych w ramach poziomu wydobywczego. Podobna sytuacja występuje również przy projektowaniu nowego poziomu.

Założona w projekcie kolejność eksploatacji pól eksploatacyjnych pociąga za sobą określone konsekwencje, głównie natury ekonomicznej. Związane są one z wielkością nakładów inwestycyjnych na udostępnienie pokładów i momentem ich wydatkowania oraz z rozkładem w czasie uzyskiwanego efektu ekonomicznego.

W związku z tym należy ustalać, w projektach nowego poziomu, optymalną kolejność eksploatacji pól eksploatacyjnych na poziomie, w oparciu o kryterium ekonomiczne. Mając do dyspozycji metodę optymalizacji, kolejność ta może być korygowana w miarę dokładniejszego rozpoznania złoża w fazie budowy kopalni i w fazie eksploatacji złoża.

Ponieważ z eksploatacją poszczególnych pól eksploatacyjnych na poziomie związane są różne nakłady i koszty produkcji a uzyskiwana produkcja ma różną wartość, kryterium, które ujmuje wzajemne relacje między tymi wskaźnikami, jest zysk z eksploatacji. Gdyby przyjąć zysk całkowity obliczony z uwzględnieniem czynnika czasu jako kryterium optymalizacji, nie zawsze dokonany wybór ustalałby optymalną kolejność eksploatacji poszczególnych pól eksploatacyjnych. Te same nominalne wielkości wydatków i wpływów rozłożone w różnych okresach czasu ustalają różną wartość zdyskontowanego zysku całkowitego. Zróżnicowanie to jest spowodowane różnymi okresami obliczeniowymi, a nie różną kolejnością ponoszenia wydatków i uzyskiwania wpływów. Gdyby wpływ okresu obliczeniowego udało się wyeliminować, to tak obliczony zysk można przyjąć jako kryterium optymalizacji. Można tego dokonać przez odniesienie zysku całkowitego do okresu obliczeniowego, uzyskując zysk w jednostce czasu. Jednostką czasu może być dzień, miesiąc, rok. Otrzymamy w ten sposób dzienną, miesięczną lub roczną ratę. Jako jednostka czasu dla ustalenia harmonogramu eksploatacji złoża na poziomie, a tym samym i dla obliczania zysku w jednostce czasu, przyjęty został miesiąc. W pracy [6] przeprowadzono dowód, że miesięczna rata kapitałowa może stanowić kryterium optymalizacji dla ustalania optymalnej kolejności eksploatacji pól eksploatacyjnych na poziomie. Oblicza się ją w podany niżej sposób.

Załóżmy, że w kolejnych miesiącach t włączane do eksploatacji pola eksploatacyjne przynoszą jednostkowe zyski względne Z_t /tzn. zyski obliczane w polach eksploatacyjnych bez uwzględnienia dalszych ogniw procesu produkcyjnego/, przy uzyskiwaniu miesięcznej wielkości wydobycia W_t:

1	Z_1	W_1
2	Z_2	W_2
:	:	:
t	Z_t	W_t
:	:	:
n	Z_n	W_n

Zysk całkowity w okresie n miesięcy istnienia poziomu wyniesie:

$$Z_c = Z_1 \cdot W_1 \cdot /1+p/^{-1} + Z_2 \cdot W_2 \cdot /1+p/^{-2} + \ldots + Z_t \cdot W_t \cdot /1+p/^{-t} + \ldots + Z_n \cdot W_n \cdot /1+p/^{-n} \qquad /1/$$

gdzie:

p - kalkulacyjna stopa procentowa dla miesiąca jako dyskretnego przedziału czasu,

Interesuje nas wielkość miesięcznej raty, czyli wielkość zysku w przeciągu miesiąca wraz z jego oprocentowaniem.

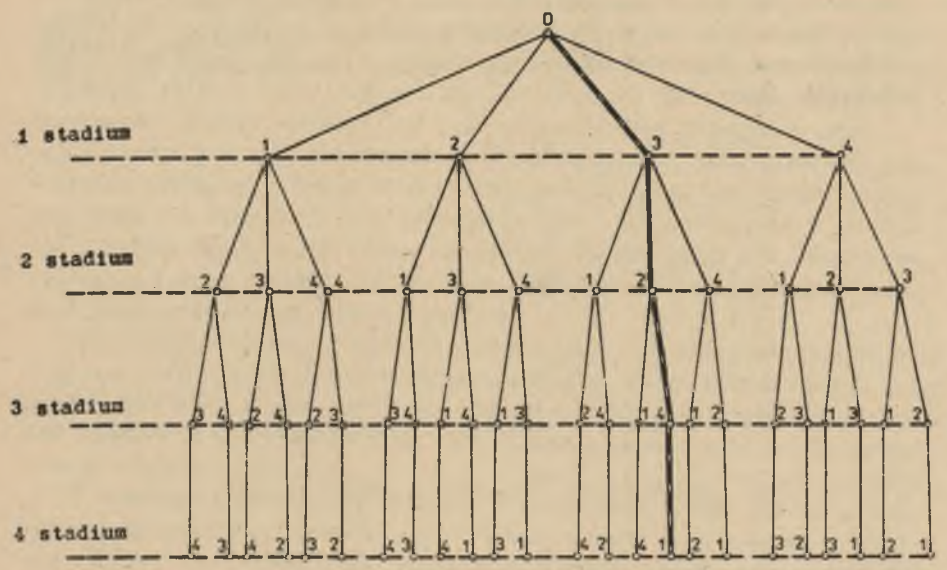
Ustalenie raty miesięcznej polega w tym wypadku na rozłożeniu zysku całkowitego na równe miesięczne raty:

$$z_m = \frac{/1+p/^n \cdot p}{/1+p/^n - 1} \cdot Z_c \qquad /2/$$

Według powyższych wzorów obliczana jest wielkość miesięcznej raty na kolejnych etapach dokonywania analizy optymalizacyjnej kolejności eksploatacji złoża na poziomie. Maksymalna wielkość miesięcznej raty ustala najkorzystniejszą kolejność eksploatacji pól eksploatacyjnych.

3. MODEL MATEMATYCZNY

Rozpatrzmy przykładowy system udostępnienia pokładów na poziomie, przedstawiony na rys. 3a. Jeśli założymy, że teoretycznie możliwa jest każda kolejność eksploatacji pól eksploatacyjnych, tzn. że nie występują żadne ograniczenia natury technologicznej czy geologicznej, to wszystkie możliwe kolejności eksploatacji pól eksploatacyjnych można graficznie przedstawić jako "drzewo decyzji" pokazane na rys.1.



Rys.1. "Drzewo decyzji" włączania kolejnych pól eksploatacyjnych na poziomie do eksploatacji

Istnieje n! wszystkich możliwych kolejności włączania pól eksploatacyjnych do eksploatacji. Analiza tych wszystkich wariantów dla większej ilości pól eksploatacyjnych /np.10/ jest bardzo trudna do przeprowadzenia drogą kolejnego wariantowania. Powstaje więc zadanie opracowania metody, która pozwalałaby stosunkowo szybko dokonywać wyboru, czy też ustalać optymalną kolejność eksploatacji pól eksploatacyjnych na poziomie. Dokładne rozpatrzenie tego zadania przekonuje nas, że jego rozwiązanie należy do klasy zagadnień możliwych do rozwiązania, przy zastosowaniu matematycznej metody programowania dynamicznego.

Programowanie dynamiczne zaliczane do metod badań operacyjnych, sprowadza się do metody przekształcenia wielostadialnych procesów decyzyjnych w ciąg procesów jednostadialnych. Rozwiązanie wielostadialnego procesu decyzyjnego pozwala na znalezienie polityki optymalnej. Możliwość jej znalezienia opiera się na wprowadzonej przez R.Bellmana zasadzie optymalności [1]:

"polityka optymalna ma tę własność, że niezależnie od początkowego

stanu i początkowej decyzji pozostałe decyzje muszą stanowić politykę optymalną ze względu na stan wynikający z pierwszej decyzji".

Rozważmy funkcję n zmiennych decyzyjnych: $F\ /x_0, x_1, \ldots, x_n/$.

Załóżmy, że funkcją F może być przedstawiona jako suma n funkcji w postaci:

$$\mathcal{V}_i\ /x_{i-1},\ x_i/ \qquad i = 1,2\ldots,\ n$$

Możemy to zapisać:

$$F\ /x_0, x_1, \ldots,\ x_n/ = \mathcal{V}_1\ /x_0, x_1/ + \mathcal{V}_2/x_1, x_2/ + \ldots + \mathcal{V}_n/x_{n-1},\ x_n/ \qquad /3/$$

Zadanie sprowadza się do wyznaczenia takich wartości zmiennych decyzyjnych x_i, dla których funkcja F osiąga ekstremum - minimum lub maksimum. Korzystając z zasady optymalności poszczególne etapy /stadia/ w procesie optymalizacji przedstawiają się następująco:

$$f_{o,2}\ /x_o,\ x_2/ = \max\left[\mathcal{V}_1\ /x_o,\ x_1/ + \mathcal{V}_2\ /x_1,\ x_2/\right] \qquad /4/$$

$$x \in /x_o,\ x_2/$$

Ustalimy w ten sposób optimum dla stadiów: pierwszego i drugiego, przy czym x_1 przybiera wartość z przedziału, który zależy tylko od x_o i x_2. Wartość x_1, która optymalizuje $\mathcal{V}_1 + \mathcal{V}_2$, określa optymalną politykę dla stadium 1 i 2 i dla zorientowanej pary x_o, x_2. Następnie optymalizuje się łącznie stadia pierwsze, drugie i trzecie, ale z wykorzystaniem optimum $f_{o,2}$ dla dwóch pierwszych stadiów. Będzie więc:

$$f_{o,3}\ /x_o,\ x_3/ = \max\left[\ f_{o,2}\ /x_o, x_2/ + \mathcal{V}_3\ /x_2, x_3/\right] \qquad /5/$$

$$x_2 \in /x_o,\ x_3/$$

Ogólnie można zapisać, że:

$$f_{o,i}\ /x_o, x_i/ = \max\left[\ f_{o,i-1}\ /x_o, x_{i-1}/ + \mathcal{V}_i\ /x_{i-1},\ x_i/\right] \qquad /6/$$

$$x_{i-1} \in /x_o, x_i/$$

W ostatnim kroku otrzymuje się optymalną strategię dla stadiów 1,2,..., n-1 łącznie:

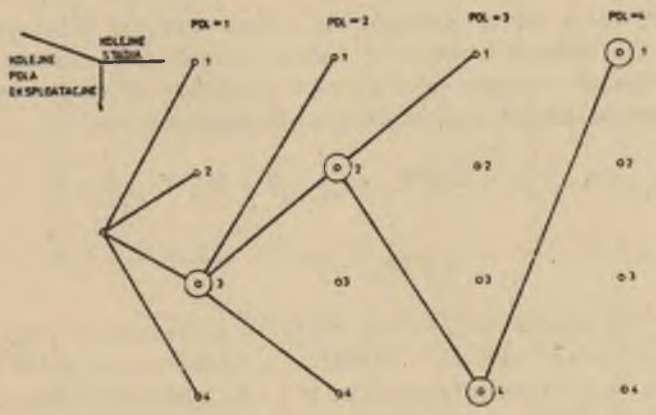
$$F^x\ /x_o,\ x_n/ = \max\left[\ f_{o,n-1}\ /x_o,\ x_{n-1}/ + \mathcal{V}_n\ /x_{n-1},\ x_n/\right] \qquad /7/$$

$$x_{n-1} \in /x_o,\ x_n/$$

Funkcja F^x daje optymalną wartość całego procesu, a więc ekstremalną wartość funkcji F.

Powyższy sposób wyznaczania polityki optymalnej w oparciu o zasadę optymalności został wykorzystany i dostosowany do potrzeb wyznaczania optymalnej kolejności włączania pól eksploatacyjnych do eksploatacji.

Optymalizacja wielostadialnego procesu decyzyjnego ustalania kolejności eksploatacji pól eksploatacyjnych została zamieniona na optymalizację procesów jednostadialnych, czyli optymalizacje na kolejnych stadiach. Kolejne stadia są wyznaczane przez wariantowe włączanie pól eksploatacyjnych do eksploatacji. Zostało to zobrazowane na rys.2.



Rys.2. Etapowe włączanie pól eksploatacyjnych do eksploatacji na kolejnych stadiach analizy

W pierwszym stadium /POL=1/ w oparciu o podane poprzednio kryterium optymalizacji dokonuje się wyboru pierwszego pola eksploatacyjnego. Stadium to może być pominięte, jeśli w danych do obliczeń wskaże, się które pole ma być eksploatowane w pierwszej kolejności. W drugim stadium /POL=2/ do ustalonego w stadium pierwszym pola eksploatacyjnego dołącza się wariantowo kolejne pola, badając przy tym wartość funkcji celu. Najkorzystniejsza wartość ustala kolejność eksploatacji pól eksploatacyjnych po tym stadium.

Schemat ten powtarza się w kolejnych stadiach. Powyższe postępowanie można zapisać w sposób następujący:

przy ograniczeniach:

1. $1 \leq npe_t \leq npe_d \quad , \quad npe_t \in \{E_t\}$ /8/

$t=1,2,\ldots, tp$

2. $WPE\ min \leq \sum_{i \in E_t} WPE_i \leq WPE\ max$ /9/

funkcja celu ma postać:

$$z_m = f\,/K_j/ \longrightarrow \max \qquad /10/$$

$$j \ni \{N_t\} \quad , \quad j = 1,2,\ldots, npe$$

gdzie:

- npe - liczba pól eksploatacyjnych na poziomie,
- npe_d - dopuszczalna liczba pól eksploatacyjnych eksploatowanych równocześnie,
- npe_t - liczba pól eksploatacyjnych eksploatowanych w t-tym miesiącu,
- i - numery kolejnych pól eksploatacyjnych, i = 1,2,..., npe,
- t - kolejne miesiące eksploatacji poziomu, t = 1,2,..., tp,
- tp - okres eksploatacji poziomu, miesiące,
- WPE_{min}, WPE_{max} - minimalna i maksymalna wielkość wydobycia dobowego z poziomu, t/d,
- $\{N_t\}$ - zbiór pól eksploatacyjnych eksploatowanych w t-tym miesiącu,
- Kj - wariant kolejności wybierania pól eksploatacyjnych w danym stadium,
- j - kolejne stadia analizy.

W wyniku analizy przeprowadzanej według podanego modelu otrzymuje się optymalną kolejność eksploatacji pól eksploatacyjnych na poziomie. Dla tej kolejności ustalany jest harmonogram wydobycia przy podanych powyżej ograniczeniach.

4. PROGRAM OBLICZENIOWY NA MASZYNĘ CYFROWĄ I WYNIKI WYKONANYCH OBLICZEŃ

Podany model matematyczny posłużył do opracowania algorytmu, a ten z kolei programu na maszynę cyfrową Odra-1204. Program ten pod nazwą HAR wymaga odpowiedniego zestawu danych wejściowych przygotowywanych przez jego użytkownika. Pełny formularz tych danych zamieszczono w pracy [6]. W tym miejscu ograniczmy się do podania informacji o polach eksploatacyjnych. Dla każdego pola na poziomie należy podać:

- wydobycie z pola, t brutto/dobę,
- koszt własny ponoszony na eksploatację pola, a liczony od podszybia głównego do danego pola, zł/miesiąc,
- jednostkowa cena zbytu węgla /krajowa i transakcyjna/ z pola eksploatacyjnego, zł/t,
- okres eksploatacji złoża w polu eksploatacyjnym, miesiące,
- okres trwania udostępnienia i przygotowania pola eksploatacyjnego do eksploatacji, miesiące,

- koszt ruchowy ponoszony na eksploatację pola, a liczony od podszybia głównego do danego pola, zł/miesiąc.

Na rys.3. przedstawiono przykładowe schematy systemów udostępnienia pokładów na poziomie. Dla każdego z nich za pomocą programu HAR wykonano obliczenia. Wyniki obliczeń zestawiono w tablicy 1.

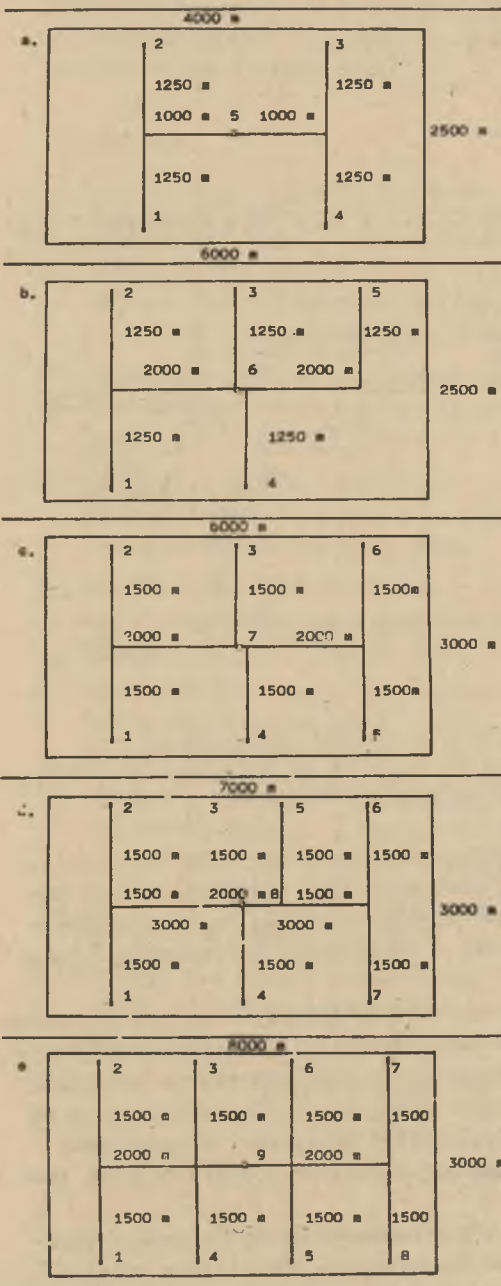
Tablica 1

ZESTAWIENIE WYNIKÓW PRZYKŁADOWYCH OBLICZEŃ WYKONANYCH ZA POMOCĄ PROGRAMU HAR DLA SYSTEMÓW UDOSTĘPNIENIA POKŁADÓW NA POZIOMIE POKAZANYCH NA RYS.3

Wariant systemu udostępnienia -z rys.3.	Optymalna kolejność eksploatacji pól na poziomie	Wielkość miesięcznej raty kapitałowej	Odległość pierwszego pola ekspl.od szybów głównych	Średnie wydobycie dobowe z poziomu	Okres eksploatacji złoża na poziomie
-	-	zł/m-c	m	t/d	lata
1	2	3	4	5	6
a	1,2,3,4,	253 179	2250	6000	12,5
b	3,4,1,2,5	260 655	1250	9000	14,0
c	3,4,1,2,5,6	113 084	1500	1[illegible]000	16,5
d	4,5,3,7,6,1,2	-149 728	1500	15000	16,5
e	3,2,8,4,6,7,1,5	-625 697	2500	15000	16,4

Na podstawie wyników wykonanych obliczeń można stwierdzić, że o kolejności eksploatacji złoża na poziomie powinny decydować nie tylko odległości pól eksploatacyjnych od szybów głównych, ale również efekty ekonomiczne związane z eksploatacją złoża w polach eksploatacyjnych. Wielkość tych efektów jest zależna od rozkładu w czasie wydatków i wpływów związanych z udostępnieniem pola eksploatacyjnego oraz przygotowaniem i wybieraniem pokładów w polu. Każdorazowo należy taką analizę przeprowadzać. Może do tego służyć przedstawiony program HAR.

Na podstawie wyników obliczeń wykonanych za pomocą programu HAR można sporządzić optymalny harmonogram eksploatacji pól eksploatacyjnych na poziomie. Przykładowy harmonogram przedstawiono na rys.4.



1. Powierzchnia obszaru górniczego - 10 km^2.
2. Ilość pól eksploatacyjnych - 4.
3. Wydobycie z poziomu - 8 tys. t/d.
4. Zasobność złoża - 3 t/m^2.

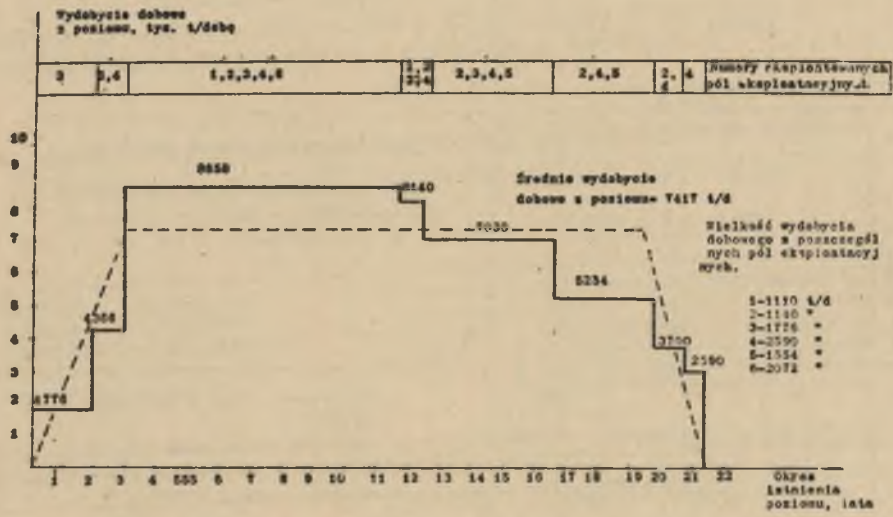
1. Powierzchnia obszaru górniczego - 15 km^2.
2. Ilość pól eksploatacyjnych - 5.
3. Wydobycie z poziomu - 10 tys. t/d.
4. Zasobność złoża - 3 t/m^2.

1. Powierzchnia obszaru górniczego - 18 km^2.
2. Ilość pól eksploatacyjnych - 6.
3. Wydobycie z poziomu - 12 tys. t/d.
4. Zasobność złoża - 3 t/m^2.

1. Powierzchnia obszaru górniczego - 21 km^2.
2. Ilość pól eksploatacyjnych - 7.
3. Wydobycie z poziomu - 14 tys. t/d.
4. Zasobność złoża - 3 t/m^2.

1. Powierzchnia obszaru górniczego - 24 km^2.
2. Ilość pól eksploatacyjnych - 8.
3. Wydobycie z poziomu 16 tys. t/d.
4. Zasobność złoża - 3 t/m^2.

Rys. 3. Schematy systemów udostępnienia pokładów na poziomie dla przykładowych obliczeń wykonanych za pomocą programu HAR



Rys.4. Przykładowy optymalny harmonogram eksploatacji pól eksploatacyjnych na poziomie obliczony za pomocą programu HAR.

5. PODSUMOWANIE

Badania operacyjne w projektowaniu górniczym odgrywają ważną rolę. Umożliwiają dla tworzonych modeli matematycznych w odniesieniu do zagadnień optymalizacyjnych ich rozwiązywanie. Pozwala to na podejmowanie optymalnych decyzji projektowych i uzyskiwanie optymalnych rozwiązań projektowych.

W odniesieniu do zagadnienia ustalania optymalnej kolejności eksploatacji pól eksploatacyjnych na poziomie, wydaje się, że stosownym kryterium optymalizacji jest zysk z eksploatacji przypadający na jednostkę czasu. Ponieważ z eksploatacją poszczególnych pól eksploatacyjnych na poziomie związane są różne nakłady i koszty produkcji, a uzyskiwana produkcja ma różną wartość., wspomniane kryterium ujmuje wzajemne relacje między tymi wskaźnikami.

Wykorzystując matematyczną metodę programowania dynamicznego opracowano program obliczeniowy na maszynę cyfrową, pozwalający ustalać optymalną kolejność eksploatacji pól eksploatacyjnych na poziomie. Na podstawie wykonanych za jego pomocą obliczeń można stwierdzić, że o kolejności eksploatacji złoża na poziomie powinny decydować nie tylko

odległości pól eksploatacyjnych od szybów głównych, ale również efekty ekonomiczne, związane z eksploatacją złoża w polach eksploatacyjnych. Każdorazowo należy taką analizę przeprowadzać. Może do tego służyć przedstawiony program HAR.

LITERATURA

[1] BELLMAN R.E., DREYFUS S.E.: Programowanie dynamiczne. PEW Warszawa 1967,

[2] CHOWANIEC J.: Metoda optymalnego rozdziału planowych zadań produkcyjnych dla wydobywczych jednostek gospodarczych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Górnictwo z.84. Gliwice 1978.

[3] CISZAK E., GUMUŁA S., MAZUREK A.: Wykorzystanie metod programowania dynamicznego do minimalizacji kosztów własnych wydobycia w Zjednoczeniu PW. Projekty - Problemy 1973, nr 6.

[4] FISZER A.: Metoda optymalnego programowania eksploatacji złoża w granicach nadania górniczego kopalni rud miedzi. Praca doktorska. Politechnika Wrocławska, 1972.

[5] IWANOW N.J., OGANIEZOWA S.Z.: Ustanowlenije optimalnowo płana dobyczi ugla po szachtam objedinienija metodom dinamiczieskowo programirowanija. Ugol Ukrainy 1972, nr 3.

[6] KARBOWNIK A.: Metoda projektowania optymalnej struktury poziomu wydobywczego kopalni węgla kamiennego. Praca doktorska. Politechnika Śląska, Gliwice 1978.

[7] POZOR L., WĘGIERSKI J.: Inwestycje towarzyszące jako czynnik w podejmowaniu decyzji o kolejności budowy nowych kopalń w rejonie górniczym. Przegląd Górniczy 1967, nr 2.

[8] PRACA ZBIOROWA pod redakcją Z.GALLWIGA: Elementy rachunku ekonomicznego. PWE, Warszawa, 1972.

[9] SEIFERT G.: Uber ein Gesamtmodell zur Zuschnitts und Produktionsplanung in Steinkohlenbergbau. Dysertacja Uniwersytetu Technicznego w Clausthal ,1969.

[10] WENTCEL E.: Elementy programowania dynamicznego, PWE, Warszawa 1966.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ НА РАБОЧЕМ ГОРИЗОНТЕ ШАХТЫ КАМЕННОГО УГЛЯ

Резюме:

В статье указано на сущность применения методов операционных исследований для решения разных оптимализационных вопросов в горном проектировании. Приведён способ использования метода динамического программирования для определения оптимальной последовательности эксплуатации месторождения на горизонте. Приводятся результаты вычислений выполненных при помощи разработанной программы на вычислительной машине.

DETERMINING OPTIMUM DRAW SEQUENCE OF A DEPOSIT ON A DRAWING LEVEL OF A COLLIERY

A b s t r a c t:

Operational investigations methods have been stressed as essential for solving various optimization problems in mining designing. A way of utilising dynamic programming for the determination of the optimum draw sequence has been shown. Calculation results are provided. They were obtained wia an elaborated computer program.