

Tadeusz Pogonowski, Andrzej Karbownik

PRZYCZYNEK DO OPTYMALIZACJI WYSOKOŚCI POZIOMU  
DLA POKŁADÓW SIŁNIE NACHYŁONYCH

**Streszczenie.** W metodzie optymalizacji wysokości poziomu uwzględniono wysokość staczania się urobku w pokładach silnie nachylonych i stromych.

Wzór na cenę zbytu węgla energetycznego jako funkcję wysokości staczania się urobku wprowadzono do wzoru na optymalną wysokość poziomu oraz przeprowadzono analizę porównawczą dla obu postaci wzorów.

## 1. Wstęp

Ustalenie najkorzystniejszej wysokości pionowej poziomu jest problemem trudnym, złożonym i ważnym. Od prawidłowego doboru wysokości poziomu zależy w dużym stopniu właściwy model struktury kopalni oraz jej rozwój i eksploatacja, a więc wysoka sprawność techniczna i efektywność ekonomiczna wprowadzonych rozwiązań.

Złożoność problemu polega na szerokim zakresie czynników i parametrów mających wpływ na wysokość pionową poziomu. Trudność polega między innymi na uchwyceniu możliwie ścisłych związków oraz ujęciu rzeczywiście wszystkich elementów mających wpływ na optymalizowany parametr.

Eksploatacja w pokładach silnie nachylonych i stromych, powoduje pewne straty ekonomiczne związane z kruszeniem się węgla [1] w wyniku jego odstawy grawitacyjnej.

Zagadnienie to dotyczy wyłącznie węgla energetycznych, gdyż ich ceny zbytu w znacznym stopniu zależą od udziału grubych sortymentów w urobku. W dotychczasowych metodach optymalizacji wysokości pionowej poziomu [1, 2, 4, 6, 7] nie uwzględniono tego czynnika, a poza tym dopiero badania M. Stefańskiego [5] oraz częściowo przyczynkowe własne autorów [3] pozwoliły na analityczne ujęcie wpływu kruszenia się węgla przy odstawie grawitacyjnej na wielkość jego ceny zbytu. Znając na podstawie dokumentacji geologicznej złoża wartość opałową węgla, zawartość popiołu, kąt nachylenia pokładu i parametr "a" zależny od własności fizyko-mechanicznych węgla (ustalony na drodze badań laboratoryjnych) oraz mając ustalony rodzaj przewidywanej mechanizacji (czyli wychód grubych sortymentów w przodku) można będzie wyznaczyć funkcję zależności ceny zbytu węgla od wyżej podanych parametrów.

Celem niniejszego opracowania jest pokazanie wpływu straty ekonomicznej wynikłej z kruszenia się węgla przy jego odstawie grawitacyjnej, na wysokość poziomu. W tym celu wprowadzono powyższą funkcję do wskaźnika ekonomicznej efektywności jako funkcji celu w metodzie optymalizacji wysokości poziomu i dokonano porównania obu zależności.

## 2. Podstawowe zależności

Wielkość straty ekonomicznej powstałej na skutek kruszenia się węgla przy odstawie grawitacyjnej wyznaczono w pracy [3]. Wykazano również, że stopień rozdrobnienia urobku ma wpływ na cenę zbytu węgla. Podane w cytowanej pracy zależności przyjmuje się do niniejszych rozważań. Na podstawie tych zależności można ustalić wzór na cenę zbytu węgla  $C$  jako funkcję wychodu grubych sortymentów  $\phi_a$  w urobku. Wzór ustalono dla węgla o wartości opałowej  $Q_w^r = 7400$  kcal/kg i zawartości popiołu  $A^r = 5\%$  i jego postać jest następująca:

$$C = 446,33 + 2,8822 \cdot \phi_a^{0,7084} \quad (1)$$

Wychód grubych sortymentów  $\phi_a$  w powyższym wzorze można odnieść do dowolnego miejsca w całym procesie technologicznym. W niniejszych rozważaniach interesuje nas wychód grubych sortymentów po stoczeniu się urobku w pochylni odstawczej. Można to wyrazić zależnością:

$$\phi_a = \phi_p - \Delta\phi \%, \quad (2)$$

gdzie:

- $\phi_a$  - wychód grubych sortymentów u wylotu pochylni odstawczej,
- $\phi_p$  - wychód grubych sortymentów przy staczaniu się,
- $\Delta\phi$  - przy czym:

$$\Delta\phi = \frac{\phi_n \cdot \phi}{100}, \quad (3)$$

gdzie:

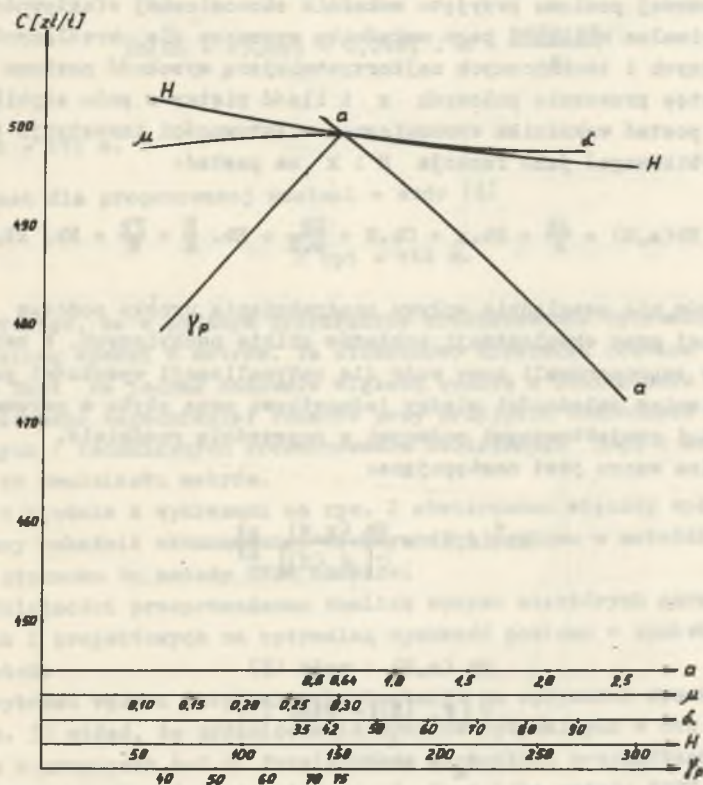
- $\phi$  - wychód pokruszonych grubych ziarn określony wzorem (2) podanym w pracy [3].

Ostatecznie średni wychód grubych sortymentów  $\phi_a$  w okresie wybierania pola eksploatacyjnego w urobku po jego stoczeniu się z wysokości  $H$ , czyli u wylotu pochylni odstawczej można wyrazić wzorem:

$$\phi_a = \phi_p \cdot \left[ 1 - 0,01a \cdot \left( \frac{2}{3} \sqrt{2 \cdot g(1 - \mu \operatorname{ctg} \alpha) \cdot H} - 1,86 \right) \right] \% \quad (4)$$

Dla ustalenia więc zależności ceny zbytu węgla  $C$  od wysokości staczania się urobku  $H$  należy wzór (4) wprowadzić do wzoru (1).

W oparciu o powyższe wzory (1) i (4) sporządzono wykresy wpływu poszczególnych parametrów naturalnych i projektowych na wielkość ceny zbytu (rysunek 1).



Rys. 1. Wykresy wpływu parametrów na wielkość oceny zbytu węgla energetycznego przy odstawie grawitacyjnej

Z wykresów tych wynika, że największy wpływ na cenę zbytu węgla energetycznego ma parametr  $a$  - zależny od własności fizyko-mechanicznych węgla oraz  $\phi_p$  - wychód grubych sortymentów w przodku, natomiast mniejszy wpływ wywiera  $H$  - wysokość pionowa drogi staczania się urobku, która mo-

że odpowiadać wysokości poziomu oraz  $\alpha$  - kąt nachylenia pokładu i  $\mu$  - współczynnik tarcia dynamicznego o podłoże.

W odniesieniu do pokładów silnie nachylonych, a tym bardziej stojących na większą wysokość staczania się urobku można przyjąć jako równą wysokości pionowej poziomu.

### 3. Analiza porównawcza metody BPPW Gliwice z metodą proponowaną

Jako kryterium optymalizacji w metodzie BPPW Gliwice [6] określania wysokości pionowej poziomu przyjęto wskaźnik ekonomicznej efektywności inwestycji. Minimalna wielkość tego wskaźnika wyznacza dla określonych warunków naturalnych i technicznych najkorzystniejszą wysokość poziomu  $H$  jak również odstęp przecznicy połowych  $x$  i ilość pięter w polu szybkowym. Ostateczna postać wskaźnika ekonomicznej efektywności inwestycji (dla modelu bezszybkowego) jako funkcja  $H$  i  $x$  ma postać:

$$Eb(x, H) = \frac{Ab}{x} + Bb \cdot x + Cb \cdot H + \frac{Db}{x \cdot H} + Eb \cdot \frac{H}{x} + \frac{Fb}{H} + Rb, \text{ zł/t} \quad (5)$$

Powyższy wzór nie uwzględnia wpływu rozdrabniania urobku podczas odstawy grawitacyjnej przy eksploatacji pokładów silnie nachylonych. W związku z tym autorzy zaproponowali nowy wzór dla optymalizacji wysokości poziomu ( $H$ ) z uwzględnieniem zależności między jednostkową ceną zbytu a parametrami naturalnymi i projektowanymi podanymi w poprzednim rozdziale. Postać ogólna wzoru jest następująca:

$$Eb^*(x, H) = \frac{Eb(x, H)}{C[\sigma_a(H)]} \frac{z\text{ł}}{z\text{ł}}, \quad (6)$$

przy czym:

$Eb(x, H)$  - wzór (5)

$C[\sigma_a(H)]$  - wzór (1)

$\sigma_a$  - wzór (4).

W celu przeprowadzenia analizy porównawczej obu postaci wzorów na optymalną wysokość poziomu przyjęto następujące czynniki i parametry:

- kopalnia niegazowa lub średnio gazowa,
- kopalnia jednopoziomowa,
- eksploatacja dwuskrzydłowa,
- poprzeczny system eksploatacji,
- średnie warunki utrzymania,

oraz

- kąta nachylenia pokładów,  $\alpha = 42^\circ$ ,
- odstęp przecznicy połowych,  $x = 1,2$  km
- zdolność produkcyjna,  $w = 9,0 \frac{\text{tys. t}}{\text{d}}$
- natężenie eksploatacji,  $\varphi = 0,6 \frac{\text{tys. t}}{\text{d km}^2}$
- zasobność użyteczna złoża,  $z = 3,0 \frac{\text{t}}{100 \text{ m}^3}$ .

Dla powyższych danych wzór (5) przybiera następującą postać:

$$E_b(H) = 49,865 + 0,0487 \cdot H + \frac{1473,88}{H} \quad (8)$$

stąd:

$$H_{\text{opt}} = 174 \text{ m.}$$

Natomiast dla proponowanej postaci - wzór (6)

$$H^*_{\text{opt}} = 166 \text{ m.}$$

Widzimy więc, że w podanym przykładzie zróżnicowanie optymalnych wysokości poziomu wynosi 8 metrów. Ta stosunkowo niewielka różnica w odniesieniu do  $H_{\text{opt}}$  ma jednak znacznie większą wymowę w odniesieniu do aspektu ekonomicznego zagadnienie. Ponadto przy przyjęciu odmiennych warunków naturalnych i technicznych zróżnicowanie obliczanych  $H_{\text{opt}}$  i  $H^*_{\text{opt}}$  może wynosić do dwudziestu metrów.

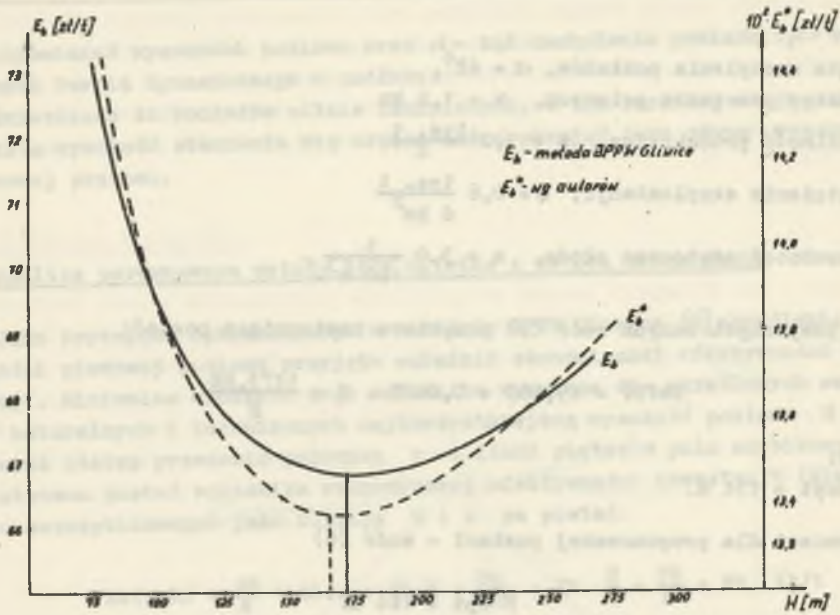
Ponadto zgodnie z wykresami na rys. 2 stwierdzono większy wpływ  $H$  na syntetyczny wskaźnik ekonomicznej efektywności poziomu w metodzie proponowanej w stosunku do metody BPPW Gliwice.

W kolejności przeprowadzono analizę wpływu niektórych parametrów naturalnych i projektowych na optymalną wysokość poziomu w kontekście analizy obu metod.

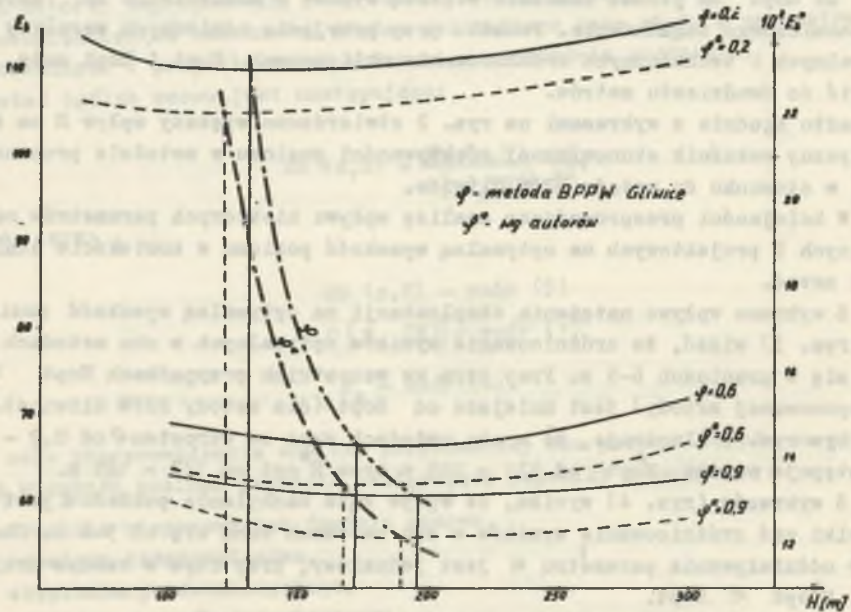
Z wykresu wpływu natężenia eksploatacji na optymalną wysokość poziomu  $H$  (rys. 3) widać, że zróżnicowanie wyników optymalnych w obu metodach waha się w granicach 6-9 m. Przy czym we wszystkich przypadkach  $H_{\text{opt}}$  (dla proponowanej metody) jest mniejsze od  $H^*_{\text{opt}}$  (dla metody BPPW Gliwice). Poza tym rys. 3 ilustruje, że w obu metodach wraz ze wzrostem  $\varphi$  od 0,2 - 0,9 następuje wzrost  $H_{\text{opt}}$  od 131 - 195 m oraz  $H^*_{\text{opt}}$  od 122 - 189 m.

Z wykresów (rys. 4) wynika, że wpływ kąta nachylenia pokładu  $\alpha$  jest niewielki zaś zróżnicowanie wyników w obu metodach waha się od 5-6 m. Charakter oddziaływania parametru  $\alpha$  jest jednakowy, przy czym w każdym przypadku  $H^*_{\text{opt}} < H_{\text{opt}}$ .

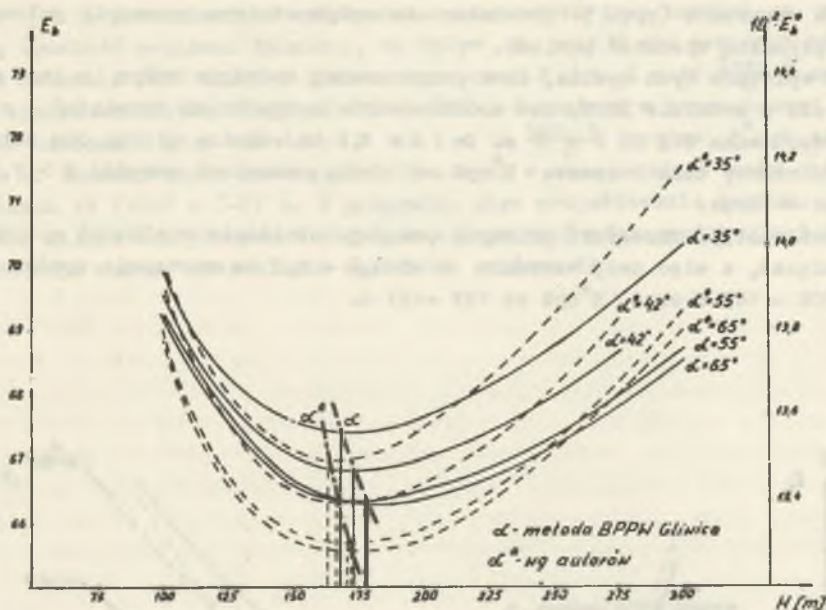
Przy wzroście kąta nachylenia pokładu  $\alpha$  od  $35^\circ$  do  $65^\circ$  następuje wzrost  $H_{\text{opt}}$  od 168 - 178 m oraz  $H^*_{\text{opt}}$  od 163 - 172 m.



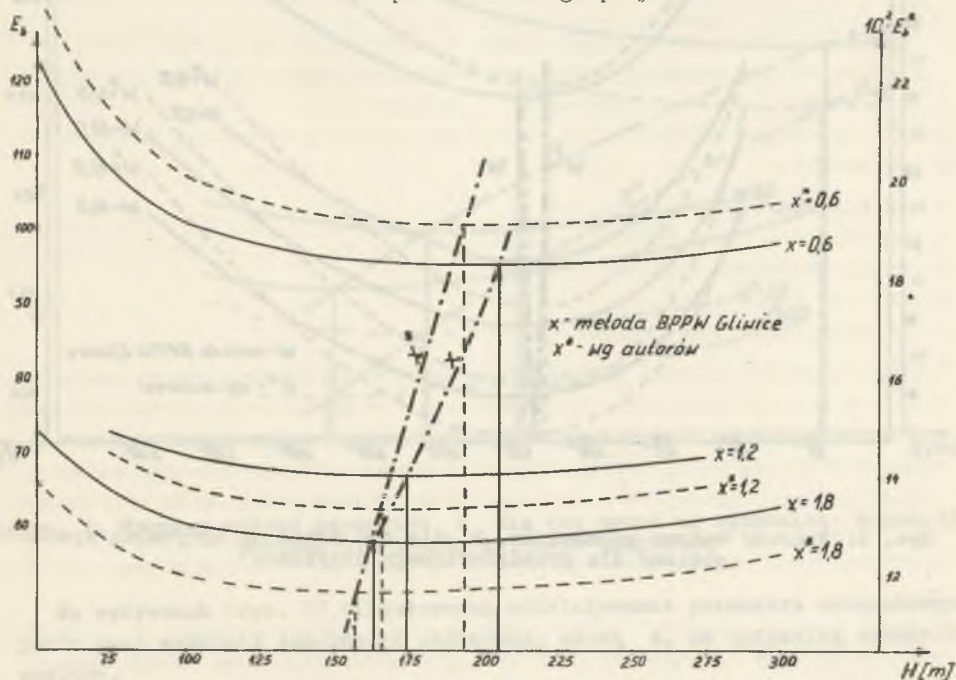
Rys. 2. Wykresy wpływu wysokości pionowej poziomu na wskaźnik ekonomicznej efektywności dla obu metod



Rys. 3. Wykresy wpływu parametru  $\varphi$  dla obu metod na optymalną wysokość poziomu dla przedstawionego przykładu



Rys. 4. Wykresy wpływu parametru  $\alpha$  dla obu metod na optymalną wysokość poziomu dla przedstawionego przykładu

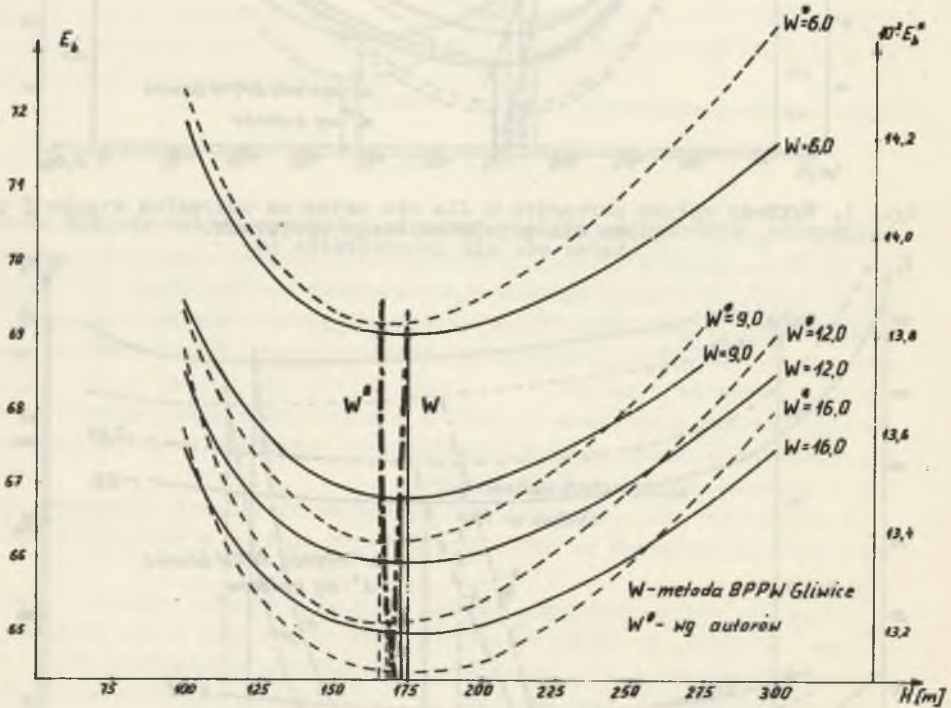


Rys. 5. Wykresy wpływu parametru  $x$  dla obu metod na optymalną wysokość poziomu dla przedstawionego przykładu

Na wykresach (rys. 5) przedstawiono wpływ odstępu przecznicy połowych  $x$  na optymalną wysokość poziomu.

Z wykresów tych wynika, że w proponowanej metodzie wpływ  $x$  jest większy niż w metodzie BPPW, zaś zróżnicowanie optymalnych rozwiązań w obu metodach waha się od 6 - 12 m. Do  $x \approx 1,8$  km różnica między obu metodami ma jednakowy znak i zawsze  $H^*_{opt} < H_{opt}$ , natomiast powyżej  $x > 1,8$  km  $H^*_{opt} > H_{opt}$ .

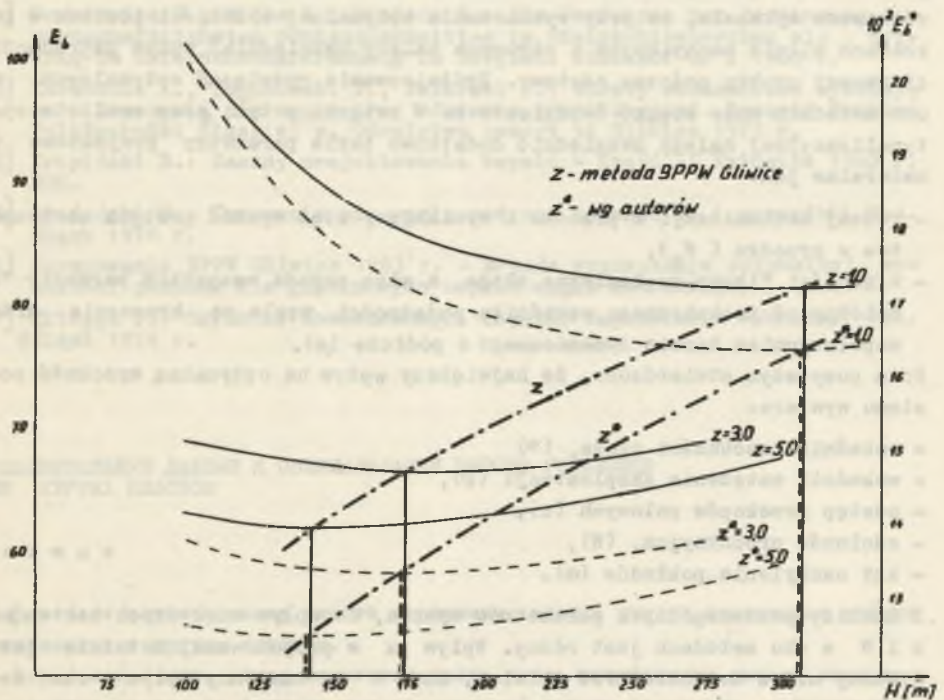
Wzrost odstępu przecznicy połowych powoduje obniżenie wielkości optymalnych rozwiązań, a więc przy wzroście  $x$  od 0,6 - 1,8 km następuje spadek  $H_{opt}$  od 206 - 163 m oraz  $H^*_{opt}$  od 194 - 157 m.



Rys. 6. Wykresy wpływu parametrów  $W$  dla obu metod na optymalną wysokość poziomu dla przedstawionego przykładu



Na rys. 6 przedstawiono wpływ zdolności produkcyjnej kopalni na optymalną wysokość poziomu. Wykazano, że wpływ  $W$  jest w obu metodach odmienny. W metodzie BPPW Gliwice oraz ze wzrostem  $W$  od  $6 - 16 \frac{\text{tys. t}}{\text{d}}$  następuje spadek wielkości  $H_{\text{opt}}$  od 175 - 170 m, natomiast w proponowanej metodzie następuje przy wzroście  $W$  od  $6 - 16 \frac{\text{tys. t}}{\text{d}}$  wzrost  $H_{\text{opt}}$  od 165 - 172 m. Zróżnicowanie rozwiązań optymalnych w obu metodach waha się w granicach od (+10) - (-2) m. W przypadku więc projektowania poziomu w pokładach silnie nachylonych i stromych wzrost zdolności produkcyjnej poziomu powoduje wzrost optymalnych wysokości poziomu ( $H$ ).



rys. 7. Wykresy wpływu parametru  $Z$  dla obu metod na optymalną wysokość poziomu dla przedstawionego przykładu

Na wykresach (rys. 7) zilustrowano oddziaływanie parametru naturalnego jakim jest wskaźnik zasobności użytecznej złoża  $z$ , na optymalną wysokość poziomu.

Wpływ tego parametru w obu metodach jest jednakowy natomiast różnica między optymalnymi rozwiązaniami obu metod jest niewielka - rzędu 2 m. Przy wzroście wskaźnika  $z$  od 1-5  $\frac{1}{3}$  następuje spadek  $H_{opt}^*$  od 307 - 141 m oraz  $H_{opt}$  od 305-139. Parametr ten wykazuje najwyższy wpływ na optymalną wysokość poziomu.

#### 4. Podsumowanie i wnioski końcowe

Przedstawiony praktyczny sposób uwzględnienia czynnika degradacji ziarnowej urobku w metodzie optymalizacji wysokości poziomu może mieć w przekonaniu autorów zastosowanie przy projektowaniu nowych poziomów w pokładach silnie nachylonych i stromych, w powiązaniu z udziałem zasobów w tych pokładach w ogólnej wielkości zasobów poziomu. Przeprowadzona analiza porównawcza wykazała, że przy wyznaczaniu optymalnej wysokości poziomu w pokładach silnie nachylonych i stromych należy uwzględnić wpływ degradacji ziarnowej urobku podczas odstawy. Zróżnicowanie rozwiązań optymalnych w obu metodach może sięgać dwudziestu m. W związku z tym, przy analizie optymalizacyjnej należy uwzględnić dodatkowo takie parametry projektowe i naturalne jak:

- rodzaj mechanizacji w przodku i wynikający stąd wychód grubych sortymentów w przodku ( $\sigma_p$ ),
- własności fizyko-mechaniczne złoza, a więc przede wszystkim parametr "a" zależny od technicznego wskaźnika podatności węgla na kruszenia oraz współczynnika tarcia dynamicznego o podłoże ( $\mu$ ).

Poza powyższym stwierdzono, że największy wpływ na optymalną wysokość poziomu wywiera:

- wskaźnik zasobności złoza, ( $z$ )
- wskaźnik natężenia eksploatacji ( $\varphi$ ),
- odstęp przekopów polowych ( $x$ ),
- zdolność produkcyjna, ( $W$ ),
- kąt nachylenia pokładów ( $\alpha$ ).

Z analizy poszczególnych parametrów wynika, że wpływ niektórych takich jak  $x$  i  $W$  w obu metodach jest różny. Wpływ  $x$  w proponowanej metodzie jest większy niż w metodzie BPPW Gliwice, zaś  $W$  ma odmienny wpływ w obu metodach; w proponowanej metodzie wraz ze wzrostem  $W$  rośnie optymalna wysokość poziomu, natomiast w metodzie BPPW Gliwice przebieg zależności jest odwrotny.

Przeprowadzone rozważania pozwalają na wysunięcie wniosków natury ogólniejszej:

Dążenie kopalń, eksploatujących pokłady węgla energetycznego, do poprawy wychodu grubych sortymentów w urobku jest nadal problemem bardzo ważnym. Wagę tego problemu w aspekcie ekonomicznej celowości działania w całym

procesie wydobywczym podkreślił M. Stefański [5] oraz przyczynkowo autorzy w opracowaniu [3] i niniejszym. Należy więc stale mieć na uwadze fakt, że obniżenie wychodu grubych sortymentów w urobku o 1% obniża jego cenę zbytu średnio o 0,75 zł/t. Stała troska w tym względzie projektantów nowych układów technologicznych w kopalni jak również dozoru górniczego odpowiedzialnego za realizację procesu wydobywczego, przyczyni się do podniesienia efektywności produkcji górniczej.

## 5. Literatura

- [1] Cloos E.: Berechnung des günstigen Abstandes der Sohlen und Abteilungserschläge von Bergwerksanlagen unter besonderer Berücksichtigung des Steinkohlenbergbaues Bergbau-Archiv. Band 7. 1947.r.
- [2] Dorstewitz G., Wilke L., Bindels G.: Ein Verfahren zur Bestimmung des wirtschaftlichsten Sohlenzuschchnittes im Steinkohlenbergbau als Beitrag im Unternehmensforschung im Bergbau. Glückauf nr 2 1963 r.
- [3] Karbownik A., Pogonowski T., Palarski J.: Straty ekonomiczne wynikające z kruszenia się węgla przy odstawie grawitacyjnej. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej s. Górnictwo zeszyt 54 Gliwice 1973 r.
- [4] Krupiński B.: Zasady projektowania kopalń - Część II Katowice 1960 r. WGH.
- [5] Stefański M.: Kruszenie się węgla podczas transportu i przeróbki. Wyd. Śląsk 1970 r.
- [6] Opracowanie BPPW Gliwice 1963 r. - Metoda wyznaczania optymalnej wysokości poziomu dla głębinowych kopalń węgla kamiennego.
- [7] Mitrega J.: Czynniki nowoczesności kopalń. Zagadnienia wybrane. Wyd. Śląsk 1974 r.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ К ОПТИМАЛИЗАЦИИ ВЫСОТЫ ГОРИЗОНТА ДЛЯ КРУТЫХ ПЛАСТОВ

### Резюме

В методе оптимализации высоты горизонта, учтена высота скатывания добычи в наклонных и крутых пластах.

Формула для цены сбыта энергетического угля, как функция высоты скатывания добычи введена в формулу для оптимальной высоты горизонта, а также проведен анализ обоих видов формул.

A CONTRIBUTION TO THE PROBLEM OF THE OPTIMIZATION OF THE LEVEL OF STRONGLY INCLINED LEDGES

Summary

The method of optimizing the level of ledges accounts for the height of the tumbling down of the excavated material in strongly inclined and steep tunnels.

The formula for the price of energetic coal as a function of the tumbling down of the excavated material has been substituted into the formula expressing the optimal level; besides, a comparative analysis of both these formulae has been carried out.