

Bernard Drzęźła, Tadeusz Pogonowski
Antoni Motyczka, Andrzej Kaczmarczyk

OPTYMALNY OBSZAR PODSADZANIA Z JEDNEGO SZYBU PODSADZKOWEGO

Streszczenie. W artykule rozpatrzono koszty stosowania podsadzki płynnej zależne od wielkości podsadzanej obszaru, czyli nakłady inwestycyjne na budowę podsadzki oraz koszty zużycia rur podsadzki. W analizie kosztów uwzględniono czas ich wydatkowania w oparciu o metodę aktualizacji nakładów. Ujęcie kosztów w funkcji wielkości podsadzanej obszaru umożliwia ocenę ekonomiczną różnych wariantów podsadzania danego obszaru oraz wyznaczanie wielkości optymalnej obszaru podsadzanej z jednego szybu podsadzki.

1. Wstęp

Wzrost wydobywania węgla z pokładów, znajdujących się w filarach ochronnych w warunkach eksploatacji skrupowanej, pociąga za sobą wzrost zużycia podsadzki płynnej.

Wysokie stosunkowo koszty stosowania podsadzki płynnej, obciążające 1 tonę węgla wydobytego przy zastosowaniu tej podsadzki, wymagają przeprowadzenia szczegółowej analizy ekonomicznej w celu wybrania najbardziej racjonalnego wariantu wydatkowania nakładów tak, by obciążenie 1 tony węgla z tego tytułu było najmniejsze.

Przy analizowaniu kosztów stosowania podsadzki płynnej dotychczasowe metody obliczania kosztów posługiwały się wielkościami bezwzględnych nakładów nie uwzględniając czasu ich wydatkowania. Ze względu jednakże na obecny sposób finansowania inwestycji w dużej mierze z kredytów bankowych koniecznym jest uwzględnienie przy obliczeniach czasu wydatkowania, gdyż kredyty bankowe są oprocentowane i pominięcie kosztów oprocentowania wypaczyłoby wyniki analiz.

W celu uwzględnienia kosztów oprocentowania, a tym samym czasu wydatkowania nakładów, można posłużyć się przy obliczeniach metodą aktualizacji nakładów. Metoda aktualizacji nakładów, stanowiąca uogólnienie metody procentu składanego [2,4], polega na sprowadzeniu wszystkich wydatków inwestycyjnych i ruchomych oraz wpływów z eksploatacji inwestycji do pewnego momentu czasowego, przy czym zakłada się, że 1 zł uzyskany czy wydatkowany n lat przed danym momentem ma w tym momencie wartość $(1+s)^n$ zł, a 1 zł, który ma być uzyskany czy wydatkowany m lat po danym momencie ma zaktualizowaną na ten moment wartość $(1+s)^{-m}$ zł, gdzie s jest wielkością stopy procentowej.

Artykuł niniejszy jest uogólnieniem prac T. Czechowicza [1] polegającym na uwzględnieniu oprocentowania nakładów na podsadzkę płynną. Dlatego niektóre wyjściowe wzory do naszych rozważań (są to wzory 2,3,7',8') zaczerpnięto z jego prac.

2. Podstawowe zależności

W celu wyprowadzenia wzorów na koszty stosowania podsadzki płynnej należy podać pewne podstawowe zależności. Pierwszą bardzo istotną wielkością w obliczaniu kosztów jest średnia ważona długość rurociągu podsadzkowego L_p . Przez średnią ważoną długość rurociągu podsadzkowego określamy pewną długość zastępczą, na której transportując materiał podsadzkowy potrzebny do całkowitego podsadzenia danego obszaru, powodujemy takie samo zużycie sumaryczne rur podsadzkowych, jak w rurociągu rzeczywistym. Mając pewien obszar podsadzania P , możemy z definicji napisać:

$$L_p = \frac{\iint_P g(x,y) (|x| + |y|) dx dy}{\int_P g(x,y) dx dy}, \quad (1)$$

gdzie:

- L_p - średnia ważona długość rurociągu podsadzkowego,
- P - obszar podsadzania (km^2),
- $g(x,y)$ - sumaryczna grubość pokładów przewidzianych do wybierania z podsadzką hydrauliczną w punkcie o współrzędnych (x,y) .

Powyższy wzór wymaga założenia prostokątnego układu współrzędnych o początku w szybie podsadzkowym, a jedna z osi musi być równoległa do kierunku rozciągłości.

W najprostszymi przypadkach podany przez nas wzór na średnią ważoną długość rurociągów podsadzkowych sprowadza się do wzorów podanych przez T. Czechowicza [1]. Wzór ten odpowiada również danym statystycznym odnośnie do średniej ważonej długości rurociągu podsadzkowego zebranych przez B. Głazowskiego [3]. Mimo iż wzór (1) posiada bardzo ogólną postać, tkwią w nim jednak pewne uproszczenia ponieważ nie uwzględnia on struktury kopalni. Jeśli struktura kopalni jest znana, to przy określeniu średniej ważonej długości rurociągu podsadzkowego można skorzystać z prac W. Parysiewicza [5], [6]. Jego rozważania na temat pracy transportu wydobywania kopalni można bowiem przenieść na zagadnienie transportu podsadzki. Stosowanie powyższego wzoru na średnią ważoną długość rurociągu podsadzkowego pozwala posługiwać się wzorami na koszty podsadzania przy analizie dowolnego kształtu obszaru podsadzania. Następane zależności potrzebne do obliczeń to:

a) ilość piasku potrzebna do podsadzania obszaru górniczego-

$$Q_p = Z \cdot j \quad (m^3)$$

$$Z = \frac{10^6 P g w c}{\cos \alpha} \quad (t)$$

$$Q_p = \frac{10^6 P g w c j}{\cos \alpha} \quad (m^3), \quad (2)$$

gdzie:

Q_p - ilość piasku potrzebnego do podsadzania obszaru wybierania (m^3),

Z - zasoby obszaru wybierania (t),

P - powierzchnia obszaru wybierania (km^2),

j - współczynnik zużycia piasku na 1 tonę wydobytego węgla ($\frac{m^3}{t}$),

g - grubość podsadzanego pokładu (m),

w - współczynnik wykorzystania złoża,

c - ciężar właściwy węgla ($\frac{t}{m^3}$),

α - kąt nachylenia pokładu, m

b) - ilość wymian rurociągów podsadzkowych w poziomie

$$n_p = \frac{Q_p}{m_p},$$

w pionie

$$n_s = \frac{Q_p}{m_s},$$

wstawiając za Q_p wzór (2) otrzymujemy:

$$n_p = \frac{10^6 P g w c j}{m_p \cdot \cos \alpha}$$

$$n_s = \frac{10^6 P g w c j}{m_s \cdot \cos \alpha}$$

W przypadku, gdy pokład zalega poziomo lub z niewielkim nachyleniem możemy napisać:

$$n_p = \frac{10^6 P g w c j}{m_p}$$

$$n_s = \frac{10^6 P g w c j}{m_s} \quad (3)$$

gdzie:

n_p, n_s - ilość wymian rurociągu podsadzkowego w poziomie i w pionie,

m_p, m_s - ilość materiału podsadzkowego powodująca zużycie rurociągu podsadzkowego w poziomie (m_p) i w pionie (m_s).

c) czas eksploatacji T

$$T = \frac{Z}{w_r} \quad [lat],$$

$$\varphi = \frac{w_d}{P} \left[\frac{t}{\text{km}^2 \cdot \text{doba}} \right],$$

$$w_d = \varphi \cdot P \left[\frac{t}{\text{doba}} \right],$$

$$w_r = 300 w_d \left[\frac{t}{\text{rok}} \right],$$

$$w_r = 300 \varphi \cdot P \left[\frac{t}{\text{rok}} \right],$$

$$Z = 10^6 P_{gwc} [t];$$

możemy więc napisać:

$$T = \frac{10^6 gwc}{300 \varphi} [\text{lat}], \quad (4)$$

gdzie:

T - czas eksploatacji,

w_r - wydobyte roczne z podsadzki płynnej,

w_d - wydobyte dobowe z podsadzki płynnej,

φ - natężenie eksploatacji z podsadzki płynnej,

d) odstępy czasu między kolejnymi wymianami rurociągów podsadzkowych

t_p i t_s

w poziomie

$$t_p = \frac{T}{n_p} [\text{lat}],$$

w pionie

$$t_s = \frac{T}{n_s} [\text{lat}],$$

wstawiając za T wzór (4), a za m_p i m_s wzory (3)

$$t_p = \frac{m_p}{300 \varphi P}, \quad (5)$$

$$t_s = \frac{m_s}{300 \varphi P}$$

3. Zaktualizowane koszty podsadzki płynnej

Mając podstawowe zależności możemy obliczyć koszty stosowania podsadzki płynnej. Koszty stosowania podsadzki płynnej składają się z następujących grup kosztów:

- 1) nakłady inwestycyjne J na budowę podsadzki wraz z szybem lub otworem rurowym,
- 2) koszt zużycia rurociągów N_r ,



- 3) koszt materiałów podsadzkowych,
- 4) koszt przodkowy podsadzania.

Przy analizie kosztów podsadzania rozważa się pierwsze dwie grupy, ponieważ pozostałe koszty w przeliczeniu na 1 tonę węgla są niezależne od wielkości obszaru podsadzania. Rozpatrując dwie pierwsze grupy możemy napisać, że koszt podsadzania N równy jest

$$N = J + N_r.$$

Koszt zużycia rurociągów podsadzkowych możemy rozbić na dalsze dwie grupy

- koszt zużycia rurociągów podsadzkowych w poziomie R_p
- koszt zużycia rurociągów podsadzkowych w pionie R_s

Po uwzględnieniu tego możemy napisać

$$N = J + R_p + R_s.$$

Należy teraz określić wzory na wielkość poszczególnych grup kosztów. Wielkość nakładów inwestycyjnych J można przyjąć z kosztorysu budowy, lecz należy przeprowadzić ich aktualizację. W tym celu przyjmujemy, że nakłady są sumą nakładów J_1, J_2, \dots, J_p poniesionych w poszczególnych latach budowy, gdzie p jest ilością lat budowy podsadzkowni i szybu. Przyjmując za podstawowy moment czasowy termin ukończenia budowy podsadzkowni i rozpoczęcia wybierania zaktualizowane nakłady inwestycyjne wyniosą:

$$J_a = \sum_{j=1}^p J_j (1+s)^{p-j} \quad [\text{zł}].$$

W przypadku krótkiego okresu budowy można przyjąć:

$$J_a \approx J, \tag{6}$$

gdzie:

J - rzeczywiste nakłady inwestycyjne.

Koszty zużycia rurociągów podsadzkowych w poziomie równe są iloczynowi ilości wymian rurociągów w poziomie n_p i kosztów jednorazowej wymiany rurociągu podsadzkowego R_{p0} .

Ponieważ koszty te są rozłożone w czasie i zostają poniesione po podstawowym momencie czasowym, jakim jest termin rozpoczęcia eksploatacji, należy przeprowadzić ich aktualizację. W tym celu należy określić wielkość kosztów jednorazowej wymiany rurociągów. Wielkość ta wyniesie:

$$R_{p0} = L_p \cdot r_p, \tag{7}$$

gdzie:

R_{po} - koszt jednorazowy wymiany rurociągu w poziomie (zł),

r_p - jednostkowe koszty wymiany rurociągów podsadzkowych w poziomie (zł/m),

L_p - średnia ważona długość rurociągów podsadzkowych (m).

Przy aktualizacji tych kosztów należy pamiętać, że koszty te zostaną poniesione po podstawowym momencie czasowym, czyli należy je pomniejszyć zgodnie z metodą aktualizacji. Dlatego też wzór na sumaryczne zaktualizowane koszty wymian rurociągów w poziomie N_p ma postać:

$$N_p = \sum_{i=0}^{n_p-1} R_{po} \cdot (1+s)^{-i_p} \quad (7)$$

Podobnie określimy wielkość kosztów jednorazowej wymiany rurociągów w pionie R_{so} . Koszty te wyniosą

$$R_{so} = H \cdot r_s, \quad (8)$$

gdzie:

H - głębokość poziomu podsadzkowego (m),

r_s - jednostkowe koszty wymiany rurociągów podsadzkowych w pionie $\left[\frac{\text{zł}}{\text{m}}\right]$.

Koszty r_p i r_s obejmują koszt zakupu rur podsadzkowych wraz z ich montażem. Mając koszt jednorazowej wymiany rurociągów podsadzkowych w pionie, możemy dokonać ich aktualizacji podobnie jak koszty poprzednie.

Wzór na sumaryczne zaktualizowane koszty wymiany rurociągów podsadzkowych w pionie N_s będzie miał postać:

$$N_s = \sum_{i=0}^{n_s-1} R_{so} \cdot (1+s)^{-i_s} \quad (8)$$

Wykorzystując wzór na sumę wyrazów postępu arytmetycznego, możemy wzory (7) i (8) napisać w postaci:

$$N_p = R_{po} \cdot \frac{(1+s)^{t_p} [(1+s)^T - (1+s)^{t_p}]}{(1+s)^T [(1+s)^{i_p} - 1]} \quad [\text{zł}]. \quad (9)$$

$$N_s = R_{so} \cdot \frac{(1+s)^{t_s} [(1+s)^T - (1+s)^{t_s}]}{(1+s)^T [(1+s)^{i_s} - 1]} \quad [\text{zł}]. \quad (10)$$

Mając wzory (6), (9) i (10) możemy napisać wzór na koszty podsadzania N w następującej postaci:

$$N = J_a + R_{p_0} \frac{(1+s)^{t_p} [(1+s)^T - (1+s)^{t_p}]}{(1+s)^T [(1+s)^{t_p} - 1]} + \\ + R_{s_0} \frac{(1+s)^{t_s} [(1+s)^T - (1+s)^{t_s}]}{(1+s)^T [(1+s)^{t_s} - 1]} \quad [\text{zł}]. \quad (11)$$

4. Jednostkowy zaktualizowany koszt podsadzania

Nakłady N wydatkowane na podsadzkę płynną muszą zostać pokryte częścią wpływów pochodzących ze sprzedaży węgla wydobytego z danego obszaru górniczego przy zastosowaniu podsadzki płynnej. Wielkość tej części wpływów określi więc nam obciążenie wydobycia z tytułu stosowania podsadzki płynnej. Należy więc obliczyć te wpływy, by móc przeprowadzić dalszą analizę ekonomiczną stosowania podsadzki. W tym celu przyjmiemy stałe roczne wydobycie W_r i równe obciążenie każdej tony węgla z tytułu stosowania podsadzki płynnej wielkością k (zł/t). Możemy więc napisać (nie uwzględniając relacji czasowych), że

$$K = k \cdot W_r \cdot T.$$

Z niedużym błędem można założyć, że uzyskiwanie wpływów ze sprzedaży produkcji jest procesem ciągłym w czasie, a w takim przypadku iloczyn

$$k \cdot W_r \cdot dt$$

określa wielkość wpływów w elementarnym przedziale czasowym dt .
Z kolei iloczyn

$$dK = k \cdot W_r (1+s)^{-t} \cdot dt$$

określa wielkość zaktualizowanych na moment rozpoczęcia produkcji wpływów w przedziale dt .

Sumaryczną wielkość zaktualizowanych wpływów uzyskanych w okresie T lat wybierania danego obszaru górniczego możemy napisać jako całkę:

$$K = \int_0^T k \cdot W_r (1+s)^{-t} dt = k \cdot W_r \frac{(1+s)^T - 1}{(1+s)^T \ln(1+s)} \quad [\text{zł}]. \quad (12)$$

Ponieważ wielkość tych wpływów powinna równoważyć wielkość nakładów poniesionych na podszatkę płynną, możemy te wielkości porównać, a po przekształceniu można wyliczyć wielkość k , czyli jednostkowe obciążenie jednej tony węgla z tytułu stosowania podsadzki płynnej.

$$k = \frac{1}{W_r} \left[J_a \frac{(1+s)^T \ln(1+s)}{(1+s)^T - 1} + R_{p_0} \frac{(1+s)^{t_p} [(1+s)^T - (1+s)^{t_p}] \ln(1+s)}{[(1+s)^T - 1][(1+s)^{t_p} - 1]} + R_{s_0} \frac{(1+s)^{t_s} [(1+s)^T - (1+s)^{t_s}] \ln(1+s)}{[(1+s)^T - 1][(1+s)^{t_s} - 1]} \right] \left[\frac{z\lambda}{t} \right].$$

Wzór ten możemy przekształcić wprowadzając pewne uproszczenie

$$1+s = \left[(1+s)^{\frac{1}{s}} \right]^s \approx e^s,$$

które to uproszczenie wynika z tego, że

$$\lim_{x \rightarrow 0} (1+x)^{\frac{1}{x}} = e,$$

a s (stopa oprocentowania) jest dużo mniejsza od jedności.

$$0 < s \ll 1$$

Po uwzględnieniu tego uproszczenia wzór na k przyjmie postać:

$$k = \frac{1}{W_r} \left[I_a \frac{s \cdot e^{sT}}{e^{sT} - 1} + R_{p_0} \frac{se^{st_p} (e^{sT} - e^{st_p})}{(e^{st_p} - 1)(e^{sT} - 1)} + R_{s_0} \frac{se^{st_s} (e^{sT} - e^{st_s})}{(e^{st_s} - 1)(e^{sT} - 1)} \right]. \quad (13)$$

Powyższy wzór można wykorzystać, przez podstawienie do niego wyznaczonych wielkości T , t_s , t_p , R_{p_0} i R_{s_0} , do obliczenia optymalnej wielkości obszaru podsadzania przy zadanym z góry jego kształcie. Przy optymalnym obszarze podsadzania koszty obciążające jedną tonę węgla wydobytego z zastosowaniem podsadzki płynnej będą najniższe.

5. Przykład obliczenia optymalnej wielkości obszaru podsadzania o kształcie kwadratu

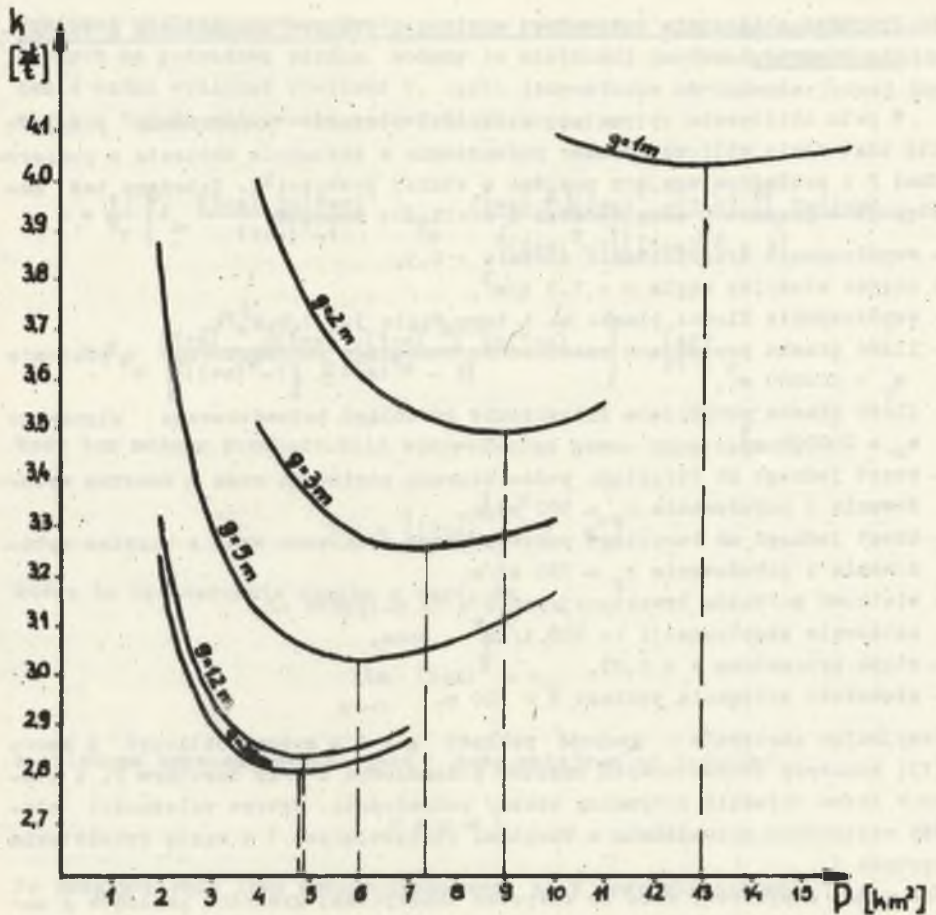
W celu obliczenia optymalnej wielkości obszaru podsadzania przyjęto dla ułatwienia obliczeń obszar podsadzania w kształcie kwadratu o powierzchni P i pokład zalegający poziomo o stałej grubości g . Założono też następujące parametry eksploatacji i wielkości kosztów:

- współczynnik wykorzystania złoża $w = 0,9$,
- ciężar właściwy węgla $c = 1,3 \text{ t/m}^3$,
- współczynnik ilości piasku na 1 tonę węgla $j = 0,8 \text{ m}^3/\text{t}$,
- ilość piasku powodująca zniszczenie rurociągu podsadzkowego w poziomie $m_p = 400000 \text{ m}^3$,
- ilość piasku powodująca zniszczenie rurociągu podsadzkowego pionowego $m_s = 200000 \text{ m}^3$,
- koszt jednego mb rurociągu podsadzkowego poziomego wraz z kosztem wybudowania i zabudowania $r_p = 590 \text{ zł/m}$,
- koszt jednego mb rurociągu podsadzkowego pionowego wraz z kosztem wybudowania i zabudowania $r_s = 720 \text{ zł/m}$,
- wielkość nakładów inwestycyjnych $J = 14$ milionów zł,
- natężenie eksploatacji $\varphi = 500 \text{ t/km}^2 \cdot \text{doba}$,
- stopa procentowa $s = 0,03$,
- głębokość zalegania pokładu $H = 300 \text{ m}$.

Przyjmując następnie grubość pokładu $g = 1 \text{ m}$ możemy obliczyć z wzoru (13) wielkość jednostkowych kosztów podsadzania k przy dowolnym P , z których łatwo określić optymalny obszar podsadzania. Wykres zależności między wielkością podsadzania a kosztami obciążającymi 1 t węgla przedstawia rysunek 1.

Jak widać z wykresu, wraz ze wzrostem sumarycznej grubości pokładów g maleje optymalna wielkość obszaru podsadzania z jednego szybu i maleją jednostkowe koszty podsadzania. Wynika z tego, że im większa grubość pokładu, tym mniejszy powinien być obszar podsadzania, by koszty obciążające 1 t węgla z tytułu stosowania podsadzki płynnej były jak najmniejsze. W danym przykładzie wielkości optymalne obszaru podsadzania w zależności od grubości pokładów i koszty obciążające 1 t węgla w zależności od tej grubości wynoszą dla pokładów o sumarycznej grubości:

$g = 1 \text{ m}$	$P = 14,0 \text{ km}^2$	$k = 4,036 \text{ zł}$
$g = 2 \text{ m}$	$P = 8,9 \text{ km}^2$	$k = 3,497 \text{ zł}$
$g = 3 \text{ m}$	$P = 7,4 \text{ km}^2$	$k = 3,259 \text{ zł}$
$g = 5 \text{ m}$	$P = 6,0 \text{ km}^2$	$k = 3,036 \text{ zł}$
$g = 12 \text{ m}$	$P = 4,9 \text{ km}^2$	$k = 2,837 \text{ zł}$
$g = 20 \text{ m}$	$P = 4,8 \text{ km}^2$	$k = 2,805 \text{ zł}$



Rys. 1

Widać więc, że zastosowanie wzoru (13) do optymalizacji obszarów podszadzenia jest bardzo wygodne. Natomiast wzór (11) może mieć zastosowanie do porównywania różnych wariantów podszadzenia danego obszaru górniczego. Szereg przykładów w tym zakresie podane jest w pracach T. Czechowicza [1]. Tok postępowania może być przy wykorzystaniu wzoru (11) dokładnie taki sam jak w ww. pracach. Różnica polega jedynie na tym, że w sumarycznych kosztach N podszadzki płynnej uwzględnione jest oprocentowanie nakładów.

6. Zakończenie

Głównym efektem przeprowadzonych rozważań są wzory (11) i (13). Wydaje się, że szczególnie wzór (11) może mieć szerokie zastosowanie w praktyce projektowej. Umożliwia on bowiem ekonomiczne porównywanie rozwiązań wariantowych podsadzania danego obszaru górniczego. Zagadnienie to omówione jest w pracy [1]. Wzór (13) z kolei ma znaczenie raczej teoretyczne. Przy pomocy tego wzoru można orientacyjnie określić optymalną wielkość obszaru podsadzanego z jednego szybu (otworu) podsadzkowego. Jeśli w danym konkretnym przypadku wielkość obszaru podsadzania znacznie przekracza wielkość optymalną, to w oparciu o wzór (11) można rozważyć opłacalność budowy w danym obszarze nowej podsadzkowni.

LITERATURA

1. T. Czechowicz - Ekonomiczna analiza kosztów podsadzki płynnej "Przegląd Górniczy" nr 9/1957 i "Przegląd Górniczy" nr 9/1959
2. H. Fiszel - Teoria efektywności inwestycji i jej zastosowanie "PWN" Warszawa 1969.
3. B. Głazowski - Zagadnienie lokalizacji podsadzkowni w dowolnym obszarze górniczym, "Przegląd Górniczy" nr 5/1961
4. M. Kozdrój, B. Drzęźła, W. Gazda, T. Pogonowski - Optymalne parametry wyrobisk korytarzowych z uwzględnieniem rachunku aktualizacji nakładów - Zeszyt Naukowy nr 249 Górnictwo z. 38 - 1969 r. Politechnika Śląska.
5. W. Parysiewicz - Optymalny kształt obszaru górniczego ze względu na prace transportowania "Archiwum Górnictwa" t.VI z. 1 - 1961 r.
6. W. Parysiewicz - Optymalne warunki pracy transportu poziomego i lokalizacja szybu wydobywczego w obszarze górniczym, "Archiwum Górnictwa" t. VII, z.4 - 1962 r.
7. J. Wolski, T. Pogonowski - Projektowanie optymalnej wielkości i modelu głębinowej kopalni węgla kamiennego cz.I, Skrypty Uczelniane nr 214 - 1968 Politechnika Śląska.

ОПТИМАЛЬНАЯ ПЛОЩАДЬ ЗАКЛАДОЧНЫХ РАБОТ ИЗ ОДНОГО ЗАКЛАДОЧНОГО СТВОЛА

Р е з ю м е

В статье рассматриваются затраты на применяемую гидрозакладку в зависимости от величины площади закладочных работ, т.е. капиталовложения на строительство поверхностного оборудования для закладки, а также затраты на использование закладочных труб. В анализе затрат учитывается израсходованное ими время, опираясь на методе актуализации капиталовложений. Изложение затрат в функции величины площади закладочных работ даёт возможность экономической оценки разных вариантов закладочных работ данной площади, а также определения оптимальной величины площади закладочных работ из одного ствола.

OPTIMAL FILLING AREA FROM ONE FILLING SHAFT

Summary

In the paper the cost of liquid filling depending on the size of the filled area, that means the investment cost of filling-room construction and the cost connected with wear and tear of filling pipes-have been discussed. In the cost analysis, the time of its spending on the ground of expenditure actualization was taken into account.

Expenditure taken as a function of the size of the filled area enables economic evaluation of various filling types and of determining the optimal size of filled area from one shaft.



Fig. 1

The graph shows the relationship between the size of the filled area (x-axis) and the total cost (y-axis). The curve indicates that the cost decreases significantly as the filled area increases, eventually reaching a point where the cost reduction levels off. This suggests that there is an optimal size for the filled area that minimizes the total cost.