ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1968
Seria: GÓRNICTWO z. 30 Nr kol. 220

JAN WOLSKI, TADEUSZ POGONOWSKI

METODY RACHUNKU EKONOMICZNEJ EFEKTYWNOŚCI INWESTYCJI W PROJEKTOWANIU KOPALŃ WĘGLA KAMIENNEGO

Streszczenie: W artykule przedstawiono obowiązujący rachunek ekonomicznej efektywności inwestycji oraz proponowany oparty o metodę aktualizacji. Ukazano głównie braki obecnie obowiązującej metody obliczania syntetycznego wskaźnika ekonomicznej efektywności inwestycji. Wykonano analizę porównawczą obowiązującego i proponowanego rachunku efektywności oraz przedstawiono zalety proponowanej metody.

1. Wstęp

Podstawowym kryterium oceny przedsięwzięć inwestycyjnych w przemyśle węglowym jest wskaźnik ekonomicznej efektywności inwestycji [1] przystosowany do specyficznych warunków tego przemysłu [2].

Wiadomo, że budowa czy rekonstrukcja kopalni jest przedsięwzięciem bardzo kapitałochłonnym, a zwrot poniesionych nakładów następuje zwykle dopiero po kilkunastu latach eksploatacji. W związku z powyższym prawidłowa ocena ekonomiczna odgrywa w przemyśle węglowym szczególnie poważną rolę.

Praktyka ostatnich lat wykazała, że obowiązujący rachunek ekonomicznej efektywności posiada pewne usterki, które obniżają jego wartość przy ocenie przedsięwzięć inwestycyjnych w górnictwie.

Do usterek tych należy zaliczyć:

1) Nieuwzględnienie w rachunku rzeczywistego okresu oddziaływania inwestycji.

Kopalnia jest przedsiębiorstwem złożonym, składa się z szeregu obiektów i urządzeń o różnych okresach użytkowania i różnych okresach amortyzacji nakładów inwestycyjnych poniesionych na te obiekty i urządzenia. Szczegółową analizę procentowego

udziału inwestycji o różnych okresach ich użytkowania dla nowych kopalń przedstawiono w pracy [3]. Na przykład przy obowiązujących obecnie stawkach amortyzacyjnych, średnioważony okres zwrotu nakładów inwestycyjnych wynosi 12-18 lat w zależności od udziału inwestycji krótkotrwałych, a więc maszyn i urządzeń w nakładach całkowitych. W prawidłowym rachunku ekonomicznym zmiana okresu użytkowania jednego z obiektów kopalni lub też całej kopalni winna wpływać na wartość wskaźnika ekonomicznej efektywności. Ma to szczególne znaczenie w przypadku porównywania różnych modeli dołu kopalni (eksploatacja jedno lub dwupoziomowa, różne odstępy między poziomami, różne zakresy eksploatacji złoża w zależności od określonych kryteriów bilansowości itd), gdzie okresy eksploatacji mogą znacznie się wzajemnie różnić.

Niestety w stosowanym obecnie rachunku efektywności występujący współczynnik b mający korygować wartość wskaźnika efektywności ze względu na okres eksploatacji jest pojęciem fikcyjnym i nie ma nic wspólnego z rzeczywistymi okresami użytkowania inwestycji[1].

2) Skomplikowany sposób podziału kosztów ruchowych na dwa składniki K i S. W związku z fikcyjnym charakterem wskaźnika b, przyjmując b = 1 w ogóle odpada potrzeba dokonywania takiego podziału kosztów.

3) Analiza obowiązującego rachunku efektywności wykazuje, że wydłużanie okresu rozwoju wydobycia kopalni w okresie jej budowy podnosi efektywność inwestycji. Wynika to z wadliwego sposobu obliczania zamrożenia nakładów w okresie budowy, przeceniającego znaczenie wstępnej eksploatacji. Praktyka wykazuje, że wydobycie uzyskiwane w okresie budowy uzyskiwane jest często przy wysokich kosztach własnych, a uwzględniając dodatkowo okoliczności szkodliwego wpływu zbyt wczesnego rozwoju

---

[1] Współczynnik b dobiera się z tablic, jako wartość minimalną przy danym stosunku nakładów do kosztów ruchowych. W nowych kopalniach optymalna wartość b odpowiada okresowi n = 30-40 lat.

produkcji na tempo i prawidłowość cyklu inwestycyjnego, może okazać się, że wstępna eksploatacja nie jest tak korzystna jakby to się mogło wydawać bez gruntownej analizy ekonomicznej.

4) Zupełne oderwanie się obecnie obowiązującego rachunku ekonomicznej efektywności od rachunku przemysłowego, w którym oblicza się jedynie koszt własny wraz z amortyzacją nakładów, wartość produkcji oraz wskaźniki akumulacji i rentowności. Doprowadza to do paradoksalnego stanu, gdy na przykład dwie zbudowane kopalnie, z których pierwsza wykazywała znacznie lepszą efektywność inwestycji niż druga, w praktyce posiadać będzie gorsze od drugiej wskaźniki ekonomiczne. To samo zresztą dotyczy rozwiązań wariantowych jednej inwestycji. W związku z powyższym rachunek efektywności powinien być oparty na wspólnych zasadach z rachunkiem przemysłowym.

5) Obowiązujący rachunek efektywności dyskryminuje w pewnym sensie inwestycje surowcowe. Na przykład dla wszystkich projektowanych kopalń węgla wartościowy wskaźnik ekonomicznej efektywności wypada z reguły większy od jedności a więc jest z punktu widzenia ekonomicznego niekorzystny, mimo że inne wskaźniki ekonomiczne jak akumulacja, rentowność czy okres zwrotu nakładów inwestycyjnych wskazują na wysoką opłacalność inwestycji.

6) Poważną niedogodnością obowiązującego rachunku efektywności jest trudność jego stosowania do porównywania wariantowych rozwiązań projektowych dla poszczególnych obiektów i elementów kopalni, a w przypadku zróżnicowania okresu eksploatacji danego obiektu w różnych wariantach, stosowanie powyższego rachunku jest w ogóle niemożliwe. Wydaje się, że podstawowy rachunek efektywności powinien być uniwersalny, winien umożliwiać ocenę ekonomicznej efektywności tak rekonstrukcji czy budowy kopalni jako całości jak również poszczególnych elementów i obiektów oraz modernizacji, mechanizacji, automatyzacji itd.

Przedstawione wyżej powody wskazują na potrzebę poszukiwania bardziej doskonałych form rachunku ekonomicznej efektyw-

ności inwestycji, lepiej dostosowanych do specyfiki przemysłu węglowego. Autorzy doszli do wniosku, że rachunek efektywności należy oprzeć na metodzie aktualizacji, metoda ta bowiem eliminuje przedstawione wyżej usterki stosowanego dotychczas rachunku. Jak wiadomo, metoda aktualizacji polega na sprowadzeniu nakładów inwestycyjnych, kosztów ruchowych i wartości produkcji do momentu początkowego lub dowolnego innego, przy założeniu, że pieniądz ma wartość malejącą w miarę upływu czasu. Tak więc w rozpatrywanym momencie 1 zł wydatkowany czy uzyskany przed n laty ma wartość aktualną $(1 + s)^n$ zł, natomiast 1 zł mający być wydatkowany czy uzyskany za n lat ma wartość aktualną $(1 + s)^{-n}$ zł, przy czym s jest stopą procentową.

Metoda aktualizacji jest niezwykle prosta i logiczna oraz posiada tę podstawową zaletę, że jest ważna w każdym ustroju społecznym i gospodarczym, dla każdej jednostki operującej pieniądzem bez względu na to czy to będzie jeden człowiek, przedsiębiorstwo prywatne czy państwowe. Różnić się mogą jedynie wartości stopy procentowej i to od zera - według obecnego rachunku przemysłowego stosowanego w Polsce.

W dalszych rozdziałach przedstawiona zostanie analiza porównawcza dotychczas stosowanego wskaźnika ekonomicznej efektywności oraz odpowiedniego wskaźnika obliczonego metodą aktualizacji z uwzględnieniem szczególnego przypadku gdy stopa procentowa $s = 0$.

Analizie poddano teoretyczny, uproszczony model cyklu inwestycyjnego budowy nowej kopalni, a następnie przedstawiono odpowiednie obliczenia dla budowanej obecnie kopalni. Mimo, że w pracy uwzględniono jedynie budowę nowej kopalni, wyprowadzone wnioski dotyczą również innego rodzaju inwestycji jak rekonstrukcji, modernizacji, mechanizacji, automatyzacji i in.

2. Model cyklu inwestycyjnego budowy kopalni

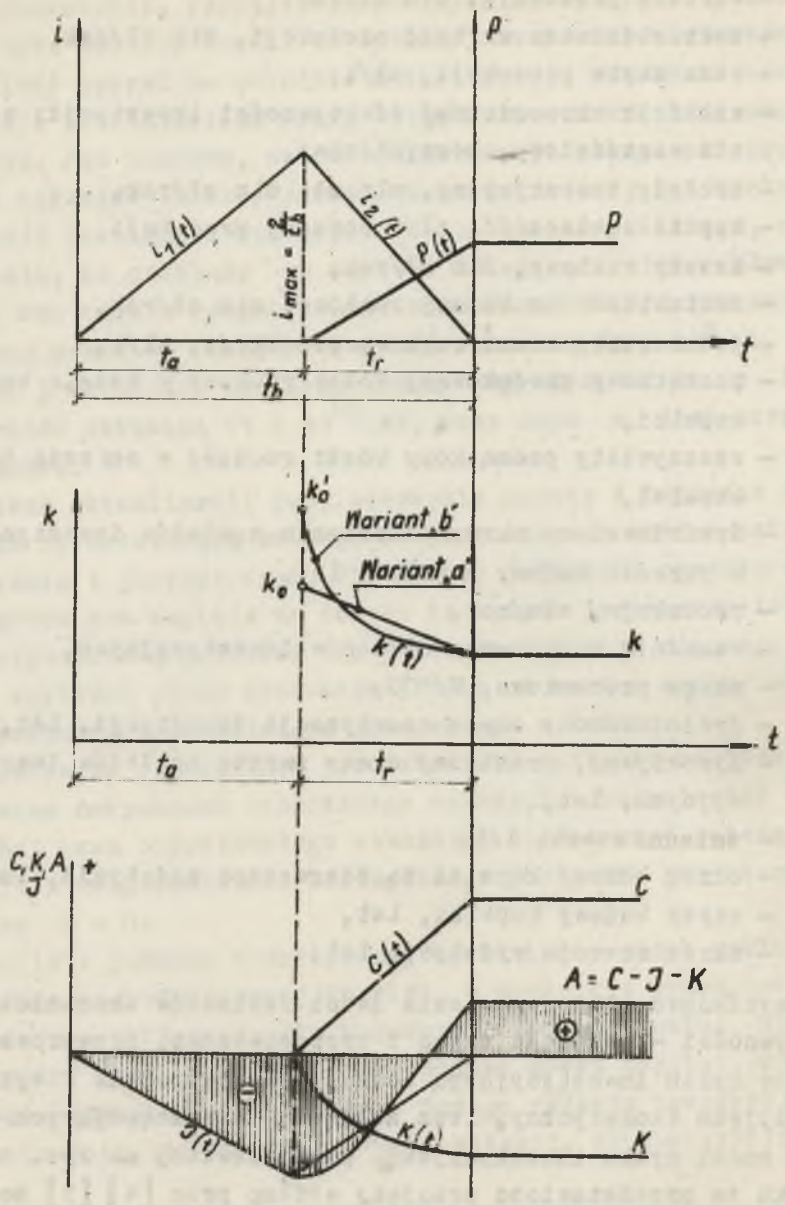
Zestawienie ważniejszych oznaczeń:

A - akumulacja, mln zł/rok,

A_a - zaktualizowana akumulacja, mln zł/rok,

C - wartość produkcji, mln zł/rok,
C_a - zaktualizowana wartość produkcji, mln zł/rok,
c - cena zbytu produkcji, zł/t,
E - wskaźnik ekonomicznej efektywności inwestycji; wskaźnik wartościowy, bezwymiarowy,
J - nakłady inwestycyjne, mln zł, mln zł/rok,
i - kapitałochłonność, zł/t rocznej produkcji,
K - koszty ruchowe, mln zł/rok,
K_a - zaktualizowane koszty ruchowe, mln zł/rok,
k - jednostkowy koszt ruchowy produkcji, zł/t,
k_o - początkowy zredukowany koszt ruchowy w czasie budowy kopalni,
k'_o - rzeczywisty początkowy koszt ruchowy w okresie budowy kopalni,
n_z - średnioważony okres zamrożenia nakładów inwestycyjnych w okresie budowy kopalni, lat,
P - produkcja, mln/rok,
q_z - wskaźnik zamrożenia nakładów inwestycyjnych,
s - stopa procentowa, %/100,
T_a - średnioważony okres amortyzacji inwestycji, lat,
T_z - dyrektywny, graniczny okres zwrotu nakładów inwestycyjnych, lat,
t - zmienna czasu, lat,
t_a - okres budowy kopalni do pierwszego wydobycia, lat,
t_b - okres budowy kopalni, lat,
t_r - okres rozwoju wydobycia lat,

Przykładowo, dla porównania dwóch rachunków ekonomicznej efektywności - obowiązującego i proponowanego, przeprowadzono analizę cyklu inwestycyjnego budowy nowej kopalni. W tym celu przyjęto teoretyczny, lecz zbliżony do występujących w praktyce, model cyklu inwestycyjnego przedstawiony na rys. 1. Na rysunku 1a przedstawiono przyjęty według prac [4] [5] model rozkładu nakładów inwestycyjnych w okresie budowy (J_t) oraz wykres rozwoju wydobycia kopalni; na rys. 1b - wykresy zmienności w czasie jednostkowego kosztu ruchowego produkcji uzyskiwanej w okresie budowy (wariant a - przebieg liniowy, wa-



Rys. 1. Teoretyczny model cyklu inwestycyjnego

riant b – przebieg według hiperboli), wreszcie na rys. 1c przedstawiono wykresy rocznych nakładów J(t), kosztów ruchowych K(t), dochodów ze zbytu węgla C(t) oraz akumulacji będącej sumą:

$$A(t) = C(t) - J(t) - k(t) \quad \text{mln zł/rok}$$

gdzie: t – kolejne lata budowy.

Analizę przeprowadzono przy następujących założeniach:

1) Nakłady inwestycyjne w kolejnych latach budowy wzrastają liniowo do chwili uzyskania pierwszego wydobycia kopalni t_a, a następnie maleją do zera w chwili osiągnięcia docelowej zdolności produkcyjnej t_b. Model taki jest najbardziej zbliżony do rzeczywistych rozkładów nakładów inwestycyjnych na budowę nowych kopalń. Model powyższy wyrazić można następującymi równaniami (przy założeniu nakładu na budowę kopalni J = 1) [6]:

– dla okresu $0 - t_a$:[1)]

$$i_1(t) = \frac{2}{t_a \cdot t_b} \cdot t \tag{1a}$$

– dla okresu $t_a - t_b$:

$$i_2(t) = -\frac{2}{t_b \cdot t_r} \cdot t + \frac{2}{t_r} \tag{1b}$$

2) Liniowy wzrost wydobycia kopalni od zera w chwili t_a do wartości docelowej P w chwili t_b. Przy założeniu P = 1 równanie wzrostu wydobycia wyrazić można wzorem:

$$P(t) = \frac{t - t_a}{t_r} \tag{2}$$

3) Jednostkowy koszt ruchowy produkcji kopalni spada w okresie budowy kopalni od wartości początkowej k_o' w chwili t_a do

[1)] Oznaczenia ważniejszych symboli znajdują się na początku rozdziału 2.

wartości k w chwili t_b. Rzeczywisty przebieg spadku kosztu ruchowego w okresie $t_a - t_b$ jest zbliżony do funkcji typu:

$$k(t) = \frac{a}{t^2} + \frac{b}{t} + d \qquad (3a)$$

gdzie:

$$b = (k_o' - k)\frac{t_a \cdot t_b}{t_r} - a \cdot \frac{t_b + t_a}{t_a \cdot t_b}$$

$$d = \frac{kt_b - k_o' \cdot t_a}{t_r} + \frac{a}{t_a \cdot t_b};$$

wartość a określa się w oparciu o dane statystyczne.

W praktyce w początkowym okresie rozwoju wydobycia koszt ruchowy gwałtownie spada, a w pozostałym spadek ten jest stosunkowo łagodny. W związku z powyższym, funkcję (3a) można zgodnie z wykresem na rys. 1 zastąpić funkcją uproszczoną liniową typu:

$$k(t) = -(k_o - k) \cdot \frac{t - t_a}{t_r} + k_o \qquad (3b)$$

gdzie: $k_o < k_o'$ jest kalkulacyjną wysokością początkową kosztu ruchowego określoną przy założeniu, że wpływ kosztów produkcji w początkowym okresie rozwoju wydobycia w ogólnym bilansie ekonomicznym jest znikomy.

4) Cenę zbytu węgla przyjmuje się tak w okresie budowy kopalni jak i w okresie pełnej eksploatacji jako wartość stałą (c).

5) Zakłada się, że po osiągnięciu docelowej produkcji kopalni w chwili t_b tak cena zbytu (c), jak i koszt ruchowy (k) będą niezmienne.

6) Kopalnia jest złożona z obiektów i urządzeń o różnych okresach użytkowania. Rzeczywiste okresy użytkowania poszczególnych inwestycji wynoszą zwykle 5 - 80 lat, a odpowiednie okresy amortyzacji z uwzględnieniem kapitalnych remontów

4-50 lat. Średnioważony okres amortyzacji inwestycji określić można z wzoru:

$$T_a = \frac{J}{\sum_{i=1}^{N} \frac{J_i}{T_{ai}}} = \frac{J}{\sum_{i=1}^{N} J_i \cdot a_i} \qquad (4)$$

gdzie:

J – całkowite nakłady inwestycyjne,

J_i – nakłady inwestycyjne na poszczególne obiekty i urządzenia o okresach amortyzacji T_{ai}, lub o odpowiednich stawkach amortyzacyjnych a_i,

N – ilość rozpatrywanych elementów kopalni.

W przypadku różnych okresów użytkowania obiektów kopalni w poszczególnych wariantach (np. różne okresy eksploatacji poziomów, różna trwałość obiektów i urządzeń itp), należy odpowiednio przeliczać okresy oddziaływania inwestycji, wg wzoru (4):

W ten sposób określony model cyklu inwestycyjnego budowy kopalni będzie poddany w dalszych rozdziałach analizie przy uwzględnieniu dwóch omówionych powyżej metod ekonomicznych.

3. Obowiązujący rachunek ekonomicznej efektywności

Do analizy przedstawionego wyżej teoretycznego modelu cyklu inwestycyjnego zastosowano uproszczony wskaźnik ekonomicznej efektywności w postaci bezwymiarowej:

$$E_I = \frac{\frac{J}{T_z}(1 + q_z \cdot n_z) + K}{c \cdot P} \qquad (5a)$$

gdzie:

J – nakłady inwestycyjne na budowę kopalni,

T_z – dyrektywny, graniczny okres zwrotu nakładów, obecnie $T_z = 6$ lat,

q_z – wskaźnik zamrożenia nakładów inwestycyjnych w okresie budowy, obecnie $q_z = 0{,}16$,

n_z – średnioważony okres zamrożenia nakładów inwestycyjnych w okresie budowy kopalni,

K – roczny koszt ruchowy kopalni,

c – jednostkowa ocena zbytu produkcji,

P – produkcja roczna w jednostkach ilościowych, gdzie poza uprzednio podanymi oznaczeniami: $i = \frac{J}{P}$ – wskaźnik kapitałochłonności w zł/t rocznej produkcji.

Po przekształceniu wzoru (5a) otrzymuje się:

$$E_I = \frac{1}{c} \cdot \left[\frac{1}{T_z}(1 + q_z \cdot n_z) + k\right] \tag{5b}$$

Przyjmując obliczony w oparciu o model teoretyczny kopalni średnioważony okres zamrożenia inwestycji [4] [5] w postaci

$$n_z = \frac{1}{3}\left(t_b - \frac{t_r}{2}\right)$$

oraz uwzględniając $T_z = 6$ lat oraz $q_z = 0{,}16$ otrzymuje się ostatecznie:

$$E_I = \frac{1}{c}\left\{\frac{1}{6}\left[1 + 0{,}16 \cdot \frac{1}{3}\left(t_b - \frac{t_r}{2}\right)\right] + k\right\} \tag{5c}$$

We wzorze (5a) przyjęto współczynnik występujący w obowiązującym wskaźniku ekonomicznej efektywności b=1. W rzeczywistości przy występujących w górnictwie stosunkach $\frac{J}{K}$ powstała w ten sposób różnica nie przekracza zwykle 5%, co tym bardziej przemawia za takim przyjęciem z uwagi na brak uzasadnienia technicznego i ekonomicznego dla przyjmowania minimalnej wartości b wg obowiązującej instrukcji w przypadku inwestycji wzorcowych gdzie okres użytkowania obiektu wynika z ilości występujących zasobów.

4. Proponowany rachunek ekonomicznej efektywności

Proponuje się przyjąć jako podstawę rachunek aktualizacji, w którym wszystkie operacje finansowe sprowadza się do poziomu porównywalności poprzez czynnik dyskontujący $(1 + s)^{t_b - t}$

gdzie:

s – stopa procentowa,

t_b – chwila, do której sprowadza się wszystkie operacje finansowe,

t – dowolna wartość przed lub po t_b.

Należy przy tym uwzględniać wszystkie wydatki i wpływy tak w okresie budowy jak i w okresie normalnej eksploatacji. Przedstawiając wskaźnik ekonomicznej efektywności inwestycji w postaci bezwymiarowej, porównywalnej z obecnie obowiązującymi wskaźnikiem, otrzymuje się:

$$E_{II} = \frac{J_a + K_{ar} + K_{ad}}{C_{ar} + C_{ai}} \tag{6}$$

gdzie:

J_a – zaktualizowane nakłady inwestycyjne,

K_{ar}, C_{ar} – sumaryczne koszty ruchowe i wartość produkcji w okresie budowy kopalni,

K_{ad}, C_{ad} – sumaryczne koszty i wartość produkcji w okresie eksploatacji inwestycji, w okresie oddziaływania inwestycji T_a.

Aktualizację do wartości $t_b = 0$ na konkretnych przykładach wykonuje się według wzoru

$$G_a = \sum_{t=1}^{T} g(t) \cdot (1 + s)^{-t} \tag{7a}$$

gdzie:

G_a – zaktualizowana wielkość kosztów,

$g(t)$ – wielkości kosztów w kolejnych latach t.

Przy analizie teoretycznego modelu wygodniej jest stosować aktualizację ciągłą określoną wzorem:

$$G_a = \int_0^T g(t) \cdot (1 + s)^{-t} \, dt \tag{7b}$$

Gdy np. $g(t) = g = \text{const}$ wówczas wzory (7a) i (7b) przedstawić można przy pomocy wzorów:

$$g \sum_{t=1}^{T} (1 + s)^{-t} = \frac{1 - (1+s)^{-T}}{s} = \frac{(1+s)^{T} - 1}{(1+s)^{T} \cdot s} \qquad (8a)$$

$$g \int_{0}^{T} (1+s_1)^{-t}\, dt = \frac{1 - (1+s_1)^{-T}}{\ln (1+s_1)} = \frac{(1+s_1)^{T} - 1}{(1+s_1)^{T} \ln (1+s_1)} \qquad (8b)$$

Jak widać, dla uzyskania jednakowej wysokości kosztów zaktualizowanych, należy przy stosowaniu aktualizacji ciągłej obliczać taką stopę procentową s_1 by spełniona była zależność $s = \ln (1+s_1)$. Poniżej przedstawiono różnice między wartościami po obu stronach równania.

s	0	0,05	0,10	0,15
ln(1+s)	0	0,0488	0,0954	0,140
różnica	0	2,4%	4,5%	6,7%

Tak więc dla wartości $s \leqslant 10\%$ różnica nie przekracza 5%. Dla celów niniejszej analizy różnica ta jest możliwa do przyjęcia i w związku z tym przyjmuje się $s_1 = s$.

Aktualizację nakładów inwestycyjnych przeprowadza się według wzoru:

$$J_a = J \cdot \int_{0}^{t_b} i(t) \cdot (1+s)^{t_b - t}\, dt \qquad (9)$$

gdzie poza poprzednio podanymi oznaczeniami:

J – rzeczywiste nakłady inwestycyjne,

$i(t)$ – funkcja rozkładu nakładów inwestycyjnych w czasie,

a po wstawieniu za $i(t)$ funkcji określonych wzorami (1a) i (1b)

$$J_a = J \cdot \left[\frac{2}{t_a \cdot t_b} \int_0^{t_a} t(1+s)^{t_b - t}\, dt - \frac{2}{t_b \cdot t_r} \int_{t_a}^{t_b} t(1+s)^{t_b - t}\, dt + \frac{2}{t_r} \int_{t_a}^{t_b} (1+s)^{t_b - t}\, dt \right]$$

po obliczeniu otrzymuje się ostatecznie:

$$J_a = J \cdot \left(\frac{t_a}{t_b} \cdot A + \frac{t_r}{t_b} \cdot B \right) \qquad (10)$$

gdzie:

$$A = \frac{2(1+s)^{t_r}}{t_a \ln(1+s)} \left[\frac{(1+s)^{t_a} - 1}{t_a \ln(1+s)} - 1 \right]$$

$$B = \frac{2(1+s)^{t_r}}{t_r \ln(1+s)} \left[1 - \frac{1 - (1+s)^{-t_r}}{t_r \ln(1+s)} \right]$$

W przypadku gdy $s \to 0$ wówczas $A \to 1$ i $B \to 1$, a nakłady zaktualizowane J_a zmierzają do wartości rzeczywistych nakładów gdyż

$$J_a \longrightarrow J \left(\frac{t_a}{t_b} + \frac{t_r}{t_b} \right) = J \qquad (10')$$

Aktualizację kosztów ruchowych w okresie budowy kopalni przeprowadza się wg wzoru:

$$K_{ar} = P \int_{t_a}^{t_b} k(t) \cdot p(t)(1+s)^{t_b - t}\, dt \qquad (11)$$

gdzie:

$k(t)$ – jednostkowy koszt ruchowy jako funkcja czasu, określony wzorem (3a) lub (3b),

p(t) – funkcja rozkładu wydobycia w okresie budowy kopalni określona wzorem (2),

P – produkcja docelowa kopalni.

Korzystając z wzoru ścisłego (3a) otrzymuje się:

$$K_{ar} = P \int_{t_a}^{t_b} \left(\frac{a}{t^2} + \frac{b}{t} + d\right) \cdot \frac{t - t_a}{t_r} \cdot (1 + s)^{t_b - t} \, dt \qquad (12)$$

Całkę powyższą rozwiązać można jedynie w sposób przybliżony przez rozwinięcie w szereg Taylora. Po wykonaniu obliczeń okazało się, że już przy trzecim przybliżeniu f"(t) dla przykładowych danych liczbowych (t_a = 5 lat, t_b = 11 lat, s = 10%) błąd średni nie przekracza 1%. Funkcja ma skomplikowany charakter i dla $s \to 0$ zmierza do granicy, którą jest rzeczywisty sumaryczny koszt produkcji w okresie budowy kopalni:

$$K_r = a \cdot \frac{t_b \cdot \ln \frac{t_b}{t_a} - t_r}{t_r \cdot t_b} - b \cdot \frac{t_a \ln \frac{t_b}{t_a} - t_r}{t_r} + d \frac{t_r}{2} \qquad (12')$$

Korzystając z wzoru uproszczonego (3b) oraz posiadając określony wzorem (2) rozwój wydobycia otrzymuje się na podstawie wyrażenia (11):

$$K_{ar} = P \cdot \int_{t_a}^{t_b} \left[-(k_o - k) \frac{t - t_a}{t_r} + k_o \right] \cdot \frac{t - t_a}{t_r} \cdot (1+s)^{t_b - t} dt \qquad (13)$$

a po obliczeniu:

$$K_{ar} = P \left[\frac{k_o}{2} \cdot t_r \cdot G - \frac{k_o - k}{\ln(1+s)} (G - 1) \right] \qquad (14)$$

gdzie:

$$G = \frac{2}{t_r \ln(1+s)} \cdot \left[\frac{(1+s)^{t_r} - 1}{t_r \ln(1+s)} - 1 \right]$$

Granicą wyrażenia (14) przy $s \to 0$ jest rzeczywista suma kosztów ruchowych w okresie budowy kopalni:

$$K_r = P \frac{t_r}{6} (2k + k_o) \tag{14'}$$

Aktualizację kosztów ruchowych w okresie oddziaływania inwestycji T_a przeprowadza się według zależności:

$$K_{ad} = \int_0^{T_a} \frac{k(t) \cdot p(t)}{(1+s)^t} dt \tag{15}$$

Przy założeniu, że w całym okresie T_a jednostkowe koszty ruchowe $k(t)$ i wielkość produkcji $p(t)$ będą niezmienne czyli $k(t) = k = const$ i $p(t) = P = const$ otrzymuje się po obliczeniu:

$$K_{ad} = P \cdot k \cdot H \tag{16}$$

gdzie:

$$H = \frac{(1+s)^{T_a} - 1}{(1+s)^{T_a} \ln(1+s)}$$

przy czym:

T_a – średnioważony okres oddziaływania inwestycji obliczony z wzoru (4),

k – stały w okresie T_a jednostkowy koszt produkcji,

P – wielkość produkcji rocznej.

Oczywiście gdy $s \to 0$ wówczas wyrażenie (16) zdąża do rzeczywistego sumarycznego kosztu ruchowego w okresie T_a czyli do wartości

$$K_d = P \cdot k \cdot T_a \tag{16'}$$

Aktualizację wartości produkcji w okresie budowy kopalni przeprowadza się wg wzoru

$$C_{ar} = \int_{t_a}^{t_b} C_r(t)\,(1+s)^{t_b-t}\,dt \qquad (17)$$

gdzie: $C_r(t)$ – funkcja wartości produkcji w okresie budowy kopalni.

Zakładając, że cena zbytu węgla będzie stała oraz uwzględniając zależność (2) otrzymuje się:

$$C_{ar} = c\,P \cdot \int_{t_a}^{t_b} \frac{t-t_a}{t_r}\,(1+s)^{t_b-t}\,dt \qquad (18)$$

stąd po obliczeniu:

$$C_{ar} = cP \cdot \frac{t_r}{2} \cdot G \qquad (19)$$

gdzie: G określone jest w wyrażeniu (14). Gdy $s \to 0$ wówczas $G \to 1$, a wyrażenie (19) zdąża do rzeczywistej wartości produkcji w okresie budowy kopalni, czyli

$$C_r = cP\,\frac{t_r}{2} \qquad (19')$$

Aktualizację wartości produkcji w okresie oddziaływania inwestycji przeprowadza się w sposób podobny jak w przypadku kosztu ruchowego, a mianowicie wg wzoru:

$$C_{ad} = \int_{0}^{T_a} \frac{c(t)\cdot p(t)}{(1+s)^t}\,dt \qquad (20)$$

gdzie:

c(t) – funkcja ceny zbytu,

p(t) – funkcja produkcji.

Po przyjęciu $c(t) = c = const$ i $p(t) = P = const$ otrzymuje się:

$$C_{ad} = cP \cdot H \tag{21}$$

gdzie:

- c – jednostkowa cena zbytu,
- P – produkcja,
- H – określone jest we wzorze (16).

Gdy $s \to 0$ wówczas $H \to T_a$ i wówczas aktualizowana wartość produkcji przechodzi w rzeczywistą wartość produkcji:

$$C_d = cP \cdot T_a \tag{21'}$$

Syntetyczny wskaźnik efektywności obliczony proponowaną metodą (6) przedstawić można, korzystając z wynikowych wzorów (10), (14), (16), (19) i (21), w następującej postaci:

$$E_{II} = \frac{i\left(\frac{t_a}{t_b}A + \frac{t_r}{t_b}B\right) + k\left(\frac{G-1}{\ln(1+s)} + H\right) + k_o\left(\frac{t_r}{2}G - \frac{G-1}{\ln(1+s)}\right)}{c\left(\frac{t_r}{2}G + H\right)} \tag{22}$$

gdzie:

- i – wskaźnik kapitałochłonności na jednostkę rocznej produkcji,
- k – jednostkowy koszt ruchowy w okresie oddziaływania inwestycji,
- k_o – jednostkowy koszt ruchowy na początku rozwoju wydobycia (umowny),
- c – cena zbytu jednostki produkcji,
- t_a – okres budowy kopalni do pierwszego wydobycia kopalni,
- t_r – okres rozwoju wydobycia,
- $t_b = t_a + t_r$ – okres budowy kopalni,
- s – stopa procentowa,
- T_a – okres oddziaływania inwestycji wg wzoru (4).

Wartości stałych:

$$A = \frac{2\,(1+s)^{t_r}}{t_a \ln(1+s)} \cdot \left[\frac{(1+s)^{t_a} - 1}{t_a \ln(1+s)} - 1\right]$$

$$B = \frac{2\,(1+s)^{t_r}}{t_r \ln(1+s)} \cdot \left[1 - \frac{1-(1+s)^{-t_r}}{t_r \ln(1+s)}\right]$$

$$G = \frac{2}{t_r \ln(1+s)} \cdot \left[\frac{(1+s)^{t_r} - 1}{t_r \ln(1+s)} - 1\right]$$

$$H = \frac{(1+s)^{T_a} - 1}{(1+s)^{T_a} \ln(1+s)}$$

Gdy $s \to 0$ wówczas wyrażenie (22) zmierza do wartości wskaźnika ekonomicznej efektywności przy prostej amortyzacji nakładów którą określić można z (6) podstawiając (10'), (14'), (16'), (19') i (21'); stąd

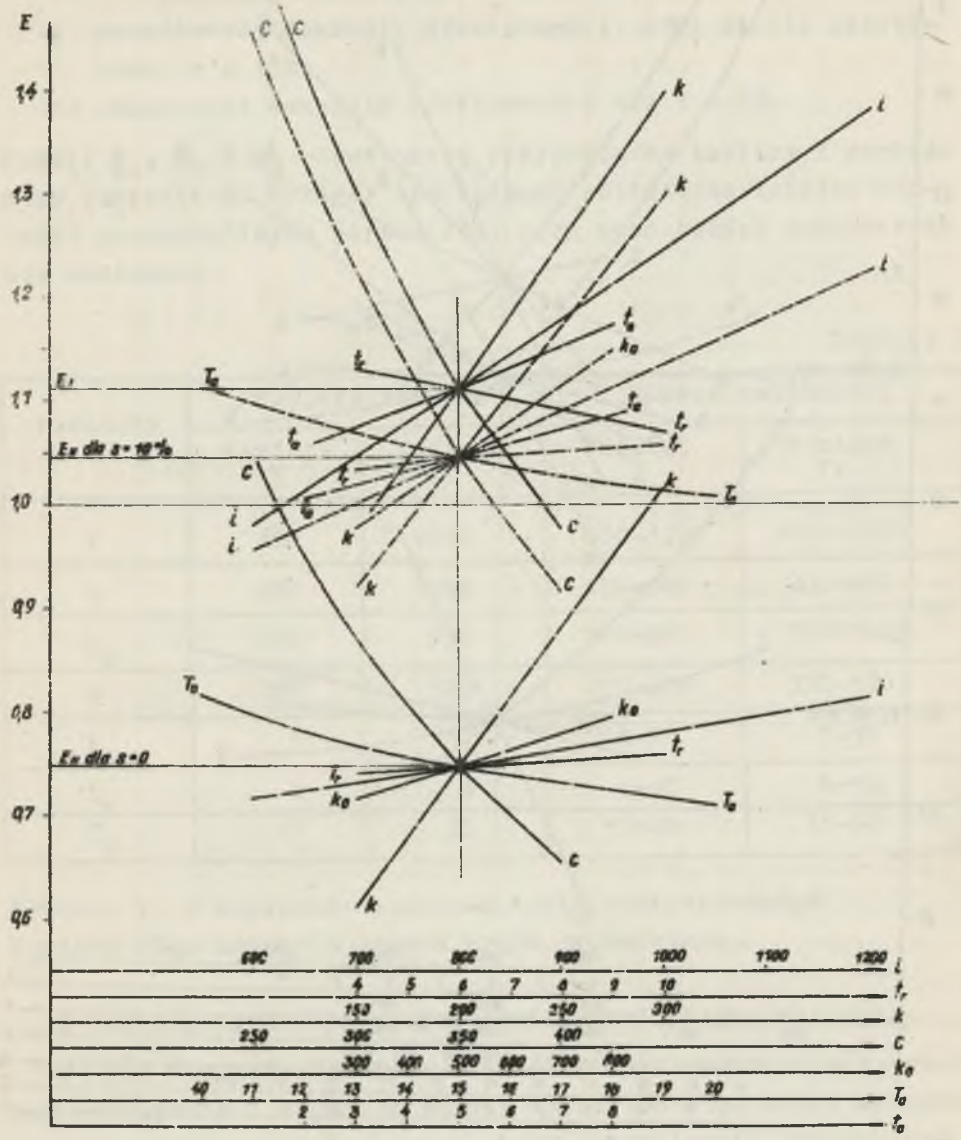
$$E'_{II} = \frac{i + k\left(\frac{t_r}{2} + T_a\right) + k_o \cdot \frac{t_r}{6}}{c\left(\frac{t_r}{2} + T_a\right)} \qquad (22')$$

5. Analiza porównawcza obowiązującego i proponowanego rachunku efektywności

Dla określenia wpływu parametrów i, k, k_o, c, t_a, tr i T_a na wartości wskaźników ekonomicznej efektywności inwestycji sporządzono odpowiednie wykresy.

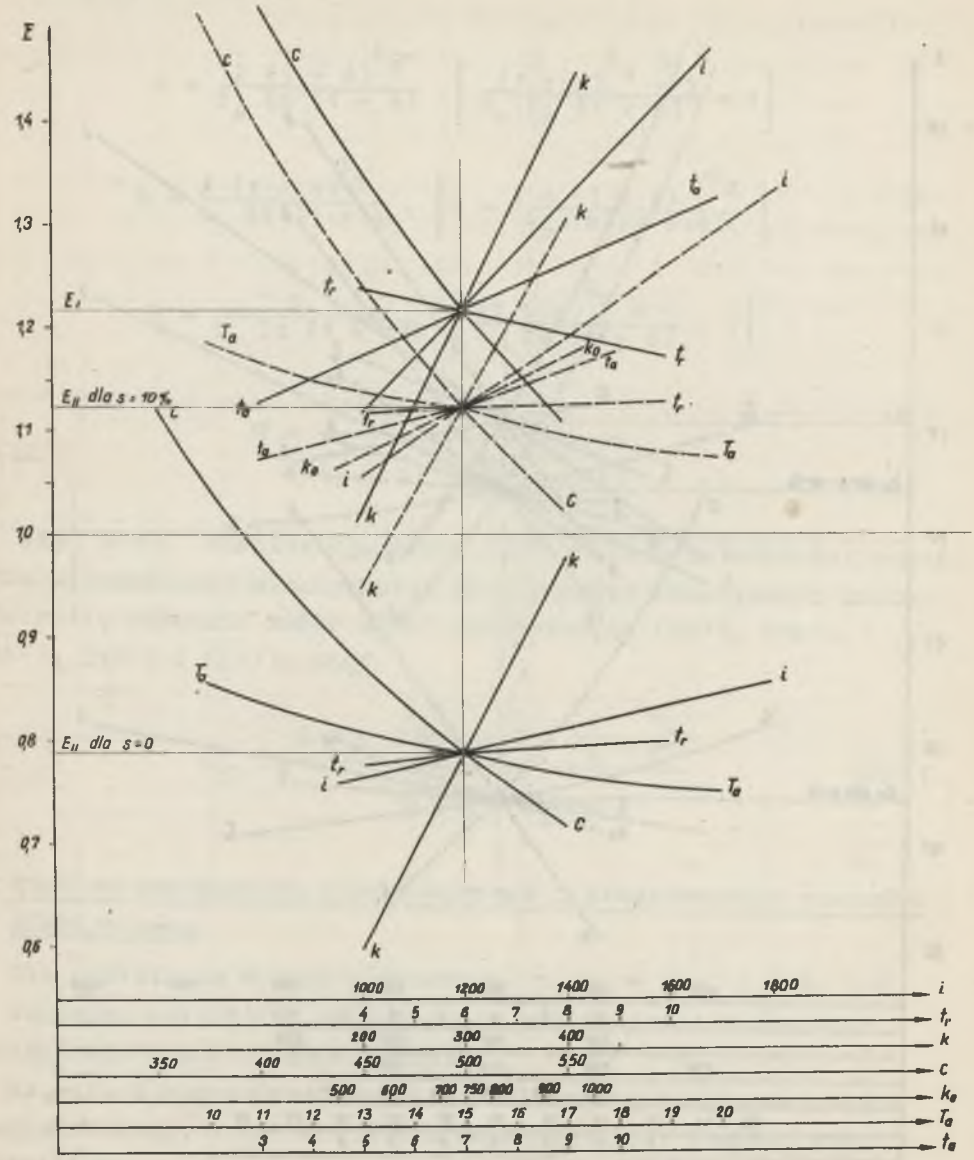
Na rys. 2 sporządzono wykresy dla kopalni niegazowej węgla energetycznego, a na rys. 3 dla kopalni silnie gazowej węgla koksującego.

Przyjęte średnie dla Zagłębia Górnośląskiego wartości parametrów oraz realne zakresy ich zmienności przedstawione w tablicy I. Na każdym z rysunków przedstawiono wykresy wpływów dla trzech metod ekonomicznych:



Wariant I – Kopalnia niegazowa węgla energetycznego

Rys. 2. Wykresy wpływu parametrów projektowanej kopalni niegazowej węgla energetycznego na wartość wskaźników ekonomicznej efektywności



Wariant II – Kopalnia gazowa węgla koksującego

Rys. 3. Wykresy wpływu parametrów projektowanej kopalni silnie gazowej węgla koksującego na wartość wskaźników ekonomicznej efektywności

1) obowiązujący wskaźnik efektywności,
2) proponowany wskaźnik efektywności, przy stopie procentowej s = 10%,
3) odpowiedni wskaźnik efektywności dla s = 0%.

Punkty M_1, M_2 i M_3 odpowiadają przyjętym wg tablicy I wartościom parametrów. Wykresy sporządzono zmieniając kolejno wartości poszczególnych parametrów, przy pozostałych parametrach nie zmiennych.

Tablica I

Parametr	Przyjęta wartość		Zakres zmienności	
	Wariant I	Wariant II	Wariant I	Wariant II
i	800	1200	600–1200	1000–1800
k	200	300	150–300	200–400
k_o	500	750	300–800	500–1000
o	350	500	250–400	350–550
t_a	5	7	4–7	5–10
t_r	6	6	4–10	4–10
T_a	15	15	15–20	15–20

Wariant I – kopalnia niegazowa węgla energetycznego
Wariant II – kopalnia gazowa węgla koksującego.

Z analizy wyników wyciągnąć można następujące wnioski:

1) Dla warunków Zagłębia Górnośląskiego obowiązujący wskaźnik efektywności wypada z reguły wyższy (a więc mniej korzystny) od wskaźnika obliczonego metodą aktualizacji. Należy zaznaczyć, że przyjętą stopę procentową s = 10% należy uznać jako krańcowo wysoką. W rzeczywistości należałoby ją przyjmować w zakresie 5–7% i w tym przypadku wskaźnik efektywności obliczony metodą aktualizacji wypadnie jeszcze bardziej korzystnie.

2) W obowiązującym wskaźniku efektywności wraz z wydłużaniem okresu rozwoju wydobycia t_r wskaźnik efektywności maleje. Wynika to z przeceniania w tym wskaźniku znaczenia wstępnej eksploatacji przy obliczaniu średnioważonego okresu zamrożenia inwestycji. W rzeczywistości wiadomo, że wstępna eksploatacja i długotrwały okres rozwoju wydobycia odbijają się niekorzystnie na cyklu inwestycyjnym i uzyskiwanych wskaźnikach ekonomicznych kopalni.

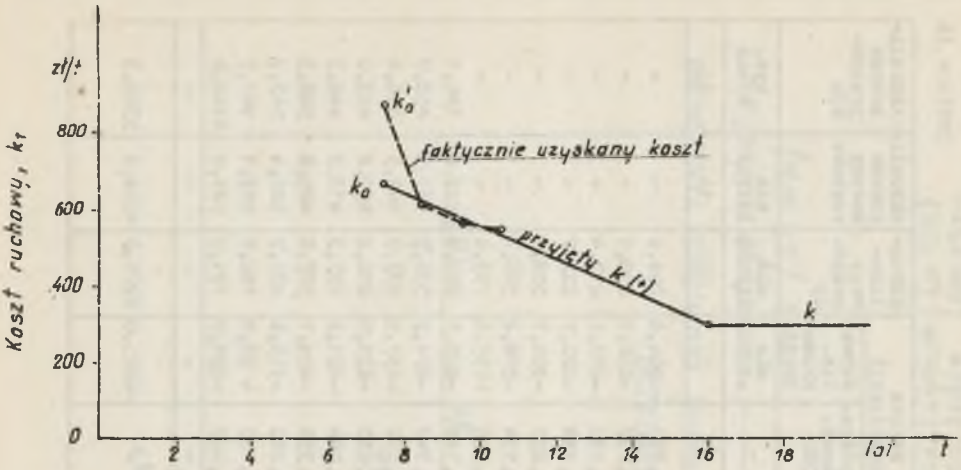
3) Wpływ pozostałych parametrów na wartość wskaźnika we wszystkich trzech metodach jest podobny.
W zakresie średnich zakresów wartości parametrów, największy wpływ na rentowność kopalni mają w kolejności wielkości wpływu:

- ocena zbytu węgla (c),
- koszt ruchowy produkcji (k),
- kapitałochłonność (i),
- okres budowy kopalni do pierwszego wydobycia (t_a) oraz tylko w metodzie aktualizacji:
- średnioważony okres oddziaływania inwestycji (T_a),
- początkowy koszt ruchowy (k_o).

Dla pokazania toku obliczeń wskaźnika ekonomicznej efektywności metodą aktualizacji oraz porównania wyników obliczeń szczegółowych z uzyskanymi przy pomocy modelu teoretycznego, przedstawiono przykładowo obliczenia wskaźnika efektywności dla jednej z nowych kopalń silnie gazowej węgla koksującego, będącej obecnie w zaawansowanej budowie.

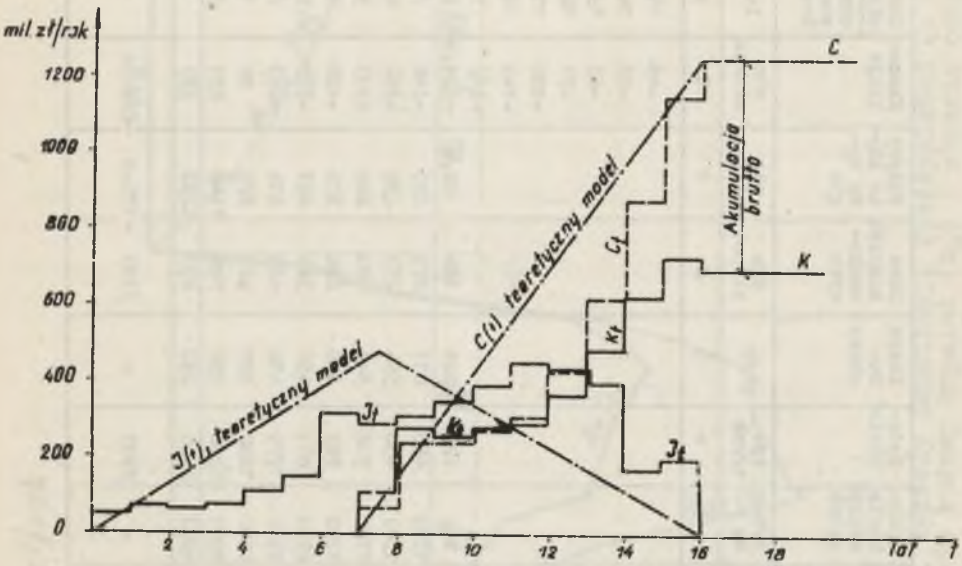
A oto podstawowe parametry ekonomiczne kopalni:
J = 3.810 mln zł, P = 2.400 tys t/rok, i = 1.587 zł/t rocznej produkcji, t_b = 16 lat, t_a = 7 lat, t_r = 9 lat, c = 522 zł/t, k = 290 zł/t, k_o' = 869,4 zł/t, k_o = 650 zł/t, T_a = 15,2 lat.

Wykresy rzeczywistych rozkładów w latach nakładów inwestycyjnych produkcji, kosztów ruchowych i wartości produkcji przedstawiono na rys. 4. Zaznaczono również odpowiednie wykresy według założonego poprzednio modelu teoretycznego.



Rys. 4a. Wykresy ekonomicznych efektów w cyklu inwestycyjnym projektowanej kopalni

jednostkowe koszty ruchowe

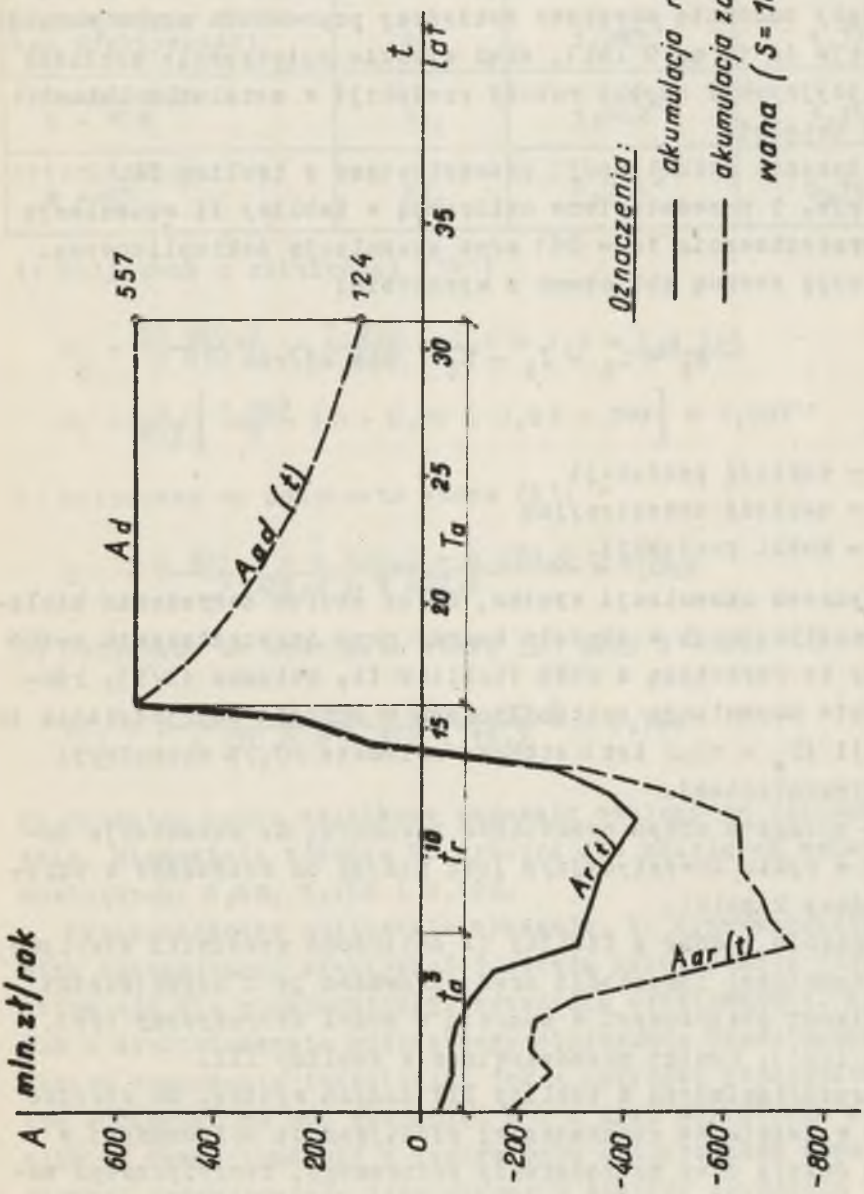


Rys. 4b. Wykresy ekonomicznych efektów w cyklu inwestycyjnym projektowanej kopalni

nakłady inwestycyjne (J_t) koszty ruchowe (K_t) i wartość produkcji (C_t)

Tablica II

Rok budowy	Nakłady	Wydobycie maksymalne	Wydobycie	Koszt ruchowy	Suma kosztów ruchowych	Wpływy ze zbytu węgla	Akumulacja	Obow. rachunek efektywności		Metoda aktualizacji		Aktualizowane nakłady	Aktualizowane koszty ruchowe	Aktualizowana produkcja
								okres zamrożenia	zamrożenie	Współcz. zamroż. (10%)	Aktualiz. akumulacji			
	mln zł/rok	t/dobę	tys t/rok	zł/t	mln zł/rok	mln zł/rok	mln zł/rok	lat	mln zł/rok	-	mln zł/rok	mln zł/rok	mln zł/rok	tys. t/rok
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	49						-49	15,5	759,5	4,177	-204,6	204,6	-	-
2	68						-68	14,5	986,0	3,797	-258,1	258,1	-	-
3	63						-63	13,5	850,5	3,452	-217,4	217,4	-	-
4	71						-71	12,5	887,5	3,138	-222,7	222,7	-	-
5	108						-108	11,5	1242,0	2,853	-308,1	308,1	-	-
6	149						-149	10,5	1564,5	2,594	-516,2	516,2	-	-
7	312						-312	9,5	2964,0	2,358	-735,6	735,6	-	-
8	283	400	120	869	104	62,6	-324,4	8,5	2405,5	2,143	-695,1	606,4	222,8	134,1
9	306	1500	450	611	275	235	-346	7,5	2295,0	1,949	-674,3	596,3	535,9	458,0
10	343	1500	450	564	252	235	-360	6,5	2229,5	1,772	-637,9	607,7	440,5	416,4
11	384	1720	516	544	280	269	-395	5,5	2112,0	1,610	-635,9	618,2	450,8	433,0
12	449	1950	585	490	286	305	-430	4,5	2020,5	1,464	-629,5	657,3	418,7	446,5
13	434	2730	819	450	368	427	-375	3,5	1519,0	1,331	-499,1	577,6	489,8	568,3
14	394	3930	1179	410	483	614	-263	2,5	985,0	1,210	-315,6	476,7	584,4	742,9
15	166	5600	1680	370	621	875	88	1,5	249,0	1,100	+ 96,8	182,6	683,1	962,5
16	191	8000	2200	330	726	1148	231	0,5	95,5	1,000	+231,0	191,0	726,0	1148,0
17	-	8000	2400	290	695	1252	557	-	-	-	-	-	-	-
Razem bez 17 roku	3.810	-	7999	-	3395	4170,6	-2994,4	-	23260,0	-	-6223,0	6977,3	4552,2	5309,9



Rys. 5. Wykresy akumulacji rzeczywistej (s = 0) i zaktualizowanej (s=10%) w okresie budowy kopalni (t_b) i okresie oddziaływania nakładów inwestycyjnych (T_a)

Z analizy wykresów wynika, że w omawianym przypadku rzeczywiste rozkłady nakładów inwestycyjnych i rozwoju produkcji (wartości produkcji) znacznie odbiegają od modelu teoretycznego. Wynika to stąd, że ze względu na zapotrzebowanie na węgiel koksujący znacznie skrócono zakładany poprzednio okres rozwoju wydobycia (z 12 na 9 lat), stąd wysokie spiętrzenie nakładów inwestycyjnych i szybki rozwój produkcji w ostatnich latach budowy kopalni.

Obliczenia aktualizacji przedstawiono w tablicy II.

Na rys. 5 przedstawiono obliczoną w tablicy II akumulację bez oprocentowania (s = 0%) oraz akumulację zaktualizowaną. Akumulację roczną obliczono z wyrażenia:

$$A_t = C_t - J_t - K_t \quad \text{mln zł/rok}$$

gdzie:

C_t – wartość produkcji

J_t – nakłady inwestycyjne

K_t – koszt produkcji.

Z wykresu akumulacji wynika, że na skutek zamrożenia nakładów inwestycyjnych w okresie budowy przy oprocentowaniu s=10% nakłady te wzrastają o 208% (tablica II, kolumna 13/9), równocześnie akumulacja zaktualizowana w okresie oddziaływania inwestycji (T_a = 15,2 lat) stanowi zaledwie 50,5% akumulacji nie oprocentowanej.

Wysoka założona stopa procentowa powoduje, że akumulacja dodatnia w cyklu inwestycyjnym jest niższa od rozchodów w okresie budowy kopalni.

W oparciu o dane z tablicy II obliczono wskaźniki efektywności omawianej inwestycji oraz porównano je z odpowiednimi wskaźnikami obliczonymi w oparciu o model teoretyczny (5o), (22) i (22'). Wyniki przedstawiono w tablicy III.

Z przedstawionych w tablicy III danych wynika, że różnice między wskaźnikiem ekonomicznej efektywności obliczonymi w sposób ścisły oraz na podstawie założonego, teoretycznego modelu są stosunkowo nie duże, zważywszy, że w omawianym przypad-

Tablica III

	Symbol	Według tablicy II	Model teoretyczny
Obowiązujący rachunek efektywności	E_I	1,287[1)]	1,372
Aktualizacja s = 10%	E_{II}	1,062[2)]	1,160
Aktualizacja s = 0%	E'_{II}	0,766[3)]	0,762

1) Obliczono z zależności (5b):

$$n_z = \frac{23\ 260{,}7}{3\ 810} - \frac{7\ 999}{2\ 400} = 6{,}1 - 3{,}3 = \underline{2{,}8 \text{ lat}}$$

$$E_I = \frac{1}{522}\left[\frac{1\ 587}{6}(1 + 0{,}16 \cdot 2{,}8) + 290\right] = 1{,}287$$

2) Obliczono na podstawie wzoru (6):

$$E_{II} = \frac{6\ 977{,}3 + 4\ 552{,}2 + 4\ 270{,}0}{5\ 309{,}9 + 9\ 600{,}0} = 1{,}062$$

3) Obliczono na podstawie wzoru (6) przy s = 0%:

$$E'_{II} = \frac{3\ 810 + 3\ 395 + 695 \cdot 15{,}2}{4\ 170{,}6 + 1\ 252 \cdot 15{,}2} = 0{,}766$$

ku przebieg cyklu wyjątkowo znacznie odbiega od założonego modelu. Mianowicie różnice te wynoszą dla kolejnych metod ekonomicznych: 6,6%, 8,45% i 0,52%.

Przeprowadzone obliczenia wykazują, że wyprowadzenie wskaźnika ekonomicznej efektywności metodą aktualizacji jest prostsze niż dla obowiązującego wskaźnika efektywności. Wynika to tak z wyeliminowania oddzielnego obliczania średnioważonego okresu zamrożenia inwestycji, jak i potrzeby rozdzielania kosztów ruchowych na dwa składniki K i S oraz określania współczynnika b. Pewną trudność w konkretnych obliczeniach może przedstawiać prognozowanie jednostkowych kosztów ruchowych w kolej-

nych latach budowy kopalni. W tym celu należałoby opracować odpowiednią metodologię, opartą na analizie poszczególnych składników kosztu ruchowego w okresie rozwoju produkcji.

6. Zakończenie

Porównanie obecnie obowiązującego rachunku ekonomicznej efektywności inwestycji z proponowanym rachunkiem aktualizacji wskazuje wyższość tego ostatniego z następujących powodów:

1) Z punktu widzenia teorii rachunek aktualizacji jest bardziej uzasadniony.

2) Rachunek aktualizacji bardziej prawidłowo odzwierciedla rzeczywiste efekty ekonomiczne przedsięwzięcia inwestycyjnego.

3) Rachunek aktualizacji bez żadnych przeróbek może być stosowany do badania ekonomicznej efektywności tak całych przedsięwzięć inwestycyjnych jak i obiektów, jak również mechanizacji i automatyzacji procesów technologicznych; jest to więc rachunek uniwersalny.

4) Rachunek aktualizacji w prawidłowy sposób odzwierciedla wpływ na efektywność okresu eksploatacji inwestycji, dzięki temu może on być podstawą optymalizacji rozwiązań projektowych; ma to doniosłe znaczenie tak dla bieżącej pracy biur projektów jak i prac naukowych, mających na celu ekonomiczną optymalizację.

5) Rachunek aktualizacji wykazuje prawidłowo efekty gospodarcze górnictwa, dyskryminowane dotąd przy obowiązującym wskaźniku efektywności w stosunku do innych przemysłów.

Niewielkie rozbieżności między wynikami uzyskanymi stosując teoretyczny model cyklu inwestycyjnego budowy kopalni w stosunku do wyników ścisłych wskazują, że opracowany model teoretyczny może być dostosowany tam gdzie brak jeszcze projektu koncepcyjnego kopalni, a więc szczególnie przy planowaniu perspektywicznym.

Dla rozpowszechnienia metody aktualizacji należałoby ustalić wysokość stopy procentowej. Przyjęte w analizie s = 10% należy uznać jako wartość krańcowo wysoką. W rzeczywistości

stopa ta w przemyśle winna prawdopodobnie wynosić 5-8%. Należy zwrócić uwagę, że przy ściśle określonej wartości stopy procentowej obliczanie wskaźnika efektywności tak metodą ścisłą jak i w oparciu o przedstawiony wzór (6) oparte na modelu teoretycznym, znacznie się jeszcze uprości. Poza tym, jak wspomniano wyżej, należy opracować metodę określania kosztów ruchowych w okresie budowy kopalni.

Autorzy mają nadzieję, że rozpowszechnienie ekonomicznej metody aktualizacji przyczyni się do ujednolicenia stosowanych metod ekonomicznych, ułatwi przeprowadzanie wszechstronnych analiz ekonomicznych w biurach projektów i w przedsiębiorstwach górniczych, a w ten sposób przyczyni się do projektowania i wprowadzania coraz efektywniejszych ekonomicznie rozwiązań technicznych.

LITERATURA

[1] Komisja Planowania przy Radzie Ministrów: "Instrukcja Ogólna w sprawie metodyki badania ekonomicznej efektywności inwestycji". Warszawa 1962 r.

[2] Biura Projektów PW: Instrukcja branżowa w sprawie metodyki badania efektywności inwestycji w górnictwie węgla kamiennego. Katowice 1963 r.

[3] Kokoszka A., Wolski J.: Próba przystosowania rachunku efektywności inwestycji nowego typu dla potrzeb projektowania kopalni. Inwestycje i Budownictwo Nr 6/61 r.

[4] Wolski J.: Metoda wyznaczania optymalnej wysokości poziomu dla głębinowych kopalń węgla kamiennego. Projekty-Problemy Nr 3/64 r.

[5] Węgierski J., Wolski J.: Ekonomiczna efektywność budowy kopalni węgla kamiennego w planowaniu perspektywicznym. Przegląd Górniczy Nr 9/64 r.

[6] Węgierski J., Wolski J.: Nakłady na budowę kopalni węgla kamiennego w planowaniu inwestycji górniczych. Przegląd Górniczy Nr 4/64 r.

[7] Fiszel H.: Efektywność inwestycji w gospodarce socjalistycznej. PWE. Warszawa 1964 r.

МЕТОДЫ СЧЁТА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КАПИТАЛЬНЫХ ВЛОЖЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ КАМЕННОУГОЛЬНЫХ ШАХТ

Р е з ю м е

В работе представлено обязывающий счёт экономической эффективности капитальных вложений, а также предлагаемый счёт, основанный на методе актуализации. Показано основные недостатки до сих пор обязывающего метода синтетического расчёта указателя экономической эффективности капитальных вложений.

Проведено сопоставительный анализ обязывающего и предлагаемого счетов эффективности, а также показано достоинства предлагаемого метода.

METHODS OF ECONOMIC INVESTMENT EFFECTIVENESS CALCULATION IN COAL-MINES DESIGNING

S u m m a r y

In the paper a valid economic effectiveness calculation of investment has been presented. A proposed calculation based on the actualization method was included too.
Main shortcomings of the synthetic calculation method of economic investment effectiveness indicator, valid at present have been pointed out. A comparative analysis of the valid and proposed effectiveness calculations has been carried out and the good qualities of the proposed method have been presented.