ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1970

Seria: GORNICTWO z. 44 Nr kol. 292

MARIAN KOZDRÓJ, ANTONI CHMIELA
WŁODZIMIERZ SITKO, HENRYK PRZYBYŁA
JAN STACHOWICZ

ANALIZA EKONOMICZNA HYDROTRANSPORTU PIONOWEGO

Streszczenie. W artykule przeprowadzono szczegółową analizę techniczno-ekonomiczną hydrotransportu pionowego. Analiza ta obejmuje nakłady inwestycyjne i koszty eksploatacyjne w zależności od wielkości wydobycia i wysokości pionowej hydrotransportu.

Potężny rozwój górnictwa w ostatnich latach, wzrost potencjału wydobywczego, modernizacja i rekonstrukcja kopalń, w szczególności mechanizacja i automatyzacja procesów wydobywczych, wzrost bezpieczeństwa pracy górniczej oraz bezustanne dążenie do jak najlepszego wskaźnika efektywności inwestycji i ekonomicznej produkcji, każe szukać nowych rozwiązań technicznych i ekonomicznych występujących w procesach produkcji węgla w naszych kopalniach.

Między innymi takich nowych rozwiązań poszukuje się w transporcie węgla z dołu kopalni na powierzchnię. Transport jest jednym z najważniejszych zagadnień techniczno-organizacyjnych przemysłu węglowego, gdyż absorbuje duże środki inwestycyjne, stanowi znaczny udział w kosztach produkcji, wymaga znacznej ilości obsługi oraz jest źródłem większości wypadków.

Znaczny postęp w technice transportu węgla stanowi transport hydrauliczny.

Celem niniejszego artykułu jest analiza techniczno-ekonomiczna transportu hydraulicznego pionowego, a ściślej mówiąc analiza nakładów inwestycyjnych i kosztów eksploatacyjnych w zależności od wielkości wydobycia i wysokości pionowej transportu hydraulicznego.

Transport hydrauliczny ze względu na ciśnienie możemy podzielić na:

1) transport hydrauliczny bezciśnieniowy
2) transport hydrauliczny niskociśnieniowy
3) transport hydrauliczny wysokociśnieniowy.

Transport hydrauliczny bezciśnieniowy ma zastosowanie w wyrobiskach pochyłych i polega na spływaniu ziarn węgla wraz z wodą korytami z blach stalowych.

Transport hydrauliczny niskociśnieniowy ma zastosowanie w kopalniach płytkich tj. o głębokościach do 100 m. Zasada jego działania polega na

tym, że urobek z wodą kieruje się do specjalnej komory pomp skąd jest tłoczony rurociągami na powierzchnię. Transport hydrauliczny wysokociśnieniowy znalazł zastosowanie w kopalniach do 1000 m.

Najważniejszą cechą różniącą go od hydrotransportu niskociśnieniowego jest to, że urobek nie przechodzi przez pompę tłoczącą, ale jest podawany do rurociągu transportującego. Przez rurociąg bezustannie przepływa woda, powodując transport urobku do góry. Woda niezbędną energią potrzebną do przetransportowania węgla na powierzchnię otrzymuje od pompy wysokociśnieniowej, która nadaje jej dostatecznie duże ciśnienie.

W hydrotransporcie wysokociśnieniowym do podawania urobku do rurociągu stosuje się podajniki, które ze względu na konstrukcję dzielą się na tłokowe i komorowe.

Podajniki tłokowe nie znalazły szerszego zastosowania w hydrotransporcie.

Dawkowniki komorowe, bowiem taką nazwę przyjęły podajniki komorowe znalazły szersze zastosowanie, a to ze względu na to, że są dotychczas jedyne w górnictwie światowym w pełni udane, sprawdzone w normalnej długotrwałej eksploatacji kopalnianej i ekonomiczne. Bardzo ważną ich zaletą jest to, że można transportować węgiel o znacznej ziarnistości na duże wysokości i odległości.

Podstawowymi procesami występującymi w pracy dawkowników jest wprowadzenie węgla z przestrzeni bezciśnieniowej do rurociągu o wysokim ciśnieniu oraz równomierne dozowanie węgla do rurociągu transportowego.

Dawkowniki zostały opracowane w trzech typowielkościach (wydajność i ciśnienie robocze), których układ przedstawia tabelka:

Patn. $W_{t/h}$	do 70	do 120	do 160	Układ dawkowników
100-200	GIG - 3A	GIG - 3B	GIG - 3C	2 systemowy
200-400	GIG - 4A	GIG - 4B	GIG - 4C	2 systemowy
400-600	GIG - 5A	GIG - 5B	GIG - 5C	3 systemowy
600-800	GIG - 6A	GIG - 6B	GIG - 6C	4 systemowy

Budowa oraz zasada działania wszystkich typowielkości jest ta sama.

Analiza techniczno-ekonomiczna transportu hydraulicznego pionowego przy zmiennej zdolności transportowej w zależności od głębokości

W analizie techniczno-ekonomicznej uwzględniono tylko transport hydrauliczny wysokociśnieniowy pionowy.

Dla przeanalizowania pod względem ekonomicznym transportu hydraulicznego pionowego przy zmiennej zdolności transportowej w zależności od głębokości, założono 9 różnych wariantów.
Podaje je poniższa tabelka:

H W_d t	5 000	10 000	15 000
400 m	wariant I	wariant II	wariant III
700 m	wariant IV	wariant V	wariant IV
1000 m	wariant VII	wariant VIII	wariant IX

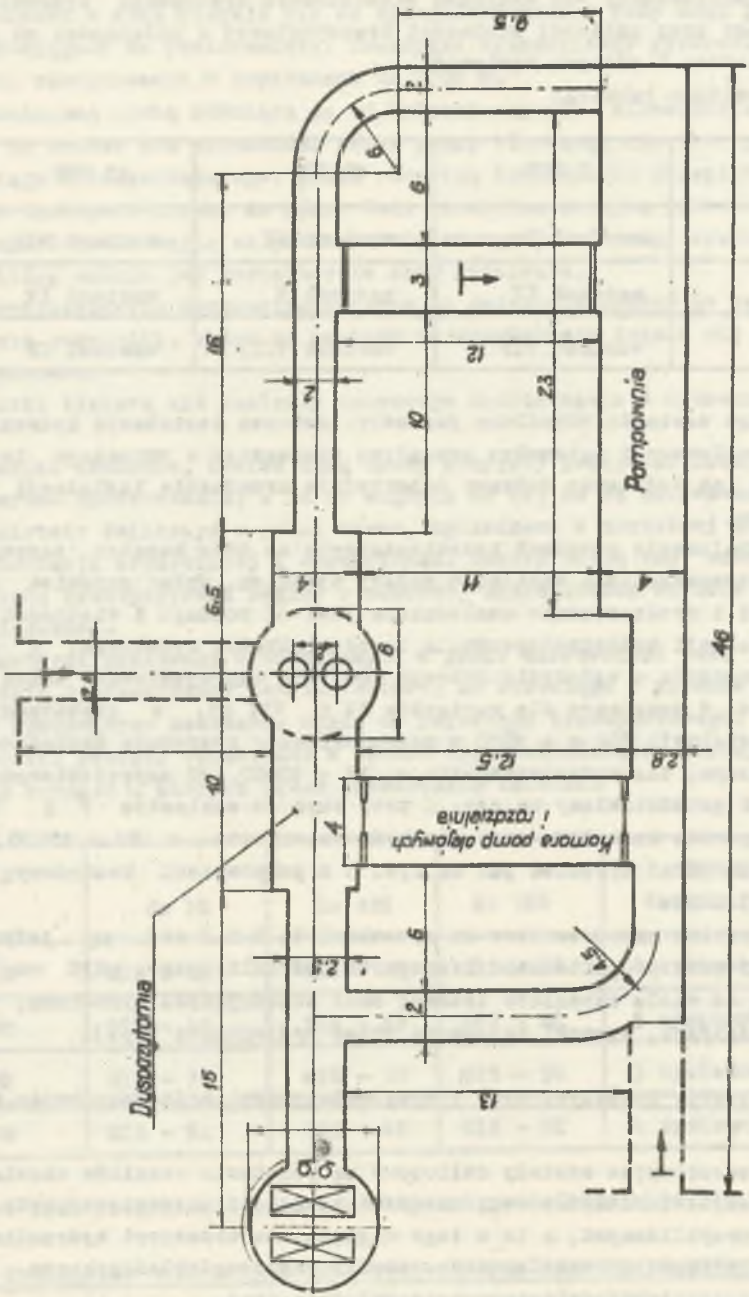
Dla każdego wariantu określono parametry robocze instalacji hydrotransportu dawkownikowego i parametry przepływu mieszaniny w rurociągu transportowym. Na ich podstawie dobrano odpowiednie urządzenia instalacji hydrotransportu.

Dla zainstalowania urządzeń hydrotransportu na dole kopalni zaprojektowano dla poszczególnych wariantów układy wyrobisk. Układ wyrobisk oraz ich wielkości i przeznaczenie uzależnione jest od rodzaju i wielkości urządzeń instalacji hydrotransportu, a te od wielkości wydobycia. I tak: dla hydrotransportu o wydobyciu dobowym 5000 ton zaprojektowano układ wyrobisk na rys. 1 przy czym dla wariantów IV i VII tj. o głębokościach założenia instalacji 700 m i 1000 m zaprojektowano pompownię kaskadową na poziomie wyższym, dla hydrotransportu o Wd = 10000 t/d zaprojektowano układ wyrobisk przedstawiony na rys. 2 przy czym do wariantów V i VIII dochodzi pompownia kaskadowa oraz dla hydrotransportu o Wd = 15000 t/d zaprojektowano układ wyrobisk jak na rys. 3 z pompowniami kaskadowymi w wariantach VI i IX.

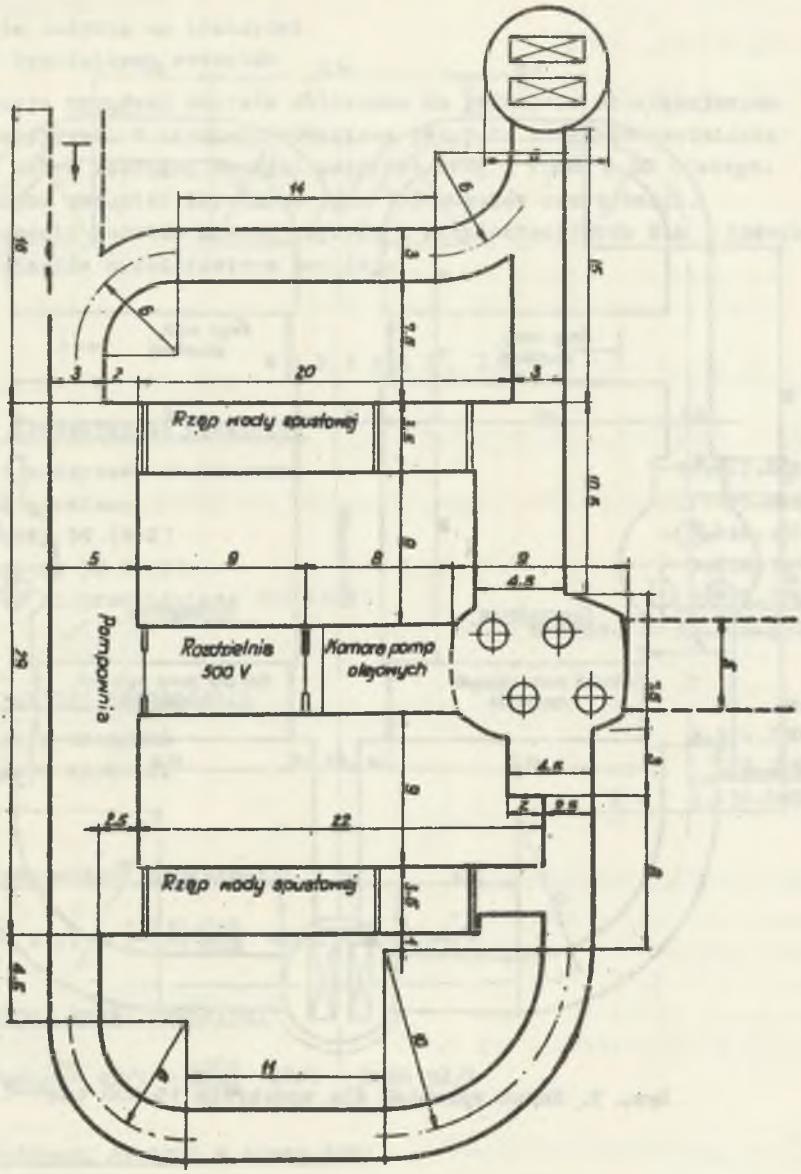
Układy wyrobisk przedstawione na rysunkach 1, 2 i 3 nie są jedynymi rozwiązaniami przy projektowaniu transportu hydraulicznego, gdyż uzależnione one są od wielu czynników (rodzaj skał otaczających wyrobiska, ich warunki geologiczne, warunki narzucone przez projektanta itp.).

Obliczenie kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych hydrotransportu pionowego

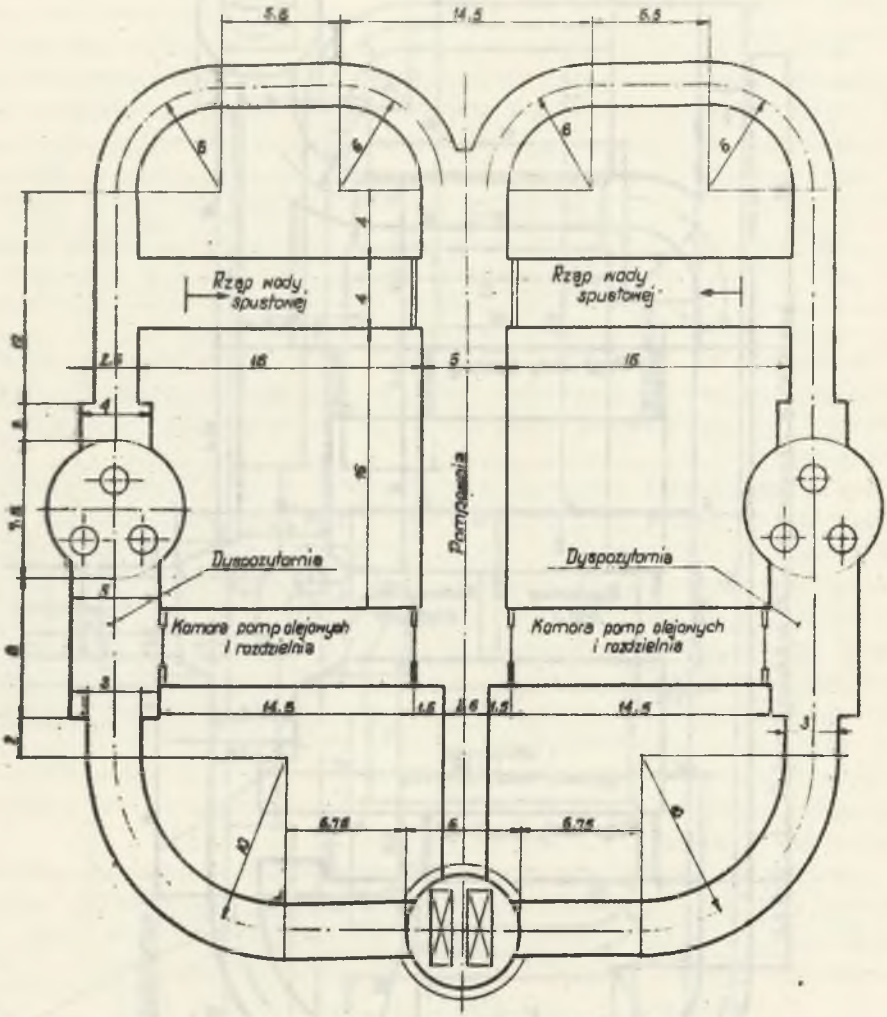
Nakłady inwestycyjne zostały obliczone na podstawie cenników obowiązujących w przemyśle. Niektóre ceny urządzeń instalacji hydrotransportu są wartościami przybliżonymi, a to z tego względu, że transport hydrauliczny jest dopiero w rozwoju i nie zdążono ustalić jeszcze dokładnych cen.
Na koszty eksploatacyjne w transporcie składają się:
- amortyzacja urządzeń i wyrobisk
- robocizna



Rys. 1. Układ wyrobisk dla wydobycia 5 000 ton



Rys. 2. Układ wyrobisk dla wydobycia 10 000 ton



Rys. 3. Układ wyrobisk dla wydobycia 15 000 ton

- energia zużycia na transport
- koszt kapitalnych remontów

Amortyzacja urządzeń została obliczona na podstawie obowiązujących stóp amortyzacyjnych. W kosztach robocizny przyjęto cenę roboczodniówki równą 150 zł, zaś w kosztach energii ustalono cenę 1 kWh 0,30 złotego. Koszt kapitalnych remontów określono jako 10% kosztów amortyzacji.

Obliczenie kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych dla poszczególnych wariantów przedstawiono poniżej:

W A R I A N T I

Nakłady inwestycyjne całkowite

1) część maszynowo-elektryczna	32.767.000,- zł
2) część górnicza	27.715.000,- zł
3) projekty 5% (1+2)	3.024.100,- zł
4) transport 5% (1+2)	3.024.100,- zł
5) koszty nieprzewidziane 10% (1+2)	6.048.200,- zł
Razem:	72.578.400,- zł

Roczna wartość amortyzacji

amortyzacja urządzeń	2.954.730,- zł
amortyzacja wyrobisk	775.270,- zł
A =	3.730.000,- zł

Koszt jednostkowy amortyzacji

$$C_a = \frac{A}{W_r} \text{ zł/t} = \frac{3.730.000}{1.500.000} \text{ zł/t} = 2,48 \text{ zł/t}$$

Jednostkowy koszt robocizny

$$C_r = \frac{32 \cdot 150}{5000} \text{ zł/t} = \frac{4800}{5000} \text{ zł/t} = 0,96 \text{ zł/t}$$

Koszt pobranej energii w ciągu doby

$$K_e = E \cdot 0,30 \text{ zł/kWh} = 71702 \cdot 0,30 \text{ zł/d} = 21510 \text{ zł/d}$$

Koszt jednostkowy energii

$$C_e = \frac{K_e}{W_d} = \frac{21510}{5000} \text{ zł/t} = 4,38 \text{ zł/t}$$

Koszt kapitalnych remontów

$K_r1 = C,1 \cdot A = C,1 \cdot 3.730.000$ zł/rok = 373.000 zł/rok

$K_r2 = C,17 \cdot 1.000.000$ zł = 170.000 zł/rok

$K_r = K_r1 + K_r2 = 543.000$ zł/rok

K_r2 – koszt kapitalnych remontów wynikłych z przedwczesnego zużycia się rurociągu nie w okresie 3 lat, przyjęto, że rurociąg zużywa po przetransportowaniu 3.000.000 ton urobku.

Koszt jednostkowy kapitalnych remontów

$$C_m = \frac{K_r}{W_r} = \frac{543.000}{1.500.000} \text{ zł/t} = 0,36 \text{ zł/t}$$

Koszt eksploatacyjny hydrotransportu na tonę wydobycia

$$C_t = C_a + C_r + C_e + C_m; \text{ zł/t}$$

$$C_t = 2,48 + 0,96 + 4,38 + 0,36; \text{ zł/t}$$

$$C_t = 8,18 \text{ zł/t}$$

W A R I A N T II

Nakłady inwestycyjne całkowite

1) część maszynowo-elektryczna	39.116.000,- zł
2) część górnicza	29.483.000,- zł
3) projekty 5% (1+2)	3.429.950,- zł
4) transport 5% (1+2)	3.429.950,- zł
5) koszty nieprzewidziane 10% (1+2)	6.859.900,- zł
Razem:	82.318.800,- zł

Amortyzacja urządzeń i wyrobisk

Obliczona amortyzacja urządzeń i wyrobisk na podstawie podanych w poprzednim wariancie stóp amortyzacyjnych wynosi:

– amortyzacja urządzeń	–	3.765.700,- zł/rok
– amortyzacja wyrobisk	–	861.000,- zł/rok
roczna wartość amortyzacji	A =	4.626.700,- zł/rok

$$C_a = \frac{A}{W_r} \text{ zł/t} = \frac{4.626.700}{3.000.000} \text{ zł/t} = 1,56 \text{ zł/t.}$$

Koszt robocizny

$$C_r = \frac{36 \times 150}{10.000} \text{ zł/t} = \frac{5400}{10.000} \text{ zł/t} = 0{,}54 \text{ zł/t}$$

Koszt pobranej energii w ciągu doby

$$K_e = 88.500 \times 0{,}30 \text{ zł/d} = 26.550 \text{ zł/d}$$

Koszt jednostkowy energii

$$C_e = \frac{Ke}{Wd} = \frac{26.550}{10000} = 2{,}65 \text{ zł/t}$$

Koszt kapitalnych remontów

$$K_r1 = 0{,}1 \times A = 0{,}1 \times 4.626.700 \text{ zł/rok} = 462.670 \text{ zł/rok}$$

$$K_r2 = 0{,}66 \times 1.912.000 \text{ zł} = 1.262.000 \text{ zł/rok}$$

$$K_r = 462.670 + 1.262.000 = 1.724.670 \text{ zł/rok}$$

$$Cm = \frac{Kr}{Wr} = \frac{1.724.670}{3.000.000} \text{ zł/t} = 0{,}57 \text{ zł/t}$$

Koszt eksploatacyjny hydrotransportu na tonę wydobycia

$$C_t = C_a + C_r + C_e + C_m \text{ zł/t}$$

$$C_t = 1{,}56 + 0{,}54 + 2{,}65 + 0{,}57 = 5{,}32 \text{ zł/t}$$

W A R I A N T III

Nakłady inwestycyjne całkowite

1) część maszynowo-elektryczna	46.545.000,- zł
2) część górnicza	31.635.000,- zł
3) projekty 5% (1+2)	3.929.150,- zł
4) transport 5% (1+2)	3.929.150,- zł
5) koszty nieprzewidziane 10% (1+2)	7.858.300,- zł
Razem:	94.299.600,- zł

Amortyzacja urządzeń i wyrobisk

Obliczona amortyzacja dla poszczególnych urządzeń i wyrobisk na podstawie podanych w wariancie I stóp amortyzacyjnych wynosi:

- amortyzacja urządzeń - 4.938.200 zł/rok
- amortyzacja wyrobisk - 990.800 zł/rok

roczna wartość amortyzacji A = 5.920.000 zł/rok

$$C_a = \frac{A}{Wr} \text{ zł/t} = \frac{5.929.000}{4.500.000} \text{ zł/t} = 1,32 \text{ zł/t}$$

Jednostkowy koszt robocizny

$$C_r = \frac{42 \times 150}{15000} \text{ zł/t} = \frac{6300}{15000} \text{ zł/t} = 0,42 \text{ zł/t}$$

Koszt pobranej energii w ciągu doby

$$K_e = 118.050 \times 0,30 \text{ zł/d} = 35.415 \text{ zł/d}$$

Jednostkowy koszt energii

$$C_e = \frac{Ke}{Wd} = \frac{35.415}{15.000} \text{ zł/t} = 2,36 \text{ zł/t}$$

Koszt kapitalnych remontów

$$K_r1 = 0,1 \times A = 0,1 \times 5.929.000 \text{ zł/rok} = 592.900 \text{ zł/rok}$$

$$K_r2 = 0,54 \times 3.086.000 \text{ zł} = 1.666.400 \text{ zł/rok}$$

$$K_r = 592.900 + 1.666.400 = 2.259.300 \text{ zł/rok}$$

$$C_m = \frac{Kr}{Wd} = \frac{2.259.300}{4.500.000} \text{ zł/t} = 0,50 \text{ zł/t}$$

Koszt eksploatacyjny hydrotransportu na tonę wydobycia

$$C_t = C_a + C_r + C_e + C_m \text{ zł/t}$$

$$C_t = 1,32 + 0,42 + 2,36 + 0,50 = 4,60 \text{ zł/t}$$

$$C_t = 4,60 \text{ zł/t}$$

W A R I A N T IV

Nakłady inwestycyjne całkowite

1) część maszynowo-elektryczna 43.468.000,- zł
2) część górnicza 45.550.000,- zł

3) projekty 5% (1+2)	4.450.900,- zł
4) transport 5% (1+2)	4.450.900,- zł
5) koszty nieprzewidziane 10% (1+2)	8.901.800,- zł
Razem:	106.821.600,- zł

Amortyzacja urządzeń i wyrobisk

Obliczona amortyzacja dla poszczególnych urządzeń i wyrobisk obliczona na podstawie podanych w wariancie I stóp amortyzacyjnych wynosi:

- amortyzacja urządzeń - 4.600.300,- zł/rok
- amortyzacja wyrobisk - 1.235.400,- zł/rok
- roczna wartość amortyzacji A - 5.835.700,- zł/rok

$$C_a = \frac{A}{Wr} \text{ zł/t} = \frac{5.835.700}{1.500.000} \text{ zł/t} = 3,89 \text{ zł/t}$$

Jednostkowy koszt robocizny

$$C_r = \frac{36 \times 150}{9000} \text{ zł/t} = \frac{5400}{5000} \text{ zł/t} = 1.08 \text{ zł/t}$$

Jednostkowy koszt energii

$$C_e = \frac{Ke}{Wd} = \frac{28.410}{5000} \text{ zł/t} = 5,68 \text{ zł/t}$$

Koszt kapitalnych remontów

$$K_r1 = 0,1 \times A = 0,1 \times 5.835.700 \text{ zł/rok} = 583.570 \text{ zł/rok}$$

$$K_r2 = 0,17 \times 1.714.000 \text{ zł} = 291.380 \text{ zł/rok}$$

$$K_r = 583.570 + 291.380 = 874.950 \text{ zł/rok}$$

$$C_m = \frac{Kr}{Wr} = \frac{874.950}{1.500.000} \text{ zł/t} = 0,58 \text{ zł/t}$$

Koszt eksploatacyjny hydrotransportu na tonę wydobycia

$$C_t = C_a + C_r + C_e + C_m \text{ zł/t}$$

$$C_t = 3,89 + 1,08 + 5,68 + 0,58 = 11,23 \text{ zł/t}$$

$$C_t = 11,23 \text{ zł/t}$$

W A R I A N T V

Nakłady inwestycyjne całkowite

1) część maszynowo-elektryczna	52.623.000,- zł
2) część górnicza	47.488.000,- zł
3) projekty 5% (1+2)	5.005.550,- zł
4) transport 5% (1+2)	5.005.550,- zł
5) koszty nieprzewidziane 10% (1+2)	10.011.100,- zł
Razem:	120.133.200,- zł

Amortyzacja urządzeń i wyrobisk

Na podstawie podanych w wariancie I stóp amortyzacyjnych wartości amortyzacyjnych wynosi:

- amortyzacja urządzeń	5.893.400,- zł
- amortyzacja wyrobisk	1.330.500,- zł
- roczna wartość amortyzacji A =	7.223.900,- zł

$$C_a = \frac{A}{Wr} = \frac{7.223.900}{3.000.000} \text{ zł/t} = 2,41 \text{ zł/t}$$

Jednostkowy koszt robocizny

$$C_r = \frac{45 \times 150}{10000} \text{ zł/t} = \frac{6000}{10000} \text{ zł/t} = 0,60 \text{ zł/t}$$

Koszt energii

$$K_e = 109.300 \times 0,30 \text{ zł/d} = 32.790 \text{ zł/d}$$

Jednostkowy koszt energii

$$C_e = \frac{Ke}{Wd} = \frac{32.790}{10.000} \text{ zł/t} = 3,28 \text{ zł/t}$$

Koszt kapitalnych remontów

$$K_r1 = 0,1 \times A = 0,1 \times 7.223.900 \text{ zł/rok} = 722.390 \text{ zł/rok}$$

$$K_r2 = 0,66 \times 2.741.000 \text{ zł} = 1.809.000 \text{ zł/rok}$$

$$K_r = 722.390 + 1.809.000 = 2.531.390 \text{ zł/rok}$$

$$C_m = \frac{Kr}{Wr} = \frac{2.531.390}{3.000.000} \text{ zł/t} = 0,84 \text{ zł/t}$$

Koszt eksploatacyjny hydrotransportu na tonę wydobycia

$C_t = C_a + C_r + C_e + C_m$ zł/t

$C_t = 2,41 + 0,60 + 3,28 + 0,84 = 7,13$ zł/t

$C_t = 7,13$ zł/t

W A R I A N T VI

Nakłady inwestycyjne całkowite

1) część maszynowo-elektryczna	66.294.000,- zł
2) część górnicza	49.588.000,- zł
3) projekty 5% (1+2)	5.794.000,- zł
4) transport 5% (1+2)	5.794.100,- zł
5) koszty nieprzewidziane 10% (1+2)	11.588.200,- zł
Razem:	139.058.400,- zł

Amortyzacja urządzeń i wyrobisk

Obliczona wartość amortyzacji na podstawie stóp amortyzacyjnych podanych w wariancie I wynosi:

- amortyzacja urządzeń - 8.326.800,- zł
- amortyzacja wyrobisk - 1.457.500,- zł
- roczna wartość amortyzacji A - 9.784.300,- zł

$$C_a = \frac{A}{W_r} = \frac{9.784.300}{4.500.000} \text{ zł/t} = 2,17 \text{ zł/t}$$

Koszt robocizny

$$C_r = \frac{46 \times 150}{15000} \text{ zł/t} = \frac{6900}{15000} \text{ zł/t} = 0,46 \text{ zł/t}$$

Koszt energii

$K_e = 148.650 \times 0,30$ zł/d $= 44.595$ zł/d

$$C_e = \frac{K_e}{W_d} = \frac{44.595}{15.000} \text{ zł/t} = 2,97 \text{ zł/t}$$

Koszt kapitalnych remontów

$K_r1 = 0,1 \times A = 0,1 \times 9.784.300$ zł/rok $= 978.430$ zł/rok

$K_r2 = 0,54 \times 4.466.000$ zł = 2.411.660 zł/rok

$K_r = 978.430 + 2.411.840 = 3.390.090$ zł/rok

$C_m = \frac{Kr}{Wr} = \frac{3.390.090}{4.500.000}$ zł/t = 0,75 zł/t

Koszt eksploatacyjny hydrotransportu na tonę wydobycia

$C_t = C_a + C_r + C_e + C_m$ zł/t

$C_t = 2,17 + 0,46 + 2,97 + 0,75 = 6,35$ zł/t

$C_t = 6,35$ zł/t

W A R I A N T VII

Nakłady inwestycyjne całkowite

1) część mechaniczne-elektryczna	53.047.000,- zł
2) część górnicza	62.740.000,- zł
3) projekty 5% (1+2)	5.789.350,- zł
4) transport 5% (1+2)	5.789.350,- zł
5) koszty nieprzewidziane 10% (1+2)	11.578.700,- zł
Razem:	138.944.400,- zł

Amortyzacja wyrobisk i urządzeń

Wartość amortyzacji obliczonej na podstawie stóp amortyzacyjnych podanych w wariancie I przedstawia się następująco:

- amortyzacja urządzeń	- 6.178.300,- zł
- amortyzacja wyrobisk	- 3.450.700,- zł
- roczna wartość amortyzacji A	- 9.629.000,- zł

$C_a = \frac{9.629.000}{1.500.000}$ zł/t = 6,42 zł/t

Koszt robocizny

$C_r = \frac{36 \times 150}{5000}$ zł/t = $\frac{5400}{5000}$ zł/t = 1,08 zł/t

Koszt energii

K_e = 104.440 x 0,30 zł/d = 31.332 zł/d

$C_e = \frac{31.332}{5.000}$ zł/t = 6,22 zł/t

Koszt kapitalnych remontów

K_r1 = 0,1 x A = 0,1 x 9.629.000 zł/rok = 962.900 zł/rok

K_r2 = 0,17 x 2.428.000 zł = 412.760 zł/rok

K_r = 962.900 + 412.760 = 1.375.660 zł/rok

$C_m = \frac{Kr}{Wr}$ zł/t = $\frac{1.375.660}{1.500.000}$ zł/t = 0,92 zł/t

Koszt eksploatacyjny hydrotransportu na tonę wydobycia

$C_t = C_a + C_r + C_e + C_m$ zł/t

C_t = 6,42 + 1.08 + 6,22 + 0,92 = 14.64 zł/t

W A R I A N T VIII

Nakłady inwestycyjne

1) część mechaniczno-elektryczna	62.659.000,- zł
2) część górnicza	64.708.000,- zł
3) projekty 5% (1+2)	6.368.350,- zł
4) transport 5% (1+2)	6.368.350,- zł
5) koszty nieprzewidziane 10% (1+2)	12.736.700,- zł
Razem:	152.840.400,- zł

Amortyzacja urządzeń i wyrobisk

Wartość amortyzacji obliczonej na podstawie stóp amortyzacyjnych podanych w wariancie I wynosi:

- amortyzacja urządzeń - 7.822.350,- zł/rok
- amortyzacja wyrobisk - 3.547.400,- zł/rok
- roczna wartość amortyzacji A - 11.369.750,- zł/rok

$C_a = \frac{11.369.700}{3.000.000}$ zł/t = 3,79 zł/t

Koszt robocizny

$$C_r = \frac{40 \times 150}{10.000} \text{ zł/t} = \frac{6000}{10000} \text{ zł/t} = 0,60 \text{ zł/t}$$

Koszt energii

$$K_e = 140.350 \times 0,30 \text{ zł/d} = 42.255 \text{ zł/d}$$

$$C_e = \frac{42.255}{10.000} \text{ zł/t} = 4,26 \text{ zł/t}$$

Koszt kapitalnych remontów

$$K_r1 = 0,1 \times A = 0,1 \times 11.369.750 \text{ zł/rok} = 1.136.975 \text{ zł/rok}$$

$$K_r2 = 0,66 \times 3.777.000 \text{ zł} = 2.492.800 \text{ zł/rok}$$

$$K_r = 1.136.975 + 2.492.800 = 3.629.775 \text{ zł/rok}$$

$$C_m = \frac{3.629.775}{3.000.000} \text{ zł/t} = 1,21 \text{ zł/t}$$

Koszt eksploatacyjny hydrotransportu na tonę wydobycia

$$C_t = C_a + C_r + C_e + C_m \text{ zł/t}$$

$$C_t = 3,79 + 0,60 + 4,26 + 1,21 = 9,86 \text{ zł/t}$$

$$C_t = 9,86 \text{ zł/t}$$

W A R I A N T IX

Nakłady inwestycyjne całkowite

1) część maszynowo-elektryczna	83.149.000,- zł
2) część górnicza	66.861.000,- zł
3) projekty 5% (1+2)	7.500.500,- zł
4) transport 5% (1+2)	7.500.500,- zł
5) koszty nieprzewidziane 10% (1+2)	15.001.000.- zł
Razem:	180.012.000,- zł

Amortyzacja urządzeń i wyrobisk

Obliczona wartość amortyzacji na podstawie stóp amortyzacyjnych podanych w wariancie I wynosi:

- amortyzacja urządzeń – 11.329.420 zł/rok
- amortyzacja wyrobisk – 3.677.280 zł/rok
- roczna wartość amortyzacji A – 15.006.700 zł/rok

$$C_a = \frac{A}{Wr} \text{ zł/t} = \frac{15.006.700}{4.500.000} \text{ zł/t} = 3,34 \text{ zł/t}$$

Koszt robocizny

$$C_r = \frac{46 \times 150}{15000} \text{ zł/t} = \frac{6900}{15000} \text{ zł/t} = 0,46 \text{ zł/t}$$

Koszt jednostkowy energii

$$K_e = 195.450 \times 0,30 \text{ zł/d} = 58.635 \text{ zł/d}$$

$$C_e = \frac{Ke}{Wd} = \frac{58.635}{15.000} \text{ zł/t} = 3,91 \text{ zł/t}$$

Koszt kapitalnych remontów

$$K_r1 = 0,1 \times A = 0,1 \times 15.006.700 \text{ zł/rok} = 1.500.670 \text{ zł/rok}$$

$$K_r2 = 0,54 \times 6.271.000 \text{ zł} = 3.386.330 \text{ zł/rok}$$

$$K_r = 1.500.670 + 3.386.330 = 4.887.000 \text{ zł/rok}$$

$$C_m = \frac{Kr}{Wr} \text{ zł/t} = \frac{4.887.000}{4.500.000} \text{ zł/t} = 1.08 \text{ zł/t}$$

Koszt eksploatacyjny hydrotransportu na tonę wydobycia

$$C_t = C_a + C_r + C_e + C_m \text{ zł/t}$$

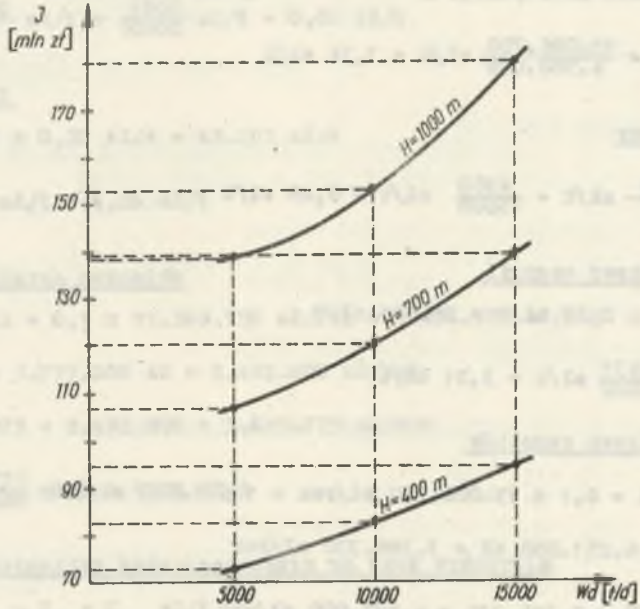
$$C_t = 3,34 + 0,46 + 3,91 + 1,08 = 8,79 \text{ zł/t}$$

$$C_t = 8,79 \text{ zł/t}$$

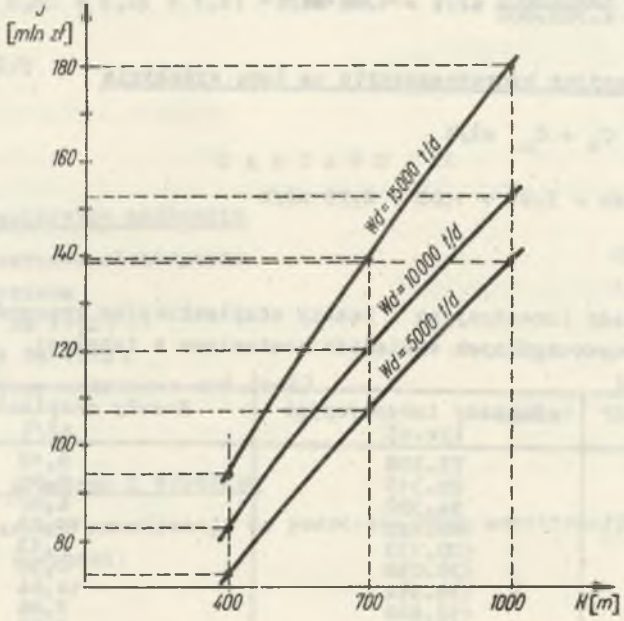
Obliczone nakłady inwestycyjne i koszty eksploatacyjne transportu hydraulicznego dla poszczególnych wariantów zestawione w tabelce:

Wariant	Nakłady inwestycyjne tys.zł	Koszty eksploatacyjne zł/t
I	72.598	8,18
II	82.319	5,32
III	94.300	4,60
IV	106.822	11,23
V	120.133	7,13
VI	139.058	6,35
VII	138.944	14,64
VIII	152.840	9,86
IX	180.012	8,79

Nakłady inwestycyjne

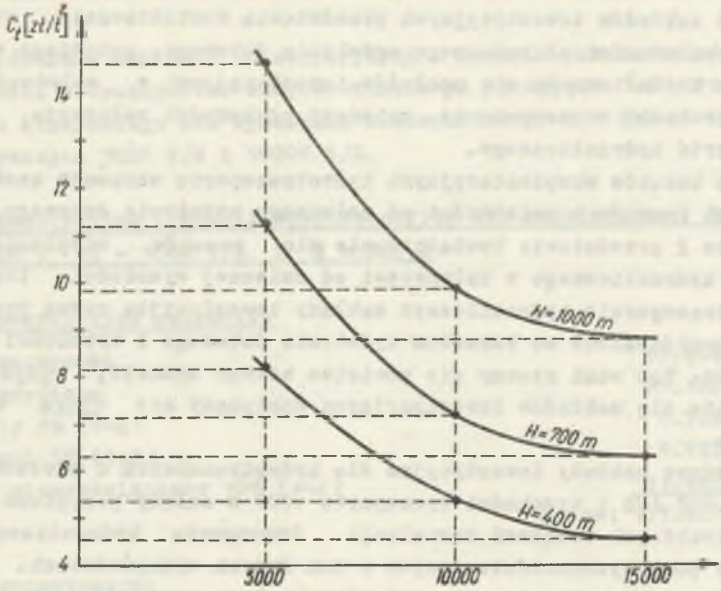


Wykres 1

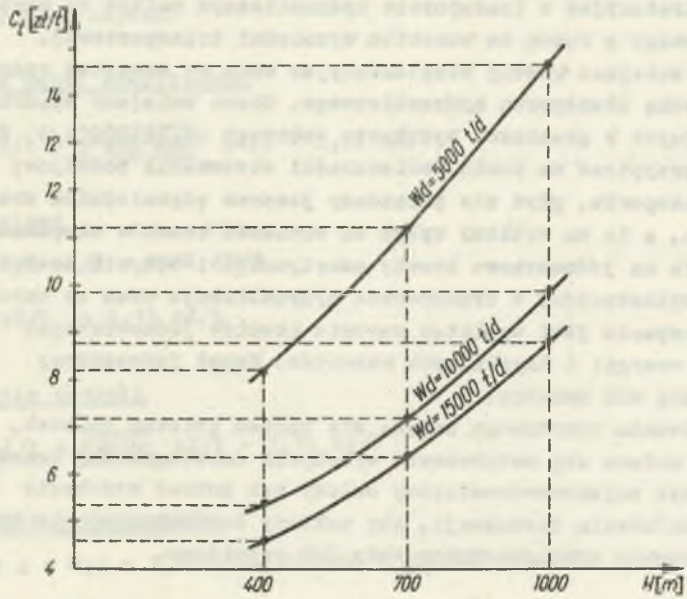


Wykres 2

Koszty eksploatacyjne



Wykres 1



Wykres 2

Dla lepszego zobrazowania kształtowania się nakładów inwestycyjnych i kosztów eksploatacyjnych hydrotransportu sporządzono poniższe wykresy.

Wykres z nakładów inwestycyjnych przedstawia kształtowanie się tych nakładów w zależności od zmiennego wydobycia dobowego, natomiast wykres 2 przedstawia kształtowanie się nakładów inwestycyjnych w zależności od zmiennej wysokości transportu tj. zmiennej głębokości założenia instalacji transportu hydraulicznego.

Wykres z kosztów eksploatacyjnych hydrotransportu obrazuje kształtowanie się tych kosztów w zależności od zmiennego wydobycia dobowego, natomiast wykres 2 przedstawia kształtowanie się kosztów eksploatacyjnych transportu hydraulicznego w zależności od zmiennej wysokości transportu urobku. W transporcie hydraulicznym nakłady inwestycyjne rosną prawie że wprost proporcjonalnie ze wzrostem wydobycia dobowego i wysokości transportu urobku. Ten stan rzeczy nie powinien nikogo zdziwić, gdyż takie kształtowanie się nakładów inwestycyjnych spotykamy nie tylko w hydrotransporcie.

Nieco wyższe nakłady inwestycyjne dla hydrotransportu o zdolności wydobywczej 15.000 t/d i wysokości transportu 1000 m należy przypisać na konto braku niektórych urządzeń instalacji transportu hydraulicznego, a szczególnie pomp wysokociśnieniowych o tak dużych wydajnościach. W tych przypadkach uciekamy się do połączeń równoległych pomp lub kaskadowego transportu wody, co powoduje znaczny wzrost nakładów inwestycyjnych. Koszty eksploatacyjne w transporcie hydraulicznym maleją ze wzrostem wydobycia dobowego a rosną ze wzrostem wysokości transportowej.

Wybitnie malejące koszty eksploatacyjne wraz ze wzrostem wydobycia dobowego są cechą transportu hydraulicznego. Nieco mniejszy spadek kosztów eksploatacyjnych w granicach wydobycia dobowego od 10.000 t/d do 15.000 t/d należy przypisać na konto konieczności stosowania podwójnej instalacji hydrotransportu, gdyż nie posiadamy jeszcze odpowiednich urządzeń na te wydobycia, a to ma wybitny wpływ na wielkość kosztów eksploatacyjnych, a szczególnie na jednostkowe koszty amortyzacji i zużycia energii. Rosnący koszt eksploatacyjny w transporcie hydraulicznym wraz ze wzrostem wysokości transportu jest wynikiem wzrostu kosztów jednostkowych amortyzacji zużycia energii i kapitalnych remontów. Koszt jednostkowy robocizny prawie, że się nie zmienia.

Z podsumowania powyższego nasuwa się bardzo istotny wniosek, w hydrotransporcie opłaca się zwiększenie wydobycia dobowego. Aby transport hydrauliczny był najekonomiczniejszy należy tak dobrać wydobycie dobowe do głębokości założenia instalacji, aby nakłady inwestycyjne nie były zbyt wysokie, a koszty eksploatacyjne były jak najniższe.

Porównanie ekonomiczne hydrotransportu z transportem klasycznym skipowo-klatkowym

Dla porównania nakładów inwestycyjnych i kosztów eksploatacyjnych hydrotransportu z transportem skipowo-klatkowym przyjęto 2 rozwiązania transportu klasycznego dla wysokości transportowej H = 700 m i zdolności wydobywczych 5000 t/d i 10000 t/d.

Nakłady inwestycyjne i koszty eksploatacyjne dla rozwiązania transportu klasycznego o Wd = 5000 t/d i H = 700 m

Nakłady inwestycyjne całkowite

1) część maszynowa	57.844.000,- zł
2) część górnicza	57.140.000,- zł
3) projekty 5% (1+2)	5.742.900,- zł
4) transport 5% (1+2)	5.742.900,- zł
5) koszty nieprzewidziane 10% (1+2)	11.485.800,- zł
Razem:	137.829.600,- zł

Koszty eksploatacyjne

Amortyzacja urządzeń i wyrobisk

A = 5.359,2 tys. zł/rok

Jednostkowy koszt amortyzacji

$$C_a = \frac{A}{Wr} \text{ zł/t} = \frac{5.359.200}{1.500.000} \text{ zł/t} = 3,57 \text{ zł/t}$$

Koszt robocizny

K_r = 37 x 150 zł/d = 5550 zł/d

$$C_r = \frac{5550}{5000} \text{ zł/t} = 1,11 \text{ zł/t}$$

Koszt zużycia energii

$$C_e = \frac{Ke}{Wd} \text{ zł/t} = \frac{28800}{5000} \text{ zł/t} = 5,76 \text{ zł/t}$$

Koszt kapitalnych remontów

K_r = 0,1 x A = 0,1 x 3,849,700 zł/rok = 384.970 zł/rok

$$C_m = \frac{Kr}{Wr} = \frac{384.970}{1.500.000} \text{ zł/t} = 0,26 \text{ zł/t}$$

Koszt eksploatacyjny transportu na tonę wydobycia

$C_t = C_a + C_r + C_e + C_m$ zł/t

$C_t = 3,57 + 1,11 + 5,76 + 0,26 = 10,70$ zł/t

Nakłady inwestycyjne i koszty eksploatacyjne dla rozwiązania transportu klasycznego o Wd = 10.000 t/d i H = 700 m

Nakłady inwestycyjne całkowite

1) część maszynowa	80.674.000,- zł
2) część górnicza	59.890.000,- zł
3) projekty 5% (1+2)	7.028.200,- zł
4) transport 5% (1+2)	7.028.200,- zł
5) koszty nieprzewidziane 10% (1+2)	14.056.400,- zł
Razem:	168.676.800,- zł

Amortyzacja urządzeń i wyrobisk

A = 7.022.700 tys. zł/rok

$C_a = \frac{7.012.700}{3.000.000}$ zł/t = 2,34 zł/t

Koszt robocizny

$K_r = 41 \times 150$ zł/d = 6.150 zł/d

$C_r = \frac{6.150}{10.000}$ zł/t = 0,62 zł/t

Koszt zużycia energii

$C_e = \frac{Ke}{Wd}$ zł/t = $\frac{41.280}{10.000}$ zł/t = 4,13 zł/t

Koszt kapitalnych remontów

$K_r = 0,1 \times A = 0,1 \times 7.022.700$ zł/rok = 702.270 zł/rok

$C_m = \frac{702.270}{3.000.000}$ zł/t = 0,23 zł/t

Koszt eksploatacyjny transportu na tonę wydobycia

$C_t = 2,34 + 0,62 + 4,13 + 0,23$ zł/t = 7,32 zł/t

Obliczenie wskaźników efektywności inwestycji dla porównywanych wariantów hydrotransportu i transportu klasycznego

Wskaźnik efektywności inwestycji obliczamy ze wzoru:

$$E = \frac{(\frac{1}{T} \cdot I' + K)\, b + S}{P_r}$$

T – graniczny okres zwrotu nakładów inwestycyjnych obecnie przyjmuje się T = 6 lat

I' – nakłady ponoszone wraz z zamrożeniem
I' = I (1 + qz . N_z)

I – rzeczywiste ponoszone nakłady

qz – współczynnik zamrożenia qz = 0,16

N_z – średnioważony okres nakładów inwestycyjnych;
n_z = 5 lat

K – koszty robocizny

S – koszty surowców, materiałów, energii i remontów

b – współczynnik; b = f (T.I.K.....)
dla n = 20 lat b = 1: tu przyjęto b = 0,8

Oznaczenia

E_{11} – wskaźnik efektywności inwestycji dla hydrotransportu o Wd = 5000 t/d

E_{12} – wskaźnik efektywności inwestycji dla transportu klasycznego o Wd = = 5000 t/d

E_{21} – wskaźnik efektywności inwestycji dla hydrotransportu o Wd=10000 t/d

E_{22} – wskaźnik efektywności inwestycji dla transportu klasycznego o Wd = = 10.000 t/d

$$E_{11} = \frac{(\frac{1}{6} \times 106.821\ (1+0,16 \times 5) + 1,620/0,8 + 9.390}{1.500} \text{ zł/t-1 rok}$$

E_{11} = 24,21 zł/t 1 rok

$$E_{21} = \frac{(\frac{1}{6} \times 120.133\ (1+0,16 \times 5) + 1.800/0,8 + 12.360}{3.000} \text{ zł/t 1 rok}$$

E_{21} = 14,21 zł/t 1 rok

$$E_{12} = \frac{(\frac{1}{6} \times 137.830\ (1+0,16 \times 5) + 1.665/0,8 + 9.025}{1.500} \text{ zł/t 1 rok}$$

E_{12} = 28,61 zł/t 1 rok

$$E_{22} = \frac{(\frac{1}{6} \times 168.677\ (1+0,16 \times 5) + 1.845/0,8 + 13.082}{3.000}$$

E_{22} = 18,34 zł/t i rok

Porównanie ekonomiczne hydrotransportu i transportu klasycznego o zdolnościach wydobywczych 5000 t/d i 10.000 t/d oraz wysokości transportowej H = 700 m

W celu łatwiejszego zorientowania się w kosztach porównywanych wariantów zestawiono poniższą tabelkę:

Wariant	Hydrotransport			Transport klasyczny		
	Nakład inw.	Koszty ekspl.	Wsk. efekt. inw.	Nakład inw.	Koszty ekspl.	Wskaźn. efekt. inw.
	I tys.zł	C_t zł/t	E zł/t rok	I tys.zł	C_t zł/t	E zł/t rok
Wd=5000 t/d H = 700 m	106.821	11,23	24,21	137,597	10,76	28,61
Wd = 10000 t/d H = 700 m	120.133	7,13	14,21	168,558	7,31	18,34

Wnioski

Przeprowadzona analiza ekonomiczna hydrotransportu nasuwa następujące wnioski:

1. Nakłady inwestycyjne rosną w transporcie hydraulicznym bardzo mocno ze wzrostem wysokości transportu zaś wolniej ze wzrostem wydobycia dobowego.
2. Koszty eksploatacyjne rosną w hydrotransporcie ze wzrostem wysokości transportu, a wybitnie maleją ze wzrostem wydobycia dobowego.
3. Ekonomicznie tańszym rodzajem transportu pionowego dla małych zdolności wydobywczych jest transport klasyczny, zaś dla większych zdolności wydobywczych transport hydrauliczny.
4. Hydrotransport pionowy węgla w połączeniu z kompleksową hydromechanizacją tj. hydrourabianiem i hydrotransportem poziomym lub w połączeniu tylko z hydrotransportem poziomym przy dużych wydobyciach jest wskazanym rodzajem transportu pionowego.
5. Transport hydrauliczny jest najracjonalniejszy również na tych kopalniach, na których doprowadza się do zwiększenia wydobycia, a to dlatego że transport klasyczny wymaga głębienia nowego szybu, zaś rurociągi hydrotransportu instaluje się w czynnym już szybie.

LITERATURA

[1] Krupiński B: Zasady projektowania kopalń.

[2] Kubiczek T.: Transport kopalniany.

[3] Radowicz T.: Wydajności dawkowników komorowych do hydrotransportu Biul. GIG 1964 r.

[4] Żymański T.: Zasadnicze schematy i układy wysokociśnieniowego dawkownikowego transportu hydraulicznego węgla. Biul. GIG 1962 r.

[5] Zachaczewski R.: Doświadczenia w zakresie transportu hydraulicznego Przegl. Górn. 1957 r.

[6] Ciśnieniowy hydrotransport węgla dawkownikami systemu GIG. Przegl. Górn. 1959 r.

[7] Hydromechanizacja wydobywania węgla. Przegl. górn. 1962 r.

[8] Hydrauliczny transport węgla pod ziemią i na powierzchni. Przegl. górn. 1966 r.

[9] Uwagi o działaniu dawkowników do hydrotransportu. Biul. GIG 1965 r.

[10] Wytyczne projektowania instalacji dawkownikowych hydrotransportu kopalnianego. Dokumentacja GIG.

[11] Awtomatizacja gidrowliczeskowo transporta. Ugol 1962 r.

[12] Smołdyriew: Gidrotransport i pnewnotransport.

[13] Smołdyriew: Tiechniko-ekonomiczeskaja efflektiwnost gidrotransporta. Ugol 1959 r.

[14] Cennik nr 1 Ministerstwa Górnictwa i Energetyki na roboty górnicze do łowe wykonywane w kopalniach węgla kamiennego.

ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВЕРТИКАЛЬНОГО ГИДРОТРАНСПОРТА

Р е з ю м е

В статье проведён подробный технически-экономический анализ вертикального гидротранспорта. Этот анализ охватывает затраты на капиталовложения и эксплоатационные расходы в зависимости от величины добычи и вертикальной высоты гидротранспорта.

ECONOMIC ANALYSIS OF VERTICAL HYDROTRANSPORT

S u m m a r y

In the paper a detailed technical - economic analysis of vertical hydrotransport has been carried out.
This analysis includes investment funds and exploitation cost depending on the output and the vertical height of hydrotransport.