

Małgorzata Jaroń-Kocot

WŁAŚCIWOŚCI TRANSPORTOWE SZYBKO SEDYMENTUJĄCYCH HYDROMIESZANIN ODPADOWYCH W PROCESIE ICH PODZIEMNEGO LOKOWANIA

Streszczenie

Odpady drobnoziarniste są lokowane w wyrobiskach poeksploatacyjnych w postaci wodnych zawiesin, hydromieszanin podsadzkowych transportowanych w podziemia kopalń grawitacyjnie, tj. w wyniku wykorzystania zasobów energii potencjalnej mieszanin przemieszczających się w rurociągach kopalnianych. Stopień wykorzystania tej energii i właściwości transportowe hydromieszanin zależne są od ich właściwości fizycznych i parametrów technicznych instalacji. W artykule omówiono badania hydromieszaniny podsadzkowej sporządzonej z nieodwodnionych, szybko sedymentujących odpadów poflotacyjnych z dodatkiem komponentu wapienno-cementowego. Składniki zmieszano w takich proporcjach objętościowych, aby hydromieszanina po przetransportowaniu jej w podziemia kopalni uległa zestaleniu. Właściwości transportowe hydromieszaniny omówiono na przykładzie przepływu mieszaniny w instalacji podsadzkowej, której przekrój pionowy wyznaczono na podstawie danych zawartych na mapie przedstawiającej trasę instalacji w wyrobiskach kopalnianych. Przeprowadzono teoretyczne rozważania na temat przepływu mieszaniny w rurociągach. Wykorzystano zarówno teorię, jak i wzory stosowane do obliczeń parametrów technologii podsadzania wyrobisk górniczych mieszaninami sporządzonymi z piasku.

Transport specificity fastly sedimenting waste hydromixture in processes of their underground locating

Abstract

Fine-grained wastes are located in post-exploited drifts in the form of water suspensions, hydromixtures transported to underground of mines gravitationally, i.e. in result of utilisation of stock of potential energy of mixture in mine pipelines relocating. Degree of utilisation of this energy and transport specificity of hydromixtures are dependent from their physical specificity and technical installations parameters. In article it discussed research of floor hydromixtures composed with non-dehydrated, fast sedimenting post-flotation wastes with addition of cement and lime component.

Components mixed in such bulk proportions, in order to hydromixture has been stable after its transporting to underground mine. An hydromixtures transport specificity has been discussed on example of mixture flow in fill installation, which vertical section has appointed on base of data included on map present a route of installation in mine drifts. It carried theoretical consideration about mixture flow in pipelines. It has been used theory, and also exemplars applicable to account of parameter of technology for making higher drifts in mines from sand mixture composed.

WPROWADZENIE

Odpady poflotacyjne, energetyczne i inne odpady drobnoziarniste są lokowane w podziemiach kopalń najczęściej w postaci wodnych zawiesin, hydromieszanin podsadzkowych o określonych właściwościach fizycznych. Do transportu hydromieszanin do wyrobisk poeksploatacyjnych, polegającego na ich grawitacyjnym

przemieszczaniu się, wykorzystuje się istniejące urządzenia do podsadzki hydraulicznej i kopalniane sieci rurociągów podsadzkowych.

Właściwości transportowe szybko sedymentujących hydromieszanin podsadzkowych są określane na podstawie wyników badań ich właściwości fizycznych. W celu przeprowadzenia teoretycznej analizy przepływu mieszaniny w instalacji podsadzkowej, o przyjętych parametrach, sporządzono hydromieszaninę składającą się z nieodwodnionych odpadów poflotacyjnych z dodatkiem komponentu wapniowo-cementowego (Adamek R. 1980; Czaban S. 1988; Jarige A. i inni, 1961; Lisowski A. 1992; Palarski J. 1982; Parzonka W. 1977).

W analizie wykorzystano zarówno teorię, jak i wzory stosowane do obliczeń parametrów technologii podsadzania wyrobisk górniczych mieszaninami sporządzonymi z piasku (Adamek R. 1980; Lisowski A. 1992).

1. WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNE HYDROMIESZANINY PODSADZKOWEJ

Mieszaninę podsadzkową sporządzono z nieodwodnionych odpadów poflotacyjnych ($W_{ex} = 60\%$) z dodatkiem komponentu wapienno-cementowego. Składniki zmieszano w takich proporcjach objętościowych, aby mieszanina po przetransportowaniu w podziemia kopalni uległa zestaleniu. Gęstość γ_m hydromieszaniny wynosiła 1630 kg/m^3 , a koncentracja objętościowa C_v fazy stałej – $0,370$. W badaniach przyjęto założenie maksymalnej koncentracji fazy stałej w mieszaninie z wodą. Założenie to determinowało między innymi uzyskanie maksymalnej wydajności podsadzania.

Odpady poflotacyjne, stanowiące podstawowy składnik hydromieszaniny podsadzkowej, charakteryzowały się gęstością 2700 kg/m^3 , gęstością nasypową 1750 kg/m^3 i wyliczonym na podstawie tych wartości wskaźnikiem porowatości wynoszącym 54% . Największe ziarna odpadów nie przekraczały $0,3 \text{ mm}$, a 60% ziarn mieściło się w klasie poniżej $0,1 \text{ mm}$. Średnia ważona średnica ziaren d_s odpadów wynosiła $0,107 \text{ mm}$.

Należy zauważyć, że uziarnienie na skutek mechanicznych, fizycznych i chemicznych procesów zachodzących w rurociągu podczas hydrotransportu może się zmieniać w wyniku, na przykład rozmywania się odpadów. Podatność analizowanych odpadów na rozmywanie oceniono na podstawie ich składu mineralogicznego. Stwierdzono, że podstawowymi składnikami odpadów poflotacyjnych były: kwarc – 28% , dolomit – 25% , kalcyt – 20% , gips – 8% , anhydryt – 6% , skalenie – 4% i bassanit – 3% . Łatwo rozmywalne minerały ilaste stanowiły zaledwie 6% . Ze względu na taki skład mineralogiczny odpadów założono, że odpady poflotacyjne nie będą się rozmywały, a sporządzona z ich udziałem hydromieszanina podsadzkowa w czasie przepływu będzie pozostawała jednorodną cieczą ciężką o niezmienniej gęstości objętościowej wynoszącej 1630 kg/m^3 .

Właściwości reologiczne hydromieszaniny podsadzkowej scharakteryzowano na podstawie wyników badań wykonanych reometrem kapilarnym RK przeznaczonym dla zawiesin szybko sedymentujących. Wykreślono krzywe płynięcia w układzie współrzędnych τ , γ i na tej podstawie badaną mieszaninę zaliczono do cieczy pseudoplastycznych i określono ją modelem Ostwalda de Waele (Raczkowski J. 1975).

$$\tau = k\dot{\gamma}^n$$

gdzie:

τ – napężenie ścinające, Pa;

$\dot{\gamma}$ – prędkość ścinania, s^{-1} ;

k – współczynnik konsystencji (miara lepkości pozornej), $k = 17,547 \text{ Pa}\cdot\text{s}^n$;

n – parametr reologiczny (miara odchylenia od cieczy newtonowskiej), $n = 0,304$.

Wyznaczone parametry reologiczne k i n posłużyły do obliczenia liczby Reynoldsa i na jej podstawie przepływ badanej hydromieszanki określono jako turbulentny. Liczbę Reynoldsa obliczono ze wzoru (Raczkowski J. 1978)

$$Re' = \frac{D^{n'} v^{-n'} \gamma_m}{k' z^{n'-1}}$$

$$Re' = 13745$$

gdzie:

D – średnica rurociągu; w badaniach przyjęto średnicę 0,185 m;

v – średnia prędkość przepływu hydromieszanki w rurociągu, zależna od wielkości strat energetycznych, $v = 11,9 \text{ m/s}$;

γ_m – gęstość objętościowa wynosząca 1630 kg/m^3 ;

k' – współczynnik konsystencji (miara lepkości pozornej)

$$k' = \left(\frac{3n+1}{4n} \right)$$

n' – parametr reologiczny (miara odchylenia od cieczy newtonowskiej); $n' = n$.

2. CHARAKTERYSTYKA TECHNOLOGICZNA INSTALACJI PODSADZKOWEJ

Sporządzono charakterystykę instalacji podsadzkowej, której przekrój pionowy A-B przedstawiono na rysunku 1. Przekrój ten wyznaczono na podstawie mapy przedstawiającej trasę instalacji w wyrobiskach kopalnianych (mapa górnicza wykonana w skali 1:10000). Zgodnie z zasadą wyznaczania parametrów technologii podsadzki wyrobisk (Adamek R. 1980), rzeczywistą długość instalacji podsadzkowej L zastąpiono długością ekwiwalentną L_o . Współczynnik przeliczeniowy a_i długości rurociągu o dowolnej średnicy D_i (instalacja zbudowana była z rurociągów o średnicach D_i : 210, 185 i 150 mm) na średnicę umowną D_o obliczono ze wzoru

$$a_i = \left(\frac{D_o}{D_i} \right)^5$$

gdzie:

D_o – średnica umowna rurociągu instalacji, m; przyjęto $D_o = 185$ mm,

D_i – średnica rzeczywista rurociągu instalacji, m.

W obliczeniach uwzględniono czternaście elementów deprymogenicznych instalacji. Odpowiednie dane i obliczenia zestawiono w tabelicy 1.

Tablica 1. Charakterystyka układu przestrzennego instalacji podsadzkowej i przewidywane wartości ciśnienia w badanych punktach

Lp.	Nazwa elementu instalacji podsadzkowej	Kąt nachylenia rurociągu $\pm\alpha$ stopień	Długość rzeczywista rurociągów L , m	Różnica wysokości H , m	a_i	Długość ekwiwalentna rurociągu L_o , m	Przewidywane wartości ciśnień w badanych punktach Pa
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Luneta górna	-25	38	16	0,53	25,0	173 800
2	Szyb, odcinek 1	-90	411	411	1	413,5	5 100 400
3	Szyb, odcinek 2	-90	411	411	2,85	1173,8	8 491 900
4	Luneta dolna	+8°40'	120	+4,5	1	122,5	8 181 400
5	Rurociąg, odcinek 1	-2°2'	350	17,5	1	352,5	7 715 000
6	Rurociąg, odcinek 2	-0°1'	450	8	1	452,5	6 913 600
7	Rurociąg, odcinek 3	-1°2'	970	17,6	1	972,5	5 196 900
8	Rurociąg, odcinek 4	-1°6'	170	3,7	1	172,5	4 900 400
9	Rurociąg, odcinek 5	-1°2'	130	3,5	1	132,5	4 682 000
10	Rurociąg, odcinek 6	-0°3'	1100	10,6	1	1102,5	2 604 600
11	Rurociąg, odcinek 7	+8°6'	120	+16,9	1	122,5	2 120 400
12	Rurociąg, odcinek 8	+0°20'	650	+3,8	1	652,5	749 700
13	Rurociąg, odcinek 9	+1°1'	300	+10	1	302,5	1 100
			$\Sigma=5220$ m	$\Sigma=863,7$ m		$\Sigma=5997,3$ m	

Zgodnie z danymi literaturowymi sumę ciśnień i ich strat (straty energetyczne), koniecznych na pokonanie oporów przepływu w dowolnym poprzecznym przekroju instalacji, oblicza się z uogólnionego prawa Bernoulliego (Adamek R. 1980; Lisowski A. 1992; Pałarski J. 1982). Prawo to, odnoszące się do 1 m^3 hydromieszaniny podsadzkowej, przedstawia się za pomocą następującego wzoru

$$\frac{v^2}{2g} \gamma_m + p + H\gamma_m + \sum L_o I_E = E = \text{constans}$$

gdzie:

$\frac{v^2}{2g} \gamma_m$ – ciśnienie dynamiczne, Pa;

v – prędkość przepływu hydromieszaniny;

γ_m – gęstość objętościowa hydromieszaniny;

g – przyspieszenie ziemskie;

p – ciśnienie statyczne, Pa;

$H\gamma_m$ – ciśnienie słupa hydromieszaniny podsadzkowej, Pa;

H – pionowa odległość między wlotem i wylotem instalacji podsadzkowej;
 $\sum L_o I_E$ – suma strat energetycznych na pokonanie oporów przepływu na długości rurociągu L_o , Pa;

$p + H\gamma_m$ – zasób energii potencjalnej w danym przekroju poprzecznym instalacji.

Równanie bilansu energetycznego dla instalacji podsadzkowej, przedstawionej na rysunku 1, otrzymano, układając na podstawie powyżej przedstawionego wzoru dwa równania równowagi pracy i energii: dla punktu A znajdującego się na wlocie rurociągu i dla punktu B znajdującego się na jego wylocie.

Równanie dla wlotu rurociągu A ma postać

$$E_A = H\gamma_m$$

Równanie dla wylotu rurociągu B ma postać

$$E_B = \frac{v^2}{2g}\gamma_{\dots} + \sum L_o I_E$$

Zgodnie z zasadą zachowania równowagi, pracy i energii $E_A = E_B$, czyli

$$H\gamma_m = \frac{v^2}{2g}\gamma_{\dots} + \sum L_o I_E$$

Na podstawie równania bilansu energetycznego i danych zawartych w tabelicy 1 wyznaczono następujące wartości parametrów technologicznych instalacji podsadzkowej:

- parametr ukształtowania instalacji w przestrzeni (dla kopalń głębokich wartość parametru ξ wskazuje na konieczność redukcji ciśnień (Dokumentacja GIG... 1967)

$$\xi = \frac{r_o}{H}, \text{ gdzie } L_o = 5997,3 \text{ m; } H = 863,7 \text{ m}$$

$$\xi = 6,94$$

- rozporządzalną wartość strat energetycznych

$$I_E = \frac{H\gamma_{\dots}\eta}{L_o}, \text{ gdzie } L_o = 5997,3 \text{ m; } H = 863,7 \text{ m; } \gamma_m = 1630 \text{ kg/m}^3;$$

- współczynnik sprawności instalacji podsadzkowej; dla materiałów drobnoziarnistych $\eta = 0,86$

$$I_E = 2019 \text{ Pa/m}$$

- prędkość krytyczną przepływu hydromieszaniny w instalacji

$$v_{..r} = \tau_L \sqrt{2gD \left(\frac{\gamma_{\dots} - \gamma_{\dots}}{\gamma_{\dots}} \right)}$$

$$v_{kr} = 3,23 \text{ m/s}$$

gdzie:

F_L – współczynnik zależny od uziarnienia i zagęszczenia materiału w hydromieszaniu; dla materiałów drobnoziarnistych wynosi 1,3 (Pałarski J. 1982);

D – średnica rurociągu; w badaniach przyjęto średnicę 0,185 m;

γ_s – gęstość odpadów 2700 kg/m³;

γ_w – gęstość wody 1000 kg/m³;

g – przyspieszenie ziemskie 9,81 m/s²;

- średnią prędkość przepływu hydromieszanki w instalacji odczytaną z tablicy 4.8 (Adamek R. 1980) i obliczoną przez interpolację

$$v = 11,9 \text{ m/s}$$

- wskaźnik pewności działania instalacji podsadzkowej (powinien być większy od 1,1; wartość tego parametru warunkuje przepływ mieszaniny bez zakłóceń)

$$M = \frac{v}{v_{..r}}$$

$$M = 3,68$$

- natężenie przepływu hydromieszanki podsadzkowej

$$Q_m = vF3600 \text{ m}^3/\text{h}, \text{ przy czym } v = 11,9 \text{ m/s},$$

F – powierzchnia przekroju rurociągu $\phi = 185 \text{ mm}$; $F = 0,026880 \text{ m}^2$

$$Q_m = 1151,5 \text{ m}^3/\text{h}$$

- wskaźnik efektywności podsadzania (uwzględniający wskaźnik porowatości $\varepsilon = 54\%$) (Adamek R. 1980)

$$\rho = 0,800$$

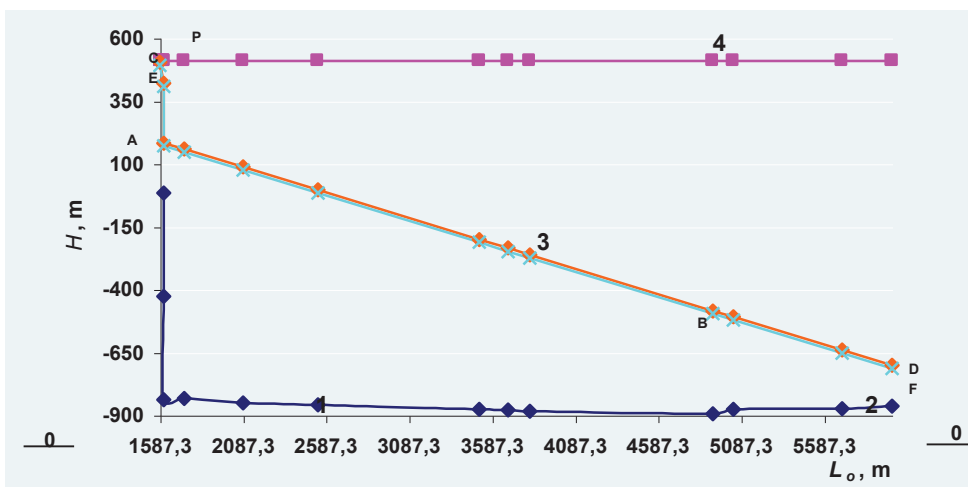
- wydajność podsadzania

$$Q_p = Q_m \rho \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_p = 921 \text{ m}^3/\text{h}$$

Uogólnione prawo Bernoulliego wykorzystano także do przedstawienia wykreślonej analizy energetycznej pracy instalacji podsadzkowej obrazującej przemiany energetyczne zachodzące w czasie przepływu mieszaniny przez rurociąg. Przyjmując twierdzenie, że suma wysokości ciśnień dynamicznego i statycznego oraz wysokości strat oporów przepływu jest w instalacji podsadzkowej wartością stałą dla każdego jej poprzecznego przekroju, wyznaczono w każdym punkcie poszczególne wartości ciśnień i naniesiono je na wykres przekroju instalacji podsadzkowej (rys. 1). Na rysunku tym dolna prosta pozioma 0-0 odpowiada płaszczyźnie odniesienia, a górna

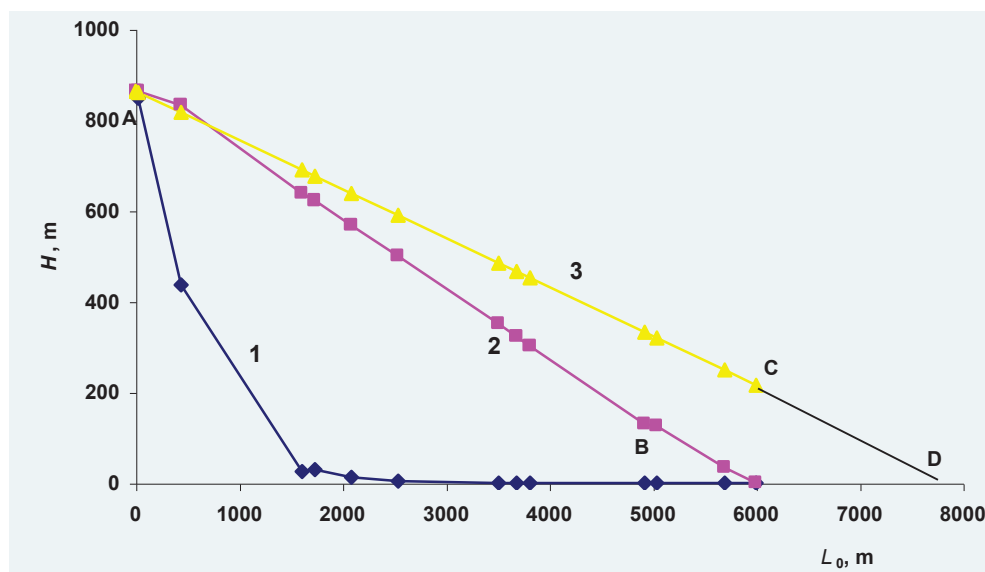
P-P wysokości ciśnienia słupa mieszaniny (linia naporu geometrycznego). Krzywa C-D jest linią ciśnienia statycznego (naporu statycznego) zwaną również linią energii. Obrazuje ona wysokość ciśnienia bezwzględnego w odnośnych punktach instalacji. Równoważną wartość tych ciśnień przy uwzględnieniu gęstości hydromieszaniny wynoszącej 1630 kg/m^3 przedstawiono w kolumnie 8 tablicy 1. Wysokość ciśnienia piezometrycznego (napór piezometryczny) przedstawia linia E-F, która odzwierciedla wysokość ciśnienia względnego w danym punkcie rurociągu podsadzowego. Aby ciągłość ruchu w instalacji podsadzowej była zachowana, w każdym punkcie przewodu podsadzowego ciśnienie bezwzględne musi być większe od zera. Warunek ten jest równoznaczny z wymaganiem, aby linia ciśnień bezwzględnych CD w żadnym punkcie nie przecinała osi rurociągu podsadzowego, tak jak w przypadku krzywej CD na rysunku 1.



Rys. 1. Profil pionowy instalacji podsadzowej i wykreślna analiza energetyczna jej pracy: L_o – długość ekwiwalentna, H – wysokość; 1 – profil pionowy, 2 – linia naporu statycznego, 3 – linia naporu piezometrycznego, 4 – linia naporu geometrycznego

Fig. 1. Vertical profile of fill installation and its energy work analysis: L_o – length equivalent, H – height; 1 – vertical profile, 2 – static pressure line, 3 – piezometric pressure line, 4 – geometric pressure line

W praktyce sporządza się uproszczony profil hydrauliczny instalacji grawitacyjnej, pomijając wartość ciśnienia barometrycznego i prędkości (Jarige A. i inni 1961). Znając przebieg profilu instalacji podsadzowej, graficznie wyznaczono wartość ciśnienia bezwzględnego, statycznego w dowolnych punktach instalacji, bez potrzeby obliczania jednostkowych strat energetycznych (rys. 2, krzywa AB). Linia ciśnienia bezwzględnego AB obrazuje przemiany energetyczne zachodzące w rurociągu przy przepływie mieszaniny z prędkością $11,9 \text{ m/s}$. Wartości tych ciśnień przedstawiono w kolumnie 3 tablicy 2. Z przebiegu tej krzywej wynika, że linia ciśnienia bezwzględnego znajduje się ponad profilem instalacji podsadzowej.



Rys. 2. Profil instalacji podsadzkowej i graficzna analiza ciśnień: L_0 – długość ekwiwalentna, H – wysokość; 1 – profil pionowy, 2 – linia ciśnienia bezwzględnego, 3 – linia ciśnienia bezwzględnego przy $V = 10$ m/s

Fig. 2. Fill installation profile and graphic pressure analysis: L_0 – length equivalent, H – height; 1 – vertical profile, 2 – severe pressure line, 3 – severe pressure line $V = 10$ m/s

Ze względu na ścieralność wewnętrznych ścianek rurociągu, prędkość przepływu hydromieszanki podsadzkowej nie powinna przekraczać 10 m/s (Krysiak M. 1971). Zakładając, że prędkość 10 m/s jest prędkością graniczną, wykreślono linię wartości ciśnienia bezwzględnego (linia AC), odpowiadającą tej prędkości. Wartości tego ciśnienia ujęto w kolumnie 3 tabelicy 2. Linia AC znajduje się powyżej linii AB, co oznacza, że prędkości hydromieszanki w instalacji są większe od prędkości granicznej i że taką instalację należy uważać za głęboką (Adamek R. 1980). Prędkość przepływu hydromieszanki można zredukować przez zmianę ukształtowania przestrzennego instalacji. Przedłużenie linii AC do punktu D przecięcia się z osią odciętych wyznacza odcinek, o który należy wydłużyć instalację podsadzkową w celu zredukowania prędkości przepływu (do granicznej). Wartości ciśnień bezwzględnych odpowiadających wysokości ciśnień krzywej AD dla wymaganego objętościowego natężenia przepływu ziarn przedstawiono w kolumnie 4 tabelicy 2.

Zmniejszenie prędkości przepływu analizowanej hydromieszanki podsadzkowej do wartości mniejszej od granicznej, można także osiągnąć przez wymianę najbardziej narażonych na zniszczenie części rurociągów $\phi 185$ mm. Założono wymianę trzech elementów instalacji podsadzkowej $\phi 185$ mm (elementy nr 4, 5 i 6 z tabelicy 1), na rurociągi o mniejszej średnicy $\phi 150$ mm i o znacznie większej wytrzymałości, przy zachowaniu długości drogi transportu hydromieszanki do miejsca lokowania. Wartości parametrów technologicznych instalacji podsadzkowej będą wtedy następujące:

- parametr ukształtowania instalacji w przestrzeni

Tablica 2. Przewidywane wartości ciśnienia w badanych punktach instalacji

Lp.	Nazwa elementu instalacji podsadzkowej	Ciśnienia bezwzględne (statyczne) w instalacji przy przepływie hydromieszaniny z prędkością 11,9 m/s Pa/m	Ciśnienia bezwzględne (statyczne) w instalacji przy przepływie hydromieszaniny z prędkością 10 m/s Pa/m	Ciśnienia bezwzględne (statyczne) w instalacji przy przepływie hydromieszaniny z prędkością 9,3 m/s Pa/m
1	2	3	4	5
1	Luneta górna	14 077 200	14 034 300	14 077 500
2	Szyb, odcinek 1	13 562 400	13 306 505	13 681 900
3	Szyb, odcinek 2	10 406 100	11 240 643	11 217 800
4	Luneta dolna	10 148 400	11 024 994	10 625 400
5	Rurociąg, odcinek 1	9 250 500	10 404 616	8 751 300
6	Rurociąg, odcinek 2	8 148 700	9 608 198	6 364 400
7	Rurociąg, odcinek 3	5 710 200	7 896 698	4 401 500
8	Rurociąg, odcinek 4	5 262 200	7 593 029	4 039 200
9	Rurociąg, odcinek 5	4 910 900	7 359 939	3 751 400
10	Rurociąg, odcinek 6	2 118 800	5 419 424	1 539 900
11	Rurociąg, odcinek 7	2 052 700	5 203 938	1 549 200
12	Rurociąg, odcinek 8	555 300	4 055 440	396 500
13	Rurociąg, odcinek 9	0	3 523 082	0

$$\xi = 8,91$$

- rozporządzalna wartość strat energetycznych

$$I_E = 1573 \text{ Pa/m}$$

- średnia prędkość robocza przepływu hydromieszaniny w instalacji

$$v_{rb} = 9,3 \text{ m/s}$$

- wskaźnik pewności działania instalacji podsadzkowej

$$M = 6,2$$

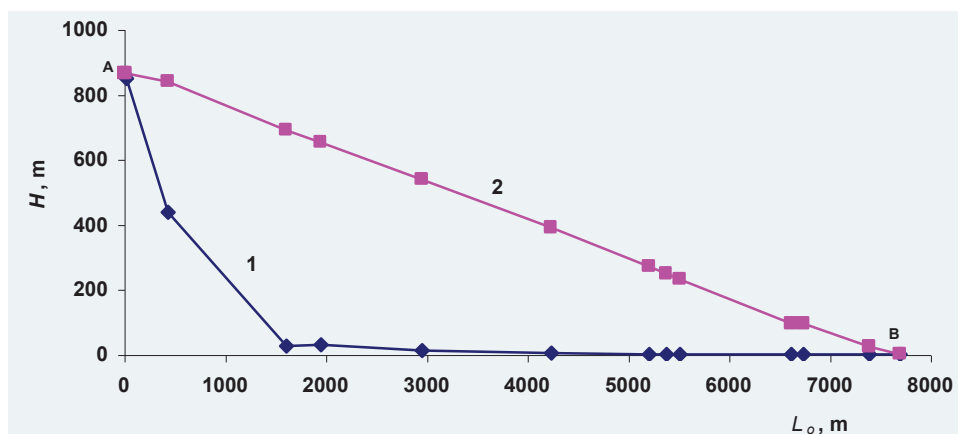
- natężenie przepływu hydromieszaniny podsadzkowej

$$Q_m = 899,94 \text{ m}^3/\text{h}$$

- wydajność podsadzania

$$Q_p = 719,95 \text{ m}^3/\text{h}$$

Na rysunku 3 przedstawiono wartości ciśnienia bezwzględnego w zaznaczonych punktach instalacji – krzywa AB. Wartości ciśnień bezwzględnych odpowiadające wysokości ciśnień krzywej AB przedstawiono w kolumnie 5 tablicy 2.



Rys. 3. Profil instalacji podsadzkowej i graficzna analiza ciśnień: L_o – długość ekwiwalentna, H – wysokość, 1 – profil pionowy, 2 – linia ciśnienia bezwzględnego, przy $V = 9,3$ m/s

Fig. 3. Fill installation profile and graphic pressure analysis: L_o – length equivalent, H – height; 1 – vertical profile, 2 – severe pressure line $V = 9,3$ m/s

Literatura

1. Adamek R. (1980): *Podsadzanie wyrobisk górniczych*. Katowice, Wydaw. „Śląsk”.
2. Czaban S. (1988): *Wyznaczanie współczynnika oporów liniowych przy przepływie reostabilnych mieszanin w rurociągach*. Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu nr 176. Melioracja XXXI. Wrocław.
3. Jarige A., Roche A., Sanyas M., Roidot J.-P. (1961): *Le remblayage hydraulique aux Houillères du Bassin de Lorraine*. Revue de l'Industrie Minerale z. 43 nr 5.
4. Krysik M. (1971): *Trwałość instalacji podsadzki hydraulicznej w warunkach eksploatacji w kopalniach*. Prace GIG, Komunikat nr 537.
5. Lisowski A. (1992): *Metoda optymalizacji wykorzystania odpadów kopalnianych i energii potencjalnej w podsadzce hydraulicznej-metoda OG*. Prace GIG, Komunikat nr 768.
6. Palarski J. (1982): *Hydrotransport*. Warszawa, Wydaw. N-T.
7. Parzonka W. (1977): *Hydrauliczne podstawy transportu rurowego mieszanin dwufazowych*. Skrypt Akademii Rolniczej, Wrocław.
8. Raczkowski J. (1975): *Reologia cieczy wiertniczych*. Warszawa, Wydaw. Geologiczne.
9. Raczkowski J. (1978): *Reologia czynników uszczelniających*. Skrypt uczelniany nr 612 Kraków, AGH.
10. *Opracowanie metod budowy i eksploatacji instalacji podsadzkowych dla głębokich kopalń*. Dokumentacja GIG, symbol XX1.5.1.1. Katowice.

Recenzent: doc. dr hab. inż. Krzysztof Stańczyk