

Franciszek PLEWA, Zdzisław MYSŁEK
Politechnika Śląska, Gliwice

PARAMETRY REDUKCJI CIŚNIENIA W INSTALACJACH PODSADZKOWYCH

Streszczenie. W instalacjach podsadzkowych, a szczególnie w instalacjach głębokich zachodzi często potrzeba redukcji ciśnienia, wynikająca z przekroczenia ciśnienia dopuszczalnego lub prędkości granicznej. Istnieje szereg metod redukcji ciśnienia w instalacjach podsadzkowych, pozwalających na zredukowanie wielkości ciśnienia do wartości wynikającej z wytrzymałości rur podsadzkowych lub wymaganej w celu ograniczenia prędkości przepływu mieszaniny podsadzkowej. W artykule omówiono podstawowe metody redukcji ciśnienia w instalacjach podsadzkowych i przedstawiono zależności pozwalające określać parametry redukcji w poszczególnych metodach.

PARAMETERS OF PRESSURE REDUCTION IN BACKFILL PIPELINES

Summary. In hydraulic backfill systems, especially in deep pipelines often appears necessity of the pressure reduction as a result of exceeding permissible pressure or limit velocity. There are many methods exist of pressure reduction in backfill pipelines, which allow the pressure reduction to the value adequate to the strength of backfill pipes or the need for limitation of the backfill slurry flow velocity. In this paper essential methods of the pressure reduction in the backfill pipelines have been discussed and dependencies have been shown that allow determining reduction parameters in particular methods.

1. Wstęp

Kopalniana sieć podsadzkowa jest układem dynamicznym podlegającym ciągłym zmianom wraz z przemieszczającym się frontem eksploatacyjnym w danym pokładzie czy rejonie, a także podczas otwierania bądź zamykania kolejnych pól eksploatacyjnych. Zmiana układów przestrzennych i parametrów geometrycznych instalacji powoduje zmianę parametrów przepływu mieszaniny podsadzkowej, w tym również ciśnienia. W instalacjach

podszkowych, a szczególnie w instalacjach głębokich występuje często potrzeba redukcji ciśnienia w celu jego ograniczenia do wartości dopuszczalnych bądź zmniejszenia prędkości przepływu mieszaniny. Konieczność redukcji ciśnienia w instalacji podszkowej występuje wówczas, gdy ciśnienie rozporządzalne wynikające z parametrów geometrycznych i gęstości mieszaniny podszkowej jest większe od ciśnienia wymaganego na pokonanie oporów przepływu mieszaniny z żadaną wydajnością.

$$P_{rozp} > P_{wym}$$

Ponadto redukcja ciśnienia jest wymagana, gdy ciśnienie maksymalne jest większe od ciśnienia dopuszczalnego, a także gdy prędkość przepływu mieszaniny podszkowej w instalacji jest większa od prędkości granicznej.

$$P_{max} > P_{dop}$$

$$v_m > v_{gr}$$

Ciśnienie rozporządzalne jest to ciśnienie wynikające z różnicy wysokości instalacji podszkowej i gęstości mieszaniny podszkowej:

$$P_{rozp} = H \cdot \rho_m \cdot g \quad [\text{Pa}] \quad (1)$$

Ciśnienie wymagane to ciśnienie potrzebne do pokonania oporów przepływu z żadaną wydajnością:

$$P_{wym} = I_E(v_m) \cdot L_{ekw} \quad [\text{Pa}] \quad (2)$$

Ciśnienie maksymalne to największe ciśnienie występujące w instalacji podczas przepływu mieszaniny podszkowej. Ciśnienie to z reguły występuje na końcu ciągu pionowego instalacji, czyli na podszybiu szybu podszkowego:

$$P_{max} = H_s(\rho_m \cdot g - I_E \cdot a), \quad [\text{Pa}] \quad (3)$$

gdzie:

H_s - długość odcinka szybowego, m,

ρ_m - gęstość mieszaniny podszkowej, kg/m^3 ,

I_E - jednostkowe straty energetyczne przepływu mieszaniny podszkowej, Pa/m ,

a - współczynnik przeliczeniowy średnic rurociągu,

$$a = \left(\frac{D_{od}}{D_i} \right)^5,$$

H - całkowita różnica wysokości instalacji podszkowej, m,

L_{ekw} - całkowita ekwiwalentna długość instalacji podszkowej, m.

2. Metody redukcji ciśnienia

Istnieje szereg metod redukcji ciśnienia w instalacjach podsadzkowych, wśród których do najważniejszych należą:

- zmiana gęstości mieszaniny podsadzkowej,
- zmiana średnicy rurociągu szybowego instalacji podsadzkowej,
- zastosowanie bocznicy oporowej,
- zastosowanie leja wtórnego (zbiornika przelewowego),
- zastosowanie zwężeń i kryz.

2.1. Zmiana gęstości mieszaniny podsadzkowej

Redukcja ciśnienia w instalacji podsadzkowej przez zmianę gęstości mieszaniny jest najprostszą z metod, pozwalającą zredukować ciśnienie rozporządzalne i maksymalne proporcjonalnie do zmiany gęstości mieszaniny. Metoda ta jest jednak mało efektywna, ponieważ zwiększa udział wody w mieszaninie podsadzkowej, zmniejszając równocześnie wydajność podsadzania. Może być stosowana w małym zakresie zmiany gęstości, tak aby proces podsadzania nie zmienił się w płukanie instalacji podsadzkowej. Wymaganą gęstość mieszaniny podsadzkowej do zredukowania ciśnienia w instalacji do ciśnienia dopuszczalnego można wyznaczyć z następujących wzorów:

- ciśnienie maksymalne w instalacji po redukcji

$$p_{\max} = H_s(\rho_{m\text{red}} \cdot g - I_E' \cdot a) \leq p_{\text{dop}}, \quad [\text{Pa}] \quad (4)$$

gdzie:

I_E' - jednostkowe straty energetyczne przepływu dla zredukowanej gęstości mieszaniny podsadzkowej, Pa/m,

$$I_E' = \frac{H \cdot \rho_{m\text{red}} \cdot g}{L_{\text{ekw}}}, \quad [\text{Pa/m}] \quad (5)$$

H_s - długość odcinka szybowego instalacji, m,

H - całkowita różnica wysokości instalacji, m,

g - przyspieszenie ziemskie, m/s^2 ,

L_{ekw} - ekwiwalentna długość instalacji, m,

- wymagana gęstość mieszaniny podsadzkowej

$$\rho_{mns} \leq \frac{P_{dop}}{H_s \cdot g \cdot \left(1 - \frac{H \cdot a}{L_{ekw}}\right)} \quad [\text{kg/m}^3] \quad (6)$$

2.2. Zmiana średnicy rurociągu szybowego instalacji podsadzkowej

Ten sposób redukcji ciśnienia umożliwia zredukowanie ciśnienia maksymalnego, natomiast nie pozwala zredukować ciśnienia rozporządzalnego. Redukcja ciśnienia w instalacji przez zmniejszenie średnicy w ciągu pionowym polega na zwiększeniu oporu hydraulicznego rurociągu szybowego i spadku ciśnienia na jego końcu. Metoda ta również posiada ograniczone zastosowanie, ponieważ w podsadźce hydraulicznej stosowane są głównie dwie średnice rurociągów, tzn. 0,150 i 0,185 m. Wymaganą średnicę rurociągu szybowego dla zredukowania ciśnienia maksymalnego do ciśnienia dopuszczalnego można wyznaczyć ze wzorów:

- ciśnienie maksymalne w instalacji po redukcji:

$$p_{max} = H_s (\rho_m \cdot g - I_E' \cdot a_s) \leq p_{dop}, \quad [\text{Pa}] \quad (7)$$

gdzie:

I_E' - jednostkowe straty energetyczne dla instalacji ze zredukowaną średnicą rurociągu szybowego, Pa/m,

$$I_E' = \frac{H \cdot \rho_m \cdot g}{L_{ekw}}, \quad [\text{Pa/m}] \quad (8)$$

L_{ekw}' - długość ekwiwalentna instalacji podsadzkowej ze zmienioną średnicą rurociągu szybowego, m,

$$L_{ekw}' = H_s \cdot a_s + L_{pckw}, \quad [\text{m}] \quad (9)$$

a_s - współczynnik przeliczeniowy średnic rurociągu szybowego,

L_{pckw} - ekwiwalentna długość ciągu poziomego instalacji, m.

$$a_s = \left(\frac{D_s}{D_{sred}} \right)^5, \quad (10)$$

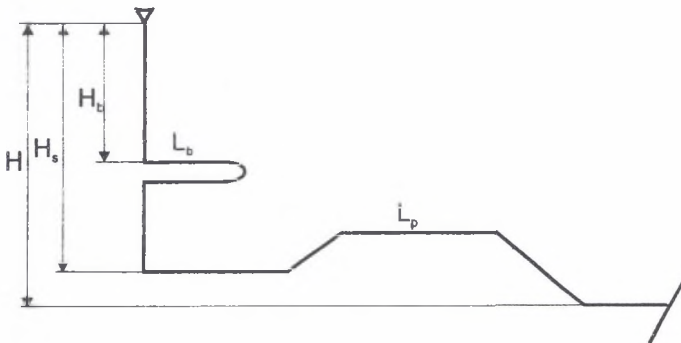
D_s - średnica rurociągu szybowego, m,

D_{sred} - zredukowana średnica rurociągu, m,

$$D_{s_{red}} \leq D_s \sqrt[5]{\frac{H_s [p_{dop} + (H - H_s) \rho_m g]}{L_{p_{dkw}} (H_s \cdot \rho_m \cdot g - p_{dop})}} \quad [m] \quad (11)$$

2.3. Zastosowanie bocznicy oporowej

Redukcja ciśnienia w instalacji podsadzkowej przez zastosowanie bocznicy oporowej polega na zwiększeniu długości, a tym samym oporu hydraulicznego ciągu pionowego instalacji i spadku ciśnienia na jego końcu. Bocznica oporowa jest to ciąg rur o określonej długości i średnicy, wynikających z wielkości redukowanego ciśnienia, wpięty w ciąg pionowy na takiej głębokości, aby ciśnienie rozporządzalne wystarczało do pokonania oporów przepływu w odcinku pionowym i bocznicy [1]. Najczęściej bocznice oporową instaluje się na wyższym poziomie wentylacyjnym, układając rurociąg w wyrobiskach przyszybowych, tworząc formę labiryntu, pozwalającego dostosowywać długość bocznicy do aktualnych potrzeb za pomocą łączników i zaworów zamontowanych w bocznicy. W celu zmniejszenia długości bocznicy oporowej, jeśli to możliwe, wykonuje się ją z rur o mniejszej średnicy. Bocznica oporowa podobnie jak zmiana średnicy nie pozwala na redukcję ciśnienia rozporządzalnego. Schemat instalacji z bocznicą oporową przedstawia rys. 1.



Rys. 1. Schemat instalacji podsadzkowej z bocznicą oporową
Fig. 1. Scheme of the backfill pipeline with the resistance siding

Wymaganą długość i głębokość zamontowania bocznicy oporowej można określić ze wzorów:

- ciśnienie maksymalne w instalacji z bocznicą oporową:

$$p_{\max} = H_s \cdot \rho_m \cdot g - I_E' (H_s \cdot a_s + L_b \cdot a_b) \leq p_{\text{dop}}, \quad [\text{Pa}] \quad (12)$$

gdzie:

I_E' - jednostkowe straty energetyczne dla instalacji z boczną oporową, Pa/m,

$$I_E' = \frac{H \cdot \rho_m \cdot g}{L_{\text{ekw}}'}, \quad [\text{Pa/m}] \quad (13)$$

L_{ekw}' - ekwiwalentna długość instalacji z boczną oporową, m,

$$L_{\text{ekw}}' = H_s \cdot a_s + L_b \cdot a_b + L_{\text{pdkw}}', \quad [\text{m}] \quad (14)$$

• długość bocznic oporowej:

$$L_b \geq \frac{H_s \cdot \rho_m \cdot g [L_{\text{pdkw}}' - (H - H_s) \cdot a_s] - p_{\text{dop}} (H_s \cdot a_s + L_{\text{pdkw}}')}{[\rho_m \cdot g (H - H_s) + p_{\text{dop}}] \cdot a_b}, \quad [\text{m}] \quad (15)$$

gdzie:

a_s - współczynnik przeliczeniowy średnic rurociągu szybowego,

a_b - współczynnik przeliczeniowy średnic bocznic oporowej,

L_{pdkw}' - długość ekwiwalentna ciągu poziomego instalacji, m,

• głębokość zamontowania bocznic oporowej:

$$H_b \geq \frac{p_b + I_E' \cdot L_b \cdot a_b}{\rho_m \cdot g - I_E' \cdot a_s}, \quad [\text{m}] \quad (16)$$

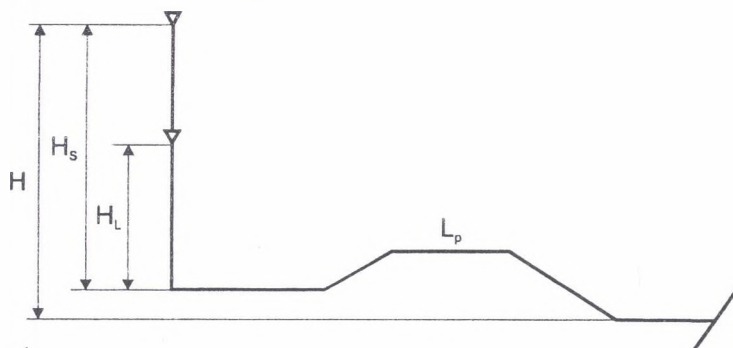
gdzie:

p_b - ciśnienie atmosferyczne, Pa.

2.4. Zastosowanie leja wtórnego lub zbiornika przelewowego

Redukcja ciśnienia w instalacji podsadzkowej przez zastosowanie leja wtórnego lub zbiornika przelewowego polega na zmniejszeniu wysokości rozporządzalnej instalacji, a tym samym na zmniejszeniu ciśnienia maksymalnego i rozporządzalnego. Zastosowanie leja wtórnego bądź zbiornika przelewowego powoduje przerwanie ciągłości przepływu w ciągu pionowym instalacji i ustalenie nowego niższego poziomu mieszaniny w szybie, który decyduje o ciśnieniu i parametrach przepływu mieszaniny w instalacji. Lej wtórny jest rodzajem zbiornika przelewowego, który ze względu na niewielkie wymiary może być montowany bezpośrednio w rurociągu szybowym. W przypadku braku miejsca w szybie stosuje się zbiorniki przelewowe instalowane poza obrębem szybu. Zbiornik przelewowy

posiada zwykle większe gabaryty i większą pojemność niż lej wtórny. Lej wtórny to rura o średnicy 0,4-0,6 m i długości 6-8 m, montowana na określonej głębokości, wynikającej z wielkości redukowanego ciśnienia w rurociągu szybowym. Lej wtórny z reguły wyposażony jest w rurociąg odpowietrzający, który w sytuacjach awaryjnych umożliwia odprowadzenie mieszaniny podsadzkowej na powierzchnię. W leju wtórnym zamontowane są czujniki minimalnego i maksymalnego poziomu mieszaniny, sygnalizujące nieprawidłową pracę instalacji [2, 3]. Dla prawidłowego działania instalacji z lejem wtórnym ilość mieszaniny dozowanej do instalacji nie może być większa od ilości mieszaniny odpływającej z leja bądź zbiornika przelewowego. W celu zapewnienia bezpiecznej pracy instalacji zbiornik przelewowy powinien być wyposażony w zawór bezpieczeństwa, przez który w sytuacjach awaryjnych odprowadza się nadmiar mieszaniny do wcześniej przygotowanego wyrobiska. W instalacji z lejem wtórnym lub zbiornikiem przelewowym wyróżnia się dwie strefy przepływu mieszaniny strefę - trójfazowego przepływu rozciągającą się od podsadzkowni do leja wtórnego, w której obok mieszaniny przepływa powietrze zasysane z atmosfery. W leju wtórnym mieszanina trójfazowa gwałtownie wytraca prędkość, z mieszaniny zostaje oddzielone powietrze, które jest odprowadzane rurociągiem odpowietrzającym, a odpowietrzona dwufazowa mieszanina sływa z leja do instalacji. Strefa dwufazowego przepływu rozciąga się od leja wtórnego bądź zbiornika przelewowego do końca instalacji. Wadą leja wtórnego jest brak możliwości regulacji ciśnienia w instalacji przez zmianę jego położenia w zależności od potrzeb. Zaletą natomiast jest równoczesna redukcja ciśnienia maksymalnego i rozporządalnego. Schemat instalacji z lejem wtórnym i zbiornikiem przelewowym przedstawiono na rys.2.



Rys. 2. Schemat instalacji podsadzkowej z lejem wtórnym

Fig. 2. Scheme of the backfill pipeline with the secondary funnel

Głębokość zamontowania leja wtórnego lub zbiornika przelewowego wymaganą dla zredukowania ciśnienia w instalacji do ciśnienia dopuszczalnego wyznacza się ze wzorów: ciśnienie maksymalne w instalacji po redukcji:

$$p_{\max} = H_s (\rho_m \cdot g - I_E^* \cdot a_s) \leq p_{\text{dop}}, \quad [\text{Pa}] \quad (17)$$

gdzie:

I_E^* - jednostkowe straty energetyczne dla instalacji z lejem wtórnym lub zbiornikiem przelewowym, Pa/m,

$$I_E^* = \frac{[H_1 + (H - H_s)] \cdot \rho_m \cdot g}{L_{\text{ekw}}}, \quad [\text{Pa/m}] \quad (18)$$

L_{ekw} - długość ekwiwalentna instalacji podsadzkowej z lejem wtórnym, m,

$$L_{\text{ekw}}^* = H_1 \cdot a_s + L_{p_{\text{ekw}}}, \quad [\text{m}] \quad (19)$$

głębokość zamontowania leja wtórnego lub zbiornika przelewowego:

$$H_1 \leq \frac{p_{\text{dop}} \cdot L_{p_{\text{ekw}}}}{L_{p_{\text{ekw}}} \cdot \rho_m \cdot g - (H - H_s) \rho_m \cdot g \cdot a_s - p_{\text{dop}} \cdot a_s} \quad [\text{m}] \quad (20)$$

2.5. Zastosowanie zwęzek lub kryz

Redukcja ciśnienia w instalacji podsadzkowej za pomocą zwęzek i kryz polega na lokalnym zwiększeniu oporów przepływu przez nagłe zmniejszenie przekroju rurociągu szybowego. Ilość i stopień przewężenia zwęzek lub kryz zależy od wielkości redukowanego ciśnienia oraz uziarnienia materiału podsadzkowego. Zwęzki wykonuje się jako wkładki ceramiczne lub metalowe o określonym stosunku przekroju wlotowego i wylotowego, montowane w rurociągu szybowym. Stosowanie zwęzek o znacznym przewężeniu może powodować występowanie podciśnienia za zwężką i towarzyszącego mu zjawiska kawitacji, które jest przyczyną szybkiego zużywania rurociągu. Metoda ta nadaje się jedynie dla mieszanin drobnoziarnistych, a ponadto nie pozwala na redukcję ciśnienia rozporządzalnego. Wymaganą liczbę zwęzek lub kryz w instalacji w celu zredukowania ciśnienia do ciśnienia dopuszczalnego określa się ze wzorów:

- ciśnienie maksymalne w instalacji po redukcji:

$$p_{\max} = H_s (\rho_m \cdot g - I_E^* \cdot a_s) - I_E^* \cdot L_{z_2} \leq p_{\text{dop}}, \quad [\text{Pa}] \quad (21)$$

gdzie:

I_E' - jednostkowe straty energetyczne dla instalacji ze zwężkami lub kryzami Pa/m,

$$I_E' = \frac{H \cdot \rho_m \cdot g}{L_{ekw} + L_{z_s}}, \quad [\text{Pa/m}] \quad (22)$$

• długość zastępcza zwężek lub kryz:

$$L_{z_s} \geq \frac{(H_s \cdot \rho_m \cdot g - p_{dop}) \cdot L_{ekw} - H \cdot H_s \cdot a_s \cdot \rho_m \cdot g}{(H - H_s) \cdot \rho_m \cdot g + p_{dop}}, \quad [\text{m}] \quad (23)$$

• ilość zwężek lub kryz:

$$n = \frac{L_{z_s}}{l_{z_s}}, \quad (24)$$

gdzie:

l_{z_s} - zastępcza długość zwężki lub kryzy, m.

3. Podsumowanie

Przedstawione metody redukcji ciśnienia w instalacjach podsadzkowych oraz sposoby ich obliczania umożliwiają regulację ciśnienia w zależności od wymagań hydraulicznego transportu i zmieniających się układów przestrzennych instalacji. Spośród zaprezentowanych metod jedynie zmniejszenie gęstości mieszaniny i zastosowanie leja wtórnego pozwalają na równoczesną redukcję ciśnienia rozporządzalnego i maksymalnego w instalacji. Najbardziej efektywną metodą redukcji ciśnienia maksymalnego jest natomiast zastosowanie bocznic oporowej, której długość można regulować w zależności od aktualnych potrzeb.

LITERATURA

1. Adamek R.: Podsadzanie wyrobisk górniczych. „Śląsk”, Katowice 1980.
2. Adamek R., Łojas J.: Eksploatacja instalacji podsadzkowych głębokich kopalń. Przegląd Górnictwa, nr 6, 1968.
3. Palarski J.: Hydrotransport. PWN, Warszawa 1982.

Abstract

Methods of pressure reduction in backfill pipelines and ways of their solution showed in this paper allow regulating the pressure in dependence of hydraulic transport requirements and changed space configuration of pipelines. From among presented methods only decrease of slurry density and application of a secondary funnel allows the reduction of a disposable and maximum pressure in the pipeline. The most effective method of maximum pressure reduction is applying of the resistance siding which length can be regulating in dependence of current needs.