

Jan PALARSKI

Instytut Techniki Eksploatacji Złóż
Politechniki Śląskiej

HYDRAULICZNY TRANSPORT MATERIAŁÓW PODSADZKOWYCH DO WYROBISK GÓRNICZYCH

Streszczenie: W pracy podano charakterystykę podsadzki hydraulicznej z odpadów gruboziarnistych, szlamów, popiołów lotnych i piasku. Przedstawiono zasadę pracy instalacji, występujące problemy przy podsadzaniu odpadami i omówiono sposoby wytwarzania mieszaniny. Podano zależności matematyczne pozwalające projektować parametry przepływu hydraulicznego transportu skruszonych skał płonnych, popiołów lotnych i szlamów.

1. Wstęp

Polskie górnictwo węglowe i rudne stosuje do wypełniania wyrobisk w przeważającej większości podsadzkę hydrauliczną. W ostatnich latach górnictwo węglowe wydobywa od 30 do 35 mln ton/rok węgla ze ścian podsadzkowych. W najbliższych czterech latach prognozuje się utrzymanie wydobycia ze ścian podsadzkowych na tym samym poziomie, względnie nieznaczny jego wzrost. Dotychczas wykonywano podsadzkę hydrauliczną stosując jako materiał podsadzkowy piasek. W ostatnich latach coraz częściej podejmuje się próby dodawania lub nawet zastępowania piasku skruszonymi skałami płonnymi, odpadami flotacji różnego rodzaju szlamami i popiołami lotnymi. Zagospodarowanie odpadów na dole przyczynia się do zmniejszenia zanieczyszczenia naturalnego środowiska, a równocześnie zminimalizowania deformacji górotworu i powierzchni. Ponadto dodawanie do mieszaniny podsadzkowej popiołów lotnych pozwala na chemiczne związanie części wody podsadzkowej, co wyraźnie poprawia gospodarkę wodną na dole kopalni. Zastosowanie nowych materiałów podsadzkowych stworzyło potrzebę modyfikacji procesu wytwarzania mieszaniny podsadzkowej, a także techniki wykonywania podsadzki w wyrobisku

2. Charakterystyka podsadzania hydraulicznego.

Dotychczas w górnictwie stosowano podsadzkę hydrauliczną z piasku. Instalacje do takiej podsadzki były wyposażone w zbiorniki na piasek typu skarpowego, stacje pomp z monitorami, zespół urządzeń zmywczych łącznie z komorą i lejem podsadzkowym oraz w ciąg rur rozprowadzonych w wyrobiskach. Hydrauliczny grawitacyjny transport materiału podsadzkowego pozwala na jego dotransportowanie do wyrobiska, w którym materiał po osadzeniu stanowi podporę stropu zaś woda odprowadzana jest do osadników polowych, a następnie spływa do osadników głównych przy szybie, stąd pompowana jest

na powierzchnię. Cechą charakterystyczną tego typu podsadzania jest prostota zarówno wytwarzania mieszaniny podsadzkowej, jak i sam transport do wyrobiska.

Do wad podsadzki hydraulicznej z piasku należy zaliczyć:

- potrzebę uzyskiwania materiału podsadzkowego w odkrywkowych kopalniach piasku,
- wysokie koszty transportu z odkrywki do miejsca przeznaczenia,
- duża pracochłonność w ścianie związana z tamowaniem wyrobiska i samym procesem jego wypełniania,
- wysokie koszty związane z klarowaniem wody podsadzkowej.

Z tych też powodów stosowanie piasku, jako materiału podsadzkowego należy uznać już za rozwiązanie przestarzałe. W związku z tym, że w kopalni istnieje różnica wysokości pomiędzy punktem wytwarzania mieszaniny podsadzkowej, a punktem jej odbioru do transportu hydraulicznego w zdecydowanej większości nie stosuje się pomp, a przepływ ma charakter samoregulującego się przepływu grawitacyjnego. Instalacja może mieć za małą rozporządzalną wysokość w stosunku do długości drogi transportowej i w tym przypadku prędkość przepływu w instalacji może być zbyt mała aby zapobiec osadzeniu materiału na dnie rurociągu. Instalacja może też charakteryzować się dużą rozporządzalną wysokością i stosunkowo krótką drogą dostawy i wtedy przepływ w rurociągu odbywa się z prędkością przekraczającą prędkość dopuszczalną z punktu widzenia ścieralności, natomiast ciśnienie w rurociągu przyjmuje wartość większą od dopuszczalnej /p > 10 MPa/. Ta ostatnia instalacja nazywa się instalacją głęboką.

W pierwszym przypadku istnieje konieczność zastosowania pompy dla zagwarantowania przepływu, natomiast w drugim należy dokonać redukcji ciśnienia w instalacji poprzez wykonanie, tzw. leja wtórnego względnie bocznicę oporowej. Przy mniejszej głębokości instalacji można dokonać częściowej redukcji ciśnienia poprzez zmniejszenie średnicy rurociągu w ciągu pionowym.

Hydraulicznie w instalacjach podsadzkowych transportuje się poza piaskiem:

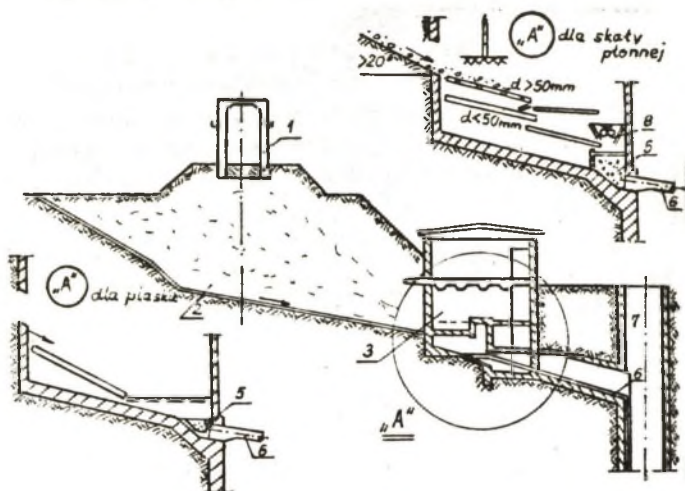
- skruszone skały płonne,
- popioły lotne,
- mieszaniny tych materiałów.

W praktyce można spotkać także instalacje, którymi transportuje się utwardzoną podsadzkę do wyrobisk górniczych. Transport ten może odbywać się grawitacyjnie względnie w sposób kombinowany tzn. częściowo grawitacyjnie, częściowo może to być transport pompowy.

3. Grawitacyjny hydrotransport skał płonnych

Instalacje, w których transportuje się grawitacyjnie skruszone skały płonne do wyrobiska nie różnią się w zasadniczy sposób od instalacji do transportu piasku. Jeśli materiał podsadzkowy magazynowany jest w zbiorniku typu skarpowego, to zbiornik taki wymaga częściowego przekonstruowania w celu uzyskania większych spadków skarpy oraz w celu uzyskania

miejsca dla przesiewania materiału i wytworzenia mieszaniny o określonym zagęszczeniu, rys.1.



Rys.1. Schemat podszkowni ze zbiornikiem skarpowym
 a/ wariant dla przypadku stosowania piasku b/ wariant dla przypadku stosowania skał płonnych
 1- most rozładawczy, 2- zbiornik, 3- stacja monitorów, 4- sita, 5- lej, 6- rurociąg, 7- szyb, 8- kruszarka

Gdy natomiast kopalnia dysponuje zbiornikiem typu szybowego lub komorowego, to zbiorniki te posiadają zazwyczaj dwa przedziały, jeden na piasek drugi na skruszone skały płonne. Wytwarzanie mieszaniny podszkownej odbywa się w sposób podobny jak mieszaniny z piasku. Grawitacyjny transport skruszonych skał płonnych musi być realizowany przy znacznie większych prędkościach /rzędu $x 2/$ jak transport piasku. Dotychczas do podszkowni stosuje się skruszone skały płonne o max uziarnieniu cząstek stałych nie przekraczającym 50 mm. Materiał ten nie może zawierać więcej niż 20% frakcji poniżej 0,1 mm, gdyż cząstki te są wynoszone z wodą podszkowną z wyrobiska i przyczyniają się do zanieczyszczania osadników, znacznych utrudnień w tamowaniu i gospodarce wodno-szlamowej kopalni. Dotychczas w kopalniach węgla kamiennego stosuje się do podszkowni hydraulicznej skruszone skały płonne dodając je do mieszaniny podszkownej uzyskanej z piasku w ilości od 5 do 50% lub wykonuje się podszkownię tylko kamieniem. To ostatnie rozwiązanie praktykuje się w przypadkach, gdy podszkowne wyrobiska zlokalizowane są w niewielkiej odległości od szybu i na znacznych głębokościach. Wtedy mieszanina przepływa z prędkością większą od $1,3 V_{kr}$. Jak wykazały doświadczenia przy takiej prędkości przepływu względna prędkość faz, tzn. cząstek stałych i wody ma wartość stałą w różnych punktach instalacji. Stwierdzenie to pozwala przyjąć

do przybliżonych obliczeń, że mieszanina cząstek stałych i wody może być uważana za jednorodną ciecz o pewnej stałej, tzw. kinetycznej gęstości. Założenie to stanowi podstawę do prowadzenia obliczeń w podobny sposób jak to czyni się dla mieszaniny uzyskanej z piasku. Korzystając ze zmodyfikowanego równania Bernoulliego, w którym w miejsce gęstości cieczy wprowadzono, tzw. kinetyczną gęstość oraz empirycznego równania na określenie jednostkowych strat energetycznych przepływu mieszaniny można wyznaczyć średnią prędkość wypływu mieszaniny z rurociągu. Znając tą prędkość oraz koncentrację transportowaną mieszaniny można określić wydajność instalacji podsadzkowej

$$v_{od} = \left[\frac{2g}{\lambda_N D_{od}^5 \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{D_i^5}} \left[H \frac{\gamma_m}{\gamma_N} - \mu_R \frac{\gamma_m - \gamma_N}{\gamma_N} \sum_{i=1}^n l_i \cos^2 \alpha_i \right] \right]^{\frac{1}{2}} \quad /1/$$

$$Q_k = A_{od} \cdot v_{od} \cdot C_T \quad /2/$$

$$v_i = v_{od} \frac{D_{od}^2}{D_i^2} \quad /3/$$

$$\mu_R = 0,38$$

Wyznaczona z równania /1/ prędkość przepływu mieszaniny podsadzkowej musi dla odcinka rurociągu o D_{max} spełniać warunek:

$$v \gg 1,3 v_{kr}$$

W przypadku uzyskania prędkości mniejszej od określonej tym warunkiem, należy dokonać zmiany średnicy rurociągu i powtórzyć obliczenia, względnie dokonać zmiany koncentracji transportowanej mieszaniny.

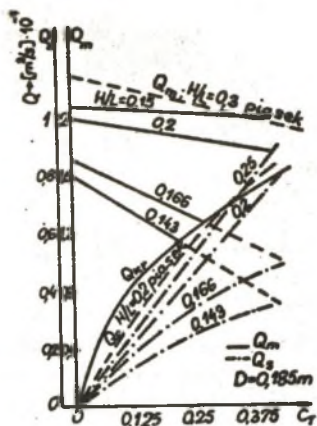
Projektując instalację podsadzkową należy nie tylko określić wydajność, ale także przeanalizować rozkład ciśnienia w całym rurociągu. W związku z tym należy wyznaczyć ciśnienie we wszystkich węzłach instalacji. Ciśnienie to można obliczyć ze wzoru

$$p(P) = (H - H_P) \gamma_m - \left[\lambda_N \frac{v_{od}^2 D_{od}^4 \gamma_N}{2g} \sum_{i=1}^l \frac{l_i}{D_i^5} + \mu_R (\gamma_m - \gamma_N) \sum_{i=1}^l l_i \cos^2 \alpha_i \right] \quad /4/$$

Jeżeli w określonych punktach instalacji ciśnienie spadnie poniżej prężności pary nasyconej, wtedy następuje parowanie cieczy i wydzielanie gazu z cieczy co prowadzi do przerwania ciągłości strugi. Efektem takich zjawisk są niestabilny przepływ, a nawet zatkania rurociągu i uderzenia hydrauliczne.

Na rys.2. przedstawiono zależność wydajności podsadzania skruszonymi skałami płonymi $d < 40$ mm od stosunku długości do głębokości instalacji dla różnej koncentracji mieszaniny. Z wykresu tego wynika jednoznacznie, że wraz ze wzrostem długości instalacji wydajność gwałtownie spada, natomiast zwiększenie koncentracji prowadzi do zwiększenia wydajności, ale tylko w pewnym przedziale.

Dla porównania wydajności instalacji, w których transportowane są skały płonne lub płasek zaznaczono na wykresie krzywą wydajności dla piasku.



Rys.2. Wydajność podsadzania skałą płoną jako funkcja koncentracji mieszaniny i długości rurociągu,

Z rysunku tego wynika, że wydajność podsadzania piaskiem jest o około 15 - 20% większa od wydajności przy podsadzaniu skruszonymi skałami płonymi. To zmniejszenie wydajności podsadzania w przypadku wykonywania podsadzki na dużych głębokościach nie ma praktycznego znaczenia, gdyż wydajności instalacji są tak duże, iż nie mają one istotnego wpływu na ciągłość procesu urabiania węgla w ścianie. Transport grawitacyjny skruszonych skał płonnych odbywa się jednak w większości instalacji przy mniejszych zagęszczeniach, jak transport piasku. W praktyce oznacza to, że dla wykonania 1 m^3 podsadzki trzeba zużyć większą ilość wody, która następnie musi zostać oczyszczona i wypompowana na powierzchnię. Dokonując porównania grawitacyjnego transportu skruszonych skał płonnych i piasku należy także zaznaczyć, że transportując rurociągami skruszone skały płonne ścieralność rur jest od 3 do 5 razy wyższa jak przy transporcie piasku. Ta zwiększona ścieralność rurociągów jest efektem wykorzystywania do podsadzki skruszonych skał płonnych, które zawierają duże ilości piaskowca.

Dotychczasowe doświadczenia zastosowania materiałów podsadzkowych w postaci skruszonych skał płonnych z hałd a dostarczanych przez Haldex lub z zakładów przerobczych potwierdziły, że w większości przypadków materiały te mogą stanowić równoważny piaskowi materiał podsadzkowy. Ze względu na ich ogólną dostępność, a równocześnie uciążliwość dla naturalnego środowiska, zagospodarowanie tego typu odpadów pod ziemią jest w pełni uzasadnione i przyczynia się do obniżenia kosztów podsadzki.

4. Hydrotransport drobnofrakcyjnych materiałów podsadzkowych.

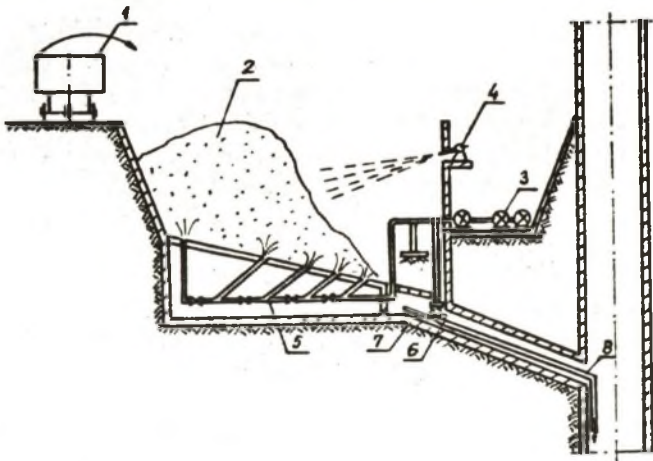
Drobnofrakcyjne materiały podsadzkowe takie jak: szlamy z osadników, względnie odpady poflotacyjne i popioły lotne były stosowane dotychczas

tylko sporadycznie w procesie likwidacji wyrobisk, a w przeważającej większości stosowano je do wypełniania starych zrobów pozawałowych. Aktualnie w górnictwie węglowym i rudnym hydraulicznie transportuje się te odpady do:

1. wykonywania pasów podsadzkowych,
2. wykonywania podsadzki,
3. uszczelniania zawału,
4. wytwarzania sztucznego stropu,
5. sterowania ruchami górotworu przez wtlaczanie pod ciśnieniem materiałów drobnofrakcyjnych w skały nad prowadzoną eksploatacją.

Przepływ w stosowanych do tego celu instalacjach ma charakter przepływu grawitacyjnego lub wymuszonego. Zastosowanie popiołów lotnych wymaga dodatkowych urządzeń do ich zwilżania i wytwarzania mieszaniny podsadzkowej.

W latach sześćdziesiątych podjęto pierwsze próby wykonywania pasów podsadzkowych czy pasów izolacyjnych z popiołów lotnych. Prace te prowadzono w pobliżu szybu w związku z tym jako instalacje do transportu stosowano tradycyjne instalacje podsadzki hydraulicznej. Popiół dowożono w wagonach i składowano w specjalnym zbiorniku lub, tzw. wannie. Materiał ten ze zbiornika był wymywany za pomocą monitorów po wstępnym silnym zroszeniu wodą. W celu lepszego wymieszania popiołu lotnego z wodą oraz uzyskania efektu poślizgu wykonano w dnie zbiornika otwory do których doprowadzona została woda. Mieszanina grawitacyjnie przemieszczała się w kierunku sit, a następnie leja podsadzkowego, rys.3.



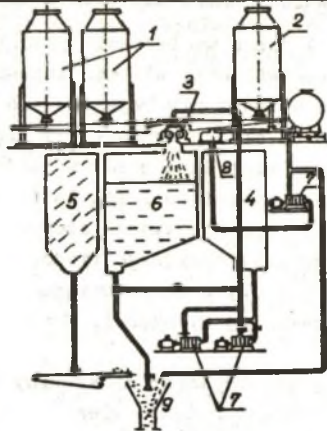
Rys.3. Schemat zbiornika do magazynowania popiołów lotnych i wytwarzania w nim mieszanki

- 1- wagon dostawczy, 2- zbiornik popiołu lotnego, 3- stacja pomp,
- 4- monitory urabiające i zraszające, 5- rurociągi wodne, 6- leja zmywaczy, 7- sita, 8- rurociąg szybowy.

Taka technika gwarantowała dobre wymieszanie popiołu lotnego z wodą pod warunkiem, że był wstępnie zwilżony, ale nie zapewniała stałej koncentracji mieszaniny. W punkcie wytwarzania rejestrowano duże zapylenie powietrza i często do leja lub na sita przedostawały się zbrylone partie popiołu. Przy wykonywaniu tam względnie pasów podsadzkowych tą techniką stosowano zagęszczenie na 2 części popiołów lotnych, 1 część wody. Wykonywanie pasów podsadzkowych tam nie wymaga stosowania dużych wydajności, w związku z tym instalacje grawitacyjnego transportu pracowały przy, tzw. niepełnym zasileniu, tzn. pionowy ciąg rurociągu nie był w pełni zapełniony mieszaniną a tylko do określonej wysokości. Wydajność wahała się w przedziale od 6 do 8 m³/h.

Istniejące trudności z wytwarzaniem mieszaniny podsadzkowej udało się pokonać konstruując specjalnego rodzaju mieszalniki. Opracowano także konstrukcje, które pozwalają z odpowiednią dokładnością wymieszać 1 do 3 części suchych popiołów lotnych z 1 częścią wody. Taką zawieszynę można transportować grawitacyjnie lub za pomocą pomp bezpośrednio do miejsca przeznaczenia. Ze względu na to, że popioły lotne mają możliwość wiązania części wody, mieszanina w miejscu lokowania po okresie 1 - 3 dni ulega całkowitemu stwardnieniu. Ich wytrzymałość na ściskanie w zależności od własności popiołów i koncentracji może dochodzić nawet do ok. 1 MPa. Końcowa wytrzymałość popiołów lotnych mieszanych z wodą po okresie twardnienia 28 dni waha się w przedziale od 1,5 do 2,8 MPa. Ścisłość takiego materiału przy ciśnieniu 15 MPa wynosi od 7 do 18%. Natomiast współczynnik filtracji przyjmuje wartość z przedziału $8 \cdot 10^{-7}$ do $1,5 \cdot 10^{-6}$ cm/s. Przy wykonywaniu pasów podsadzkowych z popiołów lotnych często dodaje się materiałów wiążących takich jak wapno, gips czy nawet cement. Natomiast w przypadku wytwarzania pasów anhydrytowych popiołów nie powinno być więcej jak 10% w mieszaninie.

Popiół lotny może być także stosowany do wykonywania podsadzki po wymieszaniu z odpadami flotacyjnymi. Wtedy proces wytwarzania mieszaniny, prowadzony jest w sposób przedstawiony na rys.4. Odpady flotacji pochodzące z zakładu przerobczego o koncentracji ca. 500 g/l dowożone są do podsadzki w wagonach cysternach. Natomiast popiół lotny dostarczany jest specjalnymi wagonami dostosowanymi do rozładunku pneumatycznego. Przy wytwarzaniu mieszaniny istnieje także możliwość dodawania nieznacznych ilości cementu do 2 %. W związku z tym podsadzki została wyposażona w zbiornik cementu. Popiół lotny podawany jest z wagonów do zbiorników, a następnie podajnikiem do mieszalnika. Do mieszalnika są pompowane także odpady flotacji. Po wymieszaniu i dodaniu ewentualnie cementu zawieszina spływa do zbiornika, a następnie grawitacyjnie w kierunku leja podsadzkowego do którego mogą być jeszcze dodawane odpady flotacji względnie drobnoziarniste skruszone skały płonne. Jeżeli zawieszina ma służyć jako podsadzka, wtedy stosunek odpadów flotacji do popiołu lotnego przyjmuje się jako 1 : 1, natomiast jeżeli służy ona jako materiał do doszczelniania zrobów wtedy stosunek ten jest równy 2 : 1. To rozrzedzenie mieszaniny jest niezbędne dla poprawienia własności penetracyjnych w zrobach.



Rys.4. Schemat wytwarzania mieszanki podsadzkowej z popiołów lotnych i odpadów flotacyjnych w KWK Jastrzębie
 1- zbiorniki pyłu, 2- zbiornik cementu, 3- mieszalnik,
 4- zbiornik odpadów flotacji, 5- zbiornik kamienia, 6- zbiornik mieszanki, 7- pompy, 8- mieszalnik cementu, 9- lej podsadzkowy

Lokalnie przy stosowaniu popiołów lotnych, jako dodatku do podsadzki względnie przy wytwarzaniu zawieszin dla izolacji zrobów lub izolacji pewnych partii niewyeksplotowanych pokładów, można wytwarzać mieszankę w tradycyjnych zbiornikach podsadzkowych spłukując ją monitorami. Wiąże się to jednak z dużym zapyleniem i nierównomiernością dostawy mieszanki do instalacji.

W przypadku stosowania wszelkiego rodzaju szlamów lub odpadów drobnofrakcyjnych do wtłaczania ich w górotwór podaje się je bezpośrednio z osadników pompami w kierunku leja zmywczego względnie otworu wtłaczającego. Posiadają one bardzo różne zagęszczenie zależne od pochodzenia.

5. Wyznaczenie parametrów hydrotransportu materiałów drobnofrakcyjnych w instalacjach grawitacyjnych.

Podobnie jak przy transporcie materiałów gruboziarnistych w instalacjach grawitacyjnych muszą zostać i w tym przypadku dochowane określone warunki, a mianowicie:

- prędkość przepływu nie może być mniejsza od prędkości sedymentacji cząstek w rurociągu,
- ciśnienie w rurociągu nie może przekraczać wartości dopuszczalnej na rozrywanie rur, ani też nie może spadać poniżej prężności pary nasyconej.

Przy stosowaniu do wytwarzania mieszanin popiołów lotnych i składowania w zbiornikach należy także pamiętać, że popioły te wiążą chemicznie wodę i po pewnym czasie mieszanina traci własności płynne. Stąd też jako trzeci warunek należy uwzględnić maksymalną dopuszczalną koncentrację cząstek stałych w mieszaninie w zależności od czasu składowania względnie

postoju w wypełnionym rurociągu. Rozkład ciśnienia w instalacji można wyznaczyć korzystając ze zmodyfikowanego równania Bernoulliego, przy czym jednostkowe straty energetyczne przepływu opisuje uproszczona zależność:

$$\Delta p = \lambda_m \frac{v_m^2}{2D} S_m \quad /5/$$

lub:

$$\Delta p = \lambda_n \frac{v_m^2}{2D} S_n (1 - C_T) + \lambda_z^* S_s \frac{v_m^2}{2D} C_{Tn} + \mu_R (S_s - S_n) C_{Tn} \quad /6/$$

Jak wynika z wzoru /6/ straty ciśnienia podczas transportu hydraulicznego są sumą strat na przemieszczanie wody, strat na tarcie o ścianki rurociągu i strat na przesuwanie cząstek grubszych po dnie rurociągu. W równaniu tym występują μ_R , λ_z^* , których wartość należy określić empirycznie względnie obliczyć z odpowiednich wzorów.

Dla szacunkowych obliczeń można przyjąć, że współczynnik λ^* jest równy od 0,015 dla bardzo małych koncentracji rzędu 5% do ok. 0,011 dla koncentracji transportowej rzędu 50%. Współczynnik tarcia materiału o ściankę rurociągu μ_R przyjmuje wartość dla małej koncentracji 0,15, a dla koncentracji równej 50% około 0,33. Cząstki o uziarnieniu $< 150 \mu m$ mogą stanowić wraz z wodą tzw. ciecz nośną o podwyższonej gęstości i lepkości. Gęstość takiej cieczy można wyznaczyć z zależności:

$$S_n = \frac{C_T (C_{Tn} S_s - S_n) + S_n}{1 - C_T (1 - C_{Tn})}$$

natomiast lepkość z uproszczonego wzoru:

$$v'_n = v_n / (1 - 1,54 C_T \cdot C_{Tn})$$

Zależności te są niezbędne do wyznaczenia λ_n i Re.

Wstawiając wzór /6/ do zmodyfikowanego równania Bernoulliego można określić prędkość przepływu mieszaniny w rurociągu i wyznaczyć objętościowe natężenie przepływu:

$$Q_m = 3600 \frac{\pi D^2}{4} \left\{ \frac{H [C_T (S_s - S_n) + S_n] - \mu_R (S_s - S_n) C_T (L - H)}{\frac{L}{2Dg} [\lambda_z^* S_s C_{Tn} + \lambda_n S_n (1 - C_T)]} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad /7/$$

W przypadku wykonywania z materiałów drobnofrakcyjnych podsadzki niezbędna jest znajomość ilości m^3 podsadzki uzyskiwanej w jednostce czasu z dotransportowanej do wyrobiska mieszaniny. Tę wydajność instalacji można określić ze wzoru:

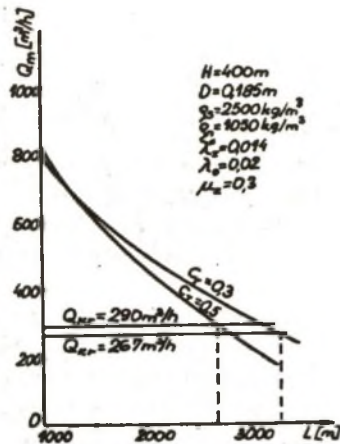
$$Q_s = \psi \cdot Q_m$$

gdzie:

$$\psi = 1,20 \div 1,45$$

Analizując szczegółowo zależność objętościowego natężenia przepływu mieszaniny od długości rurociągu, głębokości instalacji i koncentracji można

zauważyć, rys.5., że wraz ze wzrostem długości instalacji wydajność gwałtownie spada, natomiast ze wzrostem koncentracji obserwuje się przyrost wydajności podsadzki.



Rys.5. Zależność wydajności hydraulicznego transportu popiołów lotnych od koncentracji mieszaniny i długości instalacji.

Na wykresie tym zaznaczono także minimalne dopuszczalne objętościowe natężenie przepływu mieszaniny, tzn. takie poniżej którego następuje już sedymentacja w rurociągu. Z wykresu tego wynika, że transportując instalacjami grawitacyjnymi drobnofrakcyjne cząstki czy to do wykonywania podsadzki, czy to do wypełnienia starych zrobów lub wykonywania pasów podsadzkowych należy pamiętać, że każda instalacja ma określony zasięg powyżej którego może już nastąpić zatkanie rurociągu. Zasięg podsadzania określają punkty przecięcia krzywych objętościowych natężeń przepływu w instalacji o danej głębokości przy danej koncentracji mieszaniny z krzywą minimalnego dopuszczalnego objętościowego natężenia przepływu.

6. Wnioski

1. Analiza parametrów hydraulicznego transportu materiałów podsadzkowych z odpadów oraz własności fizyko-mechaniczne takiej podsadzki wskazują, że mogą one stanowić równoważny, a w niektórych przypadkach lepszy materiał podsadzkowy niż piasek.
2. Wydajność hydraulicznego transportu skał płonnych stosowanych w podsadce jest niższa od wydajności instalacji, w których transportowany jest piasek o średnio 20%. Skały płonne ze względu na stosowane uziarnienie i ich ciężar osadzają się na dnie rurociągu przy znacznie większych prędkościach niż materiały drobnofrakcyjne. Może to być przyczyną częstszych zatknię instalacji. Stąd też w praktyce należy dążyć do stosowania takiego zagęszczenia mieszaniny i tak dobierać średnicę rur, aby uzyskać prędkość w tych instalacjach większą od $1,3 V_{kr}$.

3. Z punktu widzenia hydrotransportu zastosowanie odpadów drobnofrakcyjnych jako materiału podsadzkowego jest w pełni uzasadnione. Lokowanie ich w starych zrobach pozwoli zlikwidować ten uciążliwy rodzaj odpadów na powierzchni i przyczyni się do zmniejszenia deformacji górotworu, zmiany stanu naprężeń i izolacji zrobów od resztek pokładów bądź nie wybranych partii.
4. Podane w referacie zależności matematyczne pozwalają wyznaczyć zarówno wydajność podsadzania materiałem drobnofrakcyjnym, jak również zasięg tego podsadzania. Zależności te zostały zweryfikowane z rezultatami uzyskiwanymi dotychczas w praktyce.

Spis oznaczeń:

- A - przekrój rurociągu, m^2
 C_T - koncentracja transportowa, -
 d - średnica cząstek, m
 D - średnica rurociągu, m
 H - głębokość instalacji, m
 H_p - współrzędna wysokości punktu P, m
 l - długość odcinka instalacji, m
 L - całkowita długość instalacji, m
 p - ciśnienie, Pa
 Q - objętościowe natężenie przepływu, $m^3 \cdot h^{-1}$
 v - prędkość, $m \cdot s^{-1}$
 α - kąt nachylenia odcinka instalacji, deg
 γ - ciężar właściwy $N \cdot m^{-3}$
 λ - współczynnik oporu, -
 λ_z^* - zastępczy współczynnik oporu uderzeniowego cząstek, -
 μ_R - współczynnik tarcia, -
 ν - lepkość
 ψ - współczynnik szczelności wypełnienia, -
 ρ - gęstość, $kg \cdot m^{-3}$
 Re - liczba Reynoldsa, -

Indeksy:

- i - numer kolejnego odcinka
 l - liczba odcinków instalacji od leja do rozpatrywanego punktu P
 m - mieszanina
 n - zawiesina nośna
 s - cząstka stała
 u - cząstki trące po dnie rurociągu
 w - woda
 od - odniesienie

Recenzent: Prof. dr. hab. inż. Adam KLICH

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ ТРАНСПОРТ ЗАКЛАДОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Р е з ю м е

В работе представлена характеристика гидравлической закладки из крупнозернистых отходов, шлама, летучих зол и песка. Рассматриваются принципы действия установки, проблемы, возникающие при закладке отходами; обсуждаются способы производства смеси. Представляются также математические зависимости позволяющие проектировать параметры гидравлического течения транспорта раздробленной пустой породы, летучих зол и шлама.

HYDRAULIC TRANSPORT OF BACKFILLING MATERIALS TO THE MINE EXCAVATIONS

S u m m a r y

The Hydraulic Transport of Stowage Materials to Mining Excavations. The paper presents characteristics of hydraulic stowage of coarse grain structure waste materials, slime, flyashes and sand. The principle of installation work and problems appearing while filling waste materials have been presented. Methods of manufacturing mixture have been discussed. Mathematical dependencies allowing for designing parameters of hydraulic flow, transport of crushed spoils, fly-ashes and slime have been stated.