

Jan PALARSKI

OCENA SZCZELNOŚCI PODSADZANIA WYROBISK PRZEZ OTWORY WIERTNICZE

Streszczenie. Podsadzanie pustek poeksploatacyjnych materiałami odpadowymi, takimi jak skały płonne lub odpady przerobcze, umożliwia osiągnięcie większego wskaźnika czystości wybrania złoża i zredukowanie wpływów eksploatacji na powierzchnię. W artykule przedstawiono model teoretyczny wyznaczania wskaźnika szczelności podsadzania dla różnych modeli wypełniania pustek. Uzyskane wyniki obrazują wpływ geometrii przodka, rozmieszczenia otworów i współczynnika podsadzenia na wartość wskaźnika szczelności.

SIMULATION OF FILL FACTOR OF STOPS THROUGH BOREHOLES

Summary. Backfilling of mined out sections of the orebody with waste material - rock waste or tailing - might offer the key to increased extraction ratios and control the ground movement. In this paper, an attempt has been made to predict the fill factor for a different fill technologies using theoretical modelling.

It was recognised at this stage of modelling that the fill factor is influenced by fill zone geometry included stope geometry, fill boreholes location and placement ratio.

1. Wstęp

Niezależnie od metody eksploatacji, rodzaju kopaliny i sposobu utrzymywania zrobów górotwór naruszony robotami górniczymi ulega odkształceniom, których końcowa wartość jest pochodną wielu czynników. Ujemne skutki działalności górniczej dają często znać o sobie po bardzo długim okresie czasu.

Pozostałe po zakończeniu wybierania wyrobiska komorowe i korytarzowe, jeżeli nie były podsadzane, stają się źródłem zagrożeń zawałowych prowadzących do znacznych deformacji górotworu i powierzchni. Wtedy podejmowanie prac zabezpieczających jest mało skuteczne, często wręcz niemożliwe, a koszty operacji przekraczają realne wartości. Najmniejsze

deformacje w rejonie wyrobisk wybierkowych uzyskuje się prowadząc na bieżąco, krótkimi odcinkami (małymi krokami podsadzania) szczelne ich wypełnianie materiałem podsadzkowym.

Środki profilaktyczne i prognozy skutków eksploatacji zdają najczęściej egzamin przy rozpatrywaniu zagadnień z punktu widzenia lokalnego, dla krótkiego przedziału czasu.

Obserwując pojawiające się wstrząsy górnicze, wdarcia wody do kopalń, zapadiska powierzchniowe i niespodziewane szkody w obiektach można sformułować stwierdzenie, że dotychczasowe podejście do prognozy skutków działalności górniczej jest obarczone niedociągnięciami prowadzającymi się do:

- rozpatrywania zjawisk „dla danej chwili i danego rejonu”,
- braku prognoz długoterminowych o charakterze globalnym, rozumianych jako powiązanie oddziaływań pomiędzy zaszłą, współczesną i przyszłą eksploatacją, a w szczególności oceniających aktywację zrobów, zmiany w czasie rozkładów naprężeń, przemieszczeń górotworu, ruchy wód głębinowych itd.

Są to zagadnienia często wręcz nie do uchwycenia w obliczeniach, gdyż trudno ocenić przykładowo to, że pewna część górotworu znajdowała się przez długi okres w strefie oddziaływania sił rozciągających, a na skutek późniejszej eksploatacji w strefie sił ściskających, czy odwrotnie. W nowych, czynnych kopalniach przyszłościową prognozą skutków zatopienia pozostawionych wyrobisk i zaciśniętych zrobów po zatrzymaniu działalności wydobywczej nikt się nie zajmuje. Jest to jeden z podstawowych błędów, jakie czyni współczesne górnictwo, nie wykazując troski o przyszłość środowiska, w którym obecnie prowadzi eksploatację. Gwarancją bezpieczeństwa środowiska jest ustawiczna dążność do szczelnego i starannego wypełniania wyrobisk eksploatacyjnych i bieżąca likwidacja zbędnych wyrobisk korytarzowych. Natomiast w rejonach, w których dawno zaprzestano eksploatacji, zroby i pozostawione wyrobiska należy jak najszybciej uszczelnić lub wypełnić materiałem podsadzkowym.

Aby tego typu technologie były opłacalne dla górnictwa, winno się stosować materiały odpadowe, eliminując tak powszechnie używany, drogi surowiec, jakim jest piasek. W ostatnich latach szczególnie mocno odczuwamy ujemne skutki oddziaływania górnictwa na środowisko w postaci zapadisk, wstrząsów, zanieczyszczenia wód oraz uszkodzeń szlaków komunikacyjnych, rurociągów i obiektów. Zjawiska te są o tyle niepokojące, że występują na

terenach byłej i obecnej eksploatacji głębiny różnych surowców, przy równoczesnym drastycznym ograniczeniu ich wydobycia. Uaktywniają się wyrobiska pozornie zlikwidowane, które trudno szczelnie wypełnić z racji niedostępności.

2. Wypełnianie wyrobisk przez otwory wiertnicze

Wyrobiska górnicze, powstałe w wyniku wybrania złoża lub skał otaczających, mogą być, w zależności od ich roli, likwidowane na bieżąco lub po spełnieniu przewidzianej dla nich funkcji przez rabowanie albo podsadzanie po uprzednim otamowaniu. W kopalniach stosujących metody filarów-komorowe i komorowe wyrobiska były i są nadal często pozostawiane aż do ich samoczynnego, częściowego podsadzenia. Obecnie są one coraz częściej wykorzystywane na magazynowanie odpadów uciążliwych dla środowiska, bądź wypełniane skałą płoną albo mieszaniną zawierającą odpady flotacji. Trudności stwarzają także komory powstałe po wylugowaniu, wytopieniu lub chemicznym rozpuszczeniu złoża. Podsadzanie lub doszczelnianie przez otwory wiertnicze komór i wyrobisk korytarzowych, czasem częściowo lub całkowicie zawałonych, zatopionych wodą lub solanką może odbywać się następującymi sposobami (rys. 1):

- wypełnianie pustego wyrobiska suchym materiałem przez jeden lub kilka otworów wiertniczych, czyli stosowanie tzw. wolnego spadku, rys. 1a,
- wypełnianie częściowo zatopionego wyrobiska suchym materiałem, przy zastosowaniu wolnego spadku lub transportu pneumatycznego, rys. 1b,
- tłoczenie mieszaniny ziaren ciał stałych i solanki do komory całkowicie zatopionej solanką, której nadmiar jest odpompowywany z wyrobiska w miarę procesu podsadzania, rys. 1c,
- grawitacyjne lub pompowe wypełnianie pustego wyrobiska mieszaniną z możliwością jego odwadniania, rys. 1d,
- grawitacyjne lub pompowe wypełnianie pustego wyrobiska mieszaniną o własnościach wiążących, rys. 1e,
- grawitacyjne zasypanie suchym materiałem pustego wyrobiska, a następnie dokonanie iniekcji ciśnieniowej uzyskanego rumowiska, rys. 1f,
- ciśnieniowe, rzadziej grawitacyjne, tłoczenie drobnofrakcyjnej mieszaniny z dodatkiem środków wiążących do częściowo lub całkowicie zawałonych komór, gruzowiska skał stropowych lub pustek w górotworze, rys. 1g.

Szczelność podsadzenia wyrobiska jest zależna od jego kształtu i rozmiarów, stanu zapelnienia gruzem ze skał stropowych i ociosowych, zatopienia wodą, rodzaju materiału lub mieszaniny podsadzkowej, a w szczególności od ilości i usytuowania otworów wiertniczych, przez które prowadzi się prace podsadzkowe i iniekcyjne. Poniżej zostaną podane podstawowe zależności pozwalające określić współczynnik szczelności wypełnienia wyrobiska przy stosowaniu metod zasypywania na sucho i hydraulicznego podsadzania grawitacyjnego lub ciśnieniowego materiałem drobnoziarnistym. Równania te dają podstawę do projektowania lokalizacji i liczby otworów wiertniczych oraz doboru własności materiału lub mieszaniny.

3. Ocena szczelności wypełnienia pustki

3.1. Podsadzanie pustek materiałem „na sucho”

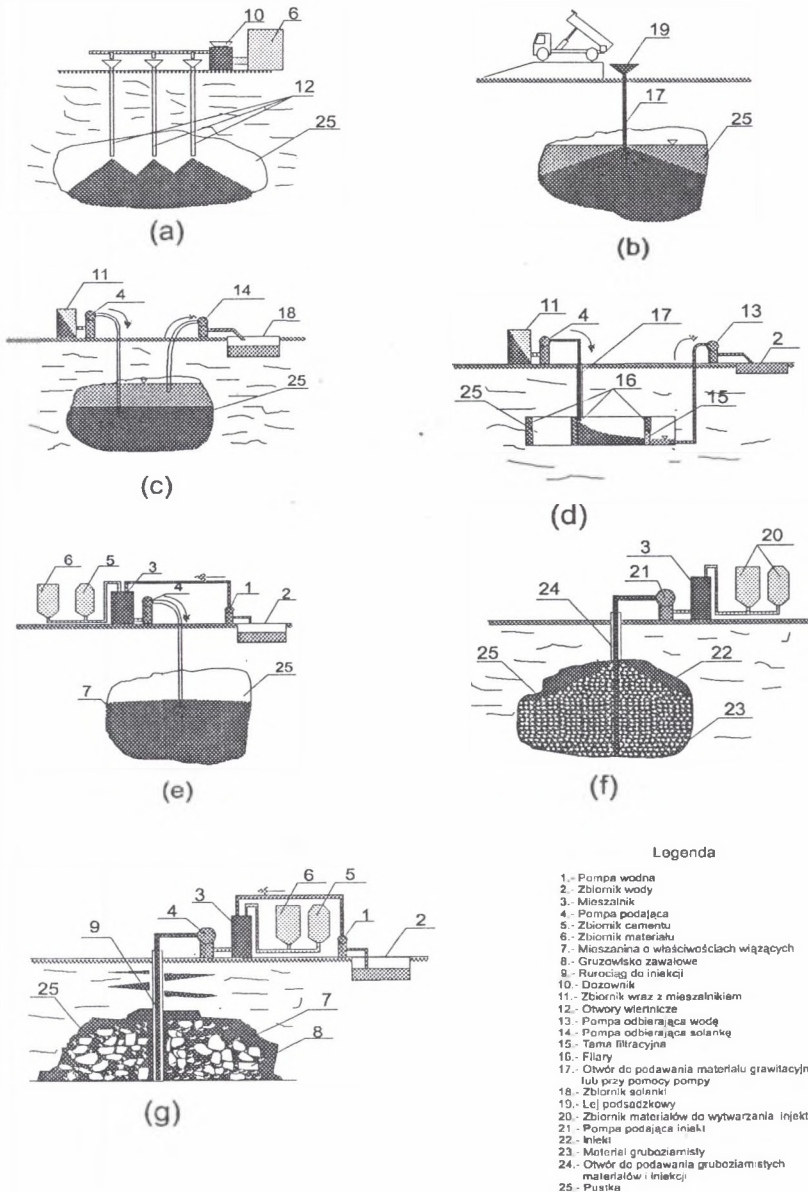
Celem ustalenia liczby otworów wiertniczych i szczelności wypełnienia pustki niezbędna jest znajomość rozkładu (usypywania lub rozplywu) materiału w pustce. Materiał dostarczany do likwidowanej pustki na tzw. wolny spad układa się w wyrobisku tworząc stożki. Wymiary i wykształtowanie się pełnych lub częściowo obciętych stożków zależą od liczby odwierconych otworów, wymiarów pustki oraz uziarnienia, wilgotności i gęstości materiału podsadzkowego. Do dalszych rozważań przyjmijmy, że wyrobisko ma kształt poziomej komory lub chodnika o ścianach ociosowych prostopadłych do stropu i spągu. W zależności od wymiarów komory i lokalizacji otworów możemy mieć do czynienia z przypadkami przedstawionymi na rys. 2. W przypadku jednego otworu wiertniczego stożek materiału może być ulokowany w komorze bez dotykania ociosów lub być obcięty przez od jednej do czterech ścian ociosowych z zachodzeniem lub nie obcięć na siebie. W sytuacji gdy do pustki odwiercono kilka otworów wiertniczych, stożki materiału mogą zachodzić na siebie i być obcinane przez ściany ociosowe.

Objętość pełnego stożka materiału podsadzkowego wyznacza się z zależności:

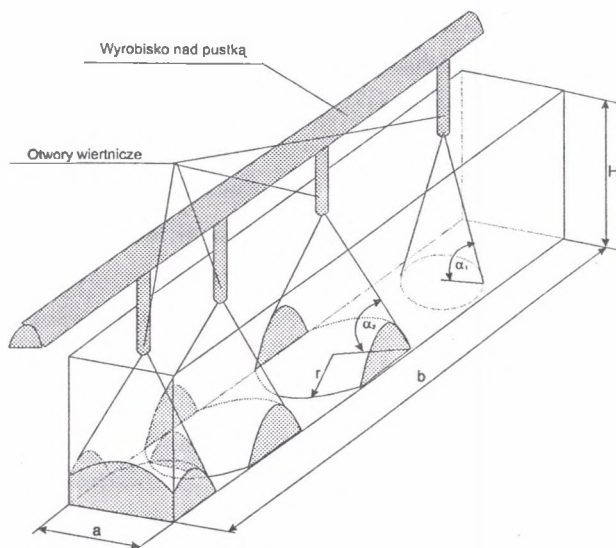
$$V_{st} = \frac{\pi}{3} H^3 \operatorname{ctg}^2 \alpha \quad (1)$$

Zaś objętość obciętej płaszczyzną pionową części stożka wyraża się wzorem:

$$V_p = \iiint_G dx dy dz \quad (2)$$



Rys. 1. Sposoby podsadzania wyrobisk górniczych przez otwory wiertnicze (objaśnienia rysunków a-g w tekście)
 Fig. 1. Methods of filling of mined out spaces through boreholes (see text for details)



Rys. 2. Szkic formowania się stożków podsadzkowych w wyrobisku
 Fig.2. Scheme of forming of backfill cones in a working

Znając równanie powierzchni stożkowej we współrzędnych walcowych: $(x=r\cos\phi, y=r\sin\phi, z=z)$

$$r^2 = z^2 \operatorname{ctg}^2 \alpha \quad (3)$$

oraz równania obcinających ścian ociosowych pustki:

$$\begin{aligned} r \cos \phi &= a + z \operatorname{ctg} \beta_1 \\ r \cos \phi &= b + z \operatorname{ctg} \beta_2 \end{aligned} \quad \beta_1 \text{ i } \beta_2 = 90^\circ \quad (4)$$

gdzie β_1 i β_2 - kąt nachylenia ścian ociosowych,

można wyznaczyć objętość pustki wypełnioną przez materiał. Objętość ta w zależności od wymiarów pustki, własności materiału i ilości otworów wiertniczych wyraża się ogólnym wzorem:

$$V_{\text{wyp}} = nV_{\text{st}} - 2n(V_{\text{pw}} + V_{\text{pp}}) + 4nV_r \quad (5)$$

gdzie:

α - kąt naturalnego zsypania materiału podsadzkowego,

n - liczba otworów wiertniczych,

a - szerokość pustki,

b - długość pustki,

H - wysokość pustki,

V_{wyp} - objętość zapełnionej części pustki,

V_{pw} , V_{pp} - objętość obciętej części stożka odpowiednio przez wzdłużną i poprzeczną płaszczyznę ociosową,

V_r - objętość narożnika powstałego w wyniku obcięcia stożka prostopadłymi płaszczyznami ociosowymi lub przenikającymi się stożkami.

Pozostałe oznaczenia objaśniono na rys. 2.

Definiując współczynnik szczelności wypełnienia pustki jako stosunek objętości wprowadzonego materiału (V_{wyp}) do pojemności całkowitej pustki (V_{pu}):

$$w_s = \frac{V_{wyp}}{V_{pu}} \quad (6)$$

i podstawiając wyrażenia uzyskane z obliczeń odpowiednich całek na wyznaczenie V_{pw} , V_{pp} , V_r , uzyskuje się ostatecznie:

$$w_s = \frac{nH^3}{3abH} \operatorname{ctg}^2 \alpha \left[\pi - 2(F_1 + F_2) + 2F_3 \right] \quad (7)$$

gdzie:

$$F_1 = \arccos\left(\frac{a}{H} \operatorname{tg} \alpha\right) - 2 \frac{a}{H^2} \operatorname{tg} \alpha \sqrt{H^2 - a^2 \operatorname{tg}^2 \alpha} + \frac{a^3}{H^3} \operatorname{tg}^3 \alpha \operatorname{arccos} h\left(\frac{H}{a} \operatorname{ctg} \alpha\right)$$

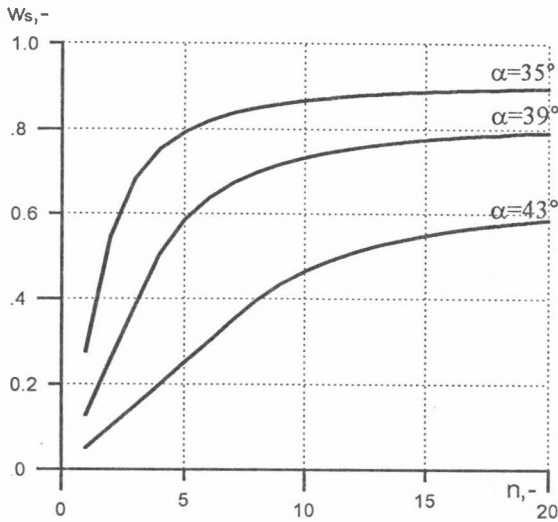
$$F_2 = \arccos\left(\frac{b}{H} \operatorname{tg} \alpha\right) - 2 \frac{b}{H^2} \operatorname{tg} \alpha \sqrt{H^2 - b^2 \operatorname{tg}^2 \alpha} + \frac{b^3}{H^3} \operatorname{tg}^3 \alpha \operatorname{arccos} h\left(\frac{H}{b} \operatorname{ctg} \alpha\right)$$

$$F_3 = \arccos\left(\frac{a}{H} \operatorname{tg} \alpha\right) - \arcsin \frac{b}{H} \operatorname{tg} \alpha + \frac{a^3}{H^3} \operatorname{tg}^3 \alpha \left[\operatorname{arccos} h\left(\frac{H}{a} \operatorname{ctg} \alpha\right) - \arcsin h\left(\frac{b}{a}\right) \right] +$$

$$- 2 \frac{b^2}{aH} \operatorname{tg} \alpha \left(\frac{a^2}{H^2} \operatorname{tg}^2 \alpha \sqrt{1 + \frac{a^2}{b^2}} + \frac{a^2}{b^2} \sqrt{1 - \frac{a^2}{H^2} \operatorname{tg}^2 \alpha} + \sqrt{\frac{a^2}{b^2} - \frac{a^2}{H^2} \operatorname{tg}^2 \alpha} - 3 \frac{a^2}{Hb} \operatorname{tg} \alpha \right) +$$

$$+ \frac{b^3}{H^3} \operatorname{tg}^3 \alpha \left[\operatorname{arccos} h\left(\frac{H}{b} \operatorname{ctg} \alpha\right) - \arcsin h\left(\frac{a}{b}\right) \right]$$

Zależność ta pozwala wyznaczyć współczynnik szczelności wypełnienia pustki przy znanych wymiarach komory i własnościach materiału, charakteryzowanych kątem naturalnego zsypu.



Rys. 3. Zależność współczynnika wypełnienia pustki od ilości otworów wiertniczych.

Komora o wymiarach $a=10\text{m}$, $b=100\text{m}$, $H=20\text{m}$. Materiał podsadzkowy o kącie naturalnego zsypu $\alpha=35^\circ$, $\alpha=39^\circ$ i $\alpha=43^\circ$. Otwory wiertnicze usytuowane w jednej linii

Fig.3. Relation between fill factor and number of boreholes.

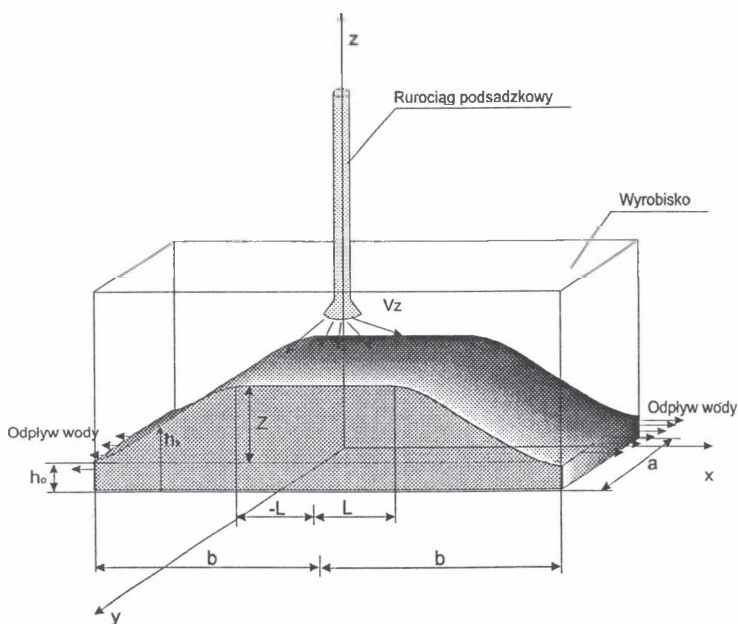
Dimensions of filled room: $a = 10 \text{ m}$, $b=100\text{m}$, $H=20\text{m}$. Natural slope angle of fill material $\alpha=35^\circ$, $\alpha=39^\circ$ i $\alpha=43^\circ$. Boreholes situated in a straight line

Na rys. 3 przedstawiono wyznaczone z równania (7) krzywe szczelności podsadzania pustki w zależności od ilości otworów wiertniczych i własności materiałów podsadzkowych. Wzrost kąta naturalnego zsypu materiału powoduje zmniejszenie szczelności podsadzania. Ponadto z wykresu można wywnioskować, że dla każdej komory istnieje pewna optymalna ilość otworów wiertniczych. Każdy następny otwór ma już minimalny wpływ na poprawę szczelności wypełniania, a w sposób znaczący podwyższa koszty podsadzania.

3.2. Hydrauliczne podsadzanie pustek przez otwory wiertnicze

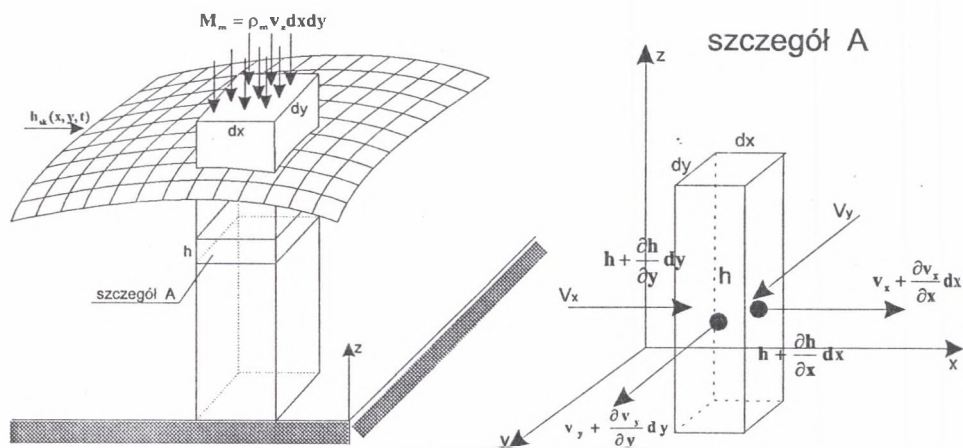
W sytuacji gdy wyrobisko komorowe lub korytarzowe podsadzamy mieszaniną drobnoziarnistą z odpływem wody przez tamę filtracyjną lub gruzowisko zawałowe, materiał sedymentując odkłada się na spągu i tworzy skarpe z nachyleniem od otworu wiertniczego (wylotu rurociągu) w kierunku ociosów (tam). Powierzchnia skarpy przyjmuje kształt zależny od wymiarów komory, czasu podsadzania, własności mieszaniny i szybkości wypływu

mieszaniny z rurociągu, która decyduje o prędkości przemieszczania się fali na skarpie i osadzeniu albo rozmywaniu materiału. Jeżeli prędkość przepływu mieszaniny na powierzchni osadzonego materiału będzie większa od prędkości powodującej unoszenie osadzonych ziaren, czyli prędkości unoszenia, to na takim odcinku obserwuje się erozję (rozmywanie) uformowanego zbocza. Uniesione ziarna wpływają na wzrost zagęszczenia strumienia, który przemieszczając się traci jeszcze część wody na skutek wsiąkania, a więc i stopniowo zmniejsza się jego prędkość, co w konsekwencji wywołuje ponowne osadzanie ziaren. W ten sposób przemieszcza się formowanie skarpy na pewną odległość od wyptywu, zaś w jego otoczeniu tworzy się zagłębienie wypełniane wodą. Strumień mieszaniny wpadający do wody wytraca swoją energię i w powstałym zagłębieniu następuje osadzanie ziaren ze strumienia, a wypychana woda rozmywa częściowo uformowaną skarpy w podsadzonym wyrobisku. Zjawisku temu towarzyszy znaczne rozfrakcjonowanie materiału wywołujące nierównomierny rozkład gęstości upakowania osadzonych ziaren i zatrzymanej wody w porach. Jeżeli prędkość strumienia mieszaniny na powierzchni osadzonego materiału jest mniejsza od prędkości unoszenia osadzonych ziaren, to mamy do czynienia z formowaniem w wypełnianym wyrobisku mniej lub bardziej regularnych zboczy materiału podsadzkowego.



Rys. 4. Schemat obrazujący formowanie się skarpy podsadzkowej w wyrobisku o małej szerokości $a \leq 2L$.
 Fig. 4. Scheme of forming of backfill slope in a narrow working $a \leq 2L$.

Przyjmijmy, że wyrobisko komorowe zalega poziomo, a spąg wyrobiska jest nieprzepuszczalny (rys.4). Rozpatrzmy zagadnienie dwuwymiarowe wypełniania komory materiałem podsadzkowym z rurociągu na szerokości $2L$. W wyniku takiego podsadzania obserwujemy tworzenie się wzniesienia z materiału podsadzkowego. Dla określenia współczynnika maksymalnego wypełnienia wyrobiska należy znać równanie namywu skarpy podsadzkowej. Równanie to można wyznaczyć korzystając z prawa zachowania masy i prawa zachowania pędu. Wytnijmy w przemieszczającym się w podsadzanej komorze strumieniu o zmiennej wysokości h element o przekroju $dx dy$ (rys.5)



Rys. 5. Element przestrzenny skarpy podsadzkowej
Fig.5. An 3-dimensionel element of backfill slope

Objętość osadzonego materiału i zatrzymanej wody w rozpatrywanym elemencie strumienia w kierunku osi x i y wynosi odpowiednio:

$$-\frac{\partial(hv_x)}{\partial x} dx dy dt - \frac{\partial(hv_y)}{\partial y} dx dy dt \quad (8)$$

Suma zatrzymanej lub wyniesionej mieszaniny (sedymentacja lub erozja) równa się przyrostowi objętości elementu w czasie dt

$$-\frac{\partial(hv_x)}{\partial x} dx dy dt - \frac{\partial(hv_y)}{\partial y} dx dy dt = \frac{\partial h}{\partial t} dx dy dt \quad (9)$$

czyli:

$$\frac{\partial(hv_x)}{\partial x} + \frac{\partial(hv_y)}{\partial y} + \frac{\partial h}{\partial t} = 0 \quad (10)$$

Na podstawie doświadczeń można przyjąć, że pomiędzy prędkością przepływu strumienia a spadkiem zbocza skarpy podsadzkowej zachodzi zależność:

$$v = \frac{\partial(kh)}{\partial s} \quad (11)$$

gdzie: k - współczynnik charakteryzujący osadzanie materiału w wyrobisku zależny od własności mieszaniny i prędkości strumienia.

Rozkładając prędkość v i element ds na składowe w kierunkach x i y

$$v_x = \frac{\partial(kh)}{\partial x} \quad v_y = \frac{\partial(kh)}{\partial y} \quad (12)$$

i wstawiając do równania (10) oraz zakładając stałość współczynnika osadzania ($k = \text{const}$) otrzymamy:

$$\frac{\partial^2(h^2)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2(h^2)}{\partial y^2} + \frac{2}{k} \frac{\partial h}{\partial t} = 0 \quad (13)$$

Przy pionowym dopływie mieszaniny z rurociągu na pewien obszar z prędkością v_z na powierzchni skarpy kinematyczny warunek brzegowy ma postać

$$\frac{d}{dt} [z - h_{sk}(x, y, t)] \Big|_{z=h_{sk}} = v_z \quad \text{lub} \quad \frac{dz}{dt} \Big|_{h_{sk}} - \frac{\partial h_{sk}}{\partial t} = -v_z + v_x \frac{\partial h_{sk}}{\partial x} + v_y \frac{\partial h_{sk}}{\partial y} \quad (14)$$

Wykorzystując równanie (11) mamy

$$\frac{dz}{dt} \Big|_{h_{sk}} = v_z \Big|_{z=h_{sk}} = -k \frac{\partial h}{\partial z} \Big|_{z=h_{sk}} \quad (15)$$

Wtedy kinematyczny warunek brzegowy można przedstawić w formie

$$\frac{1}{k} \left(v_z + \frac{\partial h_{sk}}{\partial t} \right) = \frac{\partial h}{\partial z} \Big|_{z=h_{sk}} + \left(\frac{\partial h_{sk}}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial h_{sk}}{\partial y} \right)^2 \quad (16)$$

Drugi warunek brzegowy otrzymujemy dla spągu komory

$$v_z = -k \frac{\partial h}{\partial z} = 0 \quad \text{dla} \quad z = 0 \quad (17)$$

W przypadku niezależności współczynnika osadzania k od miejsca można napisać równanie ciągłości ruchu strumienia mieszaniny

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \quad (18)$$

Całkując równanie (18) po głębokości skarpy

$$\int_0^{h_{sk}} \left(\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} \right) dz = 0 \quad (19)$$

wykorzystując regułę Leibniza i przekształcając otrzymane zależności uzyskujemy ostatecznie:

$$k(h_{sk}) \left(\frac{\partial^2 h_{sk}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h_{sk}}{\partial y^2} \right) + v_z = \frac{\partial h_{sk}}{\partial t} \quad (20)$$

Współrzędne pionowe powstającej skarpy podsadzkowej dla przypadku płaskiego można wyznaczyć linearyzując równanie (20)

$$\frac{\partial Z}{\partial t} = k \frac{\partial^2 Z}{\partial x^2} + v_z \quad (21)$$

i przyjmując warunek początkowy

$$Z(x,0) = 0 \quad \text{dla} \quad t = 0 \quad (22)$$

Rozwiązanie ma następującą postać

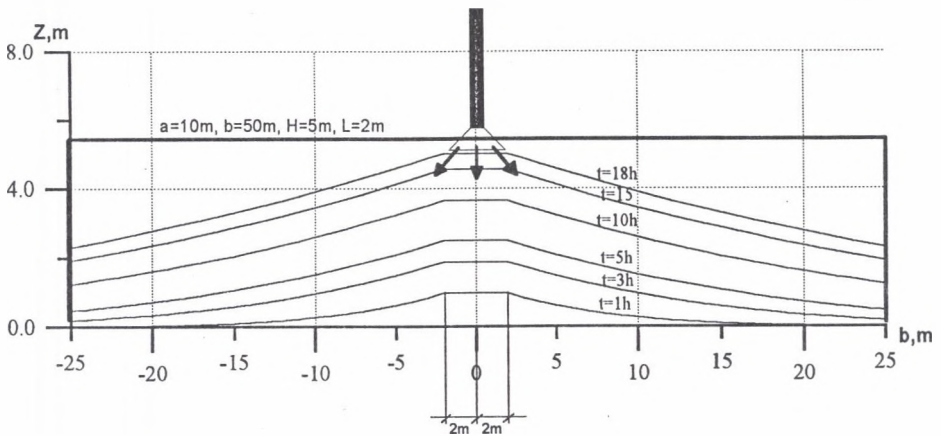
$$\begin{aligned} Z(x,t) = & \frac{L^2 v_z}{2k} \left\{ \tau \left[1 - \operatorname{erf} \left[0,5\tau^{1/2} \left(1 - \frac{x}{L} \right) \right] \right] + \pi^{1/2} \tau^{1/2} \left(1 - \frac{x}{L} \right) \exp \left\{ - \left[0,5\tau^{1/2} \left(1 - \frac{x}{L} \right) \right]^2 \right\} \right\} + \\ & - 2\tau \left[0,5\tau^{1/2} \left(1 - \frac{x}{L} \right) \right] \left[1 - \operatorname{erf} \left[0,5\tau^{1/2} \left(1 - \frac{x}{L} \right) \right] \right] + \tau \left[1 - \operatorname{erf} \left[0,5\tau^{1/2} \left(1 + \frac{x}{L} \right) \right] \right] + \\ & \left. \left. \pi^{1/2} \tau^{1/2} \left(1 + \frac{x}{L} \right) \exp \left\{ - \left[0,5\tau^{1/2} \left(1 + \frac{x}{L} \right) \right]^2 \right\} \right\} - 2\tau \left[0,5\tau^{1/2} \left(1 + \frac{x}{L} \right) \right] \left[1 - \operatorname{erf} \left[0,5\tau^{1/2} \left(1 + \frac{x}{L} \right) \right] \right] \right\} \end{aligned} \quad (23)$$

gdzie:

$$\tau = \frac{Kt}{L^2}$$

Wzrost skarpy podsadzkowej wskutek podsadzania mieszaniną ulegającą odwodnieniu przedstawiono na rys.6.

Wykres sporządzono korzystając ze wzoru (23). Wynika z niego, że w miarę upływu czasu skarpa podnosi się, przy czym przyrosty na odcinku w pobliżu wypływu są nieco większe niż w pobliżu tam filtracyjnych. Podane tutaj zależności teoretyczne wymagają uzupełnienia pomiarami na stanowiskach modelowych i w wyrobiskach podziemnych dla różnych materiałów podsadzkowych, koncentracji mieszaniny, wydajności podsadzania i wymiarów komór.



Rys. 6. Krzywe powierzchni skarpy podsadzkowej w przekroju pionowym komory (50m×10m×5m) w zależności od czasu podsadzania

Fig.6. Curves of backfill slope surface in the vertical cross section of a room (50m×10m×5m) in dependence to time of filling

Znając równanie powierzchni namywanej skarpy podsadzkowej oraz wymiary komory można wyznaczyć współczynnik maksymalnego wypełnienia pustki przy podsadzaniu z jednego otworu

$$w_s = \frac{1}{V_{pu}} \iiint_{V_{wyp}} dx dy dz \quad (24)$$

Współczynnik ten wzrasta w miarę zwiększania liczby otworów podsadzkowych. Sposób rozumowania przy prowadzeniu obliczeń jest tutaj podobny jak dla przypadku w rozdziale 3.1.

W wyrobiskach komorowych o dużych wymiarach, z utrudnionym odwadnianiem lub zatopionych solanką, należy uwzględnić fakt, że strumień mieszaniny lub materiału traci swoją energię wpadając do wody, a samo osadzanie przebiega podobnie jak opadanie skrzepowane

ziaren w spokojnej wodzie. Doprowadzając do takiego wyrobiska materiał gruboziarnisty z małą prędkością będzie on się odkładał na skarpie o długości (rzut poziomy):

$$l < Hctg\phi_w$$

gdzie: ϕ_w - kąt tarcia wewnętrznego w wodzie,

H - głębokość zatopienia wyrobiska.

Natomiast mieszanina drobnoziarnista dopływająca do wyrobiska nieodwodnionego z dużą szybkością zaczyna tworzyć skarpe o długości rzutu poziomego:

$$l > Hctg\phi_w$$

Zasięg i nachylenie skarpy zależy od wielu czynników. Najistotniejsze są jednak uziarnienie, szybkość podawania mieszaniny i głębokość zatopienia.

4. Wnioski

Deformacje górotworu lub powierzchni wokół wyrobisk są uzależnione nie tylko od wymiarów geometrycznych i własności skał otaczających, ale przede wszystkim od sposobu ich likwidacji. Szczelne podsadzanie jest możliwe w przypadku stosowania technologii umożliwiającej wypełnianie pustek na bieżąco w miarę urabiania, i to najlepiej materiałem o małej ściśliwości. Wraz z upływem czasu od chwili urabiania zapewnienie szczelności wypełnienia wyrobiska jest coraz bardziej ograniczone, a w sytuacji utracenia dróg dojściowych podsadzanie staje się tylko możliwe przez otwory wiertnicze. Wtedy szczelność wypełnienia zależy między innymi od lokalizacji i ilości otworów wiertniczych. Wyprowadzone zależności (7, 23) wykazują, że zarówno przy podsadzaniu materiałem na sucho, jak i hydraulicznie szczelność wypełnienia jest ściśle związana z własnościami materiału i mieszaniny liczbą otworów oraz wymiarami komory. Stąd z ekonomicznego punktu widzenia istnieje dla każdej pustki graniczna liczba otworów podsadzkowych. Chcąc uzyskać dobre własności podpornościowe podsadzki wprowadzanej przez otwory wiertnicze, należy w miejsce zwiększania odwiertów stosować mieszaniny o dobrym rozplywie lub iniekcję wzmacniającą stożków usypanych z materiałów gruboziarnistych.

LITERATURA

1. Palarski J.: Wykrywanie, likwidacja i oddziaływanie na powierzchnię starych pustek poeksploatacyjnych. OTG. 46. 1978.

Recenzent: Dr hab. inż. Maciej Mazurkiewicz

Wpłynęło do Redakcji 7.09.1996 r.

Abstract

Backfilling of mined out sections of the orebody with waste material - rock waste or tailing- might offer the key to increased extraction ratios and control the ground movement. In this paper, an attempt has been made to predict the fill factor for a different fill technologies using theoretical modelling. Pneumatic and hydraulic methods of filling have been discussed (Fig.1). Obtained formulas (7, 23) show that either by pneumatic and hydraulic filling fill factor increases with number of boreholes, fill material properties, and geometry of a stope to a optimal value. In aim to achieve best results of filling, when a certain number of boreholes had been drilled, improvement of the properties of fill material should be considered rather than creation of a more dense net of drills.