

GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKIE PROBLEMY ZWAŁÓW I OSADNIKÓW W KOPALNICTWIE SIARKOWYM

UKD 624.131:[622.366.11:622.271.4/.5:622.765-17](436.24-17)

Odkrywkowa eksploatacja złóż siarki stwarza m. in. potrzebę rozwiązywania zadań o charakterze inżyniersko-geologicznym. Niektóre z nich wykraczają znacznie poza zasięg zagadnień typowych i wymagają wdrożenia nowych metod projektowania i rozwiązań. Do takich problemowych zagadnień inżyniersko-geologicznych zaliczyć można ustalanie warunków:

a) bezpiecznego zwałowania utworów nadkładowych złóż;

b) bezpiecznej eksploatacji stawów osadowych, gromadzących utwory szlamowo-wodne. Te ostatnie stanowią produkt odpadu z procesu wzbogacania (flotacji) wapieni siarkonośnych.

Budowa zwału o dużej wysokości, warunkowana potrzebami natury gospodarczej, stwarza sprzyjające warunki do powstawania osuwisk typu wyporowego, co z kolei wpływa niekorzystnie na bezpieczeństwo załogi, sprzętu mechanicznego i chronionych na powierzchni obiektów. Wspomniane ryzyko znalazło pełne potwierdzenie w praktyce.

Literatura w zakresie prognozowania warunków stateczności podłoża pod skarpami zwałów i odkrywek jest jeszcze skąpa. Biorąc dodatkowo pod uwagę brak doświadczenia u geologów polskich w zakresie rozwiązań tego typu sprawia to, że zagadnienie stateczności podłoża pod zwałem kopalni Machów należało rozpatrywać od podstaw zarówno w aspekcie teoretycznym, jak i praktycznym. Analoiczne względy są przyczyną, że również w odniesieniu do mokrego składowania odpadów w zbiornikach osadnikowych należało szukać nowych, własnych form projektowania.

Podstawowe badania w zakresie wymienionej problematyki zostały podjęte w Instytucie Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej (dawniej: w Katedrze Geologii Kopalnianej) AGH z inicjatywy prof. R. Krajewskiego. Dotychczasowe osiągnięcia, jakkolwiek dalekie od rozwiązań kompleksowych, stanowią mogą przyczynę dla dalszych studiów, a z konieczności również podstawę do rozwiązań praktycznych, podejmowanych przy ustalaniu warunków bezpiecznej eksploatacji zbiorników osadnikowych i budowy zwałów.

ZWAŁ ZEWNĘTRZNY KOPALNI MACHÓW

Historia zwału zewnętrznego kopalni Machów sięga 1966 r. Wymiarowanie skarp zwału we wstępnej fazie projektowania oparte było z konieczności na zasadzie przyjęcia spodziewanych fizycznych i mechanicznych własności utworów zwałowanych oraz podłoża zwału. W związku z tym, a także w związku z posługiwaniem się różnymi metodami obliczeniowymi, istniała dość znaczna rozbieżność poglądów między poszczególnymi rzeczoznawcami w zakresie geometryzacji bezpiecznych konturów zwału. W tab. I przedstawiono dla przykładu podstawowe parametry obliczeniowe i wynikające z nich zalecenia, w opracowaniu prof. R. Krajewskiego i Hydrokopu w Krakowie.

W 1966 r. wykonana została na zlecenie KIZPS Machów dokumentacja geologiczno-inżynierska podłoża zwału. Dokumentacja ta została zamknięta wnioskiem, że podłożo pod zwałem o wysokości $H = 120$ m i generalnym kącie nachylenia $\Phi_{gen} = 11^\circ$, będzie stateczne.

W ślad za dokumentacją geologiczno-inżynierską podłoża w 1966/1967 r. w Instytucie Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej AGH zostały podjęte badania laboratoryjne próbek utworów zdeponowanych na zapoczątkowanym już zwałie zewnętrznym, którego maksymalna wysokość wynosiła podówczas 10–11 m. W oparciu o uzyskane wyniki zaprojektowano profil bezpieczny zwału, usypywanego czterema poziomami o wysokościach 4×30 m, przy założeniu, że podłożo jest stateczne. Przy obliczeniach posługiwano się metodą F_p N. Masłowa.

Przy doborze metody obliczeniowej kierowano się następującymi przesłankami:

a) metoda F_p N. Masłowa daje bardziej ostrożne rozwiązanie od innych metod, stosowanych w praktyce obliczeniowej;

b) autor metody podnosi, że daje ona wyniki zgodne z obserwacjami w naturze.

Profil skarpy równostatecznej, określony metodą F_p N. Masłowa, jest krzywoliniowy, co odzwierciedla kontur 1—a—b—c—d—e—f—g—10 (ryc. 1). W związku z tym w kontur ten wpisano obrys skarp czterech poziomów roboczych o wysokościach $h_1 = 30$ m, nachylonych pod stałym kątem zsypu naturalnego $\alpha \cong 36^\circ$. W wyniku uzyskano profil skarpy czteropoziomowej 1—2—3—4—5—6—7—8—9—10, o odpowiednich, zmiennych szerokościach półek międzypoziomowych 3—4, 5—6, 7—8, który przyjęto jako równostateczny.

Tabela I

Wyszczególnienie	Hydrokop Kraków	R. Krajewski
Przyjęte do obliczeń parametry	$c = 1,0 (2,5) T/m^2$ $\varphi = 4^\circ (3^\circ)$	$c = 4,0 (2,0) T/m^2$ $\varphi = 10^\circ (7^\circ 30')$
Generalny kąt nachylenia skarpy Ψ_{gen}	$\Psi_{gen} = 12^\circ (5^\circ)$	$\psi_{gen} = 10^\circ 50' (8^\circ)$
Szerokość strefy ochronnej	$s = 800$ m	$s = 300$ m
Zastosowane metody obliczeń	m. Felleniusa m. sił poziomych	m. Sokołowskiego (Muchin-Sragowicz)

(W nawiasach podano wartości skrajne)

lonej sieci punktów podłoża wielkości kątów największego odchylenia Θ_{max} . Według opisywanej teorii strefy, w zasięgu których kąt największego odchylenia jest większy od kąta wewnętrznego tarcia ($\Theta_{max} > \varphi$) ulegają „uplastycznieniu” (wyporowi), strefy, w których zasięgu $\Theta_{max} < \varphi$ odpowiadają warunkom stateczności, wreszcie przypadek gdy $\Theta_{max} = \varphi$ odpowiada warunkom równowagi granicznej.

Na niekorzyść opisywanej metody przemawia wielka czasochłonność obliczeń. Sprawia ona, że opisywana metoda rzadko tylko znajdowała zastosowanie w praktyce obliczeniowej. Opracowane w Instytucie Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej AGH i opublikowane nomogramy graficzne i tabelaryczne (4), dające w efekcie około 97% oszczędności czasu w stosunku do czasu niezbędnego przy posługiwaniu się metodą tradycyjną, pozwalają na wdrażanie opisywanej metody do praktyki.

Dalszą niedoskonałością omawianej metody jest odniesienie jej stosowalności do podłoża płaskiego. W związku z tym prognozowanie stateczności podłoża nachylnego w oparciu o metodę MKMG nie może pretendować do rozwiązania ścisłego, a wynikający z obliczeń błąd będzie tym większy im większy jest kąt nachylenia podłoża. Brak jest do tej pory rozwiązań eliminujących przytoczone niedomagania.

W odniesieniu do podłoża w Machowie uplastycznieniu (wyporowi) podlegają głównie utwory spoiste, tj. stropowa część łów krakowieckich. Stwierdzono to zarówno obliczeniami jak i na podstawie sztucznych odsłoneń (wkopów). Na ryc. 2 przedstawiono przekrój geologiczno-inżynierski przez strefę wyporu podłoża w początkowej fazie jego rozwoju.

Piaski, w świetle obliczeń, nie ulegają uplastycznieniu. W sporadycznych tylko przypadkach, tj. w przypadkach domieszek humusowych, obniżających kąt wewnętrznego tarcia skał sypkich, wypierana jest spod podstawy skarpy najbardziej przypowierzchniowa część piasków o niewielkim (około 1–2 m) zasięgu głębokościowym.

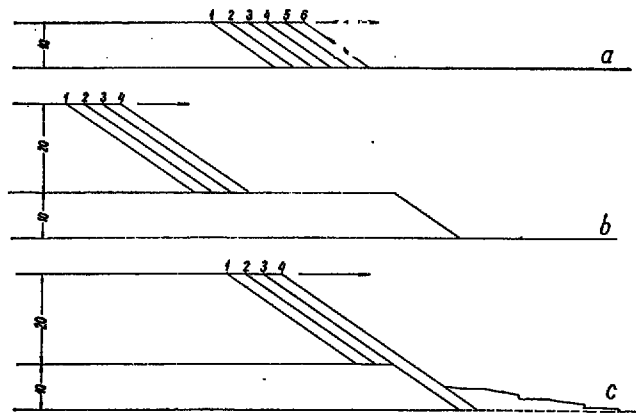
W wyniku rozprzestrzeniania się zasięgu strefy wyporu w miarę postępu frontu zwałowania piaski czwartorzędowe są podnoszone i częściowo wysuwane spod stopy zwał przez uplastycznione iły (ryc. 5). Rozpoznanie, do jakiej maksymalnej głębokości od powierzchni terenu sięga wypór podłoża, ogranicza się do dwóch otworów wiertniczych, wykonanych w 1968 r. z korony zwał (ryc. 3 i 3a). Analizując przedstawione na rysunkach profile geologiczne otworów wiertniczych nr 4, 5 i 6 można stwierdzić:

1. Otwór wiertniczy nr 4, wykonany z korony zwał (+195,30 m npm) nawiercił podłożo nienaruszone na poziomie +170,60 m npm. Otwór został zlokalizowany tam, gdzie wypór podłoża nie miał miejsca. Różnica 0,23 m między rzędną powierzchni stwierdzonej otworem nr 4 a rzędną starego otworu (+170,83 m) jest wynikiem bądź osiadanía podłoża pod zwałem, bądź błęd pomiaru.

2. Otwór wiertniczy nr 5 wykonano z korony zwał (+194,25 m npm) w miejscu, gdzie wypór podłoża został zaledwie zapoczątkowany. Stwierdzono, że głębokość strefy wyporu wynosiła tu 3,13 m.

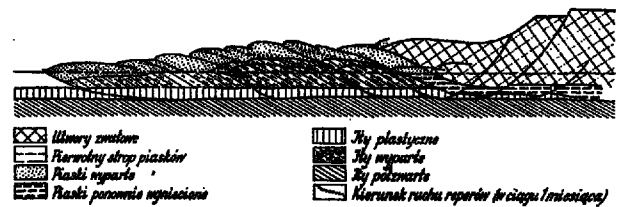
3. Wreszcie otwór wiertniczy nr 6, wykonany również z korony zwał, w odległości około 30 m od górnej krawędzi skarpy, stwierdził, że głębokość strefy wyporu wynosiła tu 16,5 m. Należy podnieść, że przed skarpą zasięg wyporu podłoża, mierzony w kierunku prostopadłym do stopy zwał, wynosił tu kilkaset metrów.

Obserwacje dotychczasowe pozwalają stwierdzić, że w wyniku przekroczenia równowagi granicznej podłoża, spod skarpy wyciskane są głównie utwory spoiste, przy niewielkim udziale piasków przypowierzchniowych. W wyniku wyporu pod brzożną partią zwał, tj. w zasięgu podstawy skarpy, tworzy się niecka podzwalkowa o stwierdzonej głębokości do 16,5 m, która sukcesywnie zasypywana jest utworami postępującego zwał. W związku z tym rzeczywista wysokość pierwszego poziomu zwał nie może być mierzona od pierwotnej powierzchni terenu do korony, lecz stanowi różnicę między rzędną korony i rzędną dna niecki.



Ryc. 4. Profile skarpy obrazujące technologię robót górniczych we wstępnej fazie zwałowania.

Fig. 4. Escarpment profiles illustrating technology of mine works during preliminary phase of waste heap formation.



Ryc. 5. Próba interpretacji przekroju geologicznego w zasięgu strefy wyporu podłoża.

Fig. 5. An attempt to interpret a geological cross-section through the area of substratum upheaval.

Technologia zwałowa w jego początkowej fazie budowy polegała na usypywaniu pierwszego, 30 m poziomu dwiema półkami o wysokościach $h_1 = 10-11$ m; $h_2 = 20$ m, ze znacznym wyprzedzeniem pierwszej, dolnej półki (ryc. 4). Zjawisk wyporu podłoża nie stwierdzono ani przy usypywaniu „przedzwał” o wysokości $h_1 = 10$ m (ryc. 3a), ani podczas późniejszego przysypywania dolnej warstwy górną półką o wysokości ok. 20 m (ryc. 3b oraz 3c; profil 3). Gwałtowny wypór podłoża został zapoczątkowany dopiero wówczas, gdy stopa górnej półki przekroczyła górną krawędź półki dolnej (ryc. 3c, profil 4).

Na zasadzie powtarzalności opisywanych zjawisk w 1968 i 1969 r. przyjęto hipotetycznie, że przyczyną takiego stanu rzeczy była konsolidacja podłoża „przedzwałem” o wysokości 10 m. Stan równowagi granicznej podłoża nieskonsolidowanego pod skarpą o nachyleniu $\alpha \approx 36^\circ$ ustala się przy wysokości skarpy około 10–11 m. Długotrwałe obciążenie podłoża przedzwałem powoduje jego zagęszczenie, co jest jednoznaczne z poprawą jego mechanicznych właściwości.

Hipoteza ta znalazła pełne potwierdzenie w świetle szczegółowych badań laboratoryjnych, przeprowadzonych w Instytucie Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej AGH. Badaniom laboratoryjnym poddano 18 próbek pobranych z jednego wkopu, a reprezentujących stropową warstwę łów krakowieckich. Oznacono szczegółowo ich fizyczne i mechaniczne właściwości przed konsolidacją i po konsolidacji. Konsolidację próbek, wyciętych w kształcie wałków, przeprowadzono w kąpielii wodnej, przy obciążeniu $p_0 = 3,0$ kg/cm², co w przeliczeniu na warunki terenowe odpowiada obciążeniu zwałem o wysokości 10 m, przy jednoczesnej 5 m liczącej grubości nadkładu piaszczystego, zalegającego nad stropem łów. Próbkę konsolidowano przez 33 dni rejestrując ich wielkość osiadania. Okres 33 dni okazał się niewy-

Tabela II

Wyszczególnienie (oznaczenia)	Ilość przebadanych próbek	Przed konsolidacją		Po konsolidacji
		wartości skrajne	wartość średnia	wartość średnia
Wilgotność naturalna w_n %	28	23,5—29,5	27,37	26,62
Granica płynności L_y %	14	48,5—51,8	50,47	
Granica plastyczności L_p %	14	18,30—20,1	19,13	
Współczynnik plastyczności W_p	14	29,6—33,5	31,30	
Stopień plastyczności S_p	14	0,23—0,33	0,27	0,22
Ciężar właściwy γ G/cm ³	5	2,73—2,75	2,74	
Ciężar objętościowy γ_{ow} G/cm ³	12	1,962—1,990	1,975	2,010
Stopień wilgotności S_w	14	0,952—1,000	0,990	1,000
Porowatość n %	12	42,45—44,43	43,53	42,20
Wilgotność maksymalna W_{max}			28,14	26,67
Kąt wewnętrznej tarcia φ^0	5		7°	8°20'
Spójność c kG/cm ²	5		0,26	0,43

starczający dla zakończenia procesu konsolidacji, co stwierdzono na podstawie wykresów osiadania badanych próbek. W tab. II przedstawiono fizyczne i mechaniczne własności badanych próbek, odpowiadające stanom przed i po konsolidacji.

Wyniki badań laboratoryjnych potwierdziły w pełni hipotezę o korzystnym wpływie konsolidacji na własności utworów spoiistych podłoża. Mimo nie zakończonego procesu konsolidacji uzyskano zmniejszenie wilgotności o 0,75%, stopnia plastyczności o 0,05, porowatości o 1,33%, wzrost spójności o 0,17 kG/cm², kąta wewnętrznej tarcia o 1°20'. Przytoczone wyniki badań i obserwacji terenowych stanowiły podstawę do opracowania nowej technologii zwalowania, uwzględniającej potrzebę usypywania przedzwału o wysokości 10 m, przy dużym jego wyprzedzaniu czasowym w stosunku do następnej warstwy.

Podjęmowane z inicjatywy kopalni próby obniżania zwierciadła wody gruntowej w piaskach przed frontem zwalowania za pomocą rowów odwadniających nie przyniosły pozytywnych rezultatów. Obecność wody gruntowej w piaskach czwartorzędowych posiada drugorzędne znaczenie dla stateczności podłoża z punktu widzenia jego mechaniki. Woda posiada jednak zasadnicze znaczenie dla kształtowania się mechanicznych własności w spoiistym podłożu i to zarówno w podłożu nienaruszonym, jak i w strefie wyporu.

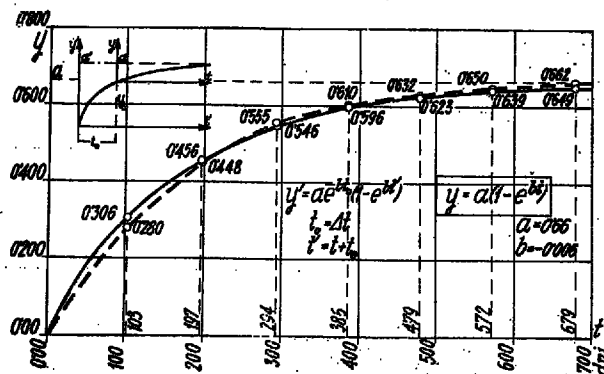
Na podstawie własnych wierceń okrężnych, wykonanych w zasięgu wypartego podłoża na przedpolu zwału stwierdzono, że:

1. Woda gruntowa z piasków wydzwigniętych wyporem sphywa grawitacyjnie i gromadzi się na przedpolu strefy wyparcia w postaci zastoiisk powierzchniowych.

2. Nieznaczna część wody gruntowej, częściowo przy współdziałaniu piasków, zostaje wtłoczona i przemieszana ze zmiętymi wyporem ilami. W związku z tym w profilu wypartych ilów stwierdza się chaotyczne przewarstwienia ilów o różnych stanach konsystencji, od twardoplastycznych do płynnych. Sporadycznie stwierdzano również pustki między zmiętymi pakietami ilastymi, wypełnione wodą.

Wynika stąd wniosek, że zapoczątkowany i reaktywowany w sposób ciągły wypór utworów spoiistych powoduje bardzo niekorzystne zmiany własności tych utworów. Dla przeformowanych w ten sposób utworów spoiistych nie mogą mieć zastosowania parametry spójności i kąta wewnętrznej tarcia uzyskiwane w skali laboratoryjnej podczas tzw. ścinania powtórnego.

W przypadkach, gdy zwał formowany w warunkach rozwijającego się wyporu podłoża, usypywany jest w sąsiedztwie chronionych na powierzchni obiektów zachodzi potrzeba ustalania bezpiecznych



Ryc. 6. Krzywa pełzania punktu ustalonego w zasięgu strefy wyporu $y = f(t)$.

Fig. 6. Creeping curve of the point stabilized within the area of substratum upheaval; $y = f(t)$.

stref ochrony tych obiektów. Ekonomiczne i bezpieczne określenie tych stref wiąże się ściśle z wielkością maksymalnego postępu stopy wyporu, mierzonego od momentu wstrzymania procesu zwalowania do czasu całkowitego zaniku ruchów podłoża. Na terenie zwału kop. Machów stwierdzono wizualnie, że ruchy te zanikają stosunkowo szybko, przeciętnie w okresie 2—3 dni od czasu wstrzymania procesu zwalowania. Dokładne obserwacje i pomiary w tym zakresie, przy zastosowaniu metod mierniczych, przeprowadzono w 1970 r. na zwałie kopalni odkrywkowej magnezytu w Grochowie oraz na zwałie w Machowie. Pomiary przeprowadzono na reperach ustalonych w czołowej partii strefy wyporu.

Wielkości przemieszczeń poziomych poszczególnych reperów zestawiono graficznie jako funkcje czasu, $y = f(t)$. Stwierdzono, że wszystkie wykresy mają charakter powtarzalny i obrazują krzywe wykładnicze. Na ryc. 6 przedstawiono graficznie charakter przemieszczeń poziomych jednego z reperów na kopalni magnezytu w Grochowie. Stwierdzono, że krzywe „pełzania” reperów mogą być określone równaniem:

$$y = a \cdot (1 - e^{-bt}), \text{ gdzie:}$$

y — wielkość przemieszczeń poziomych punktów, w metrach,

t — czas obserwacji, w dobach,

e — podstawa logarytmów naturalnych,

a i b — współczynniki.

Współczynniki a i b są wielkościami stałymi.

KLASYFIKACJA OSADNIKÓW WG R. KRAJEWSKIEGO I IN.

Parametr klasyfikacyjny osadnika	I	II	III	IV
Wysokość piętrzenia	40 m	20 ÷ 40 m	5 ÷ 20 m	5 m
Powierzchnia	5 mln m ²	1—5 mln m ²	100 tys. do 1 mln m ²	poniżej 100 tys. m ²
Lokalizacja	osiedla ponad 5000 mieszkańców i zakłady przemysłowe o znaczeniu regionalnym w strefie zaskoczenia	osiedla mniejsze i zakłady o znaczeniu regionalnym w strefie zaskoczenia	jak poprzednio w strefie ewakuacji	pojedyncze zabudowania i obiekty o podrzędnym znaczeniu gospodarczym
Rola przemysłowa	dla zakładu przemysłowego o kluczowym znaczeniu w gospodarce państwowej	dla zakładów przemysłowych o regionalnym znaczeniu	dla zakładu o znaczeniu lokalnym	
Wyznaczony współczynnik stateczności dla obciążeń normalnych	1,35	1,25	1,20	1,15
Współczynnik stateczności dla obciążeń wyjątkowych	1,15	1,15	1,10	1,05

Współczynnik a określa asymptotę krzywej, tj. wielkość ostateczną przemieszczenia. Współczynnik b jest ujemny i określa charakter krzywizny funkcji, co jest równoznaczne z określeniem czasu niezbędnego dla uspokojenia się ruchów podłoża.

Z krzywych eksperymentalnych określono wielkości współczynników a i b dla zwału w Grochowie:

$$a = 0,66 \text{ m}$$

$$b = -0,006$$

oraz dla zwału w Machowie

$$a = 3,5 \text{ m}$$

$$b = -0,393.$$

Zmiennosc współczynnika b dla obu analizowanych przypadków sprawia, że czas niezbędny dla uspokojenia się ruchów podłoża w Machowie ogranicza się do kilku dni, gdy ruchy podłoża w Grochowie liczyć należy na lata.

Współczynniki a i b warunkowane są niewątpliwie takimi czynnikami, jak: budowa geologiczna podłoża, morfologia terenu pod stopą i przed stopą zwału, własności fizyczne i mechaniczne utworów podłoża i zwału, wreszcie geometryczna forma (kontur) zwału. Ten wieloczynnikowy wpływ na kształtowanie się wielkości współczynników a i b może być określony doświadczalnie w odniesieniu do konkretnych geologicznych, geotechnicznych i morfologicznych warunków. Przy zmienionym układzie odniesienia współczynniki te ulegną niewątpliwie zmianie, natomiast w układach analogicznych lub podobnych należy oczekiwać ich powtarzalności.

Współczynniki a i b dla określonych warunków terenowych obliczyć można na podstawie pomiarów dokonywanych cyklicznie w dowolnym okresie czasu. Dysponując parametrami a i b , oznaczonymi na ograniczonym odcinku krzywej peźzania, można z kolei określić pełny cykl peźzania w czasie od $t = 0$ do $t = \infty$, w oparciu o formułę $y' = (a \cdot e^{-bt'}) \cdot (1 - e^{-bt'})$ (ryc. 6), gdzie

y' — wielkość przemieszczeń poziomych w czasie od $t = 0$ do $t = \infty$,

t_0 — czas dzielący początek pomiarów mierniczych od czasu $t = 0$,

$$t' = t + t_0$$

a i b — współczynniki jak wyżej.

Jeśli sprawdzalność przytoczonych zależności zostanie potwierdzona w szerszym zakresie obserwacji, przytoczona zależność może stanowić cenny przyczynek do prognozowania stref bezpieczeństwa dla chronionych na powierzchni obiektów.

ZBIORNIKI OSADNIKOWE

Osadniki służą do składowania odpadów poflotacyjnych oraz oczyszczania wód technologicznych tak, aby wody te można było odprowadzać do rzek i cieków, bądź zwracać do zakładów przerobczych. Część osadników po ich wypełnieniu zostaje opróżniona, a osady zużytkowane przez przemysł lub rolnictwo. Odpady poflotacyjne zdeponowane w osadniku kop. Machów znalazły zastosowanie w rolnictwie jako wapno nawozowe (3).

Prowadzona od 1966 r. eksploatacja osadów oraz projektowana likwidacja osadnika, w związku z przejściem frontu eksploatacyjnego odkrywką „Machów”, wymagały scharakteryzowania odpowiednich własności osadów. W oparciu o wyniki prowadzonych badań zostanie opracowana właściwa technologia osuszenia i eksploatacji osadów.

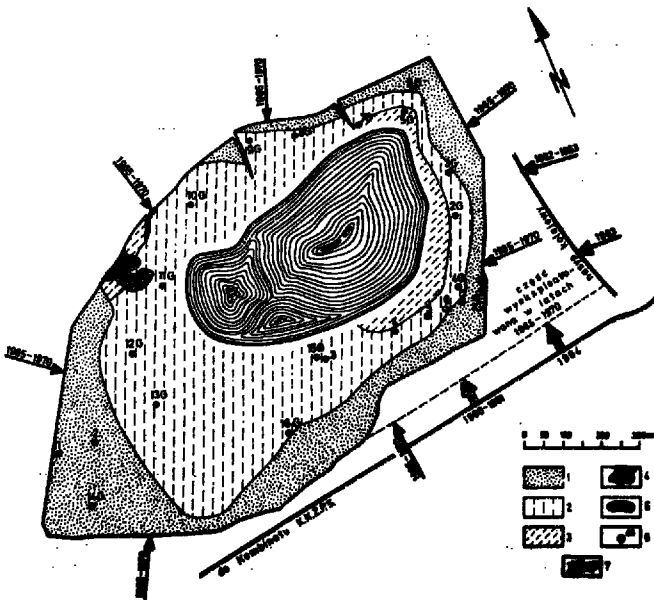
W literaturze mało miejsca poświęcono utworom osadnikowym i nie opracowano dotychczas racjonalnej metodyki badań tych utworów. Można znaleźć jedynie pewne dane dotyczące składu chemicznego (3) i niektórych cech fizyczno-mechanicznych (17, 18, 6). Ostatnio publikowane prace (12, 9, 7) zwracają uwagę na zagadnienie zmian wilgotności utworów osadnikowych i ich wpływ u na parametry fizyczno-mechaniczne.

Do składowania ogromnych ilości odpadów poflotacyjnych (w osadniku kop. Machów deponowano rocznie około 1 mln t odpadów) budowane są najczęściej osadniki nadpoziomowe dla wody przepływającej o napełnianiu ciągłym (ryc. 7). Biorąc pod uwagę stopień zagrożenia terenu R. Krajewski i inni (8) zaproponowali podział osadników na cztery kategorie (tab. III).

Osadnik nr 1 kop. Machów o powierzchni 831 200 m² i maksymalnej wysokości grobli

Tabela IV

Strefa	Rodzaj wód, w których odbywa się sedymentacja	Rodzaj utworów wg PN-54/B-02480	
A	brzeżna (zrzutu)	sedymentacja w wodach płynących piaski średnioziarniste piaski drobnoziarniste piaski pylaste, pyły	
AB	prześciowa	sedymentacja w wodach płynących bądź stagnujących (zależnie od lokalizacji miejsc zrzutu)	pyły, pyły piaszczyste piaski pylaste, gliny pylaste
B	spokojnej sedymentacji	sedymentacja w wodach stagnujących	gliny pylaste gliny pylaste ciężkie, pyły



Ryc. 8. Zasięg stref sedymentacji w osadniku kopalni Machów.

1 — strefa zrzutu, 2 — strefa przejściowa, 3 — strefa spokojnej sedymentacji, 4 — podłoże osadnika (piaski czwartorzędowe), 5 — woda utrzymująca się na powierzchni osadów, 6 — otwory wiertnicze, 7 — miejsca zrzutu odpadów pofloatacyjnych.

Fig. 8. Extent of sedimentation zone in sedimentary sewage reservoir of Machów mine.

1 — discharge zone, 2 — transitional zone, — quiet sedimentation zone, 4 — reservoir substratum (Quaternary sands), 5 — stagnat water over the surface of deposits, 6 — boreholes, 7 — places where post-floatational waste is discharged.

$H_{max} = 20$ m zalicza się do grupy osadników nadpoziomowych dla wody przepływającej o napełnieniu ciągłym. Według podziału R. Krajewskiego (8) osadnik ten zalicza się do grupy I.

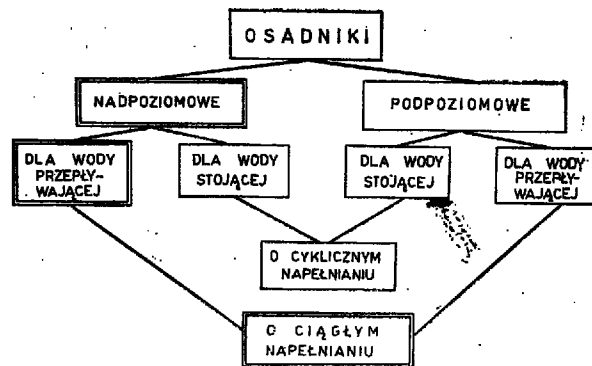
GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKA CHARAKTERYSTYKA UTWORÓW OSADNIKÓW

Zasadniczo na własności utworów osadnikowych wpływają procesy sedymentologiczne. Odpady pofloatacyjne zawierające trzy podstawowe frakcje: piaszczystą, pyłową i ilową zrzucane były do osadnika punktowo za pomocą szeregu dysz umieszczonych na grobli osadnika (ryc. 8). W wyniku zmniejszania prędkości zawiesziny następowało opadanie cząstek na dno osadnika. W strefie zrzutu wytrącał się najgrubszy materiał (głównie frakcja piaszczysta). W miarę oddalania od miejsc zrzutu prędkość zawiesziny coraz bardziej malała, co prowadziło do osadzania się coraz drobniejszego materiału.

Biorąc pod uwagę warunki sedymentacji na analizowanym osadniku wydzielono 3 charakterystyczne strefy ułożone koncentrycznie w stosunku do miejsc zrzutu (ryc. 8, tab. IV).

Częsta zmiana miejsc zrzutu spowodowała, że występujące w poszczególnych strefach utwory analizowane w profilu pionowym wykształcone są jako naprzemianległe warstwy lub laminy zróżnicowane pod względem granulometrycznym. Niemniej jednak biorąc pod uwagę zespół cech litologicznych (ilość i rodzaj przewarstwień, wkładek, teksture) w każdej ze stref wydzielono charakterystyczne (dominujące) typy utworów. I tak: w strefie A — dominują utwory piaszczyste (typ I), w strefie AB — utwory pylaste (typ II), w strefie B — utwory gliniaste (typ III).

Różnice w wykształceniu w poszczególnych strefach wpływać będą na własności fizyczno-mecha-



Ryc. 7. Schemat klasyfikacji osadników.

Fig. 7. Scheme of sedimentary sewage reservoirs.

niczne utworów. Najważniejszym parametrem jest wilgotność osadu, bowiem jej wielkość bezpośrednio wpływa na parametry decydujące o stateczności skarp i możliwości zbierania osadu za pomocą maszyn itp. Dla utworów piaszczystych drugą cechą wiążącą jest również stopień zageszczenia.

Ogólnie biorąc w momencie zakończenia zapełniania osadnika, przy wysokich wilgotnościach utwory cechują się bardzo niskimi wartościami parametrów mechanicznych, niezależnie od ich litologii. Po zapełnieniu zbiornika osadem w wyniku sztucznego i naturalnego osuszania (odprowadzenie wód utrzymujących się nad osadem, infiltracja denną) następuje zróżnicowanie wilgotności osadów w poszczególnych strefach. Postęp osuszania zależy od zdolności filtracyjnych zdeponowanych utworów oraz utworów występujących w podłożu osadnika. Pomiar wilgotności utworów prowadzone w otworach nr 1—8 zlokalizowanych w strefie A i AB (ryc. 8) po czasie osuszania wynoszącym 3,5 i 15 miesięcy

Tabela V

Strefa	Czas osuszania (mies.)	Średnia wilgotność utworów (%)	Ciężar objętościowy T/m ³	Napężenie graniczne zredukowane σ_{gr} T/m ²	Wytrzymałość na ścinanie τ_{pr} T/m ²	Wysokość skarpy H m	Kąt nachylenia skarpy β (°)
AB	5	36,2	1,90	3,4	0,53	16	2°
	15	30,3	1,90	9,7	1,51		7°

(czas osuszania liczymy od momentu odprowadzenia wody wierzchniej przez mnichy) wykazały, że proces osuszania osadów w strefie A został praktycznie zakończony po upływie 5 miesięcy, natomiast w strefie AB obserwowano powolny spadek wilgotności w czasie.

Wysokie wilgotności utworów, szczególnie w strefie AB i B, utrzymujące się przez długie okresy, uniemożliwiają praktycznie wykonanie wierceń i pobór próbek do badań laboratoryjnych. Ponadto określenie cech mechanicznych osadu na próbkach o wysokich wilgotnościach za pomocą tradycyjnej metody badań jest niemożliwe. Dla ilościowego scharakteryzowania cech osadów zastosowano zatem terenowe metody badań: sondowania osadów sondą krzyżakową i badania presjometryczne.

Badania terenowe utworów osadnikowych przeprowadzono w otworach 1—8 (ryc. 8) po czasie osuszania 5 i 15 miesięcy. W wyniku przeprowadzonych badań terenowych stwierdzono, że w wydzielonych strefach osady różnią się stopniem zagęszczenia, wartością oporu na ścinanie i wielkościami naprężeń granicznych.

Badania prowadzone w odpowiednich odstępach czasu wykazały, że po upływie 5 miesięcy własności utworów piaszczystych w strefie brzeżnej praktycznie nie ulegają zmianie. Natomiast w strefie AB osady wykazują powolny wzrost wartości parametrów mechanicznych.

W oparciu o uzyskane wyniki badań presjometrycznych przeprowadzono obliczenia stateczności skarp oraz określono wielkości dopuszczalnych obciążeń osadów przez maszyny. Gdy klasyczne metody oceny stateczności opierają się na wynikach badań kąta tarcia wewnętrznego i spójności gruntów, to metoda presjometryczna wykorzystuje ogólną wytrzymałość na ścinanie, τ_{pr} określoną przez zależność empiryczną (2):

$$\tau_{pr} = \frac{p_1 - p_0}{2K_B}$$

gdzie:

p_1 — napężenie graniczne oznaczone w wyniku badań presjometrycznych,

p_0 — napężenie pierwotne poziome,

K_B — współczynnik zależny od składu granulometrycznego utworów i wytrzymałości strukturalnej określonej na podstawie badań presjometrycznych.

W analizie stateczności zboczy wykorzystano metodę Taylora (16) dla warunku, gdzie $\varphi = 0$. Analizę stateczności skarp przeprowadzono dla strefy przejściowej AB przyjmując następujące parametry (tab. V).

Z załączonej tabeli wynika, że w miarę upływu czasu w strefie AB następuje obniżenie wilgotności utworów, a tym samym poprawa własności mechanicznych i warunków stateczności.

LITERATURA

1. Cytowicz N. A. — *Mechanika gruntów*. Gosstrojizdat. 1951.
2. *Calcul des digues et remblais routiers*. Paryż, 1967.
3. Dubiel W. — *Badania nad własnościami i możliwością zastosowania wapna poflotacyjnego w rolnictwie*.
4. Furmański I. J. — *Nomogram do obliczania stateczności podłoża pod skarpami w kopalniach odkrywkowych i na zwałach*. Ochrona Terenów Górniczych, kwartalnik Kom. Ochrony Pow. przed Szkodami Górniczymi. Katowice, 1968, z. 6.
5. Jurgenson L. — *The application of theories of elasticity and plasticity to foundation problems*. Journ. of the Boston Society of Civil Engineers, Vol. XXI, No. 3, 1934.
6. Kawalec B. — *Własności fizyczno-mechaniczne drobnoskruszonych odpadów kopalnianych z punktu widzenia ich przydatności do robót inżynierskich*. Prz. gór. 1971, nr 1.
7. Kodecki S., Szczepańska J. — *Przydatność metody presjometrycznej do określania własności geologiczno-inżynierskich utworów osadnikowych na przykładzie osadnika kopalni Machów*. Techn. Poszuk. (w druku).
8. Krajewski R. i in. — *Zasady określania zagrożenia obiektów i urządzeń ze strony nadpoziomowych stawów osadowych oraz kierunki zapobiegania tego rodzaju zagrożeniom*. Ochrona Terenów gór. 1969, nr 10.
9. Krajewski R. i in. — *Badania dynamiki oddawania wody przez osady zdeponowane w zbiorniku poflotacyjnym Kombinatu SIARKO-POL i jej wpływu na parametry geologiczno-inżynierskie*. Arch. AGH. Kraków, 1970.
10. Masłow N. N. — *Przykładna mechanika gruntów*. Maszstroj zdat. Moskwa, 1949.
11. Masłow N. N. — *Usłowija ustojczivosti skłonnów i otkosów w gidrotechničeskom stroitelstwie*. Gosenergoizdat, Moskwa, 1955.
12. Motyka J., Szczepańska J., Witczak S. — *Zastosowanie wirówki do badania współczynnika odsączalności i dynamiki oddawania wody przez skałę*. Techn. Poszuk. 1971, z. 37.
13. Sobotka Z. — *Mezni stavy rovnovahy zemin*. Vyd. Slovenskej Akademie Vied., Bratislava, 1964.
14. Sokołowski W. W. — *Statyka ośrodków sypkich*. PWN Warszawa, 1958.
15. Szczepańska J. — *Geologiczno-inżynierskie własności utworów osadnikowych kopalni Machów*. Zesz. Nauk. AGH, Zesz. specj. 1969.
16. Tercagi M. K. — *Teoria mechaniki gruntów*. Moskwa, 1961.
17. Waluk J. — *Cechy fizyczne i mechaniczne popiołu z węgla brunatnego w zastosowaniu do transportu i zwałowania*. Praca doktorska. Pol. Wrocław, 1964.
18. Whitman R. — *Hydraulic fills to support structural loads*. J. Soil Mech. and Found. Div. 1970.

SUMMARY

Opencast exploitation of sulphur-bearing deposits raises some engineering-geological problems. Some of these problems are far from typical ones and demand introduction of new methods of designing and new solutions. Establishment of stability conditions of the substratum under waste heap and safe conditions of exploitation of sewage sedimentary reservoir deposits are one of such problems and are discussed in detail on the example of Machów opencast mine.

РЕЗЮМЕ

Разработка месторождения серы карьерным способом требует решения ряда проблем инженерно-геологического характера. Некоторые из них не входят в сферу типовых работ и требуют внедрения новых методов проектирования и проведения исследований. К таким проблемам относятся определения устойчивости основания под отвалами и условия безопасной эксплуатации отстойников. Перечисленные проблемы рассматриваются детально на примере месторождения Махув.