

ZABEZPIECZENIE SKARPY ZA POMOCĄ BUDOWLI ZIEMNEJ NA PRZYKŁADZIE ZWAŁOWISKA WEWNĘTRZNEGO KOP. „TURÓW”

Poważne niebezpieczeństwo w kopalniach odkryw-
kowych stwarza zachwianie równowagi skarp zwa-
łowisk, mogące doprowadzić w konsekwencji do czę-
ściowego lub całkowitego przerwania pracy kopalni.
W praktyce górnictwa odkrywkowego znane są tego
rodzaju przypadki i wynikające z nich duże trud-
ności ruchowe, tak np. w odkrywkowej kopalni węgla
brunatnego Plessa — NRD trudności w utrzymaniu
statecznej skarpy-zwału o wysokości 15—20 m do-
prowadziły do konieczności wycofania z ruchu mostu
przerzutowego przed ukończeniem eksploatacji złoża.

W kopalni „Turów” zachwianie równowagi skarp
spowodowało uruchomienie 3,5 mln³ zwałowanego
nadkładu, niszcząc dwa poziomy roboty i powodując
konieczność wstrzymania zwałowania wewnętrznego.

Przykłady powyższe opisujące wpływ zachwiania
równowagi skarp zwałowiska na prawidłową pracę
kopalni odkrywkowej podkreślają konieczność zwraca-
nia łobacznej uwagi na kwestię stateczności skarp-
zwałowisk wewnętrznych.

Zwałowisko wewnętrzne kopalni „Turów” rozciąga
się na północ od frontów eksploatacyjnych kopalni
i jest podzielone wypiętrzaniem pokładu węgla bru-
natnego na część zachodnią i na część wschodnią
z maksymalnym zagłębieniem 160 m npm.

Prowadzenie w pewnym okresie czasu nieprawidł-
owo rozplanowanego technicznie zwałowiska wewnętr-
znego oraz systemu zwałowania hydromechanicznego
(zwiększającego pojemność wody w porach zwałowa-
nych gruntów) doprowadziło w efekcie do trwałego
stanu zagrożenia. Zagrożenie to stanowi potencjalne
niebezpieczeństwo spływu, obsunięcia lub poślizgu
w zwale tak w jego wschodniej, jak i zachodniej
części.

Hipotezę o istnieniu stanu granicznej równowagi
potwierdziły pojawiające się szczeliny i spękania
(ryc. 1) w czerwcu 1966 r. w czasie próby zwałowa-
nia 30 000 m³ nadkładu w części wschodniej na poz.
240 m npm.

Dalsze obserwacje oraz analiza zmian wielkości
szczelin i spękań, które wystąpiły na poszczególnych
poziomach oraz dużego ich zasięgu pozwoliły wniosk-
ować o istnieniu zaawansowanego stadium powstania
osuwiska o powierzchni 16 ha i objętości około 4,8
mln m³ mas zwałowanego nadkładu. Osuwisko z po-
wodu bliskiej odległości od stałego punktu obrotu
wachlarzowego systemu eksploatacji mogło spowodo-
wać częściowe lub całkowite wstrzymanie pracy od-

UKD 624.131.537:622.12:622.271.4:622.332(436.262—202 kop. „Turów”)

działu wydobywczego, a zatem unieruchomienie całej
kopalni.

W szczególności osuwisko to zagrażało zniszcze-
niem.

a) stałego poziomu (200 m npm), po którym prze-
biega stała i równocześnie główna trasa transporto-
wanego węgla z kopalni do sortowni, brykietowni
i elektrowni (ryc. 2);

b) dolnej części pochylni z zainstalowanymi prze-
nośnikami taśmowymi przeznaczonymi do transportu
nadkładu z wyrobiska na zwaly zewnętrzne (ryc. 2);

c) części wylotowych chodników odwadniających
i rurociągu odprowadzającego wodę z rzepia kopalni
„Turów I” do rzeki Miedzianki, co w konsekwencji
doprowadziłoby do unieruchomienia całego systemu
odwadniania kopalni;

d) stałych poziomów roboczych zwałowiska wew-
nętrznego, a przeznaczonych dla budowy tras prze-
nośników nadkładowych i węglowych projektowanych
w związku z modernizacją kopalni po roku 1970.

1. FIZYCZNE I MECHANICZNE WŁASNOŚCI PODŁOŻA WŁAŚCIWEGO I NARUSZONEJ PARTII ZWAŁOWISKA

Analizując profile geologiczno-inżynierskie 7z, 8z,
9z, 12z wykonane przez Przedsiębiorstwo Geologicz-
no-Inżynierskie Kraków, opracowano roboczy przekrój
geologiczno-inżynierski (ryc. 3), na podstawie którego
można stwierdzić zaleganie następujących utworów:

a) podłoże właściwe, nachylone pod kątem 5° w
kierunku postępu robót, a wykształcone w postaci
trzciorzędowych łów o barwie ciemnoszarej do ciem-
nobrunatnej;

b) grunty zwałowe reprezentowane przez przepa-
lone ły o miąższości do 7 m oraz utwory ilaste
o zmiennej miąższości od 3—25 m, w których wystę-
pują nieregularnie rozmieszczone wkładki żwiru
i węgla brunatnego.

Rzędne terenu wahają się w granicach 184—248 m
npm, a rzędne podłoża właściwego od 180—184 m
npm. Ustabilizowane zwierciadło wody w wymienio-
nych otworach wiertniczych wynosiło odpowiednio:
0,1 m, 11,7 m, 12 m, 18 m, licząc od powierzchni
terenu.

Własności fizyko-mechaniczne utworów budują-
cych zwaly wewnętrzne części wschodniej zostały na
podstawie pobranych próbek z otworów wiertniczych
opracowane przez PGI, a uśrednione wyniki podano
w tabeli I i II.

Tabela I

WŁASNOŚCI FIZYKO-MECHANICZNE PODŁOŻA

Rodzaj gruntu	Wilgotność naturalna Wn%	Ciężar objęt. T/m ³	Kąt tarcia wewnętrz. stopnie	Spójność T/m ²	Granica plast. lp	Granica płyn. ly	Wskaźnik plastycz. Wp	Zawartość %	
								frakcji żwirowej piaskowej	pozostałe frakcje
il (podłoże własne)	33,6	1,76	26	4,6	36	52	16	15	85

Tabela II

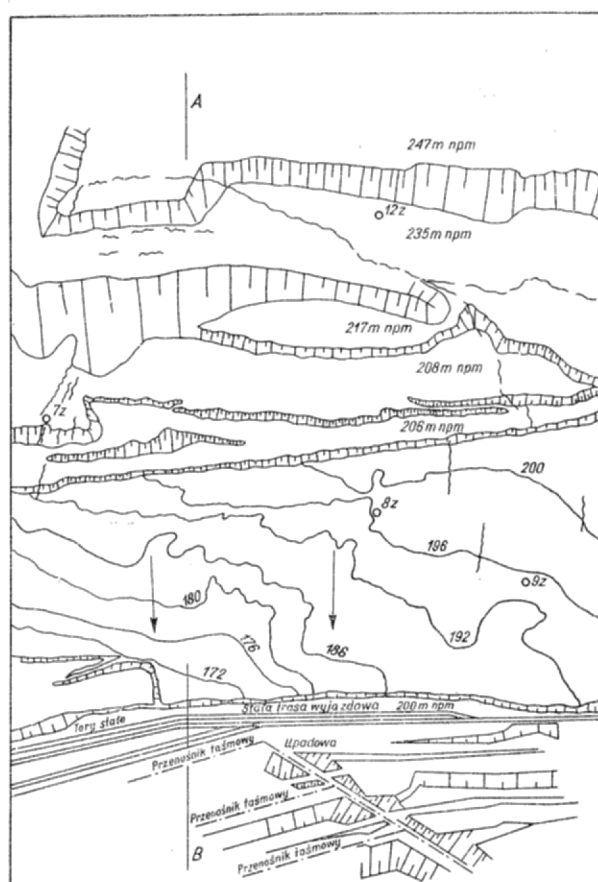
WŁASNOŚCI FIZYKO-MECHANICZNE ZWAŁOWANEGO W LATACH UBIEGŁYCH NADKŁADU

Rodzaj gruntu	Wilgo.n. natural. Wn %	Ciężar objęt. T/m ³	Kąt tarcia wewnętrz. stopnie	Spójność T/m ²	Granica plast. lp	Granica płyn. ly	Zawartość %	
							frakcja piaskowa żwirowa	pozostałe frakcje
il + węgiel + żwir (zwało- wany nadkład)	52,51	1,51	14°	3,1	30,47	61,35	19,2	80,8



Ryc. 1. Szczeliny i spękania w części wschodniej zwałowiska wewnętrznego (poz. 240).

Fig. 1. Fissures and cracks in the eastern part of an internal dump (level 240).

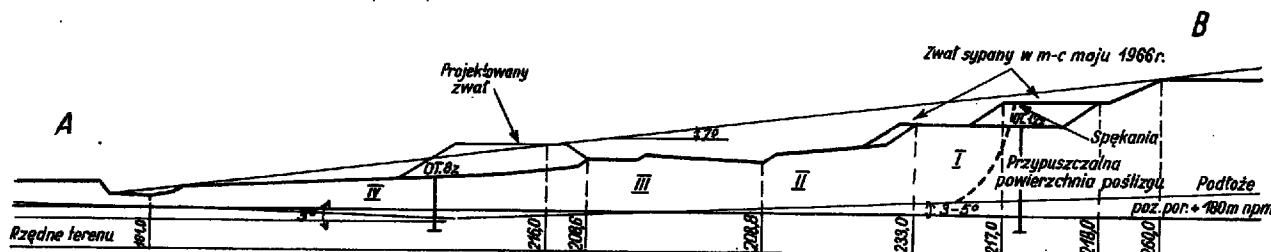


Ryc. 2. Schemat sytuacyjny zagrożonej partii zwałowiska.

Fig. 2. Situation scheme of the part of dump subject to sliding.

WYMAGANE WIELKOŚCI DO OBLICZEŃ

i = 1 i = 4	Jednostki	Graniastoslupy			
		I	II	III	IV
F ₁	m ²	900	5520	1640	2510
γ	$\frac{T}{m^3}$	1,51	1,51	1,51	1,51
Q _i	$\frac{T}{m^3}$	1351	8335,2	2476	3790
α ₁	stopnie	41°30'	5°	5°	(-3°)
l ₁	m	75	210	75	150
tgα ₁	—	0,1228	0,1228	0,1228	0,1228
sinα ₁	—	0,6626	0,0872	0,0872	0,0513
cosα ₁	—	0,749	0,9962	0,9962	0,9976
C	$\frac{T}{m^2}$	—	—	—	—



Ryc. 3. Przekrój geologiczny zagrożonej partii zwałowiska.

Fig. 3. Geological cross section of the part of dump subject to sliding.

2. OBLICZENIE STATECZNOŚCI SKARPY

Przyjęta metoda obliczeń równowagi skarpy opiera się na rozważaniach równowagi graniastoslupa (odłamu) o szerokości 1 m, podzielonego na elementarne graniastoslupy ślizgające się o ciężarach własnych $G_1 - G_n$. Skarpa pozostanie w równowadze, jeżeli zostaną spełnione warunki równowagi wyrażone równaniem:

$$\sum T - \sum N \operatorname{tg} \varrho - C \cdot l = 0 \quad (1)$$

gdzie:

- l — długość łuku poślizgu, m
- T — siły zsuwające odłamu, T
- ϱ — kąt tarcia wewnętrzznego w płaszczyźnie poślizgu, stopnie
- C — spójność w płaszczyźnie poślizgu, T/m²
- N — składowa normalna ciężaru, T

Równanie (1) odpowiada równowadze granicznej, tj. stanowi, w którym zanikome powiększenie zsuwających sił wywoła obsunięcie się partii gruntu. Zatem współczynnik bezpieczeństwa partii gruntu zagrożonych obsunięciem, tj. stosunek sumy sił utrzymujących do sumy sił zsuwających partię gruntu wynosi:

$$\eta = \frac{\sum N \operatorname{tg} \varrho + C \cdot l}{\sum T} \quad (2)$$

gdzie:

- $N = Q \cdot \cos \alpha$ — składowa normalna ciężaru elementarnego graniastoslupa, T
- $T = Q \cdot \sin \alpha$ — składowa zsuwająca element graniastoslupa, T
- α — kąt nachylenia elementarnej płaszczyzny poślizgu, stopnie,

przy czym stateczność będzie zabezpieczona przy spełnieniu warunku $\eta > 1$. Przy obliczeniach [1] przyjmuje się zwykle współczynnik bezpieczeństwa równy 1,1 — 1,5.

Stosowanie metody obliczeń opierającej się na rozważaniach równowagi graniastoslupa o szerokości 1 m powoduje przedstawienie płaszczyzny poślizgowej jako sumy geometrycznej płaszczyzn poślizgowych elementarnych graniastoslupów, na które skarpa została podzielona. W obliczeniach przekroje dzielące skarpe w ilości czterech (ryc. 3) zostały przeprowadzone w ten sposób, aby powierzchnia poślizgu u podstawy każdego elementu ślizgającego się mogła być przedstawiona w przybliżeniu jako płaszczyzna.

Na podstawie zaobserwowanych spękań i korelacji z roboczym przekrojem geologiczno-inżynierskim można stwierdzić z wystarczającą dokładnością, że płaszczyzny poślizgu elementów II, III i IV leżą na kontakcie zwałowanych gruntów z podłożem właściwym, wyjątek stanowi nachylenie płaszczyzny poślizgu elementarnego graniastoslupa I.

Kąt nachylenia płaszczyzny graniastoslupa I wyznaczono na podstawie analizy granicznego koła naprężeń ścinanych próbek gruntu, który jest równy

$$\alpha_1 = 45^\circ - \frac{\varrho}{2} \quad (3)$$

gdzie:

- α₁ — kąt nachylenia powierzchni poślizgu, stopnie
- ϱ — kąt tarcia wewnętrzznego, stopnie.

Znajomość położenia i kątów nachyleń elementarnych płaszczyzn poślizgu jednoznacznie określa położenie powierzchni poślizgu zagrożonej obsuwem partii zwałów. Obliczenie stateczności przy wiadomej powierzchni poślizgu sprowadza się do prostych obliczeń współczynnika bezpieczeństwa η według wzoru [2].

W tabeli III zestawiono wymagane wielkości, które po podstawieniu do wzoru [2] pozwoliły obliczyć wielkość współczynnika bezpieczeństwa. Współczynnik ten wynosi 1,68. Obliczony współczynnik bezpieczeństwa zapewnia stateczność praktycznie w tych przypadkach, gdy:

a) wartości kąta tarcia wewnętrzznego są wiarygodne (przy obliczeniach przyjmuje się wartości wyśredkowane);

b) cechy mechaniczne stwierdzone dla danego stanu nie ulegają zmianie w czasie. W rozważanym przy-

Tabela IV

WIELKOŚCI PARCIA ZSUWOWEGO
W POSZCZEGÓLNYCH PRZEKROJACH

	E_I (T)	E_{II} (T)	E_{III} (T)	E_{IV} (T)
Wielkość parcia zsuwowego	895,17	600,72	570,00	0

padku należy się liczyć z niekorzystną, samowolnie przebiegającą zmianą własności mechanicznych gruntów w czasie pod wpływem wód nasyconych CO_2 i kwasnym węglanem wapnia — $Ca(HCO_3)_2$;

c) utwory zalegające w zwałie nie wykazują spekania, którymi infiltruje w głąb górotworu woda opadowa wpływająca na zmianę obciążenia gruntów i fizyko-mechanicznych jego własności, w omawianym przypadku spekania jednak występują;

d) grunt nie jest poddawany drganiom, co również nie zachodzi, gdyż po poziomach odbywa się ruch pociągów nadkładowych o łącznym ciężarze 375 ton.

Powyższe obserwacje i teoretyczne rozważania świadczą, że w rozpatrywanym przypadku nie można uważać obliczeń jako miarodajnych dla oceny stanu równowagi skarpy. Zatem w celu likwidacji narastającego niebezpieczeństwa zaistniała konieczność dodatkowego zabezpieczenia skarpy.

Jedną z metod, która może być zastosowana jest metoda zabezpieczenia za pomocą budowli ziemnej. Wybór tej metody dyktowany był koniecznością jak najszybszej likwidacji niebezpieczeństwa przy jednoczesnym zagwarantowaniu pewności zabezpieczenia. Zaznaczyć jednak należy, że sposób ten z uwagi na charakter zawadzonego zwałowiska oraz układ techniczno-ruchowy nastroczał poważne trudności w praktycznej realizacji.

3. BUDOWLA ZIEMNA

3.1. Wybór miejsca do wykonania budowli

W celu wyboru najdogodniejszego miejsca dla zlokalizowania budowli podtrzymującej określono kolejno wielkość parcia zsuwowego (E) w poszczególnych przekrojach dzielących skarpy na cztery (I, II, III, IV) graniastosłupy (ryc. 2), rozpatrując warunki równowagi poszczególnych brył, tzn. biorąc sumę rzutów sił zewnętrznych na kierunek ruchu każdej bryły z uwzględnieniem ciśnienia od strony bryły sąsiednich. Dla ułatwienia określono wielkość ciśnienia zsuwowego pochodzącego od bryły I, następnie kolejno od II itd.

Wielkości parcia zsuwowego obliczone tą metodą w poszczególnych przekrojach podaje tabela IV. W oparciu o obliczone wielkości sporządzano wykres charakteryzujący rozkład parcia zsuwowego w profilu skarpy. Rozkład ten orientuje odnośnie wyboru najdogodniejszego miejsca do zlokalizowania budowli podtrzymującej. Miejsce to znajduje się w dolnej krawędzi skarpy (parcie zsuwowe równe zero). W pierwszym jednak okresie tworzenia budowli spełnienie tego warunku z powodów techniczno-ruchowych (niewystarczająca powierzchnia do manewru zwałowarką i budowy torów dojazdowych) było praktycznie bardzo trudne do realizacji, dlatego rozpoczęto wykonywanie budowli w miejscu odpowiadającym przekrojowi III (ryc. 2). Podejmując pewien element ryzyka (obsuw), który w miarę postępu robót był stopniowo eliminowany przez dokonywanie systematycznego wachlarzowego przesuwania torów, celem zbliżenia wykonywanej budowli do miejsca, w którym był spełniony warunek — minimalnej wartości parcia zsuwowego.

3.2. Wymiary geometryczne budowli

Minimalna szerokość budowli podtrzymującej wykonanej w kształcie nasypu o przekroju trapezowym wyznacza wzór:

$$b_{min} = \frac{E_{III} - \gamma_0 \cdot \text{tg } \rho \cdot h^2 \cdot \text{ctg } \alpha}{\text{tg } \rho \cdot \gamma \cdot h}$$

gdzie:

b_{min} — minimalna szerokość górnej krawędzi budowli ziemnej o przekroju trapezowym, m

$E_{III} = 570 \text{ T}$ — wielkość jednostkowej siły zsuwającej w miejscu zlokalizowania budowli podtrzymującej,

$\gamma_0 = 1,8 \frac{\text{T}}{\text{m}^3}$ — ciężar objętościowy gruntu, z którego wykonano budowlę,

$\rho = 7^\circ$ — kąt tarcia wewnętrznego w płaszczyźnie poślizgu,

$\alpha = 30^\circ$ — kąt nachylenia ściany budowli ziemnej,

$h = 20 \text{ m}$ — wysokość budowli przyjęto z uwagi na warunki wykonawstwa.

Podstawiając do wzoru [4] powyższe wartości otrzymano minimalną szerokość korony budowli podtrzymującej równą 110 m.

3.3. Sposób wykonania budowli

Do wykonania budowli użyto zwałowarki As-1120 o ciężarze 1050 T i długości wysięgnika zwałującego 59 200 mm, zwałując średnio na dobę 7200 m³ nadkładu.

Prowadzono system zwałowania umożliwiający osiągnięcie nachylenia kąta skarpy 20° przy wysokości 20 m. Wielkości te są przyjęte na podstawie analogii z osiąganymi kątami nachyleń zachodniej części zwałowiska oraz kontrolnych obliczeń metodą Masłowa polegającą na wyznaczaniu obszaru uplastycznienia podłoża. Osiągnięcie tych parametrów skarpy polegało na usypaniu budowli w dwóch fazach, a mianowicie:

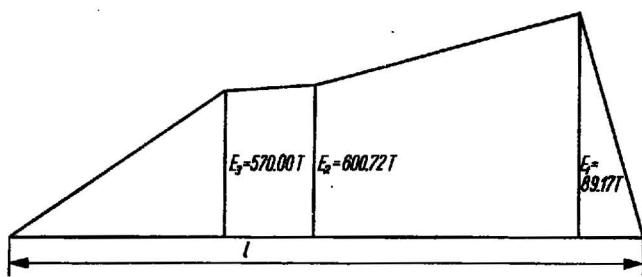
faza I — sypanie półki o wysokości 10 m, która następnie była poddana wyrównaniu i obniżeniu o około 1,5 m oraz zagęszczeniu spycharką produkcji radzieckiej S-100 (ciężar 14 T).

faza II — sypanie drugiej warstwy do wysokości rzędnej terenu 216 m npm przy zwężonej szerokości sypanego zwału (niepełne wykorzystanie obrotu wysięgnika zwałowarki) pozostawiając półkę o szerokości 15 m w połowie wysokości.

Wykluczano wariant pracy zwałowarki z nieruchomym wysięgnikiem zwałującym, aby nie dopuścić do możliwości powstania płaszczyzn poślizgowych na kontakcie gruntu o różnych własnościach geotechnicznych, a równoległych do osi torów dojazdowych.

Do wykonania wałów użyto gruntów o najkorzystniejszych własnościach geotechnicznych z zalegających w nadkładzie kopalni. Skład procentowy gruntów: żwir 91,6%, il 4,6% i glina 3,8%, przy czym nie zwałowano popiołów z elektrowni (spalającej węgiel brunatny), który nie podlegając procesowi mieszania z materiałem skalnym (transport kołowy) wpływa sprzyjająco na powstawanie płaszczyzn poślizgu na kontakcie ze skałami nadkładowymi oraz wykluczono ruch zwałowarki z pustymi czerpakami w miejscach zmiany kierunku ruchu (koniec rowu wyładunkowego), ponieważ w czasie pracy biegu jałowego największą część drgań maszyny udziela się gruntowi. W trakcie prowadzenia powyższych robót istniejące szczeliny oraz spekania na poziomie 240 m npm powiększyły się i po 40 dniach pionowe przesunięcie wynosiło 1,5 m, a poziome 0,8 m oraz wyciskanie podłoża.

Dla zapobiegania dalszym procesom deformacji na poziomie 240 m npm ograniczono ilość zwałowanego nadkładu do 4000 m³ na dobę oraz nie stosowano ciągłości zwałowania, przerywając zwałowanie na zmianach nocnych oraz w okresach intensywniejszych opadów atmosferycznych. Niezależnie od powyższego,



Ryc. 4. Wykres jednostkowego parcia zsuwowego.

Fig. 4. Diagram of unit slide pressure.

w celu zmniejszenia filtracji wody szczelinami w głąb zwałowiska w miarę możliwości uszczelniano większe szczeliny przez zasypywanie ich gruntem zwałowym za pomocą sypcharek. Dalsze roboty prowadzono zgodnie z zaleceniami usytuowania budowli podtrzymującej w dolnej krawędzi skarpy, przy czym nie zaobserwowano dalszych zmian deformacyjnych na poziomie 240 m npm.

4. UWAGI I WNIOSKI KOŃCOWE

1. Przyczyny wywołujące zjawiska ruchów mas skalnych w osuwiskach są na ogół bardzo różnorodne i skomplikowane. Dla określenia stołeczności istnieją różne metody obliczeniowe interpretujące to zjawisko o różnych warunkach. Metody te dają wystarczające dla celów praktycznych rozwiązania w przypadkach, gdy zjawisko przemieszczeń nie jest zaawansowane w stopniu, w którym występują szczeliny i spękania w skarpie. Natomiast w przypadkach, w jakich faza spękań i szczelin już wystąpiła wyniki obliczeniowe nie gwarantują przewidywanych skutków.

SUMMARY

The article presents a method of protecting escarpments subject to sliding (4.8 mill. m³), different from those so far applied in opencast mining. The difference here considered consists in the character of a dump and in the size and amount of the dumped earth mass. Physical and mechanical properties of the basement and of the dumped overburden are given; site, size and technique of construction of a protecting earth embankment are determined; and the individual steps of realization are established.

2. W przypadkach wątpliwych konieczne jest stosowanie dodatkowych środków zaradczych mających na celu zabezpieczenie przed zachwianiem równowagi w skarpie. W warunkach kopalń odkrywkowych przy dużych intensywnych robotach ziemnych celowe może być stosowanie jako zabezpieczenia przed osuwiskiem skarpy zwałowej specjalnej budowli ziemnej o odpowiednich parametrach geometrycznych.

3. Bardzo istotny dla prawidłowości przeznaczenia jest właściwy wybór miejsca posadowienia budowli. Zaznaczyć należy, że budowla powinna być posadowiona w miejscu, w którym wartość parcia zsuwowego jest minimalna. Warunek ten w górnictwie odkrywkowym (względny techniczno-ruchowy) może nastęrczać duże trudności, jak np. w rozpatrywanym przypadku kopalni „Turów”.

W związku z tym w niektórych przypadkach początkowa lokalizacja budowli jest możliwa w miejscu nie spełniającym warunku minimalnego parcia zsuwowego przy jednoczesnym jednak zachowaniu dodatkowych rygorów odnośnie wykonawstwa budowli (pkt 3.3) oraz stałym dążeniu w trakcie prowadzenia robót do końcowej lokalizacji budowli w miejscu spełniającym warunek minimalnego parcia zsuwowego.

LITERATURA

1. Cytowicz N. A. — Mechanika gruntów. Wyd. Geol., Warszawa 1958.
2. Martin — Erdstatische Berechnungen des Kippenboschungssystems auf der Grundlage der Rutschung im Tagebau Klettwitz am 9.2.1958. Bergbautechnik 11, 1961, H. 6.
3. Setkowicz A. — Zwałowisko K.G.E. „Turów”. Materiały na Konferencję Naukowo-Techniczną SITG — Koło przy K.G.E. „Turów”, 1965.
4. Sulima-Samujiło J. — Górnictwo odkrywkowe. Cz. II, PWN, Łódź 1961.

РЕЗЮМЕ

В статье описывается новый метод предохранения борта карьера от оползней (4,8 млн. куб. м). Новшество этого метода состоит в специфике отвала, характеризующегося определенными величиной и количеством пород в отвале. В статье приводятся физико-механические данные основания отвала и земляных масс в отвале, а также указываются место, величина и способ реализации предохраняющего земляного сооружения.