

GEOMORFOLOGICZNE ASPEKTY OCHRONY PRZED EROZJĄ ZBOCZY ZWAŁÓW KOPALNIANYCH

Henryk Chmal

Zakład Geomorfologii Instytutu Geograficznego Uniwersytetu Wrocławskiego
Kierownik: prof. dr A. Jahn

WSTĘP

Procesy erozyjne zachodzące na stromych zboczach zwałów kopalnianych stanowią najczęściej główne utrudnienia prac rekultywacyjnych. Znajomość ich jest więc nieodzowna dla właściwego zaplanowania i przeprowadzenia rekultywacji. Tak się jednak złożyło, że nie poświęcano im dotąd zbyt wiele uwagi. Prace z zakresu rekultywacji zwałów obejmują głównie problematykę stosunków wodnych, mikroklimatycznych, cech fizyczno-chemicznych materiału zwałowego, doboru roślinności; na temat erozji jest tylko kilka publikacji. Tymczasem w praktyce coraz więcej zwałów poddawanych jest rekultywacji. Stosuje się przy tym różne zabiegi przeciwerozyjne, których celowość jest często dyskusyjna.

Szeroko zakrojone badania zmierzające do wypracowania metod rekultywacji zwałów rozpoczęły się u nas w połowie lat pięćdziesiątych w ramach prac Komitetu PAN dla Spraw GOP [8]. W planie były wówczas również badania erozji [19], ale nie doczekały się realizacji, zresztą propozycja metodyczna dla tych badań nie była zupełnie właściwa [2]. Dopiero po kilkunastu latach, dzięki pracom Pulinowej [10, 11] i Repelewskiej-Pękałowej [12, 13] otrzymaliśmy wstępne rozeznanie istoty procesów denudacyjnych na zboczach dużych kopalń odkrywkowych. Jednocześnie na zwale w Piasecznie zaczęto pod kierunkiem S. Ziemnickiego doświadczenia nad skutecznością różnorodnych zabiegów przeciwerozyjnych [16, 17].

Niniejsza praca jest oparta na obserwacjach i pomiarach prowadzonych na 6 nieprzepalonych zwałach w Zagłębiu Górnosląskim w okresie wiosna 1974 — wiosna 1976. Celem badań było poznanie specyfiki procesów denudacyjnych zachodzących na zboczach zbudowanych z gruzu o przewadze frakcji żwirowej (żwirowo-piaszczystej, żwirowo-kamie-

nistej), przy czym zasadniczą uwagę zwrócono na proces spływów gruzowo-błotnych, który okazał się niemal wyłącznym czynnikiem rozwoju rynien erozyjnych. Uzyskane wyniki w powiązaniu z wynikami badań zwałów zbudowanych z materiału piaszczystego i ilastego [13] dają podstawę do syntetycznego spojrzenia na zagadnienie erozji na sztucznych zboczach usypiskowych. Podejmując próbę takiej syntezy zwrócono uwagę na zależność rozwoju procesów niszczących zbocza zwałów od czynników litologicznych, klimatycznych i morfologicznych. Znajomość tych warunkowań wydaje się niezbędna do właściwego planowania zabiegów przeciwerozyjnych.

OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA MATERIAŁU ZWAŁOWEGO I MORFOLOGII BADANYCH ZBOCZY

Po rekonesansie terenowym, w czasie którego poznano około 50 zwałów kopalnianych w Zagłębiu Górnosląskim (zorganizowano też 2 wycieczki na zwały ostrawsko-karwinskie) wybrano do obserwacji szczegółowych 10 zboczy znajdujących się w obrębie 6 kompleksów zwałów. W 4 wypadkach były to zwały górnictwa węgla kamiennego zbudowane z materiału nieprzepszonego, głównie z karbońskich łupków ilastych, ilasto-piaszczystych i piaskowców, lokalnie z niewielką domieszką żużli paleniskowych, piasku podsadzkowego, kawałków drewna i śmieci (zwały „Dymitrów”, „Nowy Wirek”, „Łagiewniki”, „Dębieńsko”). Dwa pozostałe zwały zbudowane były z triasowego dolomitu kruszonośnego. Jeden znajdował się przy dawnej kopalni rud cynkowo-ołowianych („Bolesław”) drugi zaś przy kamieniołomie — było to usypisko drobnofrakcyjnego odpadu powstającego po przesianiu urobku przez sita o oczku 25 mm („Dolomity”).

Skład mechaniczny materiału budującego poszczególne zwały przedstawiono w tabeli 1. W materiale tworzącym powierzchnię badanych zboczy dominowały okruchy o średnicy 2-25 mm. Zawartość szkieletu zwykle przekraczała 70%, natomiast udział cząstek spławialnych nie był większy od 3%, z wyjątkiem zwału „Łagiewniki”, gdzie w związku z szybkim wietrzeniem łupków ilastych cząstki o średnicy mniejszej od 0,02 mm stanowiły 9-21% składu.

Tak gruboziarnisty materiał był oczywiście dobrze przepuszczalny. Pomiarzy współczynnika filtracji wykonane w terenie metodą Kamińskiego dały wyniki mieszczące się w przedziale 0,6-75 cm/min., ale najczęściej uzyskiwano wartości rzędu kilkunastu cm/min. Drugą charakterystyczną cechą badanego materiału była bardzo słaba spójność. Opór ścinania mierzony w terenie ścinarką obrotową SO-1 w okresie topnienia śniegu wahał się w granicach 0,02-0,06 KG/cm². W okresach suchych był

Tabela 1

Cechy morfologiczne badanych zwałów oraz skład mechaniczny i wskaźniki filtracji budującego je materiału

Zwał (lokalizacja)	Charakterystyka zbocza						Zawartość cząstek o średnicy w mm				Wskaźnik filtracji cm/min	Cechy erozji	
	forma	wiek w la- tach	dlu- gość w m	eks- pozy- cja	>25	25-2	2-1	1-0,5	0,5- -0,1	0,1- -0,06			<0,06
Dymitrow (Bytom, ul. Zachodnia)	skarpa	1	38	SW	37	32	5	9	11	2	4	7,5	żłobiny w środku stoku, lokalnie rynny
	skarpa	5	38	SW	23	38	14	10	13	1	1	14,3	brak rozcięć
	skarpa	3	28	N	30	37	10	11	10	1	1	—	brak żłobin, lokalnie rynny
Nowy Wirek (Szyb Wsch., Ruda Śl.)	grzbiet	15	17	W	11	53	11	9	10	2	4	14,3	brak rozcięć
Łagiewniki (Bytom)	skarpa	4	15	S	12	30	8	10	14	5	21	4,3	żłobiny w środku stoku, zanikające
Bolesław (Bytom, ul. Topolowa)	grzbiet	106	30	SW	17	33	19	15	8	6	2	14,0—75,0	brak rozcięć
	skarpa	106	25	S	1	55	9	10	17	4	4	0,6—21,8	liczne rynny
Dolomity (Tarnowskie Góry)	skarpa	6	23	N	3	59	11	10	12	2	3	7,5	liczne żłobiny najgłębsze u podstawy
Dębińsko (Leszczyny)	kopuła	7	25	N	8	72	6	6	5	2	1	21,0	brak rozcięć
	stożek	35	120	S	1	39	21	21	12	2	4	—	drobne żłobiny w górnej części stoku, zanikające

Próby pobierano w górnych lub środkowych partiach zboczy. Nazwa zwału pochodzi od nazwy kopalni.

to materiał zupełnie pozbawiony spójności. Wyjątek stanowiło jedno ze zboczy zwału „Dolomity”, na powierzchni którego w czasie suszy tworzyła się skorupa (gruz ulegał cementacji).

W tabeli 1 przedstawiono też informacje o morfologii badanych zboczy. Każde z nich reprezentowało odmienny układ morfologiczny. Przy wyborze zboczy, dążono bowiem do zapewnienia sobie możliwości obserwacji pełnej gamy procesów denudacyjnych występujących na zwałach.

WARUNKI POGODOWE

Badane zwały znajdowały się w środkowej części Wyżyny Śląskiej charakteryzującej się rocznymi sumami opadów rzędu 770 mm. Taka właśnie jest średnia wieloletnia (1955-1973) dla Bytomia. Tymczasem w 1974 r. zanotowano w Bytomiu 968 mm a w 1975 r. — 852 mm opadu. Znamienny był rozkład opadów. Po długotrwałych okresach bezdeszczowych następowała zwykle seria burz przynoszących wysoki opad. Przykładowo w 1974 r. w ciągu 2 miesięcy (20.II-23.IV) spadło 5,9 mm, po czym w ciągu 2 tygodni 102,1 mm. Największe opady w obu latach odnotowano w czerwcu (a nie w lipcu) i były one o 72 i 94⁰/₀ większe od średnich wieloletnich tego miesiąca.

Zima 1973/74 była niemalże bezśnieżna. Suma opadu śniegu w czasie następnej zimy wynosiła 60,9 mm słupa wody, natomiast w okresie zimowym 1975/76 — 105,6 mm. Roztopy właściwie nie występowały. Jedynie 28 grudnia 1975 r. topnienie śniegu z trzydniowego opadu wynoszącego 12,7 mm słupa wody doprowadziło do przesylenia wierzchniej warstwy gruntu wodą, bowiem na głębokości od kilku do kilkunastu centymetrów utrzymywała się zmarzlina. Ogólnie w okresach zimowych więcej było dni z deszczem niż ze śniegiem. W omawianym okresie warunki pogodowe wyjątkowo sprzyjały erozji wodnej. Niszcząca działalność wody rozpoczęła się wcześniej niż zwykle i z większym natężeniem.

Na osobną uwagę zasługuje ulewny deszcz z 22.VI.1975 r. o natężeniu prawdopodobnie nie notowanym dotąd na ziemiach polskich. W Tarnowskich Górach w pobliżu zwału „Dolomity” w ciągu ok. 30 minut opad wyniósł 86,3 mm. W tym samym czasie w Bytomiu spadło 49,9 mm deszczu. Ulewa ta miała duże znaczenie geomorfologiczne.

METODY BADAŃ

Przeobrażenia zboczy pod wpływem procesów denudacyjnych odnotowywano dzięki powtarzaniu zdjęć fotograficznych. Powtarzano też bezpośrednie pomiary wybranych rozcięć erozyjnych. Bilans denudacyjny zboczy i intensywność denudacji określono za pomocą stalowych prętów

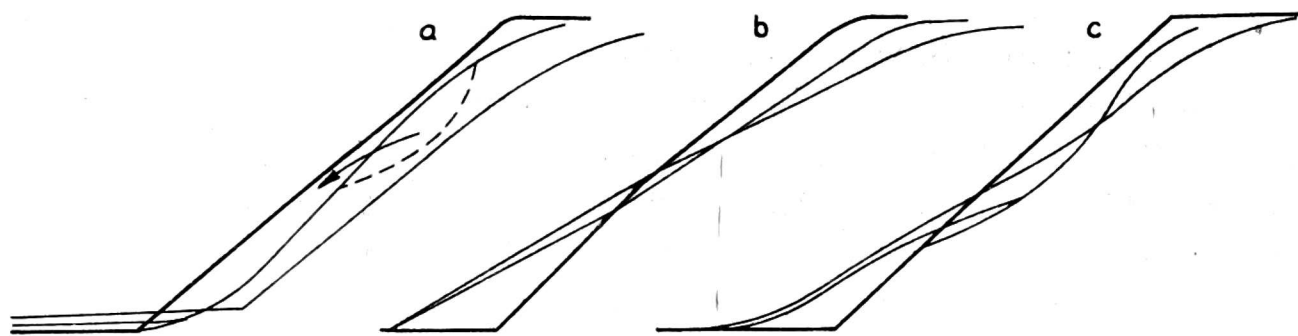
o długości ok. 1 m wbijanych całkowicie w grunt. Ponadto intensywność denudacji określono dzięki pomiarom stożków akumulacyjnych, a także drogą analizy przekrojów zboczy odsłaniających się w związku z rozbiórką niektórych zwałów. Dla wyjaśnienia genezy rynien erozyjnych przeprowadzono eksperyment polowy polegający na kontrolowanym rozcinaniu zbocza wodą doprowadzoną na wierzchowinę z hydrantu kopalnianego. Lejąc wodę na górną krawędź zbocza wytworzono 12 rynien o objętości od 0,693 do 35,290 m³.

KLASYFIKACJA EROZYJNA ZBOCZY

Na zwałach wyróżnić można za Chwastkiem [3] dwa rodzaje rozcięć erozyjnych. Pierwszy, to rozcięcia powstające pod wpływem wody deszczowej, której receptorem jest tylko zbocze zwału — najpowszechniej określa się je mianem żłobin. Drugi, to formy powstające na skutek alimentacji wody na wierzchowinie zwału. Przyjęto dla nich nazwę rynny erozyjne. O wystąpieniu w danym miejscu erozji rynnowej mogą zdecydować czynniki przypadkowe (np. sposób uformowania wierzchowiny), natomiast rozwój żłobin jest ściśle uzależniony od właściwości materiału zwałowego i parametrów profilu podłużnego i poprzecznego zbocza. Dlatego klasyfikację erozyjną zboczy zwałów należy przeprowadzić w oparciu o analizę cech erozji żłobinowej.

Zbocza poddające się erozji żłobinowej

Żłobiny nie występują na każdym zboczu. Na grubofrakcyjnych zboczach zwałów górnictwa węgla kamiennego w większości wypadków brak jest tego typu rozcięć. Ogólnie wiadomo, że aby powstała żłobina musi wcześniej dojść do spływu powierzchniowego. Nie jest to regułą absolutną, ale na razie pominiemy pewne wypadki szczególne. Jeżeli możliwości filtracyjne materiału zwałowego nie są na tyle duże, by opad deszczowy mógł być w całości wchłonięty, wówczas ilość spływającej po stoku wody zwiększa się. W efekcie żłobiny zwiększają swe wymiary i dopiero u samej podstawy zbocza, na skutek podparcia hydraulicznego nieco się spływają i zwężają. Zatem początkowo zbocze, na którym występuje erozja żłobinowa, najsilniej jest niszczone w dolnej partii a akumulacja odbywa się poza podstawą zwału, w formie płaskich, rozległych stożków napływowych. Nachylenie zbocza zwału jest bliskie kątowi naturalnego zsyphu i dlatego po pewnym czasie dochodzi do podcięcia i w wyższych partiach muszą wystąpić ruchy masowe zmierzające do przywrócenia zachwianej równowagi grawitacyjnej (rys. 1). Tak więc dochodzimy do wniosku, że zbocze poddające się erozji żłobinowej cofa się równolegle.

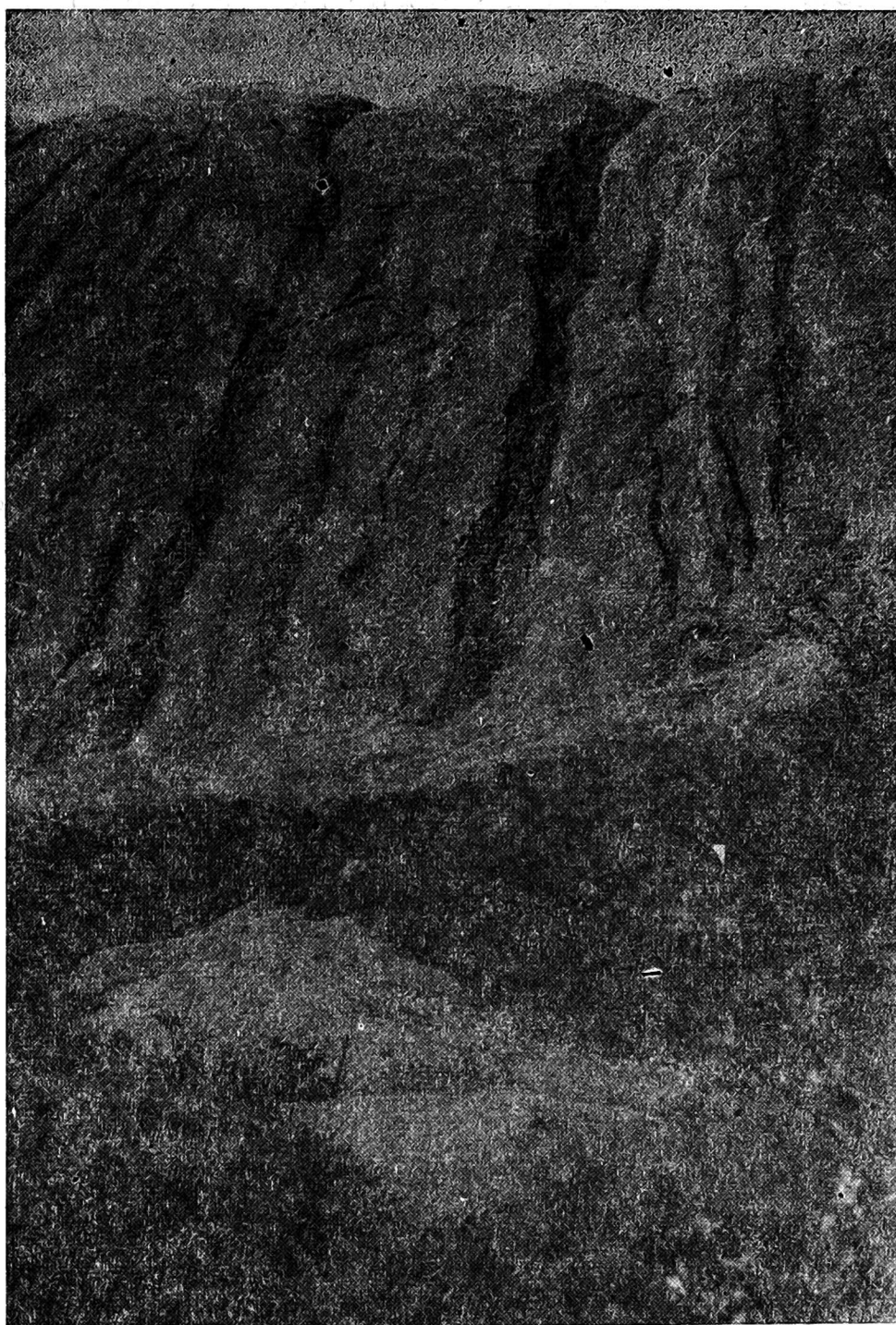


Rys. 1. Schemat rozwoju zboczy

a — poddających się erozji żłobinowej, *b* — nie poddających się erozji żłobinowej,
c — z zanikającą erozją żłobinową



Rys. 2. Zbocze zwału „Dolomity” po ulewnym deszczu w lecie 1975 r. Erozja żłobinowa niszczy dolną część stoku. Forma akumulacyjna u podnóża zwału powstała na skutek upłynnienia się pakietu gruzu w miejscu niewidocznym na zdjęciu (z prawej strony). Fot. H. Chmal



Rys. 3. Zbocze zwału „Dolomity” w kwietniu 1976 r. Powierzchniowe ruchy masowe w górnej części zbocza przywracają równowagę grawitacyjną zachwianą przez erozję żłobinową. Fot. H. Chmal

Omawiany typ reprezentowało jedno ze zboczy zwału „Dolomity” (rys. 2 i 3). W czasie letnich opadów zachodziło na nim bądź spłukiwanie (jeżeli przed deszczem materiał wysechł i uległ scementowaniu), bądź cieczenie gruzu w liniach rozcięć (gdy materiał był wilgotny i rozluźniony). W zimie i wczesną wiosną ujawniały się w głównych partiach ruchy masowe w rodzaju płytkich osunięć i powolnego spływania nawodnionego materiału. W rejonie najsilniej porozcinanym wybrano pas o szerokości 6,5 m i zmierzono na nim objętość wszystkich żłobin. Zbocze liczyło w tym miejscu 6 lat. Żłobiny były już w pełni dojrzałe, ale grędy między-

żłobinowe jeszcze nie zniszczone. Okazało się, że średnio w ciągu roku zdzierana była taka ilość materiału, która po równomiernym rozłożeniu dałaby warstwę 1,73 cm. Jest to wartość wysoka ale pamiętać trzeba, że charakteryzuje ona intensywność erozji w okresie formowania się żłobin. W czasie badań wynoszenie materiału ze żłobin było niewielkie.

Zbocza nie poddające się erozji żłobinowej

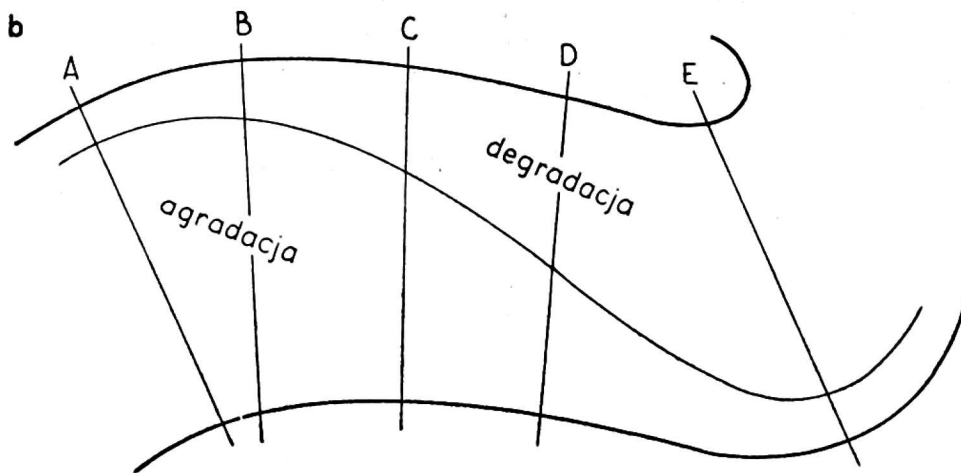
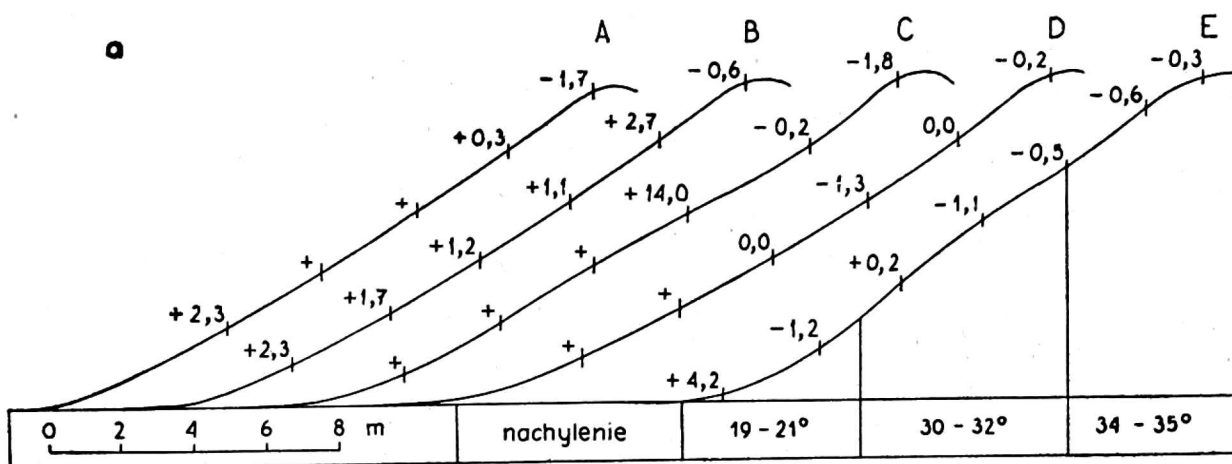
Zbocza, na których nie dochodzi do spływu powierzchniowego niszczone są głównie na skutek osypywania się materiału pod uderzeniami kropeł deszczu (rozprysk), w wyniku zmian temperatury, wilgotności i działania wiatru. Ponadto drobny materiał jest wmywany w głąb zwału. Na takich zboczach mogą utworzyć się tylko rynny erozyjne, natomiast



Rys. 4. Zbocze zwału „Dymitrow” nie poddające się erozji żłobinowej, po ulewnym deszczu w lecie 1975 r. Drobny gruz osypujący się pod wpływem uderzeń kropeł deszczu zniwelował lokalne nierówności. Fot. H. Chmal

żłobiny nie powstają nawet w czasie najbardziej ulewnego deszczu. Zachodzi w tym względzie nawet reakcja odwrotna — intensywny deszcz powoduje wyrównywanie powierzchni zbocza, bowiem osypujący się (bombardowany przez krople wody) materiał niweluje wszelkie nierówności (rys. 4).

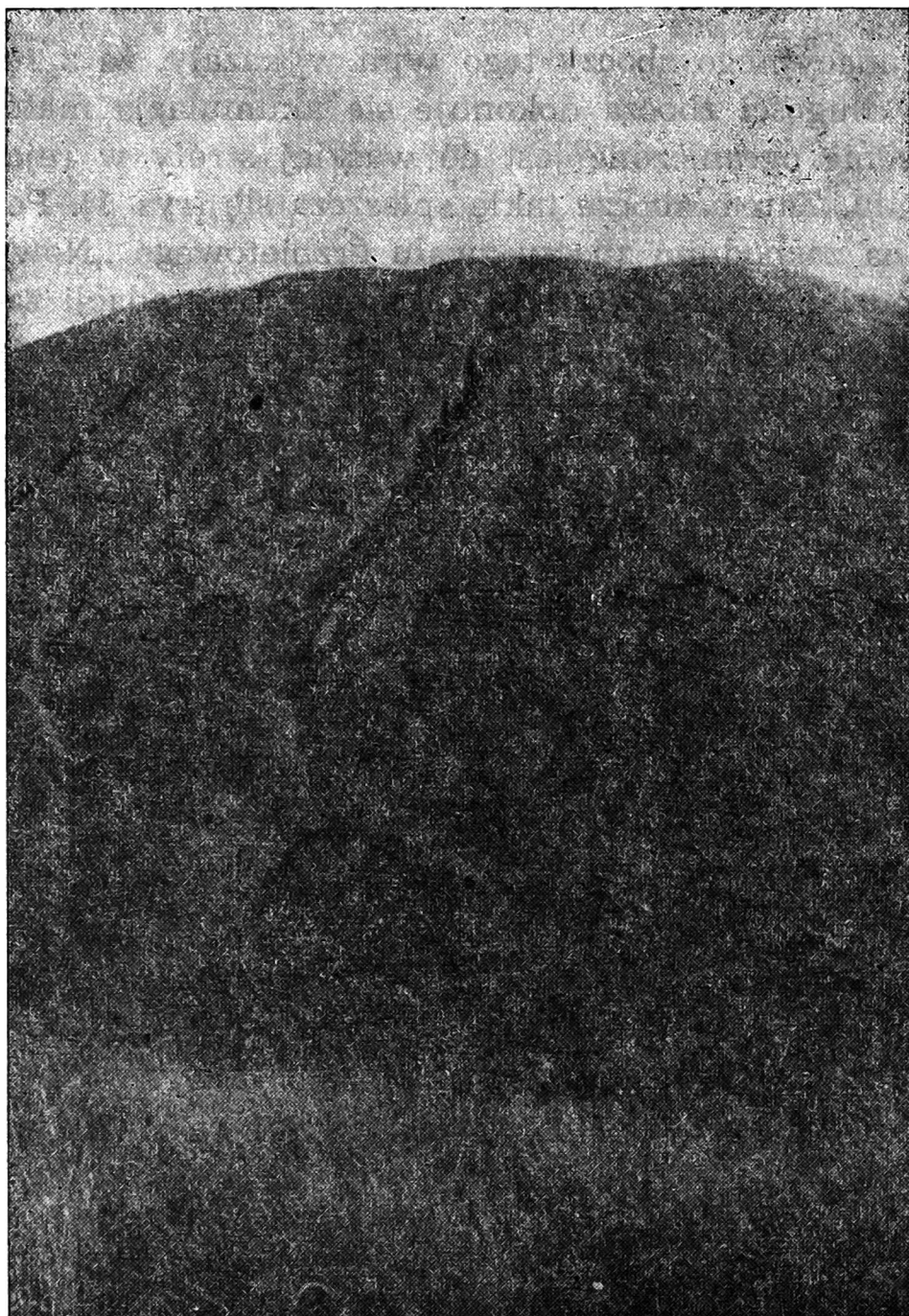
Badania bilansu denudacyjnego zboczy tego typu wykazały, że z reguły na ponad połowie długości zbocza dokonuje się akumulacja materiału, a właściwe niszczenie ograniczone jest do wąskiej strefy w rejonie górnej krawędzi zwału. Zatem zbocze takie spłaszcza się (rys. 1). Pomiarzy przeprowadzone na zachodnim zboczu zwału grzbietowego „Nowy Wirek” wykazały, że podział zbocza na strefę degradacji i agradacji zależy od jego profilu poprzecznego (rys. 5). Na stoku zbieżnym odcinek, na którym dokonywała się akumulacja był zdecydowanie dłuższy od odcinka, na którym zachodziła erozja. Na stoku rozbieżnym relacje te były odwrotne. Potwierdziła się tym samym słuszność założeń de Ploeya [4]. Trzeba jednak zaznaczyć, że powyższa zasada dotyczy tylko stoków sil-



Rys. 5. Profile zbocza zwału grzbietowego „Nowy Wirek”

a — zaznaczono rozmiary odsłonięcia (—) lub zasypania (+) stalowych prętów w okresie wiosna 1974 r. — wiosna 1976 r. b — pdział zbocza na strefę degradacji i agradacji

nie rozbieżnych. Jeżeli owal zbocza nie jest zbyt duży, strefa agradacyjna jest większa od strefy degradacji, co stwierdzono m. in. na północno-zachodnim zboczu zwału „Dolomity” (rys. 6).



Rys. 6. Zbocze zwału „Dolomity”. Z lewej strony zanikająca erozja żłobinowa — akumulacja odbywa się na $\frac{1}{3}$ długości zbocza; z prawej strony zbocze nie poddające się erozji żłobinowej — około $\frac{2}{3}$ jego długości przypada na strefę akumulacji.

Fot. H. Chmal

Wielkość denudacji zboczy nie poddających się erozji żłobinowej jest stosunkowo mała. Na 5 różnych zboczach tego typu uzyskano dla rejonu górnej krawędzi wyniki mieszczące się w przedziale 0,5-0,9 cm rocznie.

Dodać jeszcze należy, że w przypadku zwałów górnictwa głębinowego, na zboczach o występującej w dolnej części okrywie z głazów, rysuje się często tendencja do rozdziału stoku na dwie części. Dzięki prętom stalowym wbitym na północnym zboczu zwału „Dymitrow” ustalono, że okrywa głazowa tworzy lokalną podstawę denudacyjną. Powyżej niej

rozwój zbocza przebiega w sposób typowy, czyli dzieli się ono na strefę akumulacji i erozji, natomiast w obrębie okrywy zachodzi tylko wmywanie drobnego materiału w głąb zwału.

Zbocza z zanikającą erozją żłobinową

Między opisanymi dwoma typami zboczy wyróżnić można typ pośredni. Na pewnych zboczach żłobiny tworzą się tylko w środkowej części w czasie silnych deszczów i okresowo zanikają. Niedostatek wody sprawia, że nie osiągają one podstawy zwału. Niszczenie takiego zbocza jest oczywiście najsilniejsze w strefie środkowej, słabsze w górnej a w dolnej zachodzi akumulacja (rys. 1, 6).

Intensywność denudacji mierzona na zwale „Łagiewniki” nie przekroczyła nigdzie 1,2 cm rocznie a średnio dla rejonu obnażanego wyniosła 0,4 cm rocznie. Strefa erozji żłobinowej z biegiem czasu kurczy się, bowiem od dołu rozwija się strefa akumulacji a ponadto dlatego, iż materiał staje się coraz bardziej wodochłonny w związku z wypłukiwaniem drobnych frakcji. Większość zboczy zwałów górnictwa węgla kamiennego początkowo podlega procesowi żłobienia w środkowej części a po kilku latach erozja tego typu zanika i rozwijają się one według schematu poprzednio opisanego. Tylko wówczas, gdy wietrzenie łupków ilastych rekompensuje ubytek drobnych frakcji zanik erozji żłobinowej może być powolny. Końcowy etap kurczenia się strefy erozji żłobinowej stwierdzono na zwale stożkowym „Dębieńsko”. Zbocze tego zwału długości ok. 120 m w 4/5 stanowiło strefę akumulacji i było zarośnięte trzcinnikiem. Drobne żłobiny powstawały w czasie silniejszych deszczów w odległości 16-18 m od wierzchołka, co w ciągu roku dało wielkość denudacji rzędu 0,7 cm. Sam rejon wierzchołka obnażony był w stopniu tak małym, że nie udało się tego zmierzyć.

ROZWÓJ RYNIEN I ŻŁOBIN

Powstawaniem rozcięć erozyjnych na każdym z wyróżnionych typów zboczy rządzą inne procesy. Jak wykazały prace eksperymentalne przeprowadzone na południowym zboczu zwału „Dymitrow” będącym przykładem zbocza nie poddającego się erozji żłobinowej, rynny powstają niemal wyłącznie na skutek upłynniania się materiału zwałowego. Typowa rynna rozwija się pod wpływem wody zbierającej się na wierzchowinie i docierającej do krawędzi zbocza, ale woda ta nie płynie po powierzchni gruntu, lecz tylko przepaja go i w efekcie inicjuje się spływ gruzowo-błotny. Początkowo zachodzi tylko osypywanie się okruchów wzdłuż pewnej linii, potem występuje powierzchniowe upłynnianie się

gruzu. Gdy dzięki temu rozcięcie osiągnie głębokość kilkudziesięciu cm, zaczyna się w obrębie górnej krawędzi osuwanie na dno rozcięcia i upłynnianie pakietów materiału skalnego. Proces ten jest cykliczny — fazy upłynniania się gruzu i schodzenia potoków rozdzielane są fazami chłonięcia wody przez materiał zwałowy.

Eksperyment wykazał, że spływ gruzowo-błotny może zachodzić przy stosunkowo niewielkiej ilości wody (tab. 2). W jednym wypadku

Tabela 2

Relacje między ilością wody wylanej na zbocze a objętością wytworzonych rynien erozyjnych

Nr rynny	Wypływ l/sek	Ilość wylanej wody (Q) m	Objętość rynny (V) m ³	$Q:V$	Uwagi
2	1,2	0,864	1,880	1:2,2	w dnie rozcięcia
3	4,0	3,600	18,320	1:5,1	
4	4,0	8,160	18,020	1:2,2	
5	0,2	0,120	0,765	1:6,4	
6	4,5	4,860	35,290	1:7,3	
7	1,0	0,320	0,566	1:1,8	
8	3,0	2,340	1,491	1:0,6	w dnie rozcięcia
9	4,0	2,360	3,894	1:1,6	
10	1,0	0,690	0,693	1:1,0	
11	1 i 2,0	1,260	3,243	1:2,6	dwa źródła
12	4,0	10,800	1,146	1:0,1	w dnie rozcięcia

Rynna nr 2 wytworzona została w materiale wysypanym przed rokiem a następne w coraz to starszym, w ostatnim przypadku w pięcioletnim.

wystarczyło doprowadzić w rejon krawędzi 4,86 m³ wody w ciągu 17 min., aby powstała rynna o objętości 35,29 m³ (V wody = 13,8%). Spływ gruzowo-błotny zachodzący przy tak niewielkiej ilości wody znany jest z literatury jako mura sucha, strukturalna, związana [6, 9, 14]. Jak wynika z danych zamieszczonych w tabeli 2 spływ tego typu obserwowano wytwarzając sztuczne rynny (nr 3, 5, 6). Za najbardziej charakterystyczne jego cechy można uznać pozorną kohezyjność przemieszczającej się masy i poprzeczną w stosunku do kierunku ruchu orientację wrzecionowatych okruchów skalnych. W trakcie sztucznego formowania rynien nr 2, 4, 7, 9, 11 obserwowano spływ gruzu typu mury mokrej nie związanej — udział wody w poruszającej się masie wynosił 38,9-60,6%. Rozwój rynien nr 8 i 10 dokonywał się już częściowo na skutek splukiwania, natomiast rozwój rynny nr 12 niemal wyłącznie poprzez splukiwanie. Zaznaczyć jednak należy, iż dany typ transportu łatwo może przejść w inny, bowiem szybkość infiltracji wody jak i prędkość przemieszczania się gruzu ulegają ciągłym zmianom.



Rys. 7. Rynna powstała na zboczu zwału „Dymitrow” w czasie ulewnego deszczu. U-kształtny profil i widoczny na pierwszym planie wał przykorytowy świadczą o przemieszczaniu się dużego pakietu upłynnionego gruzu. Fot. H. Chmał

Młode rynny erozyjne na zboczach nie poddających się erozji żłobinowej posiadają następujące cechy morfologiczne: z biegiem stoku w dół są coraz węższe i płytsze, w przekroju poprzecznym są U-kształtne, w dolnych odcinkach bywają otoczone wałami przykorytowymi, najczęściej nie osiagają podstawy zwału, a więc wychodzące z nich stożki akumulacyjne leżą w obrębie stoku (rys. 7).

Pomiary rynien sztucznych i naturalnych wykazały, że formy te ulegają zatarciu na skutek postępującego od dołu zasypywania den gruzem i spłaszczania się ścianek bocznych (tab. 3). Tylko rynny mające doprowadzenie wody wyraźnym rowem mogą zostać odmłodzone. Zanik rynien jest wyrazem ogólnej tendencji wyrównywania stoku przez czynniki denudacyjne.

Inicjacja żłobin i rynien na zboczach z zanikającą erozją żłobinową także wiąże się z upłynnianiem gruzu, lecz gdy dzięki temu powstanie już pewne rozcięcie, może ujawnić się w jego dnie proces spłukiwania. Natomiast na zboczach 1 typu właśnie spłukiwanie jest głównym czynnikiem erozji liniowej, a spływy gruzowo-błotne są małych rozmiarów i występują sporadycznie (np. w czasie roztopów lub po nagromadzeniu się większej ilości luźnego materiału w dnach rozcięć).

Tabela 3

Przykładowe wyniki pomiarów dwóch sztucznych rynien erozyjnych, bezpośrednio po wytworzeniu (A) i w 11 miesięcy później (B)

a — szerokość górna w cm, b — szerokość dna, h — głębokość w cm

Długość m	Rynna nr 4						Rynna nr 6					
	a		b		h		a		b		h	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
2	145	202	106	99	90	55	324	336	185	235	114	77
4	181	196	129	94	96	68	205	274	79	96	93	84
14	102	115	33	70	60	28	142	224	76	78	71	53
24	—	—	—	—	—	—	176	236	74	114	68	30
28	79	126	52	87	26	5	—	—	—	—	—	—

Rola ulewnych deszczów

Ulewny deszcz z 22.VI 1975 r. o natężeniu 49,9-86,3 mm/30 min spowodował na zwale „Dymitrow” powstanie 7 rynien o takich samych cechach, jakie miały rynny sztucznie wytworzone. Analiza morfologii stożków akumulacyjnych wychodzących z tych rynien nasunęła wniosek, że w 3 wypadkach nastąpiło jednorazowe zejście lawiny gruzowo-błotnej, a w pozostałych 2-4 krotnie, a więc upływanie zachodziło cyklicznie — rozdzielane było okresami chłonięcia wody przez materiał zwałowy. Wszystkie rynny powstały w miejscach, w których między płaszczyzną stołową a zboczem istniała wyraźna krawędź a ukształtowanie samej płaszczyzny sprzyjało zbieraniu się wody opadowej. W czterech przypadkach woda zbierała się między torami czynnej kolejki biegnącej wzdłuż krawędzi zwału, w trzech zaś w nieznacznych zakłębłościach wierzchowiny. Każdorazowo rozcięcie krawędzi miało podobne rozmiary. Maksymalna szerokość największej rynny wynosiła 347 cm a głębokość 147 cm. Rynny te od góry zasypano, co po 2 latach można było ocenić jako dobre rozwiązanie — erozja nie ponowiła się w tych miejscach. Zbocza zwału „Dymitrow” nie były podatne na erozję żłobinową — w strefach międzyrynnowych zachodziło osypywanie się okruchów, w przewodzie frakcji drobnego żwiru. Jedynie w materiale świeżo wysypanym, a więc jeszcze nie przepłukanym, powstały (w środkowej części zbocza) nieregularne żłobiny głębokości od kilku do kilkunastu centymetrów.

Na zwale „Łagiewniki” reprezentującym typ zbocza z zanikającą erozją żłobinową ulewa spowodowała tylko oczyszczenie zasypanych żłobin, nie zostały one pogłębione. Morfologiczne skutki ulewy były tu niewielkie.

Bardziej istotne wnioski odnośnie roli ulewnych deszczów w niszczeniu zboczy zwałów uzyskano na zwale „Bolesław”. Południowe zbocze

tego zwału składało się z dwóch części. U góry złożony był materiał drobniejszy, słabo przepuszczalny (wskaźnik filtracji nie przekraczał 1 cm/min), natomiast dolną część zwału stanowił drobny gruz łatwo chłonący wodę (wskaźnik filtracji dochodził do 21,8 cm/min.). Obie części rozdzielała niegdyś mała terasa o szerokości 1,5-2 m, która w ciągu 106 lat istnienia zwału została niemal całkowicie zniszczona. Woda spływająca powierzchniowo po górnej części zbocza na terasie tej koncentrowała się i wywoływała erozję rynnową (rys. 8). Po zmierzeniu objętości



Rys. 8. Zbocze zwału „Bolesław”. Na dnach rynien zachodzi akumulacja, co zaznacza się naturalną sukcesją roślinności. Fot. H. Chmal

stożka wychodzącego z największej rynny stwierdzono, że roczne obniżanie wybranego rejonu wynosiło 1,22 cm. W czasie ulewy w obrębie tego rozcięcia wystąpiła erozja żłobinowa, a gruz wyniesiony ze żłobin w postaci upłynnionej osadził się na stożku. Ilość osadzonego gruzu odpowiadała obniżeniu części erozyjnej o 1,67 cm. W ciągu 2-letniej obserwacji omawianego zbocza tylko ten jeden raz zanotowano przyrost stożków. Można więc wnioskować, że jego dość bogata morfologia erozyjna to niemal wyłącznie efekt ulewnych deszczów.

Na zboczu zwału „Dolomity” (poddającym się erozji żłobinowej) skutki ulewy również były wyraźne. W wyniku intensywnego spłukiwania istnieje

jące wcześniej młode, kilkunastocentymetrowych rozmiarów żłobiny pogłębiły się tak, że ścianki ich uprzednio V-kształtne stały się niemal pionowe. Ilość materiału wyniesionego ze żłobin odpowiadała średniorocznej wielkości denudacji zbocza (1,75 cm). Natomiast w rynnach, które były już wcześniej w pełni dojrzałe (głębokość ich dochodziła do 50 cm) przegłębienie okazało się niewielkie, rzędu kilku centymetrów. Duży, jednorazowy spływ gruzu wystąpił w miejscu, gdzie omawiane zbocze graniczyło ze zboczem nie poddającym się erozji żłobinowej (rys. 2).

WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych obserwacji nasuwają się pewne wnioski odnośnie planowania zabiegów przeciwoerozyjnych.

1. Przystępując do rekultywacji danego zbocza przede wszystkim należy rozpoznać jaki reprezentuje ono typ erozyjny. Zalecane do powszechnego stosowania [5] zabiegi ochronne w rodzaju terasowania, płotkowania za pomocą wikliny lub rdestu, wykonywania wąskich ław, mocowania kiszek faszynowych itp. mają uzasadnienie tylko na zboczach, które na całej długości objęte są erozją żłobinową. Zbocza takie wśród zwałów kopalnianych są nieliczne. Najczęściej spotyka się zbocza nie poddające się erozji żłobinowej lub z erozją zanikającą. Na jednych i drugich występuje strefa akumulacji, która niejednokrotnie jest większa od strefy obnażanej (zresztą niezbyt groźnie, bo w granicach 0,5—0,9 cm rocznie). W związku z tym wymienione zabiegi z punktu widzenia walki z erozją nie wydają się potrzebne; mogą one nawet wywołać silną erozję liniową, bowiem na omawianego typu zboczach wszelkie progi są miejscem inicjacji spływów gruzowo-błotnych. Osobnym natomiast zagadnieniem jest znaczenie teras lub ław dla poprawy właściwości mikrobiologicznych, fizycznych i chemicznych materiału [17, 18].

W świetle poczynionych obserwacji na zboczach nie poddających się erozji żłobinowej, a częstokroć także na zboczach z erozją zanikającą, ruch materiału pod wpływem wody, wiatru i siły grawitacji nie stanowi zbyt dużego zagrożenia dla wprowadzonej roślinności. W pewnym sensie potwierdzają to coraz liczniejsze ostatnio doniesienia o udanych próbach sadzenia drzew bezpośrednio do materiału zwałowego, bez żadnych zabiegów ochronnych. Próba taka udała się między innymi na badanym zwale „Dębieńsko”.

Powyższe uwagi dotyczą zboczy o wyrównanej powierzchni. Jeżeli zbocze ma swoistą morfologię, np. na skutek chaotycznego wysypywania materiału, należy określić bilans denudacyjny oddzielnie dla poszczególnych skłonów, zwracając szczególną uwagę na to, czy obniżenia stanowią lokalne bazy denudacyjne, czy też materiał jest z nich usuwany.

Na zwałach dużych kopalń odkrywkowych procesy erozyjne są często bardzo zróżnicowane w obrębie pojedynczego zbocza na skutek niejednorodności litologicznej budującego to zbocze materiału, wynikającej ze specyfiki urabiania, transportu i zwałowania [3]. W takich wypadkach także należałoby oddzielnie analizować poszczególne partie zbocza i po ustaleniu jaki typ erozyjny każda z nich reprezentuje stosować zróżnicowane zabiegi przeciwerozyjne.

2. Zasadnicze zabiegi przeciwerozyjne powinny zmierzać do wyeliminowania erozji rynnowej. Na zwałach zbudowanych z materiału słabo przepuszczalnego niezbędne jest ujmowanie wody opadowej na wierzchowinie oraz terasach i odprowadzanie jej w dół bystrotokami [15] lub rurami [1]. Na zwałach zwirowo-kamienistych, rekultywowanych metodą przykrycia gliniastym materiałem czwartorzędowym wystarczyłoby z reguły wykonanie bruzd chłonnych, tak, aby nadmiar wody zbierającej się na materiale nawiezionym mógł wnikać w porowaty materiał pierwotny. Zabezpieczając zbocze przed erozją rynnową należy zadbać nie tylko o to, by na wierzchowinie nie pozostawić zagłębień, w których mogłaby zbierać się woda, ale ponadto należy uformować górną krawędź w sposób maksymalnie owalny. Ostry załom profilu zbocza ułatwia jego inicjalne nacięcie i koncentrację spływu wody, a w przypadku materiału grubofrakcyjnego sprzyja upłynnianiu się gruzu (wynika to ze specyficznego rozkładu naprężeń, czego znamiennym są szczeliny powstające po ulewach w linii górnej krawędzi zwału).

3. Rynny erozyjne na zboczach nie poddających się erozji żłobinowej z reguły w czasie jednej ulewy osiągają pełną dojrzałość i później nie ulegają już pogłębianiu, lecz tylko rozszerzają się (przy czym na dnie od dołu postępuje akumulacja). Można je likwidować przez zasypanie od góry, a zapewne także przez spłaszczenie ścianek bocznych i przy okazji podniesienie dna. Na zwałach zbudowanych z materiału drobnego każde rozcięcie także po pewnym czasie (kilku lat) osiąga dojrzałość, bowiem dno dochodzi do gruntu lepiej zagęszczonego, a ponadto ustala się równowaga między rozmiarami denudacji ścianek a możliwościami transportowymi wody spływającej dnem. Zatem przy pracach rekultywacyjnych celowe byłoby rozpoznawanie stopnia dojrzałości rozcięć. Pozwoliłoby to racjonalnie dobierać sposób ich umocnienia.

4. W zależności od cech materiału zwałowego istnieją pewne terminy szczególnie dogodne do przeprowadzenia rekultywacji. W przypadku grubofrakcyjnych zwałów górnictwa węgla kamiennego celowe byłoby rozpoczynanie prac rekultywacyjnych w 2-3 lata po zakończeniu zwałowania, gdy wygasną już spontaniczne mikrosplawy gruzowo-błotne w środkowej części, ale drobne frakcje nie zostaną jeszcze wypłukane z warstwy powierzchniowej.

LITERATURA

1. Beasley R. P.: Erosion and sediment pollution control. Iowa St. Univ. Press, 1972
2. Chmal H.: Możliwości zastosowania pomiaru fotogrametrycznego w badaniach denudacji zwałów. Fotointerpretacja w Geografii, t. 13 (w druku)
3. Chwastek J.: Wpływ czynników geologiczno-górnicych na formy zwałowisk. Czas. geogr. t. XLI, z. 4, 1970
4. De Ploey J.: L'erosion pluviale: experiences à l'aide de sables traceurs et bilans morphogeniques. Acta Geogr. Lovaniensia, t. VII, tłum. na język polski [W:] Prz. zagr. Lit. geogr., z. 4, 1970
5. Greszta J., Morawski S.: Rekultywacja nieużytków przemysłowych. PWRiL, Warszawa 1972
6. Jahn A.: Contemporaneous geomorphological processes in Longyeardalen, Westspitsbergen (Svalbard), Biul. perygl. nr 26, 1976
7. Jahn A.: Morphological slope evolution by linear and surface degradation. Geogr. pol. t. 14, 1968
8. Leszczycki S., Tokarski Z.: Niektóre problemy warunków bytowych w Górnośląskim Okręgu Przemysłowym, Ossolineum, 1970
9. Pilous V.: Strukturní mury v Krkonošich-I část. Opera Corcontica nr 10, Vrchlabi 1973
10. Pulinowa M. Z.: Geomorfologiczne metody badań zwałowisk na przykładzie Zagłębia Turosszowskiego. Czas. geogr. t. XXXVIII, z. 3, 1967
11. Pulinowa M. Z.: Procesy osuwiskowe w środowisku sztucznym i naturalnym. Dok. geogr. z. 4, 1972
12. Repelewska-Pękalowa J.: Denudacja na zwałach odkrywkowej kopalni siarki w Piasecznie. Zesz. probl. Post. Nauk rol. z. 130, 1972
13. Repelewska-Pękalowa J.: Współczesne procesy morfogenetyczne na zwałach kopalnianych (na przykładzie odkrywkowej kopalni siarki w Piasecznie). Ann. UMCS, sect. B. vol. 28, nr 6, 1973
14. Tomaszewski J. T.: O niektórych problemach dotyczących potoków błotno-kamienistych. Czas. geogr. t. XXXVIII, z. 4, 1967
15. Ziemnicki S., Fijałkowski D.: Roślinność wprowadzona i naturalna na zboczu zwału w Piasecznie. Zesz. probl. Post. Nauk. rol. z. 170, 1975
16. Ziemnicki S.: Umacnianie wąwozów na zboczu zwału kopalni odkrywkowej. Zesz. probl. Post. Nauk. rol. z. 151, 1973
17. Ziemnicki S.: Zastosowanie kieszek faszynowych do umacniania zbocza zwału kopalni odkrywkowej. Zesz. probl. Post. Nauk. rol. z. 151, 1973
18. Ziemnicki S.: Znaczenie skarpy w terenie erozyjnym. Roczn. Nauk rol., ser. F, t. 73, z. 4, 1959
19. Żuławski C., Jachimski J.: Próba zastosowania pomiaru fotogrametrycznego do badań erozji zwałów kopalnianych. Biul. nr 22 Kom. d/s GOP PAN, 1959

Хенрик Хмаль

ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЗАЩИТЫ ПЕРЕД ЭРОЗИЕЙ СКЛОНОВ КАРЬЕРНЫХ ОТВАЛОВ

Резюме

Исследовались эрозионные процессы на 10 склонах отвалов из шахт Верхнесилезского угольного бассейна. Материал отвалов характерен доминацией гравийной фракции (табл. 1).

Выделены 2 типа эрозионных форм — размоины, образующиеся в результате действия воды из водозборной площади склона и ритвины начинающиеся у бровки склона образованные водой из вершинной площади отвалов.

Склоны подвергающиеся эрозии размоинами отступали параллельно (рис. 1—3) в темпе 1,73 см/год. Склоны опирающиеся размоиновой эрозии (из-за большой проницаемости дождевыми водами) разрушались лишь в верхней части, в темпе 0,5-0,9 см/г., в нижней же части происходило накопление. Раздел такого склона на зоны эрозии и аккумуляции зависел от его формы (рис. 5). Склоны с затухающей эрозией размоин (промежуточный тип) разрушались сильнее всего в средней части, в темпе 0,4—0,7 см/год.

Доведено экспериментально, что на склонах не поддающихся эрозии размоин эрозионные ритвины возникают в результате ликвидации щебня (рис. 7) во время одного ливня, достигая полного развития а затем исчезают (стенки сплющаются а на дне накапливается щебень).

Предвидывая противоэрозионные мероприятия следует определить в какой степени склон податлив на эрозию размоинами а также то — будут-ли эрозионные формы развиваться или затухать. На склонах устойчивых против эрозии размоинами не нужны противоэрозионные мероприятия в виде террас и плетени. Защита перед эрозией ритвин должна опираться на мягко сформированном изгибе разделяющей склоны от вершинной поверхности отвала. Сформировавшиеся уже эрозионные ритвины можно засыпать свежо доставленном материалом полностью или частично смягчая наклоны их стенок.

Henryk Chmal

GEOMORPHOLOGICAL ASPECTS OF PROTECTION OF SLOPES OF MINE DUMPS AGAINST EROSION

Summary

Erosion processes on 10 slopes of mine dumps in Zagłębie Górnosląskie were studied. In dump material domination of gravel fraction was observed (Table 1).

Two types of erosion channels have been distinguished: furrows washed out by water supplied by the slope (rill erosion) and narrow gullies beginning in the upper border of the slope which are formed by water accumulating on the flat upper part of the dump (channel erosion).

Slopes able to rill erosion regressed parallelly (Figs. 1—3) maximal 1,73 cm/year. Slopes not subjected to rill erosion (owing to high infiltration of rainwater) were damaged only in the upper part at a speed 0,5—0,9 cm/year, and in the lower part

accumulation occurred. Dividing such a slope into a sphere of erosion and accumulation depended on its shape (Fig. 5). The slopes with gradually decreasing rill erosion (intermediate type) were mostly eroded in the medium part at a speed 0,4—0,7 cm/year.

It has been found out experimentally that on the slopes not subjected to rill erosion channels result from liquidation of debris (Fig. 7); during one heavy rain they reach full form and then disappear (the walls become flat and debris is gathered on the bottom).

While designing anti-erosion measures it should be estimated to what degree the slope is tractable to rill erosion and whether erosion channels develop or disappear. On the slopes not subjecting to rill erosion anti-erosion measures such as terraces or small fascine fences are not necessary. Protection against channel erosion should consist in oval formation of the upper part of the damp and levelling of the flat upper part of the damp. Channels already formed may be filled completely or partly with specially brought material in order to diminish inclination their walls.