

Wpływ narciarstwa i turystyki pieszej
na przyrodę masywu Pilska
red. A. Łajczak, S. Michalik i Z. Witkowski
Studia Naturae (1996) 41: 131–159

Wpływ narciarstwa i turystyki pieszej na erozję gleby w obszarze podszczytowym Pilska

The influence of skiing and hiking on soil erosion
at the top of the Pilsko Massif

Adam ŁAJCZAK

Abstract: The study estimated the scale of erosion induced by skiing and hiking within ski trails and tourist trails on the northern slope of the top of Mt. Pilsko.

The main forms of erosion on tourist trails are erosion cuts with evorsive pot holes. On slope flattenings deposition of soil material prevails. Erosion on ski trails has not yet reached an advanced phase; the main forms of erosion here are shallow hollows with the soil layer still preserved. In areas degraded by both hiking and skiing soil erosion is more advanced and includes larger parts of the slope.

At present, 30% of the eroded area within the investigated part of the slope is within ski trails, and 70% within tourist trails. Ten percent of the total amount of soil eroded during the last 100 years was in areas used for skiing, while the remaining 90% of it was in all the paths on the investigated slope.

Tourist degradation of the slope activates morphogenetic processes which lead to the equalization of the longitudinal and transversal profile of the deforested parts of the slope. In the nearest future we should expect acceleration of the rate of erosion. To stop these changes in the natural environment of the northern slope of the Pilsko Massif, tourist traffic should be reorganized and degraded areas should be recultivated.

Key words: hiking, rill erosion, skiing, soil erosion, surface runoff, Mt. Pilsko, Western Carpathians.

Treść: Oszacowano rozmiary erozji wywołanej przez narciarstwo i turystykę pieszą w obrębie tras narciarskich i na szlakach turystycznych północnego stoku obszaru podszczytowego Pilska.

Na szlakach turystycznych dominującymi formami są żłobiny erozyjne z kociołkami eworsyjnymi. Na spłaszczeniach stokowych przeważa depozycja materiału glebowego. Na trasach narciarskich erozja jeszcze nie osiągnęła zaawansowanej fazy rozwoju; dominującymi mikroformami erozji są tutaj płytkie niecki z zachowaną jeszcze warstwą gleby. W obszarach degradowanych zarówno przez turystykę pieszą jak i narciarstwo, erozja gleby jest bardziej zaawansowana i obejmuje szersze strefy stoku.

Obecnie 30% erodowanej powierzchni w obrębie badanego stoku znajduje się na trasach narciarskich, a 70% na ścieżkach turystycznych. W obszarach degradowanych przez narciarstwo zostało wyerodowane 10% objętości gleby, która uległa erozji w ostatnich 100 latach. Pozostałe 90% wyerodowanej objętości gleby odnosi się do wszystkich ścieżek na badanym stoku.

Turystyczna degradacja stoku uaktywnia procesy morfogenetyczne, które prowadzą do wyrównywania profilu podłużnego i poprzecznego wylesionych stref stoku. W najbliższych latach należy się spodziewać zwiększenia tempa erozji. Powstrzymanie tego trendu zmian w środowisku przyrodniczym północnego stoku Piłska może nastąpić w wyniku reorganizacji ruchu turystycznego i rekultywacji zdegradowanych obszarów.

1. Wstęp

Środowisko geograficzne polskich Karpat fliszowych sprzyja erozji gleby na stokach. W obszarach o wysokich opadach i dużych nachyleniach, o rozdziale wód opadowych i roztopowych na szybki odpływ powierzchniowy i powolny odpływ podziemny decydują gleby (Adamczyk 1980, Starkel 1980). Do najważniejszych cech gleb, od których zależą relacje między składową powierzchnią a podziemną odpływem na stokach, należą ich właściwości wodne. Gleby o szybkim wsiąkaniu wody zmniejszają rozmiary spływu powierzchniowego, gleby o powolnym wsiąkaniu wody są bardziej narażone na erozję (Ślupik 1973, Gil 1976). Zmiany antropogeniczne w środowisku Karpat zwiększają i przyspieszają odpływ ze stoków. Tym samym zwiększają zagrożenie erozyjne gleb. Odslonięcie gleby spod pokrywy roślinnej ułatwia bombardującą działalność kropel deszczu, przyspiesza jej przesuszanie i wzmacnia erozyjną działalność wiatru (Gerlach 1976a, 1976b). Gleby nie związane przez systemy korzeniowe roślin łatwiej podlegają działalności lodu włóknistego i soliflukcji.

Badania nad erozją wodną i wietrzną gleb w piętrze leśnym i subalpejskim prowadzono głównie w Tatrach. Erozja powodowana przez wypas owiec została opisana w pracach Radwańskiej-Paryskiej (1959), Dobiji (1973), Kaszowskiego i in. (1988), Libelta (1988). Wpływ wypasu owiec, a także turystyki pieszej na zmiany właściwości wodnych gleb polan reglowych w Tatrach, przedstawiono w innej pracy autora (Łajczak 1990). Erozję i zniszczenia roślinności na szlakach turystycznych w Beskidach badali Holeksowie (Holeksa, Holeksa 1981) oraz Maciaszek i Zwydak (1992a, 1992b). Erozja na szlakach zrywki drewna w Beskidach i Tatrach stanowi przedmiot innej pracy Maciaszka i Zwydaka (1992c), opisana jest także w pracy Dudziaka (1974). Efekty erozyjne i tempo sukcesji roślinności na pasie granicznym w Karkonoszach zbadał Parzóch (1994). Autor wykazał, że w takich miejscach rozwijają się mikroformy typowe dla szlaków turystycznych.

Jedną z młodszych form antropopresji w górach jest narciarstwo, które na Piłsku ma już prawie 100-letnią tradycję (Mielnicka 1996). Masowy rozwój narciarstwa intensyfikuje procesy morfogenetyczne modelujące stoki górskie, co prowadzi do zwiększenia rozmiarów erozji. Ponadto wiele tras narciarskich jest użytkowanych przez pieszych turystów w okresie letnio-jesiennym. Na trasach narciarskich Piłska coraz większą powierzchnię zajmują nie opisywane dotąd mikroformy, rozwijające się w miejscach degradowanej gleby przez narty i ratraki, a także na ścieżkach poza znakowanymi szlakami turystycznymi (Łajczak 1994, 1996a). Jedną z przyczyn nasilającej się erozji na trasach narciarskich jest ich położenie na wysokości poniżej 1100 m, a nawet poniżej 700 m n.p.m. Są to wysokości, gdzie pokrywa śniegu w ostatnich kilkunastu latach nie osiąga wymaganej dla narciarstwa miąższości, ponadto pokrywa ta zalega znacznie krócej aniżeli w latach wcześniejszych (Łajczak 1996a).

W polskiej literaturze problem degradacji gleb na trasach narciarskich jest sygnalizowany tylko w wymienionych pracach autora. W literaturze zagranicznej rzadziej dotyczy tras narciarskich niż ścieżek turystycznych (Candela 1982, Behan 1983, Watson 1985, Čermuška 1986, Haimayer 1989, Etlicher 1990, Veyret et al. 1990, Tsuyuzaki 1994). Zwraca się uwagę, że po zaprzestaniu wypasu owiec turystyka piesza i narciarstwo stanowią główną przyczynę degradowania stoków górskich. W polskich górach większe rozmiary degradacji w obrębie tras narciarskich stwierdza się na podłożu fliszu łupkowego w Beskidach i na Podhalu niż na granitowych stokach Tatr i Karkonoszy (Łajczak 1996a). Duże rozmiary degradacji podłoża na północnym stoku Pilska obserwuje się w przedziale wysokości od 700 do 1480 m n.p.m. To najwyższe wzniesienie w polskich Beskidach z długimi trasami zjazdowymi stanowi perspektywiczny obszar dla narciarstwa w Polsce. W tej sytuacji można spodziewać się intensyfikacji erozji na trasach narciarskich tej góry.

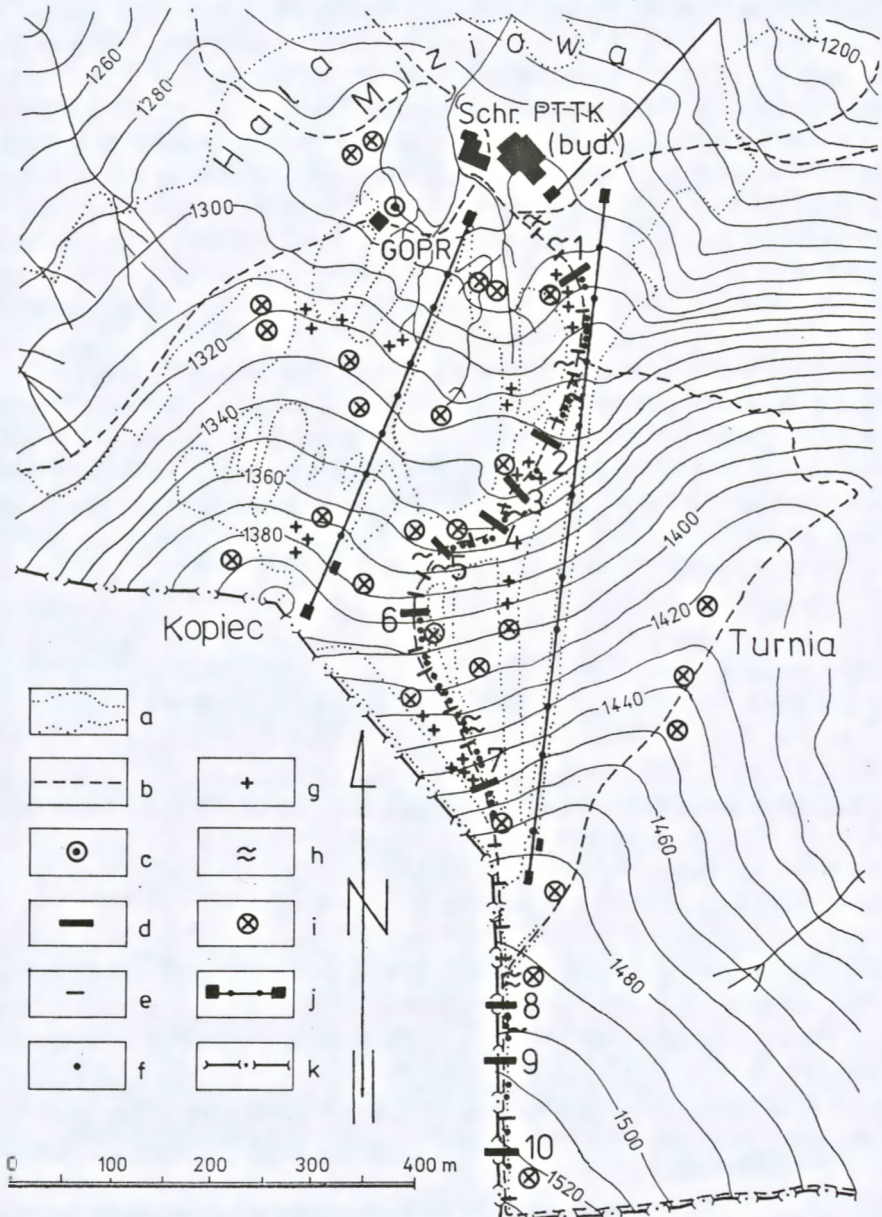
Celem badań prowadzonych na północnym stoku obszaru podszczytowego Pilska była ilościowa analiza erozji gleby w obrębie ścieżek turystycznych i tras narciarskich. Na stoku zidentyfikowano wszystkie miejsca ze zdegradowaną roślinnością, określono powierzchnię zniszczeń, a także objętość wyerodowanej gleby. Ustalono, w jakim stopniu narciarstwo, turystyka piesza i wypas owiec przyczyniają się do przemodelowywania stoku. Rolę narciarstwa w degradowaniu pokryw stokowych oceniono po uprzednich badaniach miąższości pokrywy śniegu (Łajczak 1996b).

2. Metody badań

Badania dotyczące erozji gleby na północnym stoku obszaru podszczytowego Pilska prowadzono pomiędzy Halą Miziową, Kopcem, Górą Pięciu Kopców i Turnią (ryc. 1). Przeprowadzone kartowanie w skali 1:2500 miało na celu zidentyfikowanie obszarów z degradowanymi pokrywami stokowymi. Zlokalizowano wszystkie mikroformy na stoku określając ich cechy. Dotyczyło to:

- lokalizacji obszarów z degradowanymi pokrywami zwietrzelinowo-glebowymi na trasach narciarskich,
- lokalizacji erozji liniowej na szlakach turystycznych i na innych ścieżkach,
- ustalenia parametrów badanych mikroform rozwijających się w miejscach z degradowanymi pokrywami (długość, szerokość, głębokość, powierzchnia, szacunkowa objętość, nachylenie),
- ustalenia parametrów obszarów powierzchniowego zasilania badanych mikroform (powierzchnia, nachylenie, kierunki spływu wody),
- ustalenia drogi przenoszenia wyerodowanego materiału i miejsc jego depozycji (na podstawie śladów płynięcia wody podczas opadów).

Badaniami objęto czynne wcięcia erozyjne, jak również wcięcia zarośnięte. Szerokość i głębokość wcięć erozyjnych ustalono względem utrwalonych przez roślinność obrzeży tych mikroform (reprezentujących stan wyjściowy). Tempo rozwoju mikroform występujących w miejscach z degradowanymi pokrywami stokowymi określono na podstawie powtarzanych pomiarów głębokości, szerokości i długości względem reperów. Pomiaru te prowadzone w okresie od 26 maja do 7 listopada 1993 r., średnio co 20 dni,



G. Pięciu Kopców 1534

pozwołyły ustalić tempo pogłębiania żłobin i licznych kociołków eworsyjnych oraz cofania ich progów, tempo poszerzania i pogłębiania niecek występujących na trasach narciarskich. Wykonane pomiary pozwoliły określić różnice w wielkości skutków erozji przy różnym stopniu pokrycia szlaku przez roślinność, różnej podatności erozyjnej podłoża i różnym natężeniu ruchu turystycznego. Profile pomiarowe skoncentrowano wzdłuż „czarnego” szlaku turystycznego między Halą Miziową a Górą Pięciu Kopców (dane z 10 profili pochodzą z całego okresu badań, a z 20 – profili z krótszych okresów). Wzdłuż tego szlaku zlokalizowano także 8 stanowisk pomiarów tempa akumulacji materiału (wyskalowane repery rozmieszczone w wielu punktach w obszarach, gdzie zachodzi depozycja gleby). Do szczegółowych badań wybrano również 25 kociołków eworsyjnych w celu pomiarów tempa ich pogłębiania i cofania ich progów. Poza „czarnym” szlakiem pomiary takie prowadzono sporadycznie; jedynie na trasach narciarskich takimi badaniami objęto 20 kociołków eworsyjnych. Analiza zdjęć lotniczych z 1977 i 1983 r. pomogła określić ekspansję obszarów z degradowanymi pokrywami stokowymi w okresie od powstania licznych przecinek w lesie w latach 80-tych, użytkowanych jako trasy narciarskie i do budowy wyciągów.

Żłobiny erozyjne podzielono na odcinki różniące się głębokością wcięcia, szerokością, objętością wyerodowanego materiału, uziarnieniem materiału pokrywającego dno rozcięć, stopniem pokrycia przez roślinność. Na tej podstawie możliwe było wyróżnienie faz rozwoju żłobin w warunkach zróżnicowanego litologicznie podłoża i określenie roli turystycznej penetracji obszaru w ich rozwoju. Pomiary objętości wyerodowanej zwierzdeliny w wyróżnionych odcinkach żłobin erozyjnych pozwoliły uzyskać porównywalną miarę erozji wyrażoną w $m^3/metr$ biejący żłobiny.

Rozmiary erozji w okresie badań skorelowano z wysokością opadu deszczu, mierzonego na Hali Miziowej (Łajczak 1996c). Rozmiary erozji w każdym z okresów między pomiarami porównano z sumą opadów dobowych deszczu, większą kolejno od 0,0 mm, 5,0 mm, 10,0 mm, z sumą opadów ulewnych, a także z liczbą dni z opadem dobowym większym od wymienionych wielkości granicznych.

W celu ustalenia zmian w zdolnościach infiltracyjnych gleb dokonujących się w warunkach turystycznego użytkowania stoku, wykonano szereg pomiarów szybkości wsiąkania wody. Równolegle zbadano ciężar objętościowy gleby w różnych głębokościach profilu glebowego, zarówno w obszarach degradowanych jak i poza nimi (Łajczak 1996d).

Ryc. 1. Rozmieszczenie stanowisk pomiarowych w obszarze badań. a – zasięg polan i tras zjazdowych, b – znakowane szlaki turystyczne, c – miejsce pomiaru opadu, d – miejsca pomiarów erozji w profilach poprzecznych szlaku „czarnego” czynne w całym okresie badań (numeracja profili od 1 do 10), e – miejsca pomiarów erozji w profilach poprzecznych na szlaku „czarnym” czynne w krótszych okresach, f – punkty pomiarowe w kociołkach eworsyjnych, g – punkty pomiarowe w płytkich nieckach erozyjnych, h – miejsca pomiaru akumulacji gleby, i – pomiary wsiąkania wody, j – wyciągi zaczepowe, k – granica państwa.

Fig. 1. Location of measurement points within the study area. a – range of glades and ski trails, b – marked tourist trails, c – place of precipitation measurements, d – places where erosion was measured on the transversal profiles of the „black” trail in the whole study period (profiles were numbered from 1 to 10), e – erosion measurement points on the transversal profiles of the „black” trail, used in shorter periods, f – measurement points in evorsive pot-holes, g – measurement points in shallow erosion hollows, h – measurement points of soil accumulation, i – measurements of water infiltration, j – ski lifts, k – state boundary.

3. Wyniki

3.1. Zmiany w obiegu wody

Analiza termiki źródeł w obrębie badanego stoku wskazuje na znaczną głębokość krążenia wód podziemnych, od kilku do ponad 20 m (Łajczak 1996d). W warunkach całkowitego pokrycia stoku naturalną szatą roślinną prawie cała objętość szybko infiltrującej wody opadowej i roztopowej osiągała taką głębokość. Obecnie tylko jej część zasilła zbiornik wód podziemnych, pozostała część wody szybko odpływa wzdłuż żłobin erozyjnych do potoków. Ten skoncentrowany spływ powierzchniowy wywołuje wzmoczoną erozję gleby. Większość przemieszczanego materiału ulega depozycji na spłaszczeniach stokowych.

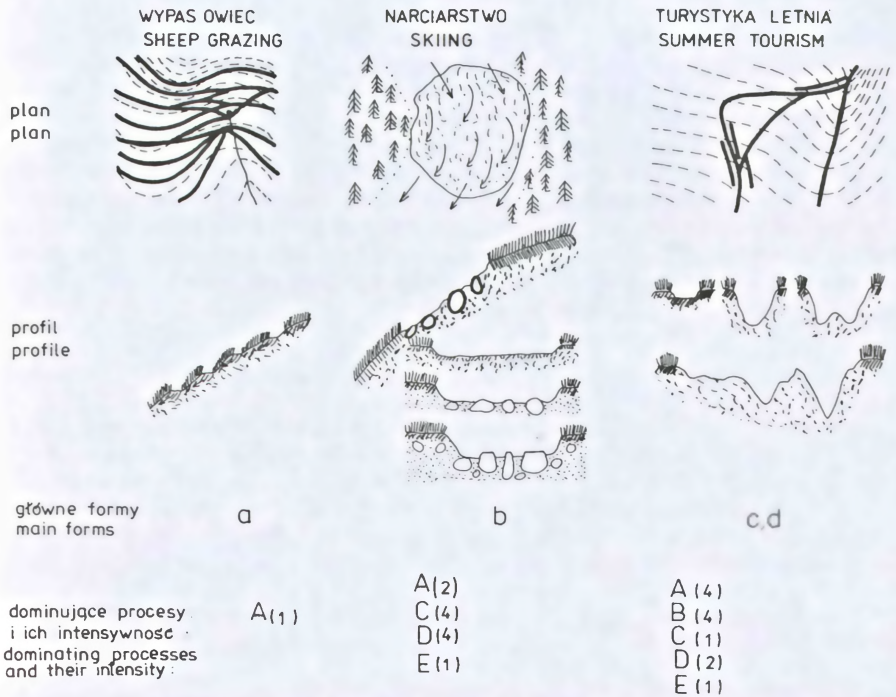
W wyniku dotychczasowego użytkowania badanego stoku współczynnik infiltracji zmniejszył się o 1–3 rzędy wielkości, przy czym największe zmiany stwierdzono w glebach piaszczysto-pylastych wytworzonych na podłożu warstw hieroglifowych i łupków (Łajczak 1996d). Zwiększyło się prawdopodobieństwo wystąpienia spływu powierzchniowego o dużym natężeniu, który w obszarach pokrytych przez płytkie niecki erozyjne występuje najczęściej w postaci spływu rozproszonego, a w żłobinach erozyjnych w postaci spływu skoncentrowanego. Druga forma spływu powierzchniowego wywołuje szybką erozję gleby, ograniczoną jednak do wąskich stref stoku.

3.2. Rodzaje degradacji stoku

Morfologiczne skutki degradacji gleby, dokonującej się pod wpływem dominujących obecnie form działalności człowieka na Pilsku, stwierdza się na ścieżkach turystycznych, trasach narciarskich i w innych miejscach na badanym stoku. Erozja jest powodowana przez turystykę pieszą w ciągu lata i jesieni, a w okresie zimowym przez narciarstwo. Zanikające obecnie pasterstwo owiec odgrywa minimalną rolę w degradowaniu badanego stoku. Rozmiary degradacji stoku można określić za pomocą trzech wielkości: powierzchni objętej przez erozję gleby, objętości wyerodowanego materiału, długości żłobin erozyjnych.

W wyniku erozji gleby powodowanej przez wymienione przyczyny powstaje szereg mikroform, które nawet po utrwaleniu roślinnością wyraźnie zaznaczają się w morfologii stoku (ryc. 2). Efektem wypasu owiec są wąskie terasy o przebiegu zbliżonym do poziomego. Zagęszczenie tych mikroform zaznacza się w pobliżu wodopoju (źródło, potok). Ze względu na minimalne nachylenie miejsc z odsłoniętą glebą i niewielką ich powierzchnią, splukiwanie osiąga małe rozmiary. Obecnie formy te są zarośnięte. W miejscach, gdzie są rozdeptywane przez turystów, spękana gleba łatwo ulega odkluwaniu i przesuwaniu po stoku.

Narciarstwo prowadzi do wielkoobszarowych zniszczeń w pokrywie roślinnej (Michalik 1994). W takich miejscach erozja gleby zachodzi lokalnie, głównie na wypukłych załomach stoku, gdzie miąższość pokrywy śnieżnej w ciągu całego sezonu śnieżnego jest permanentnie redukowana w wyniku wywiewania, ruchu narciarskiego i pracy ratników (Łajczak 1996b). Ścinanie darni, zarośli jałowca halnego czy pędów borówki prowadzi do odsłaniania gleby, która zaczyna ulegać degradacji na skutek oddziaływania naturalnych czynników powodujących erozję. Jeżeli takie obszary są dodatkowo rozdep-



Ryc. 2. Rodzaje degradacji stoku w otoczeniu Hali Miziowej powodowane przez wypas owiec, narciarstwo i turystykę pieszą górską. Dominujące procesy: A – splukiwanie, B – erozja żłobinowa, C – soliflukcja, D – deflacja, E – ruchy masowe. Mikroformy utworzone w wyniku wymienionych procesów: a – teraski z wydeptywania przez owce, b – płytkie niecki erozyjne, c – żłobiny erozyjne, d – kociołki eworsyjne. Intensywność procesów: 1 – znikoma, 2 – niewielka, 3 – średnia, 4 – duża.

Fig. 2. Types of slope degradation in the environs of Hala Miziowa, caused by sheep grazing, skiing and hiking. Main processes: A – sloopewash, B – rill erosion, C – solifluction, D – deflation, E – mass movements. Microforms formed as a result of the processes mentioned: a – small terraces trampled by sheep, b – shallow erosion hollows, c – erosion rills, d – eorsive pot-holes. Intensity of processes: 1 – insignificant, 2 – small, 3 – moderate, 4 – great.

tywane przez pieszych turystów w okresie letnio-jesiennym, zachodzi szybkie niszczenie systemu korzeniowego roślin, co przyspiesza degradację gleby. Wyekspozowane spod darni kamienie, resztki pni drzew i korzenie są ścinane przez ratraki; jednocześnie chronią one miejsca sąsiadujące przed niszczącym oddziaływaniem narciarstwa. Tego typu efekty pracy ratraków można obserwować na każdej trasie zjazdowej. Miejsca z wielkoobszarowymi zniszczeniami w pokrywie darniowej, powodowanymi przez narciarstwo, są w okresie bez pokrywy śnieżnej modelowane przez splukiwanie, deflację, działalność lodu włóknistego i soliflukcję.

Turystyka piesza powoduje szybkie niszczenie systemu korzeniowego darni. Niszczenie korzeni jałowca, kosówki i świerków trwa dłużej. Odslonięta gleba na ścieżkach ulega szybkiej erozji. Poprowadzenie ścieżek prostopadle do poziomicy zwiększa rozmiary splu-

kiwania, co wywołuje erozję żłobinową. Z czasem równoległe do istniejącej powstaje nowa ścieżka. Jeżeli proces powtarza się, dochodzi do zdegradowania szerokiej strefy stoku. Erozja żłobinowa stanowi efekt nakładania się erozji wgłębnej i erozji wstecznej na progach między licznymi kociołkami eworsyjnymi, występującymi w dnie żłobin. W miejscach intensywniej penetrowanych przez pieszych turystów (punkty widokowe, trasy narciarskie powyżej górnej granicy lasu), zwiększają się rozmiary deflacji, soliflukcji, bardziej widoczne są także skutki działalności lodu włóknistego. Na szlakach turystycznych ruchy masowe (obsunięte pakiety gleby z darnią) zachodzą lokalnie. Turystyczne użytkowanie ścieżek prowadzi także do przesuwania rumoszu ze stromych ich odcinków – często z wychodniami skalnymi, do bardziej położeń miejsc, gdzie tworzą się nawet jęzory gruzowe.

3.3. Rozmiary erozji

Informacje dotyczące rozmiarów erozji w badanym obszarze są zawarte w tab. 1. Powierzchnia zdegradowana przez narciarstwo – z odsłoniętą glebą – objęła w 1993 r. 4200 m². Powierzchnia z odsłoniętą glebą na ścieżkach turystycznych objęła w tym czasie już 9800 m². Erozji podlegał więc obszar równy 1,4 ha, co w stosunku do powierzchni badanego stoku równej 31 ha, stanowi 4,5% obszaru. Powierzchnia degradowana przez narciarstwo stanowiła więc 30% powierzchni z wyeksponowaną i erodowaną glebą, a powierzchnia degradowana przez turystykę pieszą 70% .

Erozja linijna zachodzi wzdłuż znakowanych szlaków turystycznych: szlak „czarny” – 5133 m², szlak „żółty” – 1915 m² (łącznie 7048 m²) i wzdłuż innych ścieżek (na obsza-

Tabela 1. Rozmiary erozji na północnym stoku obszaru podszczytowego Piłska w 1993 r.

Table. 1. Scale of erosion on the northern slope of the top of Mt. Piłsko in 1993

Miejsce Place	Parametry erozji Parameters of erosion					
	Powierzchnia Area		Kubatura Volume		Długość odcinków Length of sections	
	m ²	%	m ³	%	m	%
Erozja na trasach narciarskich powodowana przez narciarzy i ratraki	4200	30,0	210	9,7	–	–
Erozja na ścieżkach (erozja żłobinowa), w tym:	9800	70,0	1958	90,3	4955	100,0
a) znakowane szlaki						
turystyczne:	7048	50,4	1431	66,0	2185	44,1
– „czarny”	5133	36,7	1026	47,3	1120	22,6
– „żółty”	1915	13,7	405	18,7	1065	21,5
b) inne ścieżki	2750	19,6	527	24,3	2770	55,9
Całość obszaru The whole of area	14 000	100,0	2168	100,0	4955	100,0

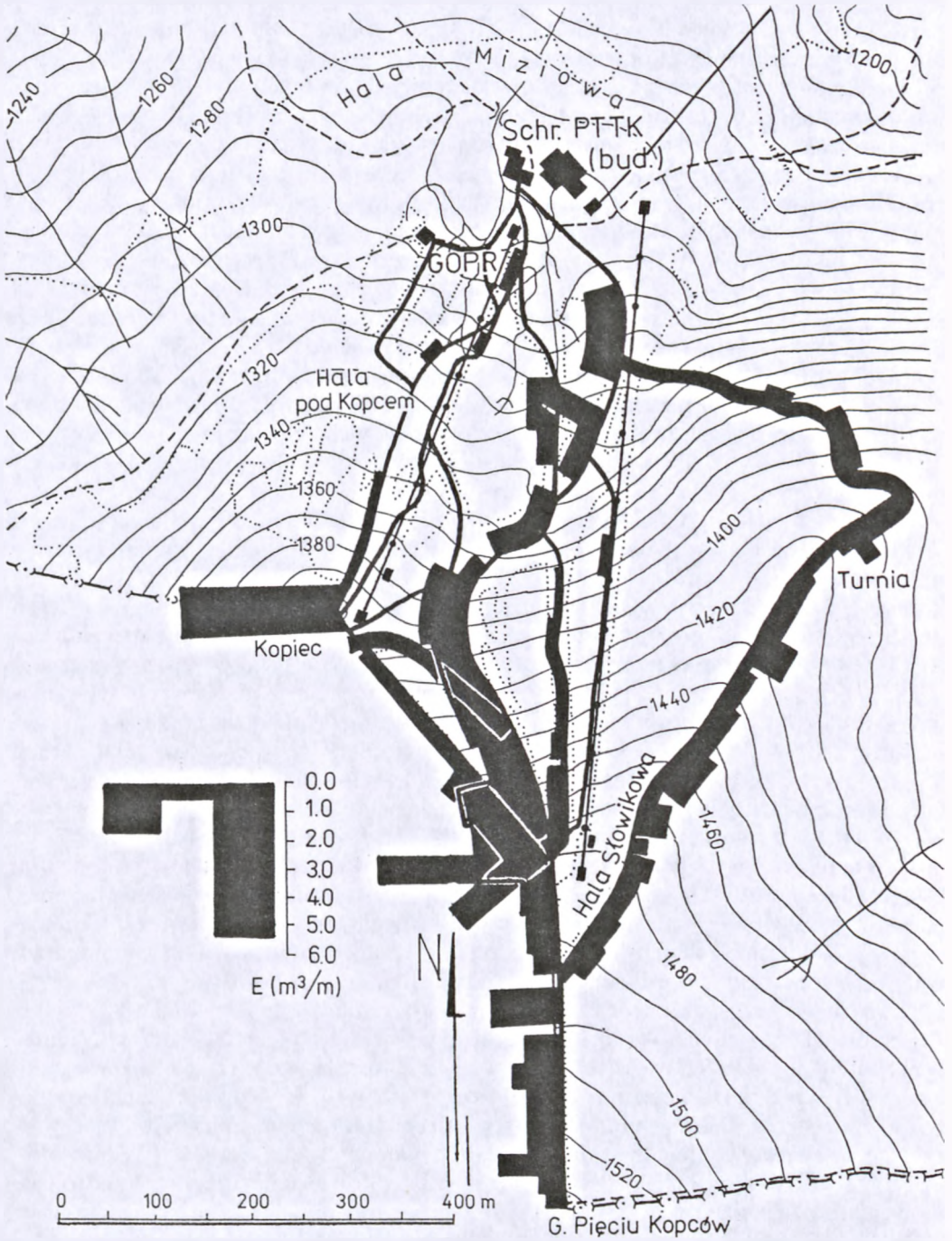
rze tras narciarskich i pod wyciągami) – 2750 m². W tym drugim przypadku erozja objęła dotąd 2,5-krotnie mniejszą powierzchnię w stosunku do szlaków znakowanych. Sumaryczna długość żłobin erozyjnych na ścieżkach nieznakowanych wynosi 2770 m, czyli jest o ponad 600 m większa niż na ścieżkach znakowanych. Informuje to o możliwości dużych rozcięć erozyjnych na obszarach poza szlakami turystycznymi.

Pomiary objętości wyerodowanej gleby w jeszcze większym stopniu podkreślają rolę erozji liniowej w degradowaniu północnego stoku Pilska powyżej Hali Miziowej. Objętość wyerodowanej gleby w obszarach degradowanych przez turystykę pieszą wynosi aż 90,3% wielkości erozji na badanym stoku, podczas gdy erozji powodowanej przez narciarstwo – 9,7%. Na znakowanych szlakach, od początku uprawiania zorganizowanej turystyki pieszej, wyerodowane zostało 1431 m³ gleby, podczas gdy na ścieżkach nieoznakowanych (w większości znacznie krócej użytkowanych) 527 m³. Objętość wyerodowanej gleby na szlaku „czarnym”, najczęściej użytkowanym, wynosi 1026 m³ i jest 2,5-krotnie większa niż na szlaku „żółtym”. Łączną objętość wyerodowanego materiału na badanym stoku oszacowano na 2168 m³. Wyerodowana gleba podlega depozycji na spłaszczeniach stokowych: w obrębie ścieżek i na większą skalę w sąsiadujących zadarnionych obszarach i w lesie.

Przedstawione wyniki ukazują negatywny wpływ działalności człowieka na środowisko przyrodnicze badanego obszaru. Do tej pory narciarstwo w znacznie mniejszym stopniu przyczynia się do erozji gleby, aniżeli turystyka piesza. Wynikało to ze znacznie krótszego narciarskiego użytkowania badanego stoku w stosunku do okresu z turystyką pieszą. Narciarskie użytkowanie stoku sprzyja jednak w sposób pośredni erozji żłobinowej. Często obserwowany pieszy ruch turystyczny na trasach zjazdowych inicjuje erozję w miejscach, które wcześniej były skutecznie chronione przez darń. Na wypukłych załomach stoku w pobliżu i powyżej górnej granicy lasu, erozja inicjowana przez wymienione formy turystyki osiąga lokalnie bardzo duże rozmiary. Największe rozmiary erozji stwierdza się w miejscach, gdzie na dużą skalę zachodzi splukiwanie, deflacja i soliflukcja oraz gdzie zaznacza się działalność lodu włóknistego. Taką sytuację można obserwować w otoczeniu górnej stacji wyciągu nr VII i na Kopcu. Duże nasilenie erozji na trasach narciarskich rozpoczęło się w momencie wprowadzenia ratraków w końcu lat 80-tych. Jeżeli nie zostaną podjęte odpowiednie przeciwdziałania, erozja na trasach narciarskich będzie się nasilać. Stosunkowo proste zabiegi natury organizacyjnej i technicznej mogą skutecznie zahamować ten proces. Takie zabiegi mogą również zminimalizować rozmiary erozji na ścieżkach turystycznych (Łajczak i in. 1996).

Szybsze tempo współcześnie zachodzącej erozji stwierdza się w ukształtowanych już zagłębieniach erozyjnych. Wynika to z faktu, iż w miejscach objętych przez skoncentrowany spływ powierzchniowy erozja osiąga większe rozmiary niż w miejscach występowania spływu rozproszonego. Dlatego szybsze rozcinanie pokrywy zwietrzelinowo-glebowej zachodzi na ścieżkach turystycznych aniżeli na trasach narciarskich. Relatywnie szybkie pogłębianie żłobin erozyjnych ulega wyhamowywaniu, gdy w tych mikroformach zaczynają się odsłaniać coraz większe okruchy skalne, a później lita skała. Wyhamowanie erozji może także nastąpić na skutek ingerencji człowieka: skrócenie drogi spływu wody przez budowę rowów drenażowych i zaperek przeciwerozyjnych.

Zaprezentowane zróżnicowanie rozmiarów erozji jest uzależnione od wielkości ruchu turystycznego na poszczególnych ścieżkach w okresie bez pokrywy śniegu. Relatywnie duże rozmiary erozji na „czarnym” szlaku turystycznym należy tłumaczyć dużą frekwencją ruchu zejściowego z okolic szczytu Pilska do Hali Miziowej (ryc. 3). Ten popularny

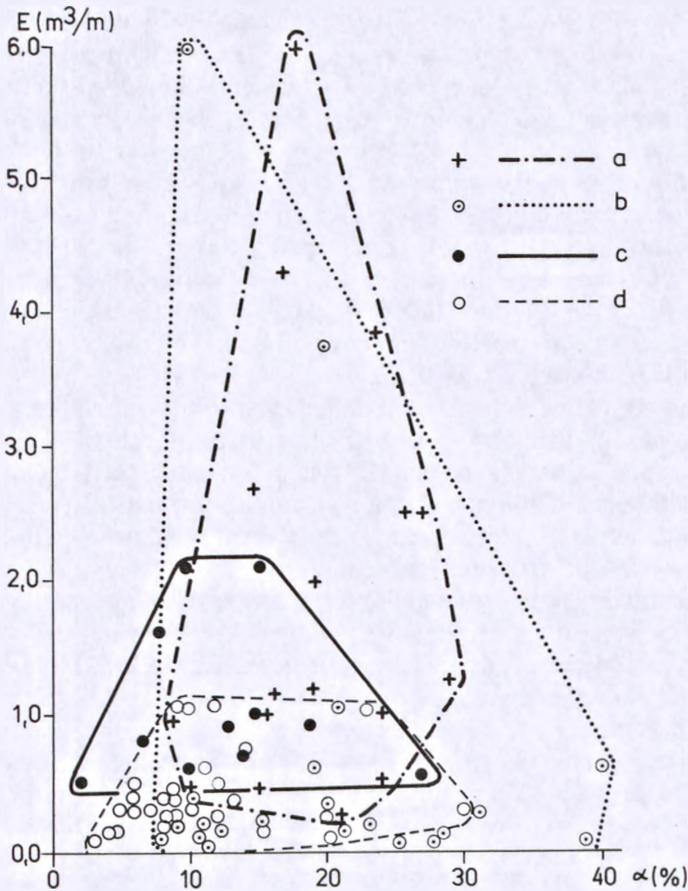


Ryc. 3. Wielkość erozji w obrębie ścieżek turystycznych na północnym stoku obszaru podszczytowego Pilska. Szerokość wstęgi wyraża rozmiar erozji w m^3/m .

Fig. 3. The scale of erosion within tourist paths on the upper part of the northern slope of Mt. Pilsko. The width of belts expresses the amount of eroded material in m^3/m .

szlak turystyczny jest najdłużej użytkowaną ścieżką w obszarze podszczytowym Pilska. Wcześniej przez kilka stuleci służył jako owcza perć, a od około 100 lat jest wyznakowanym szlakiem wyprowadzającym w rejon szczytowy (Łajczak 1996e, Mielnicka 1996).

Wyniki badań wskazują na związek zachodzący między rozmiarami erozji a podatnością erozyjną pokryw zwietrzelinowo-glebowych i obciążeniem turystycznym w okresie bez pokrywy śnieżnej. Brak natomiast zależności między rozmiarami erozji a nachyleniem stoku (ryc. 4). Zależność taka zaznacza się tylko w niektórych fragmentach stoku o jednorodnej litologii, gdzie podatność erozyjna pokryw stokowych jest wyrównana



Ryc. 4. Wielkość erozji E w obrębie wyróżnionych odcinków ścieżek na tle ich nachyleń α i litologii podłoża. a – „czarny” szlak turystyczny w obrębie stoku na podłożu warstw hieroglifowych, b – „czarny” i „żółty” szlak turystyczny na podłożu piaskowca magurskiego, c – nieoznakowane ścieżki na podłożu łupkowym, d – nieoznakowane ścieżki na podłożu piaskowca magurskiego.

Fig. 4. The scale of erosion E within the distinguished stretches of paths against their inclination α and the lithology of substratum. a – „black” tourist trail on the Hieroglyphic Beds, b – „black” and „yellow” trails on the Magura Sandstone, c – not marked path on the shale, d – not marked paths on the Magura Sandstone.

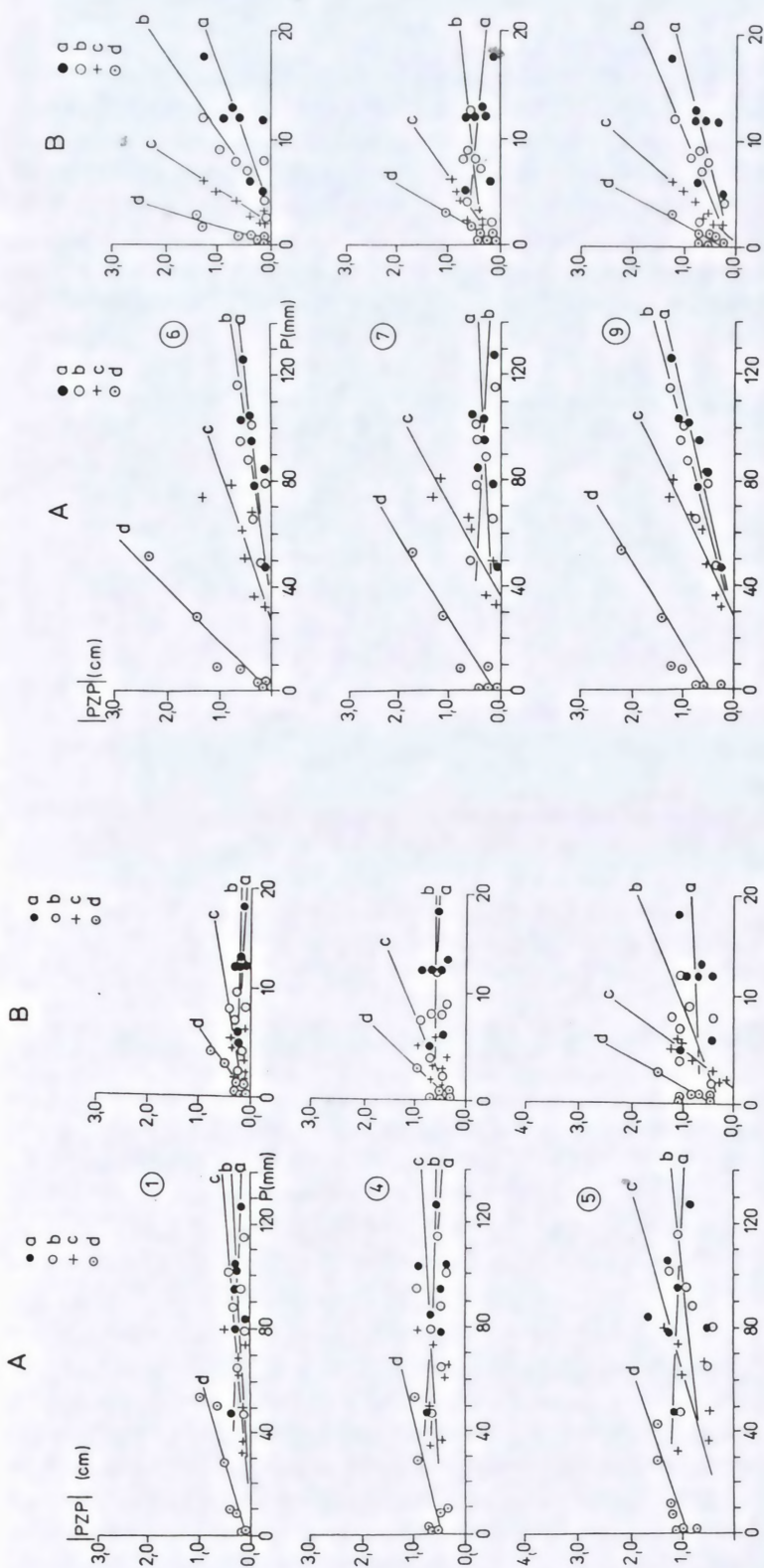
przestrzennie. Podane wcześniej przyczyny spowodowały, że rozmiary erozji na podłożu piaskowca magurskiego są na szlaku „czarnym” co najmniej dwukrotnie większe niż na szlaku „żółtym”, nawet w obrębie bardzo stromego odcinka tego szlaku pod Turnią. Te same przyczyny zdecydowały, że w obszarach o podłożu łupkowym większe rozmiary erozji stwierdza się na szlaku „czarnym” niż na nieoznakowanych ścieżkach w rejonie Hali pod Kopcem. Wyjątek stanowi tylko wierzchołek Kopca i górna część przecinki granicznej poniżej Hali Słowikowej, które jako dobre punkty widokowe są chętnie odwiedzane przez turystów.

Ze względu na zmienne sumy roczne opadów na Pilsku (Łajczak 1996f), wyjątkowo „deszczowych” okresów letnio-jesiennych można się spodziewać w każdym z nadchodzących lat. Można się więc spodziewać większego natężenia erozji od stwierdzonego w 1993 r. Wskazuje na to analiza ryciny 5, przedstawiającej szybki wzrost rozmiarów erozji na szlaku turystycznym z wielkością opadów deszczu. Drugą przesłankę stanowią wyniki badań podane w pracy Maciaszka i Zwydaka (1992a), dotyczące wielkości skoncentrowanego spływu powierzchniowego na ścieżkach turystycznych w Zachodnich Beskidach, będącego efektem symulowanego opadu burzowego o wysokości 20 mm i natężeniu 3 mm/min. W takich warunkach 80–85% wody opadowej szybko spłynęło po utwardzonej glebie, wywołując jej erozję. W rejonie Pilska największe zarejestrowane opady burzowe osiągnęły nawet większe natężenie (Niedźwiedź 1977). W okresie badań natężenie ulew było jednak wielokrotnie mniejsze od najwyższych wartości zarejestrowanych na tym obszarze (Łajczak 1996c). Ponadto w najbliższej przyszłości należy się spodziewać zwiększonego napływu turystów, co dodatkowo spotęguje erozję na szlakach turystycznych i trasach narciarskich.

Pomimo mniejszych niż w latach wcześniejszych sum opadów deszczu na Hali Miżowej, rozmiary erozji zarejestrowane w 1993 r. na badanych szlakach turystycznych należy uznać za duże. W okresie od maja do listopada średnie pogłębienie żłobin erozyjnych osiągnęło 5 cm. Średnia głębokość tych mikroform tworzonych na omawianym obszarze od co najmniej 100 lat wynosi około 50 cm. Wielkości te sugerują, że tempo erozji liniowej na ścieżkach zwiększa się. Zjawisko to można tłumaczyć zniszczeniem na długich odcinkach ścieżek warstwy gleby wcześniej związanej przez system korzeniowy. Odsłonięte głębsze horyzonty glebowe podlegają w tej sytuacji szybszej erozji, która zostaje zahamowana dopiero, gdy zaczynają się odsłaniać większe bloki szkieletu glebowego. Większość żłobin erozyjnych wyciętych w gliniastych pokrywach jeszcze nie dotęła się do horyzontów glebowych zasobnych w szkielet skalny. Dlatego formy te są obecnie szybko pogłębiane. Jeżeli w najbliższych latach zwiększy się częstotliwość opadów ulewnych, jak również liczba turystów w okresie letnio-jesiennym, należy się spodziewać dalszego wzrostu erozji na wszystkich ścieżkach, także prowadzących przez trasy narciarskie. Proces ten może zahamować szybko podjęta rekultywacja obszarów zdegradowanych.

3.4. Sezonowy przebieg erozji i akumulacji

Badania nad szybkością pogłębiania żłobin erozyjnych, tempem cofania progów kociołków eworsyjnych, rozmiarami nadbudowywania spłaszczeń stokowych, gdzie zachodzi depozycja gleby, pozwoliły scharakteryzować cykliczność erozji i akumulacji w okresie bez pokrywy śnieżnej w 1993 r. Erozja najwcześniej wystąpiła w obszarach o

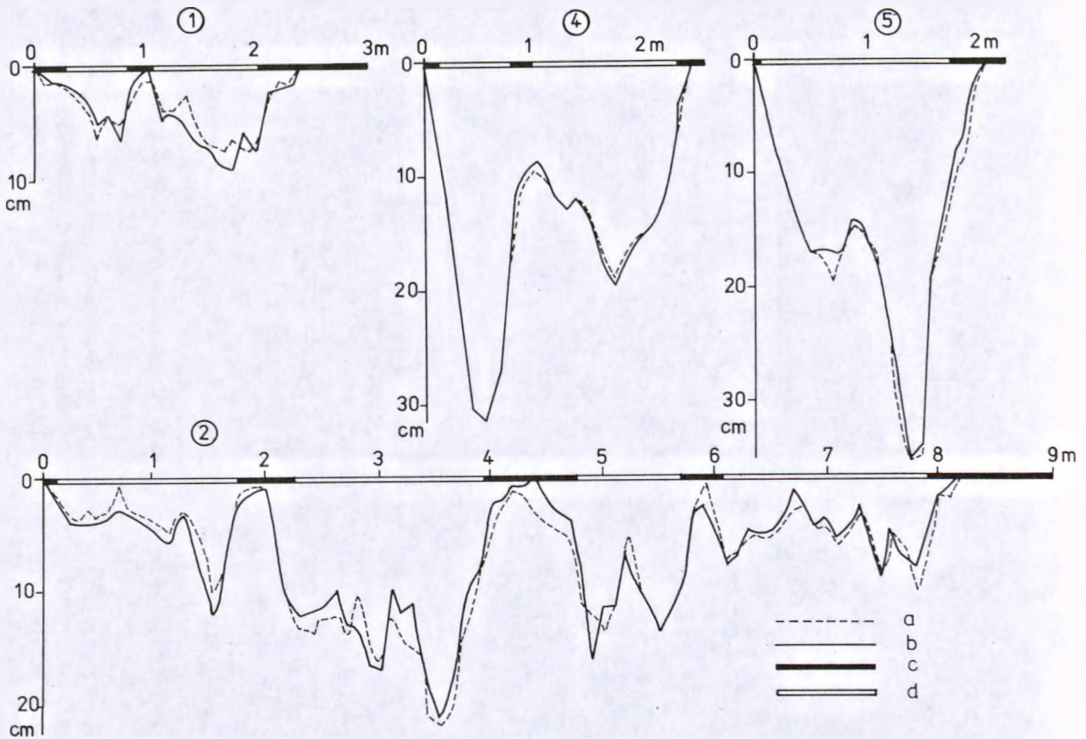


Ryc. 5. Zależności między względną wielkością pionowych zmian ścieżki (w obrębie całej szerokości wydeptywania) – $|PZP|$, a wielkością sum opadu P w badanych okresach pomiarowych – A , zależności między $|PZP|$ a liczbą dni z opadem dobowym większym od wielkości granicznych – B , w wybranych profilach pomiarowych na szlaku „czarnym”. Numeracja profili jak na ryc. 1. Graniczne wielkości opadu: a – 0,1 mm, b – 5,0 mm, c – 10,0 mm, d – opady ulewne.

Fig. 5. Correlation between the relative height of vertical changes of a path (including the whole width of a trampled zone) $|PZP|$ and precipitation totals P in the investigated periods – A , correlations between $|PZP|$ and number of days with daily precipitation higher than boundary values – B , on selected measurement profiles on the „black” trail. Numbers of profiles as in Figure 1. Boundary values of precipitation: a – 0.1 mm, b – 5.0 mm, c – 10.0 mm, d – downpours.

zdegradowanej szacie roślinnej w piętrze subalpejskim, gdzie najwcześniej odsłania się podłoże spod śniegu (Łajczak 1996b, 1996c). W tych obszarach w kwietniu i na początku maja zachodziła soliflukcja, obserwowano również efekty działalności lodu włóknistego. Po ustabilizowaniu się dodatnich temperatur gleba uległa wysuszeniu i była poddana deflacji.

Analiza bilansu erozyjno-akumulacyjnego w profilach pomiarowych na ścieżkach wykazała, że zadarnione strefy ścieżek, szczególnie na spłaszczeniach stokowych, zatrzymują erodowaną glebę i ulegają powolnemu nadbudowywaniu. Podstrefy ścieżek



Ryc. 6. Pionowe zmiany szlaku „czarnego” w wybranych profilach pomiarowych w okresie od maja do listopada 1993 r. a – stan z dnia 26 maja, b – stan z dnia 7 listopada, c – zadarniona część ścieżki, d – część ścieżki pozbawiona roślinności. Lokalizacja profili pomiarowych (nr: 1, 2, 4, 5) jak na ryc. 1.

Fig. 6. Vertical changes of the „black” trail on selected measurement profiles in May–November 1993. a – state of 26 May, b – state of 7 November, c – turfed stretch of a path, d – stretch of a path deprived of vegetation. Location of measurement profiles (1, 2, 4, 5) as in Figure 1.

pozbawione szaty roślinnej, zwłaszcza żłobiny erozyjne, są erodowane. Sytuacja ta rzuca na ogólną tendencję rozwojową szlaku turystycznego w jego profilu poprzecznym, gdzie rozmiary erozji są większe od rozmiarów depozycji gleby. Rycina 6 przedstawia rozmiary pogłębienia i nadbudowania ścieżki w wybranych profilach poprzecznych szlaku „czarnego” w okresie od 26 maja do 7 listopada 1993 r. Pionowe zmiany szlaku były w badanym okresie niewielkie i na ogół nie przekroczyły 10 cm. W krótszych okresach osiągały większe wartości i nie zawsze były jednokierunkowe. W okresie od maja do

lipca, gdy opady deszczu były najwyższe, a częstotliwość dni z wysokimi sumami opadu (także z ulewami) znacznie większa niż w miesiącach późniejszych (Łajczak 1996c), erozja osiągnęła największe rozmiary w okresie badań. W niektórych krótkich okresach (wyznaczonych przez daty kolejnych pomiarów) pogłębienie żłobin erozyjnych osiągnęło 30 cm, a kociołków eworsyjnych nawet 50 cm. Tak znacznie pogłębione odcinki żłobin uległy jednak zamuleniowi podczas następczej ulewy; w okresach bezdeszczowych były one dodatkowo wypłycane na skutek rozdeptywania szlaku. W okresie badań nie stwierdzono znaczących zmian w szerokości żłobin erozyjnych.

Również rozmiary depozycji gleby były największe między majem a lipcem. W tym czasie zdeponowane zostało około 80% materiału glebowego w okresie badań. Stanowi to potwierdzenie dużych rozmiarów erozji w tym okresie. Między majem a lipcem podobny procent objętości materiału glebowego, w stosunku do całego okresu badań, został wyerodowany w żłobinach. Zdeponowana gleba została szybko przerośnięta przez darń i utrwalona. W całym okresie badań miąższość namytej warstwy gleby na spłaszczeniach stokowych nie przekroczyła 3 cm i osiągnęła średnią wartość 1 cm. Objętość zdeponowanej gleby w okresie badań w sąsiedztwie żłobin erozyjnych, w których prowadzono pomiary erozji, była mniejsza o ponad połowę od oszacowanej kubatury erozji z tego okresu. Oznacza to, że większa część masy wyerodowanej gleby na szlaku turystycznym została zdeponowana w miejscach, gdzie efekty sedymentacyjne były trudne do zidentyfikowania. Jesienią rozmiary erozji i akumulacji uległy znacznemu zmniejszeniu.

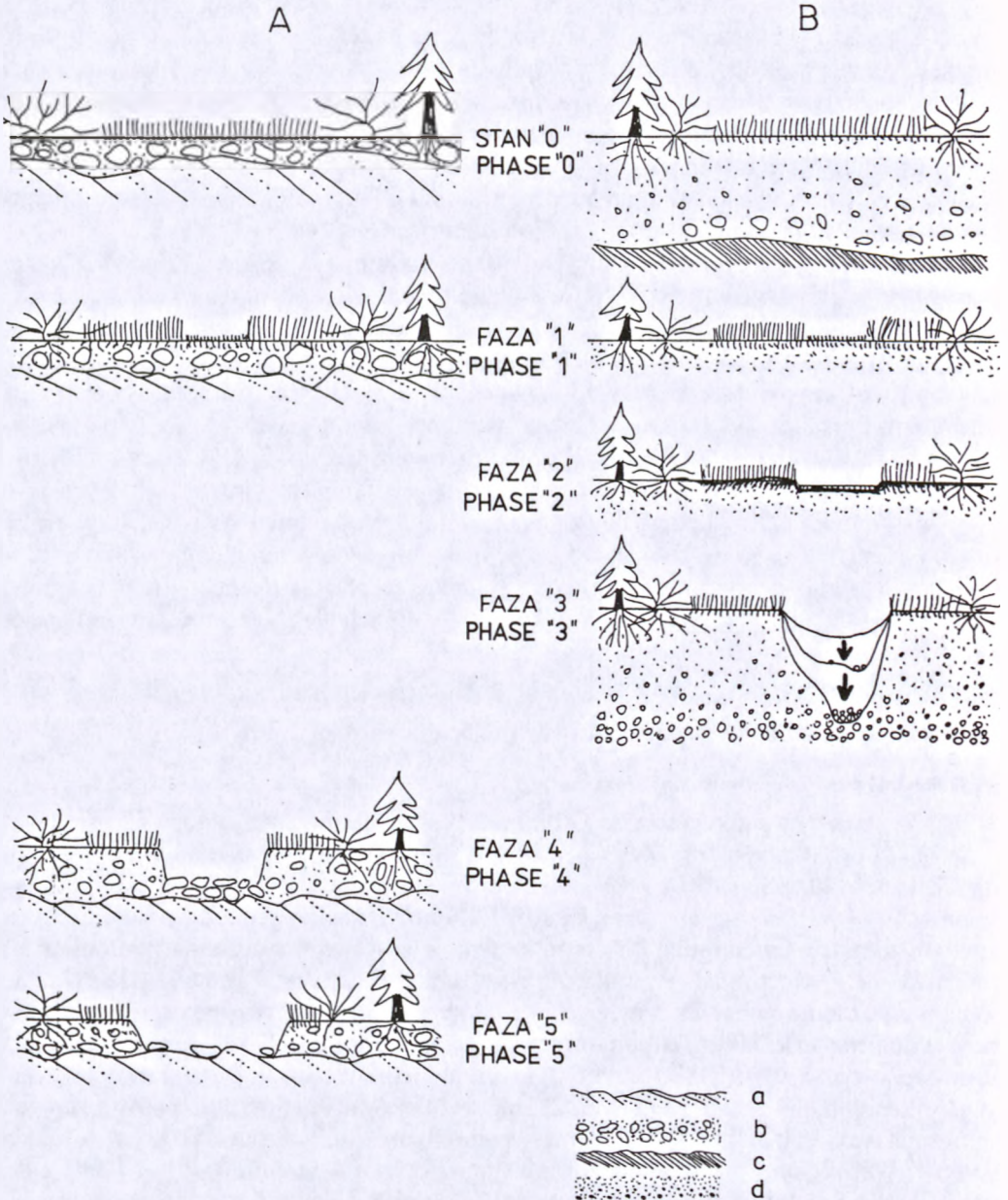
3.5. Rozwój morfologiczny degradowanych fragmentów stoku

3.5.1. Rozwój morfologiczny żłobin erozyjnych

Żłobiny erozyjne stanowią jeden z dominujących elementów krajobrazu zdegradowanych obszarów w podszczytowej partii Pilska. Te mikroformy znajdują się w różnych stadiach rozwoju. Stopień rozwoju morfologicznego żłobiny erozyjnej zależy od czasu formowania i odporności erozyjnej podłoża. Żłobiny rozwijające się na szlaku „czarnym” formują się co najmniej od początku zorganizowanej turystyki na tym obszarze, czyli od około 100 lat. Wiele tych mikroform zostało już zarośniętych i mimo tego są one nadal widoczne na stoku. Żłobiny erozyjne w obrębie ścieżek nieoznakowanych rozwijają się dopiero od kilku lub kilkunastu lat. Zdjęcia lotnicze z 1977 i 1983 r. nie wskazują na występowanie wyraźnych form erozyjnych na badanym stoku poza szlakami „czarnym” i „żółtym”. Wskazuje to, że erozja na nieznakowanych ścieżkach prowadzących po trasach narciarskich i pod wyciągami zaczepowymi została zapoczątkowana w latach 80-tych. Wyróżniono pięć etapów formowania żłobin erozyjnych (ryc. 7). Pełny cykl rozwoju tych mikroform zachodzi w warunkach grubej pokrywy zwietrzelinowej; jeśli pokrywa nie osiąga znacznej miąższości nie wszystkie fazy rozwoju żłobin mogą zostać wyróżnione.

Stan „0” reprezentuje sytuację przed powstaniem ścieżki. Dominowała wówczas szybka infiltracja wody i minimalny spływ powierzchniowy. Erozja gleby praktycznie nie zachodziła.

Fazę „1” reprezentują odcinki ścieżek, gdzie często dochodzi do ścinania pędów darńi czy borówki. System korzeniowy jest jeszcze nienaruszony. Fazę tą należy uznać za



Ryc. 7. Schemat rozwoju morfologicznego żłobin erozyjnych w warunkach zróżnicowanego litologicznie podłoża. Podłoże skalne: A – piaskowiec magurski, B – warstwy hieroglifowe i łupki. a – piaskowiec magurski, b – zwietrzelina gruzowa na piaskowcu, c – warstwy hieroglifowe i łupki, d – zwietrzelina gliniasta na warstwach hieroglifowych i łupkach.

Fig. 7. Scheme of the morphological development of erosion cuts in conditions of the lithologically diversified relief. Rocky substratum: A – Magura Sandstone, B – Hieroglyphic Beds (sandstone and shale), a – Magura sandstone, b – rubble waste on sandstone, c – Hieroglyphic Beds, d – silty slope waste on Hieroglyphic Beds.

etap przygotowawczy do erozji gleby, która jeszcze nie zachodzi na ścieżce. Fazę tą reprezentują niektóre nieznakowane ścieżki w rejonie Hali pod Kopcem.

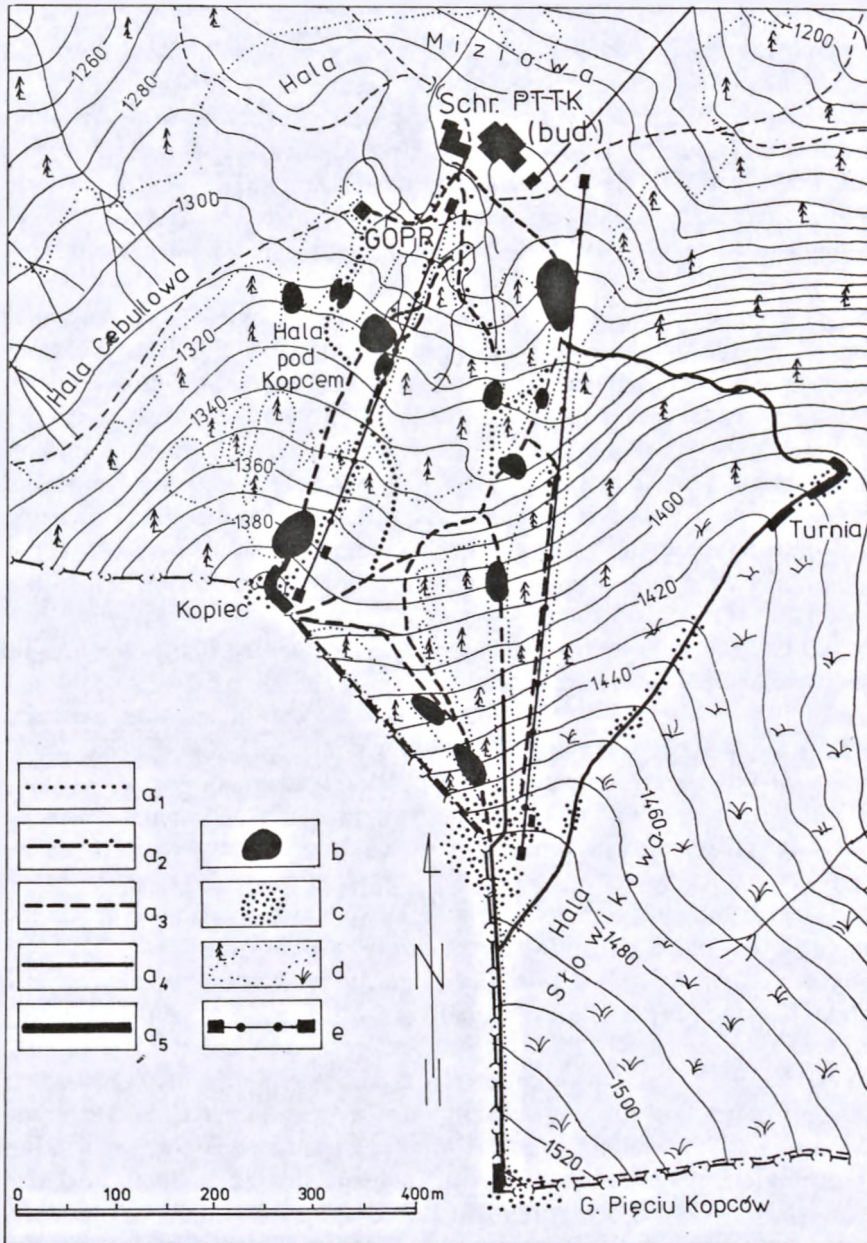
Fazę „2” reprezentują odcinki ścieżek ze znacznie zniszczoną szatą roślinną, włącznie z warstwą zakorzenienia. Profil podłużny ścieżki zaczyna przybierać układ schodowy: płyty darni przeplatają się z miejscami bardziej stromymi o wyeksponowanej glebie. Erozja gleby znajduje się w fazie inicjalnej, głębokość rozcięć erozyjnych zaczyna przekraczać spąg strefy zakorzenienia. Tę fazę erozji reprezentują bardziej strome odcinki ścieżek w otoczeniu Hali pod Kopcem.

Faza „3” przedstawia szybko pogłębiane żłobiny erozyjne. W badanym obszarze w tej fazie rozwoju znajdują się tylko żłobiny wycinane w gliniastej zwierzelinie. Do pewnego momentu erozja jest hamowana przez głębiej występujące korzenie świerków, kosodrzewiny, jałowca halnego czy borówki. Gdy korzenie zostaną ścięte (najbardziej żywotne są korzenie świerków), erozja przebiega szybciej i zostaje wyhamowana, gdy żłobiny osiągną rumoszowe podłoże. Szybką erozję wywołuje skoncentrowany spływ powierzchniowy, a w okresach bezopadowych degradowanie podłoża przez turystów. Żłobiny w tej fazie rozwoju o typowym trójkątnym przekroju poprzecznym charakteryzują się zróżnicowaną głębokością, często przekraczającą 50 cm, a lokalnie nawet 80 cm.

Fazę „4” osiągnęły do tej pory tylko ścieżki na podłożu piaskowca magurskiego. Choć głębokość wcięć erozyjnych znacznie ustępuje żłobinom fazy „3” z obszaru łupkowego, ich dna są już wyścielone blokami piaskowca z minimalną domieszką drobnego materiału (często ulega on wymywaniu i wywiewaniu). Jeżeli bloki piaskowca w pokrywie rumoszowej mają średnicę ponad 50 cm, dalsze pogłębianie ścieżek ulega zahamowaniu. Sytuację taką stwierdzono tylko w niektórych odcinkach szlaku „żółtego” powyżej Turni. Żłobiny erozyjne na tym etapie rozwoju mają już typowy trapezowy profil poprzeczny.

Faza „5” przedstawia sytuację, gdy w dnie wciosu ścieżki odsłania się lita skała. Pogłębianie żłobiny ulega zahamowaniu, dalszy rozwój formy polega tylko na jej poszerzaniu. Sytuacja taka występuje obecnie wyłącznie na krótkich odcinkach ścieżek na wierzchołku Kopca, w rejonie Góry Pięciu Kopców i lokalnie na szlaku „żółtym” powyżej Turni.

Rozmieszczenie ścieżek z wyróżnionymi fazami żłobin erozyjnych na badanym stoku, a także innych mikroform powstałych pod wpływem turystycznej penetracji stoku, przedstawia ryc. 8. Wyróżnioną fazę „1” rozwoju żłobin można porównać ze strefą słabej degradacji gleby w otoczeniu ścieżek turystycznych w Zachodnich Beskidach (Maciaszek, Zwydak 1992a). Gleby w obrębie żłobin będących w dalszych fazach rozwoju cechują się już średnią lub silną degradacją. Gleby te utraciły naturalny układ poziomów genetycznych i dlatego można je zaliczyć do gleb antropogenicznych. Gleby szkieletowe na podłożu piaskowca magurskiego, intensywnie degradowane przez turystów, wykazują cechy antropogenicznych rankerów. Gęstość objętościowa przypowierzchniowej warstwy gleby zwiększa się od około 0,2–0,6 t/m³ w obszarach będących poza zasięgiem wydeptywania do około 1,5 t/m³ w silnie wydeptywanych strefach ścieżek. W tych obszarach został odwrócony naturalny układ gęstości gleby w profilu głębokościowym; największą gęstością cechuje się wierzchnia mocno związła warstwa gleby, pozbawiona żywych korzeni (Łajczak 1996d). Sytuację taką na ścieżkach turystycznych sygnalizuje



Ryc. 8. Rozmieszczenie ścieżek z wyróżnionymi fazami rozwoju żłobin erozyjnych i innych obszarów degradowanych na skutek ruchu turystycznego na północnym stoku obszaru podszczytowego Pilska. a – żłobiny erozyjne (a₁ – faza „1”, a₂ – faza „2”, a₃ – faza „3”, a₄ – faza „4”, a₅ – faza „5”), b – obszary degradowane przez narciarstwo, c – obszary intensywnej deflacji, działalności lodu włóknistego i lokalnie zachodzącej soliflukcji, d – granice przecinek leśnych i w kosodrzewinie, e – wyciągi zaczepowe.

Fig. 8. Location of paths with the distinguished phases of the development of erosion rills and of other areas degraded by tourists on the upper part of the northern slope of Mt. Pilsko. a – erosion cuts (a₁ – phase 1, a₂ – phase 2, a₃ – phase 3, a₄ – phase 4, a₅ – phase 5), b – areas degraded by skiing, c – areas of intense deflation, fibrous ice effects and locally occurring solifluction, d – borders of corridors cut in forest and dwarf pine thicket, e – ski lifts.

wano z innych obszarów polskich Karpat (Łajczak 1990, Maciaszek, Zwydak 1992a, 1992b).

Odcinki szlaków turystycznych ze zniszczoną pokrywą roślinną, gdzie żłobiny erozyjne znajdują się w zaawansowanej fazie rozwoju, są narażone na dalszą szybką erozję. Jest to spowodowane odsłanianiem, w wyniku denudacji, coraz głębszych horyzontów gleby o odmiennych właściwościach fizycznych i chemicznych niż jej wierzchnia warstwa. Sytuacja ta pogarsza warunki wzrostu i rozwoju roślin, zwłaszcza gdy gęstość objętościowa wierzchniej warstwy gleby przekracza $1,35 \text{ t/m}^3$ (Hildebrand 1983). Sytuacja taka została już osiągnięta na wielu odcinkach ścieżek (Łajczak 1996d). Niemożność regeneracji szaty roślinnej na szlaku turystycznym w połączeniu z dużym ugnieceniem gleby wzmaga rozmiary jej erozji. W takiej sytuacji, z uwagi na mniejszą pojemność infiltracyjną gleby na ścieżce w stosunku do intensywności opadu, istnieją sprzyjające warunki dla wystąpienia spłukiwania (Thornes 1985). Potwierdzają to wyniki eksperymentu polowego na szlakach turystycznych w Zachodnich Beskidach (Maciaszek, Zwydak 1992a).

Przedstawione wyniki badań wskazują, iż litologia podłoża wywiera decydujący wpływ na ukształtowanie żłobin erozyjnych w obrębie badanego stoku. Dlatego ścieżki na podłożu piaskowca magurskiego są wolno pogłębiane pomimo dużego obciążenia ruchem turystycznym. Większość rozcięć erozyjnych w tym obszarze nie ulega już szybkiemu pogłębianiu. Aktualna faza rozwoju tych mikroform przemawia za skutecznym samowyhamowaniem erozji w warunkach odsłonięcia się dużych, stabilnych bloków skalnych w dnie żłobin. Żłobiny erozyjne na podłożu łupkowym są natomiast nadal szybko pogłębiane. Rozwój tych mikroform znajduje się dopiero w fazie inicjalnej. „Zapas erozyjny”, czyli potencjalna objętość gleby możliwej do wyerodowania w obrębie tych mikroform, jest znaczny nawet w przypadku najdłużej użytkowanego szlaku „czarnego”. Stanowi to kolejny sygnał o konieczności szybkiego rozpoczęcia zabiegów rekultywacyjnych w obrębie zdegradowanych fragmentów stoku.

3.5.2. Rozwój morfologiczny kociołków eworsyjnych

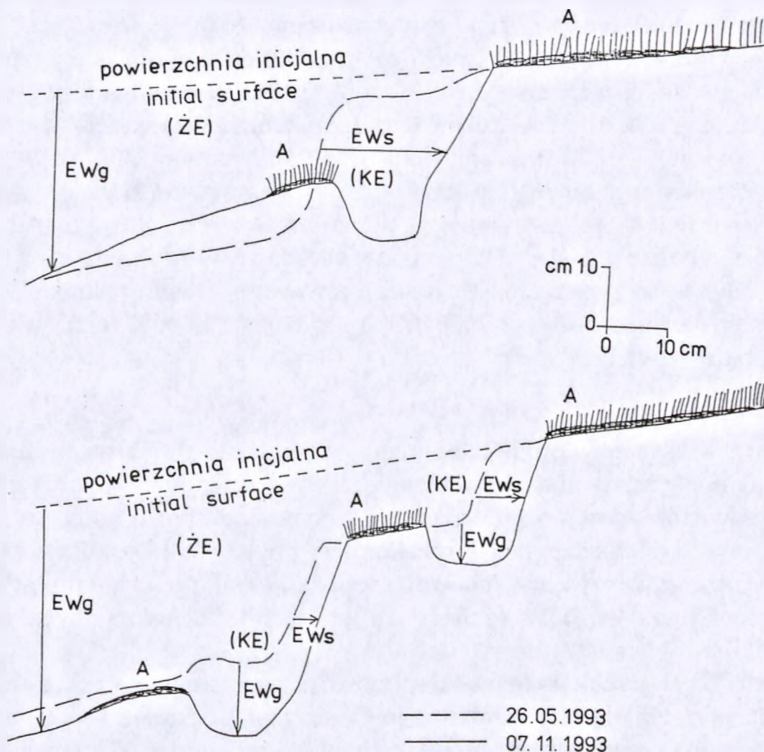
Żłobiny erozyjne ulegają pogłębianiu nie w wyniku równomiernego obniżania dna, lecz na skutek pogłębiania niszowatych zagłębień w ich obrębie – mających cechy kociołków eworsyjnych i cofania ich progów. Z tego powodu profil podłużny żłobin erozyjnych najczęściej ma kształt schodowy. Pomiar pogłębiania kociołków i cofania ich progów wykazały, że w okresie od maja do listopada 1993 r. progi tych mikroform cofnęły się od 5 do 55 cm. Przykład rozwoju dwóch kociołków eworsyjnych przedstawia rycina 9.

Podczas krótkotrwałych epizodów ze spływem powierzchniowym skoncentrowanym progi kociołków spełniają rolę miniatury progów wodospadowych, poniżej których wirująca woda pogłębia niszowate zagłębienia i podcina próg, który ulega cofaniu w górę stoku. Wyerodowany materiał podlega częściowej depozycji bezpośrednio poniżej kociołka w zadarnionych odcinkach żłobin. Pozostała część materiału podlega dalszemu transportowi. Podczas kolejnych epizodów ze spływem powierzchniowym poszczególne kociołki podlegają zróżnicowanemu pogłębianiu, różna jest również odległość cofnięcia ich progów. Niektóre z tych mikroform mogą nawet zostać okresowo wypełnione materiałem. W okresach bezdeszczowych ruch turystyczny przyczynia się

do znacznej degradacji tych mikroform, wyciętych najczęściej w miękkiej glinie. Kontury wielu kociołków ulegają zatarciu. Kolejne ulewy często doprowadzają do odtworzenia tych mikroform. Szybkie zmiany w ukształtowaniu kociołków eworsyjnych wywołuje przesuwanie bloków piaskowca czy ścinanie korzeni kosówki, które wcześniej spełniały rolę lokalnych progów w żłobinach erozyjnych. Te zmiany w obrębie ścieżek dokonują się najczęściej w wyniku pieszego ruchu turystycznego; tego typu efekty na stoku powyżej Hali Miziowej bardzo rzadko wywołuje przejazd samochodów, poniżej tej hali rola pojazdów w degradowaniu stoku jest już większa. Podobnie niewielka jest rola ratriaków w takiej formie degradowania stoku powyżej Hali Miziowej. Podane fakty wskazują, że kociołki eworsyjne występujące w żłobinach erozyjnych badanego stoku należą do form wybitnie efemerycznych.

3.5.3. Rozwój morfologiczny zdegradowanych obszarów na trasach narciarskich

Fragmenty tras narciarskich ze zniszczoną szatą roślinną charakteryzują się minimalnym natężeniem erozji. Na wielu obszarach tras, gdzie zostały ścięte pędy darni, borów-



Ryc. 9. Rozwój morfologiczny wybranych kociołków eworsyjnych w obrębie żłobiny erozyjnej na „czarnym” szlaku turystycznym w okresie od maja do listopada 1993 r. Dominujące procesy: EWg – erozja wglębna, Ews – erozja wsteczna, ZE – żłobina erozyjna, KE – kociołek eworsyjny, A – akumulacja gleby.

Fig. 9. Morphological development of the selected evorsive pot holes within an erosion rill on the „black” tourist trail in May–November 1993. Main processes: EWg – deep erosion, Ews – backward erosion, ZE – erosion cut, KE – evorsive pot hole, A – soil accumulation.

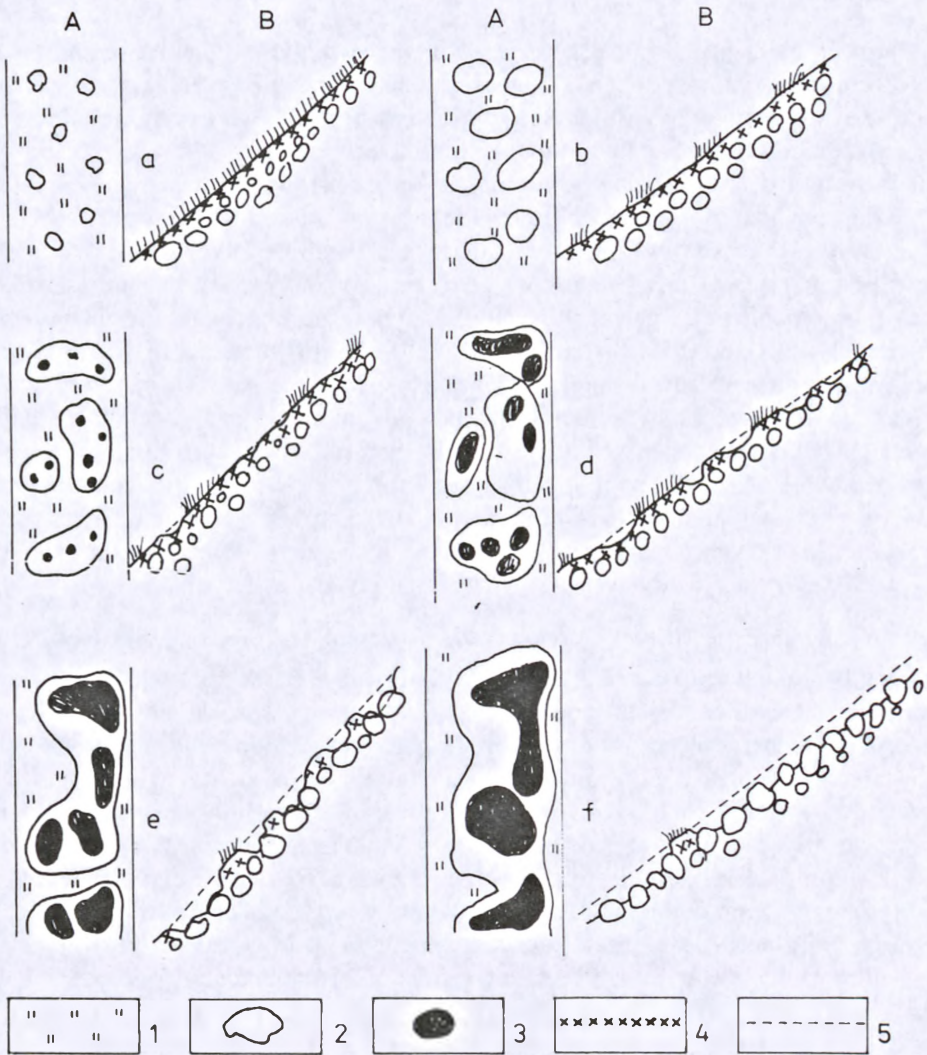
ki czy jałowca halnego, zachowała się jeszcze warstwa gleby z nienaruszonym systemem korzeniowym, który skutecznie przeciwdziała erozji. Zniszczenie tej warstwy gleby doprowadza do szybszego usuwania głębszych poziomów glebowych, wskutek czego odsłaniają się wierzchnie fragmenty większych bloków piaskowca czy korzenie świerków lub kosówki. Te bloki skalne i korzenie ulegają częściowemu ścinaniu przez ratraki, a drobnoziarnisty materiał glebowy łatwiej ulega wymywaniu i wywiewaniu. W końcowej fazie wytapiania pokrywy śnieżnej materiał ten lokalnie podlega soliflukcji. Efektywność erozyjna spływu powierzchniowego rozproszonego jest w takich miejscach niewielka w porównaniu ze spływem skoncentrowanym w żłobinach. Liczne choć niewielkie powierzchniowo (do 0,5 m²) i bardzo płytkie (do 10 cm) zagłębienia, występujące w obrębie większych obszarów o zdegradowanej szacie roślinnej, ulegają bardzo powolnemu pogłębianiu i poszerzaniu. Pomiar przeprowadzone w obrębie 20 takich zagłębień, występujących na trasach narciarskich poza ścieżkami (na północnym stoku Kopca i pod Halą Słowikową) wykazały, że mikroformy te w okresie od maja do listopada 1993 r. pogłębiły się maksymalnie tylko o 2 cm, a średnio o 0,5 cm. Poszerzenie tych mikroform nie przekroczyło w tym okresie 3 cm. Rozwój mikrorzeźby w obrębie tras narciarskich nie objętych przez pieszą turystykę, schematycznie przedstawia rycina 10.

3.5.4. Rozwój morfologiczny obszarów zdegradowanych przez turystykę pieszą i narciarstwo

Fragmenty stoku penetrowane przez pieszych turystów, narciarzy i dodatkowo degradowane przez ratraki i samochody charakteryzują się dużym natężeniem wszystkich czynników erozji. Obszary takie, z przyrodniczego punktu widzenia uważane za zdewastowane i stanowiące na Pilsku doskonałe punkty widokowe, są intensywnie penetrowane przez turystów w ciągu całego roku. Należy do nich otoczenie górnej stacji wyciągu nr VII, wierzchołek Kopca, Góra Pięciu Kopców i Skalka pod Turnią. W tych miejscach objętość wyerodowanej gleby jest największa na Pilsku. Rozluźnianie pokrywy glebowej w wyniku pieszego ruchu turystycznego zwiększa w tych miejscach, występujących powyżej górnej granicy lasu, morfogenetyczną efektywność wiatru i lodu włóknistego. Podczas ulew gleba jest wmywana, a na wiosnę podlega degradacji na skutek lokalnie zachodzącej soliflukcji. W efekcie na dużej powierzchni stoku odsłania się rumosz. Tworzące się rynny o głębokości do 50 cm poszerzają się, a występujące między nimi ostańce glebowe z zachowaną darnią kurczą się. Degradacja ostańców glebowych zachodzi na skutek oddziaływania wiatru i lodu włóknistego; pozostałości po tych ostańcach ulegają obalaniu a resztki gleby są rozdeptywane przez turystów. Dalszy rozwój tych obszarów polega na odprowadzaniu drobnoziarnistej zwietrzeliny, wskutek czego na coraz większej powierzchni odsłania się rumoszowe podłoże czy nawet wychodnie litej skały (ryc. 11). Wierzchołek Kopca i Skalka pod Turnią to obszary, gdzie wychodnie litej skały zajmują coraz większą powierzchnię. Bardziej niekorzystne zmiany w krajobrazie dokonały się na Hali Słowikowej w otoczeniu górnej stacji wyciągu nr VII. Rycina 12 ilustruje stopień degradacji tego obszaru.

3.5.5. Rozwój morfologiczny stoku użytkowanego przez narciarstwo

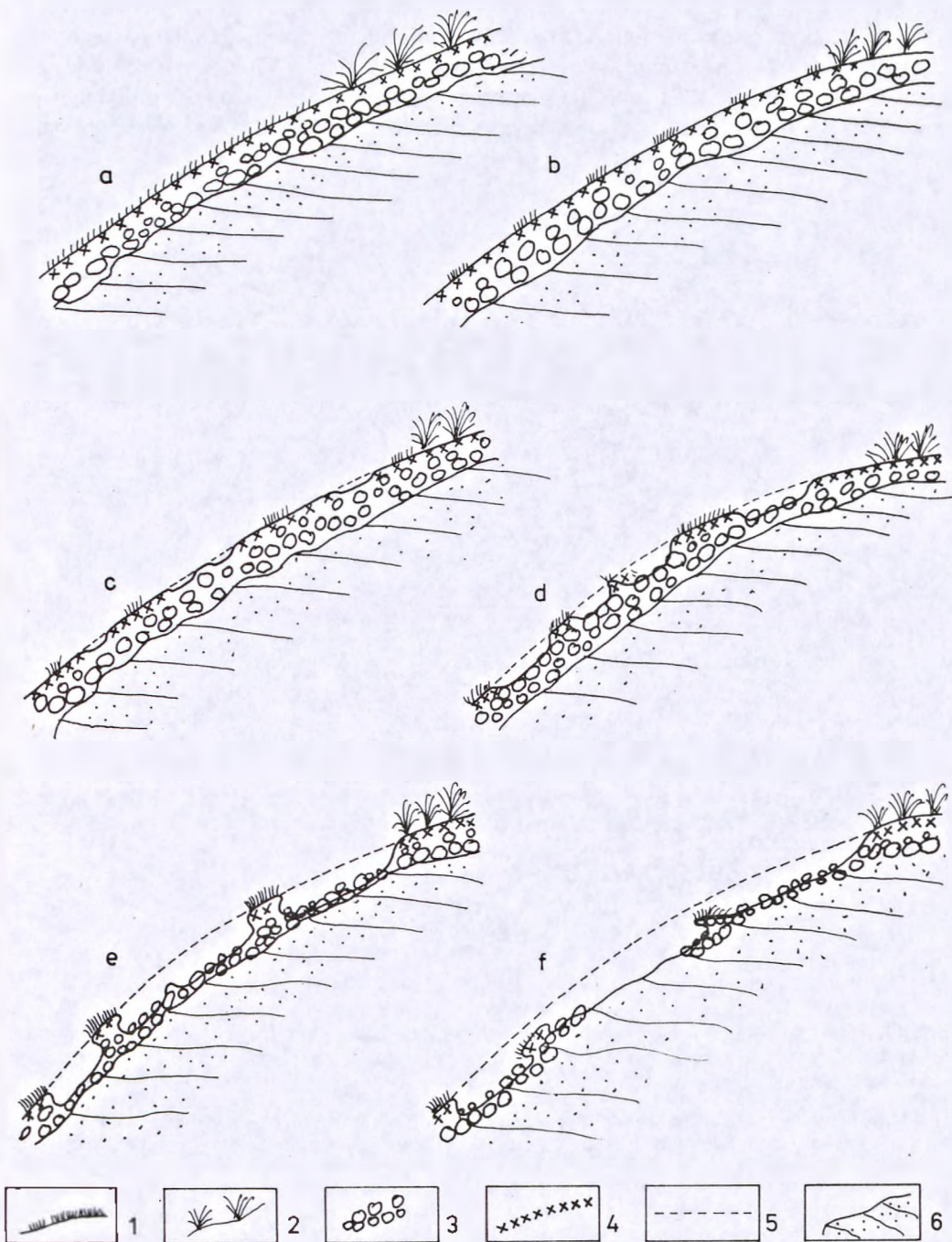
Prace ziemne związane z profilowaniem stoku pod trasy narciarskie oraz naprzemianległość erodowanych i nadbudowywanych obszarów, prowadzi do wygładzania profilu podłużnego stoku. Na trasach zjazdowych dochodzi również do wyrównywania profilu



Ryc. 10. Schemat rozwoju mikrorzeźby na trasie narciarskiej nie objętej przez pieszki turystykę. A – plan trasy, B – profil podłużny trasy. a–f – fazy rozwoju stoku, 1 – darni, 2 – obszary ze zniszczoną darnią, 3 – obszary z erodowaną glebą, 4 – gleba, 5 – pierwotna powierzchnia stoku.

Fig. 10. Scheme of the microrelief development on a ski trail not trampled by hikers. A – plan of a trail, B – longitudinal profile of a trail. a–f – phases of slope development, 1 – turf, 2 – areas with destroyed turf, 3 – areas with degraded soil, 4 – soil, 5 – initial area of the slope.

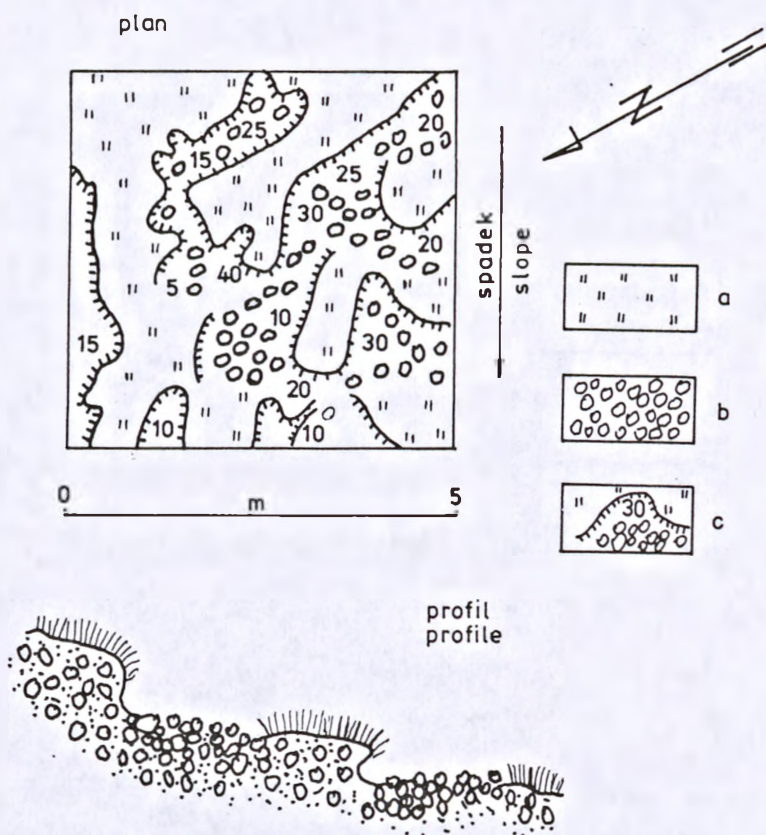
poprzecznego stoku. W obszarach użytkowanych tylko przez narciarzy i objętych dodatkowo pracą ratraków, nie dochodzi do liniowego rozcinania stoku. W obszarach dodatkowo penetrowanych przez pieszych turystów na efekty morfologiczne będące skutkiem narciarstwa, nakładają się efekty urozmaicające mikrorzeźbę i będące skutkiem erozji żłobinowej. Turystyczna degradacja gleb inicjuje w takich obszarach nowe kierunki rozczłonkowania stoku. Tempo pogłębiania żłobin erozyjnych ulega wyhamowaniu, gdy mikroformy te osiągną bardziej rumoszkowe podłoże. Gdy rozcięcia



Ryc. 11. Rozwój mikroreliezu w obszarach degradowanych przez narciarstwo i pieszą turystykę. a-f – fazy rozwoju stoku, 1 – darni, 2 – kosodrzewina, 3 – pokrywy rumoszowe, 4 – gleba, 5 – pierwotna powierzchnia stoku, 6 – podłoże skalne.

Fig. 11. Microrelief development in areas degraded by skiing and hiking. a-f – phases of slope development, 1 – turf, 2 – dwarf pine, 3 – rubble waste, 4 – soil, 5 – initial slope area, 6 – bedrock.

erozyjne osiągną litą skałę, dalszy rozwój tych mikroform polega na ich poszerzaniu. Z czasem na dużej powierzchni, obejmującej wcześniej nawet kilka równolegle biegnących żłobin erozyjnych, odsłania się rumosz, a później lita skała. Utrwaleniu tych obszarów przez roślinność skutecznie przeciwdziała dalsze ich degradowanie przez turystów.



Ryc. 12. Szkic morfologiczny fragmentu stoku w obrębie Hali Słowikowej. Przykład obszaru o zaawansowanej erozji. a – darni, b – rumosz odsłonięty spod gleby, c – niszowate zagłębienia erozyjne (liczby oznaczają wysokość skarp w cm).

Fig. 12. Morphological sketch of the slope fragment within Hala Słowikowa. An example of the area with advanced erosion. a – turf, b – rubble exposed from below the soil, c – erosion hollows (numbers express the height of escarpments in cm).

Uaktywnianie się w takich miejscach, szczególnie w piętrze subalpejskim, wielu procesów morfogenetycznych (splukiwanie, deflacja, procesy grawitacyjne, działalność lodu włóknistego, soliflukcja, lokalne sływy gruzowe), których zasięg i natężenie było niewielkie przed wkroczeniem na ten obszar turystyki, utrwała opisaną tendencję rozwoju stoku.

4. Wnioski

Bezpośredni wpływ narciarstwa na erozję gleby północnego stoku Pilska należy uznać za umiarkowany. Większy wpływ od narciarzy na degradowanie gleb wywierają ratraki. Erozja na trasach narciarskich jest powodowana głównie przez pieszych turystów. Zjawisko to określane jako pośredni wpływ narciarstwa na degradację gleb wynika z powstania wielu przecinek w lesie i kosodrzewinie, rozpraszających turystyczną penetrację w okresie letnio-jesiennym. W takich miejscach powstają typowe dla szlaków turystycznych mikroformy erozyjne, jednak tempo ich rozwoju jest znacznie wolniejsze. Negatywny wpływ narciarstwa na środowisko badanego stoku można zminimalizować przez wprowadzenie lekkiego typu ratraka, który nie będzie już w takim stopniu niszczył podłoża, jak obecnie używany sprzęt. Poprawę sytuacji na trasach narciarskich przyniesie też dosnieżanie tych fragmentów tras, gdzie miąższość pokrywy śnieżnej zawsze jest mniejsza od wskazanej wartości granicznej. Znaczna poprawa sytuacji w stanie środowiska badanego stoku zostanie osiągnięta w wyniku wstrzymania ruchu pieszego w obszarach poza znakowanymi szlakami turystycznymi.

Erozja badanego stoku jest w największym stopniu wywoływana przez pieszą turystykę. Obejmuje ona znakowane szlaki turystyczne i ścieżki na trasach narciarskich. Zahamowanie erozji liniowej na ścieżkach może nastąpić po utworzeniu linii drenażowych odprowadzających wodę deszczową na obrzeża i wybudowaniu progów przeciwoerozyjnych w żłobinach. Oprócz tych technicznych zabiegów, także zmiany w przestrzennej organizacji ruchu pieszego, polegające na wyeliminowaniu ruchu poza znakowanymi szlakami lub lokalnej korekcie przebiegu niektórych odcinków szlaków, mogą wydatnie zmniejszyć rozmiary erozji badanego stoku.

Stosunkowo niewielkie rozmiary erozji w okresie bez pokrywy śnieżnej w 1993r., charakteryzującym się nietypowym w stosunku do lat wcześniejszych przebiegiem warunków pogodowych, pozwalają przypuszczać, że w latach z bardzo wysokimi opadami deszczu erozja osiągnie znacznie większe rozmiary. Dotyczy to zwłaszcza fragmentów stoku z zaawansowaną erozją. Zagrożenie erozyjne będzie również wynikać z nasilającej się turystycznej penetracji obszaru, zarówno w sezonie z pokrywą śnieżną jak i w okresie letnio-jesiennym. W tej sytuacji konieczne jest szybkie wykonanie rekultywacji zdegradowanych obszarów stoku.

Piśmiennictwo

- ADAMCZYK B. 1980. Rola gleby w regulowaniu dyspozycyjnych zasobów wodnych (Role of soil in regulating disposable water resources). *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 235: 59–84.
- BEHAN M.J. 1983. The suitability of commercially available grass species for revegetation of Montana ski areas. *J. Range Manage.* 38.
- CANDELA R.M. 1982. Pistes de ski et erosion anthropique dans les Alpes du Sud. *Mediterranee* 3–4.
- ČERNUŠKA A. 1986. Ökologische Auswirkungen des Baues und Betriebes von Schipisten und Empfelungen zur Reduktion der Umweltschaden. Council of Europe, Strasbourg. *Nature and Environ.* 33.
- DOBIA A. 1973. Present-day gravitation processes on the slopes of the Jaworzynka Valley (the Polish Tatra Mts.). *Studia Geomorph. Carp.-Balc.* 7: 75–90.

- DUDZIAK J. 1974. Obserwacje nad rozwojem rynien stokowych na polanach tatrzańskich (Observations of development of slope rills in forest clearings of the Tatra Mts.). *Czasopis. Geogr.* 45, 1: 31–45.
- ETLICHER B. 1990. Observations sur la dynamique actuelle des versants dans l'est du Massif Central. La terre et les hommes, nouvelle serie, fasc. 32, Faculte de sciences humaines de l'Universite Blaise-Pascal, Clermont-Ferrand.
- GERLACH T. 1976a. Bombardująca działalność kropel deszczu i jej znaczenie w przemieszczaniu gleby na stokach (L'importance de l'action des gouttes de pluie pour le transport du sol sur le versants). *Studia Geomorph. Carp-Balc.* 10: 125–137.
- GERLACH T. 1976b. Współczesny rozwój stoków w polskich Karpatach fliszowych (The present-day development of slopes in the Polish flysch Carpathians). *Prace Geogr. IGPZ PAN* 122: 1–116.
- GIL E. 1976. Splukiwanie gleby na stokach fliszowych w rejonie Szymbarku (Slopewash on flysch slopes in the region of Szymbark). *Dokument. Geogr.* 2: 1–65.
- HAIMAYER P. 1989. Glacier-skiing areas in Austria. A sociopolitical perspective. *Mountain Res. Develop.* 9.
- HILDEBRAND E.E. 1983. Der Einfluss der Bodenverdichtung auf die Bodenfunktionen im forstlichen Standort. *Forstwis. Cbl.* 2: 111–125.
- HOLEKSA J., HOLEKSA K. 1981. Oddziaływanie turystyki na roślinność Babiogórskiego Parku Narodowego. *Parki Nar. Rez. Przyr.* 2: 3–24.
- KASZOWSKI L., KRZEMIEN K., LIBELT P. 1988. Postglacialne modelowanie cyrków lodowcowych w Tatrach Zachodnich. *Zesz. Nauk. UJ, Prace Geogr.* 71: 121–141.
- LIBELT P. 1988. Warunki i przebieg sedimentacji osadów postglacialnych w cyrkach lodowcowych Tatr Zachodnich na przykładzie Kotła Starorobociańskiego (Conditions and course of sedimentation of post-glacial deposits by taking as example the Starorobociański Cirque, Western Tatra Mts.). *Studia Geomorph. Carp-Balc.* 22: 63–82.
- ŁAJCZAK A. 1990. Właściwości wodne i zagrożenie erozyjne gleb polan reglowych w Tatrach (Water properties and the threat of erosion to soils of the Tatra glades). *Studia Naturae, ser. A*, 34: 51–75.
- ŁAJCZAK A. 1994. Wpływ antropopresji na środowisko abiotyczne kopuły szczytowej Pilsko. *Biul. Pol. Tow. Rozw. Ziem Górskich* 4: 47–59.
- ŁAJCZAK A. 1996a. Present morphological development of the slopes intensively exploited by skiers: case study of the northern Pilsko slope, Polish Western Carpathians. *Proc. of the Intern. Symp. INTERPRA-EVENT 1996, Garmisch-Partenkirchen, Band 2*: 191–202.
- ŁAJCZAK A. 1996b. Oddziaływanie narciarstwa na pokrywą śnieżną w obszarze podszczytowym Pilsko (The influence of skiing on snow cover at the top of the Pilsko Massif). W: Łajczak A., Michalik S., Witkowski Z. (red.). *Wpływ narciarstwa i turystyki pieszej na przyrodę masywu Pilsko (The impact of skiing and hiking on the nature of the Pilsko Massif, Western Carpathians)*. *Studia Naturae* 41: 103–130.
- ŁAJCZAK A. 1996c. Wybrane elementy pogody północnego stoku Pilsko (Selected weather elements on the northern slope of Pilsko). W: Łajczak A., Michalik S., Witkowski Z. (red.). *Wpływ narciarstwa i turystyki pieszej na przyrodę masywu Pilsko (The impact of skiing and hiking on the nature of the Pilsko Massif, Western Carpathians)*. *Studia Naturae* 41: 61–80.
- ŁAJCZAK A. 1996d. Środowisko abiotyczne Pilsko ze szczególnym uwzględnieniem obszaru podszczytowego (Abiotic environment of Mt. Pilsko with particular regard to its top). W: Łajczak A., Michalik S., Witkowski Z. (red.). *Wpływ narciarstwa i turystyki pieszej na przyrodę masywu Pilsko (The impact of skiing and hiking on the nature of the Pilsko Massif, Western Carpathians)*. *Studia Naturae* 41: 13–32.
- ŁAJCZAK A. 1996e. Pilsko. Przewodnik krajoznawczo-turystyczny (z barwnymi mapami). Wyd. GAT, Gliwice–Kraków (w druku).
- Łajczak A. 1996f. Analiza stosunków mezoklimatycznych północnych stoków Pilsko a turystyczne i narciarskie wykorzystanie tego obszaru (The analysis of mesoclimatic conditions on northern slopes of Pilsko and touristic and skiing use of the area). *Czasopis. Geogr.* 1: 17–47.
- ŁAJCZAK A., KRZAN Z., MICHALIK S., SKAWIŃSKI P., WITKOWSKI Z. 1996. Projekt rekultywacji i reorganizacji ruchu narciarskiego oraz pieszego w obszarze podszczytowym Pilsko (The project of recultivation of the top part of the Pilsko Massif and reorganization of skiing and hiking in this area). W: Łajczak A., Michalik S., Witkowski Z. (red.). *Wpływ narciarstwa i turystyki pieszej na przyrodę masywu Pilsko (The*

- impact of skiing and hiking on the nature of the Pilsko Massif, Western Carpathians). *Studia Naturae* 41: 227–237.
- MACIASZEK W., ZWYDAK M. 1992a. Degradacja górskich gleb leśnych w pobliżu szlaków turystycznych (Degradation of mountain forest soils in the vicinity of touristic routes). *Zesz. Nauk AR w Krakowie*, 269: 3–16.
- MACIASZEK W., ZWYDAK M. 1992b. Turystyczna degradacja gleb w punktach widokowych na wybranych szczytach beskidzkich (Touristic degradation of soils in scenery stations on selected tops of the Beskidy Mts.). *Zesz. Nauk. AR w Krakowie*, 269: 17–28.
- MACIASZEK W., ZWYDAK M. 1992c. Wpływ zrywki drewna na degradację górskich gleb leśnych (The effect of skidding on the degradation of mountain forest soils). *Zesz. Nauk. AR w Krakowie* 269: 29–44.
- MICHALIK S. 1994. Oddziaływanie narciarstwa i turystyki pieszej na szatę roślinną kopuły szczytowej Pilsko. *Biul. Pol. Tow. Rozw. Ziemi Górskich* 4: 75–88.
- MIELNICKA B. 1996. Narciarstwo i turystyka piesza w strefie szczytowej Pilsko w latach 1993–1994 (Skiing and hiking at the top of the Pilsko Massif in 1993–1994). W: Łajczak A., Michalik S., Witkowski Z. (red.). Wpływ narciarstwa i turystyki pieszej na przyrodę masywu Pilsko (The impact of skiing and hiking on the nature of the Pilsko Massif, Western Carpathians). *Studia Naturae* 41: 81–101.
- NIEDŹWIEDŹ T. (1977). Zróżnicowanie opadów atmosferycznych w dorzeczu Soły przy różnych sytuacjach synoptycznych w okresie letnim (VI–VIII 1961–1970). *IMGW, Oddział Kraków. Msc.*
- PARZÓCH K. 1994. Efekty erozyjne i tempo sukcesji roślinności na pasie granicznym w Karkonoszach. *Acta Univ. Wratislav. 1702, Prace IG, ser. A, Geogr. Fiz.* 7: 27–36.
- RADWAŃSKA-PARYSKA Z. 1959. Ochrona przyrody a pasterstwo (La protection de la nature et la vie pastorale). *Pasterstwo Tatr Polskich i Podhala. Wyd. PAN. t. I. s. 175–192.*
- SIUPIK J. 1973. Zróżnicowanie splywu powierzchniowego na fliszowych stokach górskich (Differentiation of the surface runoff on flysch mountain slopes). *Dokument. Geogr.* 2: 1–118.
- STARKEL L. 1980. Erozja gleb a gospodarka wodna w Karpatach (Soil erosion versus water economy in Carpathians). *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 235: 103–118.
- THORNES J.B. 1985. Procesy fluwialne. W: Embleton C., Thornes J.B. (red). *Geomorfologia dynamiczna*. PWN, Warszawa.
- TSUYUZAKI S. 1994. Environmental Deterioration Resulting from Ski-resort Construction in Japan. *Environ. Conserv.* 2.
- VEYRET Y., HOTYAT M., BOUCHOT B. 1990. L'érosion d'origine anthropique dans un milieu de moyenne montagne: le Massif Montdorien. *La terre et les hommes, nouvelle serie, fasc. 32, Faculte de science humaines de l'Universite Blaise-Pascal, Clermont-Ferrand.*
- WATSON A. 1985. Soil erosion and vegetation damage near ski lifts at Cairn Gorm. *Biol. Conserv.* 33.

Summary

The study estimated the scale and rate of soil erosion induced by skiing and hiking on ski trails and tourist trails in the upper part of the northern slope of Pilsko (Fig. 1). This area is quickly degraded as one of the more important tourist centres in Polish Carpathians, and in the recent years as one of the main skiing centres.

The aim of studies carried out in the 1993 summer–autumn season (26 May – 7 November) was to make a quantitative analysis of erosion within ski trails and tourist trails. All areas with erosion were located and geometric parameters of erosion incisions were measured. The role of skiing and hiking in the degradation of the slope was determined. This elaboration is based on the detailed morphological mapping in the scale of 1:2500, on the analysis of aerial photographs from 1977 and 1983, and on measurements of erosion and accumulation, repeated each 20 days, on permanent profiles and points on ski trails and tourist trails. These investigations were accompanied by precipitation measurements on Hala Miziowa, and measurements of snow cover and water properties of soil.

Induced by man erosion produces in the study area characteristic slope forms (Fig. 2). At present, skiing is responsible for 30% of the eroded area on the investigated slope, and hiking for the remaining 70%. Taking into account the volume of eroded soil, 10% may be attributed to skiing, and 90% to hiking (Table 1).

On tourist trails the main type of microforms are erosion cuts at different stages of development (Fig. 7). The surroundings of erosion cuts are characterized by advanced degradation (phases 3–5); in these places there are anthropogenic soils, or even anthropogenic rankers. Erosion cuts at phase 3, developing on a thick layer of silty slope waste have still big „erosion reserve”, which indicates that the scale of erosion in these areas may increase in future. The location of areas degraded by man is shown in Figure 8. Erosion cuts develop as a result of gradual deepening and receding of numerous evorsive pot-holes, cut in the soft silty waste (Fig. 9). These highly ephemeric microforms give to erosion cuts a stair-profile.

On ski trails within concave slope bends a frequent phenomenon are large patches of destroyed turf, with numerous small (to 0.5 m²) and shallow (to 10 cm) hollows deprived of the above-ground parts of plants and, in places, also of the root-system. These hollows are gradually deepening and broadening, and in future they will merge in larger areas with bare soil completely deprived of vegetation. The bigger and deeper erosion hollows will be eroded stronger, which may lead to the serious degradation of the slope within ski trails (Fig. 10). However, the uncovered stone blocks with edges cut by snow-levelling machines, will stop erosion.

In the areas with trampled soil and intense skiing where the surface runoff is accompanied by strong deflation, fibrous ice effects and solifluction, erosion is exceptionally strong (Figs 8, 11, 12). Soil layer have almost completely been removed, only its turfed remnants which are still destroyed by man, have remained. In places the solid rock has been uncovered, or rubble waste occurs.

Figure 3 illustrates the scale of erosion within tourist trails, expressed in the volume (m³/m) of eroded soil per the running meter of a path. As a zone of trampling is wide, this value locally reaches even 6.0. However, areas with such an advanced erosion are limited; in other places erosion still remains at the initial stage (phases 1 and 2 of erosion cuts). The scale of erosion, expressed in m³/m, depends on the intensity of tourist traffic, especially when tourists descend down the slope, and on the vulnerability of the substratum to erosion (Fig. 4). These dependences concern small areas with the uniform lithology of the substratum, and similar resistance of the slope waste to washing away.

The seasonal course of erosion and the accumulation of soil was examined only on the selected profiles and at selected measurement points, located mainly within the „black” tourist trail (Fig. 6). An analysis of the erosion/accumulation balance in these places showed that the turfed stretches of the paths, irrespective of the inclination of the slope, kept the eroded soil and were overbuilt. The stretches without vegetation were, in general, eroded. The total vertical changes of the path surface in the whole study period were small and they did not exceed 10 cm. However, in the subsequent short balance periods they were greater and their course changed (erosion alternated with accumulation). The greatest scale of erosion and accumulation was noted in May–July when the frequency of downpours was highest. In the particular balance periods the „temporary” deepening of erosion gullies reached 30 cm, and that of evorsive pot-holes 50 cm. The later shallowing of these microforms was a result of silting and trampling. On the slope terraces, 80% of the soil washed during the summer season was accumulated until the end of July, the remaining 20%, until the beginning of November. The thickness of the deposited soil, quickly overgrowing with grass shoots, did not exceed 3 cm and it was 1 cm on average.

The study period was characterized by the lower precipitation total, and even twice as low frequency of downpours compared to the average for the past years. That is why the scale of erosion in the study period, though temporarily insignificant, was smaller than the suggested for

„very wet” years (Fig. 5). Figure 5 shows the correlation between the relative height of vertical changes of a path and the amount of precipitation and the frequency of days with particular precipitation totals. Despite the lower precipitation, the scale of erosion in the investigated period should be considered as big. The average deepening of erosion gullies was 5 cm, while the average depth of these microforms formed in the area for about 100 years was 50 cm. This means that the rate of the deepening of erosion gullies, even in the conditions of lower precipitation, is increasing. This phenomenon may be connected with the elongation of these stretches of paths where erosion cuts reached phase 3 (i.e. where a root layer, protecting the soil, was already cut). In this situation the deeper soil horizons are exposed to quicker erosion which will be stopped not earlier than erosion gullies cut to the rubble waste. This stage of erosion lasts for at least 20–30 years. If precipitation in the summer periods in the coming years is exceptionally high and tourist traffic intensifies (which is indicated by the projected construction of new ski lifts), soil erosion on tourist paths will increase. To stop this process, the degraded slope should be recultivated as quickly as possible.