

SPLUKIWANIE I EROZJA ŻŁOBINOWA NA STOKACH ŚNIEŻNIKA KŁODZKIEGO (SUDETY WSCHODNIE)

Jan Klementowski

Instytut Geograficzny, Uniwersytet Wrocławski

Wstęp

W klimacie umiarkowanym najaktywniejszym składnikiem procesów denudacyjnych jest erozja wodna, a jej rodzaje i intensywność pozostają w ścisłym związku z warunkami przyrodniczymi i działalnością człowieka. Wszelka ingerencja w środowisko przyrodnicze zaburza jego chwiejny stan równowagi, powoduje uruchomienie wielu procesów denudacyjnych oraz przyspiesza ich dynamikę. Biosfera reaguje najszybciej na szkodliwe oddziaływanie czynników zewnętrznych, transmitując je do pedosfery między innymi poprzez procesy geomorfologiczne. Wyłesienie Sudetów, antropogenizacja oraz niekorzystne zmiany klimatyczne w XIX wieku spowodowały silną erozję pól, które w tym czasie sięgnęły do wysokości prawie 800 m n.p.m. [BAC 1948; GÓRECKI, KLEMENTOWSKI 1989]. Nawałnicowe deszcze potrafiły każdorazowo zmyć 15 cm wierzchnicy. Z tego okresu pochodzą fotografie przedstawiające transport przy pomocy kołowrotu i taczek wymytej gleby na pola zniszczone przez erozję wodną. Badacze niemieccy pisali o przegranej bitwie z erozją gleb w górach, która stała się jedną z ważniejszych przyczyn depopulacji większości górskich gmin położonych w Kotlinie Kłodzkiej [DÜRKEN 1930; EHRENBERG 1941; SALWICKA 1976, 1983]. RENIGER [1950] stosując 8-stopniową skalę zagrożenia erozją, lokuje Sudety w klasie dużego i najwyższego zagrożenia (VII i VIII), zaś OŚWIECIMSKI i KOWALIŃSKI [1964] uznają region kłodzki za obszar najbardziej zagrożony erozją. O postępach denudacji świadczą pokrywy madowe o miąższości 60–70 cm na sudeckich holocenijskich terasach rzecznych. Na górskich stokach powstają deluwia o miąższości od 20–30 cm do 70–80 cm przy dolnym załomie stoku. Na stokach rozbieżnych położonych powyżej 900 m n.p.m. deluwia stokowe są cienkie lub całkowicie zanikają [BIEROŃSKI i in. 1992]. W okresie ostatnich pięćdziesięciu lat granica rolno-leśna obniżyła się tutaj o prawie 300 m, większość najwyżej położonych wiosek wyludniła się, a erozja wodna gruntów ornych jest ciągle ważnym problemem gospodarczym. O potrzebie współczesnego kształtowania w Sudetach granicy rolno-leśnej i darniowo-polowej szczegółowo piszą FATYGA i GÓRECKI [2001], przedstawiając konkretne wytyczne potrzebne w podejmowaniu decyzji o wykorzystaniu terenu lub zmianie jego użytkowania stosownie do trendów panujących w Unii Europejskiej.

Niekorzystne oddziaływanie antropopresji przemysłowej na leśne ekosystemy sudeckie pojawiło się w następstwie rabunkowej trzebieży w XIX wieku i nie-

fortunnej przebudowy gatunkowej lasów. Od pół wieku lasy są narażone na niekorzystne oddziaływanie energetyki opartej na zasiarczonym węglu brunatnym oraz na napływ transgranicznych gazowych i pyłowych zanieczyszczeń przemysłowych. Szczególnie szkodliwe są związki siarki w postaci SO_2 , siarczanów stałych i kwaśnego aerozolu siarczanowego. Skażenie chemiczne atmosfery wywołuje wzrost kwasowości hydrolitycznej i zmniejszenie wysycenia gleb kationami o charakterze zasadowym. Obniża się wodotrwałość agregatów glebowych, przez co zwiększa się podatność gleb na erozję wodną i eoliczną [KLEMENTOWSKI 1996, 1998, 2002]. Pod koniec lat siedemdziesiątych XX wieku rozpoczęło się w Górach Izerskich i Karkonoszach (Sudety Zachodnie) masowe usychanie monokultur świerkowych, określane kłeską ekologiczną, które z czasem objęło również pozostałą część Sudetów. Obecnie skażenie atmosfery wyraźnie zmniejszyło się i następuje powolna poprawa stanu sanitarnego lasów i odnowień.

Materiał i metody badań

W Masywie Śnieżnika dominują skały magmowe i metamorficzne wieku staropaleozoicznego. Znaczna rozpiętość hipsometryczna sprawia, że występuje tutaj strefowość zjawisk geoekologicznych. Przeważająca część Masywu leży w piętrze dolnoreglowym (500–1000 m n.p.m.), a tylko niewielka w piętrze górnoreglowym (1000–1250 m n.p.m.). W piętrze pół ornych (do 500 m n.p.m.) utrzymuje się tendencja malejącego ich udziału kosztem zwiększenia powierzchni zadarnionych i podlegających samoistnemu zalesieniu. Piętro subalpejskie identyfikowane także ze współczesną górską strefą peryglacjalną (1250–1450 m n.p.m.) zajmuje tylko skrawki szczytowej części Śnieżnika [JAHN 1970]. Dominują stoki o nachyleniu 10° – 25° . Większa część Masywu Śnieżnika leży na terenie gminy Stronie Śląskie, a częściowo na terenie gmin: Bystrzyca Kłodzka i Międzyzlesie. Jak podają FATYGA i GÓRECKI [2001] w strukturze użytkowania gruntów w gminie Stronie Śląskie lasy stanowią aż 75,2%, zaś użytki rolne tylko 24%.

Celem prowadzonych badań było określenie dynamiki podstawowych procesów geomorfologicznych występujących w różnych ekosystemach, gdzie głównym nośnikiem energii i materii jest płynąca woda. Badaniami objęto typowe ekosystemy Masywu Śnieżnika Kłodzkiego, zaczynając od kopuły szczytowej położonej w obrębie subalpejskich łąk i borówczysk, poprzez silnie przerzedzone świerczyny górno i dolnoreglowe, fragmenty naturalnych buczyn, zadarnione stoki oraz stoki, które są jeszcze użytkowane rolniczo. Monitorowanie procesów spłukiwania i erozji wodnej na stokach Śnieżnika rozpoczęto w roku 1992, w schyłkowym okresie masowego usychania lasów w następstwie kłeski ekologicznej. Pierwszy etap monitoringu zakończono w roku 2002. Do monitorowania spłukiwania zastosowano dziesięciu chwytaczy nazywanych także łapaczami lub zmodyfikowanymi powierzchniami testowymi Seilera. Chwytnice zmywu powierzchniowego w różnych modyfikacjach stosowane są w wielu krajach, przy czym dla terenów młodoglacjalnych preferuje się chwytacze o większej powierzchni przekraczającej 400 m^2 [KLIMCZAK 1992]. W przypadku stoków sudeckich o zróżnicowanej mikromorfologii nie jest możliwe instalowanie tak dużych chwytaczy, ponadto na stokach zalesionych lub wiatrowałach nie dochodzi do pojawienia się spłukiwania liniowego. Powierzchnie testowe chwytacze o kształcie wydłużonego pięcioboku wynoszą, w zależności od ukształtowania stoku, od 25 do 60 m^2 i są ograniczone

ze wszystkich stron deskami wpuszczonymi częściowo w grunt w ten sposób, że ich krawędzie wystają ponad powierzchnię na wysokość ok. 10 cm. Dłuższy bok chwytacza zawsze jest skierowany zgodnie z nachyleniem stoku. Spływająca woda wraz z wymytą glebą kieruje się do zbiornika. Materiał ten jest wybierany kilkakrotnie w ciągu roku do badań laboratoryjnych, podczas których określa się jego podstawowe cechy granulometryczne. Większość chwytaczy zainstalowano na stokach o nachyleniu 15° – 25° , a tylko dwa najwyższe na stoku o nachyleniu około 5° na Hali pod Śnieżnikiem i samej kopule Śnieżnika [PARZÓCH 2001].

Spłukiwanie liniowe oraz erozja wodna z reguły występują w miejscach, gdzie zaznaczyła się działalność człowieka, polegająca na wytworzeniu rynien zrywkowych, sieci lokalnych ścieżek, nieumocnionych dróg czy szlaków turystycznych. Najbardziej są rozpowszechnione rynny zrywkowe (nazywane także torami zrywkowymi lub ryzami zrywkowymi) o długości dochodzącej do kilkuset metrów, które powstają podczas zrywki drzew. Do pomiarów erozji liniowej stosowano zmodyfikowane rynny Gerlacha oraz mosiężne szpilki. Rynny o średnicy 20 cm wykonano z ocynkowanej blachy o kształcie przypominającym typową rynnę podokapową. Od góry są zamknięte pokrywą w ten sposób, że między pokrywą a krawędzią rynny występuje wąska szczelina. Rynny są instalowane poprzecznie do rozcięcia erozyjnego i każdorazowo dopasowywane są do jego szerokości. Materiał zgromadzony w rynnach kilkakrotnie w roku jest wybierany do badań laboratoryjnych. Pomimo instalowania rynien Gerlacha w miejscach trudno dostępnych były one niestety często niszczone.

Szpilki pomiarowe są rzadziej stosowane w badaniach współczesnych procesów geomorfologicznych [KLIMCZAK 1992]. Metoda ta polega na rejestrowaniu punktowych zmian wysokości powierzchni stoku w stosunku do końca szpilki. Mosiężne szpilki są wbite w grunt na głębokość 20 cm, a wystają ponad jego powierzchnię na 10 cm. Każda szpilka posiada numer identyfikacyjny wybity na skrawku blachy, który można zdjąć podczas odczytu. Przez szpiłkę wsuwa się metalową płytkę przylegającą do powierzchni stoku, przy której za pomocą suwmiarki w czterech miejscach odczytuje się aktualną długość szpilki. Stosując ten sposób odczytu umownie uśrednia się powierzchnię stoku, eliminując jego drobne nierówności. Druga metoda pomiaru polega na odczytywaniu długości wystającej szpilki jest zawodna, szczególnie na odcinkach stoku o znacznym nachyleniu i zróżnicowanej mikromorfologii, stąd wykonanie nawet kilku odczytów i ich uśrednienie daje wartości obarczone zbyt dużym błędem. Interpolując pomiary wyznacza się graficznie strefy erozji i akumulacji. W celu znalezienia relacji między spłukiwaniem, erozją liniową a opadem atmosferycznym przy niektórych chwytaczach zainstalowano standardowe ombrometry i pluwiograf. Niektóre ombrometry zainstalowano na poziomie gruntu, stąd otrzymano informacje o wielkości opadu rzeczywistego, a pośrednio także o intercepcji w różnych okresach fenologicznych. Korzystano również z danych meteorologicznych gromadzonych przez pracowników Zakładu Klimatologii i Meteorologii Instytutu Geograficznego Uniwersytetu Wrocławskiego.

Wyniki i dyskusja

Pojęciem system denudacyjny najczęściej określa się sposób krążenia wszystkich produktów denudacji na określonym fragmencie terenu, który jest

uwarunkowany cechami geologicznymi, a także specyficznymi cechami klimatu i stosunków hydrologicznych [KOTARBA (red.) 1992]. W skład produktów denudacji wchodzi między innymi deluwia stokowe, proluwia i koluwia. Współczesny system denudacyjny Masywu Śnieżnika obejmuje dwa podsystemy – podsystem stokowy i podsystem dolinowy (korytowy) [PARZÓCH 2001]. Występujące w nich procesy geomorfologiczne różnią się skrajnie wielkością, dynamiką i zmiennością w czasie, stąd STARKEL [1976, 1986] określa je mianem procesów sekularnych i ekstremalnych. Procesy sekularne charakteryzują się małą intensywnością, występują na niewielkich przestrzeniach w sposób skryty, często niedostrzegalny. Skutki ich działania uchodzą naszej uwadze. Do procesów sekularnych można zaliczyć spłukiwanie, które jednak po przekroczeniu wartości progowych może osiągnąć ogromną dynamikę, typową dla spłukiwania warstwowego [GIL 1976, 1999]. Na doniosłą rolę wartości progowych w transformacji karpackich stoków zwracają FROEHLICH i STARKEL [1991] oraz STARKEL [2002].

Procesy ekstremalne mogą mieć charakter katastrofalny, charakteryzują się wtedy wielką dynamiką, działają jednak punktowo i występują z niewielką częstotliwością – od kilku do nawet kilkuset lat (osuwiska, obrywy, lawiny błotne i gruzowe) [KOSTRZEWSKI i in. 1992].

O wielkości wskaźników denudacji mierzonych w zamknięciach zlewni decyduje stopień połączenia podsystemu stokowego z podsystemem dolinowym (korytowym). W praktyce, jak podają PARZÓCH i KATRYCZ [2002], to połączenie jest słabe i odbywa się za pośrednictwem strumieni stokowych i zmywu śródpokrywowego. Zanim materiał pochodzący ze spłukiwania trafi do podsystemu dolinowego, przechodzi na stoku przez wiele powtarzających się zdarzeń depozycji i redepozycji. Część jego pozostaje na stoku w jego niższych partiach tworząc deluwia o kilkudziesięciocentymetrowej miąższości lub trafia do szerokiego dna doliny, skąd ma niewielkie szanse na dalsze przemieszczenie do koryt rzecznych. Występowanie procesów ekstremalnych w podsystemie stokowym ułatwia włączenie produktów denudacji na stokach do podsystemu dolinowego (korytowego).

Spłukiwanie jest procesem stokowym powszechnie występującym na wielkich powierzchniach, lecz charakteryzuje się znikomą intensywnością. W pierwszym roku prowadzenia monitoringu spłukiwanie było zaskakująco wysokie i wynosiło od $12,6 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ na stoku silnie przekształconym przez człowieka, porośniętym buczyną dolnoreglową do około $2,5 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ na stokach zadarnionych i zalesionych. Opady w tym okresie nie odbiegały od średnich wartości wieloletnich. Sądzę, że było to spowodowane naruszeniem związku pokrywy roślinnej i glebowej podczas instalacji chwytnicy. W następnych latach spłukiwanie było wyraźnie mniejsze i wynosiło odpowiednio $3,5 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ do około $0,2\text{--}0,5 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$, co świadczy o szybkim „zabliźnianiu się” stoku. W okresie dziesięciu lat spłukiwanie utrzymywało się na bardzo niskim poziomie. Na stoku o nachyleniu $15^\circ\text{--}18^\circ$, porośniętym nieuszkodzonym dolnoreglowym borem świerkowym o zwartych koronach, spłukiwanie wynosiło $0,2\text{--}0,6 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$. W świerkowych borach dolno- i górnoreglowych uschniętych w następstwie klęski ekologicznej, przy podobnym nachyleniu stoku, spłukiwanie było nieznacznie większe i wynosiło $0,3\text{--}0,8 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$. Na stokach zadarnionych spłukiwanie w tym okresie było wyjątkowo stabilne i wynosiło $0,4\text{--}0,5 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$. Spłukiwanie na nielicznych już polach ornych w rejonie Kletna i Nowej Morawy (kartoflisko) mieści się w przedziale $500\text{--}900 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ w okresie zaledwie 3–4 tygodni trwania pomiarów. Niestety nie dysponuję dłuższymi seriami pomiarowymi z powodu niszczenia chwytnicy. Analizując wyni-

ki monitoringu spłukiwania można dostrzec pewne prawidłowości. Przerzedzenie czy nawet całkowite uschnięcie lasów w następstwie klęski ekologicznej nie wpływa znacząco na zwiększenie dynamiki spłukiwania. Można to wytłumaczyć tym, że w zwartych a jednocześnie mrocznych borach świerkowych podszyt jest z reguły bardzo ubogi, ponieważ do powierzchni stoku dociera niewiele światła słonecznego. Natomiast późniejsze opadanie igieł w wyniku chlorozy, przerzedzenie lasu czy nawet jego całkowite uschnięcie spowodowane klęską ekologiczną zwiększyło ilość światła docierającego do powierzchni stoku, co sprzyja ekspansji wielu roślin, w tym traw, m.in. śmiałka pogiętego – *Deschampsia flexuosa* (L.) TRIN., który szybko tworzy kępy oraz trzcinnika owłosionego – *Calamagrostis villosa* (CHAIX) J. F. GMEL. Zwarta darń także bardzo szybko opanowała stoki objęte całkowitym wyrębem czy wiatrowałami. Opanowanie w szybkim czasie stoków przez roślinność radykalnie ograniczyło spłukiwanie [KLEMENTOWSKI 1994, 1996]. Nie spełniły się kasandryczne zapowiedzi wystąpienia na terenach klęski ekologicznej – gigantycznej erozji wodnej.

W lipcu 1997 roku na Dolnym Śląsku wystąpiły katastrofalnie wysokie opady, w następstwie których wystąpiła powódź. Centrum opadów znajdowało się w rejonie Śnieżnika. W samym tylko okresie od 1 do 10 lipca suma opadów na Hali pod Śnieżnikiem (1217 m n.p.m.) wyniosła 601,9 mm, w Kamienicy (710 m n.p.m.) 484 mm, a w Kletnie (670 m n.p.m.) 452,4 mm. W okresie 5 tygodni, tj. od połowy czerwca do 20 lipca 1997, spłukiwanie na siedmiu powierzchniach testowych wynosiło 0,19–1,7 g·m⁻²·a⁻¹. Jest to więc prawie tyle samo, co średnio w okresie całego jednego roku w całym dziesięcioleciu. W sumie jednak nie są to wartości szczególnie wysokie, zważywszy na niezwykle wysokie opady, ogrom powodzi i stopień przekształcenia morfologii stoków i dolin rzecznych. Przyczyną tego jest zadarnienie i zróżnicowane zalesienie monitorowanych stoków. Porównując granulometrię popowodziowych deluwiów stokowych z deluwiami tworzącymi się w okresie prawie dziesięciu lat, przy braku w tym czasie opadów ekstremalnych, obserwuje się niewielki przyrost frakcji piaskowej w tych pierwszych. W całym dziesięcioleciu prowadzenia monitoringu spłukiwania tylko jeden chwytacz położony na lewym zboczu doliny Kleśnicy, naprzeciw pawilonu przy Jaskini Niedźwiedziej, wykazuje wartości kilkadziesiąt razy większe niż w pozostałych chwytaczach. Przyczyną tego zjawiska jest obecność tam słabo przepuszczalnych, gliniastych pokryw stokowych rozwiniętych na łupkach metamorficznych, prawie całkowity brak chłonnej ściółki, runa leśnego oraz silne przekształcenie morfologii stoku przez człowieka w niedawnej przeszłości. Erozja wodna pokryw stokowych w następstwie spłukiwania ma charakter selektywny [JAHN 1968]. Wymywana jest głównie frakcja pyłowa, a nawet iłowa, przy wyraźnym zmniejszeniu udziału frakcji grubszych, tj. piaszczysto-żwirowych o prawie 70% .

Na śnieżnickim stoku nieustannie odbywa się proces spłukiwania, depozycji i redepozycji deluwiów na odcinkach zaledwie kilkunastu czy kilkudziesięciu metrów. W wyniku niewielkiej dynamiki tego procesu przeważająca część deluwiów pozostaje na stoku, a niewielka tylko ich część trafia do dna dolin i koryt rzecznych. Depopulacja Sudetów oraz obniżenie w związku z tym granicy rolno-leśnej o 250–300 m do wysokości około 500–520 m n.p.m. jest główną przyczyną minimalnego udziału spłukiwania we współczesnym bilansie denudacyjnym stoku. Stoki zadarnione i zalesione w nieznacznym stopniu są denudowane przez procesy spłukiwania. Między innymi z tych przyczyn osady popowodziowe w dolinach Morawki, Kamienicy, Kleśnicy, Białej Łądeckiej czy Nysy Kłodzkiej są bardzo

ubogie we frakcje drobne i z reguły składają się z frakcji grubszych. Są to raczej rozmyte przez erozję starsze osady dolinowe przy minimalnym udziale materiału drobnofrakcyjnego, pochodzącego z rozmycia pokryw stokowych. Drobnofrakcyjne osady popowodziowe, posiadające charakter klasycznej mady o miąższości do 60 cm, można spotkać m.in. na dnie suchego zbiornika przeciwpowodziowego na Morawce powyżej Stronia Śląskiego.

Erozję liniową w Masywie Śnieżnika monitorowano przy pomocy zmodyfikowanych rynien Gerlacha i metodą szpilkową. Erozja liniowa na śnieżnickich stokach w znacznej części ma uwarunkowania antropogeniczne. Prawie każda, nowopowstała rynna zrywkowa, wydeptana ścieżka czy „skrót” szlaku turystycznego, staje się miejscem erozji. W Masywie Śnieżnika na jego każdy kilometr kwadratowy przypada od 0,6 km do ponad 3,5 km różnych form erozyjnych w postaci wcięć strumieni stokowych, rynien zrywkowych nieutwardzonych ścieżek czy szlaków turystycznych. Są one głównym źródłem deluwiów i koluwiów w podsystemie stokowym.

Podczas opadów typu nawałnicowego lub gwałtownych roztopów rynny zrywkowe stają się miejscem aktywnej erozji, a pogłębianie ich dna wynosi 2–5 cm podczas każdego zdarzenia. Ich zbocza są również intensywnie denudowane przez rozbryzg i działalność lodu włóknistego. Rynny zrywkowe w większości nie są już użytkowane, stają się z czasem trwałym elementem morfologii sudeckich stoków [ŠILHAVY 1991; MACIASZEK, ZWYDAK 1992; LASKOWSKI 1996]. Proces wypełniania rynien zrywkowych deluwiami trwa bardzo długo. Jak podaje PARZÓCH [2001] w Karkonoszach rynny zrywkowe ulegają zanikowi w okresie 100–200 lat. Wypełnianie rynien zrywkowych w Karpatach trwa według DUDZIAKA [1974] 100–150 lat. W Górach Izerskich obserwowałem doskonale zachowane rynny zrywkowe o głębokości ok. 200 cm całkowicie zadarnione, które niewątpliwie przetrwały z okresu trzebieży lasu w XIX w. Dna rynien zrywkowych są wyścielone gruzem skalnym i blokami, miejscami pojawiają się w nich skały podłoża. U wylotu rynien zrywkowych tworzą się wielogeneracyjne stożki napływowe o powierzchni ponad 100 m². Przemieszczanie deluwiów w podsystemie stokowym odbywa się za pośrednictwem sztucznych lub półsztucznych koryt stokowych w formie wcięć drogowych, przekopów czy rowów odwadniających. Niektóre rynny zrywkowe biegnąc skośnie do linii stoku przechwytyują powierzchniowe wody stokowe i powodują zmiany kierunku ich odpływu. Taka sytuacja występuje na stoku góry Stroma, gdzie dotychczas ciek powierzchniowy wpływał do ponorów, które zasilały w wodę Jaskinię Niedźwiedzią. W następstwie przeprowadzonej zrywki drewna ukośne rynny zrywkowe przechwyciły część strumieni, a ponory wyschły. W rezultacie nastąpiło osuszenie fragmentów korytarzy unikatowej Jaskini Niedźwiedziej.

Powstanie na stoku sieci drenażu w postaci koryt rynien erozyjnych, dróg, ścieżek czy rynien zrywkowych powoduje przynajmniej okresowe łączenie się podsystemu stokowego z dolinowym i dostawę materiału klastycznego ze stoków wprost do stałych cieków dolinowych. Strumienie stokowe zlokalizowane na wylesionych stokach z rozwiniętą erozją rynnową, dostarczają wielokrotnie więcej materiału rumowiskowego niż stoki zalesione, w rezultacie czego rośnie miąższość materiału rumowiskowego w dnach potoków. W Masywie Śnieżnika, podobnie jak w Karpatach [FROELICH 1998], najwięcej materiału mineralnego z podsystemu stokowego dostarczają nieutwardzone drogi śródleśne, rynny zrywkowe, ścieżki i szlaki turystyczne. Ten rodzaj erozji zawsze prowadzi do skrócenia czasu krążenia

wody na stoku, drenuje wody podziemne z pokryw stokowych, co wpływa na przyspieszenie transportu stokowego. Skrócenie czasu krążenia wody na stoku powoduje skoncentrowanie spływu powierzchniowego, a jednocześnie ogranicza rolę spływu śródpokrywowego, ponieważ jego zasoby są drenowane przez pogłębiane rynny zrywkowe. W Masywie Śnieżnika jest wiele utwardzonych dróg śródleśnych, niektóre z nich powstały jeszcze w XVIII wieku. Obecnie pełnią one raczej rolę transmisyjną, łącząc podsystem stokowy z podsystemem dolinowym.

Na lewym zboczu doliny Kleśnicy, w sąsiedztwie Jaskini Niedźwiedziej, znajdują się płytkie, nie w pełni ukształtowane rynny zrywkowe powstałe ok. 25 lat temu. Stok ten na początku lat pięćdziesiątych został także silnie przekształcony przez człowieka w następstwie poszukiwania uranu. W rezultacie powstały tutaj dziesiątki płytkich szurfów. Obecnie stok porasta buczyna. Najdłuższą z istniejących tutaj rynien zrywkowych wybrano do monitoringu geomorfologicznego, którego celem było rozpoznanie jakości i dynamiki współczesnych procesów w warunkach zbliżonych do naturalnych. Zainstalowano 15 rynien Gerlacha w odstępach ok. 20–25 m oraz kilkadziesiąt mosiężnych szpilek. Z kilkuletniej serii pomiarowej wynika, że ilość materiału mineralnego zgromadzonego w rynnach Gerlacha rośnie w dół stoku. W górnych odcinkach rynny przeważa spłukiwanie, podczas gdy w odcinku środkowym i dolnym dominuje erozja żłobinowa. Fakt ten potwierdzają badania laboratoryjne deluwium stokowego. Deluwium wypełniające górną część rynny zrywkowej składa się z materiału pyłowo-piaszczystego z kilkudziesięcioprocentowym udziałem substancji organicznej. Ilość substancji organicznej w deluwjach maleje w dół stoku, natomiast materiał mineralny jest bardziej gruboziarnisty i skrajnie słabo wysortowany.

Interesujących informacji o transformacji rynien zrywkowych dostarczył monitoring z zastosowaniem metody szpilkowej. Do badań wybrano trzy rynny zrywkowe położone między górą Młyńsko (991 m n.p.m.) i Porębek (898 m n.p.m.). Pierwsza z rynien zrywkowych jest najstarsza, na całej swojej długości jest prostoliniowa o przebiegu zgodnym z największym nachyleniem zalesionego stoku. Rynna II jest najmłodsza, powstała przed sześcioma latami, a jej przebieg po stoku zalesionym jest nieco zygzakowaty. Rynna III składa się z dwóch różnowiekowych odcinków, z których odcinek dolny – najstarszy, powstał przed trzydziestu laty, podczas gdy odcinek górny w okresie ostatnich sześciu lat. Jest to najdłuższa z badanych rynien (ponad 300 m). Biegnie ona po stoku całkowicie wylesionym. Na trzech rynnach zrywkowych zainstalowano w sumie 92 szpilki: rynna I – 18 szpilek, rynna II – 19 szpilek i rynna III – 55. W okresie jednego roku obniżenie powierzchni rynien zrywkowych w wyniku spłukiwania i erozji wodnej stwierdzono przy 74% spośród wszystkich zainstalowanych szpilek. W monitorowanych rynnach odsetek punktów, w których wystąpiła erozja, wynosił odpowiednio w rynnach I – 66% (12 punktów), w rynnach II – 48% (9 punktów) i w rynnach III – 85% (47 punktów). Średnia wielkość denudacji wyniosła $32 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$. W pierwszych dwóch rynnach większe natężenie procesów denudacyjnych wystąpiło w następstwie letnich opadów, a w rynnach III podczas wiosennych roztopów. Profil podłużny badanych rynien zrywkowych jest niewyrównany, obfituje w liczne progi i załomy, poniżej których rozwijają się głębokie kociołki eworsyjne. Największe natężenie procesów denudacyjnych występuje w dolnych odcinkach rynien, co doskonale koreluje z ilością płynącej tam wody. Podczas trwania monitoringu erozja w poszczególnych rynnach osiągnęła następujące wartości maksymalne: rynna I – $134 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$, rynna II – $67 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ i rynna III – $83 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$.

Podczas trwania monitoringu przy 24 szpilkach pomiarowych także stwierdzono akumulację deluwii stokowych. Największa akumulacja zawsze odbywa się u wylotu rynny zrywkowej schodzącej do leśnej drogi, gdzie zrywane drzewa gromadzone są do wywózki. Ich maksymalna miąższość wyniosła: rynna I – 85 mm·a⁻¹, rynna II – 100 mm·a⁻¹ i rynna III – 68 mm·a⁻¹. Występują tutaj wielogeneracyjne stożki torencjalne. Czasem są one wtórnie rozcinane przez wody spływające podczas obfitych opadów po powierzchni utwardzonych dróg leśnych. Ale zdarza się również, że w następstwie opadów nawałnicowych lub rozlewnych stożki torencjalne przekraczają spłaszczenie drogi i spływają w dół stoku w formie strumieni błotno-gruzowych bezpośrednio do koryt górskich strumieni. Taka sytuacja wystąpiła podczas powodzi w lipcu 1997 roku. Nastąpiło wtedy okresowe, niezwykle aktywne połączenie podsystemu stokowego z podsystemem dolinowym (korytowym), co przekłada się bezpośrednio na zwiększenie wskaźnika denudacji całej zlewni.

Dysponując dziesięcioletnim monitoringiem procesów spłukiwania, przy założeniu, że dynamika erozji korytowej jest nieznaczna [BIEROŃSKI i in. 1992], można obliczyć przybliżone wskaźniki denudacji przy zamknięciu zlewni wyrażone w mm skały litej na rok. Uwzględniając tylko same wyniki spłukiwania wskaźnik denudacji Śnieżnika Kłodzkiego wynosi zaledwie od 0,00027 do 0,0005 mm litej skały na rok. Jeżeli jednak dodatkowo uwzględnimy erozję żłobinową, wskaźnik ten jest wielokrotnie wyższy i wynosi około 0,025–0,035 mm litej skały na rok. Podane wartości wskaźnika denudacji są zbliżone do wskaźników obliczonych innymi metodami dla tej części Sudetów [MAZURKIEWICZ 1970]. Wskaźnik ten jest jednak zdecydowanie niższy w porównaniu z pozostałą częścią Sudetów, co pozostaje w związku z niezwykle wysokim, bo 75,2% udziałem lasów w strukturze użytkowania gruntów na obszarze gminy Stronie Śląskie, na której terenie znajduje się największa część Masywu Śnieżnika. Wysoka lesistość jest najważniejszym czynnikiem ograniczającym współczesną denudację stoków górskich.

Wnioski

O natężeniu spłukiwania na śnieżnickich stokach w ciągu całego roku decyduje przede wszystkim rodzaj szaty roślinnej i stopień przykrycia stoków roślinnością. Na stokach zalesionych lub zadarnionych spłukiwanie osiąga wartości minimalne, z reguły poniżej 1 Mg·km⁻²·a⁻¹. Znaczący wpływ na niską dynamikę spłukiwania wywiera obniżenie w ostatnich pięćdziesięciu latach granicy rolno-leśnej o prawie 300 m. Ze względu na prawie kompletny upadek rolnictwa, sposób użytkowania ziemi ma znaczenie marginalne. Ogromne punktowe wartości osiąga spłukiwanie jedynie na kartofliskach oraz na tych fragmentach stoku, gdzie brak jest roślinności. Klęska ekologiczna oraz wielkopowierzchniowe wyręby nie wpłynęły na zwiększenie dynamiki spłukiwania. Ma to związek z szybką sukcesją trawiastych zbiorowisk roślinnych na wylesione stoki. Spłukiwanie zależy od charakteru opadów, wielkości spływu powierzchniowego i rodzaju pokryw stokowych. Opady rozlewne i nawałnicowe, wysoka wilgotność podłoża w połączeniu z jego niską przepuszczalnością w nieznacznym tylko stopniu zwiększają wartości spłukiwania na stokach zalesionych lub zadarnionych. Gigantyczne opady (do 600 mm podczas pierwszej jednej dekady lipca 1997 r.) nie spowodowały wyraźnego wzrostu wielkości spłukiwania. Ziarniste sudeckie pokrywy stokowe w porówna-

niu z gliniastymi pokrywami karpackimi są generalnie bardziej przesiąkliwe i stąd są bardziej odporne na spłukiwanie. Podczas tych opadów na niezwykle skalę rozwinęły się procesy erozji liniowej, w tym erozji wąwozowej. Na stokach powstały formy erozyjne o głębokości prawie 5 m, uaktywniły się również ruchy masowe.

Różne formy erozji liniowej na stokach prawie zawsze są uwarunkowane antropogenicznie. Erozję liniową inicjuje gęsta sieć rynien zrywkowych, nieumocnionych ścieżek i szlaków turystycznych. W skali roku denudacja stoków pod wpływem erozji liniowej kilkusetkrotnie przewyższa spłukiwanie. Dynamika procesów erozyjnych zależy głównie od wielkości opadów i ich intensywności. Wskaźnik współczesnej denudacji Masywu Śnieżnika wynosi 0,02–0,035 skały litej na rok i jest niższy w porównaniu z pozostałą częścią Sudetów.

W ostatnich latach obserwuje się częstsze występowanie ekstremalnych zdarzeń klimatycznych, w następstwie których procesy geomorfologiczne przekraczają wartości progowe, osiągając katastrofalne natężenie. Podczas tych zdarzeń także dochodzi do okresowego połączenia denudacyjnego podsystemu stokowego z dolinowym, co przekłada się na ogromny wzrost wskaźnika denudacji zlewni mierzony w jej zamknięciu.

Literatura

- BAC S. 1948. *Zdobyłcze pługa w Kotlinie Kłodzkiej*. Roczn. Kłodzki, T. 1: 119–136.
- BIEROŃSKI J., CHMAL H., CZERWIŃSKI J., KLEMENTOWSKI J., TRACZYK A. 1992. *Współczesna denudacja w górskich zlewniach Karkonoszy*, w: *System denudacyjny Polski*. Kortała A. (red.), Prace Geogr. IGiPZ PAN 155: 151–169.
- DUDZIAK J. 1974. *Obserwacje nad rozwojem rynien stokowych na polanach tatrzańskich*. Czas. Geogr. XLV(1): 31–45.
- DÜRKEN K. 1930. *Der betriebswirtschaftliche Bedeutung des Grünlandes für die Grafschaft Glatz*. Breslau.
- EHRENBERG P. 1941. *Wirkungen der Bodenerosion auf deutschen Ackerlande*. Der Kulturtechniker. Heft 5–8, Berlin.
- FATYGA J., GÓRECKI A. 2001. *Kształtowanie granic rolno-leśnej i darniowo-polowej w Sudetach*. Wyd. IMUZ, Falenty: 322 ss.
- FROELICH W., STARKEL L. 1991. *Wartości progowe w ewolucji rzeźby fliszowych Karpat i Dardżylińskich Himalajów*. Conf. Papers IGiPZ PAN: 49–58.
- FROELICH W. 1998. *Transport rumowiska i erozja koryt potoków beskidzkich podczas powodzi w lipcu 1997 r.* Konf. nauk. Oddział PAN w Krakowie: 133–144.
- GIL E. 1976. *Spłukiwanie gleby na stokach fliszowych w rejonie Szymbarku*. IGiPZ PAN. Dok. Geogr. 2: 65 ss.
- GIL E. 1999. *Obieg wody i spłukiwanie na fliszowych stokach użytkowanych rolniczo w latach 1980–1990*. Zesz. IGiPZ PAN 60: 1–78.
- GÓRECKI A., KLEMENTOWSKI J. 1989. *Skutki geomorfologiczne nawalnego deszczu w Księgienicach Wielkich*. Czas. Geogr. LX, T. 3: 299–313.
- JAHN A. 1968. *Selektywna erozja gleb i jej znaczenie w badaniach geomorfologicznych*. Przegl. Geogr. XL(2): 419–424.

- JAHN A. 1970. *Zagadnienia strefy peryglacjalnej*. PWN, Warszawa: 202 ss.
- KLEMENTOWSKI J. 1994. *Degradacja pokryw stokowych Sudetów w warunkach kłęski ekologicznej*. Ogólnopolski Zjazd PTG, referaty i komunikaty, Lublin: 50–51.
- KLEMENTOWSKI J. 1996. *Degradacja pokryw stokowych w warunkach antropopresji. Procesy kriogeniczne, spłukiwanie i erozja żłobinowa*, w: *Masyw Śnieżnika – zmiany w środowisku przyrodniczym*. Red. Jahn A., Kozłowski S., Pulina M., Wyd. PAE, Warszawa: 121–142.
- KLEMENTOWSKI J. 1998. *Przekształcenie stoków Sudetów Wschodnich podczas powodzi w lecie 1997 roku*. Materiały konf. „Główne kierunki badań geomorfologicznych w Polsce, stan aktualny i perspektywy”. Referaty i komunikaty, red. Pękala K.: 123–128.
- KLEMENTOWSKI J. 2002. *Wpływ roślinności na procesy spłukiwania i erozji żłobinowej stoków Sudetów i Przedgórze Sudeckie*, w: *Roślinność a procesy erozji, transportu i depozycji*. PAN, Kom. Badań Czwart., Stowarz. Geomorf., Uniw. Śląski, Sosnowiec: 61–66.
- KLIMCZAK R. 1992. *Pomiary spłukiwania i spływu powierzchniowego na obszarach nizinnych – uwagi metodyczne*. Badania Fizj. Nad Polską Zach., Tom XLIII, Seria A, Geogr. Fiz.: 23–45.
- KOSTRZEWSKI A., KLIMCZAK R., STACH A., ZWOLIŃSKI Z. 1992. *Extreme rainfalls and their influence on functioning of the present-day system in a young glacial region, West Pomerania*. Quaest. Geogr. Special issue, 3: 97–113.
- KOTARBA A. (red.) 1992. *System denudacyjny Polski*. Prace Geogr. 155, IGiPZ PAN: 223 ss.
- LASKOWSKI L. 1996. *Prace zrywkowe a erozja w lasach Gór Sowich*. Las Polski 17: 8–9.
- MACIASZEK W., ZWYDAK M. 1992. *Wpływ zrywki drewna na degradację górskich gleb leśnych*. Zesz. Nauk. AR w Krakowie 269, Leśnictwo 22: 29–43.
- MAZURKIEWICZ R. 1970. *Badania intensywności zamulania suchych zbiorników retencyjnych Dolnego Śląska*. Praca dokt. WSR Wrocław, Wydz. Mel. Wodnych.
- OŚWIECIMSKI A., KOWALIŃSKI S. 1964. *Erozja wodna gleb Dolnego i Opolskiego Śląska na tle wskaźników przyrodniczych*. Wiadomości IMUZ 4(3): 23–50.
- PARZÓCH K. 2001. *Erozja rynnowa na stokach wylesionych w Karkonoszach*. Przyr. Sudetów Zach. 4: 171–180.
- PARZÓCH K., KATRYCZ M. 2002. *Współczesne procesy geomorfologiczne i antropopresja w górskim środowisku Karkonoszy*. Przyr. Sudetów Zach. Zesz. Spec.: 23–36.
- RENIGER A. 1950. *Próba oceny nasilenia i zasięgów potencjalnej erozji gleby w Polsce*. Rocz. Nauk Rol., Ser. F 73(3): 9–32.
- SALWICKA B. 1976. *Zmiany w środowisku geograficznym północno-zachodnich stoków grupy Śnieżnika w wyniku wyludniania się wsi*. Probl. Zagosp. Ziem Górs. 17: 121–138.
- SALWICKA B. 1983. *Zmiany zaludnienia i użytkowania gruntów wsi górskich na wybranych obszarach przygranicznych Sudetów Kłodzkich*. Acta Univ. Wratisl. 506, Studia Geogr. XXXII: 23–30.
- STARKEL L. 1976. *The role of extreme (catastrophic) meteorological events in contemporary evolution of slopes*, w: *Geomorphology and climate*. Derbyshire E., Wiley, Chichester: 203–246.

STARKEL L. 1986. *Rola zjawisk ekstremalnych i procesów sekularnych w ewolucji rzeźby (na przykładzie fliszowych Karpat)*. Czas. Geogr. 67(2): 203–213.

STARKEL L. 2002. *Wartości progowe w przekształceniu systemów naturalnych środowiska przyrodniczego Karpat, Wyżyny Małopolskiej i Kotlin Podkarpackich*, w: *Geograficzne uwarunkowania rozwoju Małopolski*. Górka Z., Jelonek A. (red.), Kraków: 221–227.

ŠILHAVÝ I. 1991. *Vyvoj eroze na uzemi Krkononošského Narodního Parku v letech 1986–1989 v souvislosti s těžbou dřeva*. Opera Corcont. 28: 17–46.

Słowa kluczowe: splukiwanie, erozja wodna, erozja wąwozowa, Sudety

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki dziesięciu lat monitoringu procesów splukiwania i erozji wodnej prowadzonych na stokach Śnieżnika Kłodzkiego (Sudety Wschodnie) we wszystkich piętrach fitoklimatycznych. Stosowano chwytacze zmywu powierzchniowego, rynny Gerlacha oraz metody szpilkowe. Splukiwanie na zalesionych lub zadarnionych górskich stokach jest znikome i wynosi poniżej $1 \text{ Mg} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$. Podczas gigantycznej powodzi w lipcu 1997 roku splukiwanie zwiększyło się nieznacznie. Las i warstwa darni skutecznie chronią stok przed splukiwaniem.

Erozja żłobinowa jest uwarunkowana antropogenicznie, nasiliła się w okresie klęski ekologicznej i wycięcia lasów. Wielkość erozji zależy m.in. od sumy i intensywności opadu deszczu, długości inicjalnych rozcięć erozyjnych, stanu fizycznego gruntu, i jest kilkaset razy większa od splukiwania.

Splukiwanie i erozja liniowa wchodzi w skład stokowego podsystemu denudacyjnego. W ostatnich latach zwiększa się częstotliwość ekstremalnych zdarzeń klimatycznych, w następstwie których procesy geomorfologiczne przekraczają wartości progowe, osiągając ekstremalne lub katastrofalne natężenie. Dochodzi wtedy do okresowego połączenia denudacyjnego podsystemu stokowego z podsystemem dolinowym i intensywniej denudacji całej zlewni.

SLOPEWASH AND LINEAR EROSION IN ŚNIEŻNIK KŁODZKI MASSIF – EAST SUDETY MTS

Jan Klementowski

Institute of Geography, University of Wrocław

Key words: sloopewash, linear erosion, Sudety Mts

Summary

The paper presents the results of a 10-year long series of monitoring of sloopewash and linear erosion processes, carried out in the Śnieżnik Massif (East Sudety) in all phytoclimatological belts.

Accumulation and erosion processes were measured using surface wash

traps, Gerlach troughs and measuring pins. Slopewash on forested and sod-covered mountain slopes is negligible and does not exceed $1 \text{ Mg}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$. It was only marginally higher during extreme rains in July 1997, which subsequently generated a gigantic flood in the whole region. It appears that forest and grass cover effectively protect slope surfaces against wash processes.

Gully erosion is influenced by anthropogenic factors and has increased in the period of ecological calamity (since 1970) and associated tree felling. The amount and rates of erosion depend on precipitation totals and intensities, length of initial erosional incisions, and physical state of the soil. In terms of material removed from the slope, it is up to hundreds of times more effective than slopewash.

Slopewash and linear erosion are components of slope denudational subsystem. In the recent years the frequency of occurrence of extreme meteorological events has increased. Threshold values are far exceeded and resultant geomorphic processes may lead to catastrophic consequences. Under such circumstances, linkages between slope and valley floor denudational subsystems are created and massive denudation affecting entire catchments may occur.

Dr Jan Klementowski
Instytut Geograficzny
Uniwersytet Wrocławski
Plac Uniwersytecki 1
50-137 WROCŁAW
e-mail 1: klementowski@geogr.uni.wroc.pl.
e-mail 2: klemens@biskupin.wroc.pl