

IMPLIKACJE PROCESU SALTACJI WYKROTOWEJ W BIOMECHANICZNYM PRZEKSZTAŁCANIU POKRYW STOKOWYCH I MIKRORZEŹBY STOKU W PIĘTRZE REGŁA GÓRNEGO KARKONOSZY POLSKICH

Łukasz Pawlik

Tree uprooting process and its implications in biomechanical slope cover and slope microrelief disturbances in the upper forest zone of the Polish Karkonosze Mts

Abstract: The Karkonosze Massif as a part of the Sudety Mts is frequently considered as a mountain range where surficial degradation processes are most active. It is especially true for the area above the upper timber line (subalpine and alpine zone), anthropogenically altered slope surfaces and stream channels, and so far it has been proved by numerous analytical studies. However, in many of these studies the process of tree uprooting has not been taken into account and the forest belt zone has been rarely a subject of detailed geomorphological research. Results of the present study suggest that tree uprooting, in the Karkonosze Mts mostly caused by frequent episodes of high foehn winds, is probably the most important single factor of biomechanical alteration of soil mantle in the upper forest belt of the massif. It is also an agent which initiates further geomorphological processes within root plates and tree throw pits, as well as changes of pedogenetic meaning, including regressive remodeling of soils.

Keywords: windthrow, tree uprooting, slope cover, upper forest belt, Karkonosze

Zarys treści: Karkonosze są masywem w granicach Sudetów, w którym powierzchniowe procesy degradacyjne są najbardziej aktywne. Dotyczy to przede wszystkim obszarów powyżej górnej granicy lasu, powierzchni stoków przekształconych antropogenicznie i koryt rzecznych.

W dotychczasowych badaniach nie brano pod uwagę procesu saltacji wykrotowej, a domena morfogenetyczna piętra leśnego rzadko była przedmiotem szczegółowych analiz geomorfologicznych. Wyniki prezentowanych tu badań sugerują, że saltacja wykrotowa powodowana przede wszystkim przez częste epizody wiatru fenowego jest prawdopodobnie najważniejszym czynnikiem prowadzącym do biomechanicznego przekształcania pokryw stokowych w reglu górnym Karkonoszy. Może być czynnikiem inicjującym nie tylko szereg dalszych procesów geomorfologicznych (erozji, odpadania, osypywania i in.) w obrębie karp i zagłębień posaltacyjnych, ale również glebotwórczych, w tym regresyjnego przemodelowania profilu glebowych.

Słowa kluczowe: wiatrował, saltacja wykrotowa, pokrywa stokowa, regiel górny, Karkonosze

1. Wprowadzenie

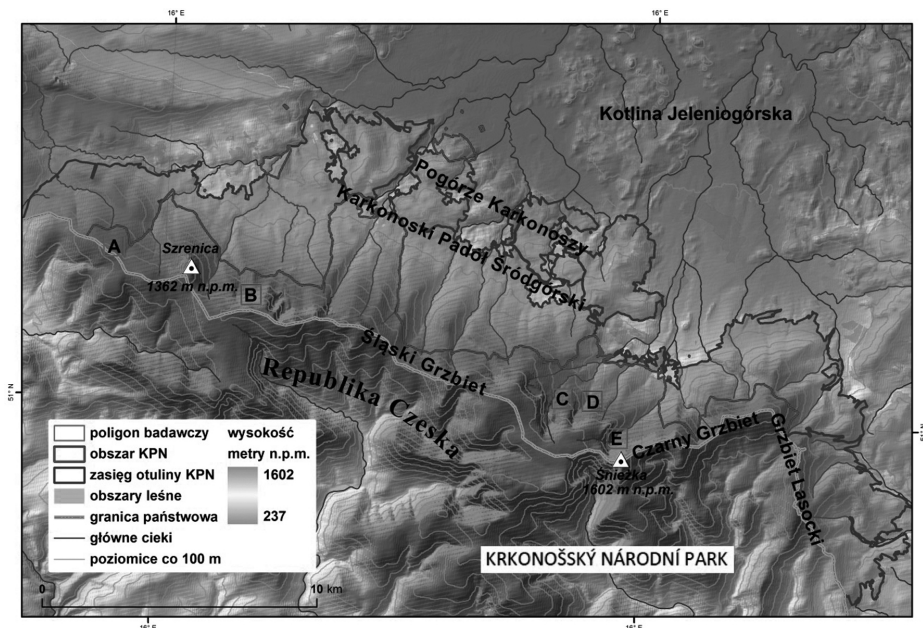
Ze względu na osiągnięte wysokości bezwzględne i izolowaną pozycję w obrębie masywu Sudetów Karkonosze są dogodnym miejscem do formowania się zjawisk fenowych. Ich częstość w ciągu roku jest znaczna, co również powoduje dużą intensywność procesu saltacji wykrotowej (Kwiatkowski 1969, 1975), który w warunkach klimatu umiarkowanego w Europie inicjowany jest przede wszystkim przez napór huraganowego wiatru (np. Schelhaas i in. 2003).

Masyw Karkonoszy jest pasmem Sudetów, w którym współczesne powierzchniowe procesy morfogenetyczne zostały najlepiej zbadane (Bieroński i in. 1992; Parzóch 2001; Migoń 2005, 2011). Uważa się jednak, że ich efektywność na północnych stokach Karkonoszy jest niewielka, co należy wiązać przede wszystkim z postglacjalnym ociepleniem, zanikiem lodowców górskich, ograniczeniem strefy peryglacjalnej i pojawieniem się zwartej szaty roślinnej (Migoń 2005). Podkreślili to również bardzo wyraźnie Bieroński i współautorzy (1992), analizując efekty współczesnej denudacji mechanicznej. Niewątpliwie wśród współczesnych procesów geomorfologicznych największe znaczenie w Karkonoszach mają sypywy gruzowe (Migoń, Parzóch 2008).

Celem niniejszego opracowania jest charakterystyka oraz kwantyfikacja efektów powierzchniowych procesu saltacji wykrotowej w piętrze regla górnego Karkonoszy. Dodatkowo podjęto próbę oceny analizowanego procesu z punktu widzenia przekształceń pokrywy glebowej. Problem ten jak dotychczas nie był analizowany, choć efekty morfogenetyczne procesu saltacji wykrotowej były wcześniej obserwowane (por. np. Migoń, 2008). Ostatnio badania pod tym kątem prowadzono w Górach Stołowych (Pawlik i in., 2013a, b). W syntetycznym ujęciu na duże znaczenie procesu saltacji wykrotowej jako jednego z czynników pedoturbacji wskazywali Schatzl i Anderson (2005).

2. Teren badań

Lasy karkonoskie uległy na przestrzeni wieków (XIV–XX w.) drastycznym przekształceniom w wyniku antropopresji, która doprowadziła do zmian natury jakościowej (struktury drzewostanu) i przestrzennej (deforestacja). Wylesienie Karkonoszy, jak podkreślają Bugajski i Nowiński (1985), postępowało najpierw od podnóża gór, a później od górnej granicy lasu. Szacuje się, że w wyniku presji człowieka górna granica lasu została sztucznie obniżona na 1/4 swojej długości (Boratyński i in. 1987).



Ryc. 1. Obszar badań

Fig. 1. Study area

Do głównych czynników niszczących drzewostany Karkonoszy należy przede wszystkim wiatr fenowy osiągający duże prędkości (Kwiatkowski 1969, 1975; Capecki, Zwoliński 1984). 29% wiatrów na terenie Karkonoskiego Parku Narodowego wieje z prędkością powyżej 15 m s^{-1} , a w okresie 1951–1975 było 206 dni z wiatrem o podobnej prędkości (Kwiatkowski, Hołdys 1985). Wiatr o takich cechach ogranicza rozwój drzew, a gdy jego prędkość przekracza 18 m s^{-1} powoduje klęski gospodarcze (Capecki, Zwoliński 1984). Przykładowo w 1984 roku 5% powierzchni

drzewostanów KPN stanowiły wywroty i złomy. Dla Śnieżki wartość średniej rocznej prędkości wiatru wynosi $12,6 \text{ m s}^{-1}$. Przytoczone cechy klimatu pozwoliły na zaliczenie Karkonoszy do najbardziej wietrznych gór w kontynentalnej części Europy (Sobik, Błaś 2008).

W celu przeprowadzenia planowanych badań wydzielono kilka powierzchni testowych o różnych cechach i stopniu zachowania karp powalonych drzew (ryc. 1). Drzewostan w obrębie poligonów badawczych został powalony w latach 1966 (Pod Łąbskim Szczytem), 2007 (Złoty Stok, Zbocze) oraz pomiędzy rokiem 2001 a 2008 (Dolina Łomniczki) (tab. 1). Drzewostan na wierzchowinie i stokach Mumławskiego Wierchu uległ prawdopodobnie selektywnemu uszkodzeniu przez różne czynniki w ciągu ostatnich 20–30 lat.

Tab. 1. Główne cechy poligonów badawczych
Table 1. Main features of the research polygons

Główne cechy Main features	Poligony badawcze w Karkonoszach Study sites in the Karkonosze				
	Mumławski Wierch	Pod Łąbskim Szczytem	Złoty Stok	Zbocze	Dolina Łomniczki
Symbol	A	B	C	D	E
Zasięg wg pododdziałów Forest unit	206a, c; 205c, d	175b	70a; 62f	68c	25a; 23h
Wysokość w m n.p.m. Altitude in m a.s.l.	1150–1200	1130–1160	1070–1140	1170–1190	1100–1180
Nachylenie stoków Slope inclination	0–10°	0–20°	15–30°	15–30°	15–35°
Typ drzewostanu Forest stand	górnoreglowa świerczyna sudecka Sudetic spruce forest of the upper belt				
Gatunek dominujący (wiek, wysokość)/Dominant species (age in years, height in meters)	świerk (32 i 164 lata; 6, 10 i 15 m)/Norway spruce	świerk (22 lata; 3–4 m) Norway spruce	świerk (89–114 lat; 18 m)/Norway spruce	świerk (174–194 lata; 20 m)/Norway spruce	świerk (154 lata/ 21 m) Norway spruce

3. Zastosowane metody

Badania opierały się przede wszystkim na metodach stosowanych w analizach i opisie geomorfologicznym. Szczegółowe kartowanie zostało przeprowadzone z użyciem dalmierza laserowego (model TruePulse 200), odbiornika GPS (Garmin GPSMap 62), kompasu geologicznego i taśmy mierniczej. Celem kartowania było przedstawienie dokładnego obrazu geomorfologicznego badanych stoków (stopnia jego przeobrażenia) przez pomiar karp powalonych drzew. Dodatkowo starano się pozyskać dane jakościowe na temat obecnej mikrorzeźby stoku, takie jak: stopień pokrycia karp przez roślinność, wielkość wyniesionych na powierzchnię wraz z systemem korzeniowym drzew fragmentów skalnych itp. W celu nadania atrybutów ilościowych procesowi saltacji wykrotowej przeprowadzono następujące pomiary:

- 1) tempa degradacji karp powalonych drzew i wypełniania zagłębień przez zmywany i/lub osypujący się materiał mineralno-organiczny (ryc. 2). Na dwóch poligonach (Zbocze, Żłoty Stok) pomiar przeprowadzany był w obrębie ośmiu karp. Próbki materiału pobierano w interwałach comiesięcznych (średnio, od początku czerwca do końca października w latach 2010–2012) W pozostałych przypadkach przeprowadzono tylko pomiar i opis karp;
- 2) wielkości bryły korzeniowej powalonych drzew oraz obliczenie objętości wyniesionego materiału stokowego. Obliczenia oparto na wzorze na półelipsoidę obrotową o trzech nierównych osiach (równanie 1a i b; por. Norman i in. 1995). Wymagały one zmierzenia wysokości, długości i szerokości karp powalonych drzew (ryc. 2).

$$V = \frac{1}{2} \times \left(\frac{4}{3} \pi \left(\frac{h}{2} \times \frac{d}{2} \times a \right) \right) \quad (\text{Równanie 1a})$$

$$V = \frac{\pi h d a}{6} \quad (\text{Równanie 1b})$$

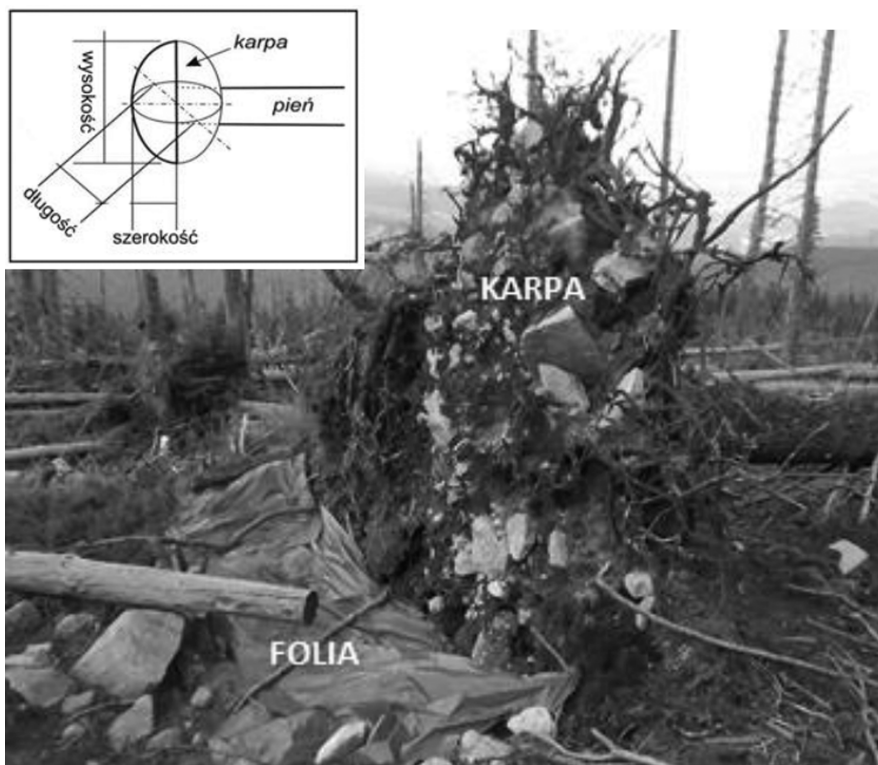
gdzie: h – wysokość, d – długość, a – szerokość karpy.

Dodatkowo oszacowano powierzchnię naruszonego przez saltację wykrotową stoku. Cechę tę interpretowano jako: (1) miejsca po wyrwanej karpie, czyli zagłębienia posaltacyjne, (2) miejsca osadzenia karpy po wyrwaniu. Ich powierzchnię liczono zgodnie ze wzorem na powierzchnię elipsy (równanie 2; por. Rojan 2012).

$$A = \frac{\pi d h}{4} \quad (\text{Równanie 2})$$

gdzie: d – długość, h – wysokość.

Gdy pole elipsy mierzono dla powierzchni zajmowanej przez karpe, wtedy h zastępowano szerokością (a), zgodnie z ryciną 2. W obliczeniach założono, że powierzchnia karpy odpowiada powierzchni zagłębienia, którego zasięg odpowiada naruszonej



Ryc. 2. Przykład sposobu i miejsca instalacji folii poniżej karpy powalonego drzewa
 Fig. 2. The method of a foil collector installation placed below a root plate of fallen tree

powierzchni stoku. Należy zaznaczyć, że w wielu przypadkach pełny pomiar karp nie był możliwy, ponieważ niektóre z nich były jedynie częściowo wyniesione.

Badania polegały również na analizie uziarnienia próbek osadów zebranych na foliach. W tym celu zastosowana została metoda sitowa, a przedziały klas poszczególnych frakcji przyjęto za Klasyfikacją uziarnienia gleb i utworów mineralnych PTG (2009). Największe fragmenty ze względów logistycznych były mierzone w terenie, a nie ważone w laboratorium. Ich wagę szacowano przyjmując średni ciężar właściwy granitu na $2,6 \text{ g cm}^{-3}$ (Selby 1993). Dla wszystkich próbek określona została również zawartość materii organicznej metodą straty żarowej.

Intensywność przemodelowania powierzchni stoku i pokryw stokowych oceniono na podstawie jakościowego opisu karp, zagłębień i kopców posaltacyjnych oraz tempa depozycji materiału skalnego w kolektorach (na foliach). Do pomiarów

starano się wybierać karpę w pozycji prostopadłej do powierzchni stoku oraz miejsca z zagłębieniami umożliwiającymi instalację folii (o wyrównanym dnie, nieprzykrytych gałęziami i pniami innych drzew itp.). Poligony badawcze znajdowały się w zasięgu górnoreglowej świerczyny sudeckiej, dlatego też we wszystkich przypadkach opisywane były karpę świerkowe.

4. Wyniki badań i dyskusja

4.1. Charakterystyka zmian morfologicznych i stopnia zachowania rzeźby posaltacyjnej

W obszarze badań zwraca uwagę przede wszystkim powszechne pokrycie zagłębień roślinnością, co jest ważną przesłanką w kontekście możliwości erozyjnego oddziaływania wody na tak odkrytą powierzchnię. Nie bez znaczenia jest również struktura pokryw, w których obrębie powstały zagłębienia. Cecha ta nie była badana, ale wcześniejsze analizy wskazują na duży udział odpływu śródpokrywowego przy znacznej przepuszczalności pokryw karkonoskich szczególnie w obszarach leśnych (np. Tomaszewski 1994). Interesujące jest, że jedynie na wierzcholinie Mumlawskiego Wierchu zanotowano zagłębienia wypełnione wodą, co prawdopodobnie ma związek z odmiennym uziarnieniem i miąższością pokryw glebowych w tym obszarze.

Stopień zachowania materiału mineralno-organicznego w karpach był największy w obrębie najmłodszych powierzchni powiatrowałowych – Zbocza, Doliny Łomniczki i Złotego Stoku (tab. 2). Należy jednak podkreślić, że nawet w tych miejscach zdarzały się karpę bez substancji mineralnej, jedynie z wyniesionym poziomem ściółki. Ma to bezpośredni związek ze sposobem i możliwościami zakorzenienia się świerka w często kamienisto-głazowych pokrywach stokowych. Oprócz osypywania, odpadania i erozji pewne znaczenie w szybkiej degradacji materiału z karpę miały inne powalone na nie drzewa. Sytuacje takie nie były liczne, ale np. w obrębie Zbocza ich ilość sięgnęła prawie 50% skartowanych karpę. Największe średnie objętości karpę zanotowano na stanowiskach Zbocze i Dolina Łomniczki (tab. 2), gdzie rosły drzewa najstarsze (do 194 lat) i najwyższe (do 21 m), charakteryzujące się również największymi wymiarami pierśnicy. Sugeruje to istniejącą zależność pomiędzy rozmiarem drzewa (pierśnicą) a wielkością systemu korzeniowego i możliwością wyniesienia w nim proporcjonalnej objętości materiału z pokryw stokowych.

Jedynie w dwóch przypadkach wykazano statystycznie istotną zależność pomiędzy objętością pomierzonych karpę oraz odpowiadającej im pierśnicy powalonego drzewa. W przypadku Złotego Stoku zależność na poziomie współczynnika determinacji $R^2 = 0,41$ najlepiej opisuje krzywa wykładnicza ($y = 0,04e0,1x$), a w obrębie poligonu Zbocze jest to krzywa potęgowa ($y = 0,0003x^{2,22}$; $R^2 = 0,54$). Brak takiej zależności

Tab. 2. Zestawienie danych z pomiarów karp i kopców w obrębie pięciu obszarów testowych zlokalizowanych w Karkonoskim Parku Narodowym

Table 2. Field data from root plate and tree throw mounds measurements within the five test sites in the Karkonosze National Park

Poligony badawcze study sites	liczba skartowanych karp/number of mapped root plates	karp pomierzone/measured root plates	Wartości średnie parametru/mean values		
			objętość karp/ root plate volume (m ³)	pierśnica/diameter at breast height (cm)	stopień degradacji karp/degree of root plate degradation (%)
Mumławski Wierch	34	12	0,4 [*] /0,5 ^{**}	32	90
Pod Łabskim Szczytem	36	14	0,3	34	80
Złoty Stok	120	43	0,5	21	60
Zbocze	96	53	1,1	38	50
Dolina Łomniczki	67	46	1,4	36	50

* Wartość średnia z 5 obserwacji karp/Mean value from root plate observations.

** Wartość średnia z 7 obserwacji kopców/Mean value from mound observations.

w obrębie poligonu badawczego Dolina Łomniczki może mieć związek z trudniejszymi warunkami wzrostu i egzystencji drzew (tu drzewa budowały ekoton górnej granicy lasu). W obszarze Pod Łabskim Szczytem i na Mumławskim Wierchu karp i pnie były już silnie rozłożone (por. stopień degradacji w tab. 2) i z tego względu nie było możliwe pomierzenie pierśnicy pni.

Największe zagęszczenie drzew uszkodzonych w różny sposób (wywroty i złomy) zanotowano na Złotym Stoku i Zboczu (tab. 3). W obu przypadkach udział powierzchni naruszonej przez saltację wykrotową był podobny i wyniósł odpowiednio 2,2 i 2,3% powierzchni testowej. W tym miejscu należy zauważyć, że w wielu przypadkach zagłębienia były bardzo płytkie, a w Dolinie Łomniczki w kilku miejscach po wyrwanym systemie korzeniowym pozostawały rozległe bruki stokowe, na które z trudem wkracza roślinność trawiasta (ryc. 3).

Na wszystkich poligonach badawczych w procesie saltacji wykrotowej na powierzchnię wynoszone były duże fragmenty granitu (z max. gł. 40 cm), a we wschodniej części Karkonoszy również skał metamorficznych osłony batolitu. Największe średnie wymiary pomierzone zostały w Dolinie Łomniczki (do 50 cm, zarówno w karpach, jak i zagłębieniach), ale to na poligonie Zbocze zanotowano

Tab. 3. Zestawienie cech wskazujących na stopień naruszenia powierzchni stoku i pokryw stokowych w obrębie poligonów badawczych w KPN

Table 3. List of features indicating the degree of slope surface and slope cover disturbance within research polygons

Cecha/Feature	Jednostka/ Unit	Poligony badawcze/Study sites			
		Pod Łabskim Szczytem	Złoty Stok	Zbocze	Dolina Łomniczki
Kartowana powierzchnia/Mapped area	ha	2,8	0,7	1,2	1,5
Liczba pomierzonych karp (pełne wymiary)/Number of measured root plates (complete measurements)	szt./amount	14	43	53	46
Liczba karp o pełnych wymiarach na powierzchni/ Number of root plates per surface unit	szt./amount ha ⁻¹	5	61	44	31
Wykroty (częściowe i pełne)/Uprootings (partly and entirely uprooted trees)	szt./amount	36	120	96	67
Powierzchnia zajmowana przez zagłębienia/Area occupied by tree throw pits	m ²	38,9	130,5	224,5	177,4
	ha	0,004	0,013	0,022	0,017
Procent pokrycia poligonu badawczego przez zagłębienia/ Per cent of the study site occupied by tree throw pits	%	0,14	1,86	1,83	1,13
Powierzchnia zajmowana przez karpy i zagłębienia/ Area occupied by root plates and tree throw pits	m ²	43,4	152,4	270,9	242,9
	ha	0,004	0,02	0,03	0,02
Procent powierzchni zajmowanej przez karpy i zagłębienia/Per cent of the study site occupied by root plates and tree throw pits	%	0,15	2,2	2,3	1,6

ekstremalne wymiary wyniesionych fragmentów granitu o krawędziach sięgających 185 cm długości.

W świetle przytoczonych obserwacji oraz ostatnich badań w Sudetach należy brać pod uwagę możliwość regresyjnego rozwoju gleb w piętrach regłowych Karkonoszy (pedogenezy regresyjnej¹, Phillips 1993; Schaeztl, Anderson 2005). Są one przedmiotem częstych bioturbacji, głównie w procesie saltacji wykrotowej, i nie osiągają bardziej zaawansowanych etapów pedogenezy (Pawlik i in. 2013b).

¹ Pedogeneza regresyjna – odwrócenie, zatrzymanie lub spowolnienie rozwoju gleby. Zawiera te procesy i czynniki, które pojedynczo lub kolektywnie prowadzą do wykształcenia prostszych, mniej zróżnicowanych (bardziej izotropowych, homogenicznych) profili glebowych. Kiedy regresyjna pedogeneza dominuje, poziomy glebowe są cieńsze, niewyraźne lub wymieszane, a nawet nieobecne (Schaeztl, Anderson 2005, str. 779).



Ryc. 3. Stopowa część grubofrakcyjnej pokrywy stokowej odkryta w wyniku saltacji wykrotowej. Stanowisko na zboczu Doliny Łomniczki

Fig 3. Upper part of coarse-fraction slope mantle uncovered after tree uprooting. Test site located on a slope of the Łomniczka Valley

4.2. Tempo i stopień degradacji karp w świetle wyników eksperymentu polowego

Biorąc pod uwagę stopień degradacji karp na poligonie w okolicach schroniska Pod Łąbskim Szczytem wydaje się, że nawet na takiej wysokości n.p.m. materiał z karp denudowany jest bardzo wolno. Dotyczy to również tempa rozkładu systemów korzeniowych i pni. Po prawie 50 latach od powstania wiatrowału karpki utrzymują pewną objętość materiału stokowego, średnio $0,3 \text{ m}^3$ (por. tab. 2). W wielu przypadkach jest to tylko materiał gruboklastyczny, bez frakcji ziemistych i drobnoszkieletowych stanowiących matrix, który został grawitacyjnie i erozyjnie usunięty. Po części potwierdzają to wyniki pomiarów materiału na foliach. W czterech przypadkach, w których pomiar trwał dłużej niż dwa lata (F1–F4), tylko na stanowisku F4 ilość zdeponowanego materiału osiągnęła 18 kg (tab. 4). W tabeli 4 podano wartości

skorygowane o szacunkową wagę najgrubszych fragmentów granitu zdeponowanych na foliach. W jednym przypadku (F5) ich waga osiągnęła 23 kg, co dało sumaryczną wartość depozycji ok. 30 kg (tab. 4). We wszystkich przypadkach pomierzone wartości należy traktować jako minimalne ze względu na:

- sposób i możliwości instalacji folii poniżej karp,
- przemieszczenia w kilku przypadkach folii przez silny wiatr, w wyniku czego część osadu nie trafiła do folii,
- możliwości poboru próbek w terenie, ze względów technicznych nie było możliwe zebranie całego materiału z folii, zawsze pozostawała pewna część najdrobniejszych frakcji (< 2 mm).

Największe wskaźniki depozycji wyrażone przez masę materiału mineralno-organicznego na dobę zanotowano poniżej karp bez roślinności lub tylko częściowo porośniętych, oddalonych od zwartej krawędzi lasu – F4, F6 i F8, oraz bez okapów (nawisów) darniowych chroniących ich powierzchnię – F6 i F8 (tab. 4).

Biorąc pod uwagę różnice w depozycji materiału w chłodnym i ciepłym półroczu, widoczne jest wyraźne spowolnienie degradacji karp w okresie zimowo-wiosennym. Przykładowo od października 2010 do czerwca 2011 r. (242 doby) na folii nr 1 deponowane było średnio 2 g osadu na dobę. Taki sam wskaźnik dotyczy okresu od listopada 2011 do czerwca 2012 r. (218 dób). Jedynie na stanowisku F4 uzyskano większe wartości dla okresu zimowo-wiosennego, rzędu 21 g na dobę na przełomie lat 2010 i 2011 (w ciągu 250 dób) oraz 18,3 g na dobę na przełomie lat 2011 i 2012 (217 dób). Podobnymi lub znacznie wyższymi wskaźnikami cechują się miesiące letnio-jesienne przy jednocześnie krótszych okresach depozycji (od 21 do 116 dób).

Zgodnie z obserwacjami na stanowisku Pod Łabskim Szczytem stwierdzono, że najdłużej w systemach korzeniowych powalonych drzew utrzymują się największe fragmenty skalne, nie ulegając depozycji w zagłębieniach. Aby określić, jaka jest współczesna tendencja w tym zakresie, określono skład mechaniczny próbek materiału zdeponowanego na foliach w obrębie poligonów Złoty Stok i Zbocze. W prawie 90% przeanalizowanych próbek ilość frakcji ziemistych (<2 mm) przekroczyła 50% całkowitej wagi próbki. Średnia zawartość frakcji szkieletowych (>2 mm) osiągnęła 35%, co jest wartością zbliżoną do dolnej granicy zawartości szkieletu w glebach karkonoskich (30–70%; Skiba 1995), przy czym w 10 przypadkach klasa frakcji najgrubszej została niedoszacowana. Dominacja frakcji ziemistych może wskazywać na prawdopodobne erozyjne usuwanie materiału mineralnego z karp, choć wielu innych czynników nie sposób wyeliminować, tj.: działania lodu włóknistego, gravitacyjnego osuwania i osypywania, obciążenia śniegiem, deflacji czy też rozwoju korzeni młodych drzew, krzewów i traw. W tym miejscu należy również podkreślić, że przewaga frakcji ziemistych nad częściami szkieletowymi w całkowitej wadze próbek w wielu przypadkach wynikała z dużego udziału materii organicznej, co wykazano po ich wyprażeniu i ponownym zważeniu. Większość próbek charakteryzuje

Tab. 4. Syntetyczne zestawienie wyników pomiarów depozycji materiału mineralno-organicznego w foliach na poligonach badawczych Złoty Stok i Zbocze
 Table 4. Results of field measurements of organo-mineral soil material deposition in foil collectors in the Złoty Stok and Zbocze research polygons

Folia/ Test site	Całkowita waga próbek/ Total sample mass (g)	Waga z oszacowanym materiałem gruboklasyfikacyjnym/ Total weight with coarse fragments added	Data instalacji folii/Date of test site establishment	Ostatni pomiar/Last measurement	Okres w dniach/Time interval in days	Waga próbki/dobę sample weight/ Day (g · dzień ⁻¹)	Waga próbki/dobę po korekcie sample weight/ Day after correction (g · dzień ⁻¹) (g · day ⁻¹)
F1	2440,8	8935,6	09.07.2010	3.11.2012	847	2,9	10,5
F2	7148,3	7148,3	29.07.2010	3.11.2012	828	8,6	8,6
F3	4554,4	12112,6	30.07.2010	3.11.2012	829	5,5	14,6
F4	18058,8	33222	27.09.2010	3.11.2012	770	23,5	43,1
F5	7378,7	30770,9	31.08.2011	3.11.2012	431*	17,1	71,4
F6	5545,6	7261,6	01.06.2011	30.08.2011	91**	60,9	79,8
F7	1746,9	1746,9	28.07.2012	3.11.2012	99	17,6	17,6
F8	5593,8	5593,8	27.07.2012	3.11.2012	100	55,9	55,9

* Folia 5 została zainstalowana 2 czerwca 2011 r. Po pierwszym okresie pomiarowym zakończonym 30.08.2011 osad z folii nie został pobrany, ponieważ podczas prac leśnych na karpe został powalony pień sąsiedniego drzewa.

** Folia 6 została naruszona przez silny wiatr, a karpa zniszczona podczas prac leśnych. Ze względu na znaczny stopień naruszenia karpy pomiary w tym miejscu nie były kontynuowane.

się zawartością materii organicznej przekraczającą 10%. Źródeł tak wysokiej zawartości materii organicznej w badanych próbkach jest kilka: (1) igły i gałązki ze świerków w najbliższym sąsiedztwie zagłębień; (2) roślinność pokrywająca karpę; (3) część materiału organicznego osypującego się z okapów darniowych na folię; (4) obumarła fauna.

W analizowanych przypadkach największe średnie zawartości materii organicznej zanotowano na foliach zlokalizowanych na granicy las–wiatrował (F2) i w sąsiedztwie krawędzi lasu (F1).

5. Wnioski

W reglu górnym Karkonoszy stwierdzono, że w wielu przypadkach górne poziomy glebowe zostają wyniesione wraz z systemem korzeniowym powalonego drzewa. W wyniku tego lokalnie odsłonięte zostają specyficzne bruki stokowe i stropowe części pokryw gruzowo-głazowych, które wówczas należy traktować jako inicjalne formy gleb. W tych miejscach skutki dotychczasowych procesów glebowych w obrębie górnych poziomów profilu glebowego zostały zniwelowane do zera (por. Skiba 1995; Borkowski i in. 2005).

Borkowski i współautorzy (2005) twierdzą, że część materiału glebowego w Karkonoszach mogła zostać wymyta przez wody opadowe. Zwracają oni uwagę na następujący fakt: „Na stokowych powierzchniach zrębowych i wykrociskach procesy erozji niszczą górne poziomy gleb inicjalnych skalistych i przekształcają je w tereny bezglebowe i gołoborza” (Borkowski i in. 2005: 355). Za taką genezę rumowisk skalnych opowiadał się Schott (1931, cyt. za Migoń 2011), ale w późniejszych badaniach została ona odrzucona (Dumanowski 1961). Również Skiba (1995), wskazując na mozaikowość pokrywy glebowej Karkonoszy, podkreśla, że wśród dobrze wykształconych profili występują wyspowo skaliste powierzchnie bezglebowe oraz gleby inicjalne, co w obrębie stoków wiąże się ze współczesnym wylesieniem i erozją.

Na podstawie zaprezentowanych w tym artykule wyników badań można sformułować następujące wnioski:

- w Karkonoszach średnia objętość karp powalonych drzew wyniosła od 0,3 do 1,4 m³;
- w wyniku saltacji wykrotowej lokalnie dochodzi do zmian w mikrorzeźbie stoku i pedoturbacji. Jednak w skali stoku naruszona powierzchnia nie przekracza 3%;
- nie wykazano zmian istotnych z punktu widzenia systemu denudacyjnego stoku, poza lokalnym transportem (1–2 m) w karpach powalonych drzew, materiał z karp najczęściej wraca do zagłębienia, gdzie dochodzi do wymieszania poszczególnych poziomów glebowych w trakcie degradacji bryły korzeniowej, w tym czasie dochodzi również do wzbogacenia materiału mineralnego w części organicznej.

Składam podziękowania Dyrekcji Karkonoskiego Parku Narodowego za udostępnienie danych cyfrowych. Badania możliwe były dzięki następującym źródłom finansowania: grant MNiSW (N N306 032940) oraz Grant Plus współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego (Program Operacyjny Kapitał Ludzki).

Literatura

- Bieroński J., Chmal H., Czerwiński J., Klementowski J., Traczyk A., 1992, *Współczesna denudacja w górskich zlewniach Karkonoszy*, Prace Geograficzne IGI PAN, 155, 151–169.
- Boratynski A., Konca B., Zientarski J., 1987, *Sudeckie bory górnoregłowe, Plagiothecio-Piceetum hercynicum – warunki występowania, struktura, zagrożenie przez zanieczyszczenia środowiska*, Arboretum Kórnickie, 32, 163–205.
- Borkowski J., Szerszeń L., Kocowicz A., 2005, *Gleby Karkonoszy*, [w:] M.P. Mierzejewski (red.), *Karkonosze. Przyroda nieożywiona i człowiek*, Wydawnictwo Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław, 353–379.
- Bugajski M., Nowiński S., 1985, *Lasy*, [w:] A. Jahn (red.), *Karkonosze polskie*, PAN Wrocław, Karkonoskie Towarzystwo Naukowe w Jeleniej Górze, 273–290.
- Capecki Z., Zwoliński A., 1984, *Charakterystyka zagrożeń lasów Karkonoskiego Parku Narodowego*, Sylwan, 128(8), 1–21.
- Dumanowski B., 1961, *Cover deposits of the Karkonosze Mountains*, Zesz. Nauk. Uniwersytetu Wrocławskiego, Nauki Przyrodnicze, Nauki o Ziemi V, Seria B, 8, 31–55.
- Klasyfikacja uziarnienia gleb i utworów mineralnych PTG, 2009, *Roczniki Gleboznawcze*, 60(2), 5–16.
- Kwiatkowski J., 1969, *Próba klimatologicznej interpretacji przyczyn wiatrołomów na północnych stokach Karkonoszy w dniach 4 i 5 listopada 1966 r.*, Opera Corcontica, 6, 25–33.
- Kwiatkowski J., 1975, *Rola fenów karkonoskich w gospodarce leśnej Kotliny Jeleniogórskiej*, Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 162, 527–540.
- Kwiatkowski J., Hołdys T., 1985, *Klimat*, [w:] A. Jahn (red.), *Karkonosze polskie*, PAN Wrocław, Karkonoskie Towarzystwo Naukowe w Jeleniej Górze, 87–116.
- Migoń P., 2005, *Karkonosze – rozwój rzeźby terenu*, [w:] M.P. Mierzejewski (red.), *Karkonosze. Przyroda nieożywiona i człowiek*, Wydawnictwo Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław, 323–351.
- Migoń P., 2008, *Współczesna ewolucja rzeźby Sudetów i ich Przedgórze*, [w:] L. Starkel, A. Kostrzewski, A. Kotarba, K. Krzemień (red.), *Współczesne przemiany rzeźby Polski*, SGP, IGI PAN, 135–163.
- Migoń P., 2011, *Historia badań geomorfologicznych w Karkonoszach*, [w:] R. Knapik, L. Przewoźnik, A. Raj (red.), *50 lat badań naukowych w Karkonoskim Parku Narodowym*, KPN, Jelenia Góra, 61–103.

- Migoń P., Parzóch K., 2008, *Spywy gruzowe w polskich Karkonoszach – przyczyny, skutki i zagrozenia*, Przegląd Geograficzny, 80(3), 385–401.
- Norman S.A., Schaetzl R.J., Small T.W., 1995, *Effects of slope angle on mass movement by tree uprooting*, Geomorphology, 14, 19–27.
- Parzóch K., 2001, *Współczesne procesy geomorfologiczne w Karkonoszach w warunkach antropopresji*, maszynopis pracy doktorskiej, Archiwum Zakładu Geomorfologii IGI RR, Uniwersytet Wrocławski.
- Pawlik Ł., Migoń P., Owczarek P., Kacprzak A., 2013a, *Surface processes and interactions with forest vegetation on a steep mudstone slope, Stołowe Mountains, SW Poland*, Catena, 109, 203–216.
- Pawlik Ł., Kacprzak A., Musielok Ł., Bebak J., 2013b, *Distinct form of microrelief on steep slopes of the Rogowa Kopa, Stołowe Mts. – in the light of geomorphological and pedological evidence*, [w:] P. Migoń, M. Kasprzak (red.), *Sandstone Landscapes. Diversity, Ecology and Conservation*, Proceedings of the 3rd International Conference on Sandstone Landscapes, Kudowa-Zdrój (Poland), 25–28 April 2012, 132–138.
- Phillips J.D., 1993, *Progressive and regressive pedogenesis and complex soil evolution*, Quaternary Research, 40, 169–176.
- Rojan E., 2012, *Mikrorzeźba jamowo-kopczykowa w granicach wiatrowatu w Słowackich Tatrach Wysokich*, Prace i Studia Geograficzne, 49, 173–183.
- Schaetzl R.J., Anderson S., 2005, *Soils: Genesis and geomorphology*, Cambridge University Press, UK.
- Schelhaas M.-J., Nabuurs G.-J., Schuck A., 2003, *Natural disturbances in the European forests in the 19th and 20th centuries*, Global Change Biology, 9, 1620–1633.
- Schott C., 1931, *Die Blockmeere in den deutschen Mittelgebirgen*, Forschungen zur deutschen Landes und Volkskunde, 29, 1–78.
- Selby M.J., 1993, *Hillslope materials and processes*, Oxford University Press, Oxford.
- Skiba S., 1995, *Ocena wpływu emisji przemysłowych na gleby Karkonoszy*, [w:] Z. Fischer (red.), *Problemy ekologiczne wysokogórskiej części Karkonoszy*, Dziekanów Leśny, Oficyna Wydawnicza Instytutu Ekologii PAN, 97–111.
- Sobik M., Błaś M., 2008, *Znaczenie klimatu dla funkcjonowania ekosystemów leśnych Karkonoszy*, [w:] A. Mazur, A. Raj, R. Knapik (red.), *Monitoring ekosystemów leśnych w Karkonoskim Parku Narodowym*, Wydawnictwo Karkonoskiego Parku Narodowego, Jelenia Góra, 17–28.
- Tomaszewski J., 1994, *Spyw powierzchniowy i śródpokrywowy w obszarach górskich Karkonoszy*, [w:] J. Tomaszewski (red.), *Problemy hydrologii regionalnej*, Materiały Ogólnopolskiej Konferencji Hydrograficznej, Karpacz, 26–28 września 1994, 79–89.

Lukasz Pawlik
Uniwersytet Wrocławski
Instytut Geografii i Rozwoju Regionalnego
pl. Uniwersytecki 1, 50-137 Wrocław
e-mail: lukpawlik@gmail.com

