

Elżbieta ROJAN^a, Marta POTOCKA^b,
Marta NARLOCH^c

^aUniwersytet Warszawski

Wydział Geografii i Studiów Regionalnych

e-mail: erojan@uw.edu.pl

ORCID: 0000-0003-0550-1480

^bPolskie Stowarzyszenie Promocji Oświatowych

e-mail: marta.potocka@pspo.edu.pl

^cUniwersytet Warszawski

Wydział Geografii i Studiów Regionalnych

e-mail: ma.narloch@uw.edu.pl

ORCID: 0009-0008-2344-0291

Prace i Studia Geograficzne

ISSN: 0208–4589; ISSN (*online*): 2543–7313

2025, t. 70.4, s. 85–98

DOI: 10.48128/pisg-2025-70.4-06

GEOMORFOLOGICZNE SKUTKI GOSPODARKI LEŚNEJ W REJONACH ZNISZCZEŃ DRZEWOSTANÓW W TATRACH (NA PRZYKŁADZIE DOLIN OLCZYSKIEJ, FILIPKI I ŻŁOTEJ)

Geomorphological effects of forest management in areas of forest stand damage in the Tatra Mountains (a case study of the Olczyska, Filipka, and Żłota valleys)

Abstract: The study examines geomorphological changes of forest roads created and used during timber extraction in wind-damaged and bark-beetle-affected areas of the northern Tatra Mountains. Mapping 27 km of roads and repeated cross-section measurements (2015–2024) allowed assessment of incision, accumulation, slope, lithology and usage intensity. Erosion was the dominant process, with average annual incision of 0.02 m and accumulation of 0.01 m. Road degradation was most strongly controlled by usage intensity, while the influence of slope, lithology and alignment was less consistent. Road density decreased markedly over the decade due to declining use and vegetation recovery. Results show that reducing road use is the most effective way to limit erosion, although many roads remain persistent landforms on mountain slopes.

Wpłynęło: 15.09.2025

Zaakceptowano: 09.12.2025

Zalecany sposób cytowania / Cite as: Rojan E., Potocka M., Narloch M., 2025, Geomorfologiczne skutki gospodarki leśnej w rejonach zniszczeń drzewostanów w Tatrach (na przykładzie dolin Olczyskiej, Filipki i Żłotej), *Prace i Studia Geograficzne*, 70.4, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa, 85–98, DOI: 10.48128/pisg-2025-70.4-06.

© Copyright by Wydział Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego & Autorzy



Artykuł opublikowany przez Paradigm i objęty licencją Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

Key words: forest roads, relief transformations, anthropoppression, Tatra Mountains

WPROWADZENIE

Zaburzenia funkcjonowania ekosystemów leśnych są często wywoływane przez bardzo silne wiatry, powodujące łamanie drzew i wyrywanie ich z korzeniami (Clinton, Baker 2000; Ulanova 2000). Zniszczenia drzewostanów powstają także w wyniku gradacji kornika drukarza, co szczególnie ma miejsce w granicach wiatrołomów i wiatrowałów oraz w ich otoczeniu. Prace zrywkowe w takich obszarach wymagają zwykle użycia ciężkiego sprzętu, co skutkuje, szczególnie w górach, powstawaniem nowych dróg i przekształcaniem starych (Wałdykowski 2006, 2010; Rojan 2009; Fidelus-Orzechowska i in. 2018). Dochodzi wówczas do niszczenia na drogach pokrywy roślinnej, rozluźnienia i przemieszczenia materiału organicznego i mineralnego podłoża (Wojtaszowicz, Fidelus-Orzechowska 2025). Dalsza degradacja dróg leśnych jest powodowana naturalnymi procesami morfogenetycznymi, działającymi szczególnie intensywnie w okresie niweo-pluwialnym, zwłaszcza podczas nawalnych opadów deszczu (Gorczyca, Krzemień 2010).

Najstarsze udokumentowane dane o zniszczeniach lasów w Tatrach dotyczą wichury z 4.04.1898 r. (Koreń 2005). W kolejnych wiekach wiatrołomy i wiatrowały powstawały co kilka lub kilkanaście lat, nawet powyżej 500 ha (Mossakowski 1968). W XXI w. największe z nich są skutkiem wiatru bora z 19.11.2004 r. w słowackich Tatrach Wysokich – ponad 12000 ha, 3000000 m³ drewna (Grocholski 2005) oraz halnego z 25.12.2013 r. w polskich Tatrach Zachodnich – 153000 m³ drewna¹. Zapoczątkowało to ogromną ekspansję kornika drukarza. Konsekwencją tych zdarzeń, ale także tych o mniejszej skali, było wzmożenie prowadzenia prac leśnych.

Celem opracowania jest określenie wielkości, tempa i kierunku przekształceń powierzchni wybranych dróg leśnych w Tatrzańskim Parku Narodowym (TPN) podczas i po okresie zwiększonej aktywności prowadzenia prac leśnych, w tym zrywkowych w obszarach zniszczonego drzewostanu.

Drogi leśne są integralną częścią lasu, służą głównie gospodarce leśnej (w tym wywozowi drewna) i nie są drogami publicznymi (krajowymi, wojewódzkimi, powiatowymi, gminnymi). W parkach narodowych poruszanie się po nich pojazdami silnikowymi jest generalnie zabronione, za wyjątkiem okoliczności i miejsc wynikających z ustawy o lasach (Kocięcki, Andrzejewski 1991).

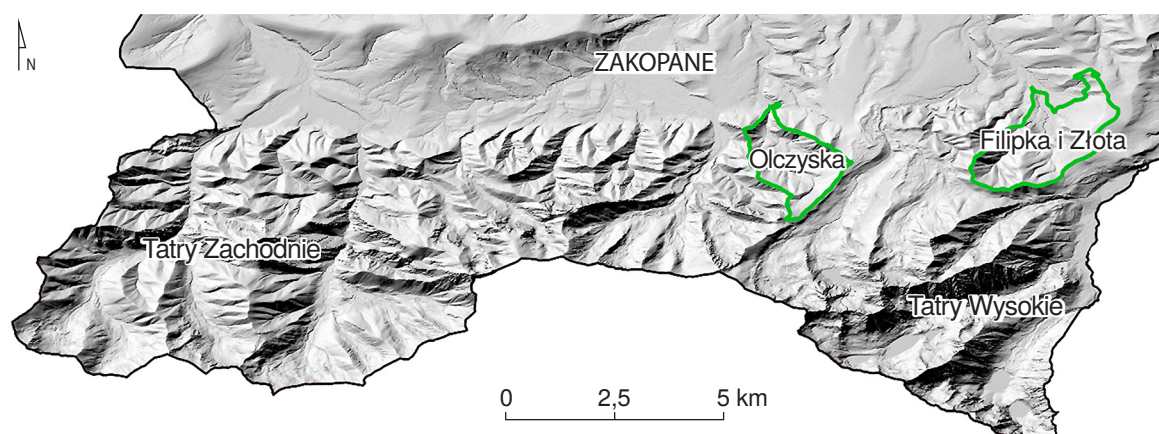
Obszar badań

Do realizacji celu opracowania wybrano drogi leśne w dwóch obszarach badawczych położonych w trzech dolinach tatrzańskich. Jest to zlewnia potoku Olczyskiego – 4,7 km² (Tatry Zachodnie) oraz zlewnia potoku Filipczańskiego i jego dopływu, potoku Złotego, czyli odpowiadające im doliny – Filipki i Złotej – 6,8 km² (Tatry Wysokie), ograniczone od północy drogą Oswalda Balzera (ryc. 1). W opracowaniu, dla uproszczenia, niekiedy używana jest nazwa Filipka lub „F” dla obu tych obszarów (Filipki i Złotej).

Obszary badań położone są w N części Tatr, w obrębie regłowej płaszczowiny krizniańskiej, zbudowanej głównie z wapieni, dolomitów i margli. Miejscami występują również: piaskowce, łupki, mułowce i brekcje mezozoiczne, pokrywy paleogeńskie z łupkami, piaskowcami i zlepieńcami, a także czwartorzędowe głazy, żwiry, piaski i muły teras rzecznych oraz koluwalne, osuwiskowe gliny z rumoszem skalnym (Piotrowska i in. 2015).

Rzeźba doliny Olczyskiej jest mało urozmaicona. Nad dość wąskim jej dnem wznoszą się stoki o nachyleniu do 64° (tabela 1) porożcinane niezbyt głębokimi, w większości suchymi, dolinkami wciosowymi. Nieco bardziej urozmaiconym ukształtowaniem terenu charakteryzuje się obszar badań „Filipka”, mimo że deniwelacja i spadki maksymalne są tu mniejsze niż w dolinie Olczyskiej. Parametry morfometryczne i inne cechy środowiska przyrodniczego obu obszarów badań przedstawione zostały w tabeli 1.

¹ <http://tpn.pl/> (dostęp: 05.08.2025).



Ryc. 1. Lokalizacja obszarów badań – doliny: Olczyska, Filipka i Złota na tle Tatr Polskich

Źródło: opracowanie własne na podstawie NMT (www.geoportal.gov.pl, dostęp: 05.08.2025).

Fig. 1. Location of the study areas in the background of the Polish Tatra Mountains – the valleys of Olczyska, Filipka and Złota

Source: own elaboration based on DTM (www.geoportal.gov.pl, accessed: 05.08.2025).

Opady w obszarach badań wynoszą ok. 1300–1400 mm rocznie, co przyjęto na podstawie ich wysokości na Hali Gąsienicowej (1526 m n.p.m.) – 1733 mm (Ustrnul i in. 2015).

Wszystkie badane doliny leżą w granicach piętra regla dolnego i górnego. W obrębie pierwszego z nich, w zależności od lokalnych warunków siedliskowych, występuje kilka zbiorowisk leśnych. Dominują lasy mieszane bukowo-jodłowo-świerkowe. Ze względu na dużą ingerencję człowieka w skład lasów, wszystkie siedliska dolnoreglowe są w znacznym stopniu zajęte przez sztucznie nasadzone, jednowiekowe i nie pochodzące z Tatr monokultury świerka. Rzeczywisty zasięg występowania buczyn w Tatrzańskim Parku Narodowym jest więc znacznie mniejszy niż zasięg ich siedlisk i ogranicza się głównie do obszarów w bezpośrednim sąsiedztwie Zakopanego. Udział buka i jodły, podstawowych gatunków tworzących niegdyś lasy dolnoreglowe, obecnie stanowi odpowiednio 2% i 4% lasów tatrzańskich, przy czym są to najczęściej młode drzewa, których wiek rzadko przekracza 80 lat (Skrzydłowski 2008). W piętrze regla górnego dominacja świerka jest już naturalna. Jest to drzewo bardzo podatne na uszkodzenia ze strony wiatru, a także na zasiedlanie przez kornika drukarza. Jego populacja zależy w dużym stopniu od warunków pogodowych, zwłaszcza temperatur. Dlatego w wyższych piętrach klimatycznych w ciągu jednego sezonu wegetacyjnego pojawia się tylko jedno pokolenie tego owada. W niższych partiach gór, przy sprzyjających warunkach atmosferycznych, liczba ta może wzrosnąć do 2–3 pokoleń, co istotnie zwiększa zniszczenia drzewostanów (Grodzki, Ładygin 2009), jak miało to miejsce po powstaniu wiatrowału w Tatrach Słowackich w 2004 r.

Największe zniszczenia lasów w XXI w. w dolinie Olczyskiej powstały w okresie 2012–2014, w tym na skutek halnego 25.12.2013 r., a w dolinach Filipki i Złotej w okresie 2009–2012 w wyniku ekspansji kornika drukarza po wietrze bora z 2004 r. Najintensywniejsze prace leśne prowadzone były w obu obszarach w 2016 r. i częściowo kontynuowane w 2017 r.

METODY BADAŃ

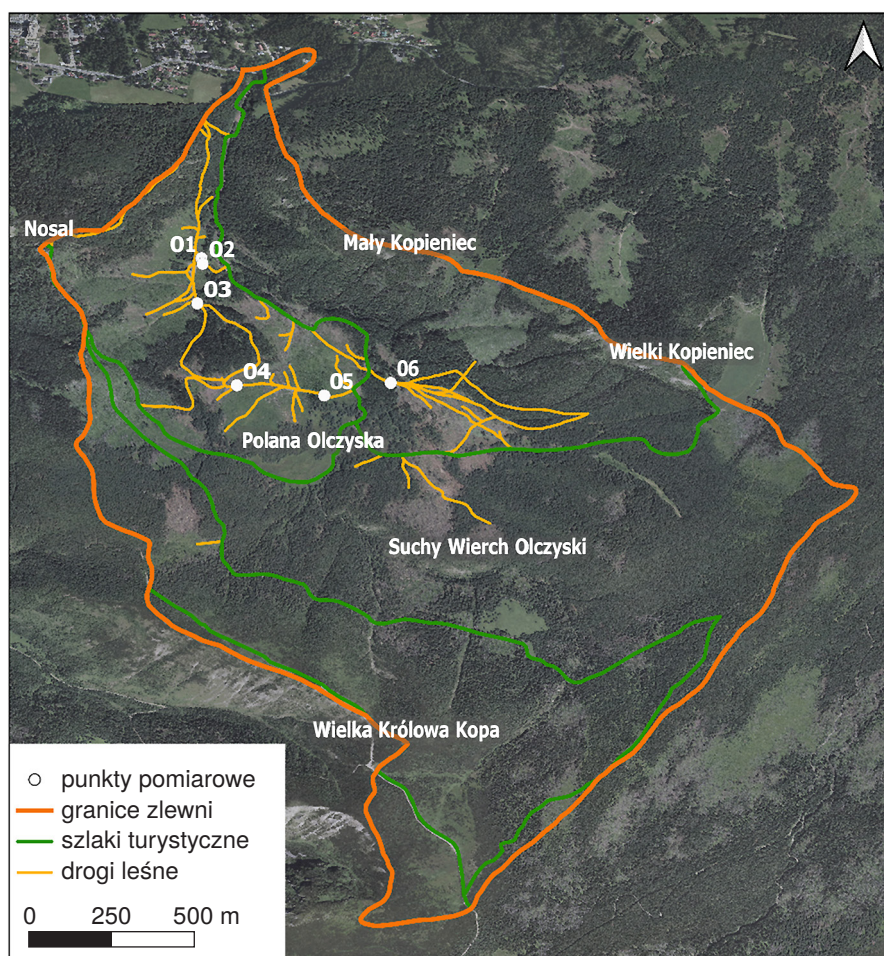
Badania prowadzono w okresie 2015–2024, podczas którego w latach 2016–2020 przeprowadzono badania terenowe. Pierwszy ich etap polegał na wykonaniu kartowania geomorfologicznego

Tabela 1. Wybrane cechy komponentów środowiska przyrodniczego obszarów badań**Table 1.** Selected features of the natural environment components of the study areas

Komponent środowiska przyrodniczego <i>Elements of the natural environment</i>	Obszar badań <i>Study area</i>	
	Olczyśka	Filipka i Złota
Lokalizacja <i>Location</i>	Tatry Zachodnie	Tatry Wysokie
Budowa geologiczna <i>Geological structure</i>	płaszczowina krizniańska	
Litologia <i>Lithology</i>	wapienie, dolomity, margle, piaskowce, łupki	
Rzeźba terenu <i>Relief</i>		
Wysokość śr. <i>Ave. altitude (m n.p.m.)</i>	1203	1135
Wysokość min <i>Min altitude (m n.p.m.)</i>	860	910
Wysokość max <i>Max altitude (m n.p.m.)</i>	1630	1485
Deniwelacja <i>Difference in altitude (m)</i>	770	575
Spadek śr. <i>Ave. slope (°)</i>	21	18
Spadek max <i>Max slope (°)</i>	64	56
Ekspozycja domin. <i>Exposure domin.</i>	NE / NW	brak dominującej
Gleby <i>Soils</i>	rędziny (w tym butwinowe i próchniczne), gleby brunatne	
Cieki <i>Watercourses</i>	Olczyśki Potok	Filipczański Potok
		Złoty Potok
	Suchy Olczyśki Potok	Łężny Potok
		Potok Zza Skałki
Piętro klimatyczne <i>Climatic zone</i>	umiarkowane chłodne i chłodne	
Piętro roślinne <i>Vegetation zone</i>	regiel dolny (naturalna buczyna karpacka zastąpiona przez monokulturę świerka)	
	regiel górny (przewaga świerka)	

Źródło: opracowanie własne na podstawie Balon i in. (2015), Piotrowska i in. (2015), Skiba i in. (2015), ortofotomapy TPN.
Source: own elaboration based on Balon et al. (2015), Piotrowska et al. (2015), Skiba et al. (2015), orthophotomaps TPN.

wszystkich dróg leśnych (ryc. 2 i 3). Były wśród nich funkcjonujące przed 2012 r., jak i nowopowstałe podczas likwidacji szkód w okresie 2012–2016. Nie prowadzono badań na szlakach turystycznych i nartostradach, jeśli nawet ich fragmenty były okresowo wykorzystywane do prac leśnych. Podczas kartowania zebrano dane dotyczące rodzaju podłoża, położenia morfologicznego, form erozyjnych i akumulacyjnych, takich jak rozcięcia, nisze, progi, stożki napływowe, parametrów morfometrycznych oraz stanu użytkowania.



Ryc. 2. Drogi leśne (stan 2016) i miejsca lokalizacji profili poprzecznych w Dolinie Olczyńskiej

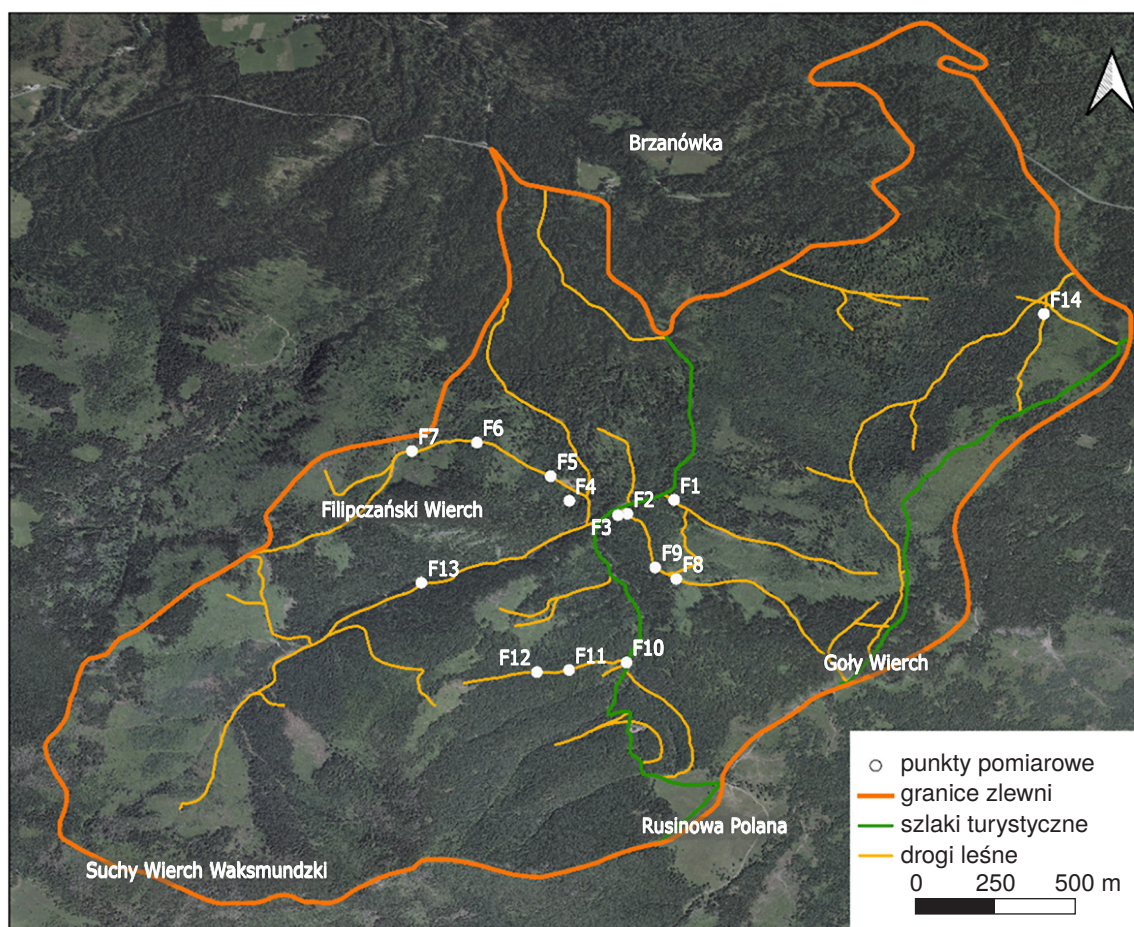
Źródło: opracowanie własne na podstawie ortofotomapy TPN.

Fig. 2. Forest roads (as of 2016) and locations of cross-section profiles in the Olczyńska Valley

Source: own elaboration based on orthophotomap TPN.

Na potrzeby niniejszego opracowania skonstruowano autorską skalę jakościową intensywności użytkowania dróg, opartą na obserwacjach terenowych oraz analizie porównawczej fotografii wykonanych w poszczególnych okresach badań. Przy jej tworzeniu uwzględniono częstotliwość przejazdów pojazdów mechanicznych, stopień zachowania i rozmiary mikroform na powierzchni dróg, a także stan roślinności. Skala składa się z 6 stopni:

- 0 – brak użytkowania: wkraczanie roślinności, brak śladów jej przekształcania przez pojazdy,
- 1 – użytkowanie bardzo słabe: wkraczanie roślinności, miejscowe ślady jej niszczenia, bardzo niewyraźne i miejscowe ślady przejazdu pojazdów,
- 2 – użytkowanie słabe: niewyraźne ślady przejazdu pojazdów kołowych,
- 3 – użytkowanie średnie: dość wyraźne, ale stare ślady przejazdu pojazdów kołowych i ciągnięcia pni drzew,
- 4 – użytkowanie intensywne: świeże, wyraźne ślady przejazdu pojazdów kołowych i ciągnięcia pni drzew, nieliczne przejazdy pojazdów podczas kartowania,
- 5 – użytkowanie bardzo intensywne: prawie codzienne wykorzystywanie drogi przez pojazdy mechaniczne i ciągnięcie pni drzew podczas kartowania.



Ryc. 3. Drogi leśne (stan 2016) i miejsca lokalizacji profili poprzecznych w dolinach Filipki i Złotej

Źródło: opracowanie własne na podstawie ortofotomapy TPN.

Fig. 3. Forest roads (as of 2016) and locations of cross-sections in the Filipka and Złota valleys

Source: own elaboration based on orthophotomap TPN.

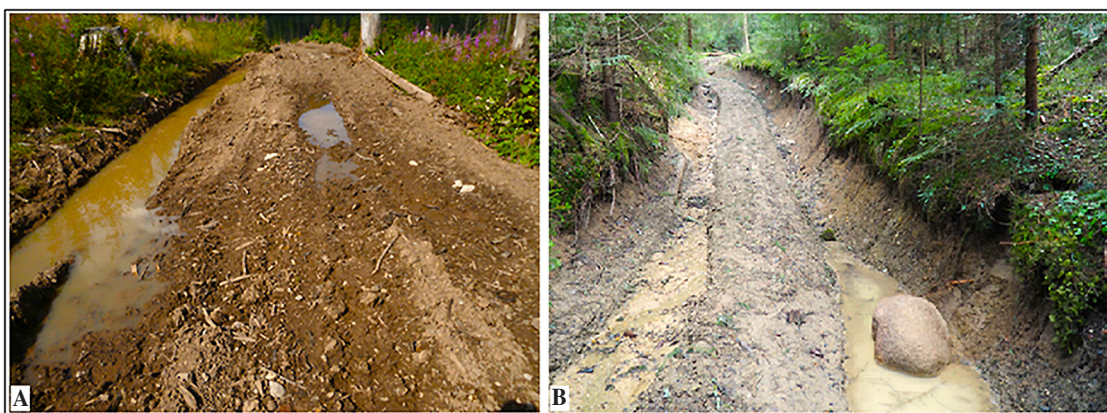
W czasie pierwszego sezonu badań terenowych w wybranych miejscach na drogach założono 20 stanowisk pomiarowych: w Dolinie Olczyskiej – 6 (ryc. 2), a w dolinach Filipki i Złotej – 14 (ryc. 3). Różnica w liczbie wynika z ograniczonych możliwości założenia reperów w pierwszej z dolin, ze względu na duże prawdopodobieństwo poszerzania dróg z powodu prowadzenia intensywnych prac zrywkowych. W wyznaczonych punktach wykonano pomiary wzdłuż profili poprzecznych głębokości rozcięć drogowych za pomocą napiętej taśmy mierniczej w odstępach co 0,1 m (Wałdykowski 2006; Wałdykowski, Krzemień 2013). Kolejne serie pomiarów miały miejsce w sezonach letnich, zwykle w lipcu lub sierpniu, w latach: 2017, 2018, 2019 i 2020 w Dolinie Olczyskiej oraz w latach: 2017, 2018 i 2020 w dolinach Filipki i Złotej. Dla tych punktów rozpoznano także litologię, wybrane parametry morfometryczne i stopień użytkowania odcinka drogi. Pozyskane dane posłużyły do określenia wielkości i kierunku zmian głębokości rozcięć drogowych.

Dla okresu 2015–2024 obliczono długość i gęstość dróg leśnych badanych obszarów. Wykorzystano do tego ortofotomapy z lat: 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021 i 2024 pozyskane od TPN-u. Długość dróg obliczono przy pomocy kalkulacji geometrii w programie ArcGis.

WYNIKI

Skartowano łącznie 27 km dróg leśnych: w Dolinie Olczyskiej – 14 dróg o łącznej długości 9,2 km, w dolinach Filipki i Złotej – 30 dróg o łącznej długości 17,8 km (stan 2016 r.). Generalnie jest ich najwięcej na stokach o ekspozycji E i bliżej osi dolin (ryc. 2 i 3). Jest to przede wszystkim zależne od lokalizacji stref zniszczonych drzew.

Biorąc pod uwagę szerokość dróg w okresie prowadzenia badań terenowych, najszerszy odcinek zarejestrowano w Dolinie Olczyskiej – 17 m. W dolinach Filipki i Złotej większość dróg przebiega w obrębie zwartego drzewostanu, co w pewnym stopniu ograniczyło możliwości ich poszerzania. Najszerszym, a zarazem najdłuższym odcinkiem w tym obszarze była droga o długości 2,2 km, biegnąca dnem doliny Filipki w kierunku Polany Filipczańskiej. Na części intensywnie użytkowanych dróg w obu rejonach obserwowano również przepływ wód, co przyczynia się do pogłębiania i przekształcania ich profili poprzecznych (fot. 1).



Fot. 1. Drogi leśne w punktach pomiarów profili poprzecznych odprowadzające wody opadowe: A – O4 w Dolinie Olczyskiej, szer. 4,8 m; B – F8 w Dolinie Złotej, szer. – 2,8 m
Źródło: fot. M. Potocka (2017).

Photo 1. Forest roads at the measurement points of cross-section profiles draining rainwater: A – O4 in the Olczyska Valley, width 4.8 m; B – F8 in the Złota Valley, width – 2.8 m
Source: photo by M. Potocka (2017).

Wyniki powtarzalnych pomiarów głębokości dróg leśnych przedstawiono na tle wybranych charakterystyk i parametrów komponentów środowiska przyrodniczego punktu pomiarowego lub jego otoczenia (tabela 2). Punkty te zlokalizowano na drogach o spadku od 3° do 21° (średnio 12°). W przypadku 40% punktów odcinki mają przebieg poprzeczny do spadku, 35% zgodny, a 25% skośny. Użytkowanie dróg na początku pięcioletniego okresu pomiarowego było w analizowanych punktach w większości bardzo intensywne (stopień 5 – 20% przypadków) lub intensywne (stopień 4 – 65% przypadków), przy czym zmniejszało się wyraźnie w kolejnych latach.

W całym okresie badań w obrębie większości rozcięć drogowych (holwegów) (65%) przeważało obniżanie ich den i podcinanie krawędzi. Wielkość tych zmian, jak również nadbudowywania ich den, była nieduża. Średnie tempo obniżania powierzchni dróg, obliczone dla wszystkich punktów pomiarowych, wyniosło 0,02 m rocznie, natomiast średnie tempo ich nadbudowywania – 0,01 m rocznie. Największe pogłębienie profilu, wynoszące 0,3 m, odnotowano w Dolinie Olczyskiej w odcinku drogi zlokalizowanym na koluwalnych glinach z rumoszem skalnym, o spadku 12° i przebiegu zgodnym z nachyleniem stoku. Tak duża zmiana głębokości mogła być wymuszona powstaniem nowej (w okresie między pomiarami) lokalnej bazy erozyjnej na drodze na skutek usunięcia miększej warstwy

Tabela 2. Wybrane komponenty środowiska przyrodniczego i ich parametry w punktach profili poprzecznych dróg leśnych w dolinach: Olczyskiej, Filipki i Złotej

Table 2. Selected components of the natural environment and their parameters at the points of the cross-section profile of forest roads in the valleys of Olczyska, Filipka and Złota

Obszar badań <i>Study area</i>	Nr profilu poprzecznego <i>Cross-section profile number</i>	Budowa podłoża <i>Local geology</i>	Nachylenie stoku [°] <i>Slope [°]</i>	Przebieg drogi względem nachylenia stoku <i>Course of the road relative to the slope</i>	Stopień użytkowania drogi w okresie pomiarowym <i>Degree of road use during the measurement period</i>	
					na początku – 2016 <i>at the beginning</i>	na końcu – 2020 <i>at the end</i>
Olczyska	O1	gliny z rumoszem skalnym koluwalne	12	zgodny	4	0
	O2	gliny z rumoszem skalnym koluwalne	12	skośny	5	0
	O3	mułki, piaski, żwiry i głazy stożków napływowych	3	zgodny	4	0
	O4	głazy, żwiry, piaski i mułki tarasów rzecznych	14	skośny	4	0
	O5	głazy i rumosz skalny morenowy, zgliniony	8	zgodny	4	0
	O6	głazy, żwiry, piaski i mułki tarasów rzecznych	12	zgodny	4	1
Filipka i Złota	F1	mułki, piaski, żwiry i głazy stożków napływowych	6	poprzeczny	4	1
	F2	łupki mułowcowe, piaskowce i zlepieńce	15	poprzeczny	5	1
	F3	łupki mułowcowe, piaskowce i zlepieńce	12	poprzeczny	4	1
	F4	dolomity i wapienie	16	poprzeczny	5	1
	F5	gliny z rumoszem skalnym koluwalne	21	skośny	4	0
	F6	dolomity i wapienie	27	skośny	4	0
	F7	dolomity i wapienie	5	poprzeczny	3	0
	F8	głazy, żwiry, piaski i mułki tarasów fluwiogłacjalnych	2	poprzeczny	4	1
	F9	gliny i rumosz skalny deluwialno-soliflukcyjny	9	poprzeczny	5	1
	F10	głazy, żwiry, piaski i mułki tarasów rzecznych	17	skośny	5	0
	F11	wapienie i łupki	13	poprzeczny	3	0
	F12	zlepieńce	13	skośny	2	0
	F13	łupki mułowcowe, wapienie i margle	10	zgodny	4	1
	F14	gliny i rumosz skalny deluwialno-soliflukcyjny	9	skośny	3	1

Źródło: opracowanie własne na podstawie Piotrowska i in. (2015), NMT.

Source: own elaboration based on Piotrowska et al. (2015), DTM.

rumoszu drzewnego. Największa akumulacja, o wartości 0,16 m, miała miejsce w Dolinie Filipki w odcinku drogi o spadku 15° i przebiegu poprzecznym, na łupkach mułowcowych, piaskowcach i zlepieńcach. W tym przypadku sprzyjający takiemu wynikowi był układ drogi. Szczegółowe wyniki pozostałych pomiarów i obliczeń przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Zmiany głębokości dróg leśnych w dolinach: Olczyskiej, Filipki i Złotej w okresie 2016–2020: czerwony – przewaga erozji, niebieski – przewaga akumulacji, szary – brak tendencji, x – brak pomiaru

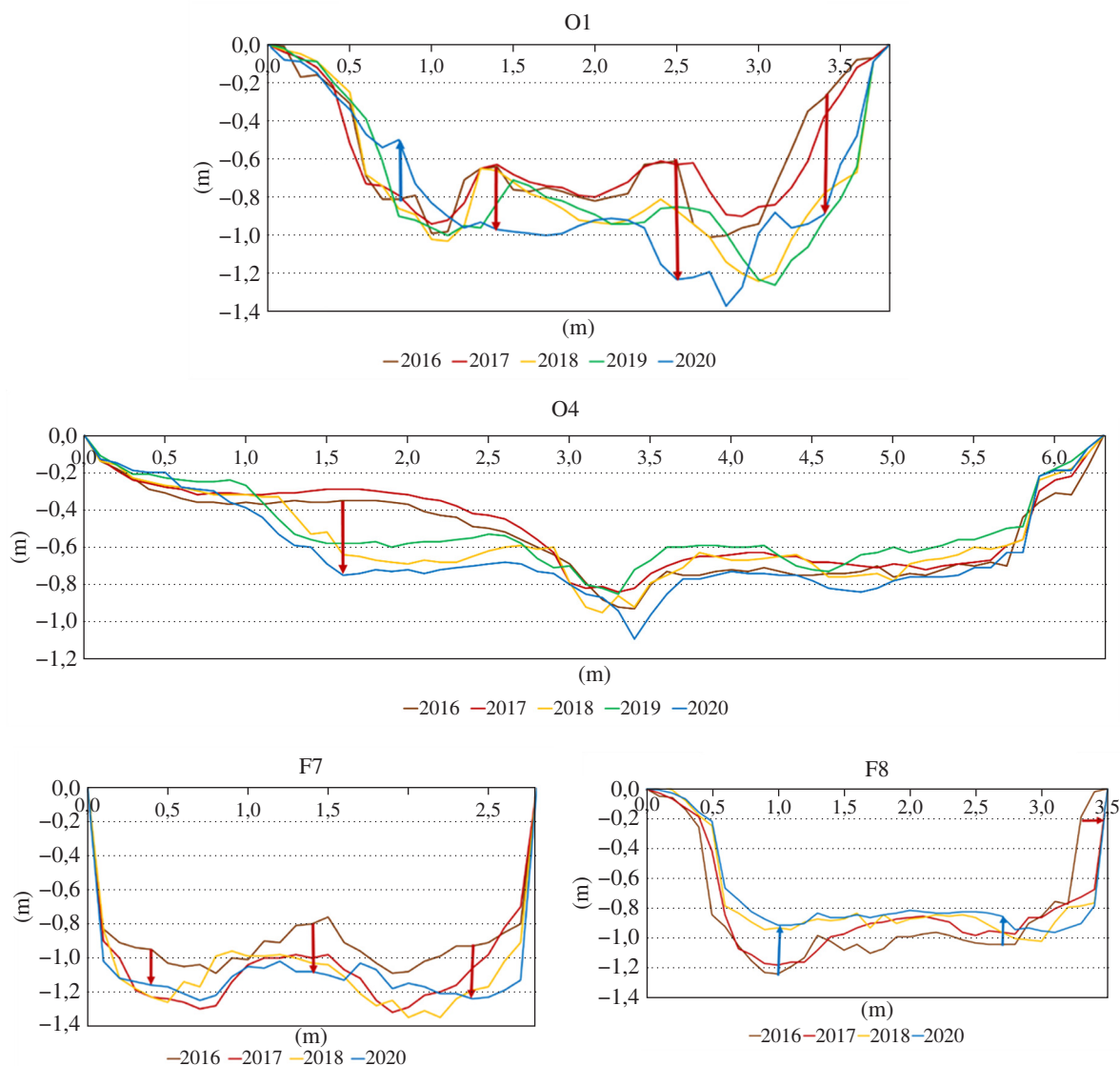
Table 3. Changes in the depth of forest roads in the Olczyska, Filipka and Złota valleys in the period 2016–2020: red – predominance of erosion, blue – predominance of accumulation, gray – no trend, x – no measurement

Obszar badań Study area	Nr profilu poprzecznego Cross-section profile number	Szerokość drogi [m] Profile width [m]	Zmiana głębokości średniej profilu w okresach pomiarowych [m] Changes in the average depth of the profile during the measurement periods [m]				Zmiana głębokości maksymalnej rozcięcia drogowego w kolejnych latach [m] Changes in the maximum depth of the profile during the measurement periods [m]				Zmiana głębokości rozcięcia drogowego w ciągu roku średnia [m/rok] Change in profile depth during the year average [m/year]
			2016–2017	2017–2018	2018–2019	2019–2020	2016–2017	2017–2018	2018–2019	2019–2020	
Olczyska	O1	3,8	0,01	-0,13	0	-0,05	0,07	-0,3	-0,02	-0,11	-0,03
	O2	6,3	0,05	-0,07	0,05	-0,11	0,09	-0,11	0,1	-0,24	-0,02
	O3	4,8	0,05	-0,08	0,08	-0,14	0,12	-0,08	0	-0,08	-0,02
	O4	4,8	0,02	0	0,01	x	0,04	0,04	0	x	0,01
	O5	4,1	0,03	-0,04	-0,06	-0,06	0,05	0,06	-0,14	-0,1	-0,03
	O6	4,5	-0,1	0,05	-0,07	-0,07	-0,1	0,08	-0,11	-0,08	-0,04
Filipka i Złota	F1	3	0,02	-0,04	0,13	x	-0,01	-0,01	0,12	x	0,03
	F2	3,8	0,02	0,06	0,02	x	0,06	0,16	0,06	x	0,03
	F3	4,2	0	-0,02	0,02	x	-0,01	0,02	0,02	x	0
	F4	2,5	0,03	0,01	-0,02	x	0,04	-0,05	-0,04	x	0,01
	F5	3,2	-0,1	-0,03	-0,05	x	-0,18	-0,07	0	x	-0,05
	F6	3,2	-0,05	0,08	-0,08	x	-0,05	0,02	-0,08	x	-0,01
	F7	3,1	-0,14	-0,01	-0,01	x	-0,23	-0,03	0,1	x	-0,04
	F8	2,8	0	0,02	0,04	x	0	0	0,07	x	0,02
	F9	3	-0,01	-0,01	-0,08	x	0	0	-0,11	x	-0,03
	F10	2,4	0,01	-0,05	0	x	0,06	-0,01	-0,12	x	-0,01
	F11	2,8	-0,01	0	-0,04	x	-0,02	-0,02	-0,05	x	-0,01
	F12	2,7	0,02	-0,01	0,03	x	-0,01	0	-0,01	x	0,01
	F13	3,4	0,02	-0,11	0,02	x	-0,05	-0,12	0,01	x	-0,02
	F14	2,8	0,02	-0,06	-0,02	x	0,03	-0,14	-0,04	x	-0,02

Źródło: opracowanie własne.

Source: own elaboration.

Analiza przebiegu profili poprzecznych dróg leśnych wskazuje również na lokalne zmiany geometrii ich linii. Mimo stosunkowo niewielkich zmian głębokości, odnotowano wyraźną zmienność przebiegu linii profilu na części odcinków, co świadczy o dynamicznym oddziaływaniu zarówno procesów naturalnych, jak i antropogenicznych. Zmiany te mogą wynikać z nierównomiernego rozkładu erozji bocznej i dennej, lokalnych akumulacji materiału, a także z przejazdów ciężkiego sprzętu (ryc. 4).



Ryc. 4. Profile poprzeczne dróg leśnych w okresie 2016–2020 i kierunki zmian ich przebiegu

Źródło: opracowanie własne.

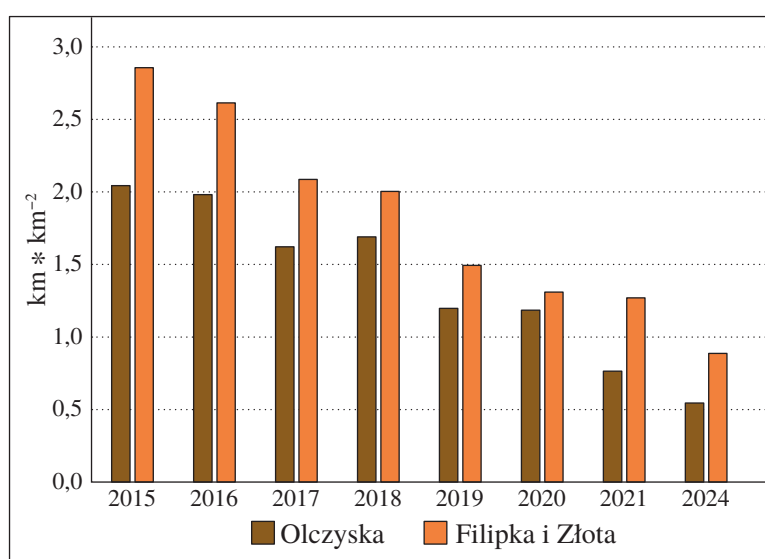
Fig. 4. Cross-section profiles of the forest road in the period 2016–2020 and the directions of changes in their course

Source: own elaboration.

Ocena szerokości i głębokości rozcięć drogowych na tle wybranych parametrów środowiska przyrodniczego nie wykazała wyraźnych związków między nimi. Na stokach od 10° do 20° rozwinięte są zarówno najwęższe, jak i najszersze odcinki dróg. Trudno dostrzegalny jest też związek z położeniem w stosunku do kierunku spadku stoku. Zarówno wśród najszerszych, jak i najgłębszych rozcięć drogowych występują odcinki położone równolegle, prostopadłe i skośnie względem stoku. Najszersze drogi, powyżej 3 m, rozwinięte są zarówno w osadach czwartorzędowych stożków napływowych, jak i w zwietrzelinie piaskowców jurajskich. Można natomiast zauważyć pewną zależność szerokości i głębokości dróg od intensywności jej użytkowania. Największą szerokość odnotowano na drodze bardzo intensywnie użytkowanej (5 stopień względnej skali). Również wszystkie odcinki szersze niż

4 m występują na drogach o takim stopniu użytkowania, natomiast o szerokości 3–4 m były użytkowane w stopniu od średniego do dużego (3–4 stopień). Ponadto wszystkie najgłębsze rozcięcia drogowe wykazywały się użytkowaniem od średniego do bardzo intensywnego (3–5 stopień).

Wyniki analizy długości i gęstości dróg leśnych obszarów badawczych w okresie 2015–2024 jednoznacznie dokumentują zmniejszanie ich wartości w obu badanych obszarach, przy czym różnice między kolejnymi latami są wyraźniejsze w dolinach Filipki i Złotej (ryc. 5). Tam też, bez względu na badany okres, gęstość jest większa niż w Dolinie Olczyskiej. Na początku okresu pomiarowego parametr ten w Dolinie Olczyskiej wynosił $2 \text{ km} \cdot \text{km}^{-2}$, a w dolinach Filipki i Złotej $2,9 \text{ km} \cdot \text{km}^{-2}$. Po 10 latach gęstość wynosi odpowiednio $0,5 \text{ km} \cdot \text{km}^{-2}$ i $0,9 \text{ km} \cdot \text{km}^{-2}$. Są to wartości małe w porównaniu do uzyskiwanych w innych częściach Tatr w strefach prac pokłeskowych – $17,0 \text{ km} \cdot \text{km}^{-2}$ (słowackie Tatry Wysokie) (Rojan 2011) czy w Karpatach – $10,9\text{--}14,1 \text{ km} \cdot \text{km}^{-2}$ (Fidelus-Orzechowska i in. 2025).



Ryc. 5. Gęstość dróg leśnych w dolinach: Olczyskiej, Filipki i Złotej w okresie 2015–2024

Źródło: opracowanie własne.

Fig. 5. Density of forest roads in the valleys of Olczyska, Filipka and Złota in the period 2015–2024

Source: own elaboration.

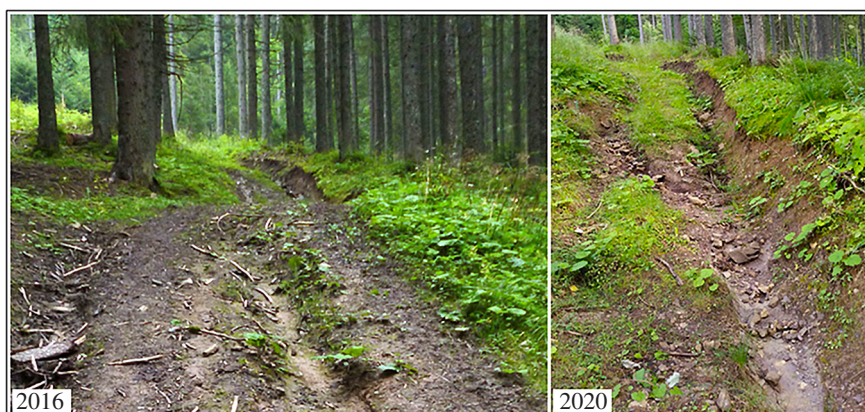
Powyższe wyniki są zgodne z oceną stanu użytkowania dróg leśnych w terenie w okresie 2016–2020 (tabela 2). Na koniec tego okresu tylko w 45% punktów pomiarowych zanotowano sporadyczne użytkowanie dróg, a w pozostałych całkowity jego brak. Należy przy tym pamiętać, że znaczna część analizowanych dróg powstała podczas likwidacji szkód i funkcjonowała bardzo krótko.

DYSKUSJA

Drogi leśne w obszarach o zniszczonym drzewostanie stanowią nieodłączny element rzeźby stoków, również w terenach chronionych. Ich trwałość i funkcjonowanie są determinowane przez szereg czynników, których wzajemne oddziaływania są typu złożonego. W trakcie eksploatacji niemal każda z dróg leśnych pełni funkcję zarówno źródła materiału stokowego dla niżej położonych partii stoku, jak i – w mniejszym zakresie – jego odbiorcy (Luce, Wemple 2001; Gorczyca, Krzemień 2010;

Wałykowski, Krzemień 2013). Dodatkowo drogi te odgrywają istotną rolę w odprowadzaniu wód opadowych i roztopowych, zarówno w obrębie zlewni, jak i poza nią, co pozostaje wyraźnie zauważalne nawet przy niewielkich spadkach dróg.

Badania nad góorskimi drogami leśnymi wskazują, że ich rozwój i funkcjonowanie są determinowane przez zróżnicowane czynniki, w tym litologiczno-strukturalne (Fidelus-Orzechowska i in. 2021), nachylenie terenu (Borga i in. 2004; Rojan 2015; Wojtaszowicz, Fidelus-Orzechowska 2025), przebieg dróg względem spadku stoku oraz warunki klimatyczne i użytkowanie. W badaniach prowadzonych w wybranych partiach Tatr największe znaczenie wykazał czynnik użytkowania drogi. Analiza przebiegu dróg na mapach topograficznych z 1984 r. potwierdza ten wniosek – część z dróg mogła powstać w wyniku halnego w 1968 r., który spowodował znaczne zniszczenia drzewostanów. Dalsze szkody, aż do 1974 r., przyniosła gradacja kornika drukarza. Zdarzenia te, podobnie jak współcześnie, wymuszały wywożenie martwego drewna. Niektóre odcinki dróg z tego okresu, widoczne na mapach, nie są obecnie możliwe do zidentyfikowania, co wskazuje, że zaprzestanie eksploatacji stanowi główny czynnik ograniczający rozwój rozcięć drogowych. Badania w Tatrach Słowackich w graniach wiatrowału z 2004 r. pokazują, że nieużytkowane drogi leśne są szybko kolonizowane przez roślinność. Już po 3–4 latach obserwuje się wyraźny rozwój roślinności (Rojan 2015), co potwierdziły badania z Tatr Polskich (fot. 2).



Fot. 2. Wkraczanie roślinności na nieużytkowaną drogę leśną w Dolinie Olczyskiej
Źródło: fot. M. Potocka.

Photo 2. Vegetation encroaching on an unused forest road in the Olcyska Valley
Source: photo by M. Potocka.

W ostatnich latach rośnie liczba badań dotyczących funkcjonowania dróg leśnych, w tym realizowanych z wykorzystaniem nowoczesnych technologii pomiarowych, takich jak skanery (Machuga i in. 2024). Technologie te znacząco podnoszą jakość wyników i pogłębiają wiedzę niezbędną do planowania przebiegu dróg. Niemniej jednak w warunkach gwałtownych zmian w drzewostanach, w trudno dostępnych obszarach czy strefach chronionego krajobrazu, gdzie zadaniem jest jedynie dotarcie w celu szybkiego usunięcia szkód, zaplanowanie optymalnego przebiegu dróg pozostaje wyzwaniem.

WNIOSKI

Dominującym procesem kształtującym powierzchnię badanych dróg leśnych była erozja wgłębna. Zmiany głębokości rozcięć drogowych (holwegów) były zróżnicowane zarówno pod względem kie-

runku (erozja lub akumulacja), jak i ich tempa. W profilach poprzecznych średnie roczne obniżenie den dróg wyniosło 0,02 m, natomiast średnia ich nadbudowa 0,01 m.

Najszerze i najgłębsze odcinki dróg występują w strefach intensywnie użytkowanych (stopień 3–5 w skali względnej). Zależność ta potwierdza istotny wpływ działalności człowieka, w szczególności prac zrywkowych na zmiany profilu dróg.

Zaprzestanie intensywnego użytkowania dróg leśnych jest bardzo skutecznym działaniem ograniczającym tempo procesów erozyjnych. Potwierdzają to obserwowane zmiany gęstości dróg: w ciągu 10 lat ich długość i gęstość zmniejszyły się o ponad 50% w Dolinie Olczyskiej i o około 60% w dolinach Filipki i Złotej. W przypadku dróg nieużytkowanych roślinność szybko się odnawia, przyczyniając się do stabilizacji terenu.

Pomimo ograniczenia użytkowania, znaczna część dróg pozostaje trwałym elementem rzeźby stoków górskich. Ich obecność kształtuje lokalną morfologię i wpływa na procesy hydrologiczne, pełniąc rolę sztucznej sieci drenażu, szczególnie w rejonach o dużych spadkach i intensywnych opadach. Wyniki badań podkreślają ponadto znaczenie monitoringu w warunkach zmian drzewostanów w obszarach górskich.

Podziękowania

Badania mogły zostać zrealizowane dzięki życzliwemu wsparciu mgr Marii Król, kierowniczki Zespołu Badań i Monitoringu Tatrzańskiego Parku Narodowego, za co autorki składają Jej podziękowania.

Literatura

- Borga M., Tonelli F., Selleroni J., 2004, A physically based model of the effects of forest roads on slope stability, *Water Resources Research*, 40, 1–9, DOI: 10.1029/2004WR003238.
- Clinton B.D., Baker C.R., 2000, Catastrophic windthrow in the southern Appalachians: Characteristics of pits and mounds and initial vegetation responses, *Forest Ecology and Management*, 126, 51–60, DOI: 10.1016/S0378-1127(99)00082-1.
- Fidelus-Orzechowska J., Gorczyca E., Bukowski M., Krzemień K., 2021, Degradation of a protected mountain area by tourist traffic: case study of the Tatra National Park, Poland, *Journal of Mountain Science*, 18, 2503–2519, DOI: 10.1007/s11629-020-6611-4.
- Fidelus-Orzechowska J., Strzyżowski D., Żelazny M., 2018, The geomorphic activity of forest roads and its dependencies in the Tatra Mountains, *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 100(1), 59–74, DOI: 10.1080/04353676.2017.1376585.
- Fidelus-Orzechowska J., Wałdykowski P., Chrobak-Zuffová A., Krzemień K., Sosnowska A., 2025, Erosion rates for forest roads in the Gorce and Western Tatra Mountains in southern Poland, *Earth Surface Processes and Landforms*, 50(1), e70001, DOI: 10.1002/esp.70001.
- Gorczyca E., Krzemień K., 2010, Rola dróg i ścieżek turystycznych w modelowaniu rzeźby gór strefy umiarkowanej, *Roczniki Bieszczadzkie*, 18, 228–242.
- Grocholski M., 2005, Huragan w Tatrach Słowackich, *Tatry*, 1(11), 8–9.
- Grodzki W., Ładygin Z., 2009, *Kornik drukarz*, Wydawnictwa Tatrzańskiego Parku Narodowego, Zakopane.
- Kocięcki S., Andrzejewski R. (red.), 1991, *Mała Encyklopedia Leśna*, Wydawnictwo PWN, Warszawa.
- Koreń M., 2005, Potęga przyrody, *Tatry*, 1(11), 10.
- Luce C.H., Wemple B.C., 2001, Introduction to special issue on hydrologic and geomorphic effects of forest roads, *Earth Surface Processes and Landforms*, 26(2), 111–113.
- Machuga O., Shchupak A., Styranivskiy O., Krilek J., Helexa M., Kováč J., Kuvik T., Mancel V., Findura P., 2024, Field and Laboratory Research of the Rut Development Process on Forest Roads, *Forests*, 15(1), 74, DOI: 10.3390/f15010074.
- Mossakowski K., 1968, Katastrofalny huragan w Tatrach, *Taternik*, 44, 163.

- Piotrowska K., Danel W., Iwanow A., Gaździcka E., Rączkowski W., Bezák V., Maglay J., Polák M., Kohút M., Gross P., 2015, *Geological map*, in: *Atlas of the Tatra Mountains. Abiotic Nature, sheet IV.1, map 1 (1 : 100 000)*, Tatrzński Park Narodowy.
- Rojan E., 2009, Morphological changes within road incision forms in the blowdown area in the Slovak Tatra Mountains after termination of intensive forest works, *Landform Analysis*, 10, 117–123.
- Rojan E., 2015, Changes in unpaved forest roads of the windthrow area in the Slovak High Tatra Mts in the years 2004–2014, *Štúdie o Tatranskom Národnom Parku*, 11(44), 97–106.
- Ulanova N.G., 2000, The effects of windthrow on forests at different spatial scale: a review, *Forest Ecology and Management*, 135, 155–167.
- Ustrnul Z., Walawender E., Czekierda D., Stastný P., Lapin M., Mikulov'a K., 2015, *Precipitation and snow cover*, in: *Atlas of the Tatra Mountains, Abiotic Nature, sheet II.3, maps 1 and 5 (1 : 250 000)*, Tatrzński Park Narodowy, Zakopane.
- Wałdykowski P., 2006, Wpływ dróg górskich na dynamikę procesów morfogenetycznych w rejonie Turbacza, *Ochrona Beskidów Zachodnich*, 1, 67–79.
- Wałdykowski P., 2010, *Wpływ ścieżek turystycznych i dróg na współczesny rozwój rzeźby w Gorczańskim Parku Narodowym i jego otulinie*, rozprawa doktorska – Uniwersytet Warszawski, Warszawa.
- Wałdykowski P., Krzemień K., 2013, The role of road and footpath networks in shaping the relief of middle mountains on the example of the Gorce Mountains (Poland), *Zeitschrift für Geomorphologie*, 57(4), 429–470.
- Wojtaszowicz A., Fidelus-Orzechowska J., 2025, Stan i prawidłowości wykształcenia dróg leśnych w Tatrzńskim Parku Narodowym i jego otoczeniu, *Przegląd Geograficzny*, 97(1), 27–47, DOI: 10.7163/PrzG.2025.1.2.

<http://tpn.pl/> (dostęp: 05.08.2025).

www.geoportal.gov.pl (dostęp: 05.08.2025).