

Wpływ narciarstwa i turystyki pieszej  
na przyrodę masywu Pilska  
red. A. Łajczak, S. Michalik i Z. Witkowski  
Studia Naturae (1996) 41: 103–130

## Oddziaływanie narciarstwa na pokrywą śnieżną w obszarze podszczytowym Pilska

The influence of skiing on snow cover at the top of the Pilsko Massif

Adam ŁAJCZAK

**Abstract:** In the 1992/1993 and 1993/1994 winter seasons, snow cover thickness, the density and structure of the snow, and the concentration of selected chemical elements and compounds in the snow were measured on the northern slope of Pilsko on ski trails above Hala Miziowa.

Maps of the thickness and duration of snow cover show that the northern slope of the Pilsko top area has favourable snow conditions for skiing.

Skiing reduces the thickness and duration of snow cover on the axial part of ski trails, and on their sides it increases its thickness and duration. The effect of skiing activity is a snow deficit on ski trails, increasing during the winter. Places with a scarcity of snow are marked by serious destruction of vegetation and soil. The creation of numerous ski trails and changes in the thickness and structure of snow, caused by skiing, increase spatial differences in the physical properties of snow and in the concentrations of the investigated chemical elements and compounds in snow.

**Key words:** skiing, snow conditions, snow cover, snow pollution, Mt. Pilsko, Western Carpathians.

**Treść:** W sezonach zimowych 1992/1993 i 1993/1994 na północnym stoku Pilska w obrębie tras narciarskich powyżej Hali Miziowej prowadzono pomiary grubości pokrywy śnieżnej, gęstości i struktury śniegu oraz koncentracji w nim wybranych pierwiastków i niektórych związków chemicznych.

Mapy miąższości pokrywy śnieżnej i czasu jej zalegania dowodzą, że północny stok obszaru podszczytowego Pilska cechuje się korzystnymi dla narciarstwa warunkami śnieżnymi.

Ruch narciarski zmniejsza miąższość pokrywy śnieżnej i skraca czas jej zalegania w osiowej części trasy zjazdowej, natomiast na poboczach tras zwiększa grubość pokrywy śniegu i wydłuża czas jej zalegania. Skutkiem narciarstwa jest zwiększający się w ciągu zimy niedobór śniegu na trasie zjazdowej. Miejsca z niedoborem śniegu cechują się dużymi zniszczeniami roślinności i gleby. Powstanie licznych tras zjazdowych, jak również kształtowana pod wpływem narciarstwa grubość i struktura śniegu zwiększają kontrasty w przestrzennym zróżnicowaniu właściwości fizycznych śniegu i w stężeniu badanych pierwiastków i związków chemicznych.

### 1. Wstęp

W okresie zimowym w Karpatach pokrywa śniegu narasta powoli do momentu osiągnięcia maksymalnej miąższości. Później następuje szybki jej zanik (Chomicz, Kłapowa 1965, Czemerda 1967, Biedroń i in. 1974, Kłapowa 1974, Leśniak 1980, 1981, Skawiń-

ski i in. 1993). Tendencja ta, wykazana również w beskidzkiej części woj. bielskiego (Leśniak, Obrębska-Starkłowa 1983), na północnym stoku Pilska została szczegółowo scharakteryzowana przez autora (Łajczak 1996a, 1996b). W ostatnich latach pokrywa śnieżna w polskich Karpatach jest wyjątkowo niestabilna, nawet w wyższych położeniach topograficznych, co wywołuje duże utrudnienia w ruchu narciarskim. Przykładowo w sezonie śnieżnym 1993/1994 na północnym stoku Pilska dopiero powyżej 1100 m npm. pokrywa śnieżna nie ulegała całkowitemu wytopianiu w ciągu zimy (Łajczak 1996a).

Mięszkość pokrywy śnieżnej, szczególnie na dużych wysokościach, jest modyfikowana przestrzennie poprzez oddziaływanie takich czynników, jak: kierunek i prędkość dominujących wiatrów, efekt fenowy, insolacja, temperatura powietrza czy opady deszczu (Hess 1965, Hess i in. 1967, Leśniak 1980, 1981, Skawiński i in. 1993, Łajczak 1996a, 1996b). O czasie zalegania zwartej pokrywy śnieżnej na większych wysokościach w Karpatach decyduje wysokość opadów śniegu w pierwszych miesiącach okresu śnieżnego. Uformowana wówczas gruba pokrywa śnieżna może dłużej zalegać w końcowym okresie zimy; zarazem zwiększa się prawdopodobieństwo wystąpienia pokrywy o miąższości przekraczającej 50 cm, gwarantującej bezpieczne uprawianie narciarstwa (Krzan i in. 1993, Skawiński i in. 1993).

W intensywnie narciarsko użytkowanych terenach górskich pokrywa śnieżna jest dodatkowo kształtowana przez ruch narciarski, a także przez „uprawę śniegu”, mającą na celu zwiększenie miąższości pokrywy w obrębie tras zjazdowych powyżej obowiązującego minimum 50 cm, jak również jej wyrównanie (Krzan i in. 1993, Skawiński i in. 1993).

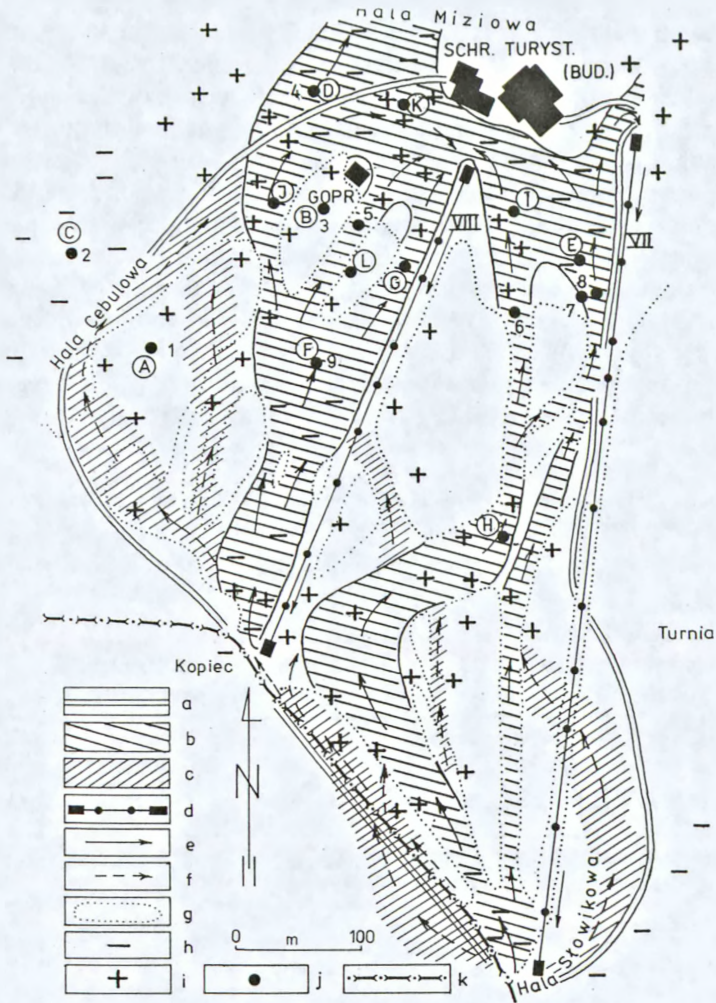
Celem badań podjętych w podszczytowych partiach północnego stoku Pilska było ustalenie tendencji rozwojowych pokrywy śnieżnej w obrębie wszystkich tras zjazdowych w porównaniu z terenami sąsiednimi (kosodrzewina, bór górnoreglowy, polany). W dwóch sezonach: 1992/1993 i 1993/1994 odtworzono przebieg formowania pokrywy śnieżnej i na tej podstawie określono wpływ narciarskiego użytkowania terenu (ruch zjazdowy, praca rataków, tworzenie zasp śnieżnych) na właściwości pokrywy śnieżnej. Zidentyfikowano obszary z permanentnie zredukowaną miąższością pokrywy śnieżnej, gdzie wskutek częstego tworzenia się przetopów w pokrywie dochodzi do niszczenia pokrywy roślinnej i w efekcie do erozji gleby.

## 2. Zasięg obszaru penetrowanego przez narciarzy

Badania nad pokrywą śnieżną prowadzono w obszarze podszczytowym Pilska na stoku o północnej ekspozycji w sąsiedztwie wyciągów zaczepowych nr VII i nr VIII pomiędzy Halą Miziową, południowym skrajem Hali Cebulowej, Kopcem, granicą państwa, Halą Słowikową i Turnią (ryc. 1). Obszar badań o powierzchni 18 ha obejmuje tę część stoku powyżej Hali Miziowej, która jest użytkowana przez narciarstwo wyczynowe i rekreacyjne (trasy zjazdowe), bądź tylko przez narciarstwo rekreacyjne (obszary poza trasami zjazdowymi, najczęściej ograniczone do terenów o niewielkim nachyleniu, przykładowo: Hala Cebulowa, wierzchowina grzbietowa Pilska aż po szczyt masywu). Obszar objęty narciarstwem zjazdowym obejmuje tylko wąskie strefy stoku przylegające do wyciągów zaczepowych.

Ruch narciarski poza trasami zjazdowymi jest zabroniony. Pomimo tego zakazu widoczne ślady zjazdów obserwowano na dużym obszarze, także poza granicą państwową.





Ryc. 1. Obszar badań na północnym stoku Pilsko: a – granice obszaru penetrowanego przez narciarzy zjeżdżających z Hali Słowikowej i Kopca na Halę Miziową, b – trasy narciarskie z uprawą śniegu, c – tereny użytkowane przez narciarzy poza trasami zjazdowymi, d – wyciągi zaczepowe (nr VII: Hala Miziowa–Hala Słowikowa, nr VIII: Hala Miziowa–Kopiec), e – kierunki zjazdów na trasach narciarskich, f – kierunki zjazdów poza trasami narciarskimi, g – granica między zwartym drzewostanem a polanami i przecinkami leśnymi (trasy narciarskie i pod wyciągi zaczepowe), h – obszary wywiewania śniegu (zmniejszona miąższość pokrywy), i – obszary nawiewania śniegu (zwiększona miąższość pokrywy), j – lokalizacja stanowisk pomiarowych (1–9: miejsca badania struktury i gęstości pokrywy śnieżnej; A–L: miejsca badania fizycznych i chemicznych właściwości śniegu oraz wód z potoku i źródła), k – granica państwa.

Fig. 1. Study area on the northern slope of Mt. Pilsko: a – borders of the area penetrated by skiers running downhill from Hala Słowikowa and Kopiec on Hala Miziowa, b – ski trails with snow cultivation, c – areas used by skiers out of ski trails, d – ski lifts (VII – Hala Miziowa–Hala Słowikowa, VIII – Hala Miziowa–Kopiec), e – direction of traffic on ski trails, f – directions of downhill runs out of ski trails, g – border between dense stand and forest glades and forest corridors (ski trails and ski lifts), h – areas with snow deflation (decreased snow cover thickness), i – areas with snow accumulation (increased snow cover thickness), j – location of measurement points (1–9: places where structure and density of snow cover were examined; A–L: places where physical and chemical properties of snow and waters from a stream and a source were measured), k – state border.

Jedną z przyczyn takiej sytuacji jest niewystarczająca grubość pokrywy śnieżnej w wielu miejscach na trasach zjazdowych lub zły jej stan, zagrażający bezpieczeństwu ruchu (odśnieżona skorupa lodowa, wystające kamienie i korzenie drzew). W zdecydowanej większości przypadków przekraczanie tras zjazdowych spowodowane było niezdyscyplinowaniem narciarzy i nie miało uzasadnienia w złym stanie trasy zjazdowej. Tylko część obszaru poza trasami zjazdowymi jest często lub nawet stale penetrowana przez narciarzy (zjazdy spod Kopca na Halę Cebulową, spod Tumi w rejon Hali pod Kopcem). W pozostałej części obszaru badań stwierdzono tylko pojedyncze ślady zjazdów.

Połowa (9 ha) wyodrębnionego do analizy obszaru badań przypada na znakowane trasy narciarskie, w tym 4,4 ha na trasy prowadzące z Kopca na Halę Miziową (do dolnej stacji wyciągu nr VIII) i 4,6 ha na trasy prowadzące z Hali Słowikowej do Hali Miziowej (do dolnych stacji wyciągów nr VII i nr VIII) (tab. 1). Około 6 ha obszaru znajdującego się poza znakowanymi trasami zjazdowymi jest sporadycznie użytkowane przez narciarzy, pozostałe 3 ha są już często wykorzystywane w ciągu całej zimy.

Tabela 1. Powierzchnie obszarów penetrowanych przez narciarzy w sąsiedztwie wyciągów zaczepowych nr VII i VIII na północnym stoku obszaru podszczytowego Piłska

Table 1. Areds penetrated by skiers in the vicinity of ski lifts VII and VIII on the northern slope at tap of Piłsko

Wyciąg nr VII Ski lift VII			Wyciąg nr VIII Ski lift VIII		
Znakowane trasy zjazdowe Marked ski trails	Obszary poza znakowanymi trasami zjazdowymi Other areas used by skiers		Znakowane trasy zjazdowe Marked ski trails	Obszary poza znakowanymi trasami znakowanymi Other areas used by skiers	
	użytkowane często often	użytkowane rzadko rarely		użytkowane często often	użytkowane rzadko rarely
4,6 ha (47,4%)	1,3 ha (13,4%)	3,8 ha (39,2%)	4,4 ha (53,0%)	1,4 ha (16,9%)	2,5 ha (31,1%)
Razem/Total: 9,7 ha (100,0%)			Razem/Total: 8,3 ha (100,0%)		

### 3. Metody badań

Obserwacje nad formowaniem i zanikiem pokrywy śnieżnej prowadzono w okresie od lutego do maja 1993 r. i od grudnia 1993 do maja 1994 r. Zasięg zwartej pokrywy śnieżnej, występowanie przetopów oraz powierzchni bezśnieżnych, jak również płatów śniegu, znaczone na planie sytuacyjnym w skali 1 : 2 500.

Pomiary miąższości pokrywy śnieżnej prowadzono za pomocą sondy lawinowej z dokładnością do 5 cm. Pomiary te wykonywane co 2 tygodnie, miały na celu wykazanie



różnic w miąższości pokrywy w profilu poprzecznym tras zjazdowych, a także między trasami a sąsiadującym obszarem. Pomiary prowadzono wzdłuż stałych linii profilowych, biegnących w poprzek tras zjazdowych i obejmujących dodatkowo (po obu stronach trasy) strefy lasu, polan i kosodrzewiny o szerokości nie mniejszej niż 10 m. Prowadzono je także wzdłuż tras zjazdowych. Każda linia profilowa zawierała od 5 do 20 punktów pomiarowych. Średnią miąższość pokrywy śnieżnej w każdym z punktów obliczono jako średnią arytmetyczną z kilku nakłuć śniegu pokrywających obszar  $1 \text{ m}^2$  (skrajne wartości nie były brane pod uwagę). Linie profilowe i punkty pomiarowe (jako stałe miejsca pomiarów) były jednoznacznie lokalizowane w terenie względem charakterystycznych punktów odniesienia (słupy podporowe wyciągów, tyczki narciarskie, słupy graniczne, pojedyncze lub charakterystyczne drzewa). Pomiary przeprowadzono wzdłuż 45 linii profilowych biegnących w poprzek tras zjazdowych i wzdłuż 8 linii profilowych biegnących wzdłuż tras. Łącznie wszystkie linie profilowe zawierały 610 punktów pomiarowych. W sezonie śnieżnym 1992/1993 pomiary miąższości pokrywy śnieżnej przeprowadzono w 8 terminach: 27–29 II, 10–12 III, 21–23 III, 5–7 IV, 13–15 IV, 8–10 V, 17–18 V, 26–27 V, a w sezonie 1993/1994 w 12 terminach: 1–3 XII, 17–19 XII, 15–17 I, 4–6 II, 18–20 II, 4–6 III, 19–21 III, 29–31 III, 15–17 IV, 1–3 V, 12–14 V, 22 V.

Powtarzane szurfy (wkopy) w pokrywie śnieżnej w oznaczonych stałych miejscach pozwoliły obserwować zmiany w strukturze pokrywy w obu badanych sezonach zimowo-wiosennych, dokonujące się pod wpływem zmian pogodowych i narciarstwa. Charakterystykę pogody w okresie badań, w tym analizę temperatury powietrza na Hali Miziowej i zmiany zaśnieżenia całego północnego stoku Pilska, zawiera inne opracowanie autora (Łajczak 1996a). Szurfy zlokalizowano w miejscach silnego wywiewania i nawiewania śniegu w obszarach objętych przez narciarstwo i poza jego zasięgiem: w zwartym drzewostanie świerkowym, na polanach i w wąskich przecinkach (ryc. 1).

W tych samych miejscach pobierano monolity śniegu o nienaruszonej strukturze i objętości  $1000 \text{ cm}^3$  (za pomocą ostro zakończonyj metalowej rury), z charakterystycznych warstw śniegu w pełnym profilu głębokościowym pokrywy. Stopień próbek śniegu pozwoliło ustalić rozkład głębokościowy zapasu wody w śniegu i jego gęstości ( $\text{g/cm}^3$ ) w kolejnych terminach obserwacyjnych. Próbkę śniegu pobrane z w/wym. miejsc, a także próbki wody z topniejących płatów śniegu oraz z potoków i źródeł, zostały po kilku godzinach od momentu poboru zanalizowane w Laboratorium Fizyko-Chemicznym Wydziału Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego.

## 4. Wyniki

### 4.1. Wstępny okres formowania się pokrywy śnieżnej

Z punktu widzenia narciarskiego użytkowania obszaru, za wstępny okres formowania się pokrywy śnieżnej należy uznać czas potrzebny do osiągnięcia przez pokrywę śnieżną na obszarze wszystkich tras zjazdowych 50 cm miąższości. W analizowanych sezonach zimowo-wiosennych miąższość pokrywy śnieżnej na trasach zjazdowych trwale przekroczyła 50 cm stosunkowo późno: w sezonie 1992/1993 w drugiej dekadzie lutego, a w sezonie 1993/1994 w trzeciej dekadzie stycznia (Łajczak 1996a). Wstępny okres formowania się przydatnej dla narciarstwa pokrywy śnieżnej był więc w obu sezonach badawczych znacznie wydłużony w stosunku do wartości przeciętnych z wielolecia. Przyczyną

tej sytuacji była wyższa od przeciętnej temperatura powietrza w miesiącach zimowych (Łajczak 1996a). Wstępny okres formowania się pokrywy śnieżnej trwał w pierwszym sezonie aż 4 miesiące, w drugim 2,5 miesiąca. W tym czasie ruch narciarski osiągał jeszcze niewielkie rozmiary i nie wywierał dużego wpływu na stan pokrywy śnieżnej w obrębie tras zjazdowych. Wielodniowe fluktuacje miąższości pokrywy śnieżnej zostały wywołane okresowymi ociepleniami, efektem fenowym, silną insolacją i sporadycznymi opadami deszczu (Łajczak 1996a). W sezonie 1993/1994 pokrywa śnieżna od początku pojawienia się do przekroczenia 50 cm miąższości miała ciągle zasięg. W poprzednim sezonie ciągła pokrywa śnieżna utrwaliła się na badanym stoku w pierwszej dekadzie grudnia, czyli po 45 dniach od jej pojawienia się. Od tego momentu, aż do przekroczenia przez nią 50 cm miąższości, nie stwierdzono przetopów w śniegu.

#### **4.2. Okres z pokrywą śnieżną odpowiadającą wymaganiom narciarstwa**

Po uformowaniu się grubszej pokrywy śnieżnej rozpoczął się masowy napływ narciarzy (Mielnicka 1996). Ruchowi narciarskiemu w okresie późnej zimy i wczesnej wiosny sprzyjały na ogół dobre warunki pogodowe (Łajczak 1996a).

W sezonie 1992/1993 miąższość pokrywy śnieżnej w rejonie Hali Miziowej przekroczyła 50 cm w drugiej dekadzie lutego, a w wysoko położonym obszarze – 2 tygodnie wcześniej (Łajczak 1996a). Do trzeciej dekady kwietnia grubość pokrywy wykazywała duże fluktuacje i, z wyjątkiem wypukłych załomów stoku, nie była mniejsza niż 50 cm. W rejonie Hali Miziowej trzykrotnie przekroczyła 100 cm (przełom lutego i marca, początek i połowa kwietnia). W wyższych położeniach stoku, szczególnie w miejscach nawiewania śniegu, miąższość pokrywy śnieżnej na trasach zjazdowych przekraczała nawet 200 cm. W końcu kwietnia rozpoczął się szybki zanik pokrywy śnieżnej.

Okres śnieżny 1993/1994, pomimo wcześniejszego utrwalenia się miąższości pokrywy śnieżnej większej od 50 cm, cechowała mniejsza w stosunku do okresu poprzedniego grubość śniegu. Na przełomie stycznia i lutego w rejonie Hali Miziowej miąższość pokrywy śnieżnej przekroczyła 100 cm. Później, do 20 kwietnia, miąższość pokrywy wahała się w granicach 50–100 cm (Łajczak 1996 a). W wyższych położeniach stoku graniczna miąższość 50 cm pokrywy śniegu pojawiła się w tym samym czasie co na wysokości Hali Miziowej. Miąższość śniegu narastała jednak w tej części stoku stopniowo aż do końca kwietnia, osiągając na trasach zjazdowych nawet ponad 200 cm. Podobnie jak w sezonie poprzednim, miąższość pokrywy w obszarach nawiewania śniegu, szczególnie w lesie, znacznie przekraczała 200 cm (ryc. 8 – str. 120). Miejsca z mniejszą miąższością pokrywy śniegu (poniżej 50 cm) objęły jednak w tym sezonie dużo większy obszar niż w sezonie 1992/1993. Wszystkie takie miejsca koncentrowały się na wypukłych załomach stoku, tu też tworzyły się przetopy (ryc. 2), a odsłaniana gleba podlegała degradacji w wyniku pracy ratraków i ruchu narciarskiego. Na przełomie kwietnia i maja rozpoczął się szybki zanik pokrywy śnieżnej.

#### **4.3. Kształtowanie się miąższości pokrywy śnieżnej poza trasami zjazdowymi w okresie od lutego do kwietnia**

Miąższość śniegu poza trasami zjazdowymi jest kształtowana przez czynniki meteorologiczne. Wywiewanie śniegu z terenów odsłoniętych i jego nawiewanie na obszary zaciszne prowadzi do wzrastających w czasie kontrastów w miąższości pokrywy śnież-



nej. W okresach z utrwaloną ujemną temperaturą powietrza, opadami śniegu i silnym wiatrem, tworzą się efemeryczne formy na pokrywie śnieżnej, szczególnie wokół pni i całych biogrup świerkowych (wywiewane leje wokół przeszkód, a po ich stronie zawiętrznej nasypywane soczewkowate wały o długości nawet do kilkunastu metrów). Na przełomie marca i kwietnia, a więc wtedy gdy pokrywa osiąga największą miąższość na tej wysokości na Pilsku (Łajczak 1996b), grubość zalegającej warstwy śniegu (nie licząc wysokich zasp) waha się w granicach od poniżej 20 cm (kulminacje grzbietów powyżej górnej granicy lasu) do ponad 200 cm (lokalne obniżenia osuwiskowe, zwarty las po wschodniej stronie polan, stoki o ekspozycji NE i E ponad górną granicą lasu) (Łajczak 1996a; por. ryc. 8 na str. 120). Miąższość śniegu w wysokich zaspach, przykładowo na pograniczu Hali Cebulowej i Hali Miziowej, często przekraczała w tym okresie 300 cm i dochodziła nawet do 6 m.

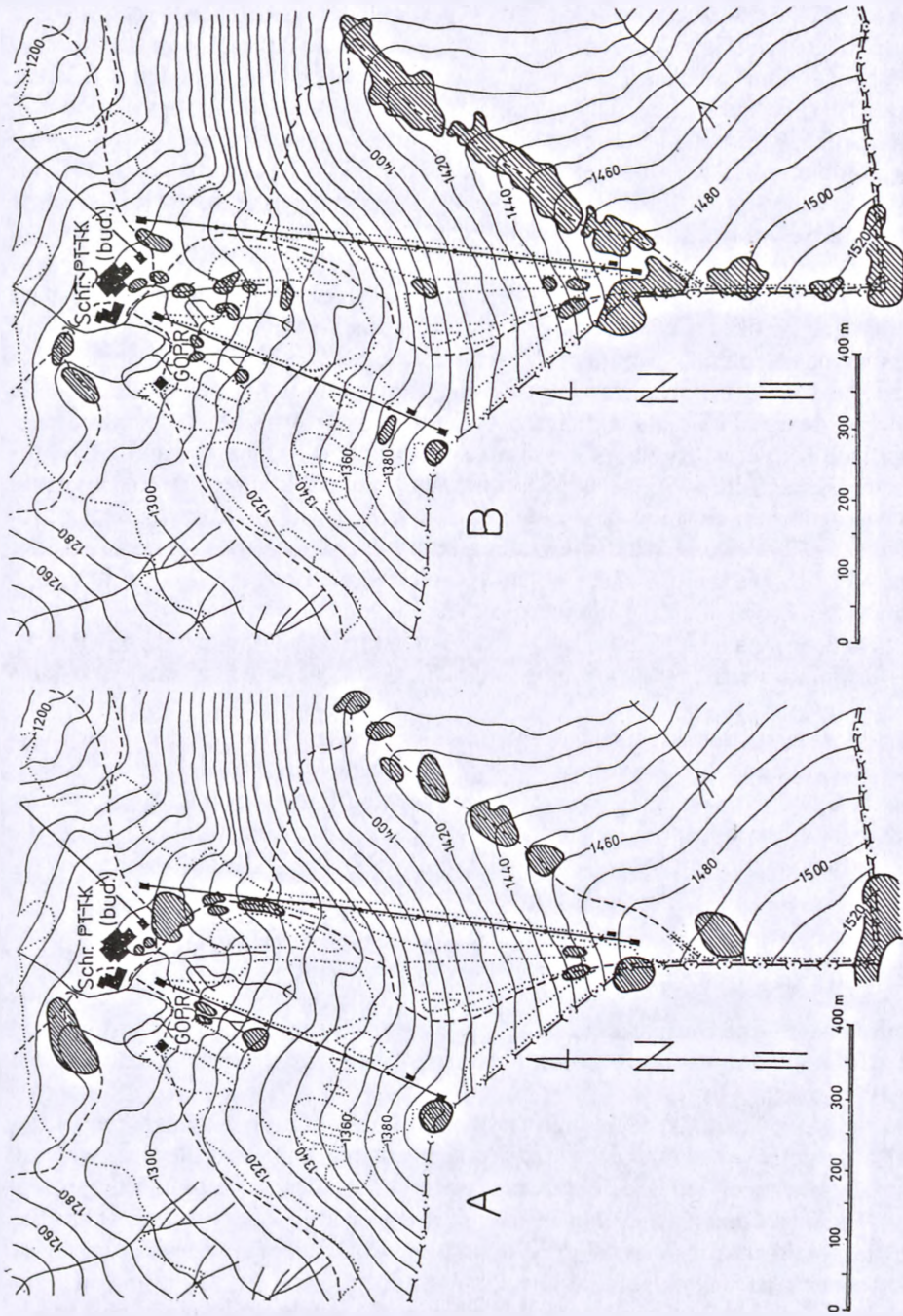
Od lutego zmniejszało się natężenie deflacji pokrywy śnieżnej, co wynikało z malejącej w tym okresie prędkości wiatru, zwiększającej się insolacji i wzrastającej częstotliwości okresowych ociepleń, wywołujących tworzenie się skorupy lodowej na powierzchni śniegu (Łajczak 1996a, 1996b). Efemeryczne dotąd formy na pokrywie śnieżnej uległy utrwaleniu. Podobne zmniejszanie rozmiarów deflacji pokrywy śnieżnej w wysoko wzniesionych partiach Karpat w drugiej połowie okresu śnieżnego, sygnalizowano z Kasprowego Wierchu (Krzan i in. 1993, Skawiński i in. 1993). W obrębie badanego fragmentu Pilska, wywiewaniu drobin śniegu przeciwdziałały także igły lodowe, tzw. szadz, masowo opadające z gałęzi świerków. Powierzchnia pokrywy śnieżnej poza trasami zjazdowymi, zwłaszcza na pograniczu lasu i polan, jest bardzo nierówna. Wokół pni drzew, a także biogrup świerkowych, powstałe wcześniej lejowate depresje w śniegu ulegały pogłębieniu na skutek jego nadtapiania, zajmowały jednak bardzo ograniczoną powierzchnię. Zazwyczaj już w marcu pokrywa śniegu odspaja się od pni drzew odsłaniając podłoże.

Mało intensywne narciarskie użytkowanie obszaru poza trasami zjazdowymi nie wywiera na ogół istotnego wpływu na proces kształtowania się miąższości pokrywy śnieżnej. Widoczne ugniecenie śniegu i wydatne zmniejszenie miąższości pokrywy zaznacza się tylko na bardzo ograniczonej powierzchni w pobliżu tras zjazdowych, często penetrowanej przez narciarzy (por. ryc. 1).

#### **4.4. Kształtowanie się miąższości pokrywy śnieżnej na trasach zjazdowych w okresie od lutego do kwietnia**

Wybitnie duże zróżnicowanie miąższości pokrywy śnieżnej w obrębie tras zjazdowych stanowi efekt nakładania się skutków narciarskiego użytkowania obszaru na oddziaływanie wiatru.

W okresie dużego nasilenia ruchu narciarskiego (okresy sobotnio-niedzielne w miesiącach luty–kwiecień) (Mielnicka 1996), w ciągu jednego dnia, na całej powierzchni trasy zjazdowej, szczególnie w odcinkach przewężeń trasy, tworzą się muldy o wysokości średnio 30–50 cm. Już po 2–3 dniach intensywnego narciarskiego użytkowania ich wysokość może wzrosnąć do 1 m. W przypadku niewystarczającej miąższości pokrywy śnieżnej, zwłaszcza na wypukłych załomach stoku, dochodzi wówczas do odsłaniania pędów roślin, do zdzierania darni i uszkodzania wystających bloków skalnych czy korzeni drzew. Degradacja roślin i gleby jest w zasadzie wywoływana tylko przez ratraki,



Ryc. 2. Lokalizacja przostępów w pokrywie śnieżnej w okresie intensywnego ruchu narciarskiego w różnych terminach: A – 21 marzec 1993 r., B – 15 kwietnia 1994 r.  
 Fig. 2. Location of gaps in snow cover in the period of intense skiing on 21 March 1993 (A) and on 15 April 1994 (B).



które niszczą podłoże w miejscach z cieńszą pokrywą śnieżną. Narciarze nie powodują w tym okresie znaczących zniszczeń w roślinności i podłożu.

Współczesna technika narciarstwa zjazdowego powoduje odrzucanie śniegu, nawet na znaczną odległość. Odrzucany śnieg jest kierowany w dół trasy w kierunku jej poboczy. W efekcie na obrzeżach wszystkich tras zjazdowych są usypywane wały (odsypy) śniegu o średniej wysokości względem podłoża wynoszącej 1,5–2,5 m, a względem trasy zjazdowej – 0,5–1,5 m.

Równocześnie z tworzeniem odsypów śnieżnych dochodzi do zmniejszania miąższości pokrywy śnieżnej w osiowej części trasy zjazdowej. Na wypukłych załomach stoku miąższość śniegu ulega dużej redukcji: na powierzchni gleby między muldami odslania się skorupa lodowa. W takich miejscach tworzą się pierwsze przetopy w śniegu. Po kilku dniach intensywnego użytkowania powierzchnia przemodelowanej przez narciarzy pokrywy śniegu w profilu poprzecznym trasy przypomina rynnę o wklęsłym dnie i bokach wyniesionych ponad średni poziom pokrywy śniegu w otaczającym lesie.

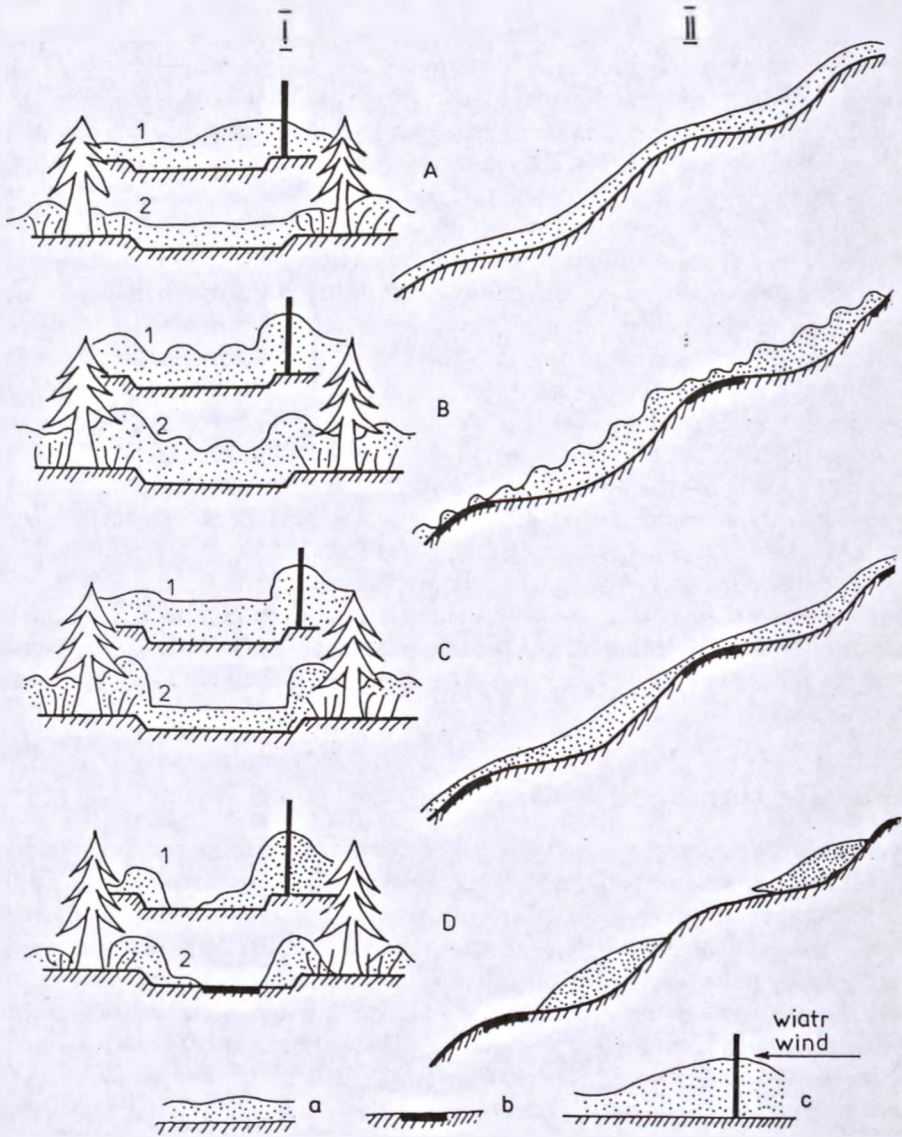
Siatki lub płotki zaporowe ustawione na obrzeżach tras zjazdowych wywołują lokalną akumulację przewiewanego śniegu. Tworzą się zasy, które wkraczają na obszar tras. Ruch zjazdowy redukuje zasy, a śnieg ulega rozpraszaniu na dużym obszarze. Praca rataków doprowadza do wyrównywania miąższości śniegu na trasach.

Schemat rozwoju miąższości pokrywy śnieżnej w profilu poprzecznym i podłużnym trasy zjazdowej w ciągu jednego weekendu przedstawia rycina 3. Zaprezentowane zmiany pokrywy śnieżnej na trasie zjazdowej powtarzają się po każdym okresie wzmożonego ruchu narciarskiego.

#### 4.5. Czas zalegania pokrywy śnieżnej o miąższości ponad 50 cm

Rycina 4 przedstawia czas zalegania pokrywy śnieżnej o miąższości ponad 50 cm na północnym stoku obszaru podszczytowego Pilska. Taka miąższość śniegu gwarantuje bezpieczne uprawianie narciarstwa. Czas zalegania pokrywy śnieżnej o miąższości większej niż 50 cm był w obu badanych sezonach śnieżnych zbliżony i – z wyjątkiem miejsc z silną deflacją śniegu – wynosił 100–140 dni. Jednak skrócony – w stosunku do wartości przeciętnych z wielolecia – czas zaśnieżenia stoku w obu badanych sezonach zimowo-wiosennych, a także mniejsza miąższość pokrywy (Łajczak 1996a) oznaczają mniej korzystne warunki śniegowe dla narciarstwa w obszarze podszczytowym Pilska. W warunkach „normalnych” zim czas występowania pokrywy śnieżnej o miąższości ponad 50 cm powinien być na badanym stoku dłuższy o około 2 tygodnie na Hali Miziowej i o około 1 miesiąc w rejonie Hali Słowikowej. Aktualne tendencje w zaśnieżeniu stoków w polskich Karpatach nie wywołują skutku w postaci zmniejszonej frekwencji narciarskiej w obszarze podszczytowym Pilska. Czas zalegania pokrywy śnieżnej o grubości ponad 50 cm w obrębie badanego stoku wykazuje wartości zbliżone do znanego z dobrego zaśnieżenia i znacznie wyżej położonego Kotła Gąsienicowego pod Kasprowym Wierchem i może być nawet 2- lub 3-krotnie dłuższy niż w Kotle Goryczkowym (Krzan i in. 1993). Fakty te pozwalają uplasować północny stok obszaru podszczytowego Pilska na jednym z czołowych miejsc w polskich Karpatach pod względem warunków śniegowych dla narciarstwa.

Czas zalegania pokrywy śnieżnej o miąższości ponad 50 cm modyfikują przede wszystkim warunki meteorologiczne (skrócony w wyniku silnej deflacji czas zalegania śniegu



Ryc. 3. Schemat obrazujący kształtowanie się miąższości pokrywy śnieżnej w profilu poprzecznym (I) i podłużnym (II) trasy narciarskiej na polanie (1) i w wąskiej przecince leśnej (2) w ciągu kilkudniowego okresu z intensywnym ruchem narciarskim w drugiej połowie sezonu śnieżnego (luty–kwiecień). Etapy rozwoju pokrywy śnieżnej: A – stan przed weekendem, B – stan po pierwszym dniu użytkowania trasy, C – pokrywa śnieżna na trasie wyrównana przez ratraki, D – pokrywa śnieżna podczas wytapiania. a – pokrywa śnieżna, b – miejsca z zniszczoną szatą roślinną i degradowaną glebą, c – zaspas śniegu przy siatce lub płotku zaporowym na poboczu trasy zjazdowej.

Fig. 3. Scheme illustrating the snow cover formation in the transversal (I) and longitudinal (II) profile of a ski trail on a forest glade (1) and in a narrow forest corridor (2) during a few days of intense skiing in the second part of the snow season (February–April). Stages of snow cover formation: A – stage from before a weekend, B – stage after the first day of skiing, C – snow cover on a ski trail equalized by snow-leveling machine, D – snow cover during melting. a – snow cover, b – places with destroyed vegetation and degraded soil, c – snow drift at a barrier net, or a fence on a ski trail side.



na wypukłych załomach stoku, wierzchowinie grzbietowej i w centralnie położonych fragmentach dużych polan, wydłużony czas zalegania śniegu w zwartym drzewostanie świerkowym po wschodniej stronie polan, w lokalnych depresjach terenowych, po zawiętrznej stronie grzbietów). Czas zalegania pokrywy śnieżnej o miąższości ponad 50 cm na niewielkiej przestrzeni badanego stoku może się różnić nawet 2-krotnie, a w skali całego stoku nawet 4-krotnie.

Lokalne zróżnicowanie czasu zalegania pokrywy śnieżnej o miąższości ponad 50 cm wywołane jest ruchem narciarskim, przy czym zmiany ograniczają się wyłącznie do tras zjazdowych. Jak już wspomniano, w osiowych częściach tras miąższość pokrywy śnieżnej jest permanentnie zredukowana na korzyść przyrostu jej miąższości na obrzeżach tras zjazdowych. W efekcie wały śnieżne występujące na skraju tras zjazdowych (np. wzdłuż trasy nr 5a) mogą zalegać nawet do 40 dni dłużej aniżeli 50 cm warstwa śniegu wzdłuż osiowej części trasy zjazdowej (ryc. 4).

#### 4.6. Miąższość pokrywy śnieżnej a gęstość i zapas wody w śniegu

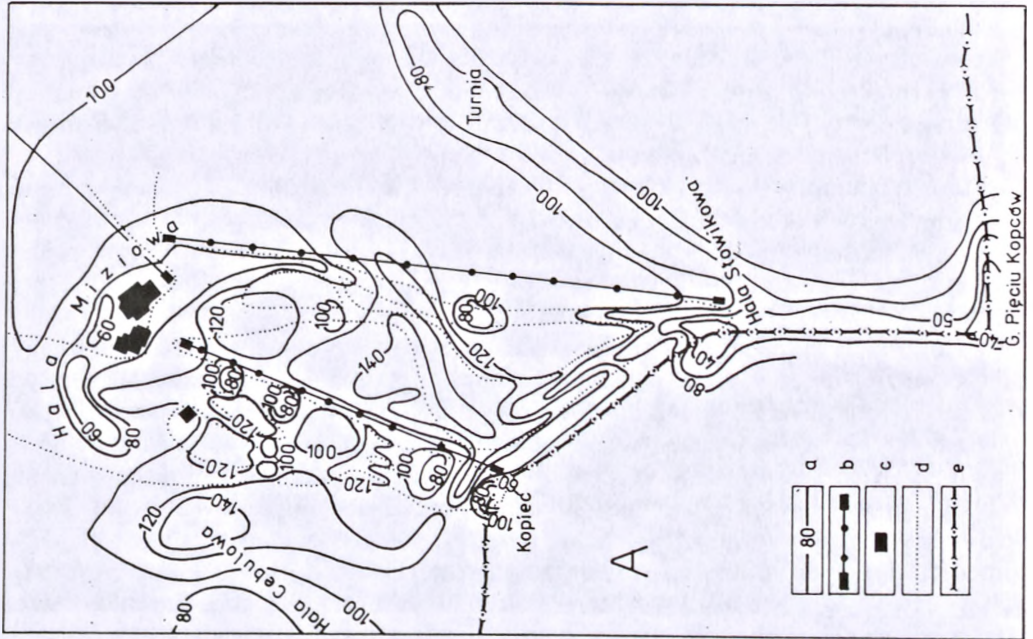
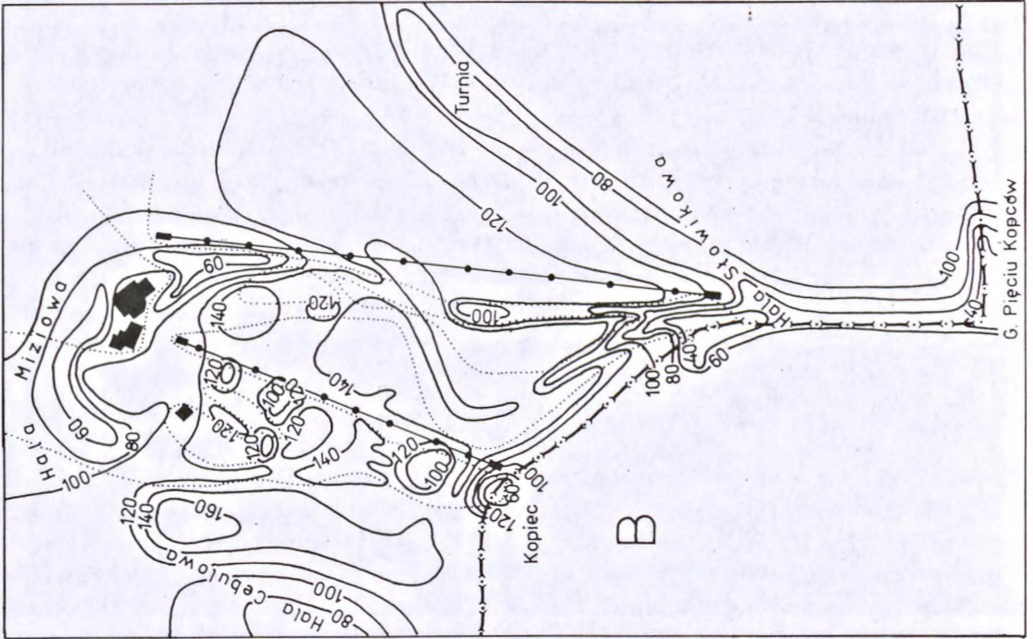
W okresie intensywnego ruchu narciarskiego (luty–kwiecień), średnia miąższość pokrywy śnieżnej na trasach zjazdowych jest już około 2-krotnie mniejsza niż w obszarze poza trasami. Sytuację taką stwierdzono w obu badanych sezonach śnieżnych (ryc. 5). Zredukowana miąższość pokrywy śnieżnej na trasach zjazdowych stanowi efekt łącznego oddziaływania trzech czynników:

- ugniatania śniegu przez ratraki,
- odrzucania śniegu z wnętrza trasy zjazdowej na jej obrzeża,
- zwiększonej deflacji pokrywy śnieżnej permanentnie pozbawianej naturalnej warstwy ochronnej utworzonej ze zlodziałego śniegu lub skorupy lodowej.

Używany w badanym obszarze ciężki typ ratraka powoduje, oprócz wymaganego wyrównywania miąższości pokrywy śnieżnej, także jej silne ugniatanie. Zmniejszenie grubości pokrywy śnieżnej jest wówczas wyraźnie widoczne jako schodowe załamanie na powierzchni śniegu na obrzeżu trasy zjazdowej.

Przeobrażanie miąższości pokrywy śnieżnej na trasie zjazdowej zostało wcześniej omówione. W tym miejscu należy zaznaczyć, że największe rozmiary usuwania śniegu zaznaczają się na wypukłych załomach stoku i jednocześnie w miejscach wyraźnego zwężenia trasy (np. wlot z polany do wąskiej przecinki leśnej) lub na jej zakrętach. Obok takich miejsc powstają wysokie wały śnieżne.

W obu badanych sezonach śnieżnych zaznaczył się szereg okresów z opadami śniegu, które przedzielane były przez chwilowe ocieplenia powodujące nadtapianie pokrywy śnieżnej (Łajczak 1996a). W efekcie pokrywa śnieżna posiadała budowę warstwową. W okresach ociepleń tworzyły się warstwy śniegu zlodziałego lub nawet skorupy lodowe. W zwartym lesie warstwy te miały niewielką grubość (1–3 cm), warstwy jasnego śniegu drobnoziarnistego osiągały natomiast 30 cm grubości. Na skraju lasu w sąsiedztwie polan z intensywnie nawiewanym śniegiem, warstwy jasnego śniegu osiągały nawet 50 cm grubości. Na polanach poza zasięgiem narciarstwa (Hala Cebulowa) grubość zlodziałych warstw śniegu była relatywnie większa (do 10 cm) przy znacznie mniejszej całkowitej miąższości pokrywy. W każdej sytuacji topograficznej grubość poszczególnych warstw śniegu malała z głębokością profilu śnieżnego (efekt kompaktacji śniegu). Na trasach zjazdowych – zarówno w ich częściach osiowych jak i na obrzeżu – nie stwierdzono





warstwowej budowy pokrywy śnieżnej. Permanentne „mielenie” śniegu, będące efektem jazdy na nartach i pracy ratraków, prowadzi do częstego mieszania śniegu. Na przevažającym obszarze tras zjazdowych mieszanie śniegu zachodzi w całym profilu głębokościowym pokrywy.

Skutkiem niezakłóconego przez człowieka narastania pokrywy śnieżnej, bez względu na efekty działalności wiatru, jest wzrastająca z głębokością pokrywy gęstość śniegu (ryc. 6). W okresie od lutego do kwietnia insolacja osiągała coraz większe rozmiary, zwiększała się także częstotliwość okresowych ociepleń z dodatnimi temperaturami w ciągu dnia. Zagęszczanie śniegu, a także zmniejszanie odległości między warstwami złodzonymi w profilu głębokościowym pokrywy, prowadziło do ogólnego wzrostu gęstości śniegu w borze górnoreglowym: od 0,2–0,3 g/cm<sup>3</sup> w lutym do 0,4–0,5 g/cm<sup>3</sup> w kwietniu. W pełnym profilu głębokościowym pokrywy gęstość śniegu wzrastała wraz z głębokością o około 0,1–0,2 g/cm<sup>3</sup>. Na polanie występującej poza zasięgiem narciarstwa, średnia gęstość śniegu w całym profilu głębokościowym pokrywy w okresie luty–kwiecień była zbliżona do sytuacji panującej w lesie świerkowym. Jednak ze względu na silniejsze nasłonecznienie (teren odkryty), gęstość śniegu w warstwie powierzchniowej pokrywy osiągnęła w marcu i kwietniu relatywnie większe wartości (ryc. 6).

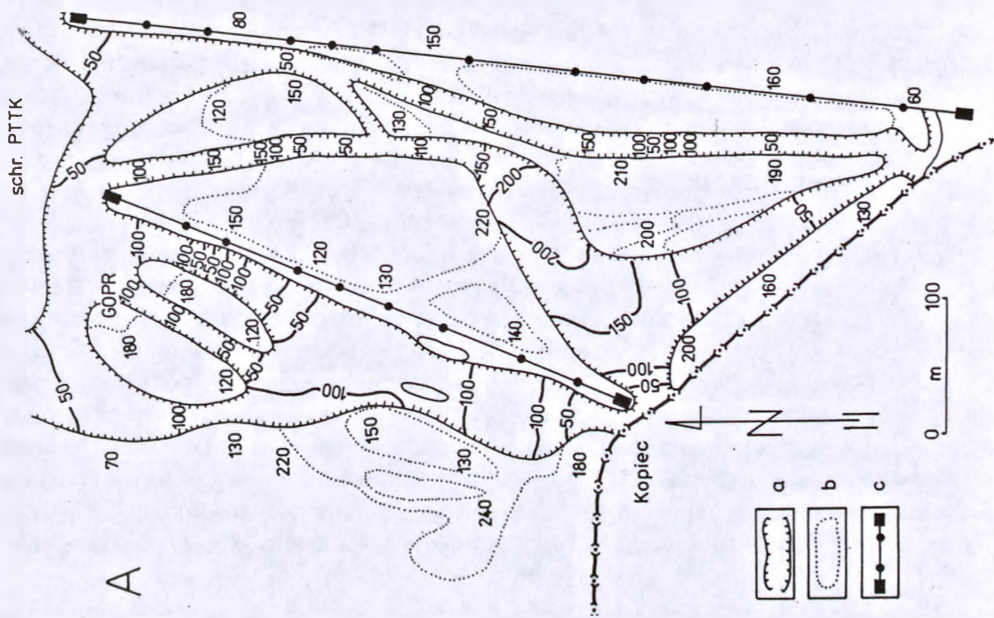
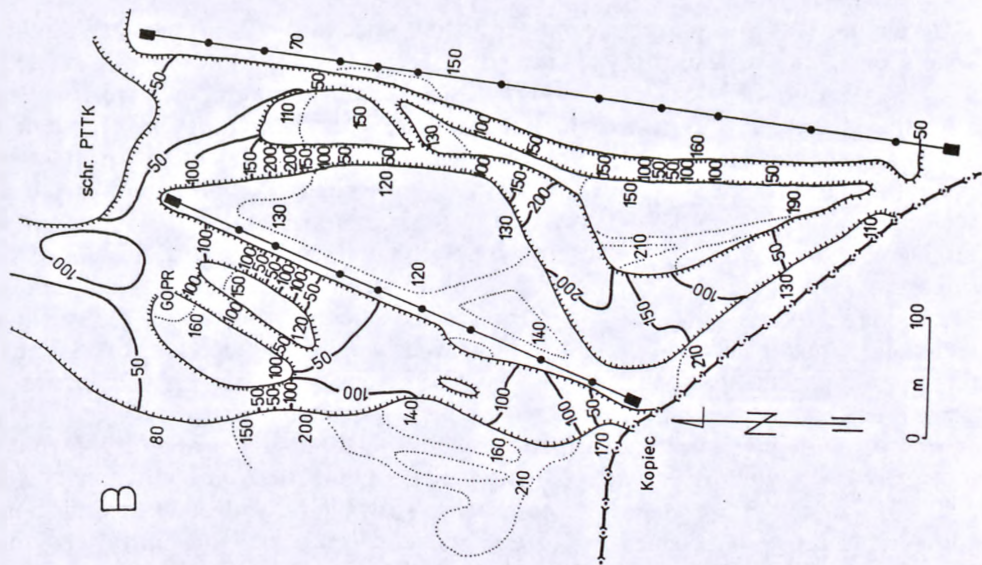
W obszarach objętych przez narciarstwo, wzrost gęstości śniegu w profilu głębokościowym pokrywy w okresie od lutego do kwietnia był nieznaczny lub nie zaznaczał się (ryc. 7). Minimalny wzrost gęstości śniegu zaobserwowano we wklęsłych załomach tras zjazdowych (duża grubość śniegu), gdzie narciarskie „mielenie” śniegu nie obejmuje całej warstwy śnieżnej. W takich miejscach stwierdzono występowanie warstw złodzonych w pokrywie (stanowiska pomiarowe nr 5 i 6). W obrębie wypukłych załomów stoku na trasach zjazdowych z silnie zredukowaną pokrywą śnieżną, gdzie często tworzą się przetopy w pokrywie (stanowiska pomiarowe nr 4 i 8), wzrost gęstości śniegu wraz z przyrostem głębokości pokrywy w lutym był minimalny. W marcu i kwietniu wzrastał już nawet do wartości 0,9 g/cm<sup>3</sup> (cała cienka warstwa śniegu była przepojona wodą).

W obrębie tras narciarskich gęstość śniegu znacznie przekraczała odpowiednie wartości z obszarów nie objętych przez narciarstwo, w marcu i kwietniu osiągała na ogół 0,6–0,7 g/cm<sup>3</sup>, a w obszarach z przetopami – lokalnie nawet 0,9 g/cm<sup>3</sup>.

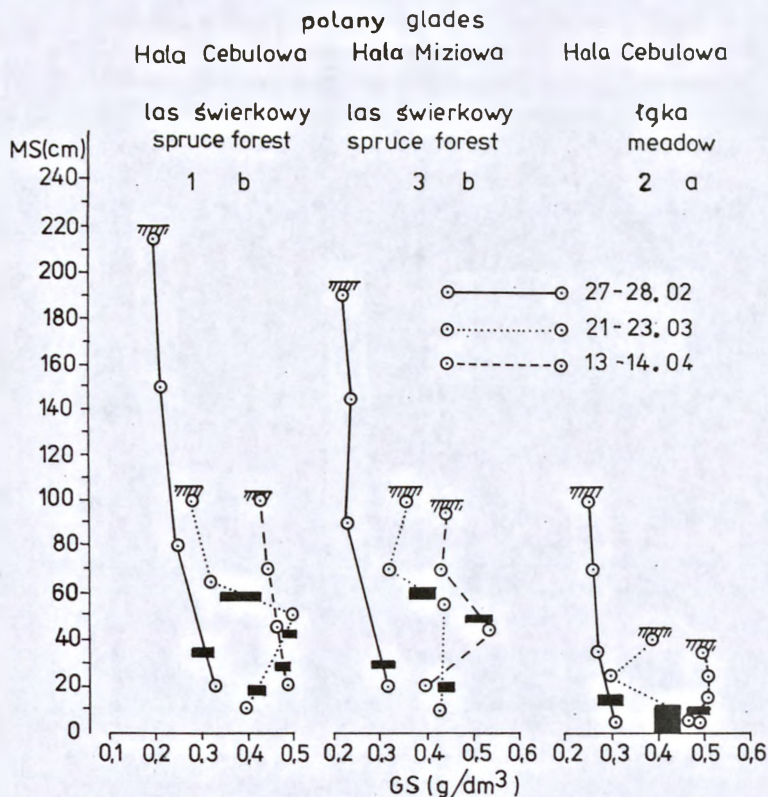
Przeliczenia grubości pokrywy śnieżnej na równoważnik wodny śniegu (wysokość słupa wody w mm po stopieniu 1 cm warstwy śniegu), prowadzone w sezonie 1993/1994 wykazały, że trasy zjazdowe zawsze charakteryzują się niedoborem śniegu. Inaczej mówiąc, zapas wody w całej warstwie śniegu na trasie zjazdowej jest mniejszy od zapasu wody w pokrywie śniegu zajmującej tę samą powierzchnię na obszarze poza trasą. Uśrednione wartości zapasu wody z całej powierzchni tras zjazdowych i terenów przylegających, mierzone w stałych punktach, wskazują, że z upływem czasu zwiększa się niedobór śniegu na trasach narciarskich. Wzrost tego niedoboru śniegu, ustalony na podstawie powtarzanych pomiarów zapasu wody w śniegu, osiągał niewielkie wartości do stycznia. Później, ze względu na spotęgowany ruch narciarski i pracę ratraków, szybko wzrastał i

Ryc. 4. Liczba dni z pokrywą śnieżną o miąższości >50 cm w sezonach śnieżnych 1992/1993 (A) i 1993/1994 (B). a – liczba dni, b – wyciągi zaczepowe, c – budynki na Hali Miziowej, d – granice tras narciarskich, e – granica państwa.

Fig. 4. Number of days with snow cover more than 50 cm thick in the 1992/1993 (A) and 1993/1994 (B) winter seasons. a – number of days, b – ski lifts, c – buildings on Hala Miziowa, d – borders of ski trails, e – state border.







Ryc. 6. Kształtowanie się gęstości śniegu (GS) w profilu głębokościowym pokrywy w obszarach nie objętych przez narciarstwo w okresie luty–kwiecień 1993 r. Lokalizacja stanowisk pomiarowych jak na ryc. 1. Zaznaczono głębokość występowania oraz grubość przewarstwień lodowych w pokrywie śnieżnej. a – miejsce wywiewania śniegu, b – miejsce nawiewania śniegu, c – przemieszczanie śniegu przez wiatr nieistotne, MS – miąższość pokrywy śnieżnej.

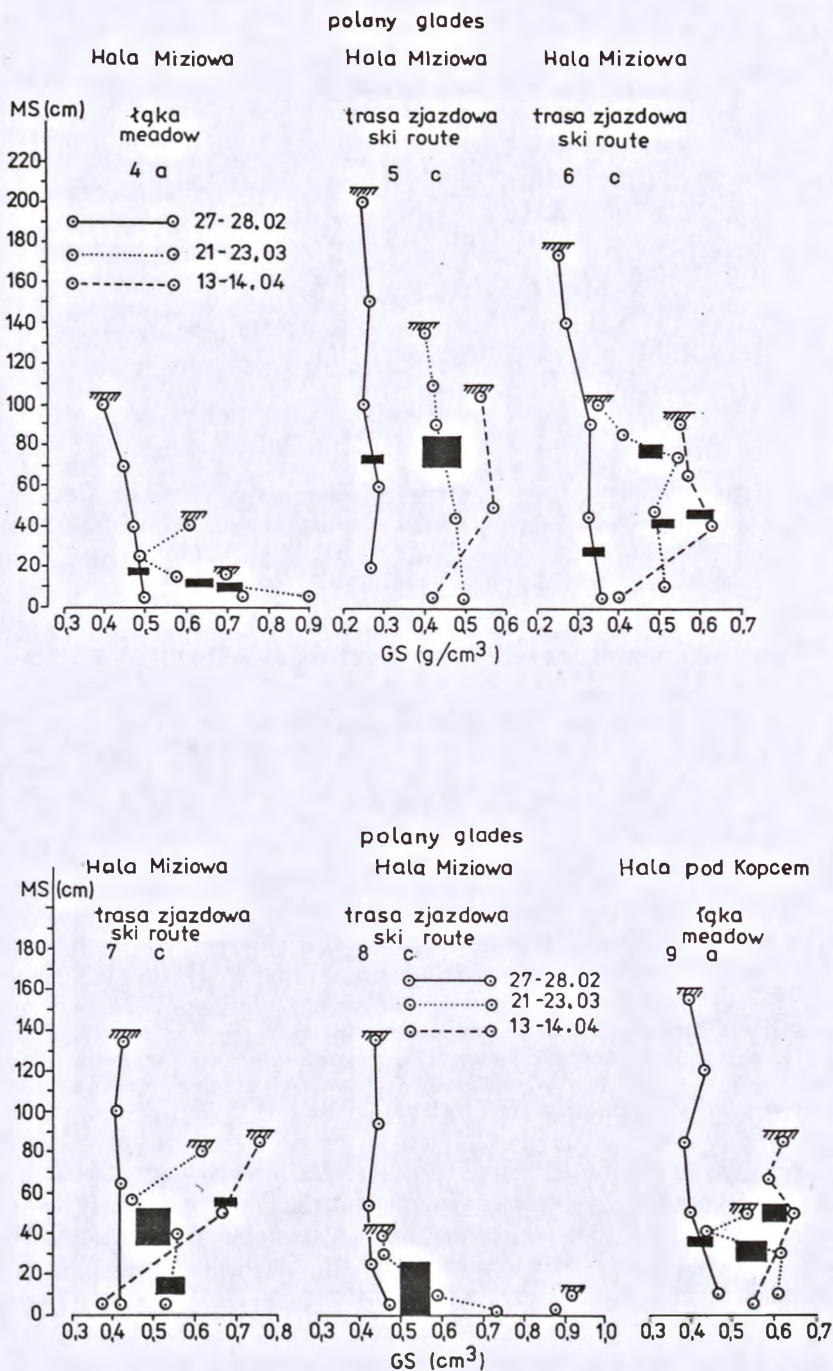
Fig. 6. Snow density (GS) in the depth profile of snow cover in areas not used for skiing in February–April 1993. Location of measurement points as in Figure 1. The range of occurrence of icy interbeddings and their thickness were marked. a – places with snow deflation, b – places with snow accumulation, c – insignificant displacement of snow by wind, MS – snow cover thickness.

w lutym osiągnął przeciętną dla całego obszaru tras zjazdowych wartość 20%, a w marcu nawet 30%. Czyli zapas wody w postaci śniegu na trasach narciarskich jest w tym miesiącu prawie o jedną trzecią mniejszy niż w terenach sąsiadujących z trasami. Wartość ta utrzymywała się do okresu szybkiego wytapiania się pokrywy śnieżnej.

Zjawisko niedoboru śniegu w obrębie tras zjazdowych należy tłumaczyć spotęgowaną deflacją pokrywy śnieżnej, spowodowaną bardzo częstym niszczeniem przez ratraki,

Ryc. 5. Przestrzenny rozkład miąższości (cm) pokrywy śnieżnej (wartości średnie) na trasach zjazdowych i poza trasami w okresach od lutego do kwietnia 1993 r. (A) i od lutego do kwietnia 1994 r. (B). a – granica tras narciarskich, b – zasięg zwartego drzewostanu, c – wyciągi zaczepowe.

Fig. 5. Differences in the snow cover thickness (cm) on ski trails and out of them in February–April 1993 (A) and February–April 1994 (B) (average values). a – borders of ski trails, b – range of a dense stand, c – ski lifts.



Ryc. 7. Kształtowanie się gęstości śniegu (GS) w profilu głębokościowym pokrywy w obszarach objętych przez narciarstwo w okresie luty–kwiecień 1993 r. Objasnienia jak do ryc. 6.

Fig. 7. Snow density (GS) in the depth profile of snow cover in areas used for skiing in February–April 1993. Explanations as in Figure 6.



a także narciarzy, naturalnej warstwy ochronnej, jaką stanowią przewarstwienia lodowe i skorupa lodowa na powierzchni pokrywy. Deflacja obejmuje nie tylko wnętrze trasy narciarskiej, ale również jej obrzeża, skąd wywiewaniu ulegają drobiny śniegu narzuca-  
ne na te miejsca podczas zjazdów. Śnieg wywiewany z tras narciarskich ulega przemieszczaniu w głąb lasu.

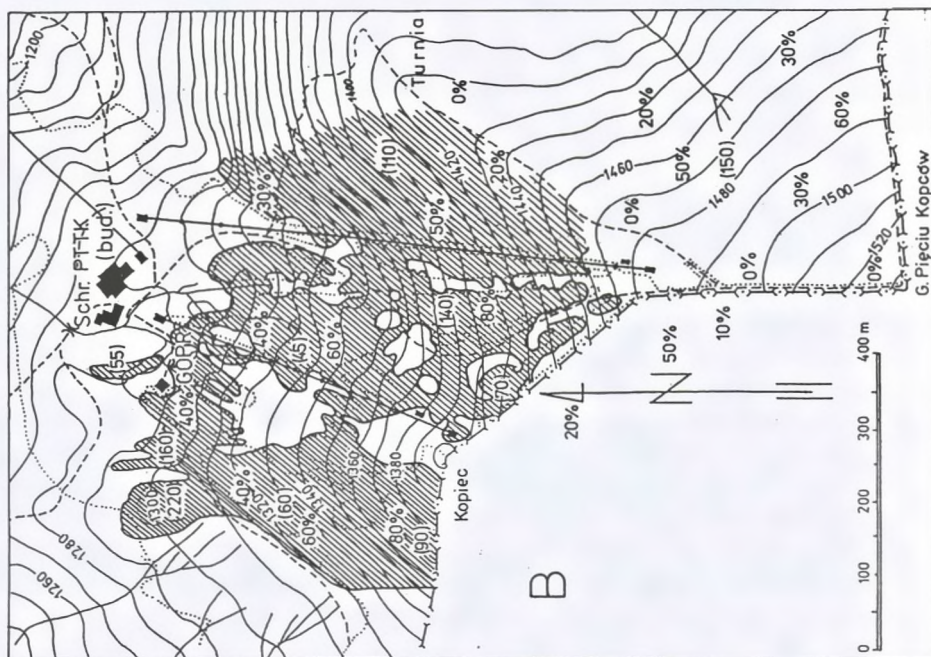
#### 4.7. Zanik pokrywy śnieżnej

W okresie ustabilizowania się dodatnich temperatur powietrza rozpoczyna się szybki zanik pokrywy śnieżnej. W obu sezonach badawczych powierzchnia przetopów w pokrywie śnieżnej objęła najpierw niewielkie obszary na wypukłych załomach stoku, z permanentnie zredukowaną w ciągu całej zimy miąższością śniegu, a także wypukłe załomy na wierzchowinie grzbietowej (por. ryc. 2, 5). W drugiej połowie kwietnia i w pierwszych dniach maja obszar zajęty przez przetopy przekroczył 50% powierzchni tras narciarskich (ryc. 8). Lokalne kulminacje terenowe i wierzchowina grzbietowa Pilska były już całkowicie pozbawione śniegu. Rozległe płaty śniegu o miąższości znacznie przekraczającej 1 m występowały wówczas głównie w zwartym drzewostanie świerkowym. Na obrzeżach tras zjazdowych zalegały wysokie wały zbitego śniegu, które do czasu zachowania przez nie ciągłości na dużym obszarze były intensywnie użytkowane przez narciarzy. Wysokość tych wałów śnieżnych szybko malała, od około 1–2 m w końcu kwietnia do 0,5 m w pierwszej dekadzie maja. Ruch narciarski ustał w momencie przerwania łączności między fragmentami wałów śniegu (ryc. 8). Wysoka temperatura powietrza w maju 1993 r., a także częste opady deszczu w maju 1994 r. spowodowały bardzo szybkie wytopienie resztek śniegu na stoku.

Ruch narciarski w fazie zaniku pokrywy śnieżnej wywoływał tylko lokalne zniszczenia w podłożu, które jednak osiągały duże rozmiary. Zniszczenia te wywoływane były wyłącznie przez narciarzy, gdyż w tym czasie ratraki już nie pracują. Degradowaniu podlegają odsłonięte obszary między płatami stagnującego śniegu („narciarstwo śnieżno-blotne”). Dochodzi do dalszego zdzierania darni, a lokalnie nawet do niszczenia pokrywy glebowej. W takich miejscach uaktywnia się soliflukcja (Łajczak 1996c). Obserwowano spływające krótkie potoki błotne, nachodzące na płaty śniegu, które w tym okresie zawierają już dużą ilość materiału mineralnego, a także organicznego. Ciemne zabarwienie tak „zabrudzonego” śniegu przyspiesza jego ostateczne wytopienie.

#### 4.8. Niektóre właściwości fizyczne i chemiczne śniegu

Śnieg można uznać za precyzyjny indykator zanieczyszczeń środowiska (Zajac, Grodzińska 1980, 1981). Analizy fizyko-chemiczne śniegu, wykonane w trzech terminach w okresie: marzec–maj 1993 r. (tab. 2, 3), ilustrują czasową zmienność zanieczyszczenia opadów śniegu nad masywem Pilska. Wykazano zróżnicowaną koncentrację poszczególnych składników w warstwach śniegu w pełnym profilu głębokościowym pokrywy śnieżnej, jak również zmienność tej koncentracji w okresie wiosennym 1993 r. aż do momentu wytopienia śniegu. Badano przewodnictwo wody ze śniegu, a także jej kwasowość. Dla porównania wykonano analogiczne analizy wód ze źródeł, potoków, a w maju z topniejących płatów śniegu. Lokalizację stanowisk poboru prób śniegu i wody prezentuje rycina 1.





Przyjmując stosowane obecnie kryteria (Jansen, Block, Knaack 1988), woda ze stopionego śniegu odznaczała się nieznacznym (0–15  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) lub lekko podwyższonym (15–30  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) przewodnictwem. W przecinkach leśnych, a zwłaszcza na rozległych polanach, skąd śnieg ulega częstemu wywiewaniu, przewodnictwo wody ze śniegu na ogół nie przekraczało 15  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . W zwartym lesie świerkowym było już wyższe i mieściło się w drugiej wymienionej kategorii. Podane wartości wskazują, że śnieg w terenach wylesionych, w tym w przecinkach pod trasy zjazdowe, charakteryzował się mniejszą koncentracją imitowanych substancji, aniżeli w zwartym drzewostanie świerkowym.

Uzyskane wyniki stanowią potwierdzenie rezultatów badań przedstawionych w innych pracach (m.in. Hombeck i in. 1976, Nyborg i in. 1976, Fahey 1979 – za Zajac, Grodzińska 1981), według których zanieczyszczenie śniegu w lesie, zwłaszcza iglastym, powodowane przez przechwytywanie polutantów przez drzewa, jest większe niż w terenie otwartym.

Rolę lasu świerkowego w kumulowaniu zanieczyszczeń w pokrywie śnieżnej ilustrują podane wartości przewodnictwa z powierzchniowej 10-cio cm warstwy śniegu z opadu w pierwszej połowie kwietnia 1993 r. Ta warstwa śniegu, której przewodnictwo w lesie świerkowym było bardzo wysokie (>60  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), została utworzona przy wietrze zachodnim niosącym zanieczyszczenia pyłowo-gazowe z rejonu Karwiny, Trzyńca i Ostrawy. W takich sytuacjach pogodowych, w Cieszynie i okolicach notuje się regularny wzrost przewodnictwa i zwiększone zakwaszenie opadów (Leśniok 1993). Przewodnictwo wyróżnionej warstwy śniegu w terenie odkrytym, pomimo podwyższonej jego wartości, na ogół nie przekroczyło 30  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Pomimo że zawartość metali ciężkich i lekkich oraz siarki w śniegu maleje z odległością od źródła emisji (Zajac, Grodzińska 1980, 1981), w wysokich położeniach topograficznych znaczna ich zawartość jest notowana nawet w dużym oddaleniu od emitora. W takich sytuacjach zakwaszenie śniegu niekiedy nawet zwiększa się z odległością (Zajac, Grodzińska 1981).

Woda ze stopionej silnie zanieczyszczonej warstwy śniegu odznaczała się pH niższym od 4,1. Przyjmując obowiązujące kryteria (Jansen, Block, Knaack 1988) obniżenie odczynu tej warstwy śniegu – w stosunku do najczęściej spotykanych wartości – należy uznać za silne. W pozostałych okresach śnieg najczęściej odznaczał się lekko obniżoną kwasowością (pH 4,6–5,1) lub nawet kwasowością normalną dla śniegu (pH 5,1–6,1). Okresowe zakwaszenie śniegu w podszczytowej partii Pilska stanowiło konsekwencję emisji głównie związków  $\text{SO}_2$  i  $\text{NO}_x$  do atmosfery. Analogiczna sytuacja została na przykład udokumentowana w masywie Śnieżnika Kłodzkiego (Zacharska 1994).

Stężenie badanych jonów w wodzie z próbek śniegu ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ), jak również zawartość metali ciężkich:  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$  (tab. 2, 3), kształtowało się na ogół na niskim poziomie. Podwyższona koncentracja  $\text{Zn}^{2+}$  i  $\text{SO}_4^{2-}$  w silnie zanieczyszczonej warstwie śniegu utworzonej przy zachodnim wietrze, szczególnie w lesie świerkowym i w mniejszym stopniu na niektórych trasach zjazdowych, potwierdza tezę o dominującej roli emisji z pobliskich obszarów przemysłowych w zanieczyszczaniu śniegu na Pilsku.

Ryc. 8. Zasięg pokrywy śnieżnej w okresie szybkiego jej wytapiania w dniach: 8 maja 1993 r. (A) i 13 maja 1994 r. (B). Obszar zasraflowany przedstawia zasięg pokrywy śnieżnej na trasach narciarskich i w ich sąsiedztwie. Dla terenów leśnych podano procent powierzchni pokrytej przez śnieg. Wartości w nawiasach przedstawiają maksymalną zarejestrowaną wówczas grubość pokrywy śniegu (cm).

Fig. 8. Range of snow cover in the period of its quick melting on 8 May 1993 (A) and 13 May 1994 (B). Hatched area shows the range of snow cover on ski trails and in their vicinity. The percent of the area of forest patches covered by snow is given. Values in parentheses indicate the maximum snow cover thickness (cm).

Tabela 2. Wybrane właściwości fizyko-chemiczne prób śniegu z obszarów poza zasięgiem narciarstwa. Lokalizacja stanowisk jak na ryc. 1.  
 Table 2. Selected physical and chemical properties of snow sampled in areas not used for skiing. Location of sites as in Fig. 1.

Stanowisko Site	Data Date	głębokość depth (cm)	pH	C mS/cm	NH <sub>4</sub> ppm	NO <sub>2</sub> ppm	NO <sub>3</sub> ppm	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ppm	Cl <sup>-</sup> ppm	Zn <sup>2+</sup> ppb	Pb <sup>2+</sup> ppb	Cd <sup>2+</sup> ppb	Cu <sup>2+</sup> ppb
A – Hala Cebulowa Skraj zwartego lasu świerkowego, miejsce nawiewania śniegu Margin of dense spruce forest, place of snow accumulation	1993-03-23	0-10	4,84	9,4	0,0	0,0	0,0	-	2,1	0,4	2,8	0,0	0,6
		25-35	4,39	15,7	0,1	0,0	3,3	1,4	3,2	2,2	2,8	0,0	1,8
		50-60	4,58	15,0	0,3	0,0	1,0	1,4	3,2	6,5	1,0	śl.	0,1
		80-90	4,38	19,0	0,4	0,0	1,0	1,9	3,2	5,9	1,0	śl.	0,1
	1993-04-15	0-10	3,64	36,4	0,8	0,0	1,3	4,4	3,6	8,0	0,0	0,0	0,0
		45-50	3,59	13,8	0,2	0,8	2,8	3,6	3,6	3,3	0,0	0,0	0,0
B – Hala Miziowa Zwarty las świerkowy, deflacja śniegu znikoma Dense spruce forest, snow deflation insignificant	1993-04-15	0-10	3,41	66,4	1,0	0,0	2,1	8,8	3,6	52,4	5,4	0,0	0,8
		40-45	3,65	28,4	0,6	-	1,4	5,2	2,8	25,8	0,9	0,0	0,0
	1993-05-09	0-10	4,56	10,6	0,2	0,0	1,2	2,3	7,6	7,6	0,0	0,0	0,0
		60-70	4,92	7,3	0,3	0,0	0,7	1,1	2,1	5,4	0,0	0,0	0,0
C – Hala Cebulowa Centralna część łąki, intensywne wywiewanie śniegu Central part of a meadow with strong deflation of snow	1993-03-23	0-10	5,20	2,2	0,0	0,0	-	-	2,1	2,6	2,4	0,0	0,3
		15-25	4,52	7,9	0,0	0,0	-	-	2,1	1,0	1,6	0,0	0,0
		30-40	5,01	7,9	0,2	0,0	-	-	2,8	0,0	1,1	0,0	śl.
	1993-04-15	0-10	3,36	26,6	0,5	-	1,3	2,4	4,3	4,3	2,9	0,0	0,0
35-40		3,91	11,5	0,3	-	0,8	1,8	3,6	3,6	1,6	0,0	0,0	



Tabela 3. Wybrane właściwości fizyko-chemiczne prób śniegu z obszarów objętych przez narciarstwo. Lokalizacja stanowisk jak na ryc. 1.  
 Table 3. Selected physical and chemical properties of snow from areas used for skiing. Location of sites as in Fig. 1.

Stanowisko Site	Data Date	głębokość depth (cm)	pH	C mS/cm	NH <sub>4</sub> ppm	NO <sub>2</sub> ppm	NO <sub>3</sub> ppm	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ppm	Cl <sup>-</sup> ppm	Zn <sup>2+</sup> ppb	Pb <sup>2+</sup> ppb	Cd <sup>2+</sup> ppb	Cu <sup>2+</sup> ppb
D – Hala Miziowa Szeroka trasa zjazdowa na łące, intensywne wywiewanie śniegu, częste przetopy Broad ski trail on a meadow, strong snow deflation, numerous gaps in snow cover	1993-04-15	0-10	3,76	17,1	0,5	-	0,9	2,2	2,8	9,4	0,0	0,0	0,0
	1993-03-23	0-10	5,35	8,9	0,2	0,0	0,0	-	2,1	0,5	0,3	0,0	0,0
E – Hala Miziowa Szeroka trasa zjazdowa na łące, intensywne wywiewanie śniegu, częste przetopy Broad ski trail on a meadow, strong snow deflation, numerous gaps in snow cover	1993-04-15	0-10	3,91	15,1	0,5	-	0,7	1,7	2,8	9,8	0,0	0,0	0,0
	1993-03-23	0-10 25-35 50-60	5,28 4,83 4,69	3,3 7,9 4,3	0,2 0,1 0,2	0,0 0,0 0,0	- - -	- - -	2,1 2,8 2,1	5,6 0,0 4,1	6,9 1,2 3,7	0,0 śl. 0,0	0,0 0,0 0,0
F – Hala pod Kopcem Szeroka trasa zjazdowa na łące, wywiewanie śniegu Broad ski trail on a meadow, strong snow deflation, numerous gaps in snow cover	1993-04-15	0-10 10-20 20-30 40-50	3,36 3,67 3,45 3,72	16,3 22,5 10,2 6,0	0,5 0,3 0,2 0,2	- - -	0,9 0,8 0,6 0,4	1,7 1,8 0,9 0,9	3,6 3,6 2,8 3,6	1,7 4,4 2,3 2,7	0,0 1,1 0,0 0,0	0,0 0,0 0,0 0,0	0,0 0,0 0,0 0,0
	1993-03-23	0-10 35-45 75-85 120-130	5,47 5,01 4,48 4,42	4,0 6,0 5,6 12,4	0,3 0,2 0,1 0,2	0,0 0,0 0,0 0,0	- - -	- - -	2,5 3,2 2,8 2,1	13,8 6,8 8,1 7,6	1,4 0,7 3,6 1,1	0,0 0,0 0,0 0,0	0,0 0,0 0,0 0,0
G – Hala Miziowa Trasa zjazdowa w wąskiej przeczince leśnej, wklęsły załom stoku, nawiewanie śniegu Ski trail in a narrow forest corridor, concave relief form with driven snow	1993-04-15	0-10	3,49	15,8	0,6	0,0	0,9	1,9	2,5	4,4	0,0	0,0	0,0
	1993-05-09	0-10 40-50	5,12 5,12	3,8 4,4	0,0 0,1	0,0 0,0	0,3 0,4	3,1 14,2	2,1 2,1	1,2 2,0	0,0 0,0	0,0 0,0	0,0 0,0

c.d. Tab. 3

Stanowisko Site	Data Date	głębokość depth (cm)	pH	C mS/cm	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ppm	NO <sub>2</sub> ppm	NO <sub>3</sub> ppm	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ppm	Cl <sup>-</sup> ppm	Zn <sup>2+</sup> ppb	Pb <sup>2+</sup> ppb	Cd <sup>2+</sup> ppb	Cu <sup>2+</sup> ppb
H – Hala Miziowa Trasa zjazdowa w szerokiej przecin- ce leśnej, wklęsły załom stoku, na- wiewanie śniegu	1993-03-23	0-10	5,55	3,3	0,2	0,0	-	-	2,1	19,8	1,6	0,0	0,0
		25-35	5,12	6,5	0,2	0,0	-	-	2,8	2,6	0,3	0,0	0,0
		60-65	4,90	6,3	0,2	0,0	-	-	2,1	10,5	0,5	0,0	0,0
		90-100	4,72	10,2	0,2	0,0	0,0	-	2,8	8,4	1,7	0,0	0,0
Ski trail in a wide forest corridor, concave relief form with driven snow	1993-04-15	0-10	3,40	34,6	0,5	-	1,4	3,5	3,6	6,6	2,1	0,0	0,0
		25-35	3,68	31,2	0,7	-	1,8	2,8	3,6	34,6	3,1	0,0	0,6
		60-70	3,89	10,8	0,4	-	0,9	1,0	2,8	5,9	0,0	0,0	0,0
		110-120	3,84	12,0	0,6	-	0,7	1,3	2,8	6,7	0,0	0,0	0,0

Tabela 4. Wybrane właściwości fizyko-chemiczne wody potoku na Hali Miziowej (I). Lokalizacja stanowiska jak na ryc. 1.

Table 4. Selected physical and chemical properties of water from a brook on Hala Miziowa (I). Location of a site as in Fig. 1.

Data Date	Godzina Hour	Temp. wody Temp. of water (°C)	pH	C mS/cm	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ppm	NO <sub>2</sub> ppm	NO <sub>3</sub> ppm	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ppm	Cl <sup>-</sup> ppm	Zn <sup>2+</sup> ppb	Pb <sup>2+</sup> ppb	Cd <sup>2+</sup> ppb	Cu <sup>2+</sup> ppb
1993-03-23	9 <sup>30</sup>	1,4	7,42	109,0	0,0	0,0	5,2	9,5	2,8	1,7	0,6	0,0	0,0
1993-04-15	9 <sup>00</sup>	1,3	7,20	152,2	0,0	-	11,1	16,5	3,2	1,2	0,3	0,0	0,0



Tabela 5. Zmiany wybranych właściwości fizyko-chemicznych wód w rejonie Hali Miziowej w cyklu dobowym w dn. 9 i 10 maja 1993 r. Lokalizacja stanowisk jak na ryc. 1.

Table 5. Changes of the selected physical and chemical properties of waters in the environs of Hala Miziowa in 24 h cycle on 9 and 10 May 1993. Location of sites as in Fig. 1.

Miejsce poboru Site of water sampling	Godz. Hour	Q l/s	Temp. wody Temp. of water °C	pH	C µS/cm	TH mg/l	Ca <sup>2+</sup> mg/l	Mg <sup>2+</sup> mg/l	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/l	Cl <sup>-</sup> mg/l	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	
J – topniejący płat śniegu na trasie narciarskiej J – melting snow patch on a ski trail	5 <sup>00</sup>	0,0	–	6,66	58,9								
	8 <sup>00</sup>	0,0	–	6,64	56,7								
	11 <sup>00</sup>	0,2	0,1	6,60	49,8								
	14 <sup>00</sup>	0,3	0,1	6,52	45,4								
	17 <sup>00</sup>	0,2	0,1	6,56	50,6	20	4,8	1,9	15,8	2,4	3,5	4,6	
	20 <sup>00</sup>	0,1	0,1	6,54	53,5								
	23 <sup>00</sup>	0,0	–	6,60	54,7								
	2 <sup>00</sup>	0,0	–	6,65	57,4								
	K – potok powyżej torfowiska K – brook above a bog	5 <sup>00</sup>	2,0	2,6	7,65	99,7							
		8 <sup>00</sup>	2,0	2,9	7,64	99,6							
11 <sup>00</sup>		3,5	2,8	7,64	99,0								
14 <sup>00</sup>		5,5	3,4	7,67	100,0								
17 <sup>00</sup>		5,0	3,3	7,67	100,0	43	13,2	2,4	40,2	9,8	4,2	4,0	
20 <sup>00</sup>		2,5	3,1	7,67	101,5								
23 <sup>00</sup>		2,0	2,9	7,67	101,3								
2 <sup>00</sup>		2,0	2,8	7,68	101,6								
L – źródło w lesie L – spring in a forest		5 <sup>00</sup>	1,3	3,1	7,99	131,5							
		8 <sup>00</sup>	1,3	3,1	7,98	131,4							
	11 <sup>00</sup>	1,3	3,2	7,97	131,0								
	14 <sup>00</sup>	1,4	3,0	7,97	131,0								
	17 <sup>00</sup>	1,7	2,6	7,93	130,2	60	18,8	3,1	59,7	13,2	3,5	4,0	
	20 <sup>00</sup>	1,9	2,4	7,98	131,0								
23 <sup>00</sup>	1,6	2,8	7,99	131,8									
2 <sup>00</sup>	1,4	3,0	8,05	132,6									

Dane przedstawione w wielu opracowaniach (m.in. Henriksen 1972, Elgmork i in. 1973 – za Zając, Grodzińska 1981) wskazują, że stężenie zanieczyszczeń w pokrywie śnieżnej o miąższości 1 m, w warunkach braku szybkiego topienia śniegu, wzrasta z głębokością profilu śnieżnego jako rezultat infiltracji aerozolu. W obszarze podszczytowym Pilska wzrost przewodnictwa z głębokością pokrywy śniegu zaznaczał się silniej w zwartym drzewostanie aniżeli na trasach zjazdowych. Utworzenie warstwy śniegu z dużą koncentracją zanieczyszczeń zaburzało ten układ. Przesiákanie wody w głąb profilu śniegu wyrównuje bowiem stężenie jonów szczególnie szybko w terenie odkrytym. Na trasach zjazdowych proces ten był przyspieszany przez częste mieszanie śniegu przez ratraki.

W okresie szybkiego wytapiania pokrywy śnieżnej, stężenie badanych jonów i metali w wodzie potoku na Hali Miziowej nie odbiegało od wartości przyjmowanych za przeciętne dla śniegu, jedynie stężenie jonów  $\text{NO}_3^-$  i  $\text{SO}_4^{2-}$  było większe (tab. 4). Stężenie tych jonów w potoku osiągnęło wyższy poziom w kwietniu niż w marcu, co można wiązać z topieniem się silnie zanieczyszczonego śniegu z początku kwietnia. W konsekwencji przewodnictwo wód potoku w kwietniu wzrosło o ponad 40  $\mu\text{S}/\text{cm}$  w stosunku do wartości stwierdzonej pod koniec marca.

Analizy wód z różnych źródeł zasilania, pobieranych co 3 godziny w cyklu dobowym w okresie zaniku płatów śniegu w warunkach słonecznej pogody i wysokiej temperatury, wykazały zauważalne wahania przewodnictwa i kwasowości tylko w przypadku wód wypływających z szybko topniejącego płatu śniegu (tab. 5). Najmniejsze przewodnictwo tych wód stwierdzono w okresie największego odpływu wody (godz 14<sup>00</sup>). Wodę z potoku (powyżej torfowisk), pomimo dużych dobowych wahań przepływu, cechowało w tym okresie stabilne w ciągu doby przewodnictwo. Podobnie stabilne przewodnictwo w ciągu doby miała woda w źródle położonym w lesie w sąsiedztwie tras zjazdowych.

## 5. Podsumowanie i wnioski

Czas zalegania pokrywy śnieżnej i jej miąższość na północnym stoku obszaru podszczytowego Pilska w sezonach zimowych 1992/1993 i 1993/1994 niekorzystnie różniły się od warunków typowych z wielolecia. Pokrywa śnieżna z wymaganą dla narciarstwa miąższością (>50 cm) uformowała się późno. W następnych miesiącach grubość pokrywy była mniejsza od wielkości rejestrowanych we wcześniejszych latach. Zanik pokrywy śnieżnej i ostateczne wytopienie płatów śniegu nastąpiło wcześniej od przeciętnych dat zaniku pokrywy.

Czas zalegania pokrywy śnieżnej o miąższości ponad 50 cm w każdym z sezonów śnieżnych trwał 100–140 dni. Badany obszar można uznać za porównywalny z Kotleń Gąsienicowym pod Kasprowym Wierchem, co plasuje ten stok na jednym z czołowych miejsc w polskich Karpatach pod względem warunków dla uprawiania narciarstwa.

W początkowej fazie tworzenia się pokrywy śnieżnej, tzn. do momentu przekroczenia przez nią 50 cm miąższości, dochodziło do częstego i długotrwałego niszczenia szaty roślinnej na całej użytkowanej wówczas powierzchni tras zjazdowych. W tej fazie nie stwierdzono widocznej degradacji gleby. W okresie zalegania grubszej pokrywy i wzmożonego ruchu narciarskiego (luty–kwiecień) degradowaniu podlegały tylko punktowe obszary ograniczone do wypukłych załomów stoku w obrębie tras zjazdowych. W fazie zaniku pokrywy śnieżnej, a zwłaszcza podczas wytapiania



płatów śnieżnych, dochodziło do lokalnych krótkotrwałych, ale bardzo poważnych zniszczeń w podłożu, powodowanych już wyłącznie przez narciarzy. W miejscach ze zniszczoną darnią pomiędzy stagnującymi płatami śniegu okresowo zachodziła soliflukcja.

Miejsca z niekorzystną dla narciarstwa miąższością pokrywy śnieżnej zajmują niewielką powierzchnię w obrębie tras zjazdowych, nie przekraczającą 10% ich całkowitej powierzchni. Miejsca takie występują poniżej górnej stacji wyciągu nr VII, na wierzchołku Kopca, a także w wielu miejscach na wypukłych załomach stoku w wąskich przecinkach leśnych poniżej Hali pod Kopcem i w sąsiedztwie wyciągu nr VII. Przyczyną cieńszej pokrywy śnieżnej jest deflacja śniegu, odrzucanie drobin śnieżnych na obrzeża tras zjazdowych, zwłaszcza przy wlocie do wąskich przecinek leśnych, a także ugniatanie śniegu przez ratraki. W okresie intensywnego ruchu narciarskiego (luty–kwiecień), średnia miąższość pokrywy śnieżnej na trasach zjazdowych jest dwukrotnie mniejsza niż w obszarach poza trasami.

Narciarskie użytkowanie stoku wydatnie modyfikuje miąższość pokrywy śnieżnej. Można stwierdzić, że ten czynnik zaostrza naturalne kontrasty w przestrzennym zróżnicowaniu grubości śniegu, które kształtowane są przez lokalną morfologię stoku, warunki anemologiczne, szatę roślinną. Ruch narciarski przyczynia się do zmniejszania miąższości pokrywy śnieżnej w miejscach wywiewania śniegu, wzmacnia także jego akumulację w miejscach, gdzie zawsze dochodzi do znacznego gromadzenia się śniegu (lokalne depresje terenowe, zwarty las po wschodniej stronie polan i tras zjazdowych).

Skutkiem częstego mieszania śniegu w obrębie tras zjazdowych (efekt jazdy na nartach i pracy ratraków), jest wyrównywanie gęstości śniegu w całym profilu głębokościowym pokrywy śnieżnej, a także ogólny wzrost gęstości śniegu w stosunku do obszarów nie objętych przez narciarstwo. W obszarach poza trasami zjazdowymi gęstość śniegu rośnie z głębokością pokrywy. Badania zapasu wody w pokrywie śnieżnej wskazują, że trasy narciarskie cechuje znaczny niedobór śniegu, który w okresie do stycznia osiąga niewielkie rozmiary, w lutym osiąga już 20% a do kwietnia wzrasta aż do 30%. Przyczyną niedoboru śniegu na trasach zjazdowych jest jego wzmoczone wywiewanie, uwarunkowane stałym niszczeniem złodziałyż przewartwień oraz skorupy lodowej, które chronią śnieg przed działaniem wiatru.

Zwiększenie gęstości śniegu na trasach zjazdowych nie opóźnia jego wytapiania. Najdłużej śnieg zalega na obrzeżach tras zjazdowych; odsypy śnieżne ulegały ostatecznemu wytopieniu około 10 dni później aniżeli naturalne zaspy na obrzeżach polan. Początek wytapiania pokrywy śnieżnej na trasach zjazdowych (liczne przetopy na wypukłych załomach stoku) rozpoczął się w tym czasie, kiedy na wierzchołku grzbietowej masywu zaczynały się tworzyć duże powierzchnie bezśnieżne. Wytapianie śniegu na trasach zjazdowych trwało jednak dłużej niż w najwyższej wzniesionych partiach Pilska.

Wzrost zakwaszenia śniegu i przewodnictwa przy wietrze zachodnim, przy równoczesnej większej koncentracji metali w śniegu, stanowi potwierdzenie napływu zanieczyszczeń przemysłowych na badany stok z rejonu Ostrawy. Obszary wylesione, nawet wąskie przecinki w lesie pod trasy zjazdowe, cechuje – w porównaniu z borem świerkowym – mniejsze stężenie imitowanych substancji w śniegu. Uprawa śniegu i narciarstwo powodują wyrównywanie stężenia tych substancji w profilu głębokościowym pokrywy śnieżnej. Ilość substancji chemicznych wprowadzanych do śniegu

przez sprzęt narciarski jest obecnie minimalna, i w porównaniu z imisjami przemysłowymi można ją uznać za nieistotną.

W sezonie narciarskim szkody w szacie roślinnej i pokrywie glebowej powodowane są głównie przez ratraki. Sytuację może zmienić wprowadzenie lżejszego typu ratraka, a także ostrożna uprawa śniegu w miejscach, gdzie miąższość pokrywy jest mniejsza od 50 cm. Zaprezentowane mapy miąższości pokrywy śnieżnej mogą pomóc w lokalizacji takich obszarów.

Ograniczenia przyrodnicze zdeterminowane warunkami śnieżnymi, a także konieczność bezwzględnego przestrzegania zasad ochrony przyrody wskazują, że na północnym stoku Pilska nie powinno się zwiększać liczby wyciągów. Budowa nowych tras zjazdowych czy też poszerzenie istniejących znacznie pogorszy warunki śniegowe, co znajdzie odzwierciedlenie w wydłużonym czasie zalegania pokrywy śniegu o minimalnej miąższości czy jej braku na trasie. Przepustowość wyciągów może być zwiększona tylko w okresach z wystarczającą dla narciarstwa miąższością pokrywy śnieżnej. Zasada ta dotyczy całej strefy wysokościowej północnego stoku Pilska między Korbielowem-Kamienną a Kopcem i Hałą Słowikową.

**Podziękowania.** Autor pragnie podziękować Pani Prof. dr hab. B. Obrębskiej-Starkłowej z Zakładu Klimatologii Instytutu Geografii Uniwersytetu Jagiellońskiego za udzielone rady i uwagi. Pani dr W. Krawczyk pragnę wyrazić podziękowanie za wykonanie analiz chemicznych oraz za przedyskutowanie niektórych wyników przedstawionych w pracy.

## Piśmiennictwo

- BIEDROŃ V., CHOMICZ K., KONČEK M. 1974. Snehove pomery. Klima Tatier, Bratislava: 55–66.
- CHOMICZ K., KJAPOWA M. 1965. Badania śniegu na Hali Gąsienicowej w 1962 r. Prace PIHM 87: 10–14.
- CZEMERDA A. 1967. Szata i pokrywa śnieżna w Karpatach polskich (Snow cover in the Polish Carpathians). Probl. Zagosp. Ziem Górskich 15: 20–33.
- FERGUSON J.E. 1989. The heavy elements. Chemistry, Environmental Impact and Health Effects. Pergamon Press, Oxford.
- HESS M. 1965. Piętra klimatyczne w polskich Karpatach Zachodnich (Vertical climatic zones in the Polish Western Carpathians). Zesz. Nauk. UJ, Prace Geogr. 11: 1–120.
- HESS M., OBRĘBSKA-STARKŁOWA B., NIEDŹWIEDŹ T., OLECKI Z., RAUCZYŃSKA-OLECKA D. (1967). Studium klimatologiczne powiatu Żywiec. Operat do użytku służbowego. Urząd Miejski w Żywcu. Msc.
- JANSEN W., BŁOCK A., KNAACK J. 1988. Kwaśne deszcze. Historia, powstanie, skutki. Aura 4: 18–19.
- KJAPOWA M. 1974. Szata śnieżna w Tatrach (Snow cover in the Tatra Mts.). Czasopis. Geogr. 1: 95–112.
- KRZAN Z., SKAWIŃSKI P., KOT M., EVANS R. 1993. Zmiany przestrzennego rozkładu pokrywy śnieżnej na terenach narciarskich Kasprowego Wierchu w sezonach 1990/91 i 1991/92. Parki Nar. Rez. Przyr. 12, 2: 63–77.
- LEŚNIAK B. 1980. Pokrywa śnieżna w dorzeczu górnej Wisły (Snow cover in the Upper Vistula river basin). Zesz. Nauk. UJ, Prace Geogr. 51: 75–127.
- LEŚNIAK B. 1981. Współczynnik trwałości pokrywy śnieżnej na obszarze dorzecza górnej Wisły (The coefficient of snow cover persistence in the Upper Vistula river basin). Folia Geogr., ser. Geogr.-Phys. 14: 89–102.
- LEŚNIAK B., OBRĘBSKA-STARKŁOWA B. 1983. Klimat województwa bielskiego (The climate of the Bielsko Voivodeship). Folia Geogr., ser. Geogr.-Phys. 15: 21–47.
- LEŚNIAK M. 1993. Wstępna ocena wyników badań zanieczyszczeń opadów atmosferycznych w Cieszynie. Kształtowanie środowiska geograficznego i ochrona przyrody na obszarach uprzemysłowionych i zurbanizowanych. Wyd. WBiOŚ UŚI., Katowice–Sosnowiec, s. 5–7.
- ŁAJCZAK A. 1996a. Wybrane elementy pogody północnego stoku Pilska (Selected weather elements of the northern slope of Pilsko). W: Łajczak A., Michalik S., Witkowski Z. (red.). Wpływ narciarstwa i turystyki



- pieszej na przyrodę masywu Pilska (The impact of skiing and hiking on the nature of the Pilsko Massif, Western Carpathians). *Studia Naturae* 41: 61–80.
- ŁAJCZAK A. 1996b. Analiza stosunków mezoklimatycznych północnych stoków Pilska a turystyczne i narciarskie wykorzystanie tego obszaru (The analysis of mesoclimatic conditions on northern slopes of Pilsko and touristic and skiing use of the area). *Czasopis. Geogr.* 67, 1: 17–47.
- ŁAJCZAK A. 1996c. Wpływ narciarstwa i turystyki pieszej na erozję gleby w obszarze podszczytowym Pilska (The influence of skiing and hiking on soil erosion at the top of the Pilsko Massif). W: Łajczak A., Michalik S., Witkowski Z. (red.). Wpływ narciarstwa i turystyki pieszej na przyrodę masywu Pilska (The impact of skiing and hiking on the nature of the Pilsko Massif, Western Carpathians). *Studia Naturae* 41: 131–159.
- MIELNICKA B. 1996. Narciarstwo i turystyka piesza w strefie szczytowej Pilska w latach 1993–1994 (Skiing and hiking at the top of the Pilsko Massif in 1993–1994). W: Łajczak A., Michalik S., Witkowski Z. (red.). Wpływ narciarstwa i turystyki pieszej na przyrodę masywu Pilska (The impact of skiing and hiking on the nature of the Pilsko Massif, Western Carpathians). *Studia Naturae* 41: 81–101.
- SKAWIŃSKI P., KRZAN Z., KOT M., EVANS R. 1993. Dynamika miąższości pokrywy śnieżnej w rejonie Kasprowego Wierchu w latach 1990–1992. *Parki Nar. Rez. Przyr.* 12, 2: 53–62.
- ZACHARSKA B. (1994). Zmiany składu chemicznego opadów atmosferycznych na tle wybranych elementów meteorologicznych w masywie Snieżnika Kłodzkiego w latach 1992–1993. *Biblioteka Zakładu Geomorf. Krasu, Wydział Nauk o Ziemi Uniw. Śl., Sosnowiec. Msc.*
- ZAJĄC P.K., GRODZIŃSKA K. 1980. Snow pollution. In: Grodzińska K. (ed.) *Acidification of forest environment (Niepolomice Forest) caused by SO<sub>2</sub> emission from steel mills*. Inst. of Botany PAS, Cracow, p. 22–41.
- ZAJĄC P.K., GRODZIŃSKA K. 1981. Snow contamination by heavy metals and sulphur in Cracow agglomeration (Southern Poland). *Water, Air and Soil Pollution* 193: 1–12.

## Summary

In the 1992/1993 and 1993/1994 winter seasons snow cover on the northern slope of Pilsko was examined (Fig. 1). The 18 ha area located near the top of Pilsko above Hala Miziowa (ski trails and adjacent areas) was surveyed in detail (Tab.1). Investigations concerned the range, duration and thickness of snow cover, the snow density, the water equivalent of snow, and the concentrations of certain ions and heavy metals in the snow. Snow cover thickness is in the investigated area influenced by wind. On ski trails it is modified by skiing and „snow cultivation” which is to level the snow thickness and increase it above the recommended minimum of 50 cm.

The aim of studies was to determine conditions of snow cover formation on ski trails compared with areas not used by skiers. The author reconstructed the course of snow cover formation in the study periods. Then, the role of different aspects of skiing (downhill runs, operation of snow levelling machines, formation of artificial snow-drifts) in the formation of snow cover thickness was determined. The author identified areas with the permanently reduced snow cover thickness, as indicated by destruction of vegetation and soil.

The range of snow cover was marked on a situation sketch scaled 1 : 2500. Measurements of snow cover thickness were made in both winter seasons, each two weeks along 53 permanent profiles, at 610 measurement points. The physical properties of snow were examined at permanent points on ski trails and out of them. Chemical analyses (concentrations of selected ions and heavy metals, acidity and electrolitic conductivity) were made only in the period March–May 1993. The analyses concerned also surface waters, fed by different sources, in the period of snow cover melting.

From the point of view of skiing, the period with snow cover may be divided into two phases: the preliminary phase when the thickness of snow cover does not exceed 50 cm on all examined ski trails and the period with snow cover favourable for skiing (>50 cm). In the study seasons the first phase was much prolonged due to higher temperatures and lower precipitation in comparison with the many years' averages; it lasted to January. At the second phase the thickness of snow cover was systematically growing to the maximum exceeding 200 cm (Fig. 5). In this time gaps in snow cover appeared on the convex forms of the slope (Fig. 2). At the end of April snow cover

began to vanish quickly. Out of the ski trails differences in the thickness of snow cover are caused mainly by winds. These differences increase during the winter. In March and April they range from 20 to over 200 cm, and locally even to 600 cm. Beginning from February the intensity of snow deflation decreases and the previously ephemeric forms on snow cover are becoming fixed by ice crust which more and more frequently appears on the snow surface.

The thickness of snow cover on ski trails is modified by skiing (Fig. 3). The masses of snow are thrown away on the sides of ski trails; in their axial parts snow ramparts, up to 1 m high, are formed. Between them plant shoots are being uncovered. After a few days of skiing a ski trail resembles a gully with a concave bottom and sides towering over the average level of snow cover in the forest. Nets and fences hold the blown away snow, and the originating snow drifts are levelled by snow levelling machines.

The duration of snow cover favourable for skiing (>50 cm) was 100–140 days (Fig. 4) in both winter seasons and it was comparable with Kocioł Gąsienicowy on Mt. Kasprowy Wierch in the Tatra Mountains, which is well snow-covered and intensively used by skiers. In view of less favourable snow conditions prevailing in the Polish Carpathians in the recent years, these values should be considered as particularly favourable for skiing. In the past several decades the duration of snow cover more than 50 cm thick was most probably by 30–60 days longer. The duration of thick snow cover is locally modified by skiing; snow-drifts formed on both sides of ski trails persist even 40 days longer than the snow in the axial part of ski trails.

In February–April the average thickness of snow on ski trails is twice as small as in the adjacent area (Fig. 5). This results from the weighing down of the snow by snow levelling machines, the throwing of the large amounts of snow away from ski trails on their sides, and the increased deflation of snow cover permanently deprived of the ice coat. Snow cover on ski trails has no typical layer structure, which results in the equalization of snow density in the altitudinal profile of snow cover. Out of ski trails the density of snow markedly increases with its depth (Figs 6, 7). An analysis of the water equivalent of snow, measured at many places on ski trails and out of them, has shown that ski trails are characterized by a snow deficit (converted to the height of water column) resulting from the increased deflation of the snow permanently deprived of the ice coat. This deficit increases with time; in January it is small, in February it reaches 20%, and in March as much as 30%. This last value remains constant to the end of April.

The vanishing of snow cover begins when gaps in snow cover on ski trails are growing larger and the area of snow-deprived patches on convex relief forms, especially near the summit, is increasing. At the terminal phase of snow cover melting snow drifts on the sides of ski trails persist longest (Fig. 8). They are used by skiers as long as their continuity is maintained.

Changes in the concentration of selected ions and heavy metals were examined in the different layers of snow cover in its whole depth. These investigations included ski trails and areas not used by skiers (forest and mountain meadows – areas with snow accumulation and snow deflation) (Tabs 2–5). The location of measurement points is presented in Figure 1. The results obtained confirm the results of other studies, showing that snow pollution is greater in the upper montane spruce forest than in open areas (mountain meadows, ski trails). In the spruce forest the layers of fresh snow fallen at westerly, pollutant-carrying winds are strongly contaminated and their acidity is below 4.0. Corridors cleared in the forest for numerous ski trails contribute to the reduction of the concentration of emitted substances in the snow. As a result of skiing the concentration of these substances in the depth profile of snow cover is equalized. The ski equipment used at present does not introduce any substantial amounts of chemical substances to the snow.

In the ski season the degradation of vegetation and soil is caused mainly by snow-levelling machines; skiers cause smaller damage. Damage is greatest at the initial phase of snow cover formation, which in the recent years was much prolonged, and at the short terminal phase of quick snow melting. To diminish the degradation of vegetation and soil, the use of a lighter type of snow-levelling machines and the careful „snow cultivation” in places where the thickness of snow cover is often less than 50 cm, are recommended.