

# **Monitoring zmian wysokości pokrywy śnieżnej oraz jej przestrzennego rozmieszczenia w związku z inwestycją polegającą na budowie Ośrodka Narciarstwa Biegowego i Biathlonu w Szklarskiej Porębie - Jakuszycach**

**Raport końcowy**



# Raport Końcowy

Monitoring zmian wysokości pokrywy śnieżnej oraz jej przestrzennego rozmieszczenia w związku z inwestycją polegającą na budowie Ośrodka Narciarstwa Biegowego i Biathlonu w Szklarskiej Porębie-Jakuszytach

Autorzy opracowania:

dr Mieczysław Sobik (kierownik projektu)

dr hab. Marek Błaś

mgr Krzysztof Krakowski

Zlecniodawca projektu:

Instytut Rozwoju Terytorialnego

Wrocław, 28 czerwca 2023 roku

## Spis treści

Wstęp.....	2
Zakres pomiarów i metodyka opracowania.....	2
Warunki pogodowe i śniegowe w Górach Izerskich i Karkonoszach.....	5
Pokrywa śnieżna w pobliżu Jakuszyt .....	12
Porównanie warunków śniegowych w Górach Izerskich z rejonem Zakopanego.....	17
Wpływ inwestycji na pokrywę śnieżną .....	18
Wnioski .....	21
Rekomendacje i warunki progowe .....	22



## **Wstęp**

Niniejsze opracowanie stanowi podsumowanie czterech sezonów pomiarów pokrywy śnieżnej prowadzonych przez trzyosobowy zespół wykonawców, którego celem jest charakterystyka warunków śniegowych na terenie powstającego Ośrodka Narciarstwa Biegowego i Biathlonu oraz w jego szerokim sąsiedztwie wraz z określeniem ewentualnego wpływu samej inwestycji na warunki śniegowe.

Cały projekt pomiarowy realizowany był w czterech kolejnych sezonach zimowych 2019/20, 2020/21, 2021/22 i 2022/23 na podstawie umowy nr 32/2019 z dnia 01.10.2019 r. W roku 2019 rozpoczynającym realizację projektu powstał raport wstępny, w którym scharakteryzowano klimat Gór Izerskich i wykazano jego specyfikę. W czterech kolejnych latach, po zakończeniu każdego sezonu zimowego, powstały raporty częściowe odnoszące się do danych pomiarowych z odpowiednich zim. W skład zespołu wykonawców wchodzi: dr Mieczysław Sobik (kierownik), dr hab. Marek Błaś i mgr Krzysztof Krakowski.

Poniżej znajduje się lista większości występujących w raporcie skrótów:

CHMI – Czeski Instytut Hydrologiczno Meteorologiczny

DCS-Jakuszyce – Ośrodek Narciarstwa Biegowego i Biathlonu w Szklarskiej Porębie-Jakuszycach

DHSX – data wystąpienia HSX

GBI – główny budynek inwestycji

HS – wysokość pokrywy śnieżnej [cm]

HSX – maksymalna wysokość pokrywy śnieżnej [cm]

HSW – ekwiwalent wodny pokrywy śnieżnej [mm]

IMGW – Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej

JAKU-IMGW – posterunek klimatologiczny IMGW w Jakuszycach (860 m n.p.m.)

LDHS – liczba dni z pokrywą śnieżną

LDHSC – długość (liczba dni) najdłuższego nieprzerwanego okresu z pokrywą śnieżną,

N–północ, E-wschód, S-południe, W-zachód i ich kombinacje np. SW - południowy zachód

S1...S24 – symbole stanowisk pomiarowych pokrywy śnieżnej

WHS – wskaźnik śnieżności [%]

## **Zakres pomiarów i metodyka opracowania**

Analizę pokrywy śnieżnej przeprowadzono na podstawie różnorodnych materiałów, do których należą:

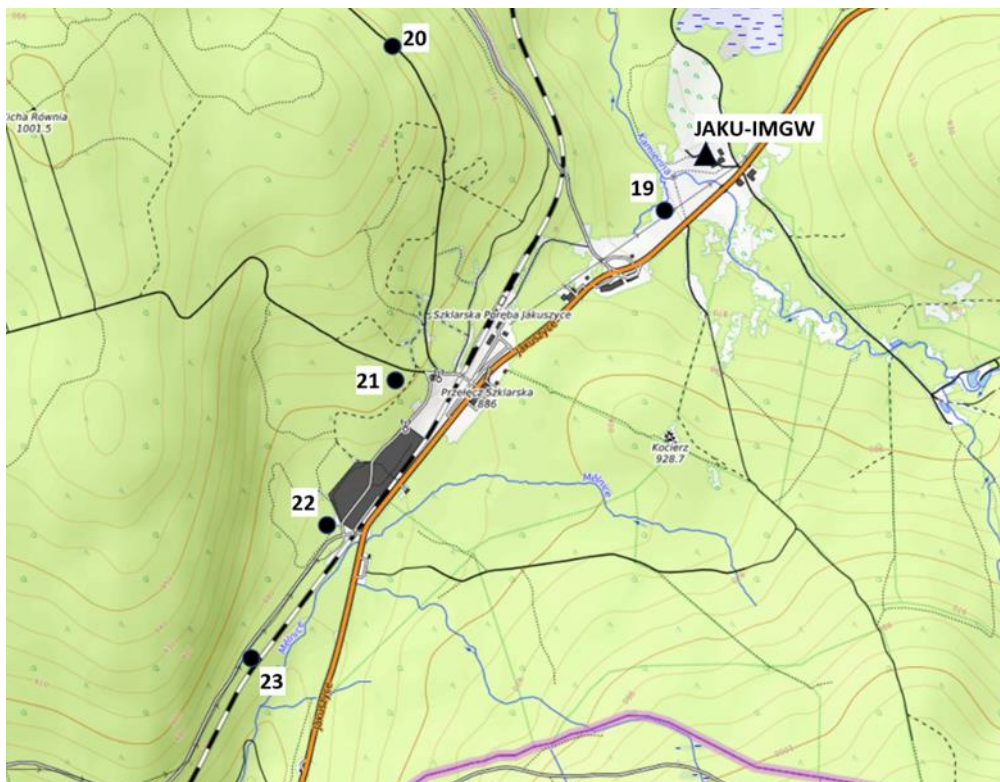
- Wyniki pomiarów terenowych w ramach specjalnie zorganizowanej na potrzeby bieżącego opracowania sieci monitoringu pokrywy śnieżnej na 24 stanowiskach (Tab. 1). W najbliższym sąsiedztwie (do 1 km od DCS-Jakuszyce) założono 5 stanowisk pomiarowych (Ryc. 1), a 19 stanowisk w dalszym sąsiedztwie (1-10 km od DCS-Jakuszyce; Ryc. 2). Pomiary były wykonywane zgodnie ze standardami Światowej Organizacji Meteorologicznej WMO (ang. the World Meteorological Organisation). Stosowna dokumentacja fotograficzna znajduje się w odrębnie przekazanym katalogu [Dokumentacja realizacji projektu];
- Sezonowe codzienne dane pomiarowe pokrywy śnieżnej zgromadzone przez polskie i czeskie służby meteorologiczne IMGW oraz CHMI w swoich obserwatoriach i posterunkach, łącznie 10 miejsc;
- Wyniki codziennych pomiarów meteorologicznych z kilku stacji synoptycznych IMGW i CHMI (Tab. 2). Były to: Jelenia Góra (nr WMO 12500), Liberec (11603), Pec pod Snezkou (11643), Śnieżka (12510) oraz porównawczo Zakopane (12625).

Tab. 1. Podstawowe dane dotyczące lokalizacji punktów pomiaru wysokości pokrywy śnieżnej.

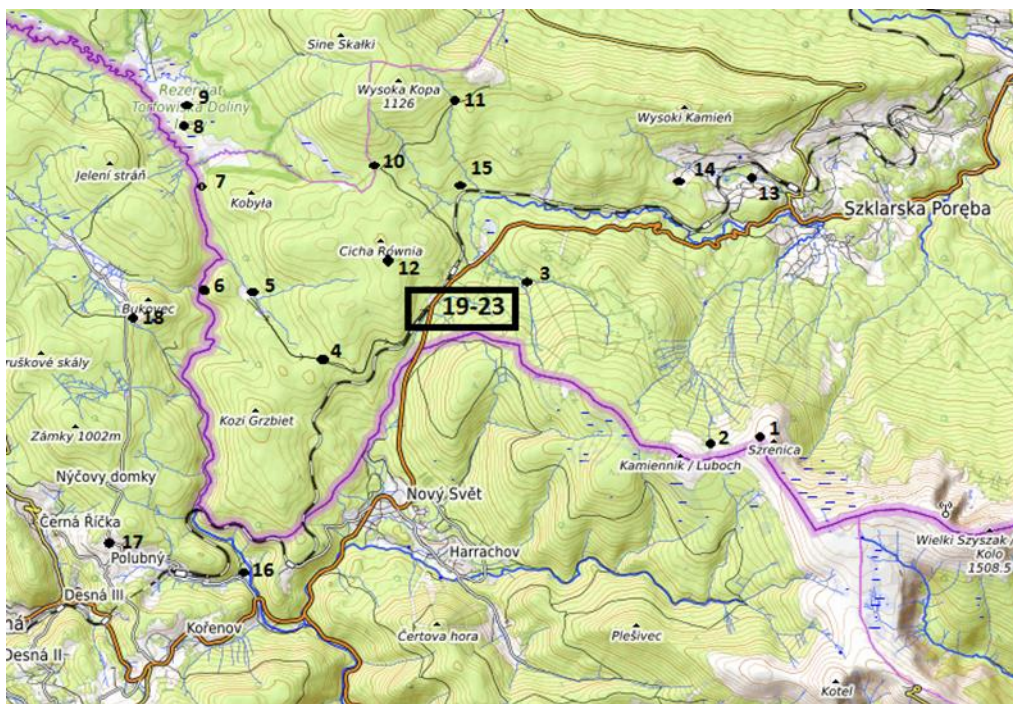
Nr	Nazwa stanowiska	Szerokość geogr.	Długość geogr.	H [m n.p.m.]
	JAKU-IMGW	50,8231	15,4419	860
S1	Szrenica	50,7914	15,5120	1332
S2	Źródłiska Kamieńczyka	50,7904	15,4976	1245
S3	Kocieniec Ujście	50,8167	15,4512	880
S4	Dział Izerski	50,8049	15,4014	881
S5	Orle	50,8156	15,3837	825
S6	Izera Mostek	50,8158	15,3707	786
S7	Las pod Kobylą	50,8320	15,3705	820
S8	Dziczy Jar	50,8416	15,3674	831
S9	Hala Izerska	50,8461	15,3672	845
S1	Rozdroże p. Cichą Równią	50,8357	15,4147	943
S1	Ciekoń	50,8467	15,4351	1003
S1	Cicha Równia	50,8196	15,4182	991
S1	Biała Dolina 700	50,8345	15,5085	700
S1	Biała Dolina 800	50,8338	15,4906	800
S1	Dziki Potok PKP	50,8319	15,4372	863
S1	Martinske Udoli	50,7693	15,3804	635
S1	Horni Polubny	50,7761	15,3477	817
S1	Bukovec-Sedlo	50,8117	15,3540	910
S1	Polana Maliszewskiego	50,8215	15,4411	859
S2	Dukt GDKJ	50,8245	15,4311	950
S2	Las nad przełęczą	50,8174	15,4297	904
S2	Zapora	50,8140	15,4275	875
S2	Las SW	50,8112	15,4251	874
S2	Szklarska Poręba Dolna	50,8410	15,5552	550

Tab. 2. Podstawowe dane dotyczące lokalizacji punktów pomiaru wysokości pokrywy śnieżnej prowadzonych przez IMGW oraz CHMI.

Nr	Nazwa stanowiska	Szerokość geogr.	Długość geogr.	H [m n.p.m.]
1	Śnieżka (IMGW)	50,7362	15,7399	1602
2	Jelenia Góra (IMGW)	50,9002	15,7887	344
3	Pec pod Śnieżką (CHMI)	50,6918	15,7287	816
4	Liberec (CHMI)	50,7697	15,0238	400
5	Jakuszyce (IMGW)	50,8231	15,4419	860
6	Zakopane (IMGW)	49,2937	19,9603	860



Ryc. 1. Rozmieszczenie punktów pomiaru wysokości pokrywy śnieżnej położonych w bezpośrednim sąsiedztwie DCS-Jakuszyce (patrz Tab. 1).



Ryc. 2. Rozmieszczenie punktów pomiaru wysokości pokrywy śnieżnej (patrz Tab. 1 oraz Ryc. 1 dla punktów 19-23).

Ramy opracowania to okres od 1 października do 31 maja każdego sezonu pomiarowego, który znacznie wykracza poza trwanie pokrywy śnieżnej w Górach Izerskich podczas kolejnych zim. Tak długi, bo 8-miesięczny, przedział czasu podyktowany jest potrzebą ukazania zmienności pokrywy śnieżnej w Górach Izerskich na tle szerszego terenu obejmującego także część Karkonoszy, gdzie potencjalny okres trwania pokrywy śnieżnej jest znacząco dłuższy. Ponadto w kolejnych sezonach zimowych przebieg pokrywy śnieżnej może być wyraźnie inny niż w sezonie bieżącym, a odpowiednio długi okres brany pod uwagę pozwala na jednolite podejście metodyczne do każdego z czterech kolejnych sezonów pomiarowych.

Zgromadzone dane pomiarowe wysokości pokrywy śnieżnej oraz fizycznych i strukturalnych cech pokrywy śnieżnej zostały poddane kontroli jakości, zestawione w postaci spójnej bazy danych, a następnie, na ich podstawie, wyznaczono różne wskaźniki statystyczne charakteryzujące pokrywę śnieżną (DHSX, HS, HSX, LDHS, LDHSC i WHS). Ponadto dla charakterystyki tła pogodowego kolejnych sezonów zebrano dane pomiarowe z wymienionych wcześniej stacji synoptycznych, były to: temperatura powietrza (TM, TX, TN, TXA, TNA) opady atmosferyczne (RM i RD) liczba dni z opadem i różnymi zjawiskami atmosferycznymi. Kolejnym etapem była analiza danych pomiarowych i - przy uwzględnieniu aktualnego stanu wiedzy na temat klimatu gór - określenie prawidłowości zmian pokrywy śnieżnej w czasie oraz jej przestrzennego rozkładu.

W tym miejscu należy wyjaśnić rozbieżność liczby wskazanych w ww. umowie 40 sesji jednodniowych pomiarów terenowych na 24 stanowiskach pomiarowych S1...S24 oraz towarzyszących im pomiarów przenośną sondą w obszarze bezpośredniego sąsiedztwa DCS Jakuszyce w stosunku do zrealizowanych 27 takich sesji. Odstępstwo wynika z założenia potrzeby wykonania 10 sesji pomiarowych na pojedynczy potencjalny sezon zalegania pokrywy śnieżnej czyli od początku października do końca maja. Realne zaleganie pokrywy śnieżnej było znacząco krótsze, stąd nie były realizowane pomiary w okresach bez śniegu.

W każdym sezonie w okresie od 1 października do 31 maja na bieżąco była analizowana sytuacja śniegowa i tło meteorologiczne na podstawie udostępnionych codziennych danych ze stacji i posterunków IMGW i CHMI. Na podstawie tej analizy była podejmowana decyzja o wyjeździe na pomiary terenowe pokrywy śnieżnej w konkretnym dniu. Częstość i liczba wykonanych pomiarów terenowych okazała się wystarczająca do przeprowadzenia monitoringu, rzetelnej analizy wyników i wyciągnięcia uprawnionych wniosków.

Dodatkowe pomiary z użyciem sond przenośnych w obszarze A' (bezpośrednie sąsiedztwo DCS-Jakuszyce) były wykonywane w celu upewnienia się, że pomiary z tyczek S19...S23 są dla tego obszaru reprezentatywne. Ich wyniki wykazały brak istotnych i systematycznych odstępstw od pomiarów z punktów S19...S23 oraz stanowiska JAKU-IMGW. Z tego powodu wyniki tych pomiarów były brane pod uwagę w roboczej analizie zgromadzonych danych, ale nie zostały umieszczone w raportach częściowych i końcowym jako nie wnoszące niczego istotnego do całościowej charakterystyki zalegania pokrywy śnieżnej w tym obszarze.

### **Warunki pogodowe i śniegowe w Górach Izerskich i Karkonoszach**

Pomiary pokrywy śnieżnej prowadzono na stanowiskach zlokalizowanych w przedziale wysokości od 550 m do 1330 m n.p.m., stąd w kolejnych raportach częściowych tło pogodowe przedstawiono na podstawie danych ze stacji synoptycznych położonych na bardzo różnej wysokości od 400 m n.p.m. (Liberec) do ponad 1600 m n.p.m. (Śnieżka). Na potrzeby raportu końcowego posłużyliśmy się syntetycznym obrazem przebiegu wartości miesięcznych temperatury powietrza i miesięcznych sum opadów atmosferycznych kolejnych półroczy chłodnych uśrednionych dla obszaru Kraju Libereckiego w Republice Czeskiej z uwzględnieniem wszystkich pięter wysokościowych. Jest to region, do którego bezpośrednio przylega teren opracowania, a niektóre stanowiska pomiarowe (S16, S17 i S18) są wręcz usytuowane w Kraju Libereckim, dlatego dane te można uznać za reprezentatywne także dla polskiej części Gór Izerskich i Karkonoszy. Warto zaznaczyć, że środkowe partie gór w terenie opracowania są położone o 400-500 m wyżej niż średnia wysokość Kraju Libereckiego i dlatego wartości te są o około 2 do 3 °C niższe.

Podczas kolejnych półroczy chłodnych połowa miesięcy wykazywała dodatnią anomalię termiczną w stosunku

do wielolecia (Tab. 3). Jeśli zawęzić analizę tylko do miesięcy klimatologicznej zimy (od grudnia do lutego), to aż osiem z ogółem 12 miesięcy wykazało dodatnie odchylenie temperatury, cztery miesiące pozostawały w granicach termicznej normy i żaden z miesięcy nie wykazał odchylenia ujemnego. Pokazuje to jak wyraźny jest wpływ współczesnego ocieplenia klimatu na panujące warunki atmosferyczne. Aż cztery miesiące (w każdej kolejnej zimie jeden) wykazały odchylenie temperatury od średniej wieloletniej przekraczające +3°C. Tylko podczas najchłodniejszej zimy 2020/21 dwa miesiące, styczeń i luty, pozostawały w termicznej normie, ale za to poprzedzający je grudzień był bardzo ciepły. Bardzo podobny był także przebieg anomalii termicznych w stacji Pec pod Snezkou (Tab. 3) reprezentującej średnie piętro wysokościowe gór.

Tabela. 3. Temperatura powietrza TM i opady atmosferyczne RM w kolejnych miesiącach sezonów zimowych w latach 2019-2023 uśrednione dla Kraju Libereckiego w Czechach oraz temperatura powietrza TM dla stacji Pec pod Snezkou wraz z wartościami średnimi dla wielolecia 1991-2020.

Sezony zimowe / Miesiące	XI	XII	I	II	III	IV
<b>LIBERECKI KRAJ – TM [°C]</b>						
zima 2019/2020	5,6	1,8	0,4	3,0	2,9	8,2
zima 2020/2021	3,9	1,9	-1,6	-1,5	1,8	4,4
zima 2021/2022	3,7	-0,1	0,2	2,3	2,7	5,4
zima 2022/2023	3,6	0,1	1,5	0,6	3,4	5,8
<b>LIBERECKI KRAJ – RM [mm]</b>						
zima 2019/2020	65	48	33	128	47	10
zima 2020/2021	26	28	86	45	37	45
zima 2021/2022	66	67	80	112	12	57
zima 2022/2023	50	61	74	80	94	58
<b>PEC POD ŚNIEŻKĄ – TM</b>						
zima 2019/2020	3,5	-0,6	-1,7	0,1	-0,2	4,9
zima 2020/2021	2,2	-0,8	-3,7	-3,0	-1,2	1,6
zima 2021/2022	1,4	-2,2	-2,0	-0,7	-0,4	2,2
zima 2022/2023	1,8	-1,9	-0,3	-1,3	1,2	3,7
<b>wielolecie 1991-2020</b>	<b>1,1</b>	<b>-2,6</b>	<b>-3,5</b>	<b>-2,9</b>	<b>-0,2</b>	<b>4,3</b>

#### Objaśnienia:

Odchylenia wartości TM oraz RM od warunków średnich wieloletnich 1991-2020:

Kolor	Anomalia temperatury	Anomalia opadu
czerwony	cieplej o $\geq 3,0^{\circ}\text{C}$	duża ujemna (< 33% normy)
żółty	cieplej o $\geq 1,0$ , ale mniej niż o $3,0^{\circ}\text{C}$	mała ujemna (< 67% normy)
brak koloru	odchylenie od normy +/- $1^{\circ}\text{C}$	opady w normie (67-133%)
jasno niebieski	chłodniej o $\geq 1^{\circ}\text{C}$	mała dodatnia (>133% normy)
ciemno niebieski	chłodniej o co najmniej $3,0^{\circ}\text{C}$	duża dodatnia (>167% normy)

Charakterystyczne jest to, że schyłek zimy i przedwiośnie mieściły się w większości miesięcy w normie termicznej (marzec) lub były anomalnie chłodne (kwiecień). Taki przebieg temperatury sprawił, że tam gdzie u progu wiosny zalegała jeszcze pokrywa śnieżna, mogła ona trwać znacznie dłużej. Przykładem jest rok 2021, gdy na większości stanowisk śnieg zalegał do trzeciej dekady kwietnia lub pierwszej dekady maja. Duże nagromadzenie miesięcy zimowych o anomalnie wysokiej temperaturze sprawia, że coraz większa część opadów występuje zimą w postaci ciekłej jako deszcz lub mżawka, a istniejąca pokrywa śnieżna często bywa nadtapiana lub zanika nawet w środku zimy. Przeważająca podczas ostatnich czterech zim dodatnia anomalia termiczna sprawiła, że HS pozostawała z reguły poniżej sezonowej normy wieloletniej, a w mniejszym stopniu dotyczyło to LDHS, bo zaleganie cienkiej warstwy śniegu podtrzymywane było przez chłodne warunki wiosenne.

W odniesieniu do opadów atmosferycznych nie można zdefiniować wyraźnego trendu zmian (Tab. 3). W ostatnich czterech półroczach chłodnych wystąpiło 7 miesięcy z anomalią ujemną, 11 z opadami w normie oraz 6 miesięcy z opadami z anomalią dodatnią. W przypadku utrzymywania się trendu zmian obserwowanego w ostatnich dziesięcioleciach polegającego na dalszym podnoszeniu się temperatury i utrzymywaniu się opadów na podobnym poziomie, można oczekiwać skracania czasu zalegania pokrywy śnieżnej, zmniejszania grubości i pojawiania się coraz liczniejszych przerw w jej zaleganiu nawet w środku zimy.

Tabela. 4. Podstawowe zmienne charakteryzujące sezonową pokrywę śnieżną w Górach Izerskich i ich bliskim otoczeniu oraz porównawczo w Zakopanem podczas czterech kolejnych zim w latach 2019-2023.

ZIMA	ZMIENNA	JEG	LIB	PPS	JAKU-IMGW	SSN	ZAK
Zima 19/20	LDHS	16	15	123	123	178	99
	LDHSC	3	4	112	86	162	79
	HSX	4	9	62	58	152	35
	DHSX	5 lut 2020	5 lut 2020	28 lut 2020	21 lut 2020	11 mar 2020	28 gru 2019
Zima 20/21	LDHS	51	59	121	133	181	108
	LDHSC	17	29	97	123	140	82
	HSX	26	29	65	80	153	42
	DHSX	17 sty 2021	15 sty 2021	16 sty 2021	30 sty 2021	22 mar 2021	17 sty 2021
Zima 21/22	LDHS	31	51	135	139	185	125
	LDHSC	10	11	98	103	172	79
	HSX	11	11	95	110	144	70
	DHSX	22 sty 2022	22 sty 2022	7 lut 2022	6 lut 2022	7 mar 2022	2 lut 2022
Zima 22/23	LDHS	43	61	103	118	173	105
	LDHSC	12	25	63	67	123	60
	HSX	19	21	70	78	112	82
	DHSX	23 sty 2023	23 sty 2023	4 lut 2023	5 lut 2023	13 mar 2023	5 lut 2023
<b>Podsumowanie dla czterech kolejnych sezonów zimowych (2019-2023)</b>							
Zimy 19-23	LDHS	35	46	120	128	179	109
	LDHSC	10	17	92	95	149	75
	HSX	15	17,5	73	82	140	57
	DHSX	LUT-6	STY-29	LUT-6	LUT-7	MAR-13	STY-21
	WHS	5%	8%	78%	100%	253%	49%

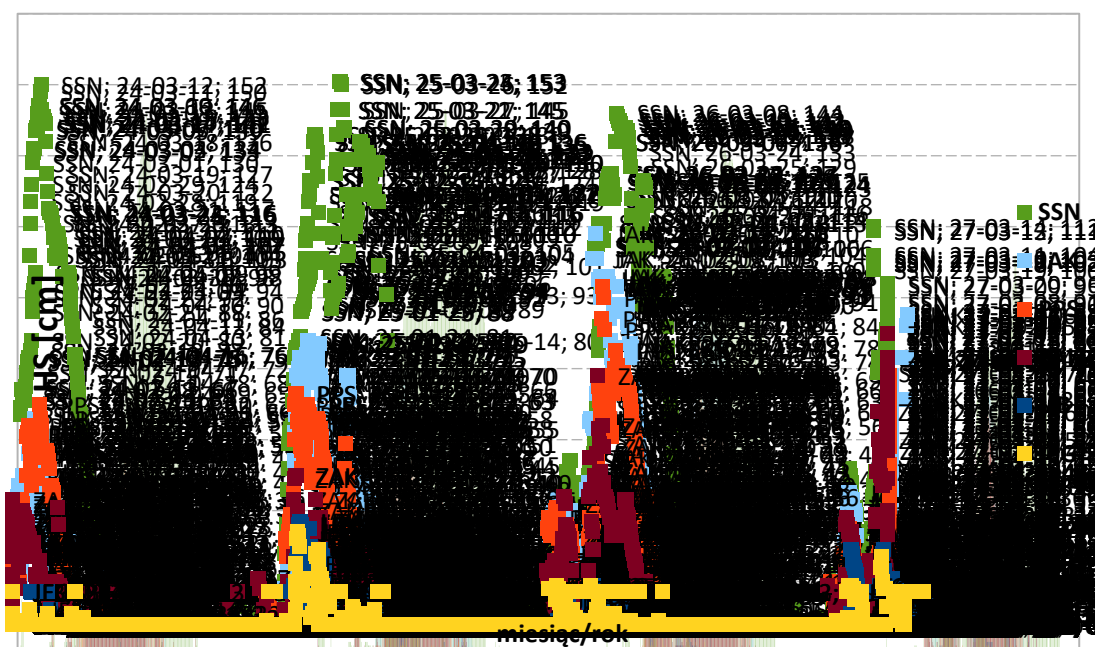
Źródło: dane pomiarowe IMGW i CHMI pobrane z [www.chmi.cz](http://www.chmi.cz), [www.ogimet.com](http://www.ogimet.com) oraz [www.pogodynka.pl](http://www.pogodynka.pl)



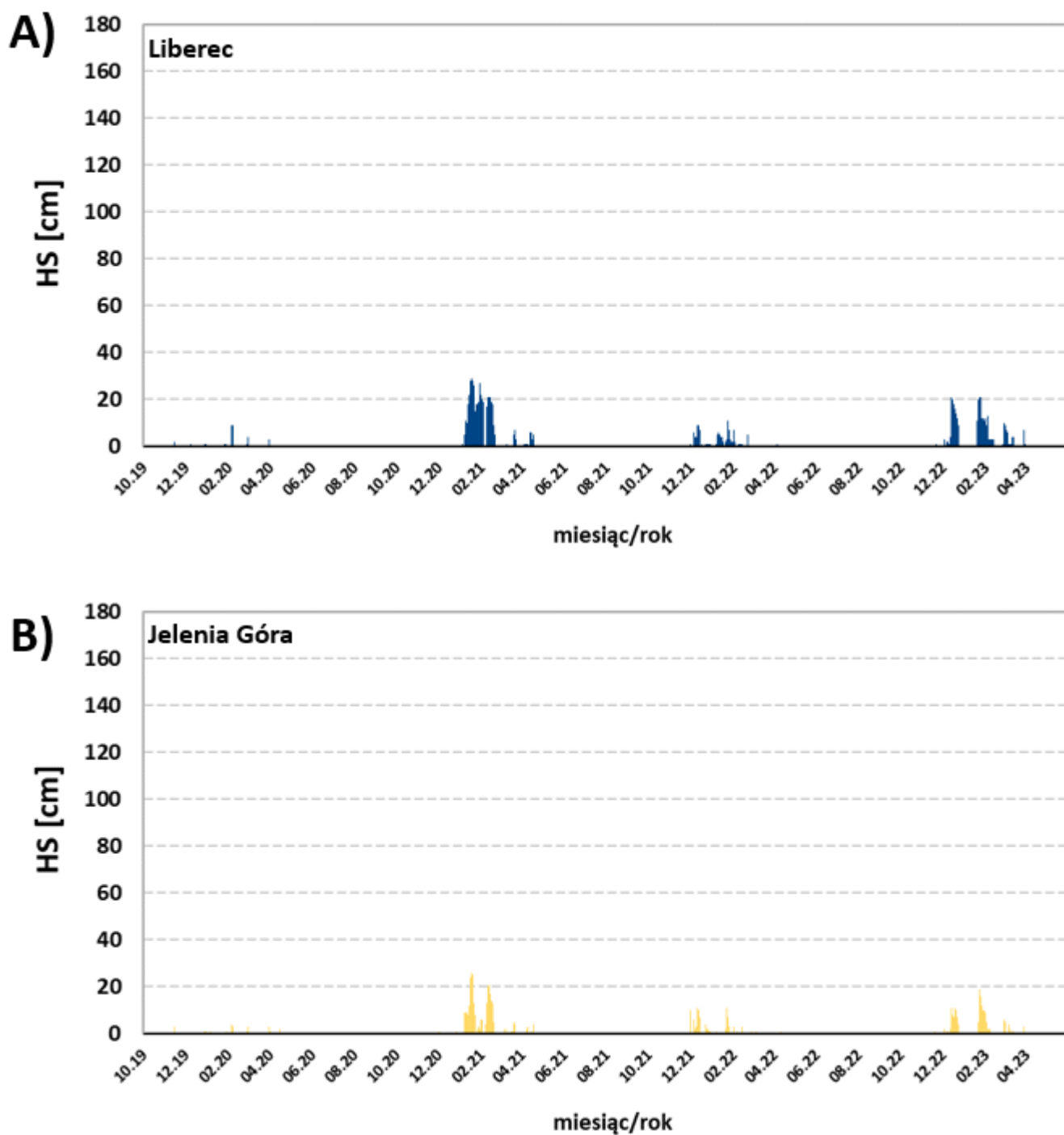
Zestawienie wykonano na podstawie wyników codziennych pomiarów wysokości pokrywy śnieżnej w stacjach synoptycznych IMGW i CHMI (Jelenia Góra (JEG), Liberec (LIB), Pec pod Śnieżką (PPS), Śnieżka (SSN), Zakopane (ZAK)) oraz na posterunku IMGW w Jakuszytach (JAK-IMGW).

Na pograniczu Polski i Czech w obszarze Sudetów Zachodnich znajduje się spora liczba stacji meteorologicznych i klimatologicznych prowadzących codzienne pomiary warunków atmosferycznych, w tym także HS. Do pięciu takich stacji dołączono jeszcze stację Zakopane i na podstawie danych HS wyznaczono szereg zmiennych charakteryzujących pokrywę śnieżną (Tab. 4). W świetle zamieszczonych danych dla Sudetów Zachodnich w odniesieniu do każdej zmiennej, warunki śniegowe w kolejności rosnącej układają się wg tego samego wzorca: najgorsze w Jeleniej Górze i coraz lepsze kolejno w Libercu, w Pec, w Jakuszytach-IMGW i najlepsze na Śnieżce.

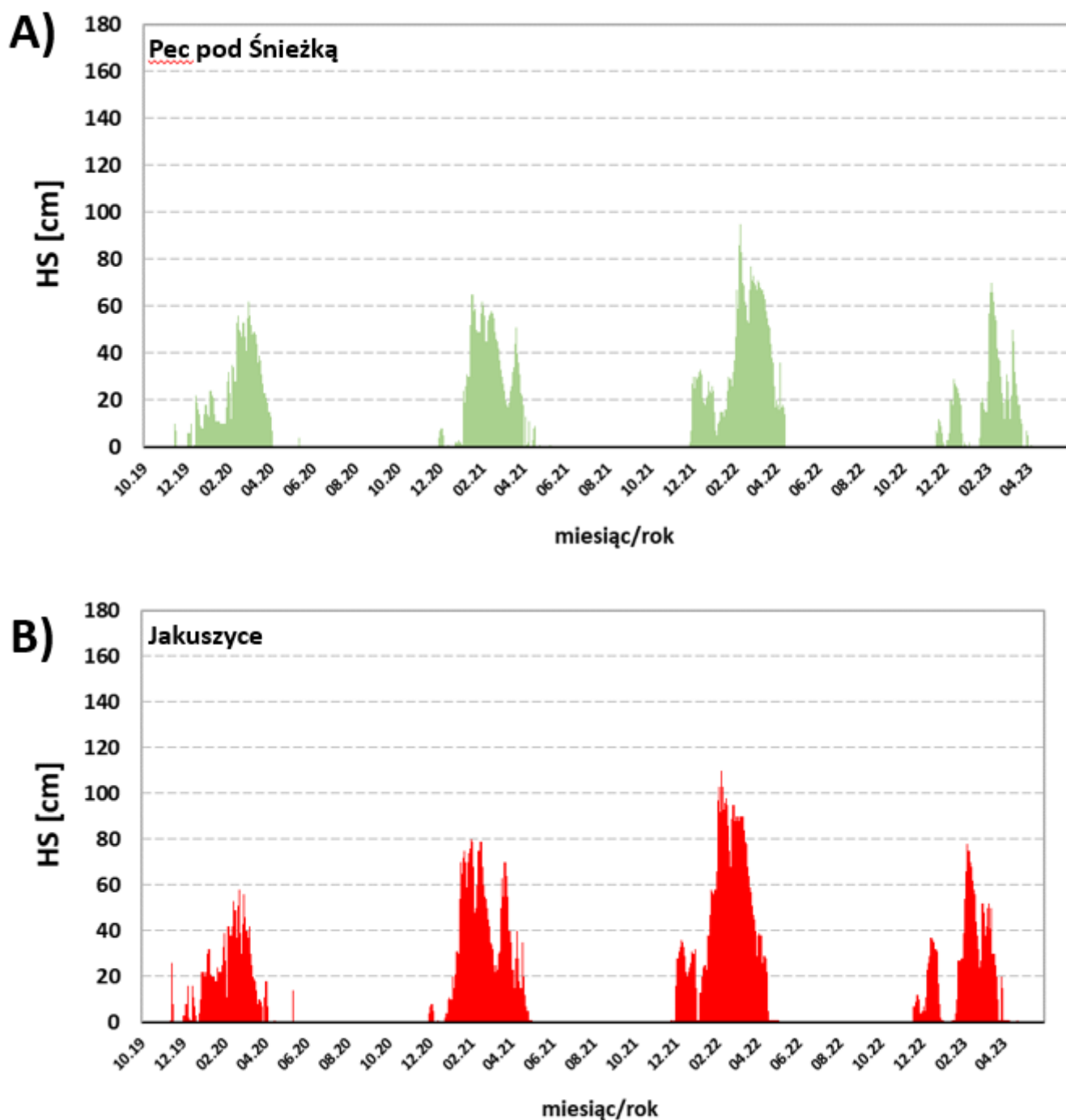
Wśród stacji sudeckich zachowana jest zasada konsekwentnego poprawiania się warunków śniegowych wraz ze wzrostem wysokości nad poziomem morza. Dodatkowa stacja Zakopane klasyfikuje się w tej hierarchii między Libercem a Pecem pod Śnieżką, co wskazuje na inne uwarunkowania pokrywy śnieżnej na Podtatrze, prowadzące do występowania cieńszej i krócej zalegającej warstwy śniegu niż na podobnej wysokości w Sudetach Zachodnich.



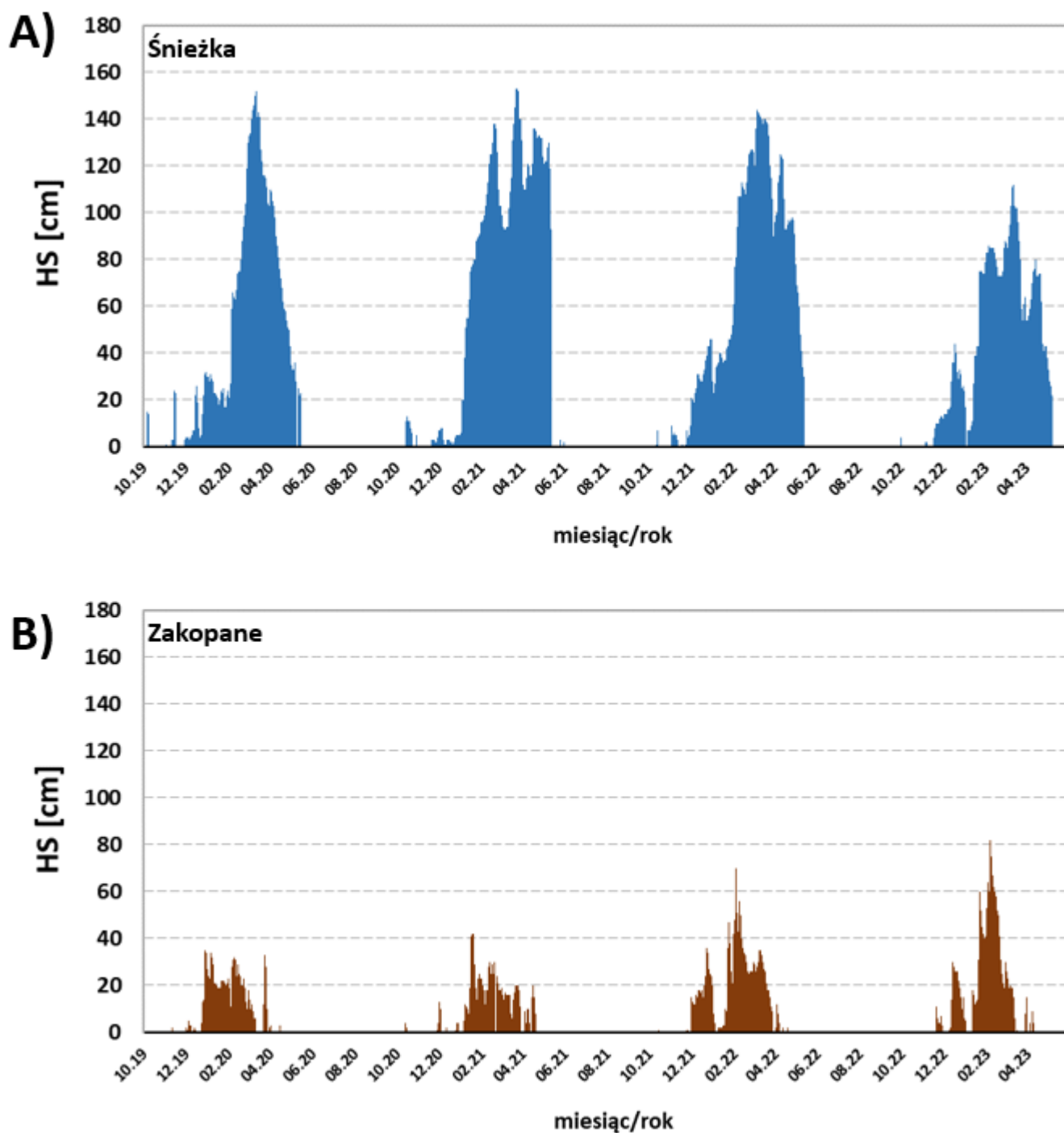
Ryc. 3. Porównanie przebiegów HS podczas czterech kolejnych sezonów zimowych od października 2019 roku do 31 maja 2023 roku w stacjach: SSN – Śnieżka, JAK – Jakuszyce, PPS – Pec pod Śnieżką, ZAK – Zakopane, LIB – Liberec, JEG – Jelenia Góra.



Ryc. 4. Indywidualne przebiegi HS podczas czterech kolejnych sezonów zimowych od października 2019 roku do 31 maja 2023 roku w stacjach Liberec (A) oraz Jelenia Góra (B).



Ryc. 5. Indywidualne przebiegi HS podczas czterech kolejnych sezonów zimowych od października 2019 roku do 31 maja 2023 roku w stacjach Pec pod Śnieżką (A) oraz w Jakuszycach (B).



Ryc. 6. Indywidualne przebiegi HS podczas czterech kolejnych sezonów zimowych od października 2019 roku do 31 maja 2023 roku w stacjach Śnieżka (A) oraz Zakopane (B).



Dla pełniejszego porównania warunków śniegowych podczas kolejnych czterech zim przedstawiono przebiegi HS na podstawie codziennych pomiarów na przestrzeni całego okresu prowadzonego monitoringu w tych samych 6 stacjach (Ryc. 3-6). Warto dodać, że wartości wskaźnika WHS zamieszczone w poprzedniej tabeli są proporcjonalne do powierzchni zajmowanej przez kolejne stacje na wykresach przebiegu HS. Relacje pomiędzy kolejnymi zimami najlepiej pokazuje wykres, na którym umieszczono wszystkie stacje (Ryc. 3). Z jego analizy wynika, że największe zróżnicowanie sezonów śnieżnych występuje na stacjach położonych najniżej, a w wyższych partiach gór warunki śniegowe są mniej zróżnicowane. W dolnych partiach gór (Ryc. 4) wszystkie zimy pod względem warunków śniegowych pozostawały poniżej normy wieloletniej, a najbardziej do tej normy zbliżyła się zima 2020/21, głównie ze względu na temperaturę powietrza, która od stycznia do marca pozostawała w granicach normy wieloletniej i sprawiła, że znaczna część opadów atmosferycznych wystąpiła w postaci śniegu, a zalegająca pokrywa śnieżna nie ulegała nazbyt intensywnemu topnieniu. Znacząco lepsze warunki śniegowe w Libercu niż w Jeleniej Górze tylko częściowo można tłumaczyć położeniem na wysokości o ponad 50 metrów większej, bowiem co najmniej w tym samym stopniu są wynikiem destrukcyjnego wpływu wiatru fenowego na pokrywę śnieżną, który częściej i z większą intensywnością zaznacza się po polskiej stronie gór.

Mniej zróżnicowane, zwłaszcza w odniesieniu do czasu zalegania pokrywy śnieżnej, są stacje położone w środkowych partiach gór (Ryc. 5) czyli Pec pod Śnieżką i Jakuszyce. W tych miejscach także względne różnice pomiędzy kolejnymi zimami nie są tak duże jak u podnóża gór. W odróżnieniu od Liberca i Jeleniej Góry, najlepsze warunki śniegowe wykazała zima 2021/22, zarówno pod względem czasu trwania pokrywy śnieżnej jak i jej wysokości. Powodem była wyraźnie wyższa suma opadów w miesiącach zimowych 2021/22, dzięki którym na początku lutego 2022 HS osiągnęła absolutne maksimum wśród czterech omawianych zim, a w Jakuszycach przekroczyła nawet 100 cm. Wśród pozostałych zim wyróżnia się ta z lat 2022/23, kiedy pokrywa śnieżna zaczęła się wyjątkowo wcześniej bo w połowie listopada, ale została przerwana silnym ociepleniem w trzeciej dekadzie grudnia, trwającym do połowy stycznia, które doprowadziło do parotygodniowej przerwy w zaleganiu śniegu.

Najbardziej wyrównane warunki zalegania śniegu w kolejnych zimach wystąpiły w piętrze najwyższym reprezentowanym przez Śnieżkę (Ryc. 6). Na tej wysokości okresy zimowych ociepleń zwykle nie prowadzą do silnego obniżenia HS, ale i tutaj ocieplenie z przełomu 2022 i 2023 roku doprowadziło do krótkotrwałego zaniku pokrywy śnieżnej. Warunki śniegowe w grzbietowych partiach Karkonoszy najbardziej kontrastowo różnią się od pięter niższych w okresie wiosennym, kiedy poniżej 1000 m n.p.m. rozpoczyna się już wegetacja na pozbawionym śniegu podłożu a wysokie partie gór pokryte są wciąż warstwą śniegu. Czas zaniku pokrywy śnieżnej w tym obszarze przypada zazwyczaj na maj.

### **Pokrywa śnieżna w pobliżu Jakuszyce**

Podczas kolejnych czterech zim na sieci 24 stanowisk przeprowadzono łącznie 27 jednodniowych cykli pomiarowych wysokości pokrywy śnieżnej, przeciętnie 7 podczas każdego sezonu zimowego. Zebrane wyniki tych pomiarów były in extenso zamieszczane w raportach cząstkowych. W każdym cyklu na stanowisku S19 wykonywano także szurf śnieżny (czyli pionowy przekrój przez warstwę zalegającego śniegu) w celu wyznaczenia ekwiwalentu wodnego pokrywy śnieżnej HSW oraz określenia podstawowych cech fizycznych i strukturalnych zalegającej pokrywy śnieżnej (Ryc. 7). Wyniki pomiarów HSW znajdują się w załączonej bazie danych. Ekwiwalent wodny HSW wyliczany jest jako iloczyn wysokości pokrywy śnieżnej HS i gęstości śniegu, informując o tym jak gruba warstwa wody utworzyłaby się z całkowicie stopionego śniegu.



Ryc. 7. Pomiary porównawcze przekroju pokrywy śnieżnej na Polanie Maliszewskiego [S19] w dniu 1 lutego 2021 roku. Poza HS wyznaczono gęstość śniegu, zapas wody w pokrywie śnieżnej i opisano sekwencję kolejnych warstw widocznych na ścianie szurfu z oznaczeniem ich cech strukturalnych i fizycznych.

Na potrzeby opracowania końcowego zostało dokonane porównanie danych HS z 24 stanowisk z danymi z tych samych dni z posterunku IMGW w Jakuszykach wyznaczając wyrażony w procentach wskaźnik śnieżności WHS. W przypadku gdy w danym stanowisku dysponowano pomiarami z wszystkich 27 dni (tak było w większości stanowisk) wskaźnik WHS powstał jako iloraz sumy 27 pomiarów HS w danym stanowisku i sumy odpowiednich 27 pomiarów HS z tych samych dni w posterunku Jakuszyce-IMGW. W przypadku gdy liczba danych ze stanowisk S1...S24 była mniejsza, tak było zwłaszcza w odniesieniu do stanowisk na terenie Czech wskutek ograniczeń spowodowanych stanem epidemii COVID, dla wyliczenia wskaźnika WHS brano odpowiednio mniejszą liczbę dni, zarówno z danego stanowiska jak i z posterunku Jakuszyce-IMGW.

**Przy założeniu, że wartość WHS dla posterunku Jakuszyce-IMGW wynosi 100%, wartości niższe oznaczają odpowiednio słabsze warunki śniegowe, a wartości wyższe od 100% warunki lepsze. Należy zaznaczyć, że WHS jest wskaźnikiem syntetycznym charakteryzującym śnieżność w danym miejscu średnio w ciągu czterech kolejnych zim, a wpływ na jego kształtowanie mają wartości HS wraz z LDHS. Zatem obraz zróżnicowania pokrywy śnieżnej w świetle wskaźnika WHS może być odmienny od przedstawionego w poszczególnych raportach cząstkowych, które to zróżnicowanie wynikało z właściwego dla danej zimy przebiegu cyrkulacji atmosferycznej i pogody.**

Po wyznaczeniu wskaźnika WHS we wszystkich stanowiskach pomiarowych uszeregowano je według wartości tego wskaźnika w porządku malejącym (Tab. 5). Kolorem tła zostały wyróżnione stanowiska z odchyleniami wskaźnika pomiędzy 80% a 120%, dla których stanowisko Jakuszyce-IMGW można uznać za reprezentatywne w kontekście warunków śniegowych. W tej grupie znalazły się wszystkie stanowiska charakteryzujące najbliższe sąsiedztwo DCS-Jakuszyce czyli S20, S19, S23 z małymi odchyleniami dodatnimi oraz S21 i S22 z bardzo nieznacznymi odchyleniami ujemnymi. Już z tego zestawienia widać, że realizacja inwestycji nie spowodowała mierzalnych zmian w warunkach kształtowania się pokrywy śnieżnej w odległości przekraczającej 100-200 m od GBI. W grupie stanowisk o warunkach śniegowych podobnych do Jakuszyce-IMGW znalazły się także położone w pobliżu S3 i S15, ale także bardziej odległe: S5 (Orle), S8 (Dziczy Jar) i S18 (Bukovec Sedlo), które reprezentują podobne do Jakuszyce-IMGW warunki środowiskowe na śródlęśnych polanach (S5) lub w brzegowych częściach dużych hal (S18 i S8). Nieco wyższa wartość WHS na stanowisku

S18 jest spowodowana jego położeniem na większej wysokości.

Tabela 5. Względny wskaźnik śnieżności WHS [%] w stanowiskach S01...S24 w odniesieniu do posterunku Jakuszyce-IMGW w latach 2019-2023. Zasady konstrukcji wskaźnika WHS opisano w tekście.

Kod stanowiska	Nazwa	H [m n.p.m.]	WHS [%]
S02	Źródlika Kamieńczyka	1245	393%
S01	Szrenica	1332	201%
S12	Cicha Równia	991	176%
S10	Rozdroże pod Cichą Równią	943	155%
S11	Ciekoń	1003	144%
S04	Dział Izerski	881	132%
S07	Las pod Kobylą	820	131%
S06	Izera Mostek	786	128%
S03	Kocieniec Ujście	880	119%
S20	Dukt GDKJ	950	114%
S19	Polana Maliszewskiego	859	114%
S23	Las SW	874	113%
S18	Bukovec Sedlo	910	111%
S15	Dziki Potok	863	109%
<b>JAKU-IMGW</b>	<b>Jakuszyce - IMGW</b>	<b>860</b>	<b>100%</b>
S21	Las nad przełęczą	904	98%
S08	Dziczy Jar	831	98%
S22	Zapora	875	96%
S05	Orle	825	88%
S09	Hala Izerska	845	69%
S17	Horni Polubny	817	69%
S14	Biała Dolina 800	800	67%
S16	Martinske Udoli	635	61%
S13	Biała Dolina 700	700	46%
S24	Szklarska Poręba Dolna	550	26%

Wśród stanowisk o gorszych warunkach śniegowych można wskazać grupę (S9, S17, S14 i S16) z wartościami WHS powyżej 60% oraz dwa stanowiska (S13 i S24) o wartościach poniżej 50%. Stanowiska S9, S17 i S14 położone są na wysokości około 800 m n.p.m., a w przypadku dwóch pierwszych - w miejscach gdzie wiatr wywiewa część śniegu obniżając wartości HS. Stanowisko Biała Dolina 800 (S14) jest położone w górnej części Szklarskiej Poręby w miejscu gdzie w niewielkim stopniu zaczyna zaznaczać się negatywny wpływ zjawisk fenowych na warunki śniegowe. Z drugiej strony brak istotnego wywiewania śniegu poprawia te warunki i w rezultacie powoduje duże podobieństwo warunków śniegowych w S14 do położonej we wnętrzu Gór Izerskich Hali Izerskiej (S9) i sprawia, że Biała Dolina posiada najlepsze warunki śniegowe wśród innych miejsc Szklarskiej Poręby i szerzej wśród wszystkich podkarkonoskich miejscowości w Polsce z Karpaczem włącznie. W miarę postępowania w dół doliny Kamiennej negatywny wpływ fenu szybko narasta i w Szklarskiej Porębie Dolnej (S24) wartość WHS obniża się do 26%, co oznacza słabe i mało stabilne warunki śniegowe.

Z kolei kilka stanowisk wykazuje wyraźnie lepsze warunki śniegowe niż posterunek Jakuszyce-IMGW. W oczywisty sposób należą do nich stanowiska karkonoskie S1 i S2, które położone są o 400-500 m wyżej niż przeciętna wysokość stanowisk z Gór Izerskich i w ślad za tym temperatura w okresie zimowym jest w nich

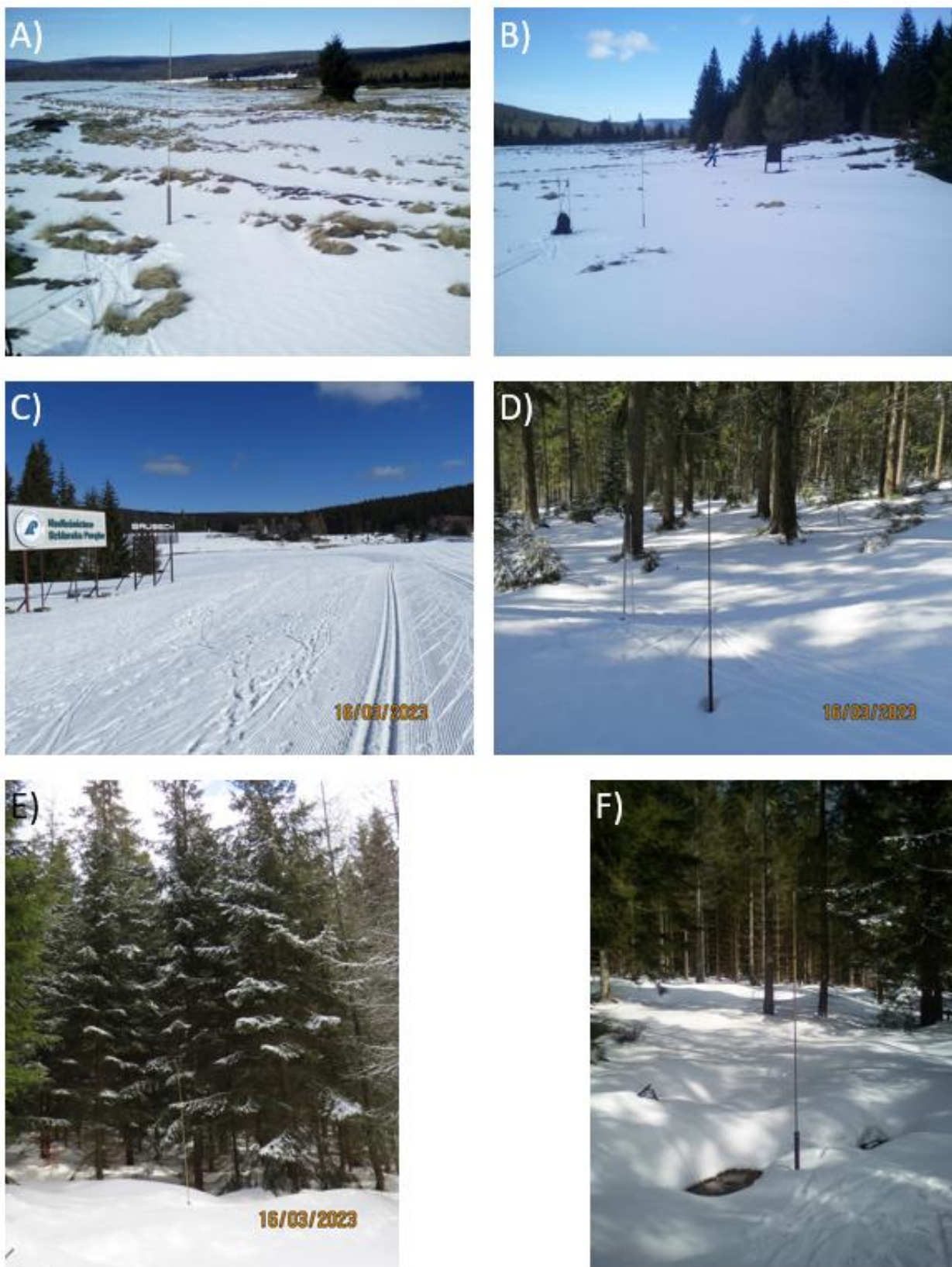
około 2°C niższa. W przypadku S1 wskaźnik śnieżności wyniósł 201%, co pokazuje, że na wierzcholinie Karkonoszy pokrywa śnieżna zalega wyraźnie dłużej i grubszą warstwą niż w Górach Izerskich. W stanowisku S2 dodatkowym czynnikiem powodującym wystąpienie szczególnie dobrych warunków śniegowych jest jego położenie na zawietrznym stoku w strefie górnej granicy lasu, gdzie - wskutek zmniejszającej się prędkości wiatru - deponowany jest śnieg zwiewany z partii szczytowych kopuły Kamiennika (patrz raport cząstkowy z zimy 2022/23). Jedynie w tym stanowisku śnieg zalegał przeciętnie przez pół roku, a maksymalna sezonowa grubość jego warstwy w większości zim przekraczała 200 cm.

Kolejnych pięć stanowisk (S12, S10, S11, S4, S7 i S6) położonych w Górach Izerskich wykazało wyraźne dodatnie odchylenie wskaźnika WHS w stosunku do miejsca odniesienia Jakuszyce-IMGW. W tej grupie przyczyny anomalii dodatkowo także są różnorodne. W pierwszych czterech stanowiskach czynnikiem sprawczym jest połączony wpływ środowiska leśnego w otoczeniu tyczek pomiarowych i stosunkowo dużej wysokości sięgającej nawet 1000 m n.p.m. Szczególnie dobrze jest to widoczne na Cichej Równi (S12) położonej na wysokości 991 m n.p.m. i pokrytej rzadkim lasem o małej zwartości z przewagą drzew nie przekraczających 10 m wysokości. Należy nadmienić, że w świetle wyników badań, z wcześniejszych lat, właśnie las mało zwarty o umiarkowanej wysokości najbardziej sprzyja gromadzeniu śniegu i trwaniu pokrywy śnieżnej u schyłku zimy i na wiosnę. Podstawowe przyczyny to tendencja do nawiewania śniegu w takie miejsca z terenów otwartych oraz osłanianie powierzchni śniegu przed insolacją. W wysokich drzewostanach o dużej zwartości koron, zalega mniej śniegu z uwagi na zatrzymywanie znacznej części opadu atmosferycznego w koronach drzew, jego topnienie podczas dnia i spływanie wody na pokrywę śnieżną poniżej, prowadzące do dalszego ubytku śniegu.



Ryc. 8. Wiosenne zanikanie śniegu na Hali Iżerskiej w 2021 roku. Kolejne ujęcia pochodzą z 19, 22 i 27 kwietnia oraz 2 maja 2021 (źródło: [https://www.worldcam.pl/kamery/polska/swieradow\\_zdroj/19414-chatka-gorzystow](https://www.worldcam.pl/kamery/polska/swieradow_zdroj/19414-chatka-gorzystow)).





Ryc. 9. Wybrane stanowiska pomiarowe podczas wiosennego tania pokrywy śnieżnej w dniu 16 marca 2023 roku, [A] S9 Hala Izerska, [B] S8 Dzikich Jar, [C] S19 Polana Maliszewskiego, [D] S21 Las nad Przełęczą, [E] Izera Mostek i [F] S4 Dział Izerski.

Bardzo ciekawe jest zachowanie pokrywy śnieżnej w stanowiskach S7 i S6, które położone są znacznie niżej od pierwszej grupy, a także od Jakuszyca-IMGW, a mimo to ich wskaźnik WHS oscyluje wokół 130%. Do tak dobrego zaśnieżenia przyczynia się głównie położenie niemal w osi doliny Izery, już poniżej Hali Izerskiej,

zaledwie o kilka metrów wyżej niż poziom wody w rzece. Otóż śródgórska kotlina Hali Izerskiej bardzo często stanowi w godzinach nocnych duży rezerwar mroźnego powietrza tworzącego się wskutek wypromieniowania ciepła w przestrzeń pozaziemską i gromadzącego się w obniżeniach terenowych. Podczas nocy i w pierwszej części dnia powietrze to stopniowo spływa grawitacyjnie w dół doliny Izery przyczyniając się do obniżenia temperatury powietrza wzdłuż jej biegu. Skutkiem takiego procesu jest konserwacja pokrywy śnieżnej oraz opóźnienie topnienia i zaniku śniegu zwłaszcza w miesiącach od lutego do kwietnia. Potwierdzeniem tej prawidłowości jest zaskakująco wysoka wartość WHS w stanowisku S16 Martinske Udoli (61%), aż o 15 punktów procentowych wyższa niż w S13 i 35 punktów wyższa niż w S24, czyli w miejscach sąsiednich wg kryterium wysokościowego. Stanowisko S16 jest także położone nad Izerą w dół jej biegu od S6 i nawet tam sięga spływ chłodnego powietrza z rejonu Hali Izerskiej przyczyniając się do względnej poprawy warunków śniegowych.

Dla zilustrowania charakteru ablacji w przypadku długo trwającej pokrywy śnieżnej zamieszczono fotografie z kolejnych etapów topnienia śniegu na Hali Izerskiej (Ryc. 8) w kwietniu/maju 2021 r. oraz w przypadku wczesnej ablacji – zdjęcia z 16 marca 2023 r. z kilku stanowisk pomiarowych (Ryc. 9).

Zdjęcia ilustrują zaawansowanie topnienia śniegu np. A i B z wyraźnie widocznymi efektami ablacji, F z widocznym wytopiskiem w środowisku leśnym, C z początkowymi objawami ablacji oraz D i E bez widocznych skutków topnienia śniegu.

### **Porównanie warunków śniegowych w Górach Izerskich z rejonem Zakopanego**

Autorzy opracowania uznali za istotne porównanie warunków śniegowych podczas omawianych sezonów zimowych w Jakuszycach i szerzej w Górach Izerskich z Podtatrzem (od Witowa na zachodzie przez Kiry, Kościelisko, Zakopane, Olczę, Cyrlę po okolice Bukowiny Tatrzańskiej i Jurgowa na wschodzie) reprezentowanym przez stację synoptyczną Zakopane. Porównanie to jest szczególnie zasadne z uwagi na położenie w tym samym piętrze wysokości tzn. od 800 do 1100 m n.p.m., na podobne ukształtowanie terenu sprzyjające narciarstwu biegowemu i wreszcie na dużą popularność turystyczną obydwu obszarów. Wątek ten nie był explicite zawarty w umowie na wykonanie niniejszego opracowania, ale jego rozwinięcie może rzucić dodatkowe światło na zasadność (lub jej brak) lokalizacji centrum narciarskiego właśnie w Jakuszycach.

Stacja synoptyczna w Zakopanem jest położona na tej samej wysokości co posterunek w Jakuszycach czyli 860 m n.p.m. - sprawia to, że przeprowadzone porównania nie są obciążone wpływem wysokości bezwzględnej. Dane dotyczące charakterystyki pokrywy śnieżnej w Zakopanem w kontekście sytuacji w Sudetach Zachodnich zamieszczono we wcześniej prezentowanych tabelach i rycinach (Tab. 4 i 5, Ryc. 3 i 6). Jeśli zestawzić wartości zmiennych HS, LDHS, LDHSC i HSX (Tab. 4 i Ryc. 6) z lat 2019-2023 w Zakopanem i w posterunku Jakuszyce-IMGW, to wyraźna jest różnica na korzyść warunków śniegowych w Jakuszycach. Odpowiednie pary danych z obydwu stacji to: LDHS 109 dni w Zakopanem i 128 dni w Jakuszycach, LDHSC 75 i 95 dni, HSX 57 i 82 cm. Pokrywa śnieżna w rejonie Jakuszyce była więc bardziej długotrwała, grubsza i rzadziej podlegała przerwom wywołanym okresowym ociepleniami podczas trwania zimy. Przekłada się to na zdecydowanie lepsze i bardziej trwałe warunki śniegowe w Górach Izerskich niż na Podtatrzu.

Występujące różnice najlepiej wyraża wskaźnik śnieżności WHS, który wyniósł w Zakopanem 49% przy wartości 100% w Jakuszycach. Jeśli Zakopane umieścić wśród danych WHS z 25 stanowisk w terenie opracowania (Tab. 5), to okaże się że warunki śniegowe są bliskie tym, które występują na wysokości 700 m n.p.m. w Górach Izerskich w stanowisku S13. Warto podkreślić, że stanowiska S16 (640 m n.p.m.) i S6 (786 m n.p.m.), położone znacząco niżej od Zakopanego, wykazują odpowiednio wartość WHS 61% i 128%. Przedstawione dane pozwalają na jednoznaczne stwierdzenie występowania zdecydowanie lepszych warunków śniegowych w Górach Izerskich niż na Podtatrzu. Przyczyn takiej sytuacji należy upatrywać w wyraźnych różnicach klimatu obydwu obszarów. O ile Podtatrze leżące bezpośrednio po północnej stronie Tatr znajduje się pod wpływem częstych i bardzo intensywnych zjawisk fenowych, o tyle na wierzchołach Gór

Izerskich – w tym w Jakuszycach i w zdecydowanej większości omawianych 24 stanowisk pomiarowych – te zjawiska nie występują. Zjawiska fenowe występujące po zawietrznej stronie wysokich pasm górskich są odpowiedzialne za raptowne ocieplenia, głównie w chłodnej połowie roku, i często prowadzą do gwałtownego tajania pokrywy śnieżnej, nawet do jej całkowitego zaniku.

Warto przypomnieć, że wiatry fenowe są także zjawiskiem charakterystycznym dla polskiej strony Karkonoszy, gdzie występują równie często i z podobną intensywnością jak na Podtatrzu. Wskutek tego warunki śniegowe w polskich miejscowościach u podnóża Karkonoszy (oraz na wyżej leżących stokach w strefie 700 do 1000 m n.p.m.) od Szklarskiej Poręby przez Michałowice, Jagniątków, Przesiekę, Borowice po Karpacz i Kowary są o wiele gorsze niż w sąsiednich Górach Izerskich. Ta tendencja zaznacza się w niewielkim stopniu już w rejonie Szklarskiej Poręby – Biała Dolina, szybko rośnie w miarę postępowania na wschód wzdłuż biegu Kamiennej (S24 – Szklarska Poręba Dolna) i osiąga największe natężenie od Michałowic przez kolejne miejscowości aż po Kowary. Dalej na wschód w Bramie Lubawskiej oddziaływanie fenu ponownie maleje, chociaż nie zanika całkowicie.

### **Wpływ inwestycji na pokrywę śnieżną**

Podczas realizacji inwestycji polegającej na budowie DCS-Jakuszyce wykonano szeroko zakrojone prace ziemne oraz konstrukcyjne, które spowodowały zmiany w charakterze podłoża atmosfery oraz wprowadziły nowe obiekty zmieniające do pewnego stopnia przepływ powietrza podczas trwania opadów śniegu lub podczas zamieci śnieżnych (Ryc. 10). Potencjalne skutki tych działań obejmują:

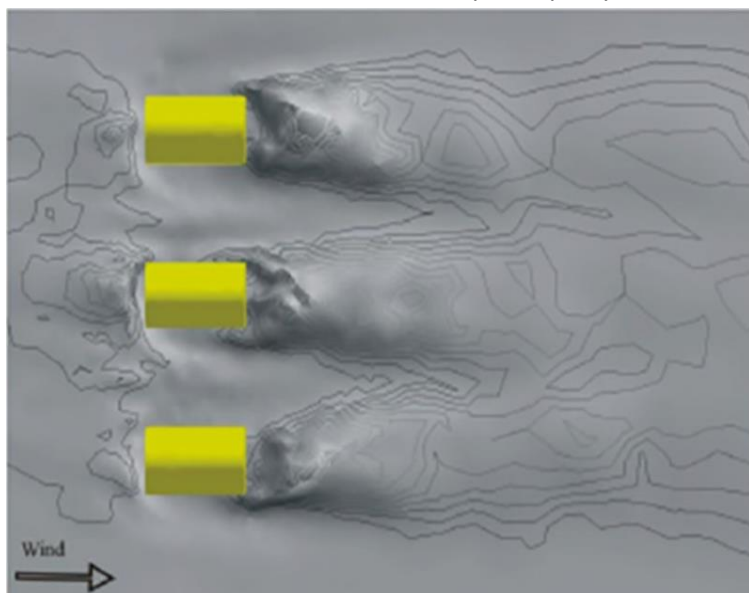
1. Zmiany wymiany ciepła pomiędzy podłożem i atmosferą. Wprowadzenie powierzchni sztucznych w miejsce naturalnych – np. betonu i asfaltu zamiast trawy lub innej roślinności – zmienia albedo podłoża oraz powoduje drastyczny wzrost przewodnictwa cieplnego na kontakcie podłoża z atmosferą. Ponadto, z uwagi na sprawne odprowadzanie wody opadowej po powierzchniach sztucznych i ich szybkie wysychanie po opadzie atmosferycznym, zmniejszone są straty ciepła na parowanie wody (Ryc. 11A). Sumaryczny efekt tych czynników polega na podniesieniu temperatury podłoża utrudniając pojawienie się pokrywy śnieżnej, a po jej utworzeniu prowadzić może do stopniowego topnienia śniegu od spodu. Rola tego czynnika może się zaznaczać tylko przy dodatniej temperaturze powietrza lub w okolicach 0 °C, zanika całkowicie przy mroźnej pogodzie.
2. Emisja ciepła sztucznego związana w głównie z ogrzewaniem budynków oraz pracą różnego typu urządzeń i instalacji zasilanych elektrycznie lub silnikami spalinowymi. Skutkiem jest głównie przyspieszone topnienie śniegu zgromadzonego na dachach i przy ścianach budynków (Ryc. 11 B i C).
3. Zmiany pola przepływu powietrza. Wokół budynku oraz innych nowo wprowadzonych obiektów mogą się pojawiać obszary ze zwiększonym wywiewaniem śniegu, a w innych miejscach obszary jego dodatkowej akumulacji w postaci tworzących się zasp śnieżnych. Rozmieszczenie takich obszarów zależy od kierunku i prędkości wiatru, największe zasy tworzą się zwykle po stronie zawietrznej i w mniejszym stopniu po dowieznej budynku a śnieg jest wywiewany w bezpośrednim sąsiedztwie ścian, szczególnie po bokach budynku (Ryc. 10). Ten czynnik jest szczególnie istotny przy dużej prędkości wiatru i ujemnej temperaturze powietrza gdyż suchy śnieg jest szczególnie podatny na przewiewanie.

Sieć pomiarowa pokrywy śnieżnej służąca do realizacji projektu zawierała 5 stanowisk w odległości mniejszej niż 1 km od GBI (nr 19, 20, 21, 22 i 23), z czego 2 stanowiska (nr 21 i 22) zlokalizowano w odległości poniżej 100 m od GBI. W żadnym z tych miejsc nie stwierdzono jakiegokolwiek wpływu inwestycji na warunki tworzenia się, zalegania i zaniku pokrywy śnieżnej. Czynniki, o których mowa powyżej w punktach 1-2, mogą mieć istotny wpływ na pokrywę śnieżną w odległości do 10 m od GBI oraz mieć drugorzędny wpływ na pokrywę śnieżną w miejscach gdzie w podłożu wprowadzono powierzchnie sztuczne w miejsce naturalnych. W odniesieniu do czynnika w p. 3 stwierdzono występowanie opisanych efektów w odległości poniżej 100 m po stronie zawietrznej i dowieznej GBI oraz do około 30 m po bokach GBI w stosunku do przeważającego kierunku wiatru. W Jakuszycach wiatr o odpowiednio dużej prędkości najczęściej wieje z kierunku SW

i w drugiej kolejności NE, stąd sąsiedztwo GBI od strony NE wykazuje dodatkową akumulację śniegu i w nieco mniejszym stopniu dotyczy to sąsiedztwa od strony SW. Z kolei w wąskich strefach (20-30 m) po stronie SE i w mniejszym stopniu po stronie NW w stosunku do GBI zaobserwowano strefy wywiewania śniegu, co prowadziło do obniżenia grubości śniegu w tych miejscach.

W naszej opinii opisane efekty mogą mieć praktyczne znaczenie dla warunków narciarskich głównie na początku i końcu sezonu zimowego gdy pokrywa śnieżna dopiero się kształtuje lub stopniowo zanika wskutek topnienia oraz w czasie głębokich odwilży prowadzących do istotnej redukcji istniejącej pokrywy śnieżnej. Wydaje się, że operator DCS-Jakuszyce dysponujący odpowiednim sprzętem do utrzymania tras narciarskich może skutecznie ograniczać negatywne skutki lokalnego zmniejszenia grubości zalegającego śniegu.

Z powodów oczywistych (rozległy plac budowy wyłączony z publicznego dostępu) nie prowadzono pomiarów pokrywy śnieżnej w bezpośrednim sąsiedztwie GBI i przedstawione tu uwagi wynikają z obserwacji obszaru i otoczenia DCS-Jakuszyce już po zakończeniu budowy, a więc z ostatniego sezonu pomiarowego 2022/23. Aby bardziej precyzyjnie określić wpływ inwestycji na pokrywę śnieżną w jej najbliższym sąsiedztwie konieczne byłoby przeprowadzenie osobnych pomiarów obejmujących obszar w odległości co najwyżej 500 m od GBI w osi SW - NE i do 100-200 m w kierunku prostopadłym.



Ryc. 10. Rozkład przestrzenny śniegu wokół budynków jako rezultat modelowania (Yoshihide T., Computational fluid dynamics simulation of snowdrift around buildings: Past achievements and future perspectives, Cold Regions Science and Technology, doi.org/10.1016/j.coldregions.2017.05.004).





Ryc. 11. Oznaki wpływu DCS-Jakuszyce na zaleganie pokrywy śnieżnej w dniu 16.03.2023: [A] wytapianie śniegu na utworzonej skarpie, [B] pokrywa śnieżna wokół GBI, [C] wytapianie śniegu przy ścianach jednego z obiektów towarzyszących.

## **Wnioski**

Realizacja projektu prowadzonego przez cztery kolejne zimy w latach 2019 – 2023 pozwala na sformułowanie następujących wniosków:

- 1) Analizowane sezony zimowe były wyraźnie cieplejsze niż średnio w wieloleciu i normalne pod względem opadowym, co spowodowało bardzo dużą anomalię ujemną warunków śniegowych w dolnych partiach gór, niewielką anomalię ujemną w partiach środkowych i brak istotnej anomalii w górnym piętrze Karkonoszy.
- 2) Utrzymanie obserwowanej tendencji do ocieplania klimatu spowoduje dalsze pogarszanie się warunków śniegowych w rejonie Jakuszyce.
- 3) W trakcie prowadzonego monitoringu nie stwierdzono żadnego oddziaływania nowo powstałego Ośrodka Narciarstwa Biegowego i Biathlonu w Jakuszycach na pokrywą śnieżną w odległości większej niż 100 m od Głównego Budynku Inwestycji.
- 4) Niewielkie negatywne zmiany w zaleganiu pokrywy śnieżnej zauważono w bezpośrednim sąsiedztwie GBI polegające zwłaszcza na wywiewaniu śniegu spod ścian równoległych do kierunku wiatru oraz na przyspieszonym topnieniu śniegu pod wszystkimi ścianami, szczególnie od strony południowej.
- 5) Efekty wymienione w punkcie 4 mogą być bez większych trudności skorygowane przy pomocy odpowiedniego sprzętu (ładowarki, ratraki itp.) przez operatora DCS-Jakuszyce.
- 6) Porównanie danych z Jakuszyce i Zakopanego wskazuje na znacznie lepsze warunki śniegowe w Górach Izerskich niż na Podtatrzu. Co więcej, nigdzie w Polsce poza Górami Izerskimi, warunki śniegowe na podobnej wysokości n.p.m. nie są równie dobre. W ten sposób potwierdziła się zasadność decyzji o lokalizacji DCS-Jakuszyce właśnie w Jakuszycach, a nie w innym miejscu na terenie kraju.

## **Rekomendacje w odniesieniu do określenia warunków progowych i zasad organizowania działań sportowo – rekreacyjnych na Polanie Jakuszyckiej w obrębie Gór Izerskich**

- 1) Współczesne warunki klimatyczne pozwalają na funkcjonowanie DCS-Jakuszyce w kontekście narciarstwa biegowego przeciętnie przez około 100 dni w sezonie zimowym.
- 2) Dalsze ocieplenie klimatu, zgodne ze scenariuszami IPCC, może spowodować w perspektywie kilkunastu lat rosnące problemy z zapewnieniem odpowiednich warunków śniegowych szczególnie na początku i pod koniec sezonu zimowego oraz podczas głębokich zimowych odwilży.
- 3) Przy wskazaniu dolnego kryterium możliwości uprawiania narciarstwa biegowego można zastosować wymiennie próg HS równe co najmniej 20 cm lub ekwiwalent wodny pokrywy śnieżnej równy co najmniej 30 mm.
- 4) Bieżące dane meteorologiczne ze stacji JAKU-IMGW, w tym zwłaszcza dane dotyczące wysokości pokrywy śnieżnej i ekwiwalentu wodnego śniegu są reprezentatywne dla bezpośredniego otoczenia DCS-Jakuszyce, w którym znajdowały się stanowiska pomiarowe S19...S23. W przypadku ich udostępnienia przez IMGW mogą być użyte przez operatora w kwestiach związanych z zarządzaniem obiektem. Na terenie DCS rekomendujemy instalację automatycznego rejestratora wysokości pokrywy śnieżnej pokazującego jej zmiany w czasie rzeczywistym.
- 5) W celu doprecyzowania wpływu DCS-Jakuszyce na pokrywą śnieżną w najbliższym sąsiedztwie obiektu należałoby przeprowadzić pomiary obejmujące obszar w odległości do 500 m od GBI w osi SW - NE i do 100-200 m w kierunku prostopadłym.
- 6) W celu pełniejszej informacji o stanie pokrywy śnieżnej uważamy za celowe prowadzenie jej codziennego monitoringu dodatkowo w kilku miejscach szerszego otoczenia DCS-Jakuszyce gdzie stwierdzono odstępstwa zarówno dodatnie jak i ujemne w warunkach zalegania śniegu w stosunku do samej Polany

Jakuszyckiej. Są to wysoko położone okolice stanowisk S12, S10 i S11 oraz Dolina Izery pomiędzy S7 a S6 i dalej w dół biegu rzeki - reprezentujące szczególnie dobre warunki śniegowe, a z drugiej strony otwarte przestrzenie Hali Izerskiej np w rejonie stanowiska S9 gdzie warunki śniegowe są słabsze. Zalecany okres prowadzenia monitoringu – od 1 grudnia do 30 kwietnia.

- 7) Okolice Jakuszyca stwarzają pewne możliwości gromadzenia zapasu śniegu, który może być następnie użyty do uzupełnienia pokrywy śnieżnej na trasach narciarskich w miejscach jej szybszego zanikania. Jako dostępne miejsce pozyskiwania śniegu wskazujemy teren wzdłuż drogi prowadzącej z Jakuszyca przez Rozdroże pod Cichą Równią do dawnej kopalni Stanisław. Ponadto można rozważyć możliwość produkowania śniegu technicznego wykorzystując teren położony w dolinie górnej Kamiennej, wzdłuż utwardzonej drogi od ujścia potoku Kocieniec (S3) w dół i po przekroczeniu Szosy Czeskiej przez okolice stacji IMGW po ujście potoków spływających z masywu Zielonej Kopy poniżej stanowiska S15. Uzasadnieniem dla takiej lokalizacji wytwarzania śniegu technicznego są stosunkowo częste nocne inwersje temperatury powietrza w dolinie Kamiennej stwarzające odpowiednie warunki termiczne oraz sąsiedztwo cieków stanowiących potencjalne źródło wody.
- 8) Jako uzupełniającą metodę prowadzenia monitoringu można rozważyć techniki teledetekcji. W przypadku metod opartych o dane satelitarne należy sprecyzować jaka jest dokładność i rozdzielczość przestrzenna proponowanej metody, jakie są jej ograniczenia związane z częstotliwością wykonywanych zdjęć, z warunkami pogodowymi (zwłaszcza zachmurzeniem) i z pokryciem terenu przez las. Warto uwzględnić, że do monitorowania pokrywy śnieżnej z bardzo dużą rozdzielczością przestrzenną używane są także drony.