

# TEPLOTNÉ INVERZIE A ICH VPLYV NA SNEHOVÚ POKRÝVKU V SLOVENSKÝCH KARPATOCH

Mgr. Jakub Ridzoň

Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 833 15, Bratislava, Slovakia

[jakub.ridzon@shmu.sk](mailto:jakub.ridzon@shmu.sk)

## Anotácia

---

Teplotné inverzie boli identifikované pre oblasť slovenských Karpát a hodnotené z hľadiska intenzity a dĺžky trvania inverzie. V príspevku bol analyzovaný vplyv teplotných inverzií na výšku snehovej pokrývky vo vybraných profiloch v slovenských Karpatoch. Analýza vplyvu bola skúmaná na základe údajov o priemernej dennej teplote vzduchu a údajov o výške snehovej pokrývky (pre mesiace december, január, február a marec) za obdobie rokov 1999 - 2018.

**Kľúčové slová:** teplota vzduchu, snehová pokrývka, teplotná inverzia, Slovensko.

## Annotation

---

Temperature inversions were identified for the Slovak Carpathians and evaluated in terms of intensity and duration of inversion. The paper analyzed the influence of temperature inversions on the snow cover in selected profiles in the Slovak Carpathians. The impact analysis was examined on the basis of the average daily air temperature and snow cover data (for December, January, February and March) for the period 1999-2018.

**Key words:** air temperature, snow cover, temperature inversion, Slovakia.

## 1 Úvod

---

Teplotná inverzia je stav atmosféry, kedy teplota vzduchu s narastajúcou výškou stúpa. Teplotné inverzie sú v prírodných podmienkach Slovenska častým javom, ktorý sa vyskytuje prevažne v zimnom období, najmä v horských oblastiach. V klimatických podmienkach Slovenska môžu trvať niekoľko dní až týždňov. Teplotné inverzie sa najčastejšie vytvárajú pri anticyklonálnych poveternostných situáciách. Inverzné poveternostné situácie ovplyvňujú počasie, pričom asi najznámejším je vplyv na kvalitu ovzdušia.

Problematikou teplotných inverzií na území Slovenska sa zaoberal Petrovič vo svojich prácach z rokov 1953 a 1967. Autor v prácach sledoval inverzie v dolinách pod Tatrami. Za základ zobral rozdiely teplôt z termínových pozorovaní, maximálnych i minimálnych teplôt, ako aj rozdiely priemerných denných teplôt. Inverzie klasifikoval podľa intenzity

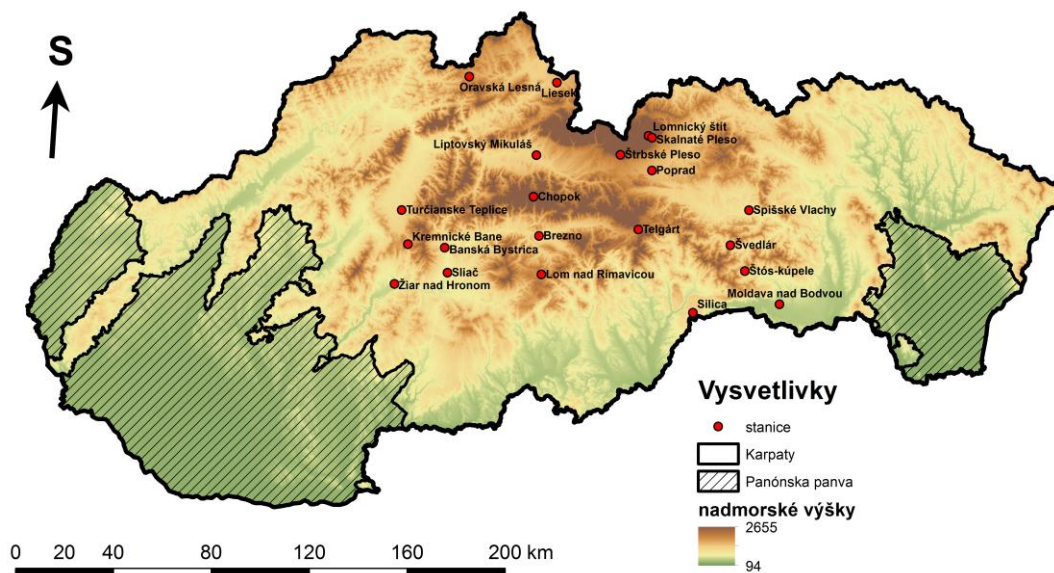
a dĺžky trvania inverzie. V práci z roku 1967 autor spracoval aj vplyv typických poveternostných situácií na výskyt inverzií rozdelením na anticyklonálne a cyklonálne situácie.

Problematikou snehovej pokrývky na území Slovenska sa prvýkrát zaoberali autori Konček a Briedoň v roku 1964. Ďalej sa v roku 1988 snehovým pomerom na území Slovenska venovali autori Šamaj a Valovič. Problematike teplotných inverzií vo vzťahu k snehovej pokrývke sa venovali v zahraničí autori Kirschner et al. (2013), ako aj Hiebl a Schöner (2018). Autori Hiebl a Schöner (2018) vo svojej práci konštatujú, že nezistili žiadny vzťah medzi inverznými parametrami a trvaním snehovej pokrývky ( $r = -0,05$  a  $0,14$ ). Tieto výsledky sú v súlade s výsledkami Kirschnera et al. (2013), ktorý tiež nezistil žiadny významný vplyv snehovej pokrývky na rozloženie teploty vzduchu v sledovanom údolí.

Tento príspevok bol zameraný na hodnotenie teplotných inverzií a ich vplyvu na snehovú pokrývku v slovenských Karpatoch. Cieľom príspevku bolo analyzovať vplyv teplotných inverzií na výšku snehovej pokrývky v slovenských Karpatoch a overiť hypotézu, že teplotné inverzie majú vplyv na výšku snehovej pokrývky v slovenských Karpatoch.

## 2 Údaje a metodika

Záujmové územie tejto práce sú Karpaty na území Slovenska. V tomto príspevku sme pracovali s údajmi, ktoré nám boli poskytnuté od Slovenského hydrometeorologického ústavu (SHMÚ). Boli nám poskytnuté denné údaje o priemernej dennej teplote vzduchu a denné údaje o výške snehovej pokrývky pre obdobie rokov 1999 - 2018, konkrétne za mesiace december, január, február a marec pre 21 vybraných meteorologických staníc (Obrázok 1).



*Obrázok 1: Záujmové územie s vybranými meteorologickými stanicami*

Pre hodnotenie teplotných inverzií, ako aj ich vplyvu na snehovú pokrývku, sme potrebovali údaje z meteorologických staníc v kotlinových a horských oblastiach. Kotlinové oblasti nám charakterizovali meteorologické stanice Brezno, Banská Bystrica, Sliač, Žiar nad Hronom,

Turčianske Teplice, Liesek, Liptovský Mikuláš, Poprad, Spišské Vlachy, Švedlár a Moldava nad Bodvou. Horské oblasti nám charakterizovali meteorologické stanice Oravská Lesná, Kremnické Bane, Chopok, Telgárt, Štrbské Pleso, Skalnaté Pleso, Lomnický štít, Lom nad Rimavicou, Štós-kúpele a Silica.

Vytvorili sme 52 profilov, na ktorých sme hodnotili teplotné inverzie, ako aj ich vplyv na snehovú pokrývku. Jednotlivé profily sme začlenili do týchto skupín: profil dolina - dolina (9 profilov), profil svah - svah (1 profil), profil hrebeň - hrebeň (1 profil), profil dolina - svah (17 profilov), profil svah - hrebeň (9 profilov) a profil dolina - hrebeň (15 profilov). V rámci tohto príspevku boli prezentované len vybrané profily.

Vymedzenie inverzných dní bolo uskutočnené na základe porovnania priemernej dennej teploty vzduchu, pričom kladný rozdiel  $> 0,1$  °C medzi dvomi vybranými stanicami nám definoval inverzný deň. Rozdiel medzi priemernými teplotami vzduchu medzi stanicami sme vypočítali nasledovne:

$$\text{priemerná denná teplota vzduchu na stanici s vyššou nadmorskou výškou} - \text{priemerná denná teplota vzduchu na stanici s nižšou nadmorskou výškou}.$$

Identifikované dni s kladným rozdielom sme považovali za inverzné dni. Pre každý profil bol určený počet inverzných dní, počet inverzných poveternostných situácií, ako aj počet dní s jednotlivými typmi teplotného zvrstvenia (inverzia, izotermia, normálne zvrstvenie) za celé sledované obdobie.

Intenzitu inverzií sme klasifikovali podľa prác Petroviča (1953, 1967), ktorý inverzie rozdelil podľa veľkosti rozdielu hodnôt priemernej dennej teploty vzduchu medzi stanicami (Tabuľka 1).

**Tabuľka 1: Rozdelenie inverzií z hľadiska intenzity podľa Petroviča (1953, 1967)**

rozdiel teplôt (°C)	typ
0,1 - 3,0	slabé
3,1 - 6,0	stredne silné
6,1 - 9,0	silné
9,1 - 12,0	mohutné
12,1 a viac	mimoriadne mohutné

Dĺžku trvania inverzií sme klasifikovali tiež podľa prác Petroviča (1953, 1967), ale s úpravou pre denné údaje (Tabuľka 2), nakoľko autor túto klasifikáciu používal pre termínové údaje teploty vzduchu.

**Tabuľka 2: Rozdelenie inverzií z hľadiska trvania podľa Petroviča (1953, 1967), upravené pre denné údaje**

trvanie (deň)	typ
1	krátkodobé
2 - 4	strednodobé
5 a viac	dlhodobé

Pre vybrané charakteristiky inverzií (počet inverzných dní, počet inverzných poveternostných situácií, maximálna intenzita inverzie) sme spracovali aj mapové výstupy. Mapové výstupy boli spracované pre vybrané kotliny na sledovanom území: Žiarska kotlina (profil Žiar

nad Hronom - Chopok), Zvolenská kotlina (profil Sliač - Chopok), Popradská kotlina (profil Poprad - Chopok), Liptovská kotlina (profil Liptovský Mikuláš - Chopok), Hornádska kotlina (profil Spišské Vlasy - Chopok), Horehronské podolie (profil Brezno - Chopok), Oravská kotlina (profil Liesek - Chopok) a Turčianska kotlina (profil Turčianske Teplice - Chopok).

V poslednej časti sme si na zhodnotenie závislosti intenzity inverzie na výšku snehovej pokrývky vybrali 5 vybraných časových období, počas ktorých bola identifikovaná teplotná inverzia počas anticyklonálnej poveternostnej situácie (údaje o poveternostných situáciách sme získali zo stránky SHMÚ) a rozdiel úbytkov výšky snehovej pokrývky medzi stanicami bol výrazný. Boli to tieto časové obdobia: 6.2.2001 - 8.2.2001, 9.1.2002 - 11.1.2002, 2.2.2002 - 3.2.2002, 4.2.2004 - 5.2.2004 a 15.3.2004 - 17.3.2004.

Na výpočet závislostí sme použili Pearsonov koeficient korelácie  $r$  a koeficient determinácie  $r^2$ . Závisle premennou  $Y$  bola výška snehovej pokrývky a nezávisle premennou  $X$  bola intenzita inverzie. Na výpočet Pearsonovho koeficientu korelácie  $r$  sme použili funkciu (=PEARSON) a na výpočet koeficientu determinácie  $r^2$  sme použili funkciu (=RSQ) v programe Microsoft Office Excel. Počas celého výskumu sme pracovali v programoch Microsoft Office Excel a ArcGIS.

### 3 Výsledky

#### Počet inverzných dní a počet inverzných poveternostných situácií

V období rokov 1999 - 2018 (konkrétne za mesiace december, január, február a marec) bol pre každý vybraný profil určený počet inverzných dní a počet inverzných poveternostných situácií.

V sledovanom období sme z vybraných profilov najväčší počet inverzných dní zaznamenali na profile Sliač - Turčianske Teplice (970 inverzných dní; 42,1 %). V tomto prípade išlo o profil typu dolina - dolina.

Lukniš a Plesník (1961) v práci Nížiny, kotliny a pohoria Slovenska zaraďujú Zvolenskú kotlinu (stanica Sliač) medzi kotliny stredného výškového stupňa a Turčiansku kotlinu (stanica Turčianske Teplice) medzi vysoko položené kotliny. Pri profile Sliač - Turčianske Teplice môžeme vidieť, že počet inverzných dní sa pomerne výrazne prejavuje aj medzi kotlinami stredného výškového stupňa a vysoko položenými kotlinami. Ďalším príkladom je aj profil Spišské Vlasy - Poprad, kde sme zaznamenali 639 inverzných dní. V tomto prípade ide o rozdiel medzi Hornádskou kotlinou (stanica Spišské Vlasy), ktorá patrí medzi kotliny stredného výškového stupňa a Popradskou kotlinou (stanica Poprad), ktorá patrí medzi vysoko položené kotliny.

Naopak, najmenší počet inverzných dní sme zaznamenali na profile Kremnické Bane - Chopok (159 inverzných dní; 6,9 %). V tomto prípade išlo o profil typu svah - hrebeň. V tomto prípade môžeme vidieť, že vo vyšších nadmorských výškach (stanica Kremnické Bane - 758 m n. m.) sa teplotné inverzie netvoria tak často. Inverzie sa väčšinou tvoria v dolinách a kotlinách, preto sa na tomto profile nevyskytol taký veľký počet inverzných dní. Podobným zastúpením je významný aj profil Telgárt - Chopok (175 inverzných dní; 7,6 %).

S počtom inverzných dní priamo súvisí aj počet inverzných poveternostných situácií. V sledovanom období sme z vybraných profilov najväčší počet inverzných poveternostných situácií znova zaznamenali na profile Sliač - Turčianske Teplice (340 inverzných poveternostných situácií). Naopak, najmenší počet inverzných poveternostných situácií sme znova zaznamenali na profile Kremnické Bane - Chopok (71 inverzných poveternostných

situácií). Počet inverzných dní a počet inverzných poveternostných situácií pre ďalšie profily je uvedený v tabuľke 3.

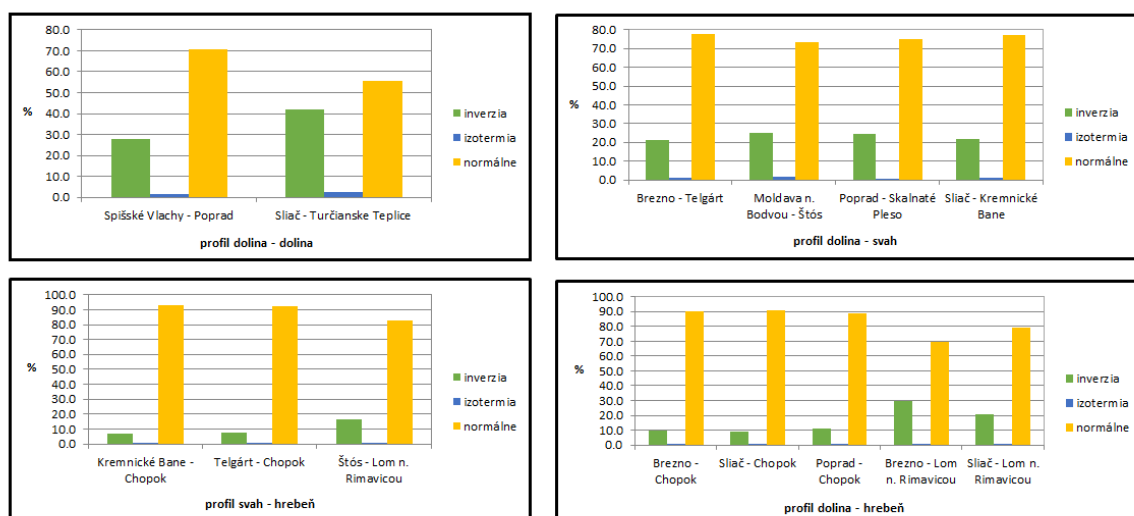
**Tabuľka 3: Počet inverzných dní a inverzných poveternostných situácií vo vybraných profiloch**

stanica ↓	stanica ↑	typ	rozdiel (H)	počet dní	%	počet situácií
Spišské Vlachy	Poprad	dolina - dolina	314	639	27,7	323
Sliač	Turčianske Teplice	dolina - dolina	209	970	42,1	340
Sliač	Kremnické Bane	dolina - svah	445	503	21,8	221
Brezno	Telgárt	dolina - svah	414	495	21,5	221
Moldava nad Bodvou	Štós-kúpele	dolina - svah	376	579	25,1	277
Poprad	Skalnáté Pleso	dolina - svah	1084	566	24,6	203
Sliač	Lom nad Rimavicou	dolina - hrebeň	705	470	20,4	202
Brezno	Lom nad Rimavicou	dolina - hrebeň	531	684	29,7	267
Brezno	Chopok	dolina - hrebeň	1518	228	9,9	89
Poprad	Chopok	dolina - hrebeň	1311	257	11,2	106
Sliač	Chopok	dolina - hrebeň	1692	202	8,8	75
Kremnické Bane	Chopok	svah - hrebeň	1247	159	6,9	71
Telgárt	Chopok	svah - hrebeň	1104	175	7,6	88
Štós-kúpele	Lom nad Rimavicou	svah - hrebeň	438	385	16,7	191

### Počet dní s jednotlivými typmi teplotného zvrstvenia (inverzia, izotermia, normálne)

V sledovanom období bol pre vybrané profily zhodnotený aj počet dní s jednotlivými typmi teplotného zvrstvenia (inverzia, izotermia, normálne zvrstvenie).

Počet dní s inverziou tvoril pomerne zastúpenie od 7 % na profile Kremnické Bane - Chopok do 42 % na profile Sliač - Turčianske Teplice. Počet dní s izotermiou tvorilo vo všetkých vybraných profiloch veľmi malé zastúpenie, maximálne 2,5 % na profile Sliač - Turčianske Teplice. Vo všetkých profiloch prevažovalo normálne teplotné zvrstvenie, od 55 % na profile Sliač - Turčianske Teplice do 93 % na profile Kremnické Bane - Chopok. Percentuálne zastúpenie počtu dní s jednotlivými typmi teplotného zvrstvenia (inverzia, izotermia, normálne zvrstvenie) pre ďalšie profily je uvedené na obrázku 2.



**Obrázok 2: Percentuálne zastúpenie dní s inverziou, izotermiou a normálnym zvrstvením pre vybrané profily**

## Intenzita inverzie

Intenzita inverzných dní bola hodnotená pre jednotlivé vybrané typy profilov.

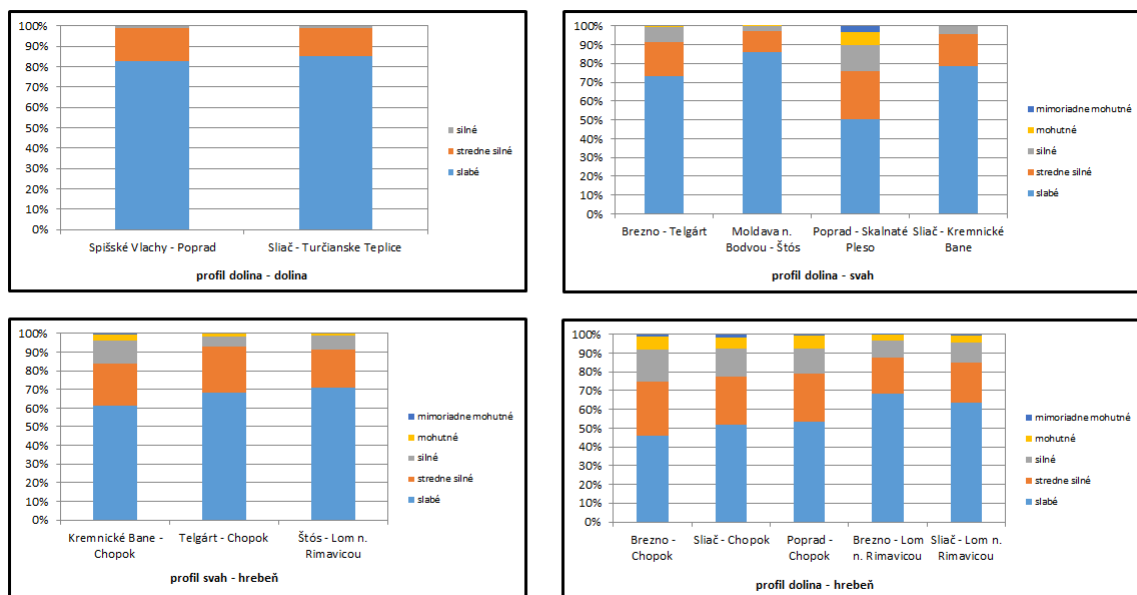
Podľa intenzity inverzie sa na profiloch typu dolina - dolina vyskytli v prevažnej väčšine (nad 80 %) slabé inverzie. Stredne silné inverzie sa vyskytli len v okolo 15 % prípadoch a silné inverzie len v 1 % prípadoch. Tieto výsledky sú charakteristické pre profily s výškovým rozdielom do 400 m.

Na profiloch typu dolina - svah sa slabé inverzie vyskytli od 50 % prípadov (profil Poprad - Skalnaté Pleso) do 85 % prípadov (profil Moldava nad Bodvou - Štós-kúpele). Významne zastúpené boli aj stredne silné inverzie, od 11 % prípadov (profil Moldava nad Bodvou - Štós-kúpele) do 25 % prípadov (profil Poprad - Skalnaté Pleso). Silné inverzie sa vyskytli od 3 % prípadov (profil Moldava nad Bodvou - Štós-kúpele) do 13 % prípadov (profil Poprad - Skalnaté Pleso). Mohutné inverzie sa nevyskytli len na profile Sliač - Kremnické Bane. Na profile Poprad - Skalnaté Pleso boli zastúpené všetky typy inverzií (slabé až mimoriadne mohutné).

Na profiloch typu svah - hrebeň sa slabé inverzie vyskytli od 61 % prípadov (profil Kremnické Bane - Chopok) do 71 % prípadov (profil Štós-kúpele - Lom nad Rimavicou). Významne zastúpené boli aj stredne silné inverzie, od 20 % prípadov (profil Štós-kúpele - Lom nad Rimavicou) do 25 % prípadov (profil Telgárt - Chopok). Silné inverzie sa vyskytli od 5 % prípadov (profil Telgárt - Chopok) do 13 % prípadov (profil Kremnické Bane - Chopok). Mohutné inverzie tvorili len od 1 % prípadov (profil Štós-kúpele - Lom nad Rimavicou) do 3 % prípadov (profil Kremnické Bane - Chopok). Mimoriadne mohutné inverzie sa vyskytli len na profile Kremnické Bane - Chopok.

Na profiloch typu dolina - hrebeň sa slabé inverzie vyskytli od 46 % prípadov (profil Brezno - Chopok) do 68 % prípadov (profil Brezno - Lom nad Rimavicou). Stredne silné inverzie sa vyskytli od 20 % prípadov (profil Brezno - Lom nad Rimavicou) do 29 % prípadov (profil Brezno - Chopok). Silné inverzie sa vyskytli od 9 % prípadov (profil Brezno - Lom nad Rimavicou) do 17 % prípadov (profil Brezno - Chopok). Mohutné inverzie tvorili len od 3 % prípadov (profil Brezno - Lom nad Rimavicou) do 7 % prípadov (profil Brezno - Chopok a profil Poprad - Chopok). Mimoriadne mohutné inverzie sa vyskytli len do 1,5 % prípadov (profil Sliač - Chopok).

Na všetkých profiloch typu dolina - hrebeň boli zastúpené všetky typy inverzií (slabé až mimoriadne mohutné). Tieto výsledky sú charakteristické pre profily s výškovým rozdielom nad 1000 m, kde môžu v niektorých prípadoch vznikajú rozsiahle inverzie, ktoré sú častokrát aj dlhotrvajúce. Klasifikácia intenzity inverzie pre ďalšie vybrané profily je uvedená na obrázku 3.



Obrázok 3: Klasifikácia intenzity inverzie podľa Petroviča (1953, 1967) pre vybrané profily

## Dĺžka trvania inverzie

Dĺžka trvania inverzných dní bola hodnotená pre jednotlivé vybrané typy profilov.

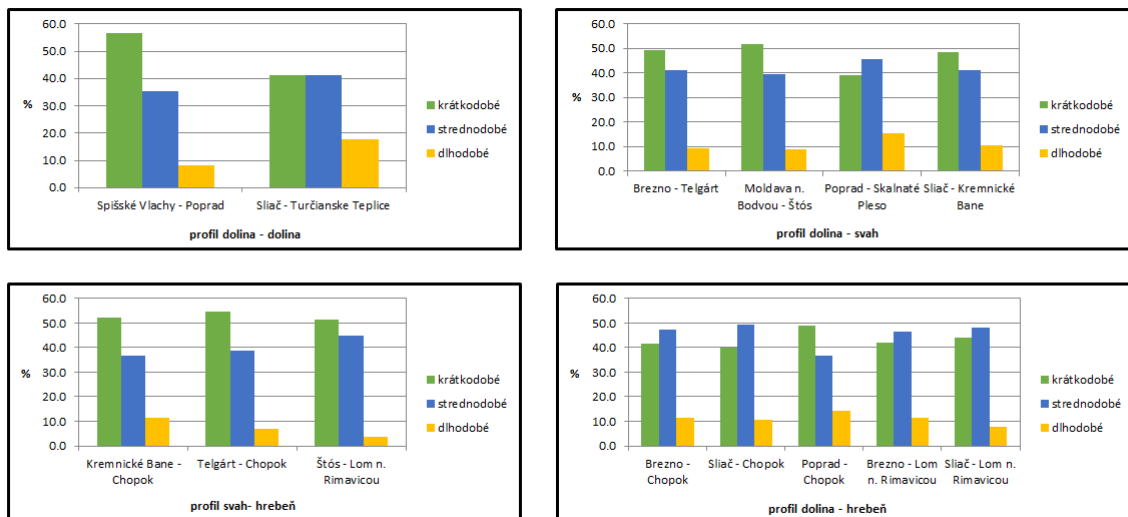
Podľa dĺžky trvania inverzie sa na profiloch typu dolina - dolina vyskytli krátkodobé inverzie v 57 % prípadoch na profile Spišské Vlachy - Poprad a v 41 % prípadoch na profile Sliač - Turčianske Teplice. Strednodobé inverzie sa vyskytli v 35 % prípadoch na profile Spišské Vlachy - Poprad a znova v 41 % prípadoch na profile Sliač - Turčianske Teplice. Najmenšie pomerné zastúpenie tvorili dlhodobé inverzie, 8 % prípadov na profile Spišské Vlachy - Poprad a 18 % prípadov na profile Sliač - Turčianske Teplice. Na základe týchto výsledkov môžeme konštatovať, že v Zvolenskej kotline sa vyskytujú dlhšie trvajúce inverzné poveternostné situácie v porovnaní s Hornádskou kotlinou.

Na profiloch typu dolina - svah sa krátkodobé inverzie vyskytli od 39 % prípadov (profil Poprad - Skalnaté Pleso) do 52 % prípadov (profil Moldava nad Bodvou - Štós-kúpele). Významne zastúpené boli aj strednodobé inverzie, od 39 % prípadov (profil Moldava nad Bodvou - Štós-kúpele) do 46 % prípadov (profil Poprad - Skalnaté Pleso). Dlhodobé inverzie sa vyskytli od 9 % prípadov (profil Moldava nad Bodvou - Štós-kúpele) do 15 % prípadov (profil Poprad - Skalnaté Pleso).

Na profiloch typu svah - hrebeň sa krátkodobé inverzie vyskytli v okolo 50 % prípadoch. Významne zastúpené boli aj strednodobé inverzie, od 37 % prípadov (profil Kremnické Bane - Chopok) do 45 % prípadov (profil Štós-kúpele - Lom nad Rimavicou). Dlhodobé inverzie sa vyskytli od 4 % prípadov (profil Štós-kúpele - Lom nad Rimavicou) do 11 % prípadov (profil Kremnické Bane - Chopok).

Na profiloch typu dolina - hrebeň sa krátkodobé inverzie vyskytli od 40 % prípadov (profil Sliač - Chopok) do 49 % prípadov (profil Poprad - Chopok). Významne zastúpené boli aj strednodobé inverzie, od 37 % prípadov (profil Poprad - Chopok) do 49 % prípadov (profil Sliač - Chopok). Dlhodobé inverzie sa vyskytli od 8 % prípadov (profil Sliač - Lom nad Rimavicou) do 14 % prípadov (profil Poprad - Chopok).

Na základe výsledkov môžeme konštatovať, že počet strednodobých inverzií vo väčšine prípadov narastal so zvyšujúcim sa výškovým rozdielom medzi stanicami. Vo všeobecnosti boli najmenej zastúpené dlhodobé inverzie, od 4 % na profile Štós-kúpele - Lom nad Rimavicou do 18 % na profile Sliač - Turčianske Teplice. Klasifikácia dĺžky trvania inverzie pre ďalšie vybrané profily je uvedená na obrázku 4.



Obrázok 4: Klasifikácia dĺžky trvania inverzie podľa Petroviča (1953, 1967), upravené pre denné údaje pre vybrané profily

### Maximálne intenzity inverzných dní a maximálne dĺžky trvania inverzných dní

V rámci hodnotenia inverzií z hľadiska intenzity sme zaznamenali aj maximálne intenzity inverzných dní, maximálne intenzity inverzných dní na 100 m, priemerné intenzity inverzných dní a priemerné intenzity inverzných dní na 100 m vo všetkých vybraných profiloch. Hodnoty týchto charakteristík pre všetky vybrané profily sú uvedené v tabuľke 4. Najvyššie a najnižšie hodnoty sú farebne odlišené.

Tabuľka 4: Maximálna intenzita inverzných dní, maximálna intenzita inverzných dní na 100 m, priemerná intenzita inverzných dní, priemerná intenzita inverzných dní na 100 m, maximálna dĺžka trvania inverzných dní a priemerná dĺžka trvania inverzných dní vo vybraných profiloch

stanica ↓	stanica ↑	intenzita				trvanie	
		max.	max. / 100 m	priemer	priemer / 100 m	max.	priemer
Spišské Vlachy	Poprad	8,5	2,7	1,8	0,6	9	2,0
Sliač	Turčianske Teplice	8,1	3,9	1,6	0,8	18	2,9
Sliač	Kremnické Bane	9,0	2,0	2,0	0,4	14	2,3
Brezno	Telgárt	10,1	2,4	2,3	0,6	12	2,2
Moldava nad Bodvou	Štós-kúpele	10,1	2,7	1,6	0,4	11	2,1
Poprad	Skalnaté Pleso	19,1	1,8	4,0	0,4	14	2,8
Sliač	Lom nad Rimavicou	14,1	2,0	3,0	0,4	16	2,3
Brezno	Lom nad Rimavicou	12,6	2,4	2,7	0,5	16	2,6
Brezno	Chopok	12,9	0,8	4,0	0,3	13	2,6
Poprad	Chopok	16,1	1,2	3,7	0,3	13	2,4
Sliač	Chopok	13,5	0,8	3,8	0,2	13	2,7
Kremnické Bane	Chopok	13,3	1,1	3,1	0,2	14	2,2
Telgárt	Chopok	10,7	1,0	2,6	0,2	10	2,0
Štós-kúpele	Lom nad Rimavicou	10,8	2,5	2,4	0,5	14	2,0



Najvyššia maximálna intenzita inverzných dní bola identifikovaná na profile Poprad - Skalnaté Pleso (19,1 °C). Najnižšia maximálna intenzita inverzných dní bola identifikovaná na profile Sliač - Turčianske Teplice (8,1 °C).

Najvyššia maximálna intenzita inverzných dní na 100 m bola identifikovaná na profile Sliač - Turčianske Teplice (3,9 °C). Najnižšia maximálna intenzita inverzných dní na 100 m bola identifikovaná na profiloch Brezno - Chopok a Sliač - Chopok (0,8 °C).

Najvyššia priemerná intenzita inverzných dní bola identifikovaná na profiloch Poprad - Skalnaté Pleso a Brezno - Chopok (4,0 °C). Najnižšia priemerná intenzita inverzných dní bola identifikovaná na profiloch Sliač - Turčianske Teplice a Moldava nad Bodvou - Štós-kúpele (1,6 °C).

Najvyššia priemerná intenzita inverzných dní na 100 m bola identifikovaná na profile Sliač - Turčianske Teplice (0,8 °C). Najnižšia priemerná intenzita inverzných dní na 100 m bola identifikovaná na profiloch Sliač - Chopok, Kremnické Bane - Chopok a Telgárt - Chopok (0,2 °C).

V rámci hodnotenia inverzií z hľadiska dĺžky trvania sme zaznamenali aj maximálne dĺžky trvania inverzných dní a priemerné dĺžky trvania inverzných dní vo všetkých vybraných profiloch. Hodnoty týchto charakteristík pre všetky vybrané profily sú znova uvedené v tabuľke 4. Najvyššie a najnižšie hodnoty sú farebne odlišené.

Najvyššia maximálna dĺžka trvania inverzných dní bola identifikovaná na profile Sliač - Turčianske Teplice (18 dní). Najnižšia maximálna dĺžka trvania inverzných dní bola identifikovaná na profile Spišské Vlachy - Poprad (9 dní).

Najvyššia priemerná dĺžka trvania inverzných dní bola identifikovaná na profile Sliač - Turčianske Teplice (2,9 dní). Najnižšia priemerná dĺžka trvania inverzných dní bola identifikovaná na profiloch Spišské Vlachy - Poprad, Telgárt - Chopok a Štós-kúpele - Lom nad Rimavicou (2,0 dní).

### **Mapové zhodnotenie vybraných charakteristík inverzií**

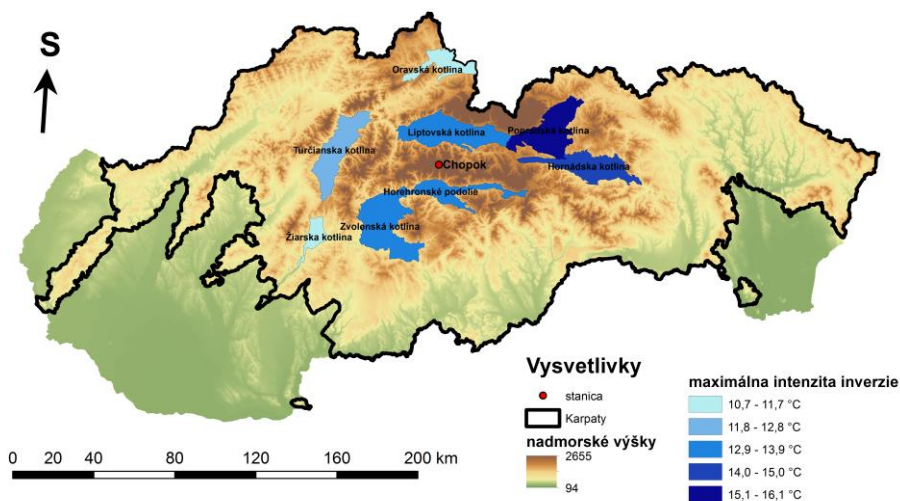
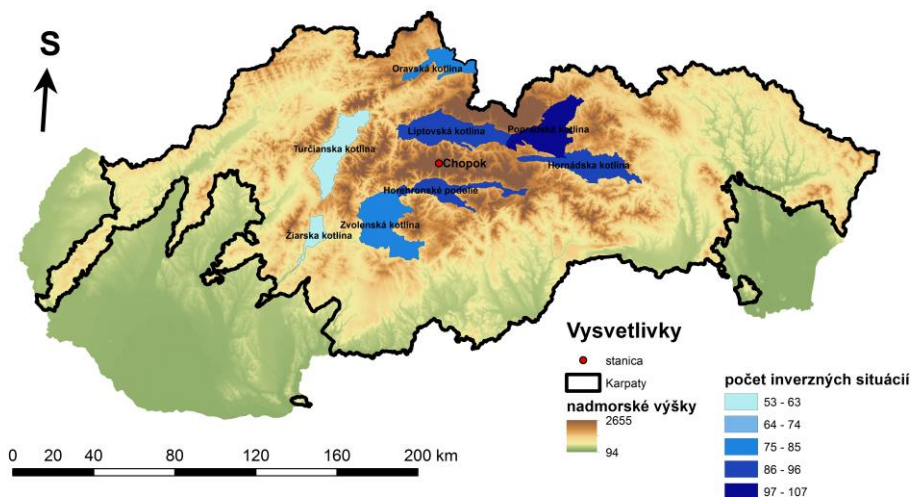
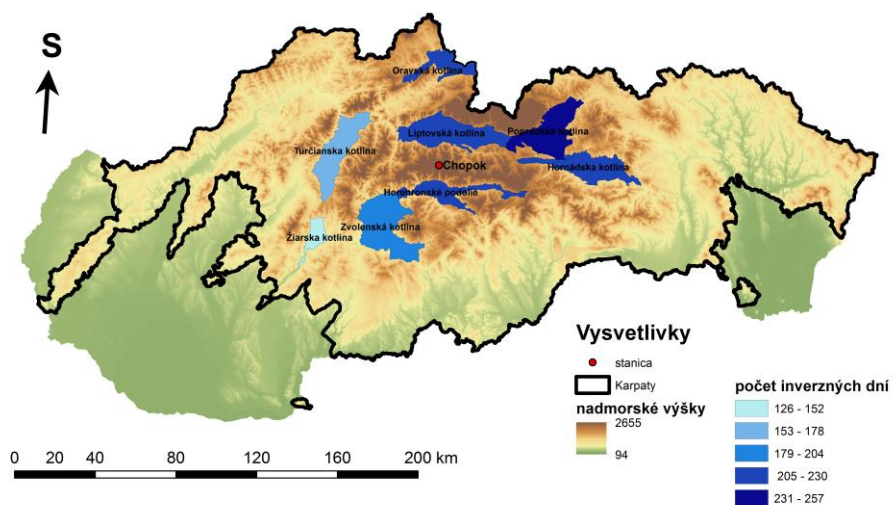
Mapové zhodnotenie teplotných inverzií pre vybrané kotliny záujmového územia na základe počtu inverzných dní, počtu inverzných poveternostných situácií a maximálnej intenzity inverzných dní potvrdilo naše doterajšie výsledky.

Na základe počtu inverzných dní môžeme konštatovať, že najviac inverznou kotlinou je Popradská kotlina a najmenej inverznou kotlinou je Žiarska kotlina (Obrázok 5, mapa hore).

Na základe počtu inverzných poveternostných situácií môžeme konštatovať, že najviac inverznou kotlinou je Popradská kotlina a najmenej inverznými kotlinami sú Žiarska kotlina a Turčianska kotlina (Obrázok 5, mapa v strede).

Na základe maximálnej intenzity inverzných dní konštatovať, že najviac inverznou kotlinou je Popradská kotlina a najmenej inverznými kotlinami sú Žiarska kotlina a Oravská kotlina (Obrázok 5, mapa dole).

Vo všeobecnosti sa teda preukázalo, že najviac inverznou kotlinou je Popradská kotlina a najmenej inverznou kotlinou je Žiarska kotlina.



*Obrázok 5: Počet inverzných dní (hore), počet inverzných poveternostných situácií (v strede) a maximálna intenzita inverzie (dole) vo vybraných kotlinách Karpát vzhľadom na stanicu Chopok za obdobie 1999 – 2018 v mesiacoch december, január, február a marec*

## Závislosť intenzity inverzie na výšku snehovej pokrývky

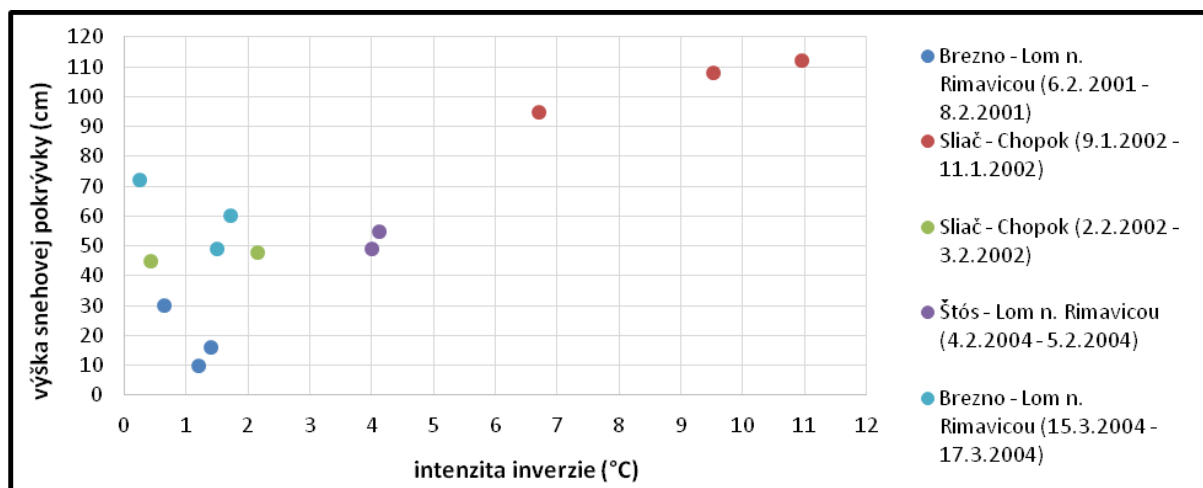
V rámci práce bola zhodnotená závislosť intenzity inverzie na výšku snehovej pokrývky. Zhodnotenie bolo vykonané pre 5 vybraných časových období, počas ktorých bola identifikovaná teplotná inverzia za anticyklónálnej poveternostnej situácie, pričom podstatný bol aj väčší rozdiel úbytkov výšky snehovej pokrývky medzi stanicami.

Zhodnotenie prebehlo v týchto vybraných profiloch v týchto vybraných časových obdobiach: časové obdobie 6.2.2001 - 8.2.2001 na profile Brezno - Lom nad Rimavicou, časové obdobie 9.1.2002 - 11.1.2002 na profile Sliač - Chopok, časové obdobie 2.2.2002 - 3.2.2002 na profile Sliač - Chopok, časové obdobie 4.2.2004 - 5.2.2004 na profile Štós-kúpele - Lom nad Rimavicou a časové obdobie 15.3.2004 - 17.3.2004 na profile Brezno - Lom nad Rimavicou.

Závislosti boli vypočítané pomocou Pearsonovho koeficientu korelácie  $r$  a koeficientu determinácie  $r^2$ . Závisle premennou  $Y$  bola výška snehovej pokrývky a nezávisle premennou  $X$  bola intenzita inverzie. Na základe výpočtu podľa funkcií programu Microsoft Office Excel boli zistené nasledujúce hodnoty závislostí (Tabuľka 5). Pre závislosť medzi intenzitou inverzie a výškou snehovej pokrývky bol vytvorený graf bodovej závislosti XY pre jednotlivé obdobia výskumu (Obrázok 6).

**Tabuľka 5: Hodnoty závislostí pre vybrané časové obdobia na vybraných profiloch**

stanica ↓	stanica ↑	$r$	$r^2$
Brezno	Lom n. Rimavicou	-0,85	72,05
Sliač	Chopok	0,99	98,82
Sliač	Chopok	1	100
Štós-kúpele	Lom n. Rimavicou	1	100
Brezno	Lom n. Rimavicou	-0,80	64,28



**Obrázok 6: Štatistická lineárna závislosť intenzity inverzie na výšku snehovej pokrývky vo vybraných profiloch pre zvolené časové obdobia výskumu**

Pre obdobie 6.2.2001 - 8.2.2001 na profile Brezno - Lom nad Rimavicou nám vyšla hodnota závislosti -0,85, teda silná nepriama lineárna závislosť, hodnoty boli závislé na 72 %.

Pre obdobie 9.1.2002 - 11.1.2002 na profile Sliač - Chopok nám vyšla hodnota závislosti 0,99, teda silná priama lineárna závislosť, hodnoty boli závislé na 99 %. Pre obdobie 2.2.2002 - 3.2.2002 na profile Sliač - Chopok nám vyšla hodnota závislosti 1, teda silná priama lineárna závislosť, hodnoty boli závislé na 100 %. Pre obdobie 4.2.2004 - 5.2.2004 na profile Štós-kúpele - Lom nad Rimavicou nám vyšla hodnota závislosti 1, teda silná priama lineárna závislosť, hodnoty boli závislé na 100 %. Pre obdobie 15.3.2004 - 17.3.2004 na profile Brezno - Lom nad Rimavicou nám vyšla hodnota závislosti -0,80, teda silná nepriama lineárna závislosť, hodnoty boli závislé na 64 %.

Pri jednotlivých skúmaných obdobiach sme kládli dôraz aj na detailnú analýzu obdobia predtým.

Počas obdobia 6.2.2001 - 8.2.2001, kedy bola na profile Brezno - Lom nad Rimavicou identifikovaná silná nepriama lineárna závislosť, bola zaznamenaná kladná priemerná teplota vzduchu na obidvoch staniách. Teplotná inverzia sa pred týmto obdobím nevyskytla, priemerné teploty vzduchu na obidvoch staniách boli záporné, sneh bol čerstvo napadnutý.

Počas obdobia 9.1.2002 - 11.1.2002, kedy bola na profile Sliač - Chopok identifikovaná silná priama lineárna závislosť, bola zaznamenaná kladná priemerná teplota vzduchu na stanici Chopok a záporná priemerná teplota vzduchu na stanici Sliač. Teplotná inverzia sa pred týmto obdobím vyskytla, priemerné teploty vzduchu na obidvoch staniách boli záporné, sneh bol uľahnutý.

Počas obdobia 2.2.2002 - 3.2.2002, kedy bola na profile Sliač - Chopok identifikovaná silná priama lineárna závislosť, bola zaznamenaná kladná priemerná teplota vzduchu na stanici Chopok a záporná priemerná teplota vzduchu na stanici Sliač. Teplotná inverzia sa pred týmto obdobím nevyskytla, priemerné teploty vzduchu na stanici Chopok boli záporné a na stanici Sliač kladné, sneh bol uľahnutý.

Počas obdobia 4.2.2004 - 5.2.2004, kedy bola na profile Štós-kúpele - Lom nad Rimavicou identifikovaná silná priama lineárna závislosť, bola zaznamenaná kladná priemerná teplota vzduchu na obidvoch staniách. Teplotná inverzia sa pred týmto obdobím vyskytla, priemerné teploty vzduchu na obidvoch staniách boli kladné, sneh bol uľahnutý.

Počas obdobia 15.3.2004 - 17.3.2004, kedy bola na profile Brezno - Lom nad Rimavicou identifikovaná silná nepriama lineárna závislosť, bola zaznamenaná kladná priemerná teplota vzduchu na obidvoch staniách. Teplotná inverzia sa pred týmto obdobím nevyskytla, priemerné teploty vzduchu na stanici Lom nad Rimavicou boli záporné a na stanici Brezno kladné, sneh bol čerstvo napadnutý.

Na základe týchto výsledkov môžeme vo všeobecnosti konštatovať, že v prípade vybraných časových období sme identifikovali silnú priamu lineárnu závislosť medzi intenzitou inverzie a výškou snehovej pokrývky v tých prípadoch, kedy bol sneh uľahnutý a silnú nepriamu lineárnu závislosť medzi intenzitou inverzie a výškou snehovej pokrývky sme identifikovali v tých prípadoch, kedy bol sneh čerstvo napadnutý.

## 4 Záver

---

Vplyv teplotných inverzií na počasie sa prejavuje aj v klimatických podmienkach Slovenska. Teplotné inverzie menia zákonitosti zmeny teploty vzduchu s nadmorskou výškou. Výsledky tohto príspevku preto prispeli k rozšíreniu poznatkov o klimatických podmienkach na Slovensku.

Cieľom tohto príspevku bolo analyzovať vplyv teplotných inverzií na výšku snehovej pokrývky v slovenských Karpatoch. Závislosť bola skúmaná na základe denných údajov

o priemernej dennej teplote vzduchu a denných údajov o výške snehovej pokrývky. Tieto údaje boli analyzované pre obdobie rokov 1999 - 2018, konkrétne za mesiace december, január, február a marec (obdobie december 1999 - marec 2018), pre 21 vybraných meteorologických staníc na území Slovenska.

V príspevku sú interpretované počty inverzných dní, počty inverzných poveternostných situácií, počet dní s jednotlivými typmi teplotného zvrstvenia, ako aj klasifikovaná intenzita inverzie a dĺžka trvania inverzie.

Najväčší počet inverzných dní bol zaznamenaný na profile Sliač - Turčianske Teplice (970 inverzných dní; 42,1 %). V tomto prípade išlo o profil typu dolina - dolina. Naopak, najmenší počet inverzných dní bol zaznamenaný na profile Kremnické Bane - Chopok (159 inverzných dní; 6,9 %). V tomto prípade išlo o profil typu svah - hrebeň.

Najväčší počet inverzných poveternostných situácií bol znova zaznamenaný na profile Sliač - Turčianske Teplice (340 inverzných poveternostných situácií). Naopak, najmenší počet inverzných poveternostných situácií sme znova zaznamenali na profile Kremnické Bane - Chopok (71 inverzných poveternostných situácií).

V sledovanom období tvorili inverzné dni 7 - 40 % zastúpenie. Počet dní s izotermiou bol vo všetkých vybraných profiloch len málo zastúpený, maximálne okolo 2 - 3 %. Normálne teplotné zvrstvenie prevládalo vo všetkých vybraných profiloch.

Intenzita inverzných dní bola hodnotená v jednotlivých profiloch. Slabé inverzie prevažovali na všetkých typoch profilov, ale väčšinové zastúpenie mali len v profiloch typu dolina - dolina. Na profiloch typu dolina - hrebeň boli zastúpené všetky typy inverzií (slabé až mimoriadne mohutné).

Taktiež bola hodnotená dĺžka trvania inverzných dní v jednotlivých profiloch. Vo väčšine profiloch prevažovali krátkodobé inverzie. Počet strednodobých inverzií vo väčšine prípadov narastal so zvyšujúcim sa výškovým rozdielom medzi stanicami. Najmenej boli zastúpené dlhodobé inverzie.

Najvyššia maximálna intenzita inverzných dní bola identifikovaná na profile Poprad - Skalnaté Pleso (19,1 °C). Najnižšia maximálna intenzita inverzných dní bola identifikovaná na profile Sliač - Turčianske Teplice (8,1 °C).

Najvyššia maximálna dĺžka trvania inverzných dní bola identifikovaná na profile Sliač - Turčianske Teplice (18 dní). Najnižšia maximálna dĺžka trvania inverzných dní bola identifikovaná na profile Spišské Vlachy - Poprad (9 dní).

Mapové zhodnotenie teplotných inverzií na základe počtu inverzných dní, počtu inverzných poveternostných situácií a maximálnej intenzity inverzných dní preukázalo, že najviac inverznou kotlinou je Popradská kotlina a najmenej inverznou kotlinou je Žiarska kotlina.

Priama lineárna závislosť medzi intenzitou inverzie a výškou snehovej pokrývky bola zistená na profile Sliač - Chopok ( $r = 0,99$  a  $r = 1$ ) a na profile Štós-kúpele - Lom nad Rimavicou ( $r = 1$ ). Nepriama lineárna závislosť medzi intenzitou inverzie a výškou snehovej pokrývky bola zaznamenaná na profile Brezno - Lom nad Rimavicou ( $r = -0,85$  a  $r = -0,80$ ).

Pri ďalšom výskum v tejto problematike by sme radi skúmané obdobie rozšírili minimálne na 30 rokov. Počas práce sme mali pocit, že pri identifikácii inverzných dní sme mohli stratiť niektoré výrazné ranné inverzie teploty vzduchu, ktoré z hľadiska priemernej teploty vzduchu nemohli byť identifikované. Preto by sme v budúcnosti chceli rozšíriť hodnotenie teplotných inverzií aj podľa termínových pozorovaní hodnôt teploty vzduchu, ako aj maximálnej a minimálnej teploty vzduchu. Do ďalšieho výskumu plánujeme zahrnúť aj poveternostné situácie, prípadne aj hodnoty rýchlostí a smeru vetra, hodnoty vlhkosti a tlaku vzduchu, či dĺžku trvania slnečného svitu.

---

## Literatúra

---

HIEBL, J., SCHÖNER, W. 2018. Temperature inversion in Austria in a warming climate - changes in space and time. In: Meteorologische Zeitschrift. Vol. 27, No. 4, s. 309-323.

KIRSCHNER, M. et al. 2013. Altitudinal temperature lapse rates in an Alpine valley: trends and the influence of season and weather patterns. In: International Journal of Climatology 33, s. 539-555.

KONČEK, M. a BRIEDOŇ, V. 1964. Sneh a snehová pokrývka na Slovensku. Bratislava: Vydavateľstvo SAV. 76 s.

LUKNIŠ, M. a PLESNÍK, P. 1961. Nížiny, kotliny a pohoria Slovenska. Bratislava: Osveta, 1961. 140 s.

PETROVIČ, Š. 1953. Inverzie pod Vysokými Tatrami. In: Meteorologické zprávy. Roč. 6, č. 5, s. 123-129.

PETROVIČ, Š. 1967. Teplotné inverzie v dolinách pod Tatrami. In: Meteorologické zprávy. Roč. 20, č. 1, s. 19-24.

ŠAMAJ, F. a VALOVIČ, Š. 1988. Snehové pomery na Slovensku. In: Zborník prác SHMÚ, Zv. 14/ III. Bratislava: Alfa. 128 s.

Typy poveternostných situácií [online]. Bratislava: Slovenský hydrometeorologický ústav. Dostupné na: <<http://www.shmu.sk/sk/?page=8>>

---

## English Abstract: Temperature inversions and their influence on snow cover in the Slovak Carpathians

---

Temperature inversion is the state of the atmosphere, when the air temperature increases with increasing altitude. This paper was focused on evaluation of temperature inversions and their influence on snow cover in Slovak Carpathians. The aim was to analyze the effect of temperature inversions on the snow cover in the Slovak Carpathians and to verify the hypothesis that temperature inversions affect the snow cover in the Slovak Carpathians. The impact analysis was examined on the basis of average daily air temperature and snow cover data for the period 1999 - 2018 for December, January, February and March (December 1999 - March 2018), for 21 selected meteorological stations in Slovakia. The paper contains characteristics of inverse days, inverse weather situations and number of days with individual types of thermal stratification (inversion, isotherm, normal stratification). Furthermore, temperature inversions were classified based on the intensity of the inversion and the duration of the inversion. The influence of temperature inversions on snow cover was investigated in selected profiles in the Slovak Carpathians. For selected time periods, dependencies between temperature inversions and snow cover were identified.