

Variabilita chemického zloženia zimných zrážok na Slovensku za 36 rokov pozorovania

DUŠAN BODIŠ, JOZEF KORDÍK a IGOR SLANINKA

Štátny geologický ústav D. Štúra, Mlynská dolina 1, 817 04 Bratislava

Variability of chemical composition of winter precipitations in Slovakia for 36 years of observation

Paper presents results of snow cover monitoring program in the Slovak Republic implemented from 1976. The monitoring is recently realized within the framework of the project "Monitoring of geological factors of environment," which comprises background information on abiotic component of natural environment. Snow cover is an important medium that reflects the status and quality of environment. Changes in chemical composition of snow at a time represent an important input information especially for environmental geochemical evaluation of the effects of atmospheric deposition on the environment and quality of groundwater.

Snow cover monitoring is carried out yearly on a national network of 44 locations throughout Slovakia. Variability of chemical composition in the Slovak territory reflects mainly the origin of air material, synoptic situation, precipitation amount and global/regional/local pollution of atmosphere. The highest contents of dissolved solids were documented close to densely populated areas, industrial parks and agricultural areas. Snows characterize low pH values (almost one third of samples with values less than 4.4). On the other hand, pH above 7 was observed close to cement factories and magnesite industry. In the case of total dissolved solids, nitrates, ammonium ions and sulphates, the decrease of values in time is obvious mainly due to the drop of industrial activities after 1989. By contrast, a trend of pH value increase is documented in snow cover of Slovakia.

Key words: snowpack, winter precipitation, chemical composition, monitoring, quality changes with altitude

Úvod

Snehová pokrývka je významným médiom, ktoré odráža stav a kvalitu životného prostredia. Charakter a zmeny jej chemického zloženia v čase sú dôležitou vstupnou informáciou najmä pre environmentálno-geochemické hodnotenie vplyvov atmosférickej depozície na prírodné prostredie a kvalitu podzemnej vody. Monitorovanie snehovej pokrývky bolo v regionálnom meradle na území Slovenskej republiky začaté v zimnom období 1976/1977 v Geologickom ústave Dionýza Štúra v základnej sieti 44 odberových miest. V súčasnosti je k dispozícii 36-ročný cyklus pozorovania, ktorý bol postupne hodnotený v prácach: Gazda a Lopašovský (1983), Vrana et al. (1989, 1994), Rapant et al. (1996). Pôvodne bol tento výskum realizovaný v rámci hydrogeologického a hydrogeochemického výskumu a od roku 1996 bol zaradený do „Monitorovacieho systému geologických faktorov životného prostredia SR“ (Klukanová et al., 1998; Iglárová et al., 2011). Súhrn informácií z 25-ročných výsledkov monitorovania s dôrazom na štatistické spracovanie celého obdobia bol zhodnotený v práci Bodiša et al. (2000). Zhodnotenie výsledkov z 36-ročného pozorovania je predmetom tohto príspevku.

Vo svete je systematickému monitorovaniu snehovej pokrývky venovaná pozornosť vo viacerých krajinách.

Práce sú realizované predovšetkým v horských oblastiach s dostatkom snehovej pokrývky, resp. v chladných oblastiach s nepretržitou snehovou pokrývkou – zaľadnením (napr. Sharp et al., 2002). Údaje z monitorovania snehov predstavujú cenný materiál pri hodnotení klimatických pomerov (Mayewski et al., 1994), pri hodnotení histórie znečistenia v danej oblasti (napr. Barrie et al., 1985; Wagenbach et al., 1988; Boutron, 1995) a hodnotení sezónnych zmien a časových trendov fyzikálno-chemických ukazovateľov (Ingersoll et al., 2008; Heuer et al., 2000; Clow et al., 2002; Hiltbrunner et al., 2005).

Východiskový stav prevažného systému tvorby chemického zloženia podzemných vôd predstavuje chemické zloženie atmosférických vôd. Atmosféru možno z energetického hľadiska látkovej výmeny považovať za otvorený systém, v ktorom je ustálená rovnováha geochemických cyklov prvkov a látok. Zdrojom týchto buď prírodných alebo antropogénnych látok môže byť rozpúšťanie vzdušných plynov prírodného pôvodu, aerosóly morského pôvodu, terigénny prach a produkty antropogénnej činnosti.

Z celkového hodnotenia klimatických a hydrologických pomerov Slovenska vyplýva, že veľký význam pre tvorbu zásob podzemných vôd majú zimné zrážky uložené na zemskom povrchu v podobe snehovej pokrývky, pretože

v čase jarného topenia sú hlavným zdrojom dopĺňania zásob podzemných vôd, najmä v horských oblastiach. Preto sa pri hodnotení chemického zloženia zrážkových vôd uplatňujú výsledky 36-ročného monitorovania kvality snehovej pokrývky. Reprodukovanosť týchto vstupných údajov do hydrologického cyklu vody sa v požadovanej miere zabezpečila porovnaním s hodnotami mokrej a suchej depozície za niekoľko zimných polrokov na pozadovej zrážkomernej stanici EMEP Chopok (Babiaková et al., 1987).

Základná charakteristika monitorovacej siete snehov a stručná metodika

Výber monitorovacej siete je účelovo podriadený hlavným cieľom monitoringu tohto čiastkového subsystému. Vzhľadom na najdôležitejšie faktory, ktoré ovplyvňujú chemické zloženie zimných zrážok, sú ciele monitorovania kvality snehovej pokrývky takéto:

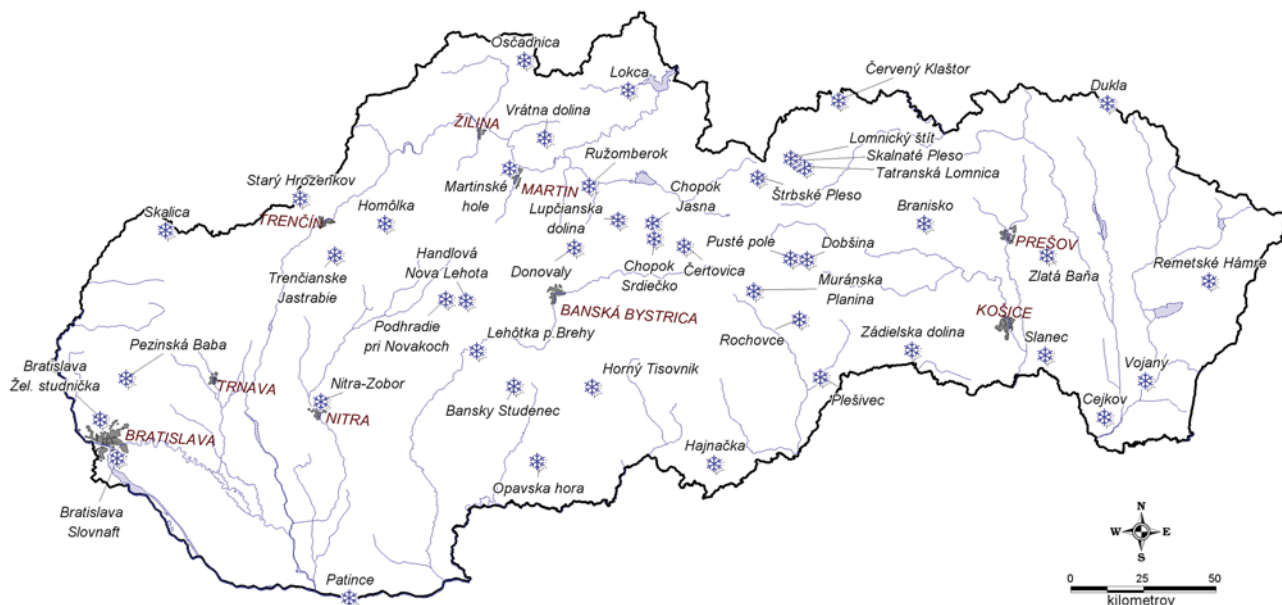
- poznanie mechanizmu vytvárania zásob množstva vôd a procesov tvorby chemického zloženia podzemných vôd,
- uvážené zásahy do prírodného prostredia z hľadiska acidifikácie prírodných receptorov (prírodná voda, pôda, horniny, biomasa a pod.),
- monitorovanie vplyvu zmien množstva a kvality roztokov vzniknutých topením snehovej pokrývky na priebeh procesov zvetrávania, presadavosti, zosúvania a pod.,
- poznanie potenciálneho prínosu atmosférických solí za časové obdobie a poznanie zaťaženia atmosféry,
- poznanie stupňa a charakteru znečistenia životného prostredia Slovenskej republiky s možnosťou vytvoriť model vývoja na základe dlhodobého (historického) radu pozorovaní.

Pri výbere lokalít bola zohľadnená výšková diferenciácia

terénu (lokality vysokohorské, nížinné) s prednostnou orientáciou na horské oblasti, v ktorých sa formujú hlavné zásoby vodohospodársky využiteľných podzemných a povrchových vôd, geologickú stavbu (prednostná orientácia na územia budované z hľadiska infiltrácie hydrogeologicky priaznivými horninami), prevládajúce cyklonálne a anticyklonálne situácie v zimnom období (a s nimi spojené prevládajúce smery prúdenia vzdušných hmôt) a lokalizácia niektorých významných regionálnych zdrojov znečisťovania atmosféry (oblasť Bratislavy, Horné Ponitrie, Vojany vo Východoslovenskej nížine a pod.), t. j. výber lokalít je zameraný na zachytenie vplyvu globálnych/regionálnych a lokálnych zdrojov a ich identifikáciu.

Vstupné monitorovacie prvky reprezentujú chemické účelové analýzy snehových roztokov z každého bodu monitorovacej siete.

Tieto údaje sú získavané expedičným odberom kompozitných vzoriek v 44 stabilných odberových miestach z celého profilu snehovej pokrývky. Po pozvoľnom roztopení vzorky a homogenizácii je upravenými štandardnými metódami robená chemická analýza (Gazda a Lopašovský, 1983), modifikovaná v roku 2006 aplikáciou citlivejších analytických techník. Modifikácia bola doprevádzaná aj zmenou laboratória. V súčasnosti chemické analýzy realizuje GAL Spišská Nová Ves, regionálne centrum ŠGÚDŠ, ktoré je pre daný typ analýz akreditovaným laboratóriom. Miera neistôt vyplývajúca z uvedených zmien nebola doposiaľ testovaná. Vzorkovanie je realizované jedenkrát ročne, čo reprezentuje jednu informáciu o chemickom zložení snehovej pokrývky z jednej lokality. Monitorovacia sieť a jednotlivé odberové miesta sú dokumentované na obr. 1. Lokality sú prakticky fixnými miestami, okrem odberového miesta Starý Hrozenkov, ktoré sa po vzniku Slovenskej republiky premiestnilo o cca 1,5 km k hranici s Českou republikou.



Obr. 1. Monitorovacia sieť odberu vzoriek zimných zrážok (snehov).

Fig. 1. Monitoring sites of winter precipitations (snow pack).

Výsledky a diskusia

Hodnotenie chemického zloženia snehov

Hodnoty celkovej mineralizácie sa pohybujú od $2,04 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ do $162,8 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ (tab. 1), pričom najnižšie hodnoty sú dokumentované v oblasti Vysokých Tatier, Nízkych Tatier a Veľkej Fatry. Najvyššie hodnoty celkovej mineralizácie sa viažu na nížinné oblasti a medzihorské depresie, kde sa sústreďuje osídlenie, priemysel a poľnohospodárske aktivity. Všeobecne však možno povedať, že maximálne hodnoty sú priamo viazané na veľké mestské a priemyselné aglomerácie, ako Bratislava, Košice, resp. na veľké bodové zdroje znečistenia atmosféry.

V našich geograficko-klimatických podmienkach variabilita chemického zloženia snehovej pokrývky odráža predovšetkým pôvod vzduchových hmôt, synoptickú situáciu, množstvo zrážok (v prípade snehovej pokrývky jej vodnú hodnotu), globálne, regionálne a lokálne znečistenie atmosféry, charakter suchého spádu (morská, terestrická, antropogénna emisia), dĺžku trvania snehovej pokrývky a chod teploty vzduchu.

Významné sú zistenia o značne nízkom pH roztoku z roztopeného snehu, ktorý následne reaguje najskôr s vegetačným a pôdnym pokryvom a potom s horninovým prostredím, pričom sa jeho chemické zloženie značne metamorfuje a nastávajú negatívne zmeny najmä v pôdnom profile (napr. znižovanie obsahu bázičných kationov a nutričov). Dôsledky týchto zmien postihujú najmä vegetáciu, ale aj iné prírodné receptory. Takéto procesy sú aktuálne najmä v oblastiach budovaných granitoidnými horninami (ako napr. v Tatrách), teda v prostredí, ktoré má najmenšiu hydrolytickú kapacitu. Z tohto hľadiska je významný fakt, že za doterajšie obdobie pozorovania takmer tretina vzoriek (28,8 %) má hodnotu $\text{pH} < 4,4$ a 3,4 % vzoriek hodnotu $\text{pH} < 4,0$. Na druhej strane sa vyskytujú prípady s pH nad 7 (3,8 % vzoriek), čo je väčšinou zapríčinené alkalickými úletmi najmä v blízkosti cementárni a magnezitového priemyslu (typickým príkladom je odberové miesto Zádielska dolina, kde sa hodnoty pH pohybovali v rozmedzí 3,92 – 9,42).

Základné štatistické parametre chemického zloženia snehovej pokrývky v jednotlivých pozorovaných lokalitách za 36-ročnú dobu monitorovania sú uvedené v tab. 1. Z hľadiska vývoja celkovej mineralizácie, ktorá predstavuje sumárnu charakteristiku chemického zloženia snehov, možno povedať, že najväčšie prekročenie priemerných celoslovenských hodnôt bolo zistené v lokalitách Pezinská Baba, Patince, Zádielska dolina, Vojany, Bratislava – Slovnaft a Plešivec. V uvedených oblastiach má najväčší vplyv lokálna kontaminácia atmosféry pochádzajúca prevažne z priemyselných emisií alkalického a kyslého charakteru.

Ako „pozadová oblasť“ bol vyčlenený výškový profil vo Vysokých Tatrách (Lomnický štít – Skalnaté pleso – Tatranská Lomnica) s hodnotami pomeru celoslovenských priemerných koncentrácií k hodnotám nameraným v týchto lokalitách v intervale zväčša 0,57 – 0,62.

Maximálne obsahy síranov, foriem dusíka a chloridov

sú spôsobené v prevažnej miere emisiami SO_x , NO_x poprípade Cl. Pomerne veľký podiel na chemickom zložení snehu má tzv. morský aerosól (Na a Cl) a terigénny materiál (najmä Ca, v našich podmienkach sú však najvyššie obsahy viazané na okolie cementárni a úpravni magnezitu, kde sa hodnoty pH môžu pohybovať nad 8,0). Maximálne obsahy Zn, Fe sú typické pre veľké mestské aglomerácie so sústredeným priemyslom.

Ak hodnotíme celkovú mineralizáciu snehu ako výsledok kumulatívneho vplyvu od jeho vzniku až po globálne a lokálne faktory, potom distribúcia najnižších priemerných hodnôt je viazaná na horské oblasti a pohybuje sa zvyčajne do $10 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Maximálne priemerné hodnoty sú silno ovplyvnené lokálnou antropogénnou činnosťou viazanou na mestské aglomerácie, domáce kúreniská a ich okolie. Výsledný efekt antropogénnych aktivít vedie k dvom základným efektom. Snehový roztok má buď kyslý charakter (pH 5,0 – 6,0), alebo výrazne alkalický s hodnotami pH aj nad 8,0 pri vysokých priemerných hodnotách celkovej mineralizácie. Prvý typ sa vyskytuje hlavne v okolí Bratislavy s priemernou hodnotou celkovej mineralizácie $24,86 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, s maximálnou hodnotou $70,27 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ (lokalita Slovnaft) a v oblasti Patiniec, Ružomberka, Nitra, Vojan, Handlovej-Novák a pod.. Druhý typ je predovšetkým spojený s alkalickými úletmi, zdrojom ktorých sú najmä výroba cementu a spracovanie magnezitu. Sem patria lokality Pezinská Baba, Zádielska dolina a oblasť Jelšavy s priemernými hodnotami celkovej mineralizácie okolo 23 až $26 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ a maximálnym obsahom aj nad $100 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, čo naznačuje rozpúšťanie alkalických úletov hlavne z cementárni a magnezitového priemyslu, v dôsledku čoho dochádza k extrémnym nárastom hodnôt pH .

Profil Tatranská Lomnica – Skalnaté pleso – Lomnický štít

Vzťah obsahu vybraných iónov chemického zloženia k nadmorskej výške pre všetky monitorované lokality bol popísaný v práci Bodiša et al. (2000). V podstate závisí najmä od skutočnosti, že nižšie položené odberové miesta sú jednoznačne ovplyvnené regionálnymi a lokálnymi zdrojmi emisií, ktoré v horských oblastiach predstavujú oveľa menší vplyv na zloženie atmosférickej depozície. V horských oblastiach by v podstate mali prevládať globálne črty chemického zloženia miestami ovplyvnené malými lokálnymi zdrojmi (turistické, chatové a iné objekty). Z týchto dôvodov bola uvedená závislosť analyzovaná vo vybranom profile Tatranská Lomnica – Skalnaté pleso – Lomnický štít, ktorý má výškový rozdiel až 1 732 m a vo vzťahu k ostatným monitorovaným lokalitám je situovaný v tzv. „pozadovej oblasti“. Spracované boli pozorovania za 36-ročné obdobie, pričom treba poznamenať, že v niektorých zimných obdobiach z technických príčin vzorky neboli odobrané.

Základným princípom poznania určitých vzťahov bola podrobná štatistická analýza výsledkov 36-ročného monitoringu výškového profilu a ich interpretácia.

Výsledky popisnej štatistiky z odberových miest Tatranská Lomnica, Skalnaté pleso a Lomnický štít

Tab. 1
Základné štatistické parametre chemického zloženia snehov (36-ročné pozorovanie)
Basic statistical parameters of snow chemical composition (36-years of observation)

Lokalita	pH	M	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	NH ₄ ⁺	Fe	Zn	Al	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
Všetky vzorky	1 408	1 408	1 408	1 408	1 408	1 408	1 408	1 408	1 366	1 295	1 408	1 408	1 408	1 408
n	35	35	35	35	35	35	35	35	34	32	35	35	35	35
x	4,98	13,94	0,39	0,16	0,27	1,39	0,67	0,17	0,03	0,18	1,72	2,32	3,92	1,97
med	4,66	10,36	0,2	0,094	0,17	0,78	0,447	0,075	0,0145	0,062	0,95	1,95	2,95	0,6
s	0,93	12,60	1,03	0,40	0,37	2,01	0,95	0,30	0,09	0,35	2,47	1,82	4,15	4,44
min	3,70	2,04	0,003	0,001	0,01	0,01	0,0015	0,0005	0,0001	0,0006	0,05	0,005	0,1	0
max	9,42	162,78	28,09	9,5	4,54	24,2	23,2	3,5	2,85	3,72	45,2	30,6	78,63	62,24
Banský Studenec 680 m n. m.	35	35	35	35	35	35	35	35	34	32	35	35	35	35
x	4,47	9,14	0,20	0,13	0,12	0,61	0,51	0,09	0,10	0,11	1,18	2,14	2,88	0,37
med	4,40	7,73	0,15	0,075	0,11	0,43	0,37	0,034	0,012	0,0466	0,65	2	2,5	0
s	0,35	5,49	0,17	0,23	0,08	0,66	0,49	0,13	0,49	0,17	1,34	1,24	2,19	0,86
min	3,90	2,76	0,01	0,005	0,01	0,04	0,003	0,008	0,0001	0,004	0,05	0,4	0,36	0
max	5,30	25,01	0,7	1,05	0,3	3,6	2,05	0,58	2,85	0,75	4,96	5,5	11,5	4,27
Branisko 770 m n. m.	33	33	33	33	33	33	33	33	32	30	33	33	33	33
x	5,24	14,19	0,44	0,26	0,37	1,60	0,49	0,30	0,05	0,13	1,68	1,95	3,31	3,04
med	4,90	9,73	0,21	0,1	0,23	1,03	0,38	0,118	0,021	0,0569	0,9	1,9	2,95	1,2
s	1,00	11,92	0,57	0,56	0,54	1,75	0,42	0,54	0,06	0,19	1,58	1,17	1,92	6,43
min	4,07	3,7	0,01	0,01	0,03	0,27	0,034	0,011	0,0001	0,005	0,1	0,27	0,51	0
max	7,65	66,85	2,1	2,82	2,72	8,38	1,77	2,71	0,2	0,9	5,8	6,4	7,35	35,65
Bratislava-Slovnaft 130 m n. m.	30	30	30	30	30	30	30	30	29	30	30	30	30	30
x	6,09	24,86	0,74	0,22	0,60	3,38	0,84	0,32	0,05	0,29	2,75	3,22	6,46	5,06
med	5,85	20,685	0,5695	0,125	0,44	2,63	0,57	0,18	0,032	0,13935	1,53	2,43	4,635	3,35
s	1,27	16,86	0,62	0,28	0,46	2,75	0,82	0,41	0,05	0,42	3,74	2,37	6,17	4,88
min	4,40	4,76	0,02	0,03	0,03	0,23	0,012	0,0056	0,0001	0,01	0,25	0,025	0,42	0
max	8,92	70,27	2,49	1,52	2	10,5	4,17	2,05	0,23	2,2	17,37	11,5	30,1	20,9
Bratislava-Železná studnička 300 m n. m.	35	35	35	35	35	35	35	35	34	32	35	35	35	35
x	4,61	16,91	0,50	0,17	0,19	1,48	1,36	0,13	0,04	0,13	2,14	3,25	5,14	1,51
med	4,46	13,03	0,16	0,1	0,18	0,64	1,24	0,075	0,0235	0,06035	0,75	3,2	4,35	0
s	0,67	13,97	1,53	0,13	0,15	1,81	1,18	0,16	0,06	0,18	3,43	1,61	4,10	3,07
min	3,90	3,3	0,03	0,02	0,02	0,04	0,003	0,0078	0,0001	0,0029	0,05	0,41	0,78	0
max	6,85	78,73	9,22	0,54	0,75	8,25	5,1	0,85	0,35	0,8	18,8	8,03	16,46	13,1
Cejkov 210 m n. m.	29	29	29	29	29	29	29	29	28	27	29	29	29	29
x	4,71	14,07	0,20	0,18	0,19	1,15	1,04	0,23	0,02	0,20	1,58	2,86	4,60	1,03
med	4,60	12,75	0,16	0,12	0,18	1,04	0,8	0,119	0,0145	0,14	0,95	2,2	4,65	0,49
s	0,59	8,44	0,16	0,21	0,13	0,99	1,04	0,32	0,03	0,22	1,61	2,30	2,79	1,60
min	3,78	3,46	0,02	0,03	0,03	0,25	0,006	0,021	0,0018	0,0134	0,1	0,51	0,15	0
max	6,34	33,46	0,7	1,05	0,59	4,85	4,5	1,68	0,18	0,95	6,2	9,67	10,45	7,18
Čertovica 1 260 m n. m.	36	36	36	36	36	36	36	36	35	33	36	36	36	36
x	4,93	11,92	0,54	0,10	0,25	1,15	0,42	0,09	0,02	0,11	1,79	1,72	3,31	1,89
med	4,71	8,665	0,195	0,052	0,108	0,52	0,275	0,039	0,013	0,035	0,695	1,585	2,425	0,61

Lokalita	pH	M	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	NH ₄ ⁺	Fe	Zn	Al	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
	s	10,37	1,38	0,10	0,40	1,43	0,40	0,12	0,03	0,19	3,46	0,89	3,09	3,12
	min	2,27	0,03	0,003	0,01	0,08	0,003	0,001	0,001	0,001	0,06	0,15	0,6	0
	max	47,15	8,3	0,44	2,05	7,03	1,78	0,59	0,15	0,89	20,2	3,75	17,3	12,8
Červený Kláštor 540 m n. m.	n	32	32	32	32	32	32	32	31	29	32	32	32	32
	x	12,82	0,23	0,13	0,20	1,59	0,48	0,14	0,03	0,11	1,53	1,83	2,76	2,85
	med	10,205	0,13	0,0675	0,14	0,84	0,31	0,0545	0,013	0,068	0,975	1,44	2,375	1,05
	s	8,40	0,31	0,17	0,16	1,81	0,48	0,18	0,06	0,11	1,38	1,46	2,68	4,92
	min	3,34	0,01	0,003	0,03	0,12	0,003	0,01	0,0001	0,0048	0,28	0,005	0,27	0
	max	32,38	1,6	0,96	0,67	6,46	2,48	0,85	0,35	0,4	5,8	7,1	14,3	22,57
Dobšiná 850 m n. m.	n	34	34	34	34	34	34	34	33	31	34	34	34	34
	x	13,93	0,21	0,11	0,38	1,78	0,50	0,19	0,02	0,12	1,10	1,81	3,45	3,59
	med	11,435	0,15	0,076	0,255	1,205	0,32	0,088	0,0109	0,0379	0,675	1,895	2,71	1,75
	s	7,84	0,22	0,12	0,36	1,37	0,46	0,26	0,03	0,21	0,96	1,04	2,73	4,33
	min	2,97	0,01	0,003	0,03	0,19	0,008	0,001	0,0001	0,0015	0,05	0,25	0,55	0
	max	31,65	0,85	0,6	1,54	5,03	2,04	1,1	0,16	1,09	3,55	5	12,65	15,3
Donovaly 970 m n. m.	n	35	35	35	35	35	35	35	34	32	35	35	35	35
	x	9,47	0,29	0,12	0,28	1,12	0,33	0,12	0,04	0,06	1,32	1,54	2,44	1,17
	med	8,83	0,22	0,08	0,16	0,61	0,242	0,048	0,01535	0,035	0,85	1,4	2,4	0,62
	s	6,15	0,22	0,14	0,59	2,17	0,26	0,25	0,07	0,09	1,58	1,90	1,68	1,48
	min	2,59	0,01	0,01	0,02	0,04	0,003	0,006	0,0001	0,001	0,1	0,05	0,55	0
	max	37,87	1,05	0,7	3,6	13	0,93	1,45	0,31	0,49	9,12	4,15	7,3	6,1
Dukla 480 m n. m.	n	31	31	31	31	31	31	31	30	28	31	31	31	31
	x	15,56	0,41	0,16	0,26	1,09	0,86	0,27	0,03	0,33	1,91	2,94	5,11	1,34
	med	13,43	0,28	0,1	0,15	0,75	0,76	0,093	0,01675	0,17055	1,12	2,85	5,2	0
	s	9,84	0,42	0,19	0,28	1,02	0,71	0,49	0,03	0,53	1,78	1,59	3,99	2,39
	min	3,84	0,03	0,03	0,03	0,12	0,037	0,0123	0,0001	0,01	0,53	0,3	0,34	0
	max	41,87	1,69	1,03	1,28	4,48	3,24	2,6	0,1	2,4	8,3	6,8	18,41	7,85
Hajnáčka 260 m n. m.	n	27	27	27	27	27	27	27	26	25	27	27	27	27
	x	18,45	0,53	0,31	0,39	1,81	0,92	0,51	0,03	0,27	2,07	2,43	5,96	2,32
	med	12,57	0,18	0,12	0,3	1,2	0,64	0,39	0,0135	0,0929	1,42	2,35	4,66	1,55
	s	14,63	0,95	0,84	0,32	2,12	1,02	0,54	0,04	0,39	2,41	1,52	4,96	3,09
	min	3,9	0,01	0,03	0,02	0,29	0,018	0,0166	0,0008	0,005	0,25	0,03	0,15	0
	max	70,71	3,6	4,47	1,35	11,73	4,6	2,25	0,17	1,3	9,34	6,4	21,95	14,05
Handlová- Nová Lehota 600 m n. m.	n	31	31	31	31	31	31	31	30	30	31	31	31	31
	x	15,20	0,35	0,14	0,37	1,32	0,61	0,33	0,02	0,46	1,75	2,69	4,93	1,32
	med	11,8	0,25	0,07	0,231	0,9	0,54	0,12	0,01535	0,11685	1,04	2,6	3,81	0,55
	s	10,56	0,32	0,25	0,39	1,09	0,46	0,72	0,02	0,80	2,24	1,45	5,39	2,13
	min	3,76	0,03	0,005	0,03	0,06	0,031	0,0034	0,0001	0,005	0,14	0,54	0,15	0
	max	54,13	1,43	1,4	2,05	4,2	2,14	3,5	0,085	3,69	12,02	7,25	28,6	9,15
Homôľka 770 m n. m.	n	32	32	32	32	32	32	32	31	29	32	32	32	32
	x	10,79	0,26	0,14	0,17	0,96	0,66	0,08	0,02	0,10	1,29	2,31	3,34	0,87
	med	10,265	0,245	0,1	0,14	0,751	0,495	0,0825	0,017	0,049	0,81	2,05	2,965	0,31
	s	5,40	0,22	0,15	0,10	0,80	0,69	0,07	0,02	0,12	1,24	1,39	2,49	1,11

Lokalita	pH	M	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	NH ₄ ⁺	Fe	Zn	Al	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
	min	4	0,005	0,03	0,05	0,25	0,006	0,0035	0,0001	0,0021	0,1	0,4	0,15	0
	max	30,24	1,19	0,81	0,39	4,7	3,15	0,28	0,08	0,46	5,35	5,7	12,19	4,27
Horný Tisovník 570 m n. m.	n	33	33	33	33	33	33	33	32	30	33	33	33	33
	x	4,71	0,25	0,17	0,19	0,74	0,52	0,13	0,02	0,16	1,24	2,08	3,07	0,88
	med	4,54	0,21	0,087	0,15	0,6	0,34	0,073	0,0105	0,0663	0,82	1,84	2,85	0,3
	s	0,58	5,29	0,23	0,17	0,60	0,50	0,16	0,03	0,18	1,13	1,23	2,13	1,30
	min	3,85	2,89	0,01	0,005	0,02	0,003	0,0035	0,0001	0,004	0,1	0,64	0,1	0
	max	6,20	20,76	0,91	1	0,89	1,85	0,693	0,16	0,59	4,14	6,17	8,25	4,88
Chopok-Jasná 1 180 m n. m.	n	35	35	35	35	35	35	35	34	32	35	35	35	35
	x	5,07	8,85	0,11	0,24	0,92	0,30	0,10	0,03	0,10	1,19	1,24	2,31	1,59
	med	4,84	7,74	0,086	0,15	0,6	0,26	0,058	0,0115	0,05	0,85	1	1,75	1,2
	s	0,79	5,20	0,12	0,26	0,89	0,27	0,13	0,05	0,18	1,18	0,74	1,78	1,62
	min	4	2,05	0,003	0,01	0,01	0,014	0,003	0,0001	0,0016	0,1	0,15	0,25	0
	max	7,20	21,67	0,58	1,19	3,7	1,17	0,63	0,23	0,96	4,13	3,15	7,51	5,55
Chopok-Srdiečko 1 100 m n. m.	n	35	35	35	35	35	35	35	34	33	35	35	35	35
	x	5,17	9,83	0,13	0,24	0,91	0,42	0,09	0,02	0,07	1,18	1,30	2,32	2,40
	med	4,88	8,74	0,08	0,13	0,68	0,23	0,051	0,01285	0,039	0,75	0,98	2,1	1,2
	s	0,83	6,59	0,13	0,28	0,87	0,40	0,15	0,03	0,08	1,08	0,79	1,55	4,37
	min	3,95	2,04	0,01	0,03	0,09	0,003	0,0005	0,0013	0,001	0,12	0,45	0,15	0
	max	6,97	36,19	0,61	1,24	4,62	1,47	0,88	0,105	0,3	3,55	3,2	5,41	24,4
Lehôtka p. Brehy 300 m n. m.	n	32	32	32	32	32	32	32	31	30	32	32	32	32
	x	4,84	13,53	0,51	0,20	0,94	0,66	0,23	0,03	0,44	1,93	2,34	4,04	1,33
	med	4,79	11,715	0,33	0,105	0,845	0,6025	0,14	0,02	0,1745	1,15	2,15	2,89	0,605
	s	0,56	7,90	0,67	0,14	0,67	0,46	0,25	0,03	0,65	2,11	1,57	3,21	2,02
	min	4	2,78	0,04	0,01	0,03	0,012	0,007	0,0013	0,009	0,14	0,24	0,45	0
	max	6,33	35,44	0,57	0,64	3,5	1,89	0,95	0,17	2,74	8,3	8,5	16,05	8,36
Lokca 630 m n. m.	n	32	32	32	32	32	32	32	31	30	32	32	32	32
	x	5,21	16,95	0,88	0,40	1,49	0,54	0,20	0,04	0,23	2,99	2,56	3,99	2,08
	med	5,09	12,935	0,32	0,1055	1,115	0,414	0,115	0,018	0,13695	1,51	2,3	3,05	1,25
	s	0,78	9,60	1,70	0,37	1,17	0,42	0,24	0,12	0,32	3,53	1,86	3,00	2,33
	min	4,20	5	0,005	0,02	0,08	0,066	0,008	0,0001	0,004	0,27	0,28	0,4	0
	max	7,10	38,11	7,7	1,98	5,7	1,66	0,975	0,68	1,6	15,89	8,4	12,1	9,15
Lomnický štít 2 632 m n. m.	n	28	28	28	28	28	28	28	27	25	28	28	28	28
	x	5,01	9,80	0,63	0,23	0,93	0,35	0,08	0,04	0,07	2,45	0,78	2,20	1,37
	med	4,93	7,405	0,2	0,085	0,105	0,25	0,037	0,019	0,045	0,66	0,65	2,005	1,21
	s	0,66	8,43	1,22	0,65	1,32	0,36	0,09	0,07	0,08	4,97	0,58	1,27	1,30
	min	3,80	3,81	0,03	0,02	0,04	0,036	0,006	0,0049	0,0006	0,1	0,005	0,41	0
	max	6,45	43,73	5,81	3,53	7,2	1,759	0,41	0,32	0,35	25,09	2,32	4,94	6,1
Lupčianska dolina 830 m n. m.	n	36	36	36	36	36	36	36	35	33	36	36	36	36
	x	4,93	8,17	0,19	0,10	0,83	0,33	0,08	0,03	0,06	1,17	1,48	2,13	1,18
	med	4,65	7,78	0,16	0,082	0,14	0,2535	0,04205	0,013	0,035	0,645	1,435	1,955	0,455
	s	0,73	3,74	0,14	0,08	0,13	0,31	0,11	0,06	0,11	1,24	1,00	1,48	1,49
	min	3,90	2,8	0,003	0,003	0,01	0,006	0,003	0,0001	0,0015	0,1	0,005	0,15	0

Lokalita	pH	M	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	NH ₄ ⁺	Fe	Zn	Al	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
	max	22,14	0,77	0,4	0,55	3,3	1,43	0,58	0,38	0,65	6,215	5,75	7,18	6,1
Martinské hole 480 m n. m.	n	33	33	33	33	33	33	33	32	31	33	33	33	33
	x	4,75	10,02	0,24	0,10	0,18	0,40	0,12	0,02	0,16	1,36	1,87	2,97	1,00
	med	4,55	8,43	0,14	0,09	0,13	0,32	0,078	0,0104	0,0499	0,9	1,87	2,25	0,6
	s	0,61	5,10	0,31	0,11	0,17	0,28	0,17	0,02	0,24	1,37	1,24	2,14	1,47
	min	3,80	3,03	0,005	0,005	0,02	0,018	0,005	0,0001	0,001	0,18	0,005	0,25	0
	max	22,74	1,7	0,52	0,86	3	1,32	0,705	0,092	0,99	6,21	5,7	9,05	6,71
Muránska Planina 880 m n. m.	n	34	34	34	34	34	34	34	33	31	34	34	34	34
	x	5,06	9,63	0,16	0,09	0,36	0,43	0,08	0,02	0,06	1,01	1,78	2,92	1,46
	med	4,75	9,155	0,13	0,08	0,245	0,367	0,053	0,0088	0,035	0,64	1,425	2,05	0,63
	s	0,82	4,75	0,12	0,06	0,34	0,37	0,07	0,02	0,06	1,07	1,08	2,36	1,65
	min	3,90	2,9	0,005	0,001	0,05	0,005	0,004	0,0001	0,0025	0,05	0,48	0,34	0
	max	6,77	27,32	0,59	0,25	1,55	1,83	0,262	0,12	0,21	3,9	5,08	10,84	5,2
Nitra-Zobor 340 m n. m.	n	30	30	30	30	30	30	30	30	26	30	30	30	30
	x	4,97	18,83	0,31	0,25	2,34	1,07	0,14	0,05	0,15	1,52	3,23	5,58	3,33
	med	4,64	13,095	0,225	0,15	1,145	0,77	0,1035	0,015	0,0735	1,075	2,705	4,025	0,6
	s	1,07	20,17	0,26	0,26	4,27	0,86	0,18	0,09	0,21	1,31	2,06	5,13	9,92
	min	3,90	3,74	0,03	0,02	0,18	0,104	0,009	0,0002	0,0009	0,18	0,7	0,58	0
	max	8,24	103,63	1,24	1,2	22	3,8	0,98	0,4	0,77	4,61	8,8	20,55	50,22
Opavská hora 480 m n. m.	n	30	30	30	30	30	30	30	29	29	30	30	30	30
	x	4,63	15,54	0,64	0,12	0,30	0,71	0,17	0,02	0,24	2,05	2,68	4,05	2,37
	med	4,46	11,215	0,3155	0,096	0,121	0,59	0,07	0,015	0,0891	1,065	2,445	3,45	0
	s	0,59	16,35	0,93	0,10	0,81	0,62	0,22	0,03	0,35	2,46	1,44	2,89	9,97
	min	4	3,66	0,02	0,01	0,07	0,003	0,0083	0,001	0,009	0,22	0,61	0,15	0
	max	6,95	90,42	4,04	0,34	4,54	2,85	0,88	0,19	1,5	8,8	5,85	13,3	54,9
Oščadnica 520 m n. m.	n	33	33	33	33	33	33	33	32	30	33	33	33	33
	x	4,55	12,08	0,34	0,14	0,21	0,55	0,15	0,03	0,15	1,92	2,44	3,65	0,69
	med	4,40	10,8	0,25	0,11	0,16	0,46	0,063	0,01975	0,06665	1,4	2,21	2,95	0
	s	0,53	7,39	0,52	0,11	0,20	0,37	0,19	0,03	0,20	1,86	1,42	2,60	1,61
	min	3,95	3,18	0,02	0,005	0,05	0,125	0,01	0,0001	0,0021	0,05	0,005	0,32	0
	max	6,44	39,02	3,12	0,47	4,43	1,56	0,951	0,11	0,71	7,58	6,9	12,45	8,54
Patince 110 m n. m.	n	28	28	28	28	28	28	28	28	25	28	28	28	28
	x	5,70	24,21	1,16	0,25	0,43	0,89	0,33	0,02	0,53	3,25	3,18	5,83	4,46
	med	5,57	20,065	0,295	0,125	0,235	0,657	0,1695	0,01525	0,24	1,685	2,855	3,775	1,625
	s	1,35	17,18	1,88	0,29	0,52	0,80	0,44	0,02	0,86	3,52	1,89	5,86	6,97
	min	3,90	4,04	0,02	0,03	0,03	0,012	0,008	0,002	0,01	0,17	0,42	0,73	0
	max	9,18	64,88	7,61	1,3	2,32	3,44	1,83	0,075	3,7	12,8	7,52	28,1	25,65
Pezinská Baba 540 m n. m.	n	34	34	34	34	34	34	34	33	31	34	34	34	34
	x	4,61	23,23	0,48	0,25	0,22	2,62	0,18	0,05	0,20	1,96	5,05	8,89	0,95
	med	4,48	17,645	0,28	0,155	0,14	1,3985	0,092	0,029	0,0714	1,245	3,85	5,775	0
	s	0,75	28,37	0,43	0,30	0,22	4,21	0,25	0,09	0,31	1,84	5,23	13,77	1,86
	min	3,76	3,88	0,05	0,02	0,02	0,003	0,008	0,0001	0,0066	0,05	0,38	0,75	0
	max	7,95	162,78	1,59	1,62	1,2	23,2	1,33	0,51	1,4	8,3	30,6	78,63	7,35

Lokalita		pH	M	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	NH ₄ ⁺	Fe	Zn	Al	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
Skalná Pleso 1 751 m n. m.	n	34	34	34	34	34	34	34	34	33	31	34	34	34	34
	x	4,67	7,12	0,20	0,07	0,11	0,61	0,28	0,06	0,03	0,07	1,13	1,32	2,04	0,79
	med	4,65	6,995	0,125	0,08	0,1	0,41	0,235	0,0405	0,0139	0,03	0,63	1,03	1,825	0,6
	s	4,46	3,51	0,25	0,05	0,08	0,63	0,26	0,08	0,05	0,13	1,41	1,33	1,19	1,08
	min	3,90	2,2	0,01	0,01	0,01	0,06	0,0015	0,001	0,0001	0,003	0,05	0,025	0,1	0
	max	6,10	18,34	1,28	0,2	0,28	3,4	1,24	0,35	0,25	0,64	5,8	7,63	4,86	4,88
Slanec 450 m n. m.	n	29	29	29	29	29	29	29	29	28	28	29	29	29	29
	x	4,81	14,96	0,27	0,13	0,26	1,50	0,90	0,18	0,03	0,18	2,01	3,06	4,17	1,23
	med	4,55	12,81	0,17	0,08	0,23	0,9	0,7	0,12	0,01915	0,095	1,05	2,7	3,95	0,3
	s	0,97	10,98	0,38	0,12	0,24	2,33	0,65	0,16	0,03	0,21	3,48	1,62	2,41	1,80
	min	3,98	5,63	0,02	0,03	0,04	0,13	0,003	0,023	0,0022	0,0136	0,2	0,78	0,59	0
	max	8,75	62,96	2,04	0,47	1,26	12,95	3,19	0,61	0,18	0,8	18,4	6,8	11,23	7,85
Starý Hrozenkov 400 m n. m.	n	32	32	32	32	32	32	32	32	31	29	32	32	32	32
	x	4,83	15,09	0,84	0,14	0,28	1,28	0,80	0,13	0,04	0,24	2,40	2,96	3,92	1,27
	med	4,46	14,195	0,515	0,11	0,205	0,905	0,635	0,11	0,022	0,0574	1,56	2,675	3,625	0
	s	0,75	8,14	0,80	0,10	0,26	1,26	0,71	0,11	0,07	0,48	1,79	1,53	2,67	2,18
	min	4,15	3,6	0,09	0,01	0,02	0,03	0,012	0,0005	0,0001	0,0021	0,33	0,45	0,15	0
	max	6,90	43,22	3,08	0,44	1,3	5,5	3,42	0,34	0,38	2,5	6,74	6,7	12,76	7,95
Štrbské Pleso 1 380 m n. m.	n	32	32	32	32	32	32	32	32	31	30	32	32	32	32
	x	4,71	8,60	0,30	0,08	0,17	0,76	0,32	0,05	0,02	0,06	1,44	1,32	2,16	1,36
	med	4,5	5,94	0,1	0,065	0,07	0,325	0,308	0,04	0,0093	0,03	0,65	1,04	1,825	0,225
	s	0,96	7,68	0,97	0,07	0,31	1,52	0,28	0,04	0,06	0,08	1,97	0,76	1,28	3,46
	min	3,70	2,61	0,01	0,014	0,01	0,07	0,005	0,001	0,0004	0,001	0,1	0,15	0,54	0
	max	9,18	37,41	5,59	0,358	1,3	8,5	1,44	0,15	0,31	0,3	9,53	2,81	4,84	16,48
Tatranská Lomnica 900 m n. m.	n	33	33	33	33	33	33	33	33	32	30	33	33	33	33
	x	4,68	8,76	0,20	0,13	0,16	0,79	0,38	0,09	0,04	0,07	1,33	1,45	2,59	1,09
	med	4,60	7,83	0,09	0,1	0,11	0,47	0,305	0,046	0,011	0,0383	0,75	1,09	2,15	0,45
	s	0,61	5,65	0,22	0,15	0,20	1,04	0,29	0,16	0,07	0,07	1,62	0,96	1,97	2,13
	min	3,90	2,8	0,01	0,02	0,01	0,06	0,003	0,0005	0,0001	0,001	0,1	0,005	0,15	0
	max	6,71	24,57	0,9	0,86	1,2	4,9	1,39	0,95	0,29	0,26	6,74	3,52	9,2	10,37
Trenčianske Jastrabie 350 m n. m.	n	32	32	32	32	32	32	32	32	31	29	32	32	32	32
	x	5,23	17,63	0,49	0,44	0,41	1,78	0,82	0,16	0,03	0,14	2,14	2,69	4,21	3,36
	med	5,07	11,59	0,27	0,1	0,28	1,09	0,665	0,0645	0,013	0,0593	0,935	2,335	3,25	1,215
	s	0,94	16,45	0,81	1,66	0,47	2,46	0,77	0,29	0,04	0,17	3,37	1,63	4,09	6,26
	min	4	4,05	0,005	0,01	0,02	0,05	0,025	0,0096	0,0001	0,0029	0,17	0,59	0,46	0
	max	7,5	72,71	3,65	9,5	2,2	13	3,72	1,61	0,21	0,7	18,31	8	20,94	26,24
Voľany 100 m n. m.	n	26	26	26	26	26	26	26	26	25	24	26	26	26	26
	x	5,39	22,15	0,70	0,20	0,32	2,33	0,93	0,57	0,04	0,69	2,54	3,06	6,98	2,72
	med	5,25	19,225	0,245	0,125	0,285	1,34	0,64	0,4115	0,019	0,528	1,48	2,05	4,9	2,6
	s	0,87	16,33	1,11	0,22	0,21	2,35	0,87	0,55	0,05	0,84	2,57	2,58	7,73	2,51
	min	4,10	4,88	0,03	0,01	0,04	0,26	0,012	0,0328	0,00163	0,0044	0,1	0,05	0,15	0
	max	8,05	70,44	5	0,91	0,81	10,4	3,12	2,3	0,24	3,72	9,54	9,85	27,76	12,2

Lokalita	pH	M	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	NH ₄ ⁺	Fe	Zn	Al	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
Vrátna dolina 750 m n. m.	34	34	34	34	34	34	34	34	33	31	34	34	34	34
	4,85	10,21	0,24	0,14	0,19	0,94	0,44	0,09	0,02	0,11	1,26	2,12	2,97	1,21
	4,65	9,23	0,15	0,0935	0,15	0,75	0,402	0,054	0,0135	0,0443	0,915	1,875	2,525	0,6
	0,82	5,23	0,26	0,15	0,19	0,95	0,26	0,10	0,03	0,15	1,12	1,44	2,08	1,86
	3,90	3,83	0,01	0,005	0,03	0,23	0,0025	0,0035	0,0001	0,0056	0,05	0,005	0,1	0
	7,05	27,58	1,23	0,63	1,12	4,84	0,98	0,405	0,16	0,63	5,1	5,6	8,15	7,3
Zádielska dolina 570 m n. m.	28	28	28	28	28	28	28	28	27	26	28	28	28	28
	6,09	26,09	0,24	0,45	0,27	4,10	0,91	0,31	0,04	0,28	1,92	3,44	5,59	6,80
	5,92	17,17	0,16	0,1585	0,2235	2,35	0,72	0,155	0,02	0,10865	1,025	2,965	4,25	3,975
	1,59	23,13	0,19	1,47	0,25	4,97	0,73	0,42	0,06	0,47	2,16	2,29	4,25	7,76
	3,92	5,74	0,03	0,01	0,02	0,18	0,024	0,012	0,0018	0,01	0,1	0,83	0,5	0
	9,42	106,18	0,7	7,9	1,19	24,2	3,34	1,675	0,28	2,1	9,7	9,3	20,58	29,84
Zlatá Baňa 670 m n. m.	30	30	30	30	30	30	30	30	29	27	30	30	30	30
	4,84	14,23	0,23	0,14	0,32	1,30	0,86	0,22	0,04	0,18	1,49	2,59	4,60	1,40
	4,5	13	0,18	0,1	0,21	0,835	0,699	0,125	0,0164	0,1263	0,82	2,295	3,6	0
	0,86	9,32	0,24	0,10	0,47	1,38	0,77	0,34	0,06	0,22	1,54	1,53	3,99	2,60
	3,92	3,3	0,01	0,021	0,03	0,21	0,003	0,008	0,0001	0,0068	0,1	0,2	0,5	0
	7,85	40,66	1,16	0,43	2,6	6,74	3,04	1,85	0,29	0,98	5,32	7,5	19,75	11,5

Tab. 2
Základné štatistické parametre snehového roztoku
(Tatranská Lomnica)
Basic statistical parameters of snow chemical composition
(Tatranská Lomnica)

	Priemer	Medián	Dolný kvartil	Horný kvartil	Sm. odch.
pH	4,68	4,6	4,27	4,86	0,61
Na ⁺	0,2	0,09	0,06	0,27	0,22
Ca ²⁺	0,79	0,47	0,3	0,67	1,04
NH ₄ ⁺	0,381	0,305	0,175	0,478	0,292
Cl ⁻	1,33	0,75	0,31	1,41	1,62
NO ₃ ⁻	1,45	1,09	0,81	2	0,96
SO ₄ ²⁻	2,59	2,15	1,05	3,76	1,97
Celková mineralizácia	8,76	7,83	4,52	10,51	5,65

Tab. 3
Základné štatistické parametre snehového roztoku
(Skalnaté pleso)
Basic statistical parameters of snow chemical composition
(Skalnaté pleso)

	Priemer	Medián	Dolný kvartil	Horný kvartil	Sm. odch.
pH	4,67	4,65	4,34	4,84	0,46
Na ⁺	0,2	0,13	0,07	0,25	0,25
Ca ²⁺	0,61	0,41	0,25	0,72	0,63
NH ₄ ⁺	0,28	0,235	0,085	0,363	0,264
Cl ⁻	1,13	0,63	0,35	1,21	1,41
NO ₃ ⁻	1,32	1,03	0,63	1,64	1,33
SO ₄ ²⁻	2,04	1,83	1,03	2,89	1,19
Celková mineralizácia	7,12	7	4,89	7,73	3,51

Tab. 4
Základné štatistické parametre snehového roztoku (Lomnický štít)
Basic statistical parameters of snow chemical composition
(Lomnický štít)

	Priemer	Medián	Dolný kvartil	Horný kvartil	Sm. odch.
pH	5,01	4,93	4,65	5,41	0,66
Na ⁺	0,63	0,2	0,12	0,47	1,22
Ca ²⁺	0,93	0,49	0,31	1,07	1,32
NH ₄ ⁺	0,345	0,25	0,13	0,368	0,362
Cl ⁻	2,45	0,66	0,46	1,81	4,97
NO ₃ ⁻	0,78	0,65	0,35	0,95	0,58
SO ₄ ²⁻	2,2	2,01	1,13	3,2	1,27
Celková mineralizácia	9,8	7,41	5,42	10,97	8,43

Tab. 5
Korelačná matica (Tatranská Lomnica)
Correlation matrix (Tatranská Lomnica)

	pH	Na ⁺	Ca ²⁺	NH ₄ ⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Min.
pH	1,00	0,26	0,39	-0,12	-0,08	-0,23	0,07	0,23
Na ⁺	0,26	1,00	0,40	0,60	0,72	0,15	0,19	0,63
Ca ²⁺	0,39	0,40	1,00	0,41	0,67	0,24	0,55	0,86
NH ₄ ⁺	-0,12	0,60	0,41	1,00	0,70	0,30	0,45	0,63
Cl ⁻	-0,08	0,72	0,67	0,70	1,00	0,11	0,41	0,83
NO ₃ ⁻	-0,23	0,15	0,24	0,30	0,11	1,00	0,29	0,33
SO ₄ ²⁻	0,07	0,19	0,55	0,45	0,41	0,29	1,00	0,73
Min.	0,23	0,63	0,86	0,63	0,83	0,33	0,73	1,00

Tab. 6
Korelačná matica (Skalnaté pleso)
Correlation matrix (Skalnaté pleso)

	pH	Na ⁺	Ca ²⁺	NH ₄ ⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Min.
pH	1,00	0,03	0,37	0,11	-0,12	0,15	-0,45	0,14
Na ⁺	0,03	1,00	-0,02	0,00	0,60	-0,11	0,13	0,33
Ca ²⁺	0,37	-0,02	1,00	0,39	0,34	0,54	0,39	0,81
NH ₄ ⁺	0,11	0,00	0,39	1,00	0,49	0,37	0,29	0,65
Cl ⁻	-0,12	0,60	0,34	0,49	1,00	-0,01	0,45	0,71
NO ₃ ⁻	0,15	-0,11	0,54	0,37	-0,01	1,00	0,01	0,56
SO ₄ ²⁻	-0,45	0,13	0,39	0,29	0,45	0,01	1,00	0,55
Min.	0,14	0,33	0,81	0,65	0,71	0,56	0,55	1,00

Tab. 7
Korelačná matica (Lomnický štít)
Correlation matrix (Lomnický štít)

	pH	Na ⁺	Ca ²⁺	NH ₄ ⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Min.
pH	1,00	0,05	0,09	-0,06	-0,19	-0,15	-0,05	0,00
Na ⁺	0,05	1,00	0,38	0,70	0,71	-0,01	0,29	0,83
Ca ²⁺	0,09	0,38	1,00	-0,03	0,84	-0,05	0,17	0,80
NH ₄ ⁺	-0,06	0,70	-0,03	1,00	0,37	-0,13	0,24	0,48
Cl ⁻	-0,19	0,71	0,84	0,37	1,00	-0,10	0,21	0,95
NO ₃ ⁻	-0,15	-0,01	-0,05	-0,13	-0,10	1,00	-0,08	-0,04
SO ₄ ²⁻	-0,05	0,29	0,17	0,24	0,21	-0,08	1,00	0,39
Min.	0,00	0,83	0,80	0,48	0,95	-0,04	0,39	1,00

sú zdokumentované v tab. 2, 3 a 4. Je zrejmé, že celková mineralizácia snehových roztokov v celom profile ukazuje veľmi nízke stredné hodnoty ako v priemeroch, tak aj v mediánoch. Najväčšiu variabilitu vykazuje celková mineralizácia v lokalite Lomnický štít, čoho dôkazom je najvyššia smerodajná odchýlka. Ostatné vybrané zložky sú veľmi podobné aj v stredných hodnotách, aj v hodnotách dolného a horného kvartilu, z čoho je zatiaľ zrejmé, že odlišnosti v sledovanom profile budú hlavne v odlahých a extrémnych obsahoch iónov.

Ďalším krokom bolo skúmanie vzájomného vzťahu vybraných iónov pomocou korelačnej analýzy. Výsledné korelačné matice pre súbory údajov rozdelené podľa nadmorskej výšky sú uvedené v tab. 5, 6 a 7 (pre celý

profil v tab. 8). Vyhodnotením uvedených korelačných matíc sme zistili, že prakticky v celom profile štatisticky významnú koreláciu pri hladine významnosti 95 % vykazuje iba Na s Cl. Táto závislosť je už dávnejšie známa (Vrana et al., 1994) a môžeme ju pokladať za prejav globálneho charakteru pôvodom z morského aerosólu, pričom v podmienkach Slovenska je externý prídavok chloridov (antropogénny), čím je posunutý molárny pomer Na/Cl (hodnota v priemernej oceánskej vode je 0,859). Pri ostatných výsledkoch korelačnej analýzy sú vzájomné vzťahy sledovaných iónov pomerne zložité a individuálne sa prejavujú na troch úrovniach nadmorskej výšky. Zaujímavé je, že hodnoty pH korelujú so síranmi (negatívne) a vápnikom (pozitívne) iba v lokalite Skalnaté pleso a vápnikom v lokalite Tatranská Lomnica, a naopak, snehový roztok na Lomnickom štíte nevykazuje koreláciu pH so žiadnym iónom. Vo všeobecnosti ide o kyslé roztoky, kde je veľký predpoklad korelácie takého typu, aký bol zistený na Skalnatom plese.

Pri hodnotení a interpretácii výsledkov monitorovania snehových roztokov je dôležité uvedomiť si niekoľko skutočností. Snehová pokrývka je veľmi zložitý systém s rôznorodou štruktúrou, v ktorom aj počas zimného obdobia prebieha množstvo fyzikálnych a chemických procesov, ovplyvňujúcich prvotné zloženie snehovej zrážky. Inými slovami, snehová pokrývka je v prvom rade inhomogénny objekt vo vertikálnom aj horizontálnom smere. Uvedenú skutočnosť dokumentujú aj výsledky sledovania izotopov δD a $\delta^{18}O$ na tzv. „snehomernom vankúši“, situovanom v oblasti Chopok-sever (Kantor et al., 1987). Profil snehu mal mocnosť 94 cm, v ktorej boli identifikované vrstvy snehu (od spodnej časti smerom hore) so štruktúrou kryštalického, sypkého a firnového snehu. Izotopové zloženie $\delta^{18}O$ bolo v rozpätí -15,22 až -13,51 ‰ a δD v intervale -109,8 až -100,3 ‰. Kantor et al. (1987) sledovali aj zmeny izotopového zloženia vody z postupne sa topiacej snehovej vrstvy a zistili, že v prvých fázach topenia obsahuje roztok ľahšie izotopy ($\delta^{18}O$ -15,20 ‰, δD -109,8 ‰) a posledné podiely sú evidentne izotopovo ťažšie ($\delta^{18}O$ -8,69 ‰, δD -62,3 ‰).

Chemické zloženie snehov na rozdiel od izotopového má svoje ďalšie odlišné zákonitosti, na ktoré vplyva mnoho prírodných aj antropogénnych faktorov. Tie boli v závislosti od nadmorskej výšky v celom súbore údajov profilu spracované korelačnou analýzou, ktorej výsledná matica je uvedená v tab. 8. Je zaujímavé, že oproti poznatkom z celého územia Slovenska s nadmorskou výškou pozitívne koreluje iba hodnota pH a koncentrácia dusičnanov sa so stúpaním nadmorskej výšky znižuje.

Vnútrotný vzťah medzi sledovanými iónmi a nadmorskou výškou bol vyjadrený aj pomocou robustnejšieho nástroja – faktorovou analýzou s ortogonálnou rotáciou typu Varimax. Výsledná faktorová štruktúra s tromi faktormi je uvedená v tab. 9. Prvý faktor vykazuje vysokú saturáciu Na⁺, Ca²⁺, NH₄⁺ a Cl⁻, čo je prakticky charakteristické pre celé územie Slovenska a vystihuje tvorbu chemického zloženia zrážky od počiatku, kontinentálne vplyvy a lokálne vplyvy a procesy prebiehajúce v snehovej vrstve. Druhý faktor je veľmi zaujímavý, lebo naznačuje negatívnu závislosť medzi

Tab. 8
Korelačná matica (celý profil spolu)
Correlation matrix (whole profile)

	pH	Na ⁺	Ca ²⁺	NH ₄ ⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Min.	N. V.
pH	1,00	0,12	0,26	-0,03	-0,09	-0,11	-0,10	0,12	0,23
Na ⁺	0,12	1,00	0,32	0,48	0,71	-0,08	0,15	0,70	0,21
Ca ²⁺	0,26	0,32	1,00	0,21	0,71	0,18	0,37	0,82	0,07
NH ₄ ⁺	-0,03	0,48	0,21	1,00	0,41	0,20	0,35	0,55	-0,06
Cl ⁻	-0,09	0,71	0,71	0,41	1,00	-0,06	0,23	0,87	0,14
NO ₃ ⁻	-0,11	-0,08	0,18	0,20	-0,06	1,00	0,13	0,19	-0,27
SO ₄ ²⁻	-0,10	0,15	0,37	0,35	0,23	0,13	1,00	0,52	-0,14
Min.	0,12	0,70	0,82	0,55	0,87	0,19	0,52	1,00	0,06
N. V.	0,23	0,21	0,07	-0,06	0,14	-0,27	-0,14	0,06	1,00

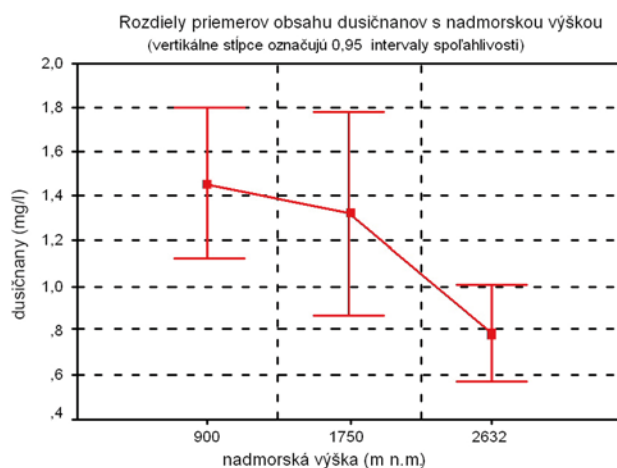
Poznámka: N. V. je nadmorská výška

Tab. 9
Výsledná faktorová štruktúra (celý profil spolu)
Resulting factor structure (along the whole profile)

	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3
pH	-0,041	-0,113	0,885
Na ⁺	0,839	-0,203	0,022
Ca ²⁺	0,612	0,337	0,549
NH ₄ ⁺	0,654	0,280	-0,189
Cl ⁻	0,913	-0,026	0,051
NO ₃ ⁻	-0,050	0,774	0,052
SO ₄ ²⁻	0,408	0,526	-0,042
N. V.	0,201	-0,639	0,345

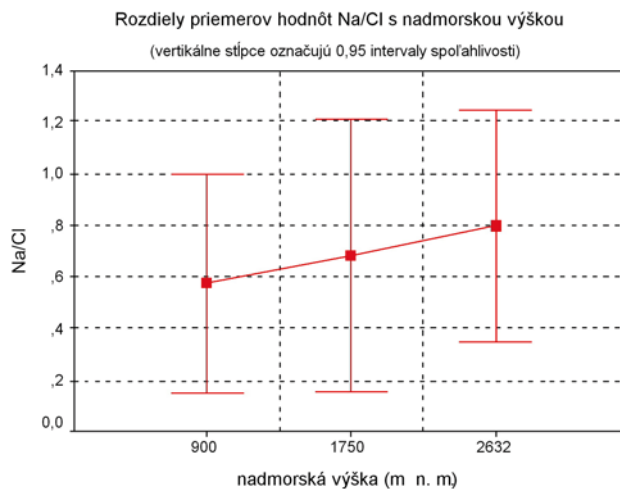
Tab. 10
Analýza rozptylu vybraných zložiek
(skupiny podľa nadmorskej výšky)
Analysis of variance of selected parameters
(groups according to altitude)

		Suma štvorcov	df	F	Hl. význ.
pH	medzi skupinami	1,590	2	2,690	0,074
	vnútri skupín	23,637	80		
	spolu	25,226	82		
Ca ²⁺	medzi skupinami	1,835	2	0,806	0,450
	vnútri skupín	91,103	80		
	spolu	92,938	82		
NH ₄ ⁺	medzi skupinami	0,186	2	0,914	0,405
	vnútri skupín	8,154	80		
	spolu	8,340	82		
Cl ⁻	medzi skupinami	29,280	2	1,473	0,235
	vnútri skupín	795,238	80		
	spolu	824,518	82		
NO ₃ ⁻	medzi skupinami	8,186	2	3,637	0,031
	vnútri skupín	90,022	80		
	spolu	98,208	82		
SO ₄ ²⁻	medzi skupinami	6,448	2	1,436	0,244
	vnútri skupín	179,572	80		
	spolu	186,020	82		



Obr. 2. Rozdiely priemerov obsahu dusičnanov v súvislosti s nadmorskou výškou.

Fig. 2. Differences in average nitrate contents with altitude.

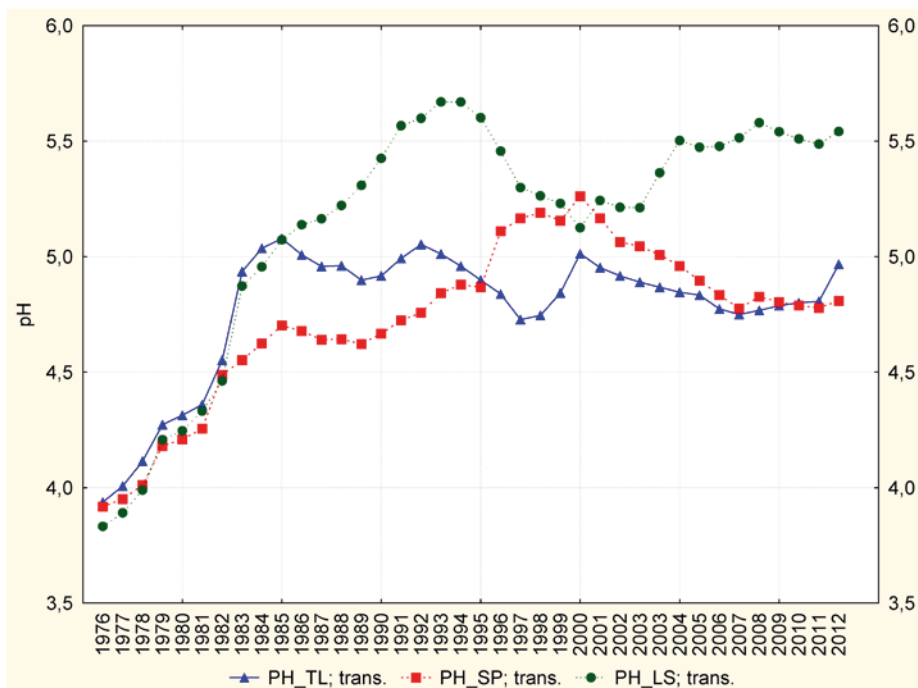


Obr. 3. Rozdiel priemerov hodnôt Na/Cl v súvislosti s nadmorskou výškou.

Fig. 3. Differences in average Na/Cl values with altitude.

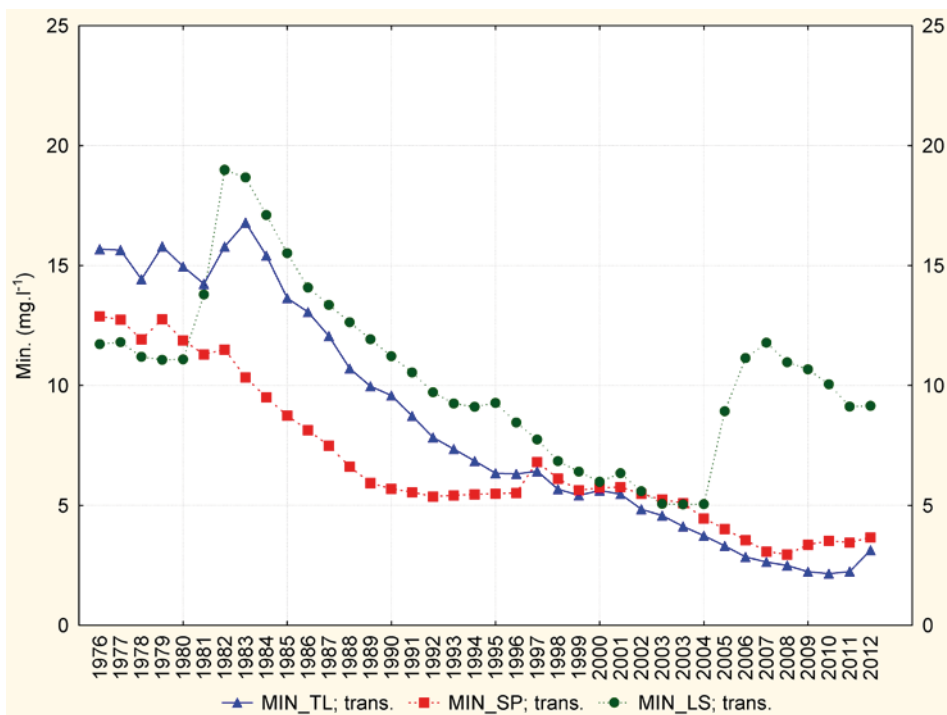
nadmorskou výškou a obsahom dusičnanov v snehových roztokoch. Tretí faktor je význačný vysokou saturáciou hodnôt pH, čo možno vysvetliť dominanciou kyslého charakteru snehových roztokov počas celého sledovaného obdobia.

Na zistenie štatisticky významných rozdielov priemerných hodnôt v súboroch rozdelených do troch skupín podľa nadmorskej výšky bola použitá analýza rozptylu (ANOVA). V podstate sa zisťovali rozdiely medzi skupinami (dva stupne voľnosti) a vnútri skupín (80



Obr. 4. Lineárny trend hodnôt pH (TL – Tatranská Lomnica; SP – Skalnaté pleso; LS – Lomnický štít).

Fig. 4. Linear trend of pH values (TL – Tatranská Lomnica; SP – Skalnaté pleso; LS – Lomnický štít).

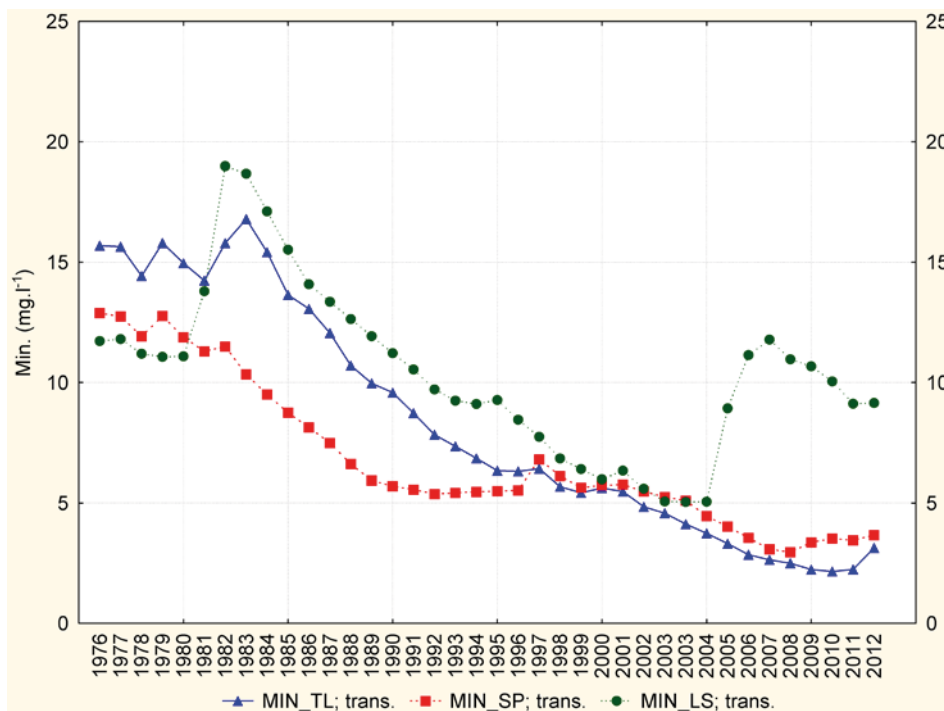


Obr. 5. Lineárny trend hodnôt celkovej mineralizácie (TL – Tatranská Lomnica; SP – Skalnaté pleso; LS – Lomnický štít).

Fig. 5. Linear trend of values of total dissolved solids (TL – Tatranská Lomnica; SP – Skalnaté pleso; LS – Lomnický štít).

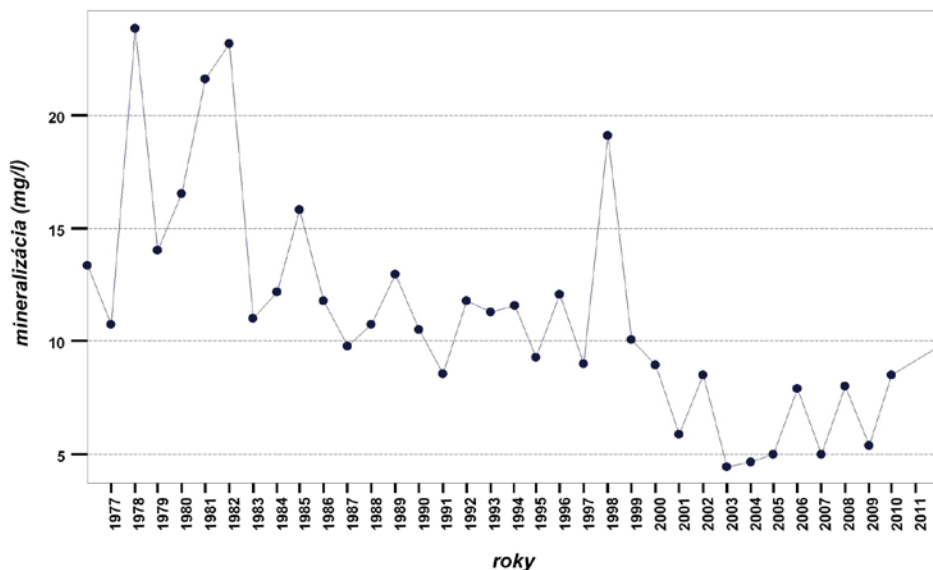
stupňov voľnosti). Výsledky analýzy rozptylu dokumentuje tab. 10. Kritériom hodnotenia je hladina významnosti, v prípade, že je menšia ako 0,05, prijímame danú hypotézu. Z výsledkov vyplýva, že jediný rozdiel medzi priemermi troch skupín, rozdelených v sledovanom profile podľa nadmorských výšok, je v obsahu dusičnanov (tab. 10). Ostatné hodnotené ióny nevykazujú štatisticky významné rozdiely medzi priemernými hodnotami. Dusičnany

vykazujú aj lineárnu závislosť v zmysle klesajúceho obsahu so stúpajúcou nadmorskou výškou. Dokumentuje to aj obr. 2 a je pravdepodobné, že regionálne zdroje obsahu dusičnanov v profile sú ovplyvnené lokálnymi zdrojmi týchto iónov v oblasti Tatranskej Lomnice a možno aj Popradskej kotliny pri určitých scenároch synoptickej situácie. Pri tejto príležitosti je potrebné pripomenúť aj uvedenú distribúciu mólového pomeru Na/Cl, kde možno potvrdiť najmenšie



Obr. 6. Lineárny trend obsahu chloridov (TL – Tatranská Lomnica; SP – Skalná pleso; LS – Lomnický štít).

Fig. 6. Linear trend of chloride concentrations (TL – Tatranská Lomnica; SP – Skalná pleso; LS – Lomnický štít).



Obr. 7. Vývoj hodnôt celkovej mineralizácie.

Fig. 7. Trends of TDS values.

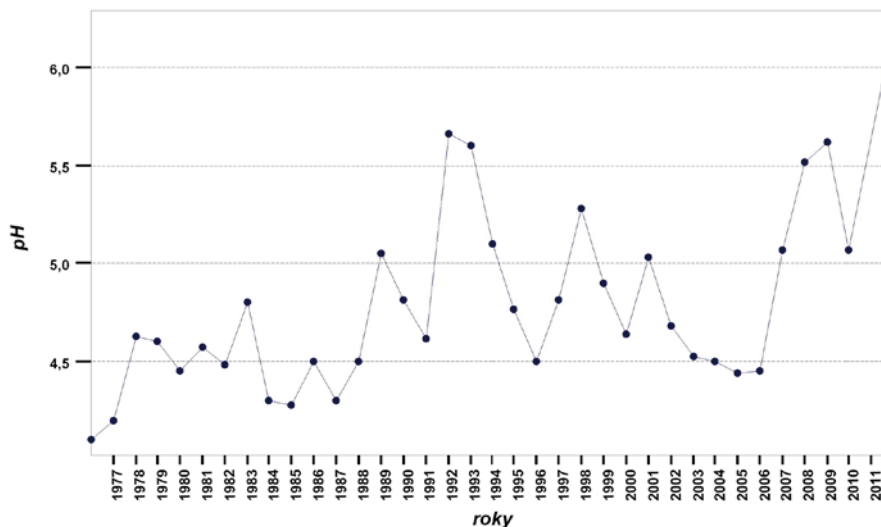
ovplyvnenie pomeru tzv. morského spreja snehových roztokov na Lomnickom štíte (obr. 3). Opäť to poukazuje na uchovanie určitého globálneho charakteru pôvodnej tvorby zrážok nad moriami a oceánom a vplyvy v nižších úrovniach nadmorskej výšky (Skalnate pleso a Tatranská Lomnica).

Časové závislosti boli skúmané vyhodnotením vybraných parametrov chemického zloženia snehových roztokov v transformovaných časových radoch pomocou funkcie lineárneho trendu podľa Holta bez zohľadnenia cyklických a sezónnych zmien.

Priebeh hodnôt pH dokumentuje obr. 4, z ktorého je zrejmé, že do zimného obdobia roku 1989 bol vývoj viac-menej podobný s prudko stúpajúcim trendom a nevykazoval medzi jednotlivými nadmorskými výškami výrazné zákonitosti. Po tomto období je možné hovoriť o určitej výškovej diferenciácii s menej stúpajúcim trendom.

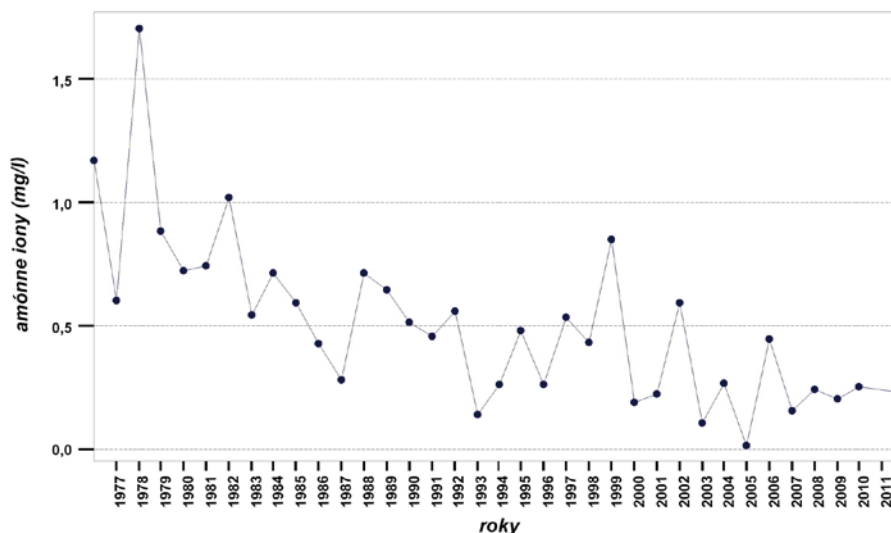
Časový vývoj hodnôt celkovej mineralizácie snehových roztokov (obr. 5) je charakterizovaný po roku 1983 výrazným klesajúcim trendom. Je tu tiež diferenciácia v rámci rozdielnych nadmorských výšok, ktorá je však poznačená anomáliou v tom zmysle, že postupnosť od najnižších hodnôt k najvyšším v závislosti od nadmorskej výšky nie je plynulá, ale v rade Lomnický štít – Tatranská Lomnica – Skalnate pleso sa v čase mení.

Obsah chloridov má od roku 1982 výrazný klesajúci charakter (obr. 6). Takmer zhodný priebeh v lokalitách Tatranská Lomnica a Skalnate pleso dokumentuje už uvedenú skutočnosť vplyvov lokálnych zdrojov na ich obsah v snehovej pokrývke oproti koncentráciám v lokalite Lomnický štít, ktorá najviac odráža globálny charakter zrážok. Od roku 2005 tu možno pozorovať určitú anomáliu, a to takú výraznú, že sa významne prejavuje aj v hodnotách celkovej mineralizácie snehového roztoku.



Obr. 8. Vývoj hodnôt pH.

Fig. 8. Trends of pH values.



Obr. 9. Vývoj koncentrácie amónnych iónov.

Fig. 9. Trends of ammonium ion contents.

Hodnotenie variability chemického zloženia snehov

Hodnotenie priebehu a variability chemického zloženia snehovej pokrývky je jedným zo základných cieľov monitoringu. Trendy vývoja hodnôt a koncentrácií vybraných ukazovateľov (celková mineralizácia, pH, dusičnany, amónne ióny, sírany) sú zobrazené na obr. 7 až 11. Podkladom na zostavenie grafov sú hodnoty mediánov zo všetkých lokalít Slovenska v danom roku pozorovania.

Z grafov vyplývajú nasledujúce skutočnosti:

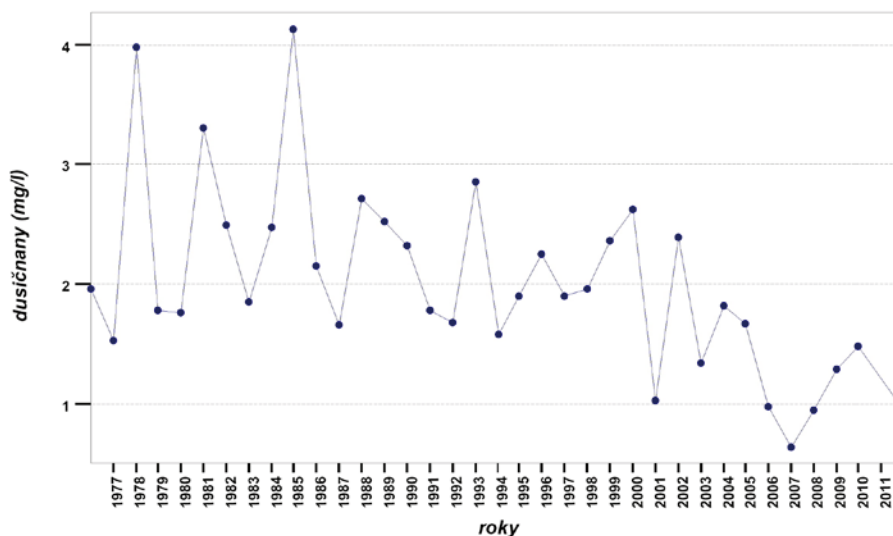
– Hodnoty celkovej mineralizácie v 80. rokoch minulého storočia postupne poklesávali, 90. roky charakterizuje v zásade pomerne ustálený priebeh hodnôt, zatiaľ čo na prelome tisícročí došlo k ďalšiemu poklesu hodnôt s minimami v rokoch 2003 až 2005 (obr. 7). V posledných

rokoch je badateľný mierny trend nárastu hodnôt celkovej mineralizácie.

– Priebeh hodnôt pH (obr. 8) sa v zásade vyznačuje opačným trendom s určitým nárastom hodnôt v priebehu monitorovania, hlavne po roku 1989, čo súvisí predovšetkým so znížením podielu aniónov silných kyselín, hlavne síranov a dusičnanov v atmosfére vzhľadom na znižovanie emisií SO_x a NO_x v tejto perióde. Z tohto celkového trendu sa vymykajú prakticky len roky 2002 až 2006.

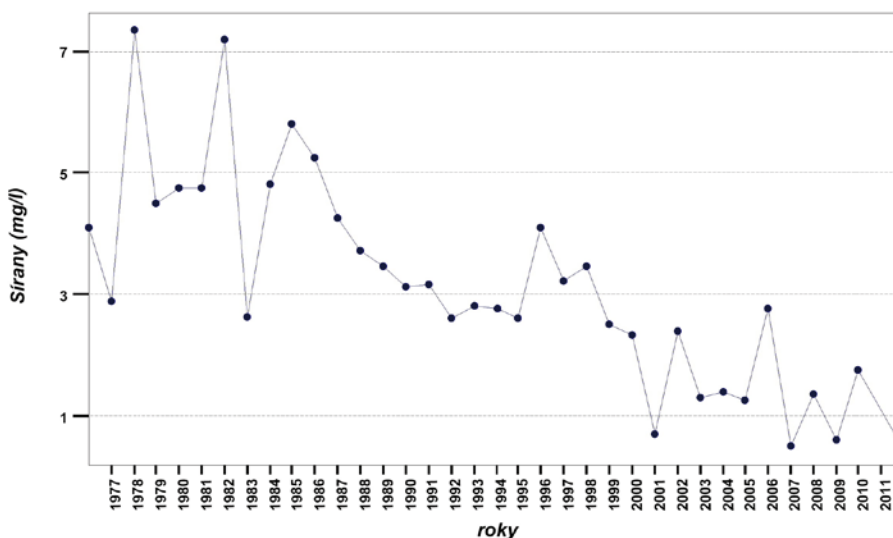
– Koncentrácia amónnych iónov (obr. 9) má v zásade klesajúci trend a v súčasnosti sa pohybuje takmer výlučne na úrovni do $0,5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$.

– Obsah dusičnanov (obr. 10) výraznejšie poklesol až po roku 2000, zatiaľ čo pri síranoch (obr. 11) sa najvýraznejšie prejavil útlm priemyselných aktivít a pokles



Obr. 10. Vývoj koncentrácie dusičnanov.

Fig. 10. Trends of nitrate contents.



Obr. 11. Vývoj koncentrácie síranov.

Fig. 11. Trends of sulphate contents.

výroby po roku 1989 (znižovanie vypúšťania emisií), a to postupným poklesom koncentrácie po tomto období, ktorý prebieha prakticky do súčasnosti.

Záver

Predmetom príspevku je zhodnotenie výsledkov z 36-ročného pozorovania snehovej pokrývky, ktoré je realizované od roku 1976 v 44 lokalitách Slovenska. Vstupné monitorovacie prvky reprezentujú chemické účelové analýzy snehových roztokov z každého bodu monitorovacej siete (z celého profilu snehovej pokrývky). Po pozvoľnom roztopení vzorky a homogenizácii je upravenými štandardnými metódami robená chemická analýza.

Najvyššie hodnoty rozpustených látok (celkovej mineralizácie zväčša nad $20 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$) sa viažu na nížinné oblasti a medzihorské depresie, kde sa sústreďuje osídlenie, priemysel a poľnohospodárske aktivity. Variabilita chemického zloženia snehovej pokrývky odráža predovšetkým pôvod vzduchových hmôt, synoptickú situáciu, množstvo zrážok a globálne/regionálne/lokálne znečistenie atmosféry. Roztoky z roztopeného snehu sa vyznačujú zväčša nízkymi hodnotami pH, v takmer tretine vzoriek pod 4,4. Na druhej strane sa vyskytujú prípady s pH nad 7, čo je väčšinou zapríčinené alkalickými úletmi najmä v blízkosti cementárni a magnezitového priemyslu.

Vnútrotný vzťah medzi sledovanými iónmi a nadmorskou výškou bol vyjadrený faktorovou analýzou. Výsledná faktorová štruktúra s tromi faktormi je uvedená v tab. 9. Prvý faktor vykazuje vysokú saturáciu Na^+ , Ca^{2+} , NH_4^+ a Cl^- , čo je prakticky charakteristické pre celé územie Slovenska a vystihuje tvorbu chemického zloženia zrážky od počiatku, kontinentálne vplyvy a lokálne vplyvy a procesy prebiehajúce v snehovej vrstve. Druhý faktor naznačuje negatívnu závislosť medzi nadmorskou výškou a obsahom dusičnanov v snehových roztokoch. Tretí faktor je význačný vysokou saturáciou hodnôt pH, čo možno vysvetliť dominanciou kyslého charakteru snehových roztokov počas celého sledovaného obdobia.

V rámci pozorovaného obdobia boli zistené viaceré trendy vývoja obsahu a hodnôt stanovovaných fyzikálno-chemických ukazovateľov. Hodnoty celkovej mineralizácie v 80. rokoch minulého storočia postupne poklesávali, 90. roky charakterizuje v zásade pomerne ustálený priebeh hodnôt, zatiaľ čo na prelome tisícročí došlo k ďalšiemu poklesu hodnôt s minimami v rokoch 2003 až 2005 (obr. 7). Priebeh hodnôt pH (obr. 8) sa v zásade vyznačuje opačným trendom s určitým nárastom hodnôt v priebehu monitorovania, hlavne po roku 1989, čo súvisí predovšetkým so znížením podielu aniónov silných kyselín, hlavne síranov a dusičnanov v atmosfére vzhľadom na znižovanie emisií SO_x a NO_x . Útlm priemyselných aktivít a pokles výroby po roku 1989 (znižovanie vypúšťania emisií) sa najvýraznejšie prejavil pri síranoch (obr. 11), a to postupným poklesom koncentrácie po tomto období, ktorý prebieha prakticky do súčasnosti.

Keďže zimné zrážky majú v podmienkach Slovenska veľký význam pre tvorbu zásob podzemných vôd a významne odrážajú stav a kvalitu životného prostredia,

realizácia monitorovania snehov má na Slovensku veľký význam. Pri hodnotení a interpretácii výsledkov monitorovania snehových roztokov je dôležité uvedomiť si, že snehová pokrývka je veľmi zložitý systém s rôznorodou štruktúrou, v ktorom aj počas zimného obdobia prebieha množstvo fyzikálnych a chemických procesov, ovplyvňujúcich prvotné zloženie snehovej zrážky. Z uvedeného dôvodu je pre kvalitnú interpretáciu výsledkov potrebné zabezpečiť systematické dlhodobé pozorovanie tohto média aj v budúcnosti.

References

- BABIAKOVÁ, G., BODIŠ, D., CEROVSKÝ, M. & ZÁVODSKÝ, D., 1987: Príspevok k možnostiam modelovania koncentrácie síranov v procese topenia a odtoku vody zo snehovej pokrývky a reprodukovateľnosti vstupných údajov. *Vodohosp. Čas.*, 35, 2, 115 – 138.
- BARRIE, L. A., FISCHER, D. A. & KOERNER, R. M., 1985: Twentieth century trends in Arctic air pollution revealed by conductivity and acidity observations in snow and ice in the Canadian High Arctic. *Atmos. Environ.*, 19, 12, 2 055 – 2 063.
- BODIŠ, D., LOPAŠOVSKÁ, M., LOPAŠOVSKÝ, K. & RAPANT, S., 2000: Chemické zloženie snehovej pokrývky na Slovensku – výsledky 25-ročného pozorovania. Slovenská hydrogeologická konferencia, Herľany. *Podzemná voda*, 2, 10, 162 – 173.
- BOUTRON, C. F., 1995: Historical reconstruction of the Earth's past atmospheric environment from Greenland and Antarctic snow and ice cores. *Env. Rev.*, 3, 1, 1 – 28.
- CLOW, D. W., INGERSOLL, G. P., MAST, M. A., TURK, J. T. & CAMPBELL, D. H., 2002: Comparison of snowpack and winter wet deposition chemistry in the Rocky Mountains, USA. Implications for winter dry deposition. *Atmos. Environ.*, 36, 2 337 – 2 348.
- GAZDA, S. & LOPAŠOVSKÝ, K., 1983: Chemické zloženie zrážok na území Slovenska. In: *Hydrochemické problémy znečisťovania prírodných vôd. Konf., Symp., Sem., GÚDŠ, Bratislava*, 63 – 71.
- HEUER, K., TONNESSEN, K. A. & INGERSOLL, G. P., 2000: Comparison of precipitation chemistry in the Central Rocky Mountains, Colorado, USA. *Atmos. Environ.*, 34, 1 713 – 1 722.
- HILTBRUNNER, E., SCHWIKOWSKI, M. & KÖRNER, Ch., 2005: Inorganic nitrogen storage in alpine snow pack in the Central Alps (Switzerland). *Atmos. Environ.*, 39, 2 249 – 2 259.
- IGLÁROVÁ, L., WAGNER, P., HRAŠNA, M., CIPCIAR, A., FRANKOVSKÁ, J., BAJTOŠ, P., SMOLÁROVÁ, H., GLUCH, A., VLČKO, J., BODIŠ, D., KLUKANOVÁ, A., ONDŘÁŠIK, M., ONDREJKA, P., LIŠČÁK, P., PAUDITŠ, P., PETRO, L., DANANAU, I., HAGARA, R., MOCZO, P., LABÁK, P., KRISTEKOVÁ, M., FERIANC, D., VANKO, J., KOVÁČIKOVÁ, M., ZÁHOROVÁ, L., MIKITA, S., MATYS, M., GAJDOŠ, V., MASAROVICOVÁ, M., SLÁVIK, I., VYBÍRAL, V., RAPANT, S., GREIF, V., BRČEK, M., KORDÍK, J. & SLANINKA, I., 2011: Čiastkový monitorovací systém – geologické faktory, správa za obdobie 2002 – 2009. Záverečná správa. *Manuskript. MŽP SR, ŠGÚDŠ, Bratislava*.
- INGERSOLL, G. P., MAST, M. A., CAMPBELL, D. H., CLOW, D. W., NANUS, L. & TURK, J. T., 2008: Trends in snowpack chemistry and comparison to National Atmospheric Deposition Program results for the Rocky Mountains, US, 1993–2004. *Atmos. Environ.*, 42, 6 098 – 6 113.
- KANTOR, J., ĐURKOVIČOVÁ, J., RŮČKA, I., HARČOVÁ, E., ELIÁŠ, K., GARAJ, M., RICHTARČÍK, J. & MICHALKO, J., 1987: Izotopový výskum hydrogenetických procesov. 1. časť (vody Žitného ostrova, vody na zlomoch v neovulkanitoch, topenie snehov Chopok). Čiastková záverečná správa. *Manuskript. Archív GÚDŠ, Bratislava*, 174 s.
- KLUKANOVÁ, A., WAGNER, P., IGLÁROVÁ, L., ONDŘÁŠIK, M., JÁNOVÁ, V., LIŠČÁK, P., MATYS, M., VLČKO, J., KOVÁČIKOVÁ, M., HRAŠNA, M., BODIŠ, D., MOCZO, P., FRANKOVSKÁ, J., RAPANT, S., JELÍNEK, R., PAUDITŠ, P., PETRO, L., POLAŠČINOVÁ, E., KOVÁČIK, M., SCHERER, S.,

- KRISTEKOVÁ, M., LABÁK, P., DANANAJ, I., SPIŠÁK, Z., JADROŇ, D., VYBÍRAL, V., HOLZER, R., MALGOT, M., BALIAK, F., JÁNOŠ, J., GAJDOŠ, V., LETKO, V. & MIKA, R., 1998: Čiastkový monitorovací systém geologických faktorov životného prostredia Slovenskej republiky, stav k 31. 12. 1997. *Manuskript. Archív GS SR, Bratislava*, 420 s.
- MAYEWSKI, P. A., 1994: Changes in atmospheric circulation and ocean ice cover over the North Atlantic during the last 41,000 years. *Science*, 263, 5 154, 1 747 – 1 751.
- RAPANT, S., VRANA, K., BODIŠ, D., DOBOŠ, V., HANZEL, V., KORDÍK, J., REPČOKOVÁ, Z., SLANINKA, I. & ZVARA, I., 1996: Geochemický atlas Slovenskej republiky – časť podzemné vody. *GS SR, Bratislava*, 127 s.
- SHARP, M., SKIDMORE, M. & NIENOW, P., 2002: Seasonal and spatial variations in the chemistry of a High Arctic superglacial snow cover. *J. Glaciology*, 48, 160, 149 – 158.
- VRANA, K., BODIŠ, D., LOPAŠOVSKÝ, K., RAPANT, S. & GIRMAN, J., 1994: Regional evaluation of snow pack quality in Slovakia. Hydrogeochemical aspect. *IAHS Publ. No 222, Wallingford*, 105 – 113.
- VRANA, K., BODIŠ, D., LOPAŠOVSKÝ, K. & RAPANT, S., 1989: Regionálno-hydrogeochemické zhodnotenie kvality snehovej pokrývky na území Slovenska. *Západ. Karpaty, Sér. Hydrogeol. inž. Geol.*, 7, 87 – 128.
- WAGENBACH, D., MÜNNICH, K. O., SCHOTTERER, U. & OESCHGER, H., 1988: The anthropogenic impact on snow chemistry at Colle Gnifetti, Swiss Alps. *Ann. Glaciol.*, 10, 183 – 187.

Rukopis doručený 8. 1. 2013

Revidovaná verzia doručená 5. 2. 2013

Rukopis akceptovaný red. radou 27. 2. 2013

Variability of chemical composition of winter precipitations in Slovakia for 36 years of observation

Paper presents results of snow cover monitoring program in the Slovak Republic implemented in 1976. The monitoring is recently realized within the framework of the project "Monitoring of geological factors of environment", which comprises background information on abiotic statement of natural environment. pack as follows:

- knowledge of the mechanism which affect quantities and processes of the chemical composition of groundwater
- a reasoned interventions in the natural environment in terms of acidification of natural receptors (natural water, soil, rocks, biomass, etc.)
- monitor the impact of changes in the quantity and quality of solutions generated heating snow cover various processes (weathering, sagging, slumping, etc.)
- knowledge of the loads of the atmosphere and the potential contribution of anthropogenic substances at the time of
- knowledge of the nature and degree of pollution of the Slovak Republic with the option to create a model of development based on long-term (historical) series observations.

Snow cover monitoring is carried out yearly on a national network of 44 locations throughout Slovakia (Fig. 1).

Values of total dissolved solids (TDS) range from $2.04 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ to $162.8 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ (Tab. 1). The lowest TDS values are documented in the Vysoké Tatry, Nízke Tatry and Velká Fatra Mts. The highest contents of TDS were observed close to densely populated areas, industrial parks and agricultural areas. Snows characterize low pH values (almost one third of samples with values less than 4.4). On the other hand, pH above 7 were observed close to cement factories and magnezite industry.

As "background area" was allocated altitude profile in the Vysoké Tatry Mts. (Lomnický štít – Skalnaté pleso – Tatranská Lomnica) with lower TDS values comparing to nationwide average TDS values (ratio 0.57 to 0.62). Basic statistical parameters of snow chemical composition of profile are given in Tabs. 2, 3 and 4. It is clear that the TDS values of the whole profile characterize very low mean and median values. The greatest variability in the TDS values has Lomnický štít locality, as evidenced by the highest standard deviation.

Correlation matrices of profile are presented in Tabs. 5–7 and 8. Statistically significant correlation at a significance level of 95 % has practically only Na with Cl. This dependence reflects the global nature of the atmosphere originating from marine aerosol. Interpretation of other correlations is quite complicated. pH values correlated with sulfate (negative) and calcium (positive) only at the Skalnaté pleso monitoring site and with calcium at the Tatranská Lomnica site (vice versa pH values of snows from Lomnický štít does not correlate with any ion).

Relationship between analysed parameters and altitude is expressed by factor analysis (Tab. 9). The first factor has high saturation of Na^+ , Ca^{2+} , NH_4^+ and Cl^- , which is practically characteristic for the entire territory of Slovakia and describes the formation of snow chemical composition from the beginning, through continental influences to local influences and processes ongoing in the snow layer. The second factor suggests a negative relationship between altitude and nitrate in snow solutions. The third factor is the prominent high saturation values of pH, which can be explained by the dominance of the acidic origin of the snow solutions throughout the observed period.

To find statistically significant differences in mean values of data, divided into three groups according to altitude, the analysis of variance was used (Tab. 10). The results show that the only difference between the averages of the three groups was calculated for nitrates. Differences in average nitrate contents and average Na/Cl values with altitude are presented in Figs. 2 and 3, respectively.

Variability of chemical composition in the Slovak territory reflects mainly origin of air material, synoptic situation, precipitation amount and global/regional/local pollution of atmosphere. Evaluation of the variability of snow chemical composition is one of the fundamental objectives of monitoring. Trends of pH and TDS values and concentrations of nitrates, ammonium ions and sulphate are shown in Figs. 7 to 11. In case of total dissolved solids, nitrates, ammonium ions and sulphates, the decrease of values in time is obvious mainly due to the drop of industrial activities after 1989. By contrast, a trend of pH value increase is documented in snow cover of Slovakia.