

O extrémoch redukovaného tlaku vzduchu na Slovensku: najvyššie hodnoty

Investigating Slovakia's sea-level pressure extremes: the highest readings

Dalibor Výberčí

Slovenský hydrometeorologický ústav
Jeséniova 17, 833 15 Bratislava
✉ daliborvyberci@gmail.com

Pavol Faško

Slovenský hydrometeorologický ústav
Jeséniova 17, 833 15 Bratislava
✉ pavol.fasko@shmu.sk

Jozef Pecho

Slovenský hydrometeorologický ústav
Jeséniova 17, 833 15 Bratislava
✉ jozef.pecho@shmu.sk

Oliver Bochníček

Slovenský hydrometeorologický ústav
Jeséniova 17, 833 15 Bratislava
✉ oliver.bochnicek@shmu.sk

Tibor Csörgei

Slovenský hydrometeorologický ústav
Jeséniova 17, 833 15 Bratislava
✉ tibor@observatory.sk

Lubomír Babin

Slovenský hydrometeorologický ústav
– Meteorologické observatórium Hurbanovo
Komárňanská 108, 947 01 Hurbanovo
✉ lubomir.babin@shmu.sk

We performed an extensive investigation on the highest sea-level pressure (SLP) on record in Slovakia with a main goal of filling up the evidence of the country's historical weather extremes. The five major anticyclonic situations were analysed thoroughly and the most extreme high SLP values revealed in the assessment are most likely the absolute maxima in the history of official meteorological observations in Slovakia (since mid-19th century). The record-highest reading of 1,062.3 hPa (possible error +0.1 hPa) was registered in Oravský Podzámok on 23 January 1907 and it simultaneously applies to both considered altitude categories (below 550 m a.s.l. – local threshold for pressure reductions, and below 750 m a.s.l. – WMO threshold, respectively). In general, basins in the mountainous parts of Slovakia seem to hold a characteristic position in terms of reaching high SLP values. The SLP adjustment was

conducted properly and the obtained results are in accordance with the prevailing meteorological situations over the area from the larger-scale and also mesoclimatic perspective.

KLÍČOVÉ SLOVÁ: extrémny počasie historické – anticyklóny mohutné – tlak vzduchu okamžitý – redukcia tlaku na hladinu mora – Slovensko

KEYWORDS: atmospheric pressure – historical weather extremes – intense anticyclones – sea-level pressure adjustment – Slovakia

1. Úvod

Klimatologické hodnotenia (prízemného) tlaku vzduchu (tiež: atmosférický/barometrický tlak), vrátane príspevkov zaoberajúcich sa tlakovými extrémami, sú nielen v slovenskej odbornej literatúre skôr ojedinelé. Hlavným dôvodom akiste je, že tlak vzduchu patrí z klimatologického hľadiska medzi doplnkové, menej významné meteorologické prvky. Pre možnosť priestorového porovnávania je navyše nutné prepočítavať (redukovať) namerané staničné hodnoty tlaku vzduchu na jednotnú hladinu – hladinu mora prostredníctvom barometrickej rovnice, čo nie je celkom triviálny proces. Je totiž známe, že hodnoty redukovaného tlaku sú mimoriadne citlivé na presnosť a aktuálnosť ich výpočtov (Burt 2006; Purevjav et al. 2015). Nech už sú ale konkrétne dôvody akékoľvek, v slovenskej meteorológii a klimatológii v každom prípade naďalej panuje stav, kedy v kategórii historických extrémov počasia neexistuje jednoznačná vedomosť o absolútne najvyšších a najnižších zaznamenaných okamžitých hodnotách redukovaného tlaku na území krajiny.

Podľa publikácie Sobíšek (1993) bol 24. januára 1907 v Hurbanove dosiahnutý tlak vzduchu redukovaný na strednú hladinu mora (ďalej len zjednodušene: „redukovaný“ t. v.) 1 055,4 hPa a táto hodnota je dodnes zmieňovaná ako celoslovenské absolútne historické maximum. Akákoľvek bližšia informácia o ustanovení tejto hodnoty však absentuje. Už pri úvodných overovacích prepočtoch sme zistili, že uvedená hodnota z Hurbanova je spochybniteľná. Vystalo podozrenie, že sa môže jednať o nedôslednosť pri samotnom výpočte, ktorá vyústila v ustálenie hodnoty s pomerne nezanedbateľným rozdielom oproti korektnejšej hodnote.

Inú zmienku o veľmi vysokej i nízkej okamžitej hodnote redukovaného tlaku vzduchu prináša Klimatický atlas Slovenska (2015), obsahujúci spracovanie za obdobie 1961–2010. Ide o údaj 1 054,9 hPa z 24. decembra 1963 na stanici Sliač-letis-

ko, resp. 970,2 hPa z 3. decembra 1976 na stanici Boľkovce. V tomto prípade je prítomná určitá informácia o prepočtoch, ktorá je však stále nekompletná. Okrem toho v práci uvedená barometrická rovnica na redukciu tlaku je čiastočne zjednodušená a v súčasnosti sa už považuje za zastaralú. Treba však poznamenať, že hľadanie extrémnych tlakových hodnôt vôbec nebolo cieľom analýzy v rámci danej publikácie.

Okrem doposiaľ uvedených skutočností pretrvávala tiež domnienka doterajšieho minimálneho využitia existujúcich zdrojov k danej téme. Práve na základe iba strohej evidencie už spomenutej udalosti z roku 1907 sa dalo s veľkou istotou predpokladať, že zatiaľ neboli spracované archívne údaje o tlaku vzduchu z väčšieho počtu slovenských meteorologických staníc. Tradičná synoptická analýza (NOAA 2020) aj reanalýzy prízemného tlakového poľa totiž ukazujú, že najvyššie okamžité hodnoty redukovaného tlaku boli v rámci Slovenska pri mimoriadne mohutnej anticyklóne v januári 1907 očakávateľné na severovýchode a severe územia a nie v Hurbanove, ležiacom na juhozápade krajiny. Dosiahnutie vyčerpávajúcejšej evidencie z tejto meteorologicky výnimočnej situácie (Lempfert 1907; Burt 2007), ale i z ďalších pozoruhodných historických prípadov veľmi mohutných výší a hlbokých níží tak bolo ďalším impulzom pre podrobnejšie spracovanie problematiky.

V celkovom svetle nejasnej doterajšej evidencie sme uskutočnili hlbšiu investigatívnu absolútnych historických extrémov redukovaného tlaku vzduchu v histórii oficiálnych meteorologických meraní na Slovensku. Naším prvoradým záujmom bolo presnejšie a spoľahlivejšie určenie príslušných hodnôt, ktoré tak budú môcť byť v praxi považované za oficiálne. Popri analýze kompletnej elektronickej databázy (zdigitalizované údaje) sme vykonali aj verifikáciu zistených hodnôt na základe archivovaných (papierových) meteorologických dokumentov a historických publikácií. V analógových dobových zdrojoch sme taktiež realizovali dopĺňujúce hľadanie výnimočne vysokých okamžitých tlakových hodnôt, ktoré mohli byť doposiaľ neodhalené, a teda nepublikované.

Všetky výstupné hodnoty redukovaného tlaku vzduchu boli ustanovené jednotne s využitím barometrickej rovnice, ktorá je na Slovensku aktuálne používanou s dlhodobou integráciou v rámci národnej meteorologickej siete. Keďže spracovanie redukovaného tlaku je netriviálnou záležitosťou, našou snahou je prezentovať a diskutovať zistené skutočnosti čo najdetailnejšie a podhaliť tak mnohé metodické aspekty, ktoré je potrebné brať do úvahy pri možných budúcich hodnoteniach s využitím redukcie tlaku vzduchu.

Čiastočne kvôli komplikáciám, spojeným s dostupnosťou údajov, súčasne však aj z racionálneho dôvodu väčšej prehľadnosti sme sa rozhodli, že bude primerané hodnotiť obe skupiny tlakových extrémov samostatne. V tomto príspevku sa preto napokon prioritne venujeme najvyšším zaznamenaným hodnotám tlaku vzduchu.

2. Použitý materiál a metodika spracovania

Príslušné údaje z meteorologických meraní zo všetkých staníc v rámci Slovenska a ostatné potrebné podklady pre spracovanie štúdie poskytol Slovenský hydrometeorologický ústav (SHMÚ). V elektronickej forme boli k dispozícii všetky databázované údaje z meteorologických meraní a rôzne druhy inter-

nej evidencie staničných metadát. Súčasne boli prístupné a využité originálne meteorologické a klimatické výkazy a ročenky, staničné denníky, a vyčlenia registračných prístrojov z archívu a knižnice SHMÚ v Bratislave na Kolibe. Doplnkový zdroj niektorých starších údajov predstavovali štatistické ročenky, vydávané Maďarským štatistickým úradom, s obsahnutou kapitolou o klimatických pomeroch, voľne dostupné na websp stránke Maďarského národného digitálneho archívu (mandadb.hu).

Hodnoty redukovaného tlaku vzduchu P_0 (v praxi tiež ozn. QFF) boli počítané jednotne s využitím úplnej barometrickej rovnice s výpočtom tlaku podľa reálnej atmosféry. Konkrétne zvolená rovnica v danom tvare je aktuálnou a na Slovensku dlhodobo integrovanou v rámci siete meteorologických staníc, na ktorých sa v súčasnosti realizuje redukcia tlaku vzduchu. Použité vzťahy pre výpočet P_0 sú nasledovné:

$$P_0 = \exp(g \cdot H_t / (287,04 \cdot T_v)) \cdot P_s \quad (1)$$

$$g = g_0 - 0,00000308 \cdot H_t \quad (2)$$

$$g_0 = 9,80665 \cdot (1 - (0,0026373 - 0,0000059 \cdot \cos(2\Phi)) \cdot \cos(2\Phi)) \quad (3)$$

$$T_v = 273,15 + T + (H_t \cdot 0,00325) + 0,378 \cdot (273,15 + T) \cdot e/P_s \quad (4)$$

kde: P_0 je tlak vzduchu redukovaný na hladinu mora [hPa]

P_s je staničný tlak vzduchu (pri meraniach ortuťovým tlakomerom prepočítaný na teplotu ortuti 0 °C a normálne tiažové zrýchlenie, a so započítanou prístrojovou opravou) [hPa]

H_t je nadmorská výška (nádobky) staničného tlakomeru [m n. m.]

g je lokálne tiažové zrýchlenie vo výške H_t [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]

g_0 je tiažové zrýchlenie pri hladine mora [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]

Φ je geografická šírka stanice [rad]

T_v je virtuálna teplota vzduchu [K]

T je suchá teplota na stanici [°C]

e je staničný tlak vodnej pary [hPa]

V slovenskej meteorologickej praxi sa tlak dlhú dobu registroval v milimetroch ortuťového stĺpca [mmHg (*torr*)], ktoré boli do roku 1980 základnou tlakovou jednotkou (Sobišek 1993). Prevod na v súčasnosti používané hektopascaly [hPa] bol uskutočnený v súlade s najnovšou verziou Smernice Svetovej meteorologickej organizácie (WMO) pre meteorologické prístroje a metódy pozorovaní (WMO 2014) nasledovne:

$$1 \text{ mmHg} = 1,333224 \text{ hPa} \quad (5)$$

Všetky vstupné i výstupné hodnoty vyššie uvedených charakteristík tlaku, teploty a vlhkosti vzduchu boli analyzované so štandardným zaokrúhľovaním na jedno desiatinné miesto. Pri údajoch o nadmorskej výške tlakomeru bola pri prepočtoch použitá čo najpresnejšia dostupná hodnota.

Zo vzťahov (1–4) je zrejmé, že pre možnosť redukovania tlaku vzduchu podľa zvolenej barometrickej rovnice je v rámci

meteorologických meraní na konkrétnej stanici nutná dostupnosť údajov o tlaku a teplote vzduchu a tlaku vodnej pary. Zároveň je z tzv. metadát nevyhnutná informácia o geografickej polohe stanice a špecifický údaj o nadmorskej výške tlakomeru (H_i) v čase merania. Pri absencii aspoň jedného z uvedených vstupných parametrov tak nebolo možné ustanoviť hodnovernú (oficiálnu) hodnotu redukovaného tlaku P_0 .

Pri spracovaní údajov sa vyskytlo niekoľko prípadov, kedy na meteorologickej stanici v dobe záujmovej situácie nebol zaznamenaný okamžitý tlak vodnej pary (e). V takýchto prípadoch sme daný údaj dodatočne doplnili štandardným postupom podľa predpísaných psychrometrických tabuliek (SHMÚ 1989) na základe nameranej suchej (T) a vlhkej (T') teploty vzduchu na stanici. Ak nebol dostupný údaj o T' , bol pre redukciu použitý údaj o limitnom, t.j. maximálnom možnom tlaku vodnej pary, resp. tlaku nasýtenej vodnej pary (e') pre danú teplotu T podľa psychrometrických tabuliek (SHMÚ 1989); takýto prístup uvádzajú tiež Purevjav et al. (2015). Hoci tlak vodnej pary nemá na výslednú hodnotu redukovaného tlaku P_0 zásadný vplyv, použitie e' môže v porovnaní s e viesť k nepatrne nižšej výslednej hodnote P_0 (vzťah 1). Takto vzniknuté podhodnotenie hodnoty P_0 je vo výsledkoch zohľadnené v rámci uvádzanej možnosti (v tomto prípade kladnej) odchýlky (chyby) pri prezentovanej hodnote P_0 .

Odchýlka uvádzaná pri výslednej hodnote redukovaného tlaku P_0 mohla tiež vzniknúť s ohľadom na menšiu presnosť (zaokrúhlenie) vstupných údajov o nadmorskej výške tlakomeru H_i . Uvádzaná odchýlka P_0 takisto zohľadňuje možnú rôzne udanú hodnotu nadmorskej výšky tlakomeru H_i v jednotlivých zdrojoch, pričom za rozhodujúci (primárny) pre prepočet P_0 sme v takýchto prípadoch považovali objektívne dôveryhodnejší údaj.

Výstupné hodnoty redukovaného tlaku vzduchu sú v práci prezentované v dvoch samostatných kategóriách podľa nadmorskej výšky. V slovenskej sieti meteorologických staníc sa redukcia tlaku na hladinu mora dlhodobo realizuje na staniách s nadmorskou výškou do 550 m n. m. (viď napr. Klimatický atlas Slovenska 2015), zatiaľ čo WMO pripúšťa štandardné redukcie tlaku na staniách až do výšky 750 m n. m. (WMO 2014), pričom od roku 2012 eviduje historické tlakové extrémny práve v takto osobitne definovanej výškovej kategórii (Purevjav et al. 2015). V našom hodnotení pre Slovensko sme sa preto rozhodli analyzovať a interpretovať hodnoty redukovaného tlaku pre obe uvedené kategórie podľa nadmorskej výšky.

V analytickej časti práce bolo spracovaných celkom päť nasledovných anticyklonálnych situácií, počas ktorých boli na území Slovenska zaznamena-

vané veľmi vysoké okamžité hodnoty tlaku vzduchu: v januári 1882, januári 1907, januári 1929 a decembri 1963 pre meteorologické stanice z celého územia krajiny, a v januári 1940 pre vybrané potenciálne najexponovanejšie lokality. Tieto situácie boli identifikované ako najvýznamnejšie na základe predbežnej analýzy, ktorá pozostávala z spracovania zdigitalizovaných údajov o tlaku vzduchu (pre stanicu Hurbanovo už od roku 1872 a pre ostatné stanice od roku 1951) a rozboru voľne dostupných analýz a reanalýz prízemného tlakového poľa (NOAA, CFS, GFS, ERA, NCEP/NCAR, DWD; rôzne od roku 1836).

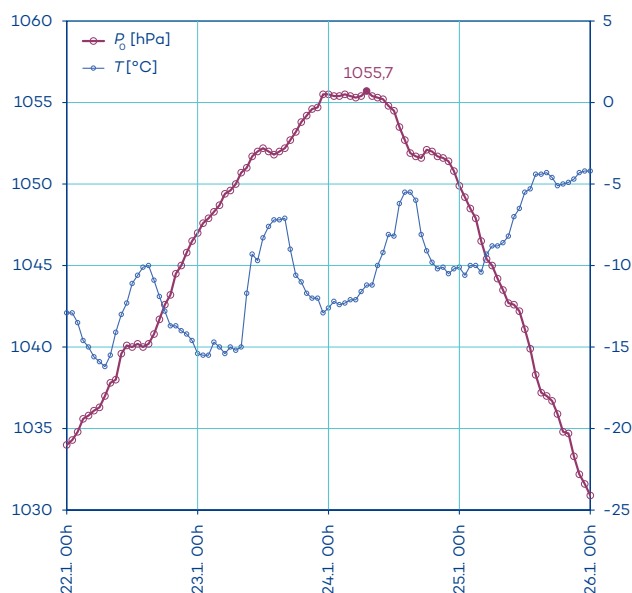
Ak nie je uvedené inak, vo výsledkovej časti je pre každú meteorologickú stanicu prezentovaná iba jedna, t.j. najvyššia zistená okamžitá hodnota redukovaného tlaku P_0 za danej situácie (v danej tlakovej výši). V rámci jednotlivých situácií sme ako nespoľahlivé vyhodnotili a z definitívnych výsledkov tak vylúčili prípady nápadne rozdielnych výsledných hodnôt P_0 v evidentnom rozpore s hodnotami z ostatných (obzvlášť okolitých) staníc, resp. zjavne rozporné s prevládajúcimi veľkopriestorovými, alebo lokálnymi poveternostnými podmienkami.

Pri geografickej lokalizácii meteorologických staníc sú použité aktuálne zaužívané názvy v súlade so súčasným administratívnym členením.

Tab. 1 Najvyššie okamžité hodnoty tlaku vzduchu redukovaného na hladinu mora (P_0) na Slovensku, zaregistrované počas analyzovaných významných anticyklonálnych situácií. Pre každú meteorologickú stanicu je prezentovaná iba jedna, t.j. najvyššia zistená hodnota redukovaného tlaku za danej situácie (v danej tlakovej výši). Nadmorská výška sa vzťahuje k (nádobke) staničného tlakomeru a je uvedená s presnosťou ako v rozhodujúcom originálnom zdroji údaje. Tabuľka obsahuje prípady s dosiahnutou hodnotou $P_0 \geq 1\,053,0$ hPa.

Table 1. The highest values of sea-level pressure (SLP; P_0) recorded in Slovakia during the analysed major anticyclones. Only single, i.e. the highest observed SLP value within the corresponding situation (anticyclone) is presented for each meteorological station. The altitude (H_i) refers to the station barometer (reservoir) and is presented with the accuracy of the decisive original source of information. The detected cases with the SLP $\geq 1,053.0$ hPa are shown in the table.

Stanica	Nadm. výška H_i [m n. m.]	Dátum a termín [SEČ, SMČ]	T [°C]	P_0 (možná odch.) [hPa]
Oravský Podzámok	516,3	23.01.1907 21 h	-26,8	1 062,3 (+0,1)
Spišská Nová Ves	462,6	24.01.1907 07 h	-30,3	1 062,0
Kežmarok	622,0	23.01.1907 21 h	-25,5	1 061,3 (+0,1)
Košice-Čermeľské údolie	317,9	24.01.1907 07 h	-18,2	1 058,7
Lučenec	187,0	24.01.1907 07 h	-19,0	1 057,3
Liptovský Hrádok	647,717	24.12.1963 07 h	-22,6	1 057,2 (+0,1)
Kremnica	551	23.01.1907 21 h	-15,8	1 056,9 (+0,1)
Poprad	708,94	24.12.1963 08 h	-21,1	1 056,9
Hurbanovo	119,35	24.01.1907 07 h	-11,2	1 055,7
Banská Štiavnica	620,9	24.01.1907 07 h	-13,6	1 055,6
Sliač-letisko	318,405	24.12.1963 04 h	-22,9	1 055,6
Kamenica nad Cirochou	178,173	24.12.1963 10 h	-17,3	1 054,2
Liptovský Hrádok	652	09.01.1929 21 h	-17,5	1 053,7 ($\pm 0,1$)
Žilina	366,1	24.12.1963 05 h	-17,1	1 053,4
Košice-letisko	231,760	24.12.1963 10 h	-8,8	1 053,3
Boľkovce	218,80	24.12.1963 07 h	-23,1	1 053,1
Tisinec	219,9	24.12.1963 10 h	-12,9	1 053,0

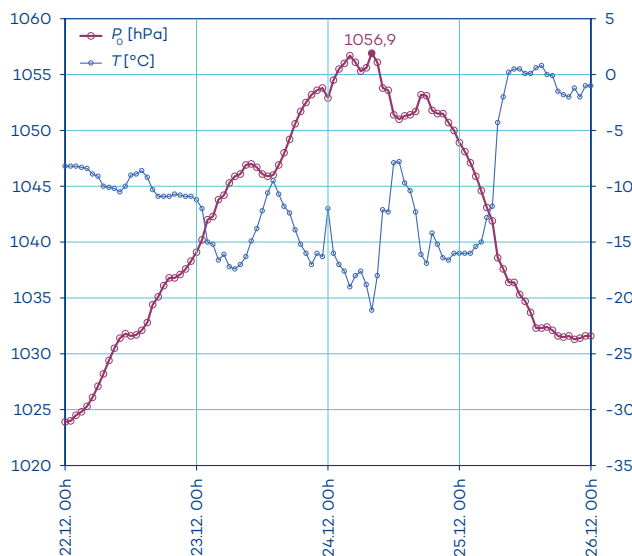


Obr. 1 Hodinový priebeh redukovaného tlaku (P_0) a teploty vzduchu (T) v Hurbanove ($H_t = 119,35$ m n. m.) počas extrémne mohutnej anticyklóny v januári 1907.

Fig. 1. Hourly course of sea-level pressure (P_0) and air temperature (T) in Hurbanovo (barometer elevation = 119.35 m a.s.l.) during the extremely intense anticyclone in January 1907.

3. Výsledky a diskusia

Určujúcim výstupom práce je tab. 1, zachytávajúca najvyššie zaznamenané okamžité hodnoty redukovaného tlaku vzduchu na území Slovenska v priebehu najvýznamnejších anticyklonálnych situácií. Na obr. 1 a 2 je ďalej zobrazený hodinový priebeh P_0 na vybraných staniách počas dvoch najvýznamnejších identifikovaných situácií.



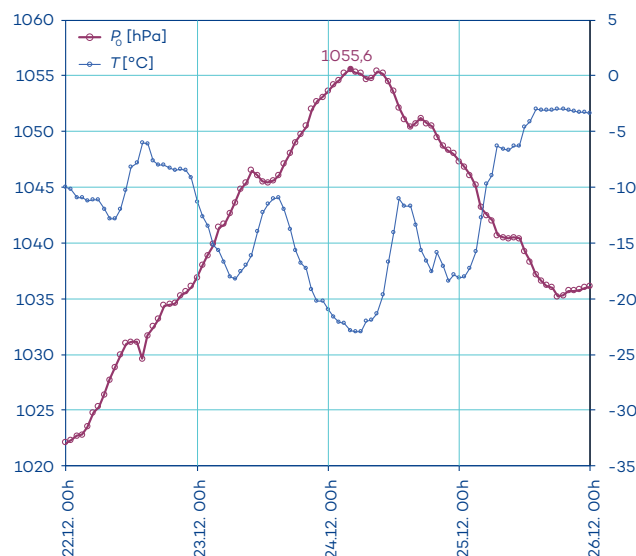
Obr. 2 Hodinový priebeh redukovaného tlaku (P_0) a teploty vzduchu (T) v Poprade (vľavo; $H_t = 708,94$ m n. m.) a na Sliachi-letisku (vpravo; $H_t = 318,405$ m n. m.) počas mohutnej anticyklóny v decembri 1963.

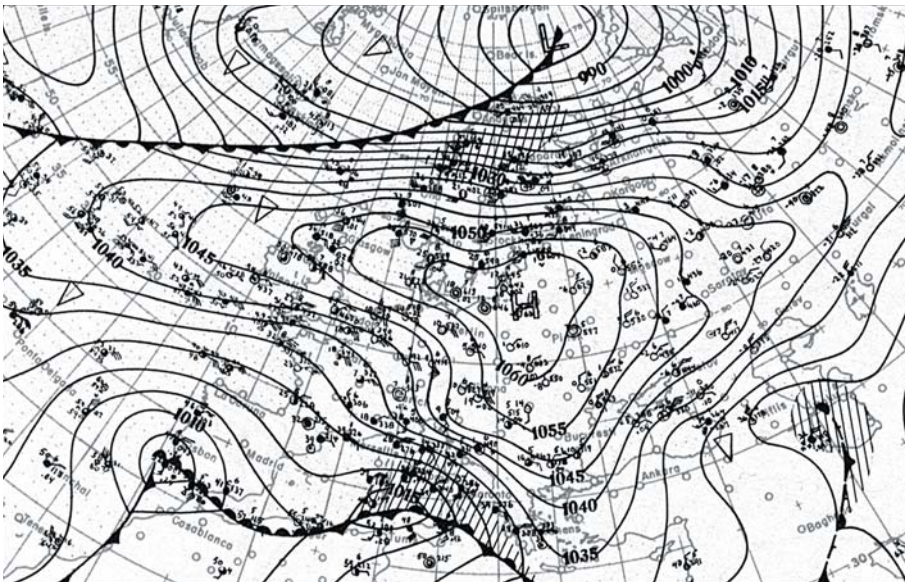
Fig. 2. Hourly course of sea level pressure (P_0) and air temperature (T) in Poprad (left chart; barometer elevation = 708.94 m a.s.l.) and Sliach-airport (right chart; barometer elevation = 318.405 m a.s.l.) during the intense anticyclone in December 1963.

Absolútne najvyššia hodnota redukovaného tlaku P_0 1 062,3 hPa (možná odchýlka: +0,1 hPa) s platnosťou pre obe výškové kategórie bola prepočítaná v Oravskom Podzámku (49° 16' s. g. š.) 23. januára 1907 vo večernom klimatickom termíne za nasledovných podmienok: staničný tlak $P_s = 989,4$ hPa [742,1 mmHg] pri nadmorskej výške tlakomeru $H_t = 516,3$ m n. m., suchá teplota na stanici $T = -26,8$ °C a limitný tlak vodnej pary $e' = 0,7$ hPa [0,5 mmHg]. Pozorovateľom na stanici bol Tamás Rusznyák, povoláním lesník. Staničný tlak bol, rovnako ako vo všetkých ostatných prezentovaných prípadoch, nameraný ortuťovým tlakomerom, čo bola štandardná metóda merania tlaku vzduchu v celej ére prístrojových meraní až do nedávneho zavedenia digitálnych tlakomerov na prelome 20. a 21. storočia.

Hodnota P_0 1 060 hPa bola v mimoriadne mohutnej anticyklóne v januári 1907 (obr. 3) markantne prekročená aj na ďalších meteorologických staniách na severe Slovenska, vid' tab. 1: v Spišskej Novej Vsi (ďalšie vstupné údaje pre redukciiu: 48° 56' s. g. š.; $P_s = 995,5$ hPa; $e' = 0,4$ hPa) a Kežmarku (49° 08' s. g. š.; $P_s = 974,7$ hPa; okamžitý $e = 0,5$ hPa). V Hurbanove bolo 24. januára 1907 zaznamenaných 1 055,7 hPa (tab. 1, obr. 1), teda viac ako 1 055,4 hPa, čo bola až doteraz najvyššia známa publikovaná hodnota pre celé Slovensko vôbec (Sobišek 1993). Možným vysvetlením tejto nezrovnalosti je, že pôvodná hodnota bola vypočítaná nedôsledne, pravdepodobne s nesprávnou, resp. inou výškou než výška tlakomeru. Potvrzuje to aj skutočnosť, že hodnotu 1 055,7 hPa, teda o 0,3 hPa vyššiu než pôvodnú, obdržíme pri korektnom zadaní vstupných parametrov aj po prepočte prostredníctvom u nás skôr používanej, dnes už zastaralej a nahradenej barometrickej rovnice (WMO 1968; Klimatický atlas Slovenska 2015).

Druhá najpozoruhodnejšia evidovaná situácia nastala ráno a dopoludnia Štedrého dňa roku 1963 v centre anticyklóny (obr. 4), ktorá pri svojom presune vrcholne zmohutnela priamo nad územím Slovenska. Najvyšší P_0 v tejto anticyklóne (v rámci tab. 1) na staniách do nadmorskej výšky 550 m n. m. bol zaregistrovaný na sliackom letisku – 1 055,6 hPa (48° 38' s. g. š.;





Obr. 3 Synoptická situácia (prízemné tlakové pole [hPa]) v priestore Európy dňa 23. 1. 1907 o 13:00 GMT/14:00 SEČ (prevzaté z NOAA 2020).

Fig. 3. Synoptic situation (sea-level pressure [hPa]) in the European area on 23 January 1907 at 01:00 PM GMT/02:00 PM CET (from NOAA 2020).

$P_s = 1\,010,9$ hPa; $e' = 0,9$ hPa; viď aj obr. 2) a na stanicích s výškou do 750 m n. m. $1\,057,2$ hPa (+0,1 hPa) v Liptovskom Hrádku ($49^\circ 02'$ s. g. š.; $P_s = 968,6$ hPa; $e = 0,8$ hPa).

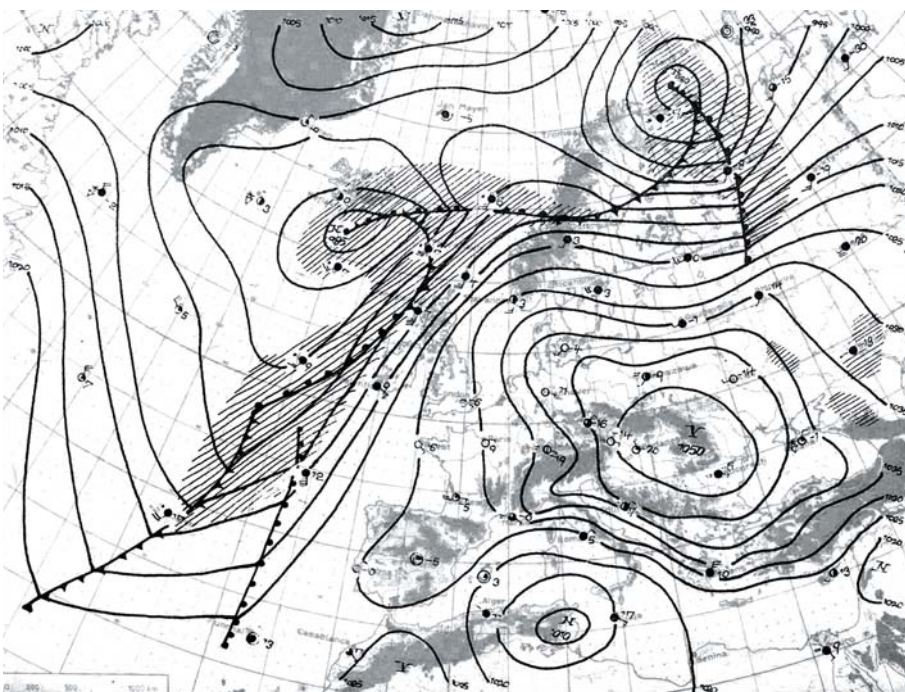
Vo zvyšných troch analyzovaných situáciách sa maximálne zistené okamžité P_0 na Slovensku pohybovali v rozmedzí $1\,050$ – $1\,054$ hPa. Pri situácii z januára 1940 sa však nepodarilo dohľadať potrebné záznamy pre niekoľko meteorologických staníc (evidencia chýba pravdepodobne z dôvodu vojnových udalostí), na ktorých potenciálne mohli byť dosiahnuté vyššie

zistená v januári 1907 v Beňuši, kde mohla byť za danej situácie takisto dosiahnutá hodnota $1\,060$ hPa (porovnaj s tab. 1). Súčasne je však zrejme nepravdepodobné, že tunajšia zaznamenaná hodnota bola absolútne najvyššou v rámci celej siete merajúcich meteorologických staníc a táto skutočnosť rovnako platí aj pre ostatné neoficiálne prípady.

Predkladaná analýza nezahŕňala najstaršie obdobie oficiálnych meteorologických meraní a pozorovaní na území Slovenska približne od polovice 19. storočia, kedy boli zriadené

prvé meteorologické stanice v rámci štátnej siete (Krška a Šamaj 2001), do roku 1871 vrátane. Prístupné reanalýzy tlakového poľa indikujú, že v priebehu týchto rokov sa s veľkou pravdepodobnosťou nevyskytla natoľko výnimočná poveternostná situácia, ktorá mohla viesť k dosiahnutiu ešte vyšších okamžitých hodnôt P_0 než je maximum prezentované v tab. 1. V každom prípade tiež pripomíname, že z obdobia pred rokom 1872 sú očakávateľné kritické problémy s dostupnosťou, resp. presnosťou nevyhnutných metadát, bez ktorých by uskutočnenie tlakovej redukcie so spoľahlivým výsledkom nebolo možné.

V používaní konkrétnej barometrickej rovnice pre redukciu tlaku vzduchu existuje vo svete dlhodobá nejednotnosť (WMO 1968; Purevjav et al. 2015). WMO síce predkladá štandardizovanú odporúčanú rovnicu pre prepočty (WMO 1964; WMO 2014), no zároveň v plnom rozsahu akceptuje, že každá krajina (prípadne vlastník meteorologickej stanice) môže v praxi



Obr. 4 Náhľad synoptickej mapy s prízemným tlakovým poľom [hPa] v priestore Európy dňa 24. 12. 1963 o 07:00 SEČ (prevzaté z HMÚ 1963).

Fig. 4. Synoptic map with sea-level pressure [hPa] in the European area on 24 December 1963 at 7:00 AM CET (from HMÚ 1963).

aplikovať zvolený vlastný variant rovnice (WMO 2012). Na Slovensku aktuálne uplatnená barometrická rovnica, ktorá sa tak stala základom aj pre našu analýzu (vzťahy 1–4), predstavuje komplexnejšiu a presnejšiu, a tým nesporne lepšiu alternatívu než predchádzajúci používaný variant (WMO 1968; Klimatický atlas Slovenska 2015). Potenciálne využitie rovnice podľa odporúčania WMO v slovenskej praxi v súčasnosti hodnotíme ako problematické kvôli nedostupnosti niektorých ďalších doplňujúcich údajov, potrebných pre prepočet. Samotná WMO navyše prizvukuje, že redukcie majú byť uskutočňované podľa možnosti tak, aby časové rady redukovaného tlaku neobsahovali metodické diskontinuity (WMO 2012).

Tlak vzduchu má z fyzikálnej podstaty vyplývajúcu a preukázanú závislosť od teploty a hustoty vzduchu (Lapin a Tomlain 2001). Teplota vzduchu sa však v konečnom dôsledku zdá byť významným prediktorom hodnoty redukovaného tlaku vzduchu. V kontexte vysokých hodnôt redukovaného tlaku môže veľmi nízka staničná teplota vzduchu viesť pri redukcii až k explicitnej diskriminácii hodnoty redukovaného tlaku. Evidentný je v týchto súvislostiach najmä vplyv silných prízemných teplotných inverzií. Práve týmto podnetom sa v nedávnej minulosti zaoberala aj WMO a po dôkladnom rozbere problému a diskusii napokon rozhodla, že platnosť extrémov redukovaného tlaku bude posudzovaná nezávisle od prítomnosti silných inverzií teploty vzduchu (Purevjav et al. 2015). Hoci aj v prípade našej analýzy (tab. 1, obr. 1 a 2) je rozpoznateľný možný zvýraznený vplyv teploty vzduchu na hodnoty P_0 , pri dosiahnutých výsledkoch rešpektujeme príslušné rozhodnutie WMO. Na druhej strane je však v kontexte teplotno-tlakových vzťahov nutné prihliadať na existenciu špecifik v lokalitách so zvláštnou orografiou. Orografické efekty sa tak môžu odzrkadliť aj pri redukcii tlaku (Sobíšek 1993). Vo výskyte vysokých, obzvlášť mimoriadne vysokých okamžitých hodnôt redukovaného tlaku vzduchu na Slovensku preto považujeme za náležité akceptovať osobitosť kotlinových polôh v hornatých častiach územia krajiny, kde boli aj počas nami analyzovaných situácií dosahované najvyššie hodnoty P_0 (tab. 1).

Hoci WMO oficiálne eviduje svetové maximum redukovaného tlaku vzduchu aj v samostatnej kategórii meteorologických staníc vo výške nad 750 m n. m. (Purevjav et al. 2015), prepočty tlaku sme neuskutočňovali pre stanice nad touto výškovou hranicou. Pri redukcii pomocou použitej barometrickej rovnice (vzťahy 1–4) totiž môže v prípade vysoko položených staníc dochádzať k určitej výsledkovej chybe. Na možnú problematickosť redukcie tlaku na staniaciach vo vyšších nadmorských výškach upozorňujú aj Purevjav et al. (2015). Taktiež v tejto súvislosti poznamenávame, že relevantná smernica WMO výslovne neobsahuje žiadnu odporúčanú barometrickú rovnicu pre prepočet tlaku na hladinu mora pre lokality nad 750 m n. m. (WMO 2014).

V polovici 20. storočia bol v rámci vtedajšieho Československa zrealizovaný prechod z pôvodného jadranského na do súčasnosti používaný baltský (tzv. Bpv – baltský po vyrovnaní) systém nadmorských výšok. Výška v Bpv je menšia než v jadranskom systéme, pričom rozdiel medzi uvedenými výškovými systémami dosahuje na území bývalého Československa v priemere okolo 0,40 m (Weigel 2007; Čunderlík a Mikula 2016; Cesnek 2017). Keďže pre naše potreby je de facto nemožné uskutočniť dodatočné výškové zjednotenie, je nutné pripustiť pridanú nehomogenitu v použitých výškach (tlakomerov) medzi analyzovanými situáciami z roku 1940 a starších, a situáciou z roku 1963. Vo všeobecnosti platí, že prepočet so vstupnou

výškou podľa jadranského systému môže viesť k nadhodnoteniu P_0 o 0,1 hPa v porovnaní s redukciami s použitím výšky v Bpv.

Považujeme za žiaduce uviesť, že súčasťou predloženej analýzy nebola podrobnejšia revízia vstupných údajov za účelom preverenia spoľahlivosti nameraných meteorologických údajov (dodržiavanie pravidelnej a dôsledne vykonávanej kalibrácie meracích prístrojov, posúdenie práce pozorovateľov, atď.) a metadát (napr. adekvátnosť polohových údajov). Správnosť a presnosť týchto krokov je pochopiteľne kritická pre dosiahnutie kvalitných a spoľahlivých výsledkov. Súčasne je však v tomto ohľade potrebné priznať existujúcu neistotu najmä v prípade (naj)starších meraní a pozorovaní, kde prípadná dodatočná kontrola spoľahlivosti už nemusí byť úplne a uspokojivo zrealizovateľná. V každom prípade si dovoľujeme konštatovať, že všetky prezentované výsledky veľmi dobre zodpovedajú príslušným poveternostným situáciám vo veľkopriestorovom (obr. 3 a 4) aj mezoklimatickom meradle, čo dáva nádej, že sa rámcovo jedná o spoľahlivé merania a pozorovania.

Napokon je v rámci diskusie taktiež potrebné poznamenať, že hodnoty redukovaného tlaku vzduchu podľa pozemných in-situ meraní nemožno striktnie konfrontovať s voľne dostupnými analýzami a reanalýzami prízemného tlakového poľa. Priestorový výber meteorologických staníc, ktoré do (re)analýz vo všeobecnosti vstupujú v rámci in-situ komponentu, je obmedzený; zahrnuté sú len stanice, z ktorých údaje sú k dispozícii v rámci spravodajstva SYNOP a INTER, resp. automatické stanice. Na dôvažok reanalýzy nie sú spracúvané len na báze pozemných meraní a pozorovaní, ale tiež zo satelitných meraní a za pomoci fyzikálneho a matematického modelovania v rámci tzv. asimilačných cyklov numerických predpovedných modelov (napr. Kalnay et al. 1996; Gibson et al. 1997; Compo et al. 2011; Bosilovich et al. 2013; Cram et al. 2015). Z uvedených dôvodov, analýzy a reanalýzy predstavujú viacmenej len schématické zobrazenie situácie, čo obzvlášť platí pre situácie vo vzdialenejšej histórii (reanalýzy NOAA aktuálne až od roku 1836, ERA od 1901). Súčasne je zrejmé, že (re)analýzy nemusia presne zachytávať extrémne hodnoty sledovanej charakteristiky na záujmovom území. Staničné údaje, ktoré prezentuje aj táto práca, preto majú pri ich korektnom zaznamenaní a spracovaní podstatne výpovednejšiu hodnotu.

4. Záver

S hlavným cieľom doplnenia evidencie historických extrémov počasia na Slovensku sme uskutočnili rozsiahlejšiu investigatívu na tému najvyšších zaznamenaných okamžitých hodnôt redukovaného tlaku vzduchu. Päť popredných anticyklonálnych situácií bolo vyčerpávajúco analyzovaných a odhalené najvyššie hodnoty redukovaného tlaku sú s najväčšou pravdepodobnosťou aj absolútne najvyššími okamžitými maximami v celej ére oficiálnych meteorologických meraní na území Slovenska (približne od polovice 19. storočia). Absolútne najvyššia hodnota 1 062,3 hPa (s možnou odchýlkou +0,1 hPa) bola zaregistrovaná v Oravskom Podzámku dňa 23. januára 1907 s platnosťou pre obe posudzované výškové kategórie do 550, resp. 750 m n. m. Kotlinové polohy v hornatých častiach Slovenska sa, všeobecne vzaté, zdajú mať charakteristické postavenie z pohľadu dosahovania vysokých až mimoriadnych a extrémnych okamžitých hodnôt redukovaného tlaku. Prepočty tlaku boli vykonané korektné a dosiahnuté výsledky sú veľkopriestorovo, ako aj mezoklimaticky adekvátne príslušným poveternostným situáciám.

Za predpokladu precízne vykonávaných staničných prepočtov je vzhľadom k použitým metódam možné porovnávať v práci prezentované hodnoty P_0 s hodnotami redukovaného tlaku vzduchu zo slovenských meteorologických staníc, vrátane staníc s údajmi v rámci medzinárodnej výmeny (správy SYNOP, atď.). V prípade možných budúcich extrémov však bude v každom prípade žiaduce potvrdiť dosiahnuté hodnoty prostredníctvom overovacej analýzy, keďže evidencia a hodnotenia redukovaného tlaku majú svoje vcelku výrazné špecifiká. V týchto súvislostiach tiež do budúcnosti nemožno vylúčiť doplnenie, spresnenie, či prepracovanie prezentovaných výsledkov, napr. pri objavení sa nových zdrojov historických údajov, alebo akýchkoľvek úpravách v používaní barometrickej rovnice, vrátane potenciálnej celosvetovej unifikácie rovnice zo strany WMO (WMO 2012; Purevjav et al. 2015).

Nadobudnuté poznatky môžu byť zúžitkované pre budúce spracovania tlaku vzduchu a mohli by byť osobitne prínosné pre potreby synoptickéj meteorológie či regionálnej klimatológie.

Prirodzeným námetom pre nasledujúce spracovanie v rámci Slovenska je identifikácia historicky najnižších okamžitých hodnôt redukovaného tlaku vzduchu na území krajiny. Ukazuje sa, že momentálne najnižšia známa publikovaná hodnota 970,2 hPa v Bol'kovciach 3. decembra 1976 (Klimatický atlas Slovenska 2015) je s veľkou istotou nesprávna.

PodĎakovanie:

Za pomoc pri zhromažďovaní metadát ďakujeme Daliborovi Galovi zo Slovenského hydrometeorologického ústavu. Za odborné konzultácie k téme ďakujeme Mariánovi Jakubekovi a Miroslavovi Šingerovi zo Slovenského hydrometeorologického ústavu.

Literatúra:

- BOŠILOVICH, M. G., KENNEDY, J., DEE, D., ALLAN, R., O'NEILL, A. et al., 2013. On the reprocessing and reanalysis of observations for climate. In: ASRAR, G., HURRELL, J. (eds.) 2013. *Climate Science for Serving Society*, s. 51–71. ISBN 978-94-007-6691-4.
- BURT, S., 2006. Britain's highest barometric pressure on record is incorrect. *Weather*, Vol. 61, No. 7, s. 210–211. ISSN 1477-8696.
- BURT, S., 2007. The Highest of the Highs... Extremes of barometric pressure in the British Isles, Part 2 – the most intense anticyclones. *Weather*, Vol. 62, No. 2, s. 31–41. ISSN 1477-8696.
- CESNEK, T., 2017. Presné určenie nadmorských výšok hrebeňa Malej Fatry. In: KALAŠ, M., KICKO, J. (ed.), 2017. *Výskum a ochrana Malej Fatry. Zborník príspevkov z vedeckej konferencie* (Gbelany 5. októbra 2017), s. 47–49. ISBN 978-80-972895-0-8.
- COMPO, G. P., WHITAKER, J. S., SARDESHMUKH, P. D., MATSUI, N., ALLAN, R. J. et al., 2011. The Twentieth Century Reanalysis project. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, Vol. 137, No. 654, s. 1–28. ISSN 0035-9009.
- CRAM, T. A., COMPO, G. P., YIN, X., ALLAN, R. J., MCCOLL, C. et al., 2015. The International Surface Pressure Databank version 2. *Geoscience Data Journal*, Vol. 2, No. 1, s. 31–46. ISSN 2049-6060.
- ČUNDERLÍK, R., MIKULA, K. 2016. Je more meter nad morom? *Quark*, roč. 22, č. 5, s. 7–11. ISSN 1335-4000.
- GIBSON, J. K., KÅLLBERG, P. M., UPPALA, S., HERNANDEZ, A., NOMURA, A., SERRANO, E., 1997. ERA description. ECMWF Re-Analysis Project report series 1. Reading: ECMWF. [cit. 09.03.2020]. Dostupné z WWW: <https://www.ecmwf.int/sites/default/files/elibrary/1997/9584-era-description.pdf>.
- HMÚ, 1963. Denní přehled počasí. Praha: Hydrometeorologický ústav.
- KALNAY, E., KANAMITSU, M., KISTLER, R., COLLINS, W., DEAVEN, D. et al., 1996. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis project. *Bulletin of the American Meteorological Society*. Vol. 77, č. 3, s. 437–472. ISSN 0003-0007.
- KLIMATICKÝ ATLAS SLOVENSKA, 2015. Bratislava: Slovenský hydrometeorologický ústav. 132 s. ISBN 978-80-88907-91-6.
- KRŠKA, K., ŠAMAJ, F., 2001. Dějiny meteorologie v českých zemích a na Slovensku. Praha: Univerzita Karlova v Praze. 568 s. ISBN 80-7184-951-0.
- LAPIN, M., TOMLAIN, J., 2001. Všeobecná a regionálna klimatológia. Bratislava: Univerzita Komenského Bratislava. 184 s. ISBN 80-223-1433-1.
- LEMPFERT, R. G. K., 1907. The high barometer of January 1907. *Symons's Meteorological Magazine*, Vol. 42, No. 493, s. 1–3.
- NOAA, 2020. Daily synoptic weather maps. NOAA Central Library. Dostupné z WWW: <https://library.noaa.gov/Collections/Digital-Collections/Daily-Synoptic-Weather-Maps>.
- PUREVJAV, G., BALLING JR., R. C., CERVENY, R. S., ALLAN, R., COMPO, G. P. et al. 2015. The Tosontsengel Mongolia world record sea-level pressure extreme: spatial analysis of elevation bias in adjustment-to-sea-level pressures. *International Journal of Climatology*, Vol. 35, No. 10, s. 2968–2977. ISSN 1097-0088.
- SHMÚ, 1989. Psychrometrické tabulky. Bratislava: Slovenský hydrometeorologický ústav. 108 s.
- SOBÍŠEK, B. (ed.), 1993. Meteorologický slovník výkladový a terminologický. Praha: Academia, Ministerstvo životního prostředí ČR. 1. vydání. 108 s. ISBN 80-85368-45-5.
- WEIGEL, J., 2007. Vyšší geodézie II – základní výškové bodové pole (nivelační body a nivelační sítě). Brno: Vysoké učení technické v Brně. 111 s.
- WMO, 1964. Note on the standardization of pressure reduction methods in the international network of synoptic stations. [online]. Technical note No. 61. Ženeva: WMO (WMO-č.154). [cit. 30.09.2019]. Dostupné z WWW: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=2849.
- WMO, 1968. Methods in use for the reduction of atmospheric pressure. [online]. Technical note No. 91. Ženeva: WMO (WMO-č.226). [cit. 30.09.2019]. Dostupné z WWW: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=3445.
- WMO, 2012. Pressure reduction formula. [online]. Ženeva: WMO (WMO CIMO/ET-Stand-1/Doc.10). [cit. 30.09.2019]. Dostupné z WWW: https://wmo.int/pages/prog/www/IMOP/meetings/SI/ET-Stand-1/Doc-10_Pressure-red.pdf.
- WMO, 2014, aktualizované 2017. Guide to meteorological instruments and methods of observations. Ženeva: WMO (predpis WMO-č.8). ISBN 978-92-63-10008-5.

Lektoři (Reviewers):

Mgr. Stanislav Racko,
RNDr. Taťána Míková