

Vývoj hydrologického režimu slovenských riek

Poórová, J., Škoda, P., Danáčová, Z., Šimor, V.: Evolution of Hydrological Regime of Slovak Rivers. *Životné prostredie*, 2013, 47, 3, p. 144 – 147.

At the present time, the increased occurrence of drought and water scarcity (that is the availability of domestically and commercially usable water) is one of the most significant problems of the 21st century. Water is primary means between potential climate changes and the future development of natural subsystems and socioeconomic sectors. In the present time the climate change issue resonates not only among scientists in present time, but also among politicians, in which hands are the possibilities to take appropriate measures to eliminate climate change impacts. In this paper are shown some aspects of the flow regime of the Slovak rivers, derived from the results of continuous monitoring of hydrological processes. Continuous monitoring of the quantity of surface water is the basis for the assessment of the current status of surface water, for assessment of its future development and to estimate negative effects of climate change. This knowledge is necessary to create measures to minimize the consequences of extreme phases of the hydrological regime (floods and droughts) and the consequences of climate change impacts as well. In Slovakia the monitoring of the quantity of water flows is performed by the Slovak Hydrometeorological Institute in the State hydrological network. The outputs of this monitoring represent important input for the state water planning and water policy.

Key words: hydrological regime, reference period, Slovak rivers

Geografické situovanie Slovenska na rozvodnici Čierneho a Baltského mora (rozhranie prebieha približne po slovensko-poľskej štátnej hranici a v úseku Štrba – Čirč na území Slovenska) predurčuje, spolu s danými prírodnými podmienkami, predovšetkým odtok vôd z územia republiky (obr. 1). Vody z 96 % rozlohy štátu odtekajú prostredníctvom Dunaja a jeho prítokov do Čierneho mora, zvyšné 4 % sú cez prítoky Visly odvodňované cez Poľsko do Baltského mora. Celkovo odteká z územia Slovenska do susedných štyroch štátov (Maďarska, Poľska, Ukrajiny a Česka) v dlhodobom priemere asi $2\,869\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ vody (vrátane vôd Tisy). Aj keď sa územie Slovenska nachádza na európskej rozvodnici dvoch úmorí, disponuje vodnými zdrojmi, ktoré sú, v porovnaní s odtokom z územia Slovenska, neúmerne vyššie. Tieto vodné zdroje buď na naše územie pritekajú zo susedných štátov (Dunaj, Bodrog, menšie časti povodia Váhu) alebo sa nášho územia hranične dotýkajú (Tisa, Dunajec), či tvoria hraničný tok s odtokovým územím na obidvoch stranách hranice (Morava, Ipel, Poprad). Z celkového vodného fondu povrchových vôd na slovenskom území pramení iba 13 %. Toto množstvo môžeme reálne považovať za disponibilné množstvo z povrchových vôd, využiteľnosť zvyšných zdrojov povrchových vôd podlieha dohodám o hraničných vodách so susednými štátmi (Majerčáková a kol., 2009).

Vodnosť slovenských tokov a ich hydrologický režim

Povrchové vody slovenských riek, ako súčasť vodných zdrojov nášho štátu, predstavujú prírodné bohatstvo. Hydrologický režim povrchových tokov (t. j. prie-

beh prietokov a ich zmeny počas roka) v rámci územia nie je rovnaký a je daný klimatickými, hydrologickými, hydrogeologickými a fyzickogeografickými podmienkami jednotlivých povodií. Uvedené podmienky v konečnom dôsledku podmieňujú charakter vodnosti tokov v čase a v priestore.

Základnou charakteristikou odtoku a jeho režimu je dlhodobý priemerný (v súčasnosti za obdobie rokov 1961 – 2000) prietok $Q_{a(1961-2000)}$ v $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$, ktorý charakterizuje celkovú vodnosť toku a vyjadruje potenciálne vodné zdroje povrchových tokov. Je základným členom hydrologickej bilančnej rovnice a dôležitým údajom pre odvodenie ďalších charakteristík odtoku a jeho režimu, tzv. hydrologických charakteristík, ktoré sú v určitom vzťahu k priemernému prietoku. Presnosť jeho stanovenia závisí od dĺžky a presnosti pozorovania. Z vodohospodárskeho hľadiska poskytuje základnú informáciu pre vodohospodársku činnosť v povodí.

Prietokový režim slovenských tokov bol postupne vyjadrovaný hydrologickými charakteristikami za obdobia 1931 – 1940, 1931 – 1960 a 1931 – 1980. Od roku 2006 sú používané údaje za obdobie 1961 – 2000. Vyjadrujú prirodzený hydrologický potenciál jednotlivých povodií, a preto tvoria akúsi porovnávaciu rovinu pre vyjadrenie jeho stavu, režimu a jeho zmien v čase a priestore (Šipikalová a kol., 2006).

Dlhodobý priemerný ročný odtok z povodií celého Slovenska, ktorý vyjadruje množstvo vody odtečenej z príslušných plôch jednotlivých povodií za rok, je $366\text{ mil. m}^3\cdot\text{s}^{-1}$, čo v objemovom vyjadrení predstavuje $11\,542\text{ mil. m}^3$ (podľa vodohospodárskej bilancie využiteľný objem vodohospodárskych nádrží SR je $1\,300\text{ mil. m}^3$).

Pri prepočte na odtokovú výšku to predstavuje 236 mm.

Slovensko tvorí 10 hlavných povodí – povodie Moravy, Dunaja, Váhu, Hrona, Ipľa, Slanej, Bodvy, Hornádu, Bodrogu a Popradu (obr. 1). Najväčšiu hodnotu dlhodobého priemerného ročného odtoku dosahuje povodie Váhu (310 mm) a najnižšiu povodie rieky Dunaj (30 mm), ktoré zaberá na Slovensku najmenšiu plochu. Ostatné hlavné povodia Slovenska sa pohybujú v tomto rozpätí.

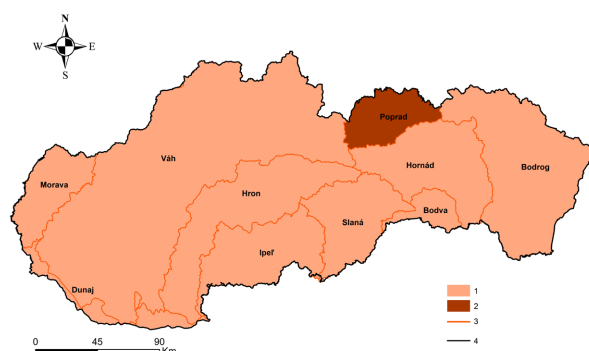
Podľa veľkosti dlhodobého špecifického odtoku $q_{a(1961-2000)}$ ktorý slúži na lepšie porovnanie relatívnej vodnosti povodí (vyjadruje sa $\text{l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$), má najvyššiu vodnosť povodie Popradu, Váhu a Hrona, najnižšiu Ipeľ a Nitra (ak neberieme do úvahy odtokové plochy povodí Moravy a Dunaja na území Slovenska). Ostatné povodia (Bodrog, Hornád, Slaná, Bodva) sa nachádzajú uprostred tohto rozpätia. Z vodomerných staníc Slovenského hydrometeorologického ústavu (SHMÚ) dosahuje najväčší špecifický odtok Javorinka vo vodomernej stanici v Podspádoch ($51,87 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$), Biela voda v Lysej Poľane ($47,63 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$), Račková v Račkovej doline ($43,46 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$) atď. (SHMÚ, 2006).

Zmena vodnosti v priebehu roku charakterizuje režim odtoku. V ročnom cykle má dlhodobá premenlivosť prietokov typický režim závislý od zemepisnej polohy a výškovej členitosti povodia. V konkrétnom prípade územia Slovenska má rozdelenie vodnosti v roku tvar jednoduchej vlny s maximom v jarných mesiacoch (marec – jún) a s minimom na jeseň (september) (obr. 2). Okrem hlavného septembrového minima sa vyskytuje ešte podružné zimné minimum v januári. Pri povodiach s väčšou výškovou členitosťou a s vyššou strednou výškou povodia sa mení zimné podružné minimum na hlavné minimum a jesenné minimum na minimum podružné. Kým celkový tvar odtokového režimu v jednotlivých hlavných povodiach Slovenska ostáva zachovaný, jeho extrémny sú, v závislosti od výškovej členitosti povodia, časovo premenlivé (obr. 2).

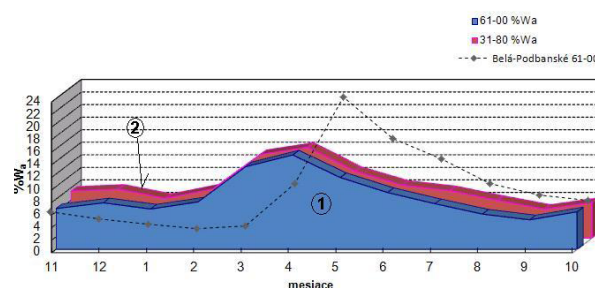
V povodí Dunaja (slovenská časť územia) sa najväčšia mesačná vodnosť posúva na február, v povodiach riek Morava, Nitra, Ipeľ, Bodrog do marca, v povodiach Váhu, Hrona, Slanej, Hornádu, Bodvy zostáva v apríli a v povodí Popradu (vrátane Dunajca) sa posúva do mája. Najnižšia mesačná vodnosť má už väčšiu stabilitu. Takmer vo všetkých povodiach zostáva v septembri, len v povodí Váhu a Popradu sa posúva do januára. Príčinou je výšková poloha povodia.

Extrémne fázy odtoku (malá a veľká vodnosť)

Veľké vody na toku, ich priebeh, trvanie, doba výskytu i samotná hodnota kulmináčného prietoku sú prvky, ktoré vstupujú do komplexného hydrologického hodnotenia extrémnej fázy odtoku z povodia. Toto hodnotenie zaberá širokú odbornú problematiku, preto sa podrobnejšie zameriame iba na ročné maximálne kulmináč-



Obr. 1. Správne územia povodí Slovenskej republiky a ich hlavné povodia. Zdroj: Vodný plán Slovenska (2009)
 Legenda: 1 – správne územie povodia Dunaja, 2 – správne územie povodia Visly, 3 – hranica hlavného povodia, 4 – hranica štátu



Obr. 2. Rozdelenie odtoku v hydrologickom roku na území Slovenska (priemery jednotlivých mesiacov z vybraných vodomerných staníc) za obdobia 1961 – 2000 a 1931 – 1980

Legenda: W – objem odtoku v percentách, 1 – rozdelenie odtoku v roku za obdobie 1961 – 2000, 2 – rozdelenie odtoku v roku za obdobie 1931 – 1980, prerušovaná línia – rozdelenie odtoku v roku za obdobie 1961 – 2000 pre vodomernú stanicu Belá-Subbanské

prietoky a ich výskyt. Územie Slovenska sa nachádza v zemepisnej oblasti, kde nie je výrazná prevaha výskytu jarných (snehových) alebo letných (dažďových) povodní. Pri zostavovaní radov ročných kulmináčných prietokov zisťujeme, že rovnakou mierou sú v nich zastúpené jarné i letné povodne. Rozdiely sú iba v absolútnych hodnotách kulminácií. Prevaha najväčších kulminácií je pri letných, dažďových povodniach, naopak jarné prietokové vlny majú menšie kulminácie, no väčší objem a dlhšie trvanie.

Na základe maximálneho špecifického odtoku je územie Slovenska rozdelené na územia, resp. čiastkové povodia, ktoré sú povodňami zraniteľné najviac. Sú to: povodie Tople až po Radomku, povodia Ondavy a Ladomírky až po ich sútok, pravostranné prítoky Tople zo Slánskych vrchov, povodia Oravy nad Oravskou priehradou, ľavostranné prítoky Oravy pod Oravskou priehradou a Bystrica v povodí Kysuce.

Pod pojmom malá vodnosť rozumieme fázu odtoku z územia, kedy ustáva povrchový odtok a prietok v riekach sa realizuje len postupným vyčerpávaním zásob podzemných vôd. Z vodohospodárskeho hľadiska nie je ani tak dôležitá depresia prietoku (opak kulmináčného prietoku), ako skôr jej trvanie. Charakter odtoku malej vodnosti nám dovoľuje definovať minimálny prietok v toku ako najmenší priemerný denný prietok.

Z hľadiska sucha vyhodnocujeme viacero hydrologických charakteristík. Charakteristiky prietoku v čase malej vodnosti tvoria M-denné prietoky (priemerný denný prietok dosiahnutý alebo prekročený po M dní v zvolenom období), priemerné minimálne a absolútne minimálne prietoky, minimálne ročné a mesačné prietoky (s dátumom výskytu) a ich štatistické spracovanie. Iné charakteristiky malej vodnosti môžu byť nedostatkové objemy pod zvolenou hranicou prietoku s dátumom výskytu a trvania a ich štatistické spracovanie.

Porovnanie údajov obdobia 1961 – 2000 s údajmi obdobia 1931 – 1980

Obdobie 1931 – 1980 ako referenčné obdobie nahradilo v 90. rokoch minulého storočia dovtedy používané referenčné obdobie 1931 – 1960. Avšak už v tom čase boli zaznamenané zmeny v hydrologických radoch na niektorých slovenských riekach. Z iniciatívy hydroológov hydrologickej služby SHMÚ sa už v roku 1991 uskutočnil odborný seminár *Možnosti vplyvu klimatických zmien na hydrologický režim*, na ktorom sa prvýkrát tieto zistenia uviedli a dokumentovali. Následne boli spracované odborné štúdie z oblasti hydrológie, klimatológie, vodného hospodárstva a ďalších vedných disciplín a SHMÚ určil nové referenčné obdobie 1961 – 2000, ktoré sa po spracovaní všetkých hydrologických charakteristík začalo používať od roku 2006.

Priemerné ročné prietoky sú v období 1961 – 2000 menšie ako v období 1931 – 1980, s výnimkou severných oblastí Slovenska. Pokles priemerov má regionálny charakter, najvýraznejší je na juhu stredného a západného Slovenska.

Pokles priemerných mesačných prietokov má podobný regionálny charakter ako pri ročných prietokoch. Významné zmeny rozdelenia odtoku napriek tomu ale nenastali, čo znamená, že hydrologický režim slovenských tokov sa výrazne nezmenil. Najväčší percentuálny pokles je v prvom polroku hydrologického roka, najviac v novembri. Najväčší pokles je v povodí Ipľa a Slanej, a to počas celého roka. Na rozdiel od ročných prietokov v niektorých povodiach pozorujeme aj kladné odchýlky, hlavne v máji, júni a októbri (Majerčáková a kol., 2004).

Vo všetkých povodiach Slovenska, okrem povodí riek Morava, Kysuca, Nitra, Ipel' a Topľa došlo k zníženiu hodnôt M-denných prietokov.

Vplyv obdobia 2001 – 2012 na hydrologické charakteristiky referenčného obdobia

V hydrologickej praxi je dôležité nielen stanoviť referenčné obdobie, t. j. obdobie, za ktoré stanovené hydrologické charakteristiky (priemerné ročné prietoky, úhrny zrážok na povodie, M-denné prietoky, priemerné mesačné prietoky, N-ročné (kulmináčné prietoky dosiahnuté alebo prekročené priemerne raz za N rokov) maximálne prietoky, charakteristiky minimálnych prietokov) vystihujú aktuálny, ale neovplyvnený kvantitatívny stav povrchových zdrojov. Rovnako dôležité je v určitých časových krokoch monitorovať, či v časových radoch nedochádza, tak ako na začiatku 90. rokov 20. storočia, k výrazným zmenám.

V priebehu dvanástich rokov (2001 – 2012) sa vyskytol mimoriadne vodný rok 2010. Počas tohto obdobia sa súčasne vyskytlo obdobie sucha (v rokoch 2002 – 2003 a 2011 – 2012), výskyt extrémnych kulminácií v priebehu jedného roka (povodeň na Dunaji v marci a auguste v roku 2002), ako aj výskyt privalových povodní v období sucha (Handlovka v roku 2010, Gidra a Parná v roku 2011). Je preto prinajmenšom rovnako dôležité poznať nielen súčasný stav hydrologického potenciálu Slovenska, ale aj jeho vývoj. Dynamiku zmien hydrologického režimu nám umožňujú identifikovať databázové systémy a výstupy technologickej linky prakticky z roka na rok.

Z hľadiska vývoja priemernej vodnosti, pri zovšeobecnení situácie v jednotlivých vodomerných staniaciach, môžeme územie Slovenska rozdeliť na povodia, v ktorých je stúpajúci, resp. vyrovnaný trend priemernej vodnosti, v ktorých je vyrovnaný alebo mierne klesajúci trend vodnosti a na povodia, v ktorých prevláda klesajúci, ba až výrazne klesajúci trend vodnosti. Do prvej skupiny zaraďujeme samotný Dunaj, povodia Dunajca, vysokohorské časti povodia Váhu, povodia hornej Oravy a Kysuce. Do druhej skupiny zaraďujeme povodie Popradu, hornú časť povodia Váhu, povodia Bodrogu a Hornádu. Ostatné povodia (slovenská časť povodia Moravy, povodia Dunaja a Malého Dunaja, dolná časť povodia Váhu, povodia Nitry, Hrona, Ipľa, Slanej a Bodvy) patria do tretej skupiny.

Na optimálne využívanie vôd a hydroenergetického potenciálu slovenských tokov, ako aj na zabezpečenie protipovodňovej ochrany, je dôležité poznať zmeny režimu a vývoja odtoku počas roka. Aj na takom malom území, akým je Slovensko, je premenlivosť rozdelenia odtoku v jednotlivých povodiach počas roka rozdielna. Z jednotlivých vodomerných staníc Slovenska spomenieme Belú v Podbanskom, pretože je bez akejkoľvek zmeny. Pri zachovaní kontinuity merania a neovplyvniteľnosti tejto stanice ide o jedinečnosť pre ďalšie skúmanie zmien v hydrologických časových radoch, čo má neoceniteľný význam pri skúmaní ďalších zmien.

Na západnom Slovensku (povodia Malého Dunaja a Nitry) sú poklesy priemerných mesačných prietokov prakticky po celý rok, na strednom Slovensku (povodie Hrona) je vývoj priemerných mesačných prietokov v prvom polroku bez výraznejších zmien, v druhom polroku dochádza k poklesu, ktorý, okrem roku 2010, by bol výraznejší. Na tokoch južného a východného Slovenska došlo, aj vplyvom hydrologických rokov 2006 a 2010, k nárastu (Ipeľ Slaná), resp. aj k výraznejšiemu nárastu (Hornád, Bodrog, Poprad a Dunajec) priemerných mesačných prietokov v druhom polroku.

Vplyvom výskytu viacerých privalových povodní, rozsiahlych povodní v roku 2010, povodní na Handlove v roku 2010 alebo na Dunaji v júni 2013, prevláda v širokej laickej, ale aj časti odbornej verejnosti názor o *narastaní výskytu povodní*. Na základe jednoduchej trendovej analýzy dvoch hydrologických radov, maximálnych kulminačných prietokov a najväčších priemerných denných prietokov v jednotlivých rokoch, túto domnienku nemôžeme potvrdiť. Vzhľadom na to, že analýza maximálnych kulminačných prietokov bola robená za rôzne časové obdobia pozorovania v danej stanici, nemôžeme z výsledkov vyvodzovať všeobecné závery, v každom prípade na väčšine vodomerných staníc bol identifikovaný klesajúci trend týchto prietokov.

Pre objektívnejšie zhodnotenie vývoja *veľkej vodnosti* pripravujeme analýzu vývoja najväčších ročných a mesačných prietokov vo vybraných vodomerných staniaciach za obdobia 1931 – 2012 a 1961 – 2012.

Na rozdiel od kulminačných prietokov a najväčších ročných prietokov už boli charakteristiky minimálnych prietokov (najmenšie ročné a mesačné prietoky) podrobené objektívnejšej analýze z hľadiska ich vývoja. Pre 72 vodomerných staníc boli za obdobie 1961 – 2012 spracované trendy minimálnych ročných a mesačných prietokov a pre vodomerné stanice, ktoré začali vyhodnocovať prietoky skôr, boli uvedené trendy spracované za celé obdobie. Na základe priestorovej analýzy vyplynula skutočnosť, že v povodiach východného Slovenska, s výnimkou Bodvy, za obdobie 1961 – 2012 prakticky nevyskytol klesajúci trend hodnotených prietokov. Ak by sme územie Slovenska, z hľadiska vývoja minimálnych prietokov, rozdelili na nízko zraniteľné povodie (t. j., v ktorom prevláda rastúci alebo nulový trend), stredne zraniteľné (prevláda nulový trend, resp. slabý pokles) a vysoko zraniteľné (prevláda slabý, až silnejší pokles), tak práve povodia Popradu, Bodrogu a Hornádu by patrili do prvej skupiny. Do druhej skupiny by sa zaradil samotný Dunaj, horná časť povodia Váhu po Petrovičku, s výnimkou Rajčianky, a malá časť povodia horného Hrona po Brezno. Toky ostatných povodí patria do vysoko zraniteľnej skupiny, a to do skupiny s najnepriaznivejším vývojom minimálnych prietokov (Poórová a kol., 2013).

* * *

Zmena hydrologických charakteristík nie je jednoduchou záležitosťou ani pre samotnú hydrologiu. Na akékoľvek zmeny môžu citlivo reagovať najmä vodné hospodárstvo, stavebníctvo a viaceré ďalšie sektory. Identifikované zmeny v hydrologickom režime za ostatných 12 rokov nie sú také fatálne, aby došlo k prepracovaniu hydrologických charakteristík. Platí, že referenčné obdobie 1961 – 2000 bolo nastavené správne a plní úlohu poskytovania podkladov na návrhy a riešenia. Je schopné popísať taký úsek minulosti, ktorý nám s prijateľným stupňom spoľahlivosti dovolí odhadovať budúcnosť na určité obdobie.

Pri hodnotení vývoja výskytu maximálnych prietokov chceme zvlášť upozorniť na vodomernú stanicu v Bratislave na Dunaji. Za celé obdobie vyhodnocovania prietokov je trend radu prietokov výrazne stúpajúci a za predpokladu, že po povodni v roku 2013 sa na Dunaji budú realizovať ďalšie nevyhnutné opatrenia, treba brať túto skutočnosť do úvahy.

Sucho, boj o vodu, či snaha o zachovanie kvality vody sú globálne problémy ovplyvňujúce svet. Sú to problémy, ktoré spôsobujú svetové ekonomické výkyvy, problémy podporujúce celosvetovú migráciu obyvateľstva, problémy potravinovej dostatočnosti či ťažko kontrolovateľných lesných požiarov. Je najvyšší čas, aby si vodu začali všetci skutočne vážiť a chrániť. Pre históriu, súčasnosť, ale aj budúcnosť platí, že ľudská spoločnosť napreduje najmä tam, kde je vody primerane.

Literatúra

- Majerčáková, O., Poórová, J., Škoda, P.: Kvantitatívny stav vodných zdrojov našej krajiny. *EnviroMagazín*, 2009, 14, 5, s. 14 – 15.
- Majerčáková, O., Škoda, P., Šťastný, P., Faško, P.: Vývoj zložiek hydrologickej bilancie za obdobia 1931 – 1980 a 1991 – 2001. *Vodohospodársky časopis*, 2004, 52, 4, s. 255 – 364.
- Poórová, J., Blaškovičová, L., Škoda, P., Šimor, V.: Trendy minimálnych ročných a mesačných prietokov na slovenských tokoch. In: *Zborník abstraktov. Odborný seminár Sucho a jak mu čelit*. Praha, 2013, s. 20 – 23.
- Slovenský hydrometeorologický ústav (SHMÚ): Spracovanie hydrologických charakteristík. Priemerné ročné prietoky, úhrny zrážok na povodie za obdobie 1961 – 2000. Bratislava: SHMÚ, 2006, 88 s.
- Šipikalová, H., Škoda, P., Demeterová, B., Majerčáková, O.: Nové hydrologické údaje povrchových vôd. *Vodohospodársky spravodajca*, 2006, 49, 5 – 6, s. 26 – 29.
- Vodný plán Slovenska. Bratislava: Ministerstvo životného prostredia SR, 2009, 136 s.

Ing. Jana Poórová, PhD., jana.poorova@shmu.sk

RNDr. Peter Škoda, peter.skoda@shmu.sk

Ing. Zuzana Danáčová, PhD., zuzana.danacova@shmu.sk

Ing. Viliam Šimor, PhD., viliam.simor@shmu.sk

Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 833 15 Bratislava