

## ZMENY PRVKOV HYDROLOGICKEJ BILANCIE NA SLOVENSKU THE CHANGES OF WATER BALANCE COMPONENTS IN SLOVAKIA

Pavla Pekárová, Ústav hydrologie SAV, Dúbravská cesta 9, 841 04 Bratislava  
[pekarova@uh.savba.sk](mailto:pekarova@uh.savba.sk)

Pavol Miklánek, Ústav hydrologie SAV, Dúbravská cesta 9, 841 04 Bratislava  
[miklanek@uh.savba.sk](mailto:miklanek@uh.savba.sk)

Ján Pekár, Fakulta matematiky, fyziky a informatiky, Mlynská dolina, Bratislava  
[pekar@fmph.uniba.sk](mailto:pekar@fmph.uniba.sk)

The assessment of the climate change impact on the runoff from the territory of Slovakia is frequently discussed recently. The air temperature at the Hurbanovo station increased by 0.3°C during the 50-years period 1931–1980. During the next 30-years 1981–2010 the air temperature increased by other 1°C. The results of the water balance suggest that the precipitation slightly decreased by 20 mm from 750 mm to 730 mm during the period 1931–1980. Precipitation then increased from 730 mm to 800 mm after the year 1981. Despite that, the total runoff from the territory of Slovakia decreased by 20 mm. The runoff coefficient of the Slovak territory was slightly decreasing from 0.34 to 0.32 in the period 1946-1980. After the year 1981 the decrease is more evident and the runoff coefficient felt down to 0.29. The balance evaporation did not change till 1981 and its value was about 495 mm. The balance evaporation then increased by 55 mm up to 550 mm till the year 2002. The water balance analysis suggests that despite the increased precipitation the runoff from the territory of Slovakia decreased, the runoff coefficient decreased as well and the balance evaporation increased. These changes are quite substantial and it is necessary to find the explanation.

Kľúčové slová: hydrologická bilancia, klimatická zmena, deficit, adaptácia

### Úvod

Hodnotenia dôsledkov avizovanej zmeny klímy (očakávaného otepľovania) na odtok vody z územia Slovenska riekami sú v posledných rokoch často diskutovanou témou (Majerčáková a kol., 1996, 2004; Kostka a Holko, 1996; Šipikalová a kol., 2006, 2015, Szolgay a kol., 1997, 2007; Škoda a kol., 2016; Vlnas, 2015; Danáčová a kol., 2015). Návrhy, ako zmierniť tieto dôsledky sú protichodné, na jednej strane sa presadzujú technické opatrenia, na druhej strane tzv. zelené opatrenia.

Vo všeobecnosti všetky klimatické scenáre predpokladajú na území Slovenska nárast dlhodobej priemernej ročnej teploty vzduchu okolo 3°C v horizonte roku 2075. Pri posudzovaní vplyvu zvyšovania teploty vzduchu na odtok je potrebné pozorne sledovať vývoj jednotlivých prvkov hydrologickej bilancie (zrážok, odtoku, výparu) na našom území a určiť dôvody zmien prvkov hydrologickej bilancie. Zo strany odborníkov - vodohospodárov je potrebné nepodľahnúť všeobecne hlásaným vedecky nepodloženým tézám.

Cieľom tohto príspevku je na základe meraných zrážok a odtoku zhodnotiť dlhodobé zmeny prvkov hydrologickej bilancie na území Slovenska a pokúsiť sa o hľadanie príčin týchto zmien.

### Metódy a údaje

Pri spracovaní sme použili klasické metódy výpočtu hydrologickej bilancie a základné štatistické metódy spracovania časových radov.

Pri spracovaní hydrologickej bilancie v SR sme použili časový rad údajov (SHMÚ) priemerných ročných zrážok na územie Slovenska (1881–2015) a rad údajov priemerného odtoku vody riekami z územia SR (1931–2015) za hydrologické roky (Danáčová a kl., 2015). Ďalej sme pri odvodení empirického vzťahu medzi odtokom a zrážkami s teplotou vzduchu použili rad priemernej ročnej teploty vzduchu zo stanice Hurbanovo za obdobie (1881–2015). Taktiež sme využili rady pozorovaní prietokov, zrážok a odtoku z experimentálnych povodí ÚH SAV

## Výsledky - Analýza zmien hydrologickej bilancie v SR za obdobie 1931–2016

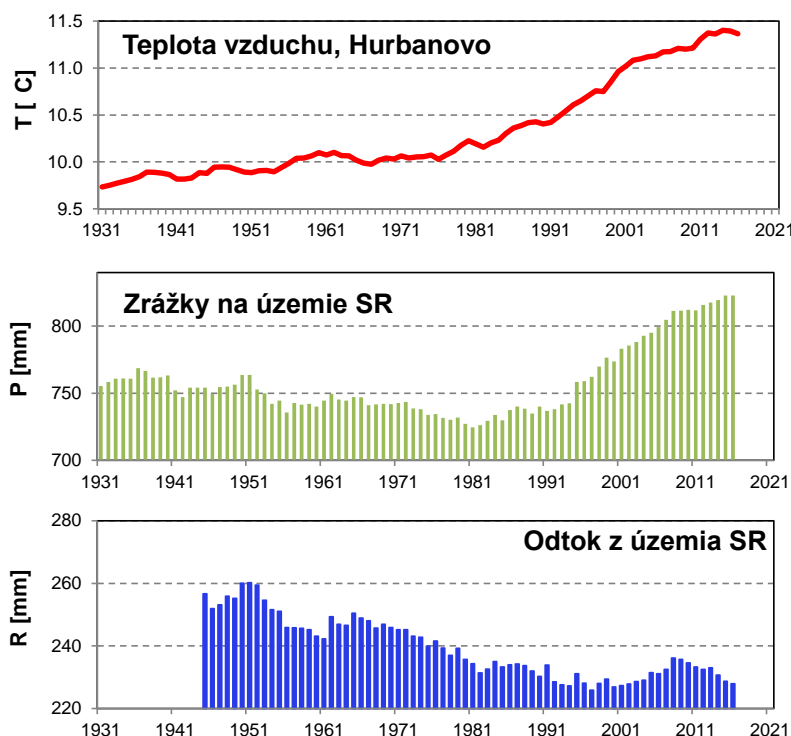
Hydrologická bilancia je definovaná ako vyhodnotenie prírastkov a úbytkov vody a zmeny jej akumulácie vo vodnom útvaru za zvolený časový interval (Majerčáková a kol., 2004). Pri výpočte sa odpočítavajú objemy všetkých odtokov vody z vodného útvaru od objemu všetkých prítokov a vyhodnocujú sa zmeny akumulácie v ňom za dopredu stanovený časový krok (mesiac, rok, niekoľko rokov napr. 15-, 20-, 30-, 50-ročné obdobia). V dlhšom časovom období niekoľkých desaťročí ide o rovnováhu medzi zrážkami na jednej strane a výparom a odtokom na strane druhej. Pri zanedbaní zmien v akumulácii vody vo vodnom útvaru, rovnicu hydrologickej bilancie môžeme písať v tvare (1):

$$P = R + ET, \quad (1)$$

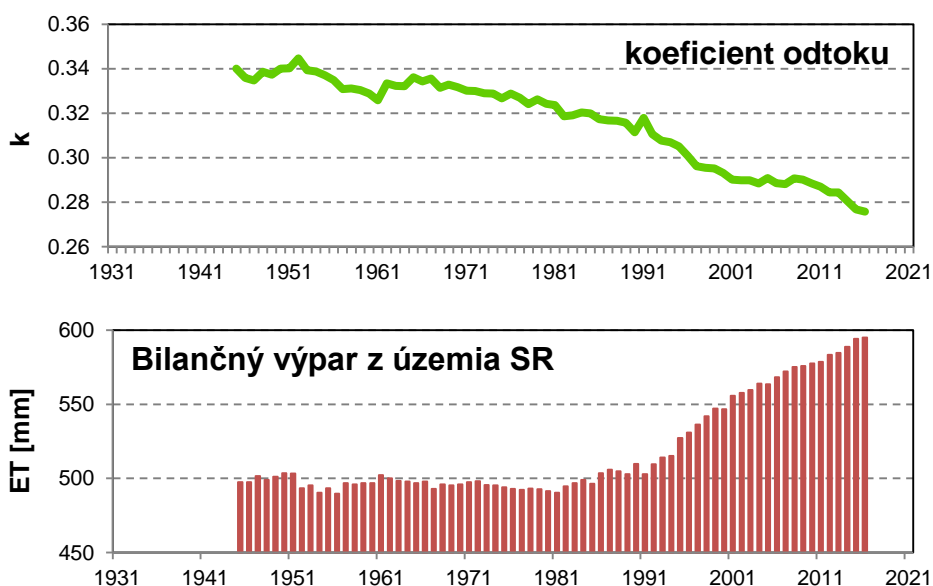
kde:  $R$  – odtok [mm];  $P$  – zrážky [mm];  $ET$  – bilančný výpar [mm].

Priemerné ročné atmosférické zrážky a odtok z územia SR sú merané veličiny, bilančný výpar a koeficient odtoku ( $k$ ) sa vypočítajú ( $ET = P - R$ ;  $k = R/P$ ).

V našom prípade sme pre výpočet použili 30-ročné kľzavé priemery zrážok a odtoku (obr. 1).



Obr. 1. Priebek 30-ročných kľzavých priemerov teploty vzduchu ( $T$ ) v stanici Hurbanovo (1931–2016); priebek 30-ročných kľzavých priemerov územných zrážok na SR ( $P$ ) a priebek 30-ročných kľzavých priemerov odtoku z územia SR ( $R$ ).



Obr. 2. Priebeh 30-ročných kľzavých priemerov koeficientu odtoku ( $k$ ) z územia Slovenska za obdobie (1946–2002); priebeh 30-ročných kľzavých priemerov bilančného výparu v SR ( $ET$ ) za obdobie (1946–2002).

Teplota vzduchu v stanici Hurbanovo za 50 ročné obdobie 1931–1980 stúpila o približne  $0,3^{\circ}\text{C}$ . Za 30 ročné obdobie 1981–2010 stúpila až o  $1^{\circ}\text{C}$ . Zrážky v období 1931–1980 mierne klesli o ca 20 mm z 750 mm na 730 mm. Po roku 1981 zrážky rástli, z 730 mm až na 800 mm. Celkový odtok z územia Slovenska napriek nárastu zrážok poklesol o ca 20 mm.

Koeficient odtoku zo Slovenska v období 1946–1980 mierne klesal z hodnoty 0,34 na 0,32, po roku 1981 je pokles výraznejší, až na hodnotu koeficient odtoku 0,29 (obr. 2).

Bilančný výpar sa do roku 1981 nemenil, bol okolo 495 mm. Do roku 2002 vzrástol o 50 mm, na hodnotu 550 mm.

Z danej bilancie vyplývajú nasledovné fakty:

- z územia Slovenska odteká napriek vyšším zrážkam menej vody;
- znížil sa koeficient odtoku;
- zvýšil sa výpar z územia SR.

### Závislosť odtoku na ročných zrážkach a teplote vzduchu

Pre odhad budúceho vývoja odtoku z územia Slovenska je možné použiť jednoduchý regresný vzťah medzi odtokom, zrážkami a teplotou vzduchu. Takéto vzťahy odvodili už Oto Dub v roku 1966 alebo Friga (Šipikalová a kol., 2005), ktorí určili viacero regionálnych vzťahov pre rôzne povodia.

Napr. Dub a Trestová pre územie SR odvodili vzťah :

$$Ra = -369,9 + 1,06 Pa - 24,21 Ta. \quad (2)$$

My sme z údajov za obdobie 1931–2016 odvodili vzťah:

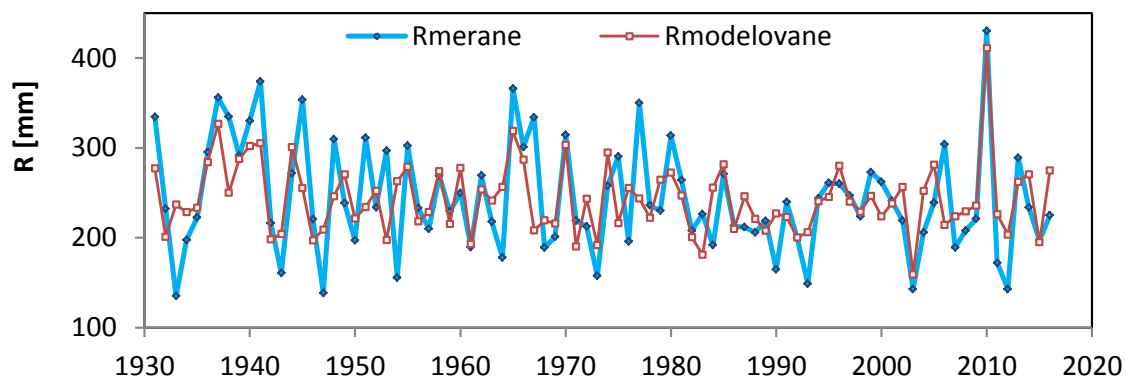
$$Ra = 167,6 + 0,336 Pa - 17,39 Ta, \quad (3)$$

kde:  $Ra$  – priemerný ročný odtok z územia SR;

$P_a$  – ročné územné zrážky v SR;

$T_a$  – priemerná ročná teplota vzduchu na stanici Hurbanovo.

Pri výpočte bol dosiahnutý viacnásobný korelačný koeficient 0,64, pričom štandardná chyba odhadu predstavovala 46,9. Na obr. 3 je znázornený priebeh meraných a modelovaných hodnôt ročných odtokov za sledované obdobie.



Obr. 3. Priebeh priemerných ročných hodnôt odtoku z územia Slovenska za obdobie (1931–2016); Merané hodnoty a modelované hodnoty podľa (3).

Z dlhodobej analýzy hydrologickej bilancie vzťah (3) vyplýva, že pokles zrážok na Slovensku o 100 mm spôsobí pokles odtoku o 33,6 mm. Zvýšenie priemernej ročnej teploty o 1°C prináša pokles odtoku o 17,4 mm. Analogicky, zvýšenie priemernej ročnej teploty vzduchu o 1°C prináša zvýšenie evapotranspirácie o 17,4 mm. Príčinou zvýšenej evapotranspirácie okrem vyššej teploty vzduchu môže byť niekoľko. Ako naznačujú výsledky nasledovnej bilancie z experimentálnych povodí ÚH SAV, príčinou môže byť zvýšené zalesnenie územia SR, ako aj vyššia produkcia drevnej a rastlinnej hmoty.

### Vplyv lesa na odtok vody z experimentálnych povodí ÚH SAV

Napriek celému radu prác u nás i vo svete, stanovenie vplyvu lesa na vodnosť tokov dodnes nie je jednoznačné. Niektorí autori zastávajú názor, že zvyšovanie lesnatosti priaznivo vplyva na zvýšenie odtoku z povodia, iní, že zvyšovanie lesnatosti spôsobuje znižovanie odtoku (Valčíčák 1967, Zelený 1977, Valtýni 1980). Ako píše Čaboun a kol. (2010) „u nás je ešte stále pomerne rozšírený mýtus, že vplyv lesa na vodu je len a len priaznivý, že les znižuje riziko povodní a súčasne zvyšuje výdatnosť vodných zdrojov“.

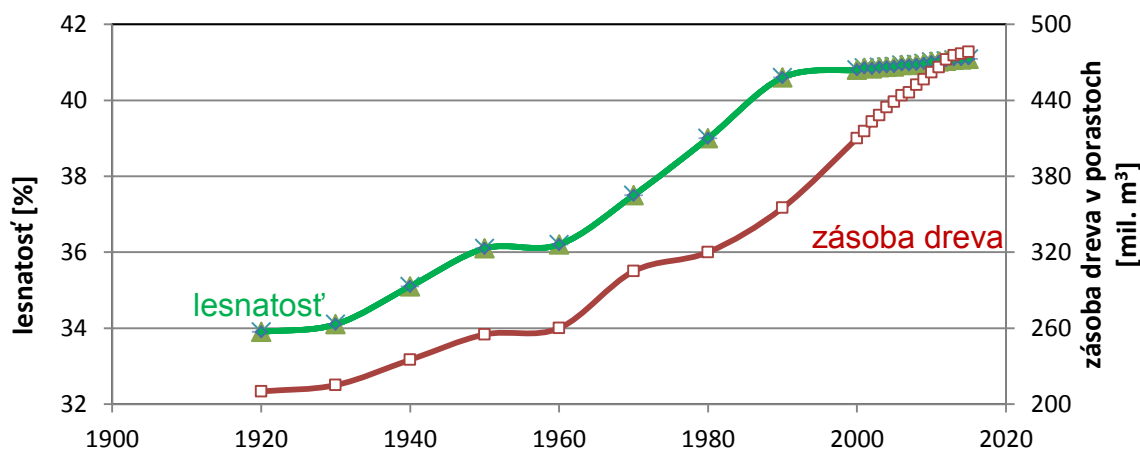
Vplyv lesa na odtok z povodia bol na našom pracovisku skúmaný na Prírodnom hydrologickom laboratóriu PHL pri Považskej Bystrici. Skúmanie vplyvu lesa na odtok bol základným cieľom pri výbere povodí na PHL. Na základe meraní bola spracovaná hydrologická bilancia experimentálnych mikropovodí Rybárik (poľnohospodársky využívané povodie) a Lesný (zalesnené povodie) (Pekárová a kol., 2005) za obdobie hydrologických rokov 1964/65–1993/94. Povodia ležia tesne vedľa seba a majú podobné fyzicko-geografické charakteristiky.

Vypočítané hodnoty základných zložiek vodnej bilancie poľnohospodárskeho povodia Rybárik a zalesneného povodia Lesný za hydrologické roky 1964/65–1993/94 sú uvedené v tabuľke 1. V povodí Rybárik najvlhkejší rok za uvedené obdobie bol hydrologický rok 1965/66. Ročný zrážkový úhrn dosiahol 996 mm a ročný odtok 408 mm. Najnižší ročný odtok bol v roku 1992/93 124 mm. Koeficient odtoku v povodí Rybárik kolísal od 21% do 42% s priemerom 32,2 percenta. Koeficient odtoku v povodí Lesný kolísal od 11% do 37% s priemerom 23 percent. Na tomto príklade je jednoznačne potvrdené, že zvyšovanie lesnatosti znižuje odtok z povodia a zvyšuje bilančný výpar.

Tabuľka 1 Základné hydrologické charakteristiky experimentálnych mikropovodií Rybárik, Lesný a Cingelová za obdobie 1964/65–1993/94

Povodie		Rybárik	Lesný
Plocha	[km <sup>2</sup> ]	0,119	0,086
Lesnatosť	[%]	10,0	90
Priem. nadm. výška povodia	[m n.m.]	401	380
Min/Max nadm. výška	[m n.m.]	369/434	350/415
ZR – dlhodobý ročný zráž. úhrn	[mm]	743	732
R – dlhodobý ročný odtok	[mm]	239	163
ET - bilančný výpar – dlhodobý prm.	[mm]	504	569
K – koeficient odtoku		0,322	0,223

Lesnatosť na Slovensku sa za posledných 100 rokov zvýšila z 34% v roku 1920 na 41% v roku 2015. Viac ako dvojnásobne sa zvýšila i zásoba dreva v porastoch (obr. 4). Toto môže byť (okrem rastúcej teploty vzduchu) jeden z faktorov, zvyšujúcich evapotranspiráciu a znižujúcich odtok z povodií v SR.



Obr. 4. Vývoj lesnatosti a zásoby dreva v porastoch na území Slovenska od roku 1920 do roku 2015.

## Diskusia a závery

Na slovenskom území pramení v dlhodobom priemere približne 400 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> vody, čo predstavuje 14 % celkového nášho povrchového vodného fondu. Už v období rokov 1981–1995 bol vyhodnotený pokles vodnosti našich tokov oproti referenčnému obdobiu rokov 1931–1980. V posledných dvadsiatich rokoch sa tento nepriaznivý trend výrazne zvýšil. Preto je potrebné:

- dôkladne prehodnotiť hydrologickú bilanciu v jednotlivých povodiach SR s prihliadnutím na vývoj rôznych činiteľov ovplyvňujúcich odtok (napr. lesnatosť, výstavba, nádrže);
- prehodnotiť bilanciu vody v celom povodí Dunaja (Petrovič, 2006), i v celej strednej Európe;
- matematickými modelmi, (napr. modelom BILAN, WatBal, Clirun, Sacramento alebo FRIEFR) opätovne prehodnotiť budúci vývoj odtoku v jednotlivých regiónoch a vytypovať najviac zraniteľné územia v SR (Beran a Hanel, 2015; Petrovič, 2004; Daníhlík a Trizna, 2005; Bulantová a Horvát 2011; Horvát a kol. 2009);
- na základe výsledkov nových štúdií je potrebné navrhnuť účinné adaptačné opatrenia za účelom zmiernenia dopadov zvyšovania teploty vzduchu na odtok (Vilímek a Hladný, 2001).

Je nevyhnutné v horných častiach povodí budovať nádrže na vytvorenie zásob vody, ktoré prekryjú potrebu vody počas suchých období (Kožín a kol., 2015). Ako už písala Majerčáková a kol v roku 2004 vo svojom článku v *Journal of Hydrology and Hydromechanics*:

„Na regionálnej, resp. lokálnej úrovni možno ovplyvňovať tiež akumuláciu vody zadržiavaním vo vodných nádržiach, hlavne v čase jej epizodických prebytkov v krajine, a to predovšetkým na úkor epizodických zvýšených povrchových a podpovrchových odtokov. Akumulovanou vodou môžeme následne riešiť nedostatok vody v krajine počas období sucha.

Základnú príčinu, t.j. zvýšenú teplotu vzduchu, prípadne nižšie zrážkové úhrny nemožno ovplyvniť ani na lokálnej, ani na regionálnej úrovni.“

## Podakovanie

Článok vznikol na základe údajov SHMÚ a ÚH SAV. Táto práca bola podporovaná projektom VEGA 2/0009/15 “Identifikácia zmien hydrologického režimu tokov a vzájomný vzťah extrémnych hydrologických udalostí v zložitom riečnom systéme povodia Dunaja” a realizáciou projektu ITMS 26240120004 Centrum excelentnosti integrovanej protipovodňovej ochrany územia, na základe podpory operačného programu Výskum a vývoj financovaného z Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

## Literatúra

- Beran, A. A Hanel, M., 2015: Definování zranitelných oblastí z hlediska nedostatku vody na území České republiky. *Vodohospodářské technicko - ekonomické informace*, 2015, 57, č. 4–5.
- Bulantová, M., Horvát, O., 2011: Hodnotenie vplyvu zmeny využívania krajiny na odtokové procesy na povodí Váhu. *Vodohospodársky Spravodajca*, 5-6, 18-19.
- Čaboun, V., Tutka, J., Moravčík, M., Kovalčík, M., Sarvašová, A., Schwarz, M., Zemko, M. 2010: Uplatňovanie funkcií lesa v krajine. Vydalo Národné lesnícke centrum vo Zvolene. 285 str.
- Danáčová, Z., Blaškovičová, L., Lovásová, Ľ., Šimor, V., Škoda, P., 2015: Hydrologické extrémny: Modelovanie a predpovedanie. *Acta Hydrologica Slovaca*, 16, TC 1, 13–22.
- Danihlík, R., Trizna, M., 2005: Vplyv klimatickej zmeny na režim odtoku vo vybraných povodiach Slovenska. *Geografický časopis*, 57, 1, 71–91.
- Hladný, J. Buchtele, J., Doubková, M., Dvořák, V., Kašpárek, L., Novický, O., Přenosilová, E., a kol., 1996: Územní studie dopadu možné změny klimatu na hydrologii a vodní zdroje v České republice. Národní klimatický program České republiky, 20. ČHMÚ, Praha.
- Horvát, O., Hlavčová, K., Kohnová, S., Danko, M., 2009: Application of the Frier distributed model for estimating the impact of land use changes on the water balance in selected basins in Slovakia. *J. Hydrol. Hydromech.*, 57, 4, 213–225.
- Kostka, Z., Holko, L., 1996: Estimation of Hydrological Balance Components at Variable Conditions of the Mountainous Catchment. *Proc. Ecohydrology of High Mountain Areas, ICIMOD, Kathmandu*, 181–186.
- Kožín, R., Hanel, M., Kašpárek, L., Peláková, M., Vizina, A., Treml, P., 2015: Možnosti zmírnění dopadů změny klimatu využitím území chráněných pro akumulaci povrchových vod. *Vodohospodářské technicko - ekonomické informace VTEI/ 2015/ 4–5*. 11-17.
- Majerčáková O., Faško P., Škoda P., Šťastný P., 2004: Porovnanie hydrologickej bilancie Slovenska za obdobia 1931–1980 a 1991–2001. *Vodohosp. Spravodaj.*, 47, 2-3, 12–15.
- Majerčáková O., Minárik B., Šedík P., 1996: The possible runoff change during the year on the Slovak streams due to potential climate change. [Report for Country Study Program.] SHMÚ, Bratislava.

- Majerčáková, O., Škoda, P., Šťastný, P., Faško, P., 2004: Vývoj zložiek hydrologickej bilancie za obdobia 1931–1980 a 1961–2000. J. Hydrol. Hydromech, 52, 4, 355–364.
- Pekárová, P., Koníček, A., Miklánek, P. 2005: Vplyv využitia krajiny na režim odtoku v experimentálnych mikropovodiach ÚH SAV. Rukopis monografie, VEDA, v tlači, 216 str.
- Petrovič, P., 2002: The Danube Basin Water Balance- Case Study: The Nitra River Basin, 21st conference of the Danubian countries on the hydrological forecasting and hydrological bases of water management – Bucharest, 2-6 September 2002.
- Petrovič, P., 2006: Basin – Wide Water Balance in the Danube Basin. The Danube and its Basin – Hydrological Monograph Follow-up Volume VIII.
- Szolgay J., Hlavčová K., Parajka J., Čunderlík J., 1997: Vplyv klimatickej zmeny na odtokový režim na Slovensku. Klimatické zmeny – hydrologia a vodné hospodárstvo SR. Publikácia Národného klimatického programu SR, 6. SHMÚ, MŽP SR, Bratislava, 11–110.
- Szolgay, J., Hlavčová, K., Lapin, M., Parajka, J., Kohnová, S., 2007: Vplyv zmeny klímy na odtokový režim na Slovensku. Key Publishing, 160 str.
- Šipikalová, H., Škoda, P., Demeterová, B., Majerčáková, O., 2006: Nové hydrologické údaje povrchových vôd. Vodohospodársky spravodajca 5-6, 2006, roč. XLIX, str. 26–29.
- Šipikalová, H. a kol.: 2006: Spracovanie hydrologických charakteristík. Priemerné ročné prietoky, úhrny zrážok na povodie za obdobie 1961–2000. SHMÚ, Bratislava.
- Šipikalová, H., Škoda, P., Podolinská, J., Liová, S., 2015: Posúdenie referenčného obdobia 1961-2000 pri stanovovaní hydrologických charakteristík. In: Proc: Manažment povodí a povodňových rizík 2015 a Hydrologické dni 2015.  
[http://www.shmu.sk/File/Hydrologia/Publikacna\\_cinnost/2015/2015\\_MPaPRaHD\\_Sipikalova\\_kol\\_Posudenie\\_ref\\_obdobia\\_1961\\_2000\\_hydro\\_charakteristik\\_PV.pdf](http://www.shmu.sk/File/Hydrologia/Publikacna_cinnost/2015/2015_MPaPRaHD_Sipikalova_kol_Posudenie_ref_obdobia_1961_2000_hydro_charakteristik_PV.pdf)
- Škoda, P., Blaškovičová, L., Melová, K., 2016: Evaluation of the hydrological year 2015. Vodohospodársky spravodajca 59, 3–4, 14–16. (in Slovak).
- Valčíčák, J. 1967: K otázke vplyvu lesnatosti na priemerný ročný odtok vo vybraných povodiach na území Slovenska. Vodohosp. čas. 15, 2, 133–160.
- Valtýni, J. 1980: Vplyv lesnatosti povodia na odtok. Vodohosp. čas. 28, 3, 286–297.
- Vilímek, V., Hladný, J., 2001: Vlivy globální změny klimatu. Geografické rozhledy, 11, 2, 30–33.
- Vlnas, R., 2015: Pozorované zmeny složek hydrologické bilance z hlediska využitelných vodních zdrojů. Vodohospodářské technicko - ekonomické informace, VTEI/ 2015/ 4–5. 27-32.
- Zachar, D., Krešl, J., Marko, J., Volný, S., 1984: Lesnícke meliorácie. Príroda Bratislava. 484 str.
- Zelený, V. 1977: 100 let lesnické hydrologie na území našeho státu. Vodohosp. čas. 25, 1, 15–26. Zelený, V., (1979). Výsledky lesnicko-hydrologického výzkumu v experimentálních beskydských povodích. Vodohosp. Čas., 27, 6, 584–600.
- Vodohospodárska bilancia množstva povrchových vôd za rok 2015, 2016, Vydal Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava, 132 str.  
[http://www.shmu.sk/File/Hydrologia/Vodohospodarska\\_bilancia/VHB\\_kvantita\\_PV/VHB\\_2015\\_skratena\\_verzia.pdf](http://www.shmu.sk/File/Hydrologia/Vodohospodarska_bilancia/VHB_kvantita_PV/VHB_2015_skratena_verzia.pdf)