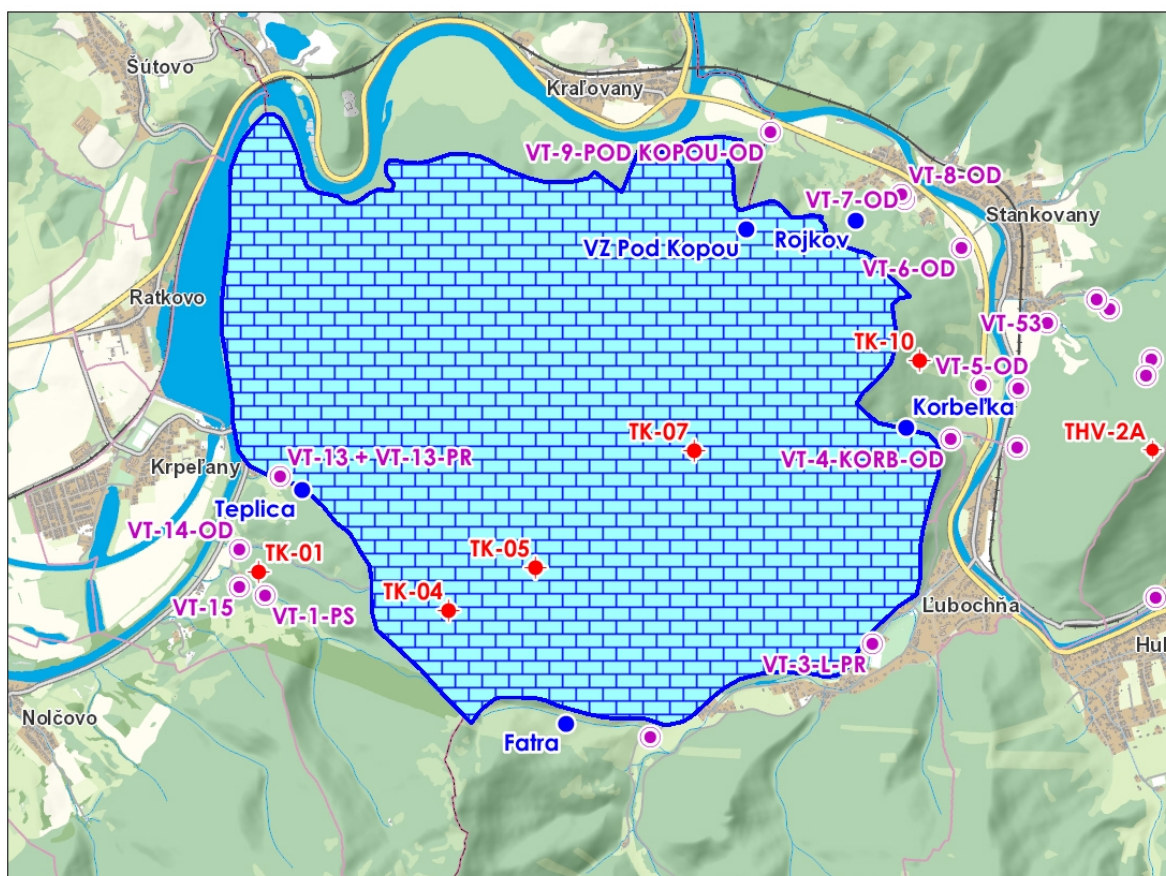


PRÍLOHA Č. 5  
HYDROLOGICKÁ BILANCIA – TUNEL KORBELKA

## HYDROLOGICKÁ BILANCIA HYDROGEOLOGICKEJ ŠTRUKTÚRY TRIASOVÝCH KARBONÁTOV HRONIKA OBLASTI KÓTY KOPA (1187 m n.m.) PRE HYDROLOGICKÉ ROKY 2019 – 2021

Hydrologická bilancia, ktorá bola vypracovaná pre hydrogeologickú štruktúru stredno- a vrchnotriasových dolomitov a vápencov tektonickej jednotky hronika v oblasti kóty masívu Kopa (1187 m n.m.) v severozápadnej časti Veľkej Fatry, vychádzala z meteorologických údajov poskytnutých pracovníkmi Slovenského hydrometeorologického ústavu, z údajov o pôdnej retencii a geologických údajov Štátneho geologického ústavu Dionýza Štúra, slúžiacich pre vyčlenenie štruktúry v priestore, z údajov o odberoch a výdatnostiach vodárensky využívaných zdrojov podzemných vôd – prameňov od Turčianskej vodárenskej spoločnosti (pramene Teplica 1, 2), Oravskej vodárenskej spoločnosti (pramene Pod Kopou) a Ružomerskej vodárenskej spoločnosti (pramene Fatra, Rojkov a Korbeľka), údajov z monitorovania hladín podzemných vôd v piatich hydrogeologických vrtoch TK-01, TK-04, TK-05, TK-07 a TK-10 (po preskúmaní priebehu monitorovania vo vrtoch TK-01, TK-04, TK-05, TK-07, TK-10, TKB-2, TKB-4, TKB-6, TKB-7, TKB-10 a HGK-1) pracovníkmi DPP Žilina s.r.o. a údajov o meraniach prietokov na povrchových tokoch v oblasti taktiež pracovníkmi DPP Žilina. Zostaveniu bilančného hodnotenia vôd pre jednotlivé hydrologické roky 2019 až 2021, v uvedenej hydrogeologickej štruktúre predchádzalo zostavenie orientačnej hydrologickej bilancia na základe priemerných údajov za roky 1951 – 1981, ktoré slúžilo ako základ pre detailné rozvinutie do obdobia hydrologických rokov 2019 – 2021.



Obr.1: Vymedzenie stredno a vrchnotriasových dolomitov a vápencov tektonickej jednotky hronika v oblasti kóty 1187 m n.m. masívu Kopa – bilancovanej hydrogeologickej štruktúry Kopy

## Orientačná hydrologická bilancia na základe priemerných údajov za roky 1951-1981

Z dlhodobých priemerov zrážkových úhrnov a teplôt z pozorovaní Slovenského hydrometeorologického ústavu v rokoch 1951–1980, extrapolovaných podľa morfológie reliéfu (Švasta a Malík, 2006) bola pre oblasť, ktorú zaberá hydrogeologická štruktúra triasových karbonátov hronika oblasti kóty 1187 m n.m. masívu Kopa (hydrogeologická štruktúra Kopy) s plochou  $15,538 \text{ km}^2$  odvodená veľkosť dlhodobých priemerných ročných zrážok 869 mm a veľkosť priemernej ročnej teploty  $5,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Podľa údajov o retencii pôdneho pokryvu, ktoré mala štúdia Švasta, Malík (2006) k dispozícii, bola pre danú oblasť vypočítaná veľkosť priemernej retenčnej schopnosti pôd o veľkosti 82 mm.

Pri výpočte priemernej reálnej evapotranspirácie na podklade hodnôt potenciálnej evapotranspirácie podľa Thornthwaita (1948, 1955), s mesačným krokom hodnotenia, pri porovnávaní vzťahov medzi priemernými mesačnými zrážkovými úhrnmi za roky 1951 – 1980, mesačnými hodnotami potenciálnej evapotranspirácie a potenciálnymi zásobami pôdnej vody (danej pôdnou retenčnou kapacitou v mm) bola stanovená priemerná veľkosť potenciálnej evapotranspirácie 569,8 mm a vzhľadom na vyrovnaný priebeh zrážkových úhrnov v priebehu priemerného roka aj rovnaká veľkosť reálnej evapotranspirácie (569,8 mm). Zvyšková hodnota neodparených zrážok (veľkosť efektívnych zrážok) bola teda 298 mm a vo vyjadrení v jednotkách odtoku  $9,46 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ . V horninovom prostredí krasovatejúcich karbonátov triasu hronika, ktoré túto hydrogeologickú štruktúru budujú, sa dá predpokladať že všetky tieto neodparené zrážky infiltrujú do horninového prostredia a len ich malá časť odteká vo forme povrchových tokov. Pritom sa z danej plochy  $15,538 \text{ km}^2$ , ktorú štruktúra zaberá, dal z podľa tejto orientačnej hydrologickej bilancie očakávať celkový odtok podzemných vôd z celej plochy hydrogeologickej štruktúry Kopy okolo  $147,0 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ . Táto hodnota je veľmi blízka hodnote  $152,4 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ , dokumentovanej v sumárnom priemernom odtoku z prameňov, odvodňujúcich túto štruktúru (Malík et al., 2006). Odtok podzemných vôd v dokumentovaných prameňoch tejto hydrogeologickej štruktúry ( $152,4 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ ) je sústredený najmä do najvýznamnejších vodárensky zachytených prameňov Teplička/Teplica 1 a 2 v Krpel'anoch, Pod kopou nad obcou Kral'ovany, prameňa Rojkov pri rovnomennej obci, a napokon prameňov Fatra a Korbeľka v oblasti Ľubochne.

Podľa týchto (priemerných klimatických a jednorazových hydrogeologických) údajov sa uvažovalo, že merný odtok podzemných vôd  $9,81 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$  vo forme prameňov je v súlade s priemernými ročnými efektívnymi zrážkami.

Získané hodnoty odtoku zo štruktúry boli verifikované aj výsledkami termometrických a rezistivimetrických meraní na Váhu a Krpelianskej priehradnej nádrži (Švasta, Malík, 2008), keď nebol potvrdený starší predpoklad (Zakovič et al., 1990), že podzemné vody triasových karbonátov hronika v oblasti kóty Kopa (1187 m n.m.) vo väčšom množstve skryte prestupujú do iných území.

Vodná bilancia oblasti predstavuje základný údaj o klimaticky podmienenom potenciáli hodnotenej oblasti z hľadiska tvorby a formovania sa podzemných vôd. V skúmanom území a jeho bezprostrednom okolí od roku 2011 postupne pribúdali pozorovania, resp. monitoring hladín podzemných vôd v pomerne detailnom časovom intervale pomocou datalogerov, od roku 2014 aj na území hodnotenej hydrogeologickej štruktúry Kopy, ktoré boli v niekoľkomesačnom období doplnené aj podrobnejšími kvantitatívnymi hydrogeologickými pozorovaniami na viacerých zdrojoch podzemných vôd (Teplička/Teplica, Pod kopou, Fatra, Korbeľka, Rojkov). Ďalším dôležitým zdrojom údajov potrebných pre spracovanie hydrologickej bilancie sú údaje o zrážkových úhrnoch, tieto boli získané zo zrážkomerných staníc Slovenského hydrometeorologického ústavu (SHMÚ) Kral'ovany a údaje o teplotách vzduchu na podklade, ktorých prebieha výpočet potenciálnej evapotranspirácie. Údaje

o teplotách vzduchu boli získané z klimateckej stanice SHMÚ Ružomberok (ako priemerné denné teploty) pre príslušné obdobie.

V tejto práci pristupujeme k rozšíreniu bilančného hodnotenia na obdobie hydrologických rokov 2019 – 2021, vychádzajúce z novozískaných údajov pre toto obdobie – pozorovaní výdatností prameňov a prietokov pracovníkmi DPP Žilina a správcami vodárenských zdrojov, čiastočne údajmi ŠGÚDŠ o retenčnej kapacite pôd v oblasti, ako aj získanými údajmi SHMÚ pre uvedené obdobie.

### Použitá bilančná rovnica

Hydrogeologickú štruktúru Kopy je možné v zmysle Kullmana (1990) považovať za uzavretú hydrogeologickú štruktúru, kde by nemalo nedochádzať k skrytému odvodňovaniu – prestupu podzemných vôd evidovaným či neevidovaným spôsobom mimo hranice bilancovanej oblasti. Hydrogeologická štruktúra Kopy má jednoduchý spôsob obehu podzemnej vody. Vzhľadom na vrcholovú pozíciu dolomitov a vápencov na málo priepustnom podloží (tvorenom zväčša slieňitými vápencami mráznického súvrstvia veporika), sú podzemné vody odvodňované množstvom zostupných prameňov na litologickom rozhraní. Presná poloha tohto rozhrania (stredný trias / krieda) však nie je v teréne vždy rozoznateľná, pretože je prekrytá sutinami a sklzávajúcimi sa blokmi rigidných dolomitov. Podzemné vody prestupujú z karbonátov priamo do mohutných suťovísk a mnoho prameňov, ktorých vody infiltrovali v karbonátoch, vyviera podstatne nižšie pod líniou litologického rozhrania, resp. priekrovovou líniou vyznačenou v mape. Smer prúdenia je určovaný sklonom málo priepustného kriedového podložia (najčastejšie mráznické súvrstvie). Poloha väčšiny prameňov pod litologickým rozhraním je teda spôsobená cirkuláciou podzemných vôd v rozvoľnených karbonátových sutinách, resp. v zóne pripovrchového rozvoľnenia slieňitých vápencov a slieňov, čiže sutinovo-vrstvovým charakterom týchto prameňov. Na juhovýchode tvorí ohraničenie hydrogeologickej štruktúry tok Ľubochňanky, na severozápade sa karbonáty hronika stretajú priamo s vodami Krpelianskej priehradnej nádrže. Na väčšine ohraničenia hydrogeologickej štruktúry Kopy je zjavný kontakt vysokopriepustných vápencov a dolomitov s regionálnym izolátorom – horninami hydrogeologického celku slieňitých vápencov a bridlic veporika (mráznické, osnické a vlkolinské súvrstvie vrchnej jury až spodnej kriedy). Tieto tiež tvoria triasovým dolomitom a vápencom hronika bezprostredné podložie a na povrch vystupujú na severnom okraji v oblasti údolia Váhu. Podobne je tomu aj pri južnom okraji tejto hydrogeologickej štruktúry, tu je však tento kontakt prekrytý zlepcami, brekciami a pieskovecami borovského súvrstvia vnútrokarpatského paleogénu, predovšetkým na západ od sedla Fatra (Hore Fatrou). Z odkrytých hornín karbonátového komplexu hronika tvoria 78 % odkrytej plochy dolomity (prevažne wettersteinské; ramsauské dolomity vystupujú len v menších pruhoch pri severnom okraji) a zvyšných cca 22 % tvoria svetlé, sivobiele krinoidové gaderské vápence.

Po zvážení konkrétnej geologickej stavby, spôsobu obehu podzemnej vody a antropogénnych vplyvov v oblasti bolo možné anulovať niektoré členov základnej rovnice hydrologickej bilancie (1) pre konkrétne územie hydrogeologickej štruktúry Kopy do aplikovanej formy bilančnej rovnice (2):

$$Z + P_{\text{pov}} + P_{\text{cez}} + P_{\text{pr}} = E_r + O_{\text{pov}} + O_{\text{pod}} + O_{\text{cez}} + O_{\text{odb}} \pm \Delta R \pm \Delta R_{\text{pp}} \quad (1)$$

$$Z = E_r + O_{\text{pov}} + O_{\text{pod}} + O_{\text{cez}} + O_{\text{odb}} \pm \Delta R \pm \Delta R_{\text{pp}} \quad (2)$$

kde

$Z$  – zrážky spadnuté na hodnotenú oblasť

$P_{\text{pov}}$  – prítok vôd povrchovými tokmi do hodnotenej oblasti

$P_{\text{cez}}$  – cezhraničný prítok podzemných vôd (skrytý prítok podzemných vôd)



|                    |  |
|--------------------|--|
| $P_{pr}$           | – dotácia vody do hodnoteného územia (vodovodné zásobovanie, závlahy a i.) |
| $E_r$              | – reálna evapotranspirácia   |
| $O_{pov}$          | – odtok vôd povrchovými tokmi z hodnotenej oblasti                         |
| $O_{pod}$          | – evidovaný odtok podzemných vôd prameňmi na obode hodnotenej oblasti      |
| $O_{cez}$          | – cezhraničný odtok podzemných vôd z hodnotenej oblasti                    |
| $O_{odb}$          | – odber vôd odvádzaný mimo hodnotené územie                                |
| $\pm\Delta R$      | – zmena zásob podzemnej vody v hodnotenej oblasti                          |
| $\pm\Delta R_{pp}$ | – zmena zásob pôdnej vody v hodnotenej oblasti - zmena vlhkosti pôdy       |

V rámci jednotlivých členov vystupujúcich v rovnici (1) sme následne uvažovali s nulovou veľkosťou prítoku vôd povrchovými tokmi do hodnotenej oblasti ( $P_{pov}$ ), cezhraničného prítoku podzemných vôd (skrytého prítoku podzemných vôd  $P_{cez}$ ) a dotáciou vody do hodnoteného územia ( $P_{pr}$ ). V rámci zostavenia hydrologickej bilancie pre skúmané územie sme sa ďalej sústredili na hodnotu celkového cezhraničného odtoku podzemných vôd  $O_{cez}$ , ktorého veľkosť vypočítame podľa rovnice (3) a o ktorom je na začiatku riešenia možné predpokladať jeho nulovú hodnotu ( $O_{cez} = 0$ ). Súčet  $O_{pov} + O_{pod} + O_{odb}$  môžeme ďalej nazvať celkovým evidovaným odtokom  $O_{celk-ev}$  – viď rovnica (4) a rovnicu (3) pre výpočet cezhraničného odtoku podzemných vôd  $O_{cez}$  potom zjednodušiť do rovnice (5).

$$O_{cez} = Z - (E_r + O_{pov} + O_{pod} + O_{odb} \pm \Delta R \pm \Delta R_{pp}) \quad (3)$$

$$O_{celk-ev} = O_{pov} + O_{pod} + O_{odb} \quad (4)$$

$$O_{cez} = Z - (ET + O_{celk-ev} \pm \Delta R \pm \Delta R_{pp}) \quad (5)$$

kde

$O_{celk-ev}$  – celkový evidovaný odtok z hodnotenej oblasti

Hodnoty celkového odtoku z hodnotenej oblasti  $O_{celk-ev}$  sú sumarizované v ôsmom stĺpci tabuľky č. 4. Okrem týchto údajov bolo potrebné pre výpočet cezhraničného odtoku podzemných vôd  $O_{cez}$  podľa rovnice (5) stanoviť najmä veľkosť reálnej evapotranspirácie za bilancované obdobie, ako aj veľkosť zmien zásob podzemnej vody v hodnotenej oblasti a zmien zásob pôdnej vody (vlhkosti pôdy) v hodnotenej oblasti – členov  $\pm\Delta R$  a  $\pm\Delta R_{pp}$  rovnice (5).

## Zrážky (Z)

Zrážkové úhrny pre hydrogeologickú štruktúru Kopy boli vyčíslené z dvoch zrážkomerných staníc – 24020 Kral'ovany (435 m n.m.) a 21460 Ľubochňa (445 m n.m.). Výpočet denných zrážkových úhrnov platných pre plochu hydrogeologickej štruktúry Kopy (15,538 km<sup>2</sup>) s priemernou nadmorskou výškou 746 m n.m., bol realizovaný pomocou prepočtového koeficienta zohľadňujúceho rozdiel priemernej nadmorskej výšky hodnotenej oblasti v porovnaní s nadmorskou výškou zrážkomerných staníc. Na základe predchádzajúcich prác pracovníkov Slovenského hydrometeorologického ústavu, ktorí pre danú oblasť zostavili 500 x 500 m grid hodnôt zrážkových úhrnov, osobitne pre letný a osobitne pre zimný polrok hydrologického roka 2013, bol výškový gradient prekvapivo malý: iba 7,84 mm / 100 m výškového rozdielu pre celoročný zrážkový úhrn. Z tohto dôvodu bol nami zvolený výškový gradient pre zrážky o hodnote +2 mm / 100 m pre mesačné úhrny, resp. +24 mm / 100 m pre ročný úhrn. Výsledné hodnoty takto vypočítaných zrážkových úhrnov sú uvedené v tabuľke č. 1. Nami vypočítané zrážkové úhrny pre plošnú rozlohu hydrogeologickej štruktúry Kopy sa pre obdobie hydrologických rokov 2001 – 2021, ktoré bolo hodnotené iba s cieľom výpočtu chodu hodnôt reálnej evapotranspirácie, pohybujú v rozmedzí od 777 mm do 1321 mm, s priemernou hodnotou 991 mm (tab. č. 1).

Pre bilancované obdobie hydrologických rokov 2019 – 2021, vypočítané hodnoty zrážkových úhrnov  $Z$  spadnutých na bilancovanú oblasť hydrogeologickej štruktúry Kopy v rozmedzí od 847 mm do 1052 mm, s priemernou hodnotou 956 mm.

V absolútnych hodnotách sú objemy zrážok, ktoré za dané obdobie hydrologických rokov 2019 – 2021 spadli na plochy hydrogeologickej štruktúry Kopy v rozmedzí od 13 161 378 m<sup>3</sup> (hydrologický rok 2021) do 16 345 094 m<sup>3</sup> (hydrologický rok 2021), spolu za uvedené obdobie roka potom 44 580 566 m<sup>3</sup> (tabuľka č. 4).

### Reálna evapotranspirácia ( $E_r$ )

Hodnoty reálnej evapotranspirácie v území sú väčšinou najmenej známou veličinou v bilančnej rovnici. Kullman et al. (1997) realizoval pre viacero uzatvorených hydrogeologických štruktúr výpočty reálnej evapotranspirácie rozličnými výpočtovými schémami, pričom ako najrealistickejšia sa ukázala byť metóda Thornthwaita (1948, 1955), kde bola pre obdobie hydrologických rokov 1971 – 1980 dosiahnutá najlepšia zhoda s nameranými výsledkami, s odchýlkou o veľkosti iba 3,1 % (Kullman et al., 1997). Na základe týchto výsledkov, ako aj na základe odporúčaní z ďalších prác (Kullman in Vrana et al., 2000, Kullman in Kullman et al., 2002), sme realizovali výpočet priemernej reálnej evapotranspirácie na podklade hodnôt potenciálnej evapotranspirácie podľa Thornthwaita (1948, 1955), s mesačným krokom hodnotenia, pri porovnávaní vzťahov medzi mesačnými zrážkovými úhrnmi, mesačnými hodnotami potenciálnej evapotranspirácie a potenciálnymi zásobami pôdnej vody (danej pôdnou retenčnou kapacitou v mm; opis okrem vyššie uvedených prác je tiež možné vyhľadať v práci Švasta a Malík, 2006). Veľkosť retenčnej kapacity pôd hydrogeologickej štruktúry Kopy bola podľa interpolovaných údajov z jedenástich bodových vzoriek so stanovením retenčnej kapacity (Šefčík in Malík et al., 2007) určená na 137 mm, čo je o 55 mm viac než pri výpočte orientačnej hydrologickej bilancie za roky 1951 – 1980. Táto hodnota bola stanovená ako vážený priemer, pričom do váhy jednotlivých bodových údajov rozpätia 51 – 476 mm bola veľkosť plochy polygónu s uvedenou hodnotou. Do výpočtu potenciálnej evapotranspirácie  $E_P$  okrem toho vstupujú aj priemerné mesačné teploty vzduchu, ktoré boli rátané z hodnôt získaných na klimatickej stanici 11872 Ružomberok s nadmorskou výškou 482 m n.m. Vzhľadom na polohu tejto stanice bol pomocou gradientu  $-0,50^\circ\text{C}/100\text{ m}$  (v našom prípade odčítanie  $1,32^\circ\text{C}$  od získaného priemeru) priradený celej hydrogeologickej štruktúre Kopy. Okrem teploty vstupujú do výpočtu  $E_P$  podľa Thornthwaita aj veľkosti slnečného osvetlenia oblasti, ktoré odpovedajú  $49,13^\circ$  severnej zemepisnej šírky. Z tabuľky č. 2 vyplýva, že nami vypočítané hodnoty  $E_r$  sa v období hydrologických rokov 2001 – 2021 pohybujú v rozmedzí 522 – 656 mm s priemernou hodnotou 594 mm.

Rozpätie ďalších vstupných hodnôt pre výpočet reálnej evapotranspirácie  $E_r$  uvedenou metódou pre obdobie hydrologických rokov 2001 – 2021 bolo  $7,7^\circ\text{C}$  až  $10,0^\circ\text{C}$  priemernej ročnej teploty vzduchu pre stanicu Ružomberok (stredná hodnota – aritmetický priemer potom  $8,5^\circ\text{C}$ ) a pre vlastnú bilancovanú štruktúru Kopy bol aritmetický priemer  $7,2^\circ\text{C}$  a rozpätie priemernej ročnej teploty vzduchu  $6,3^\circ\text{C}$  až  $8,7^\circ\text{C}$ . Pre vypočítanú veľkosť hodnôt reálnej evapotranspirácie  $E_r$  boli zistené podobné, mierne (v priemere o 24 mm) nižšie hodnoty ako pre hodnoty potenciálnej evapotranspirácie  $E_P$  ( $E_P$ : 578 – 656 mm, s priemernou hodnotou 618 mm;  $E_r$ : 522 – 656 mm, s priemernou hodnotou 594 mm;), čo znamená že vlhkostné nasýtenie pôdy v dôsledku rozloženia zrážok a pôdnych charakteristík poskytuje dostatok vody pre výpar v priebehu celého roka.

Pre bilancované obdobie hydrologických rokov 2019 – 2021 boli vypočítané hodnoty reálnej evapotranspirácie  $E_r$  od 567 mm do 612 mm (priemerne 586 mm). Pre toto obdobie boli tiež vypočítané hodnoty priemernej teploty vzduchu pre bilancovanú oblasť od  $6,6^\circ\text{C}$  do

7,6 °C (priemer teploty vzduchu 7,2 °C). Hodnoty potenciálnej evapotranspirácie  $E_P$  boli pre hydrologické roky 2019 – 2021 od 578 mm do 630 mm s priemerom 607 mm.

Objemy evapotranspirovaných zrážok boli z plochy hydrogeologickej štruktúry Kopy pre dané obdobie hydrologických rokov 2019 až 2021 spolu 27 330 598 m<sup>3</sup> a v rámci jednotlivých rokov sa pohybovali od 8 804 953 m<sup>3</sup> za hydrologický rok 2021 do 9 513 324 m<sup>3</sup> za rok 2020 (tabuľka č. 4).

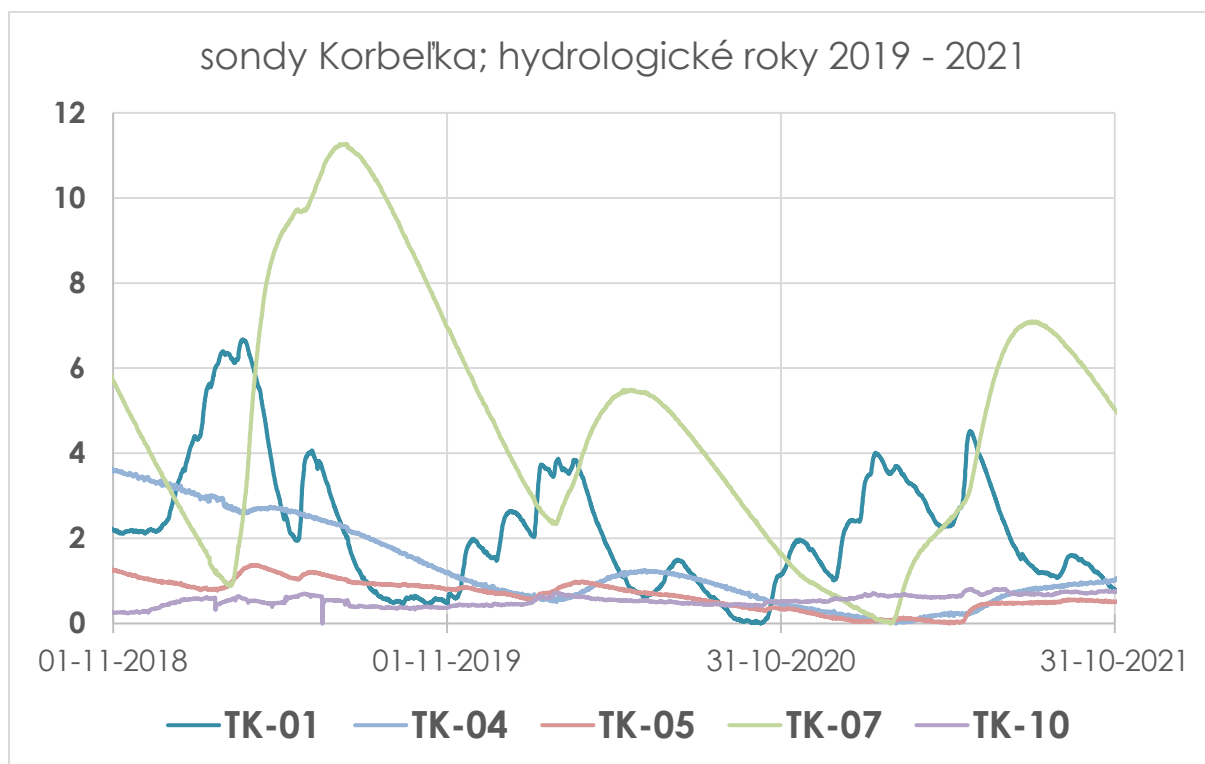
### Zmena zásob pôdnej vody ( $\Delta R_{pp}$ )

Zmena zásob pôdnej vody na rozhraní bilančného obdobia je paralelným produktom výpočtu reálnej evapotranspirácie pri zohľadňovaní vzťahov medzi mesačnými zrážkovými úhrnmi, mesačnými hodnotami potenciálnej evapotranspirácie a retenčnej kapacity pôdy (potenciálnymi zásobami pôdnej vody). Medziročné hodnoty zmien pre obdobie rokov 2019 až 2021 sú uvedené v spodných častiach tabuliek č. 4 a 5. Hodnoty zmien sa môžu pohybovať iba v intervale záporne až kladne vzatej hodnoty veľkosti retenčnej kapacity (137 mm), v našom prípade to bolo od +2,8 mm po -124,7 mm.

Celkovo pre bilancované obdobie možno konštatovať, že medzi 01. 11. 2018 až 30. 10. 2021 bola hodnota zmeny zásob pôdnej vody  $\Delta R_{pp}$  -947 815 m<sup>3</sup> resp. pokles o 61 mm. Medziročne sa zásoba pôdnej vody v období 2019 – 2021 menila nárastom o 69 mm v hydrologickom roku 2019 a o ďalšie 3 mm v nasledujúcom roku, výrazný pokles (-125 mm) nastal v rámci hydrologického roka 2021.

### Zmena zásob podzemných vôd v horninovom prostredí ( $\Delta R$ )

Oproti v minulosti pre hydrologické roky 2014 – 2018 realizovanému hodnoteniu zmeny zásob podzemných vôd v horninovom prostredí ( $\pm \Delta R$ ), ktorá bola vyčísľovaná na základe výtokovej čiary sumárneho odtoku podzemných vôd z hydrogeologickej štruktúry (Malík et al., 2008; Kullman et al., 2002 in Scherer et al., 2004), boli v prípade obdobia hydrologických rokov 2019 – 2021 k dispozícii výsledky meraní hladín podzemnej vody vo vrtoch, na základe ktorých môžeme uvedenú zmenu priamo skúmať. K dispozícii bol priebeh monitorovania úrovni hladín podzemných vôd vo vrtoch TK-01, TK-04, TK-05, TK-07, TK-10, TKB-2, TKB-4, TKB-6, TKB-7, TKB-10 a HGK-1) realizovaný pracovníkmi DPP Žilina. Pri podrobnom spracovaní podkladov bolo zistené, že dĺžka monitorovaného obdobia v prípade vrtov TKB-2, TKB-4, TKB-6, TKB-7, TKB-10 a HGK-1 nepokrýva kompletne celé bilancované obdobie hydrologických rokov 2019 – 2021 a z tohto dôvodu boli vo výpočte využité len pozorovania úrovni hladín podzemnej vody vo vrtoch TK-01, TK-04, TK-05, TK-07 a TK-10 (Obr. 2). V prípade jednotlivých vrtov je vidno rôzny stupeň rozkvyu hladín i sezónnosti, ich celkovú hladinovú reakciu však možno považovať za vhodný podklad pre určenie zmien zásob podzemnej vody v celej hydrogeologickej štruktúre Kopy. Pre jednotlivé vrty boli v uvedenom období zaznamenané amplitúdy rozkvyu hladín 6,36 m (TK-01), 3,53 m (TK-04), 1,32 m (TK-05), 11,13 m (TK-07), a 0,55 m (TK-10). V hydrologickom roku 2019 boli medziročné zmeny hladín v jednotlivých vrtoch -1,72 m / -2,41 m / -0,45 m / +1,25 m / +0,11 m, s priemernou hodnotou -0,64 m. V hydrologickom roku 2020 to bolo v jednotlivých vrtoch +0,68 m / -0,73 m / -0,47 m / -5,33 m / +0,15 m s priemernou hodnotou -1,14 m. Medziročné zmeny v hydrologickom roku 2021 boli v jednotlivých vrtoch -0,38 m / +0,60 m / +0,18 m / +3,39 m / +0,24 m, s priemernou hodnotou +0,80 m. Celkový hladinový rozdiel medzi začiatkom a koncom bilancovaného obdobia (2019 – 2021) bol pre jednotlivé vrty -1,42 m / -2,54 m / -0,74 m / -0,70 m / +0,5 m, s priemernou hodnotou -0,98 m.



Obr. 2: Relatívny priebeh hladín podzemných vôd (rozdiely  $\Delta H_{REL}$  od celkového individuálneho minima) v hydrogeologických vrtoch TK-01, TK-04, TK-05, TK-07 a TK-10 v bilancovanej hydrogeologickej štruktúre Kopy a nad úrovňou svojho celkového minima v období hydrologických rokov 2019 – 2021.

Celkovú zmenu zásob podzemnej vody určujeme porovnaním úrovni hladín podzemných vôd na začiatku a konci bilancovaného obdobia, v prípade medziročných alebo medzimesačných zmien (tabuľky č. 4 a 5) porovnaním úrovni hladín medzi začiatkom a koncom jednotlivých hydrologických rokov, resp. mesiacov. Pre stanovenie bilančného množstva vody v mm je však potrebný prepočet hladinových rozdielov vo vrtoch pomocou hodnoty koeficienta voľnej zásobnosti  $S$ , nakoľko podzemná voda vyplňa len prázdny priestor v hornine určený týmto koeficientom. V rámci detailnej štúdie neďaleko sa nachádzajúcej hydrogeologickej štruktúry Kopy boli pre triasové karbonáty hronika zistené pomerne vysoké hodnoty  $S$  od 7,6 % do 23,4 % s veľkosťou ich strednej hodnoty okolo 16,1 % (Malík et al., 2021). Nakoľko sa v našom prípade jedná o analogické horniny, bola v prípade hydrogeologickej štruktúry Kopy aplikovaná hodnota koeficienta zásobnosti  $S$  o veľkosti 16 %, čo v praxi znamená že zvýšenie hladiny podzemnej vody o 1 m (1000 mm) v horninovom prostredí zodpovedá zvýšeniu hladiny vodného stĺpca o 160 mm. Pre prepočet objemovej zmeny zásob podzemnej vody v  $m^3$  bol použitý plošný rozsah tejto hydrogeologickej štruktúry o veľkosti 15,5379  $km^2$ .

Údaje o celkovej zmene zásob podzemnej vody, o jej medziročných a medzimesačných zmenách sú uvedené v tabuľkách č. 4 a 5. Z týchto tabuliek vyplýva, že uvedené zmeny boli pomerne veľké, celkovo bola medzi 01. 11. 2018 až 30. 10. 2021 zaznamenaná zmena zásob podzemnej vody  $\Delta R$  -26 493  $m^3$  resp. pokles o 12,4 mm. Medziročne boli však tieto zmeny oveľa výraznejšie – za hydrologický rok 2019 pokles o 1 602 517  $m^3$  (-103 mm), za hydrologický rok 2020 ďalší medziročný pokles o 2 835 406  $m^3$  (-182 mm) a za ďalší hydrologický rok 2021 bol napokon zaznamenaný medziročný vzostup zásob podzemnej vody



o 1 999 044 m<sup>3</sup> (+129 mm), čo napokon pri sčítaní dáva z hľadiska zásob podzemných vôd poklesovú bilanciu o 2 438 879 m<sup>3</sup> (-157 mm vodného stĺpca).

### Odtok podzemných vôd v pozorovaných zachytených prameňoch ( $O_{odb}$ )

Odtok podzemných vôd v pozorovaných zachytených prameňoch bol evidovaný správcami jednotlivých vodárenských zdrojov – prameňov Teplica/Teplička 1 a 2 (Krpel'any), Pod Kopou 1 až 4 (Kraľovany), Fatra a Korbeľka (Ľubochňa) ako aj prameňa Rojkov v Rojkove. Priemerná výdatnosť za bilancované obdobie hydrologických rokov 2019 – 2021 bola pre prameň Teplica/Teplička 18,66 l·s<sup>-1</sup>, pre prameň Fatra 6,79 l·s<sup>-1</sup>, pre prameň Korbeľka 0,42 l·s<sup>-1</sup>, pre vodárenský zdroj Rojkov 4,25 l·s<sup>-1</sup> a pre prameň Pod Kopou (1 až 4) 9,97 l·s<sup>-1</sup>.

Sumárny odtok za bilancované obdobie bol potom pre prameň Teplica/Teplička 1 766 795 m<sup>3</sup>, pre prameň Fatra 643 077 m<sup>3</sup>, pre vodárenský zdroj Rojkov 402 176 m<sup>3</sup>, pre štyri prameň Pod Kopou 944 329 m<sup>3</sup> a pre prameň Korbeľka 39 993 m<sup>3</sup>. Spolu za uvedené obdobie vo forme odtoku podzemných vôd v pozorovaných zachytených prameňoch  $O_{odb}$  odtieklo z hydrogeologickej štruktúry Kopy 3 985 488 m<sup>3</sup> podzemnej vody (priemerne 40,09 l·s<sup>-1</sup>; tabuľka č. 4).

### Odtok podzemných vôd v dokumentovaných menších prameňoch ( $O_{pod}$ )

Odtok podzemných vôd z menších prameňov bol sledovaný pracovníkmi DPP Žilina v prípade troch prameňov – Travertínové jazero, pod Teplicou a výtok z horizontálneho vrtu H-1. Priemerná celková výdatnosť pre uvedené malé prameňe spolu mala veľkosť 2,24 l·s<sup>-1</sup> (212 167 m<sup>3</sup> za celé obdobie).

### Odtok vôd povrchovými tokmi z bilancovaného územia ( $O_{pov}$ )

Odtok vôd povrchovými tokmi odtekajúcimi z územia bol taktiež v priebehu bilančne hodnoteného obdobia sledovaný pracovníkmi DPP Žilina, s.r.o., v niekoľkých mesačných intervaloch a výsledky meraní boli pre potreby bilančného výpočtu interpolované. Sledované boli malé vodné toky na ôsmich lokalitách: Biely potok a jeho pravostranný prítok (VT-1-PS na obr. č. 1), vodný tok nad Ľubochňou pri prameni Fatra (VT-2-OD tamže), vodný tok Ľubochňa – prameň (VT-3-L-PR), vodný tok pri prameni Korbeľka (VT-4-KORB-OD), vodný tok pri travertínovom jazere (VT-7-OD), vodný tok pri vodárenských zdrojoch Pod Kopou (VT-9-POD KOPOU-OD), vodný tok pod VZ Teplica (VT-13 + VT-13-PR) a potok vľavo od tunela (VT-14-OD). Ich priemerné prietoky za bilancované obdobie hydrologických rokov 2019 – 2021 mali sumárnu veľkosť 36,09 l·s<sup>-1</sup> (3 195 932 m<sup>3</sup> za celé obdobie). Prehľadnejšie sú údaje o výdatnostiach nedokumentovaných menších prameňov a menších povrchových tokov v objemovej forme, resp. prepočítané na milimetre vodného stĺpca uvádzané v tabuľkách č. 4 a 5.

## VYHODNOTENIE HYDROLOGICKEJ BILANCIE

Výsledky hydrologickej bilancie hydrogeologickej štruktúry Kopy pre obdobie hydrologických rokov 2019 – 2021 (medzi 01. 11. 2018 a 30. 10. 2021) sú dokumentované v tabuľkách č. 4 a 5. V tabuľke č. 4 sú hodnotené celkové objemy vôd obiehajúce v uvedenom období v rámci tejto uzavretej hydrogeologickej štruktúry s plochou 15,538 km<sup>2</sup> vyjadrené v objemových jednotkách, v tabuľke č. 5 sú tieto hodnoty prepočítané na výšku vodného stĺpca v mm. Ako je vidno z uvádzaných hodnôt, väčšina zrážkových úhrnov (cca 61 %) je v uvedenom období odparená. Pri celkovom priemernom množstve výparu  $E_r$  586 mm sa z priemerného zrážkového úhrnu  $Z$  956 mm na tvorbe odtoku podieľalo 158 mm, z čoho však cca 52 mm (asi tretinu odtoku) tvorila zmena zásob podzemnej vody ( $\pm \Delta R$  priemerne o -52 mm). V rámci jednotlivých hydrologických rokov sa celkový evidovaný odtok z hydrogeologickej štruktúry Kopy pohyboval od 144 do 169 mm (2 235 498 m<sup>3</sup> až 2 629 033 m<sup>3</sup>; 71 až 83 l·s<sup>-1</sup>). Pri hodnotení tohto odtoku nachádzame len menej ako polovicu

odtokových množstiev, ktoré sa dajú predpokladať z veľkosti efektívnych zrážok vypočítaných za bilancované obdobie hydrologických rokov 2019 – 2021 na plochu hydrogeologickej štruktúry Kopy od  $11,3$  do  $12,5 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ , priemerne  $11,88 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$  ktoré by sa mali prejavíť v odtoku priemerne  $184 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ , resp. v jeho veľkosti medzi cca  $176$  až  $194 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ . Evidované odtoky akoby zachytávali priemerne len 42 % potenciálne odtekajúci vôd. Uvedená chyba bilancie tým zároveň predstavuje zhruba 29,8 % zrážkových úhrnov. Túto chybu musíme hľadať predovšetkým v nedostatočnej evidencii všetkých odtokov z uvedeného územia, ktoré by boli vykonávané počas celého obdobia, najmä pri evidencii výdatností vodárensky využívaných prameňov (merania 1 x mesačne, evidovanie len vodárensky využitej zložky výdatnosti). Pre porovnanie s predchádzajúcim bilancovaným obdobím hydrologických rokov 2014 – 2018, kde bola dokumentovaná priemerná hodnota zo štruktúry evidovaného odtoku  $126$  až  $142 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ , priemerne  $135 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ , bol priemerný evidovaný odtok za obdobie 2019 – 2021 ( $78,4 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $71$  –  $83 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ ) len polovičný. Spresnenie meraní odtoku v prípade vodárensky využívaných zdrojov však vyžaduje spoluprácu a ochotu zo strany užívateľov vodárenských zdrojov, a umožnenie inštalácie snímačov a zariadení pre dostatočne podrobné sledovanie v čase, vo viacerých prípadoch aj technické zásahy do pramenných záchyto. V prípade menších prameňov, a vodných tokov zas inštaláciu zhruba desiatky vodomerných zariadení a ich vystrojenie náležitou meracou technikou. Toto všetko predstavuje technicky zložitú úlohu, ktorá pri periodicite prieskumných prác s akou sa vyskytujú v hodnotenom území je navyše aj administratívne a finančne ťažko sklíbiteľná s realitou.

Môžeme však naďalej konštatovať, že cezhraničný odtok z bilancovanej hydrogeologickej štruktúry je zanedbateľný (Švasta, Malík, 2008; Kuvik et al., 2014, Malík et al., 2021), a že celkový priemerný odtok zo štruktúry sa pri zohľadnení veľkostí efektívnych zrážok pre obdobie hydrologických rokov 2001 – 2021 v oblasti kóty Kopa (tabuľka č. 3), môže pohybovať medzi hodnotami  $128 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$  pri minimálnych stavoch a  $336 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$  pri maximálnych stavoch, s priemernou hodnotou  $196 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Tab. č. 1: Ročné úhrny zrážok a priemerné ročné teploty vzduchu pre obdobie hydrologických rokov 2001 – 2021 v oblasti kóty Kopa.

| rok                | zrážky<br>21460<br>Lubochňa<br>[mm] | zrážky<br>24020<br>Kraľovany<br>[mm] | zrážky<br>Z<br>priemer<br>[mm] | zrážky<br>Z<br>upravené<br>na nadmorskú výšku 736 m<br>[mm] | $t_{vzd}$<br>teplota vzduchu<br>11872 Ružomberok<br>[°C] | $t_{vzdUPRAV}$<br>teplota vzduchu upravená<br>na nadmorskú výšku 736 m<br>[°C] |
|--------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|---|--|--|
| 2001               | 1009                                | 1103                                 | 1056                           | 1080  | 9,0  | 7,6  |
| 2002               | 989                                 | 1230                                 | 1109                           | 1133  | 8,0  | 6,6  |
| 2003               | 699                                 | 806                                  | 753                            | 777   | 8,1  | 6,8  |
| 2004               | 825                                 | 938                                  | 882                            | 906   | 8,4  | 7,1  |
| 2005               | 1025                                | 1067                                 | 1046                           | 1070  | 8,0  | 6,7  |
| 2006               | 814                                 | 926                                  | 870                            | 894   | 7,7  | 6,3  |
| 2007               | 1119                                | 1250                                 | 1185                           | 1209  | 10,0   | 8,7  |
| 2008               | 894                                 | 1024                                 | 959                            | 983   | 8,9  | 7,5  |
| 2009               | 832                                 | 1020                                 | 926                            | 950   | 8,6  | 7,3  |
| 2010               | 1205                                | 1389                                 | 1297                           | 1321  | 7,8  | 6,5  |
| 2011               | 829                                 | 934                                  | 882                            | 906   | 8,8  | 7,5  |
| 2012               | 836                                 | 876                                  | 856                            | 880   | 8,4  | 7,1  |
| 2013               | 796                                 | 906                                  | 851                            | 875   | 7,8  | 6,5  |
| 2014               | 1128                                | 1098                                 | 1113                           | 1137  | 8,9  | 7,6  |
| 2015               | 697                                 | 823                                  | 760                            | 784   | 8,7  | 7,4  |
| 2016               | 973                                 | 1157                                 | 1065                           | 1089  | 8,8  | 7,5  |
| 2017               | 1022                                | 1174                                 | 1098                           | 1122  | 7,8  | 6,5  |
| 2018               | 808                                 | 796                                  | 802                            | 826   | 9,1  | 7,8  |
| 2019               | 970                                 | 922                                  | 946                            | 970   | 8,8  | 7,5  |
| 2020               | 1036                                | 1020                                 | 1028                           | 1052  | 9,0  | 7,6  |
| 2021               | 818                                 | 828                                  | 823                            | 847   | 7,9  | 6,6  |
| <b>2001 - 2021</b> | <b>920</b>                          | <b>1014</b>                          | <b>967</b>                     | <b>991</b>  | <b>8,5</b>   | <b>7,2</b>   |

Tab. č. 2: Ročné a mesačné hodnoty reálnej evapotranspirácie  $E_r$  pre obdobie hydrologických rokov 2001 – 2021 v oblasti kóty Kopa.

| rok /<br>mesiac | 1    | 2    | 3    | 4    | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10   | 11   | 12   | kalendárny<br>rok | hydrologický<br>rok |
|-----------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|-------------------|---------------------|
| 2001            |      |      | 12,7 | 37,0 | 87,9  | 99,2  | 127,1 | 122,0 | 58,0  | 46,0 | 0,3  |      | 590,1             | 618,3               |
| 2002            |      | 6,7  | 17,8 | 42,2 | 102,3 | 116,4 | 130,9 | 110,5 | 58,1  | 26,2 | 16,8 |      | 627,9             | 611,4               |
| 2003            |      |      | 7,2  | 33,2 | 104,4 | 127,9 | 128,4 | 71,1  | 44,9  | 21,2 | 15,7 |      | 553,9             | 555,0               |
| 2004            |      |      | 7,5  | 51,3 | 77,8  | 109,6 | 121,0 | 116,8 | 65,8  | 44,8 | 8,1  |      | 602,7             | 610,3               |
| 2005            |      |      |      | 48,1 | 94,4  | 112,1 | 133,0 | 105,0 | 73,5  | 37,4 | 2,9  |      | 606,4             | 611,6               |
| 2006            |      |      |      | 47,4 | 83,5  | 113,7 | 129,6 | 100,0 | 66,7  | 42,9 | 14,8 | 1,5  | 600,0             | 586,7               |
| 2007            | 5,1  | 3,4  | 23,3 | 55,2 | 99,6  | 122,0 | 132,9 | 113,7 | 55,2  | 29,0 | 1,3  |      | 640,7             | 655,6               |
| 2008            |      | 1,6  | 12,4 | 50,0 | 92,5  | 121,7 | 125,0 | 110,3 | 63,6  | 41,0 | 15,0 |      | 633,0             | 619,2               |
| 2009            |      |      | 4,7  | 64,1 | 87,7  | 101,8 | 136,6 | 101,6 | 34,2  | 24,5 | 11,8 |      | 566,9             | 570,2               |
| 2010            |      |      | 7,1  | 42,1 | 84,5  | 118,2 | 139,0 | 109,2 | 61,0  | 22,8 | 18,2 |      | 602,1             | 595,7               |
| 2011            |      |      | 18,5 | 55,4 | 87,3  | 113,3 | 115,9 | 120,5 | 80,6  | 30,9 | 1,3  |      | 623,7             | 640,5               |
| 2012            |      |      | 14,7 | 49,5 | 98,2  | 122,7 | 129,1 | 56,6  | 55,6  | 33,5 | 17,8 |      | 577,6             | 561,1               |
| 2013            |      |      |      | 45,3 | 82,5  | 115,0 | 102,5 | 76,0  | 57,0  | 42,1 | 11,4 |      | 531,8             | 538,2               |
| 2014            |      | 6,8  | 25,1 | 48,7 | 80,1  | 100,9 | 123,3 | 98,5  | 73,3  | 42,2 | 18,0 |      | 616,8             | 610,2               |
| 2015            |      |      | 9,7  | 33,4 | 75,1  | 110,8 | 132,2 | 36,7  | 73,6  | 32,7 | 11,6 | 2,5  | 518,2             | 522,1               |
| 2016            |      | 6,8  | 15,7 | 47,2 | 82,3  | 121,7 | 126,4 | 100,4 | 76,1  | 28,9 | 8,7  |      | 614,2             | 619,6               |
| 2017            |      |      | 22,4 | 34,3 | 88,4  | 120,7 | 120,0 | 114,8 | 64,1  | 35,4 | 5,8  |      | 605,8             | 608,7               |
| 2018            |      |      |      | 66,1 | 98,1  | 117,2 | 97,7  | 83,0  | 68,9  | 39,3 | 72,7 |      | 643,1             | 576,2               |
| 2019            |      |      | 19,3 | 46,3 | 66,1  | 143,0 | 91,5  | 98,7  | 65,8  | 37,5 | 21,9 |      | 590,2             | 580,0               |
| 2020            |      | 5,4  | 10,2 | 40,4 | 65,9  | 115,5 | 123,9 | 121,6 | 70,5  | 37,0 | 6,9  | 0,1  | 597,4             | 612,3               |
| 2021            |      |      | 3,9  | 24,9 | 69,1  | 129,6 | 130,9 | 102,2 | 69,3  | 29,7 | 87,6 |      | 647,3             | 566,7               |
| 2001 -<br>2021  | 0,2  | 1,5  | 11,1 | 45,8 | 86,1  | 116,8 | 123,7 | 98,5  | 63,6  | 34,5 | 14,7 | 0,2  | 596,6             | 593,8               |
| PODIEL          | 0,0% | 0,2% | 1,9% | 7,7% | 14,4% | 19,6% | 20,7% | 16,5% | 10,7% | 5,8% | 2,5% | 0,0% | 100,0%            |                     |



Tab. č. 3: Ročné a mesačné hodnoty efektívnych zrážok (**EZ**) pre obdobie hydrologických rokov 2001 – 2021 v oblasti kóty Kopa.

| rok / mesiac       | 1            | 2            | 3            | 4           | 5           | 6           | 7           | 8           | 9           | 10          | 11          | 12           | <b>EZ</b><br>kalendárny<br>rok<br>[mm] | <b>EZ</b><br>hydrologický<br>rok<br>[mm] | <b>EZ</b><br>kalendárny<br>rok<br>[l.s <sup>-1</sup> .km <sup>-2</sup> ] | <b>EZ</b><br>hydrologický<br>rok<br>[l.s <sup>-1</sup> .km <sup>-2</sup> ] |
|--------------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--|--|--|--|
| 2001               | 48,9         | 69,5         | 66,4         | 32,2        |             |             | 84,7        |             | 37,1        |             | 85,4        | 78,8         | 503                                    | <b>344</b>                               | 15,95  | <b>10,91</b>   |
| 2002               | 84,1         | 138,0        | 44,0         |             |             |             |             |             |             | 74,6        | 39,4        | 70,6         | 451                                    | <b>505</b>                               | 14,29  | <b>16,01</b>   |
| 2003               | 131,1        | 10,4         | 12,9         | 15,5        | 13,2        |             |             |             |             |             |             | 10,0         | 193                                    | <b>293</b>                               | 6,12   | <b>9,29</b>  |
| 2004               | 92,3         | 103,9        | 47,4         |             |             | 23,8        |             |             |             |             | 63,2        | 30,1         | 361                                    | <b>277</b>                               | 11,43  | <b>8,79</b>  |
| 2005               | 142,4        | 90,3         | 40,2         | 29,2        | 11,5        |             | 8,6         | 28,9        |             |             | 3,9         | 162,9        | 518                                    | <b>444</b>                               | 16,42  | <b>14,09</b>   |
| 2006               | 28,3         | 54,0         | 87,9         | 32,9        | 26,2        |             |             |             |             |             | 8,5         | 22,1         | 260                                    | <b>396</b>                               | 8,23   | <b>12,55</b>   |
| 2007               | 250,0        | 83,6         | 59,5         |             |             |             |             |             |             | 1,3         | 128,9       | 37,7         | 561                                    | <b>425</b>                               | 17,79  | <b>13,47</b>   |
| 2008               | 94,1         | 47,6         | 122,1        |             |             |             |             |             |             |             | 14,6        | 81,6         | 360                                    | <b>430</b>                               | 11,42  | <b>13,65</b>   |
| 2009               | 41,8         | 58,1         | 161,3        |             |             |             |             |             |             |             | 19,5        | 88,5         | 369                                    | <b>357</b>                               | 11,71  | <b>11,33</b>   |
| 2010               | 41,6         | 39,1         | 28,6         | 20,2        | 150,7       | 32,0        | 79,5        | 94,2        | 85,6        | 1,8         | 79,8        | 80,1         | 733                                    | <b>681</b>                               | 23,25  | <b>21,60</b>   |
| 2011               | 40,7         | 23,1         | 7,0          |             |             | 48,4        | 81,9        |             |             |             |             |              | 201                                    | <b>361</b>                               | 6,37   | <b>11,44</b>   |
| 2012               | 174,7        | 63,0         | 23,0         |             |             |             |             |             |             |             | 21,5        | 45,4         | 328                                    | <b>261</b>                               | 10,39  | <b>8,27</b>  |
| 2013               | 120,8        | 84,2         | 52,8         |             | 46,5        |             |             |             |             |             | 2,6         | 38,1         | 345                                    | <b>371</b>                               | 10,94  | <b>11,77</b>   |
| 2014               | 37,5         | 39,1         | 74,4         | 21,9        | 84,7        |             | 61,0        | 48,5        | 17,0        | 29,5        | 15,1        | 63,4         | 492                                    | <b>454</b>                               | 15,60  | <b>14,41</b>   |
| 2015               | 87,6         | 29,7         | 60,8         | 8,4         | 74,2        |             |             |             |             |             | 77,0        | 27,5         | 365                                    | <b>339</b>                               | 11,58  | <b>10,75</b>   |
| 2016               | 64,8         | 136,5        | 11,9         | 9,9         | 15,6        |             |             |             |             | 49,2        | 85,4        | 77,3         | 451                                    | <b>392</b>                               | 14,29  | <b>12,44</b>   |
| 2017               | 41,7         | 47,5         | 31,5         | 112,8       |             |             |             |             | 7,0         | 110,2       | 103,2       | 65,2         | 519                                    | <b>513</b>                               | 16,46  | <b>16,28</b>   |
| 2018               | 76,4         | 31,4         | 52,9         |             |             |             |             |             |             |             |             |              | 215                                    | 329                                      | 6,82   | <b>10,44</b>   |
| 2019               | 142,5        | 38,8         | 75,5         |             | 83,4        |             |             |             |             |             |             | 52,3         | 392                                    | 394                                      | 12,44  | <b>12,51</b>   |
| 2020               | 31,3         | 143,7        | 31,8         |             |             | 0,4         |             |             |             | 96,8        | 15,5        | 62,7         | 382                                    | 356                                      | 12,12  | <b>11,30</b>   |
| 2021               | 96,0         | 55,1         | 22,0         | 34,6        | 87,3        |             |             |             |             |             |             |              | 295                                    | 373                                      | 9,35   | <b>11,83</b>   |
| <b>2001 - 2021</b> | <b>89,0</b>  | <b>66,0</b>  | <b>53,1</b>  | <b>15,1</b> | <b>28,3</b> | <b>5,0</b>  | <b>15,0</b> | <b>8,2</b>  | <b>7,0</b>  | <b>17,3</b> | <b>36,3</b> | <b>54,7</b>  | <b>395</b>                             | <b>395</b>                               | <b>12,52</b>   | <b>12,53</b>   |
| <b>PODIEL</b>      | <b>22,5%</b> | <b>16,7%</b> | <b>13,4%</b> | <b>3,8%</b> | <b>7,2%</b> | <b>1,3%</b> | <b>3,8%</b> | <b>2,1%</b> | <b>1,8%</b> | <b>4,4%</b> | <b>9,2%</b> | <b>13,8%</b> |  |  |  |  |

Tab. č. 4: Výsledky hydrologickej bilancie hydrogeologickej štruktúry Kopy pre obdobie hydrologických rokov 2019 – 2021 (objemové údaje).

| mesiac / rok | $t_{\text{vzduchu}}$<br>teplota<br>vzduchu<br>[°C] | Z<br>zrážky<br>[m³] | $E_r$<br>reálna<br>evapotranspirácia<br>[m³] | $O_{\text{odb}}$<br>odtok v<br>pozorovaných<br>zachytených<br>prameňoch<br>[m³] | $O_{\text{pod}}$<br>odtok v<br>dokumentovaných<br>menších prameňoch<br>[m³] | $O_{\text{pov}}$<br>odtok<br>povrchovými<br>tokmi<br>[m³] | $O_{\text{celk-ov}}$<br>celkový<br>evidovaný<br>odtok z<br>hodnotenej<br>oblasti<br>[m³] | $\pm \Delta R$<br>zmena zásob<br>podzemnej<br>vody<br>[m³] | $\pm \Delta R_{pp}$<br>zmena<br>zásob<br>pôdnej<br>vody<br>[m³] | Z –<br>( $E_r + O_{\text{pov}} + O_{\text{pod}}$<br>+ $O_{\text{odb}} \pm \Delta R$<br>$\pm \Delta R_{pp}$ )<br>[m³] |
|--------------|--|---------------------|--|---|---|---|--|--|---|--|
| XI/2018      | 3,1  | 230 738             | 181 795                                      | 134 518   | 4 619   | 51 482  | 190 619  | -792 557   | 48 943  | 601 938  |
| XII/2018     | -1,9   | 2 024 588           | 0  | 142 320   | 4 773   | 53 198  | 200 291  | -560 011   | 1 180 878   | 1 203 430  |
| I/2019       | -6,1   | 2 213 374           | 0  | 144 494   | 4 773   | 53 198  | 202 466  | 233 193  | 0   | 1 777 715  |
| II/2019      | -0,5   | 602 094             | 0  | 130 142   | 4 311   | 48 050  | 182 504  | 463 750  | 0   | -44 160  |
| III/2019     | 3,8  | 1 472 993           | 300 557                                      | 140 675   | 4 773   | 53 198  | 198 646  | 1 900 596  | 0   | -926 806   |
| IV/2019      | 7,8  | 358 149             | 719 734                                      | 133 805   | 4 619   | 51 482  | 189 907  | 439 735  | -361 586  | -629 642   |
| V/2019       | 9,6  | 2 684 949           | 1 027 318                                    | 126 735   | 4 773   | 53 198  | 184 706  | 841 930  | 361 586   | 269 409  |
| VI/2019      | 19,6   | 400 878             | 2 221 936                                    | 121 072   | 4 619   | 51 482  | 177 174  | -101 581   | -1 821 059  | -75 593  |
| VII/2019     | 16,9   | 1 114 844           | 1 422 478                                    | 116 572   | 4 773   | 53 198  | 174 543  | -1 265 954   | -307 634  | 1 091 411  |
| VIII/2019    | 17,5   | 1 533 591           | 1 533 591                                    | 103 567   | 4 773   | 53 198  | 161 538  | -990 547   | 0   | 829 009  |
| IX/2019      | 11,8   | 1 505 623           | 1 022 158                                    | 100 433   | 4 619   | 51 482  | 156 534  | -821 495   | 483 464   | 664 961  |
| X/2019       | 7,8  | 932 274             | 582 753                                      | 102 952   | 4 773   | 53 198  | 160 923  | -949 577   | 349 521   | 788 654  |
| XI/2019      | 5,4  | 1 594 965           | 339 833                                      | 92 161  | 4 652   | 56 506  | 153 319  | -38 783  | 1 255 133   | -114 536   |
| XII/2019     | -0,3   | 853 808             | 0  | 99 297  | 5 015   | 78 424  | 182 736  | -601 826   | 40 574  | 1 232 324  |
| I/2020       | -2,8   | 486 336             | 0  | 101 872   | 5 250   | 99 946  | 207 068  | -854 609   | 0   | 1 133 878  |
| II/2020      | 1,3  | 2 317 478           | 83 909                                       | 101 698   | 4 944   | 108 773   | 215 414  | 814 932  | 0   | 1 203 223  |
| III/2020     | 1,9  | 652 592             | 158 997                                      | 140 238   | 5 569   | 131 739   | 277 545  | 642 846  | 0   | -426 797   |
| IV/2020      | 6,6  | 190 339             | 628 096                                      | 125 474   | 5 279   | 123 916   | 254 669  | -194 659   | -437 757  | -60 010  |
| V/2020       | 9,2  | 1 439 586           | 1 024 030                                    | 122 352   | 5 337   | 124 055   | 251 743  | -380 716   | 415 557   | 128 972  |
| VI/2020      | 15,8   | 1 822 596           | 1 794 712                                    | 114 670   | 5 025   | 118 878   | 238 573  | 47 235   | 22 201  | -280 125   |
| VII/2020     | 16,8   | 1 291 976           | 1 924 651                                    | 97 133  | 5 000   | 128 566   | 230 698  | -690 728   | -632 674  | 460 030  |
| VIII/2020    | 18,0   | 1 297 415           | 1 888 984                                    | 81 314  | 5 054   | 127 031   | 213 400  | -896 922   | -591 570  | 683 522  |
| IX/2020      | 12,4   | 1 330 821           | 1 094 804                                    | 73 460  | 4 981   | 120 332   | 198 773  | -755 415   | 236 017   | 556 643  |
| X/2020       | 7,4  | 3 067 181           | 575 309                                      | 78 203  | 5 240   | 121 654   | 205 097  | 73 239   | 988 227   | 1 225 310  |

| mesiac / rok       | $t_{\text{vzduchu}}$<br>teplota<br>vzduchu<br>[°C] | Z<br>zrážky<br>[m³] | $E_r$<br>reálna<br>evapotranspirácia<br>[m³] | $O_{\text{odb}}$<br>odtok v<br>pozorovaných<br>zachytených<br>prameňoch<br>[m³] | $O_{\text{pod}}$<br>odtok v<br>dokumentovaných<br>menších prameňoch<br>[m³] | $O_{\text{pov}}$<br>odtok<br>povrchovými<br>tokmi<br>[m³] | $O_{\text{celk-ev}}$<br>celkový<br>evidovaný<br>odtok z<br>hodnotenej<br>oblasti<br>[m³] | $\pm \Delta R$<br>zmena zásob<br>podzemnej<br>vody<br>[m³] | $\pm \Delta R_{pp}$<br>zmena<br>zásob<br>pôdnej<br>vody<br>[m³] | Z –<br>( $E_r + O_{\text{pov}} + O_{\text{pod}}$<br>+ $O_{\text{odb}} \pm \Delta R$<br>$\pm \Delta R_{pp}$ )<br>[m³] |
|--------------------|--|---------------------|--|---|---|---|--|--|---|--|
| XI/2020            | 1,6  | 347 272             | 106 749                                      | 97 406  | 5 160   | 115 129   | 217 695  | -117 889   | 0   | 140 717  |
| XII/2020           | 0,0  | 976 557             | 1 756  | 105 795   | 5 425   | 116 278   | 227 498  | -544 697   | 0   | 1 291 999  |
| I/2021             | -3,1   | 1 490 862           | 0  | 96 889  | 5 519   | 113 546   | 215 954  | 857 692  | 0   | 417 216  |
| II/2021            | -2,3   | 856 138             | 0  | 118 165   | 5 248   | 103 746   | 227 160  | -54 495  | 0   | 683 473  |
| III/2021           | 0,6  | 402 432             | 60 043                                       | 143 399   | 5 701   | 108 257   | 257 357  | 607 793  | 0   | -522 761   |
| IV/2021            | 3,8  | 924 505             | 387 290                                      | 121 803   | 5 607   | 102 164   | 229 573  | -3 580   | 0   | 311 222  |
| V/2021             | 9,4  | 2 430 128           | 1 074 385                                    | 114 710   | 5 886   | 102 881   | 223 477  | 1 938 732  | 0   | -806 467   |
| VI/2021            | 17,6   | 379 902             | 2 013 339                                    | 106 677   | 5 786   | 96 961  | 209 423  | 620 571  | -1 633 437  | -829 995   |
| VII/2021           | 19,1   | 1 539 029           | 2 034 284                                    | 105 966   | 6 071   | 97 504  | 209 541  | -161 743   | -495 255  | -47 798  |
| VIII/2021          | 14,9   | 2 937 440           | 1 588 646                                    | 79 919  | 6 165   | 94 772  | 180 857  | -230 210   | 1 348 794   | 49 353   |
| IX/2021            | 11,9   | 661 138             | 1 076 644                                    | 79 252  | 6 056   | 89 113  | 174 422  | -216 835   | -415 506  | 42 413   |
| X/2021             | 5,7  | 215 977             | 461 817                                      | 90 351  | 6 350   | 89 396  | 186 097  | -696 297   | -245 840  | 510 200  |
| <b>2019</b>        | <b>7,5</b>   | <b>15 074 094</b>   | <b>9 012 321</b>                             | <b>1 227 870</b>  | <b>61 345</b>   | <b>1 339 818</b>  | <b>2 629 033</b>   | <b>-1 602 517</b>  | <b>1 076 597</b>  | <b>3 958 660</b>   |
| <b>2020</b>        | <b>7,6</b>   | <b>16 345 094</b>   | <b>9 513 324</b>                             | <b>1 260 333</b>  | <b>68 974</b>   | <b>1 229 746</b>  | <b>2 559 053</b>   | <b>-2 835 406</b>  | <b>42 870</b>   | <b>7 065 252</b>   |
| <b>2021</b>        | <b>6,6</b>   | <b>13 161 378</b>   | <b>8 804 953</b>                             | <b>1 306 567</b>  | <b>81 847</b>   | <b>847 084</b>  | <b>2 235 498</b>   | <b>1 999 044</b>   | <b>-1 937 199</b>   | <b>2 059 082</b>   |
| <b>2019 - 2021</b> | <b>7,2</b>   | <b>44 580 566</b>   | <b>27 330 598</b>                            | <b>3 985 488</b>  | <b>186 517</b>  | <b>3 195 932</b>  | <b>7 367 936</b>   | <b>-2 438 879</b>  | <b>-947 815</b>   | <b>13 268 724</b>  |

Tab. č. 5: Výsledky hydrologickej bilancie hydrogeologickej štruktúry Kopy pre obdobie hydrologických rokov 2019 – 2021 (relatívne údaje / výška vodného stĺpca v mm).

| mesiac / rok | $t_{\text{vzduchu}}$<br>teplota<br>vzduchu<br>[°C] | Z<br>zrážky<br>[mm] | $E_r$<br>reálna evapo-<br>transpirácia<br>[mm] | $O_{\text{odb}}$<br>odtok v<br>pozorovaných<br>zachytených<br>prameňoch<br>[mm] | $O_{\text{pod}}$<br>odtok v<br>dokumentovaných<br>menších prameňoch<br>[mm] | $O_{\text{pov}}$<br>odtok<br>povrchovými<br>tokmi<br>[mm] | $O_{\text{celk-ev}}$<br>celkový<br>evidovaný<br>odtok z<br>hodnotenej<br>oblasti<br>[mm] | $\pm \Delta R$<br>zmena zásob<br>podzemnej<br>vody<br>[mm] | $\pm \Delta R_{pp}$<br>zmena<br>zásob<br>pôdnej<br>vody<br>[mm] | Z –<br>( $E_r + O_{\text{pov}} + O_{\text{pod}} +$<br>$O_{\text{odb}} \pm \Delta R$<br>$\pm \Delta R_{pp}$ )<br>[mm] |
|--------------|--|---------------------|--|---|---|---|--|--|---|--|
| XI/2018      | 3,1  | 15                  | 12   | 9   | 0   | 3   | 12   | -51  | 3   | 39   |
| XII/2018     | -1,9   | 130                 | 0  | 9   | 0   | 3   | 13   | -36  | 76  | 77   |
| I/2019       | -6,1   | 142                 | 0  | 9   | 0   | 3   | 13   | 15   | 0   | 114  |
| II/2019      | -0,5   | 39                  | 0  | 8   | 0   | 3   | 12   | 30   | 0   | -3   |
| III/2019     | 3,8  | 95                  | 19   | 9   | 0   | 3   | 13   | 122  | 0   | -60  |
| IV/2019      | 7,8  | 23                  | 46   | 9   | 0   | 3   | 12   | 28   | -23   | -41  |
| V/2019       | 9,6  | 173                 | 66   | 8   | 0   | 3   | 12   | 54   | 23  | 17   |
| VI/2019      | 19,6   | 26                  | 143  | 8   | 0   | 3   | 11   | -7   | -117  | -5   |
| VII/2019     | 16,9   | 72                  | 92   | 8   | 0   | 3   | 11   | -81  | -20   | 70   |
| VIII/2019    | 17,5   | 99                  | 99   | 7   | 0   | 3   | 10   | -64  | 0   | 53   |
| IX/2019      | 11,8   | 97                  | 66   | 6   | 0   | 3   | 10   | -53  | 31  | 43   |
| X/2019       | 7,8  | 60                  | 38   | 7   | 0   | 3   | 10   | -61  | 22  | 51   |
| XI/2019      | 5,4  | 103                 | 22   | 6   | 0   | 4   | 10   | -2   | 81  | -7   |
| XII/2019     | -0,3   | 55                  | 0  | 6   | 0   | 5   | 12   | -39  | 3   | 79   |
| I/2020       | -2,8   | 31                  | 0  | 7   | 0   | 6   | 13   | -55  | 0   | 73   |
| II/2020      | 1,3  | 149                 | 5  | 7   | 0   | 7   | 14   | 52   | 0   | 77   |
| III/2020     | 1,9  | 42                  | 10   | 9   | 0   | 8   | 18   | 41   | 0   | -27  |
| IV/2020      | 6,6  | 12                  | 40   | 8   | 0   | 8   | 16   | -13  | -28   | -4   |
| V/2020       | 9,2  | 93                  | 66   | 8   | 0   | 8   | 16   | -25  | 27  | 8  |
| VI/2020      | 15,8   | 117                 | 116  | 7   | 0   | 8   | 15   | 3  | 1   | -18  |
| VII/2020     | 16,8   | 83                  | 124  | 6   | 0   | 8   | 15   | -44  | -41   | 30   |
| VIII/2020    | 18,0   | 84                  | 122  | 5   | 0   | 8   | 14   | -58  | -38   | 44   |



| mesiac / rok                   | $t_{\text{vzduchu}}$<br>teplota<br>vzduchu<br>[°C] | Z<br>zrážky<br>[mm] | $E_r$<br>reálna evapo-<br>transpirácia<br>[mm] | $O_{\text{odb}}$<br>odtok v<br>pozorovaných<br>zachytených<br>prameňoch<br>[mm] | $O_{\text{pod}}$<br>odtok v<br>dokumentovaných<br>menších prameňoch<br>[mm] | $O_{\text{pov}}$<br>odtok<br>povrchovými<br>tokmi<br>[mm] | $O_{\text{celk-év}}$<br>celkový<br>evidovaný<br>odtok z<br>hodnotenej<br>oblasti<br>[mm] | $\pm \Delta R$<br>zmena zásob<br>podzemnej<br>vody<br>[mm] | $\pm \Delta R_{pp}$<br>zmena<br>zásob<br>pôdnej<br>vody<br>[mm] | Z –<br>( $E_r + O_{\text{pov}} + O_{\text{pod}} +$<br>$O_{\text{odb}} \pm \Delta R$<br>$\pm \Delta R_{pp}$ )<br>[mm] |
|--------------------------------|--|---------------------|--|---|---|---|--|--|---|--|
| IX/2020                        | 12,4   | 86                  | 70   | 5   | 0   | 8   | 13   | -49  | 15  | 36   |
| X/2020                         | 7,4  | 197                 | 37   | 5   | 0   | 8   | 13   | 5  | 64  | 79   |
| XI/2020                        | 1,6  | 22                  | 7  | 6   | 0   | 7   | 14   | -8   | 0   | 9  |
| XII/2020                       | 0,0  | 63                  | 0  | 7   | 0   | 7   | 15   | -35  | 0   | 83   |
| I/2021                         | -3,1   | 96                  | 0  | 6   | 0   | 7   | 14   | 55   | 0   | 27   |
| II/2021                        | -2,3   | 55                  | 0  | 8   | 0   | 7   | 15   | -4   | 0   | 44   |
| III/2021                       | 0,6  | 26                  | 4  | 9   | 0   | 7   | 17   | 39   | 0   | -34  |
| IV/2021                        | 3,8  | 60                  | 25   | 8   | 0   | 7   | 15   | 0  | 0   | 20   |
| V/2021                         | 9,4  | 156                 | 69   | 7   | 0   | 7   | 14   | 125  | 0   | -52  |
| VI/2021                        | 17,6   | 24                  | 130  | 7   | 0   | 6   | 13   | 40   | -105  | -53  |
| VII/2021                       | 19,1   | 99                  | 131  | 7   | 0   | 6   | 13   | -10  | -32   | -3   |
| VIII/2021                      | 14,9   | 189                 | 102  | 5   | 0   | 6   | 12   | -15  | 87  | 3  |
| IX/2021                        | 11,9   | 43                  | 69   | 5   | 0   | 6   | 11   | -14  | -27   | 3  |
| X/2021                         | 5,7  | 14                  | 30   | 6   | 0   | 6   | 12   | -45  | -16   | 33   |
| <b>2019</b>                    | <b>7,5</b>   | <b>970</b>          | <b>580</b>                                     | <b>79</b>   | <b>4</b>  | <b>86</b>   | <b>169</b>   | <b>-103</b>  | <b>69</b>   | <b>255</b>   |
| <b>2020</b>                    | <b>7,6</b>   | <b>1 052</b>        | <b>612</b>                                     | <b>81</b>   | <b>4</b>  | <b>79</b>   | <b>165</b>   | <b>-182</b>  | <b>3</b>  | <b>455</b>   |
| <b>2021</b>                    | <b>6,6</b>   | <b>847</b>          | <b>567</b>                                     | <b>84</b>   | <b>5</b>  | <b>55</b>   | <b>144</b>   | <b>129</b>   | <b>-125</b>   | <b>133</b>   |
| <b>suma<br/>2019 - 2021</b>    |  | <b>2 869</b>        | <b>1 759</b>                                   | <b>257</b>  | <b>12</b>   | <b>206</b>  | <b>474</b>   | <b>-157</b>  | <b>-61</b>  | <b>854</b>   |
| <b>priemer<br/>2019 - 2021</b> | <b>7,2</b>   | <b>956</b>          | <b>586</b>                                     | <b>86</b>   | <b>4</b>  | <b>69</b>   | <b>158</b>   |  |   |  |

**Zoznam použitej literatúry**

- Kullman, E. 1990: Krasovo-puklinové vody. Karst-fissure waters. Geologický ústav Dionýza Štúra Bratislava, 184 s.
- Kullman, E., st., Kissane, S., Šalaga, I., 1997: Evaluation of Groundwater Resources in Slovakia. PHARE Project No. EU/95/WAT/31. PM Consulting Engineers. Manuskript. Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky, 459 s.
- Kullman, E., st., in Vrana, K., Simpson, R. 2000: Koncept manažmentu povrchových a podzemných vôd v hraničnom regióne. Záverečná správa projektu ZZ 96 21.03. Manuskript – Archív Úradu vlády Slovenskej republiky. 133 s.
- Kullman, E. st., Bodiš, D., Jetel, J., Kovářík, J., Kullman, E. ml., Malík, P. 2002: Metodické postupy pri stanovovaní výpočtu množstiev podzemných vôd. In: Scherer, S., Slaninka, I., Bahnová, N., Bottlik, F., Malík, P., Švasta, J. 2004: Mezozoikum a paleozoikum SZ časti Považského Inovca, hydrogeologický rajón MG-046, vyhľadávací hydrogeologický prieskum. Záverečná správa. Manuskript – Archív odboru Geofondu ŠGÚDŠ Bratislava
- Kuvík, M., Grenčíková, A., Bohyník, J., Gažúr, J., Sinak, M., Stolárik, L., Coplák, M., Copláková J., Holeša, Š., Kubiš, M., Borovský, M., Flimmel, M., Huljak, Š., Haviarová, D., Soták, J., Biroň, A., Pristaš, P., Turovský F. 2014: Diaľnica D1 Turany - Hubová, modifikovaný údolný variant V1 a subvariant V1a a variant V2 s tunelom Korbeľka, orientačný IGP. Manuskript – archív Geofondu ŠGÚDŠ Bratislava, arch. č. 93904, 136 s.
- Malík, P., Kordík, J., Bottlik, F., Kováčová, E. 2006: Základná hydrogeologická mapa západnej časti Veľkej Fatry v mierke 1 : 50 000. Čiastková záverečná správa. Manuskript – Archív odboru Geofondu ŠGÚDŠ, Bratislava, arch.č. 92456/2.
- Malík, P., Bačová, N., Hronček, S., Kočícký, D., Maglay, J., Ondrášik, M., Šefčík, P., Černák, R., Švasta, J., Lexa, J. 2007: Zostavovanie geologických máp v mierke 1 : 50 000 pre potreby integrovaného manažmentu krajiny. Manuskript – Archív odboru informatiky ŠGÚDŠ (Geofond), Bratislava.
- Malík, P., Švasta, J., Baroková, D. 2008: Pokus o rekonštrukciu a rozšírenie hydrologickej bilancie Muránskej planiny na obdobie rokov 1971 – 1985. Podzemná voda XIV. / 2008 č. 1, Slovenská asociácia hydrogeológov, ISSN 1335-1052, Bratislava, s. 71-87
- Malík, P., Coplák, M., Švasta, J., Černák, R., Bajtoš, P. 2021: Recharge, delayed groundwater level rise and specific yield in the West Carpathian's Kopa Mt. Triassic fissure–karst aquifer. Hydrogeology Journal 29(1), s. 499-518; DOI: 10.1007/s10040-020-02231-w
- Scherer, S., Slaninka, I., Bahnová, N., Bottlik, F., Malík, P., Švasta, J. 2004: Mezozoikum a paleozoikum SZ časti Považského Inovca, hydrogeologický rajón MG–046, vyhľadávací hydrogeologický prieskum. Záverečná správa. Manuskript – Archív odboru Geofondu ŠGÚDŠ Bratislava
- Švasta, J., Malík, P. 2006: Priestorové rozloženie priemerných efektívnych zrážok na území Slovenska. Podzemná voda XII. / 2006 č. 1, Slovenská asociácia hydrogeológov, ISSN 1335–1052, Bratislava, s. 65–77
- Švasta, J., Malík, P. 2008: Vzťah podzemných a povrchových vôd v oblasti hydrogeologickej štruktúry karbonátov hronika Kopy vo Veľkej Fatre. Podzemná voda XIV., 2/2008, Slovenská asociácia hydrogeológov, ISSN 1335-1052, Bratislava, s. 151-160
- Thornthwaite, C.W., a Mather, J.R., 1955: The water balance. Publ. in Climatol. 8, s. 1 104
- Thornthwaite, C.W., 1948: An approach toward a rational classification of climate. Geograph. Rew. 38, s. 55 94
- Zakovič, M., Hanzel, V., Kullman, E., Jetel, J., Franko, O., Bodiš, D., Polák, M., Gross, P., Potfaj, M., Gašparik, J., Vaškovský, I., Klinec, A., Haško, J. 1990: Vysvetlivky

k základnej hydrogeologickej mape ČSSR 1 : 200 000, list 26 Žilina. Geologický ústav  
Dionýza Štúra, Bratislava, 146 s.