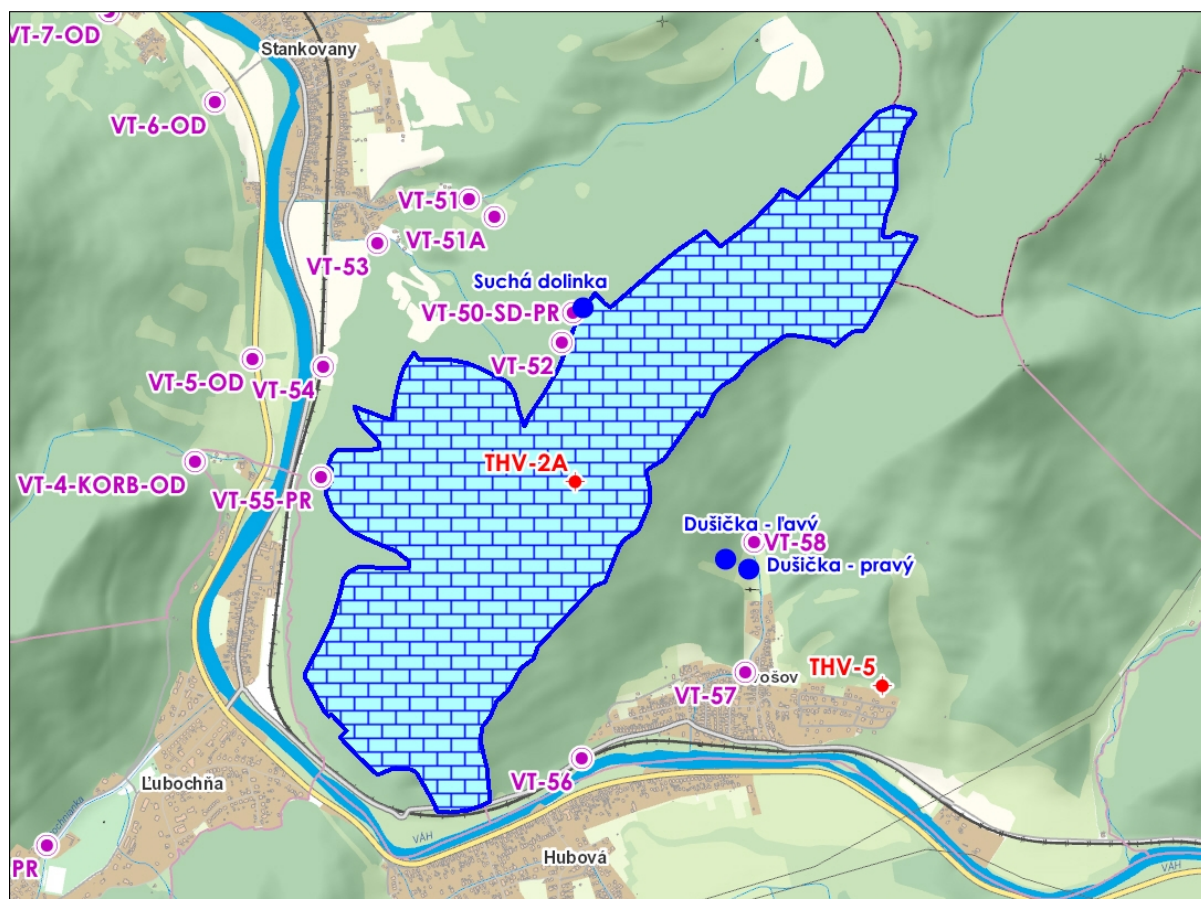


PRÍLOHA Č. 8  
HYDROLOGICKÁ BILANCIA – TUNEL HAVRAN

## HYDROLOGICKÁ BILANCIA HYDROGEOLOGICKEJ ŠTRUKTÚRY TRIASOVÝCH KARBONÁTOV HRONIKA OBLASTI KÓTY HAVRAN (881,8 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 Havran 882 m n.m. v Šípskej (pravobrežnej) časti Veľkej Fatry (Obr. 1), 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 Suchá dolinka, Dušička – pravý a Dušička – ľavý od Ružomerskej vodárenskej spoločnosti, údajov z monitorovania hladín podzemných vôd v hydrogeologickom vrte THV-2a (po preskúmaní priebehu monitorovania vo vrtoch THV-1, THV-2a, THV-5, HGH-1 a HGH-2) pracovníkmi DPP Žilina a údajov o meraniach prietokov na povrchových tokoch v oblasti pracovníkmi DPP Žilina. Východiskom bilančného hodnotenia vôd pre jednotlivé hydrologické roky 2019 až 2021 v uvedenej hydrogeologickej štruktúre bolo zostavenie orientačnej hydrologickej bilancie na základe priemerných údajov za roky 1951 – 1981, ktoré bolo použité ako základ aj predchádzajúcich bilančných hodnotení za obdobia hydrologických rokov 2014 – 2018.



Obr.1: Vymedzenie stredno a vrchnotriasových dolomitov a vápencov tektonickej jednotky hronika v oblasti kóty Havran (882 m n.m.)– bilancovanej hydrogeologickej štruktúry Havrana

## 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 819 m n.m Havran (hydrogeologická štruktúra Havrana) s plochou 2,139 km<sup>2</sup>, odvodená veľkosť dlhodobých priemerných ročných zrážok je 861 mm a veľkosť priemernej ročnej teploty je 5,7 °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 80 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 571,2 mm a vzhľadom na vyrovnaný priebeh zrážkových úhrnov v priebehu priemerného roka aj približne rovnaká veľkosť reálnej evapotranspirácie (566,9 mm). Zvyšková hodnota neodparených zrážok (veľkosť efektívnych zrážok) bola teda 293 mm a vo vyjadrení v jednotkách odtoku 9,29 l.s<sup>-1</sup>.km<sup>-2</sup>. 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 2,139 km<sup>2</sup>, ktorú štruktúra zaberá, podľa tejto orientačnej hydrologickej bilancie očakávať celkový odtok podzemných vôd z celej plochy hydrogeologickej štruktúry Havrana okolo 19,9 l.s<sup>-1</sup>. Táto hodnota je o niečo nižšia než hodnota 23,6 l.s<sup>-1</sup>, dokumentovaná v sumárnom priemernom odtoku z vodárensky zachytených prameňov, odvodňujúcich túto štruktúru a meraniach DPP Žilina, s.r.o. na povrchových tokoch v oblasti za hydrologické roky 2018 – 2021. Odtok podzemných vôd v dokumentovaných prameňoch tejto hydrogeologickej štruktúry (priemerne 10,3 l.s<sup>-1</sup> za uvedené obdobie) je sústredený najmä do najvýznamnejších vodárensky zachytených prameňov Suchá dolinka, Dušička – pravý a Dušička – ľavý v oblasti Stankovian, resp. Švošova. Merania na povrchových tokoch zachytávajú aj odvodňovanie oblasti ktorá nie je po geologickej stránke budovaná triasovými karbonátmi hronika a teda nie je priamou súčasťou hydrogeologickej štruktúry Havrana, z tohto dôvodu má celkový priemerný odtok aj o niečo vyššiu hodnotu.

V ďalšej časti tejto práce pristupujeme k rozšíreniu bilančného hodnotenia na obdobie hydrologických rokov 2019 – 2021, vychádzajúce z vyššie uvedených údajov – pozorovaní výdatností prameňov a prietokov, hladín vo vrtoch, ale najmä z údajov o podrobnejšej distribúcii zrážkových úhrnov a teplôt vzduchu v bilancovanom období.

### Použitá bilančná rovnica

Hydrogeologickú štruktúru Havrana 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 Havrana má jednoduchý spôsob obehu podzemnej vody. Vzhľadom na vrcholovú pozíciu dolomitov a vápencov na málo priepustnom podloží (tvorenom zväčša slienitými 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, totožnou s príkrovovou 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 slienitých vápencov a slieňov, čiže sutinovo-vrstvovým charakterom týchto prameňov. Na juhu siaha hydrogeologická štruktúra Havrana prakticky až k Váhu a je možné, že časť vôd môže potom priamo vstupovať cez aluviálne náplavy Váhu až do tohto povrchového toku. Na väčšine ohraničenia hydrogeologickej štruktúry Havrana je zjavný kontakt vysokopriepustných vápencov a dolomitov s regionálnym izolátorom – horninami hydrogeologického celku slienitých vápencov a bridlíc veporika (mráznické, osnické a vlkolinské súvrstvie vrchnej jury až spodnej kriedy), a to najmä na juhovýchode a severozápade. Karbonáty hronika sú tu v kontakte s podložným málopriepustným mráznickým súvrstvom pomerne vysoko nad eróznou bázou, ako to dokumentuje aj poloha spomínaných prameňov Suchá dolinka, Dušička – pravý a Dušička – ľavý. To isté sa týka aj severného, resp. severovýchodného ohraničenia štruktúry, ktoré je taktiež na hrebeni vysoko nad vážskym alúviom.

Po zvážení konkrétnej geologickej stavby, spôsobu obehu podzemnej vody a antropogénnych vplyvov v oblasti, bolo možné anulovať niektorého členov základnej rovnice hydrologickej bilancie (1), pre konkrétne územie hydrogeologickej štruktúry Havrana 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)
- $P_{\text{pr}}$  – dotácia vody do hodnoteného územia (vodovodné zásobovanie, závlahy a i.)
- $E_r$  – reálna evapotranspirácia
- $O_{\text{pov}}$  – odtok vôd povrchovými tokmi z hodnotenej oblasti
- $O_{\text{pod}}$  – evidovaný odtok podzemných vôd prameňmi na obode hodnotenej oblasti
- $O_{\text{cez}}$  – cezhraničný odtok podzemných vôd z hodnotenej oblasti
- $O_{\text{odb}}$  – odber vôd odvádzaný mimo hodnotené územie
- $\pm \Delta R$  – zmena zásob podzemnej vody v hodnotenej oblasti
- $\pm \Delta R_{\text{pp}}$  – 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 ( $P_{\text{pov}}$ ), cezhraničného prítoku podzemných vôd (skrytého prítoku podzemných vôd  $P_{\text{cez}}$ ) a dotáciou vody do hodnoteného územia ( $P_{\text{pr}}$ ). V rámci zostavenia hydrologickej bilancie pre skúmané územie sme sa ďalej sústredili na hodnotu celkového cezhraničného odtoku podzemných vôd  $O_{\text{cez}}$ , ktorého veľkosť vypočítame podľa rovnice (3) a o ktorom je na začiatku riešenia možné predpokladať jeho nulovú hodnotu ( $O_{\text{cez}} = 0$ ). Súčet  $O_{\text{pov}} + O_{\text{pod}} + O_{\text{odb}}$  môžeme ďalej nazvať celkovým evidovaným odtokom  $O_{\text{celk-ev}}$  – viď rovnica (4) a rovnicu (3), pre výpočet cezhraničného odtoku podzemných vôd  $O_{\text{cez}}$  potom zjednodušiť do rovnice (5).

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

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

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

kde

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

Hodnoty celkového odtoku z hodnotenej oblasti  $O_{\text{celk-ev}}$  sú sumarizované v ôsmom stĺpci tabuliek č. 4 a 5. Okrem týchto údajov bolo potrebné pre výpočet cezhraničného odtoku podzemných vôd  $O_{\text{cez}}$  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  $\pm\Delta R_{\text{pp}}$  rovnice (5).

### Zrážky (Z)

Zrážkové úhrny pre hydrogeologickú štruktúru Havrana boli vyčíslené len z jednej zrážkomernej stanice – 21460 Ľubochňa (445 m n.m.), nakoľko sa štruktúra nachádza v relatívnej blízkosti uvedenej zrážkomernej stanice. Výpočet denných zrážkových úhrnov platných pre plochu hydrogeologickej štruktúry Havrana (2,139 km<sup>2</sup>), s priemernou nadmorskou výškou 733 m n.m. bol realizovaný pomocou prepočtového koeficienta zohľadňujúceho inú výšku oblasti v porovnaní s nadmorskou výškou zrážkomerných staníc. Na základe predchádzajúcich prác pracovníkov Slovenského hydrometeorologického ústavu, ktorí v minulosti 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 sa pre obdobie hydrologických rokov 2001 – 2021, ktoré bolo hodnotené iba s cieľom výpočtu chodu hodnôt reálnej evapotranspirácie, pohybujú v rozmedzí od 721 mm do 1229 mm, s priemernou hodnotou 944 mm (tab. č. 1).

V absolútnych hodnotách sú objemy zrážok, ktoré za dané obdobie hydrologických rokov 2019 – 2021 spadli na plochu hydrogeologickej štruktúry Havrana v rozmedzí od 1 801 042 m<sup>3</sup> (hydrologický rok 2021) do 2 268 256 m<sup>3</sup> (hydrologický rok 2020); spolu za uvedené obdobie roka potom 6 196 364 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 Havrana bola podľa interpolovaných údajov z jednotlivých bodových vzoriek so stanovením retenčnej kapacity (Šefčík in Malík et al., 2007) určená na 137 mm, čo je o 57 mm viac než pri výpočte orientačnej hydrologickej bilancie za roky 1951 – 1980. Do výpočtu potenciálnej evapotranspirácie okrem toho vstupujú aj priemerné mesačné teploty vzduchu,



ktoré boli rátané z hodnôt získaných na klimatickej stanici 11872 Ružomberok s nadmorskou výškou 482 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 mesačnej hodnoty teploty vzduchu) priradený celej hydrogeologickej štruktúre Havrana. Okrem teploty vstupujú do výpočtu podľa Thornthwaita aj veľkosti slnečného svitu oblasti, ktoré odpovedajú  $49,12^{\circ}$  severnej zemepisnej šírky. Z tabuľky č. 2 vyplýva, že nami vypočítané hodnoty  $E_r$  sa v období hydrologických rokov 2001 – 2021 pohybujú v rozmedzí 501 – 656 mm s priemernou hodnotou 592 mm.

Rozpätie ďalších vstupných hodnôt pre výpočet reálnej evapotranspirácie uvedenou metódou pre obdobie hydrologických rokov 2001 – 2021 bol  $7,7^{\circ}\text{C}$  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 Havrana 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 26 mm) nižšie hodnoty ako pre hodnoty potenciálnej evapotranspirácie  $E_P$  ( $E_P$ : 578 – 656 mm, s priemernou hodnotou 618 mm;  $E_r$ : 501 – 656 mm, s priemernou hodnotou 592 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 546 mm do 612 mm (priemerne 585,3 mm). Pre toto obdobie boli tiež vypočítané hodnoty priemernej teploty vzduchu pre bilancovanú oblasť od  $6,6^{\circ}\text{C}$  do  $7,6^{\circ}\text{C}$  (priemer teploty vzduchu  $7,2^{\circ}\text{C}$ ). Hodnoty potenciálnej evapotranspirácie boli pre hydrologické roky 2019 – 2021 od 578 mm do 630 mm, s priemerom 607 mm.

Objemy evapotranspirovaných zrážok, boli z plochy hydrogeologickej štruktúry Havrana pre dané obdobie hydrologických rokov 2019 až 2021 spolu  $3\,756\,597\text{ m}^3$  a v rámci jednotlivých rokov sa pohybovali od  $1\,167\,515\text{ m}^3$ , za hydrologický rok 2021 do  $1\,309\,676\text{ m}^3$  za rok 2020 (tabuľka č. 4).

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

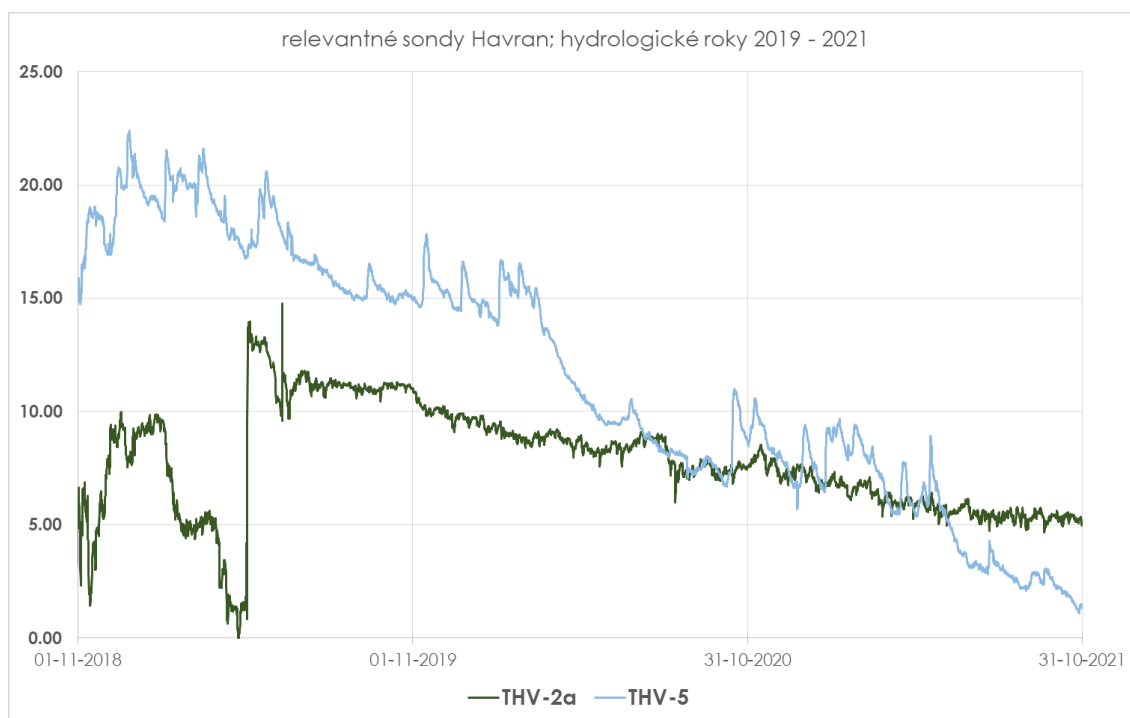
Zmena zásob pôdnej vody na rozhraní bilančného obdobia je paralelným produktom výpočtu reálnej evapotranspirácie, pri zohľadňovaní vzťahov medzi mesačnými zrážkovými úhrnmi, mesačnými hodnotami potenciálnej evapotranspirácie a retenčnej kapacity pôdy (potenciálnymi zásobami pôdnej vody). Medziročné hodnoty 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 0,0 mm po -137 mm.

Celkovo pre bilancované obdobie možno konštatovať, že medzi 01.11.2018 až 30.10.2021 bola hodnota zmeny zásob pôdnej vody  $\Delta R_{pp}$  -112 585  $\text{m}^3$  resp. pokles o 52,6 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 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 THV-1, THV-2a, THV-5, HGH-1 a HGH-2. Pri podrobnom spracovaní podkladov bolo zistené, že dĺžka monitorovaného obdobia v prípade vrtov THV-1, HGH-1 a HGH-2 nepokrýva kompletne celé bilancované obdobie hydrologických rokov 2019 – 2021. V prípade vrtov THV-2a, THV-5 (Obr. 2) je zrejme, že hladiny vo vrte THV-5 vykazujú neustálu poklesovú tendenciu bez sezónnych vplyvov, čo je zrejme dané lokálnym narušením obehových pomerov vrtnými prácami a postupným nadobúdaním novej rovnováhy cirkulácie, ktoré však zatiaľ nenastalo. Z tohto dôvodu sme sa pri výpočte zmeny zásob podzemných vôd v horninovom prostredí  $\pm \Delta R$ , opierali o výsledky získané vo vrte THV-2a, hoci aj v tomto prípade vidno podobnú, avšak nie totožnú tendenciu.



Obr.2: Relatívny priebeh hladín podzemných vôd (rozdiely  $\Delta H_{REL}$  od celkového individuálneho minima) v hydrogeologických vrtov THV-5 a THV-2a v bilancovanej hydrogeologickej štruktúre Havrana 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 vrtov pomocou hodnoty koeficienta voľnej zásobnosti  $S$ , nakoľko podzemná voda vypĺňa 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 havrana 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<sup>3</sup>, bol použitý plošný rozsah tejto hydrogeologickej štruktúry o veľkosti 2,139 259 km<sup>2</sup>.

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<sup>3</sup> resp. pokles o 12,4 mm. Medziročne boli však tieto zmeny oveľa výraznejšie – za hydrologický rok 2019 nárast o 1 757 478 m<sup>3</sup> (822 mm), za hydrologický rok 2020 pokles o 783 140 m<sup>3</sup> (366 mm) a za ďalší hydrologický rok 2021 ešte výraznejší pokles o 1 000 831 m<sup>3</sup> (468 mm), čo však pri sčítaní dáva vyššie uvedenú, z hľadiska zásob podzemných vôd takmer vyrovnanú bilanciu.

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

Odtok podzemných vôd v pozorovaných zachytených prameňoch bol zisťovaný v troch vyššie uvedených prípadoch prameňov Suchá dolinka (lokalita Stankovany), Dušička ľavý a Dušička pravý (lokalita Švošov). Priemerná výdatnosť za bilancované obdobie hydrologických rokov 2019 – 2021 bola pre prameň Suchá dolinka 6,93 l·s<sup>-1</sup>, pre prameň Dušička ľavý 2,09 l·s<sup>-1</sup>, a pre vodárenský zdroj Dušička pravý 1,28 l·s<sup>-1</sup>. Sumárny odtok za celé bilancované obdobie hydrologických rokov 2019 až 2021 bol potom pre prameň Suchá dolinka 656 471 m<sup>3</sup>, pre prameň Dušička ľavý 197 818 m<sup>3</sup>, a pre prameň Dušička pravý 120 875 m<sup>3</sup>. Spolu za uvedené obdobie vo forme odtoku podzemných vôd v pozorovaných zachytených prameňoch  $O_{odb}$  odtieklo z hydrogeologickej štruktúry Havrana 975 073 m<sup>3</sup> podzemnej vody (priemerne 10,30 l·s<sup>-1</sup>; tabuľka č. 4).

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

Odtok podzemných vôd z menších prameňov bol v priebehu uvedeného obdobia sledovaný na piatich lokalitách – ide o prepád z VZ Suchá Dolinka, prameň pred VZ vpravo vo svahu, prameň za ŽSR a cestou III/2211, prameň pri poľnej ceste k VZ Suchá dolinka a prameň pri kaplnke, išlo o viacero jednorazových zameraní pracovníkmi DPP Žilina v niekoľkomesačných intervaloch, merania boli následne pre potreby bilančného výpočtu interpolované. Priemerná výdatnosť za bilancované obdobie hydrologických rokov 2019 – 2021, mala pre uvedené malé pramene spolu veľkosť 2,85 l·s<sup>-1</sup> (270 045 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 niekoľkomesačných intervaloch a výsledky meraní boli pre potreby bilančného výpočtu interpolované. Sledované boli malé vodné toky pri východnom portáli tunela (VT-5-OD na obr. č. 1), pri chate oproti Stankovanom (VT-6), pri rezervoári (VT-51A), v Stankovanoch pod vodojemom (VT-51), na južnom okraji obce Stankovany (VT-53), pred Švošovom vľavo od cesty 2211 (VT-56) a bezmenný vodný tok pod Dušičkou (obec Švošov; VT-58): spolu sedem malých vodných tokov. Ich priemerné prietoky za bilancované obdobie hydrologických rokov 2019 – 2021 mali sumárnu veľkosť 12,41 l·s<sup>-1</sup> (1 174 952 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 Havrana 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 2,139 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 odparená. Z celkového priemerného ročného množstva výparu  $E_r$  585 mm, bolo 53 mm odparených z pôdy ( $\pm AR_{pp}$ ) na úkor hodnoty pôdnej vlhkosti, zo zrážkového úhrnu  $Z$  966 mm sa potom na tvorbe odtoku podieľalo 377 mm a 12 mm (asi 1,1 % odtoku) tvorila zmena zásob podzemnej vody ( $\pm AR$  o -12 mm), teda zo štruktúry bol zaznamenaný aj odtok na úkor malej zmeny zásob v hydrogeologickej štruktúre Havrana akumulovanej podzemnej vody. V rámci jednotlivých hydrologických rokov sa celkový evidovaný odtok z hydrogeologickej štruktúry Havrana pohyboval od 278 do 488 mm ( $593\,665\text{ m}^3$  až  $1\,042\,998\text{ m}^3$ ;  $18,82$  až  $33,07\text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ ). Pri hodnotení tohto odtoku nachádzame len cca polovicu odtokových množstiev, ktoré sa dajú predpokladať z veľkosti efektívnych zrážok vypočítaných na plochu hydrogeologickej štruktúry Havrana pre bilancované obdobie od  $11,45$  do  $12,88\text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ , priemerne  $11,95\text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$  ktoré by sa mali prejavovať v odtoku priemerne  $25,6\text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ , resp. v jeho veľkosti medzi cca  $24,5$  až  $27,6\text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ . Nakoľko mal nami vyčíslený celkový priemerný odtok veľkosť  $25,56\text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ , možno získaný výsledok bilancie považovať za veľmi presný, nakoľko chyba bilancie predstavuje len 2,6 % hodnoty zrážkových úhrnov.

Celkový priemerný odtok z hydrogeologickej štruktúry Havrana, sa pri zohľadnení veľkostí efektívnych zrážok, pre obdobie hydrologických rokov 2001 – 2021 v oblasti kóty Havran (tabuľka č. 3), môže pohybovať medzi hodnotami  $14,6\text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$  pri minimálnych stavoch, do  $39,6\text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$  pri maximálnych stavoch, s priemernou hodnotou  $23,4\text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ .

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

rok	zrážky 21460 Ľubochňa [mm]	zrážky Z upravené na nadmorskú výšku 733 m [mm]	$t_{vzd}$ teplota vzduchu 11872 Ružomberok [°C]	$t_{vzdUPRAV}$ teplota vzduchu upravená na nadmorskú výšku 733m [°C]
2001	1009	1033	9,0	7,6
2002	989	1013	8,0	6,6
2003	699	723	8,1	6,8
2004	825	849	8,4	7,1
2005	1025	1049	8,0	6,7
2006	814	838	7,7	6,3
2007	1119	1143	10,0	8,7
2008	894	918	8,9	7,5
2009	832	856	8,6	7,3
2010	1205	1229	7,8	6,5
2011	829	853	8,8	7,5
2012	836	858	8,4	7,1
2013	796	820	7,8	6,5
2014	1128	1152	8,9	7,6
2015	697	721	8,7	7,4
2016	973	997	8,8	7,5
2017	1022	1046	7,8	6,5
2018	808	832	9,1	7,8
2019	970	994	8,8	7,5
2020	1036	1060	9,0	7,6
2021	818	842	7,9	6,6
<b>2001 - 2021</b>	<b>920</b>	<b>944</b>	<b>8,5</b>	<b>7,2</b>

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

rok / mesiac	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	kalendárny rok	hydrologický rok
2001			12,7	37,0	87,9	99,2	127,0	122,0	58,0	46,0	0,3		590,1	618,2
2002		6,7	17,8	42,2	102,3	116,4	130,9	110,5	58,1	26,2	16,8		627,8	611,3
2003			7,2	33,2	104,4	127,9	128,4	66,6	45,8	21,2	15,7		550,2	551,3
2004			7,5	51,3	77,8	109,5	121,0	116,8	65,8	44,8	8,1		602,7	610,2
2005				48,1	94,4	112,0	133,0	105,0	73,5	37,4	2,9		606,3	611,6
2006				47,4	83,5	113,7	146,1	100,0	59,7	42,9	14,8	1,5	609,5	596,2
2007	5,1	3,4	23,3	55,2	99,6	122,0	132,9	113,6	55,2	29,0	1,3		640,6	655,6
2008		1,6	12,4	50,0	92,5	121,6	124,9	110,3	63,6	41,0	15,0		632,9	619,2
2009			4,7	64,1	87,7	101,8	136,6	72,1	39,6	24,5	11,8		542,8	546,1
2010			7,1	42,1	84,5	118,2	139,0	109,2	61,0	22,8	18,2		602,0	595,6
2011			18,5	55,4	87,3	113,2	115,9	120,5	80,6	30,9			622,3	640,5
2012			14,7	49,4	98,1	122,6	129,1	54,7	54,3	33,5	17,8		574,4	556,6
2013				45,3	82,5	115,0	100,3	60,0	57,0	42,1	11,4		513,5	520,0
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	110,7	132,2	16,0	73,6	32,7	11,6	2,5	497,5	501,3
2016		6,8	15,7	47,2	82,3	121,7	126,3	100,3	76,1	28,9	8,7		614,1	619,6
2017			22,4	34,3	88,4	120,7	120,0	114,8	64,1	35,4	5,8		605,8	608,6
2018				66,1	98,1	117,2	109,0	91,9	68,9	39,3	76,7		667,2	596,4
2019			19,3	46,3	66,1	143,0	102,5	105,8	65,8	37,5	21,9		608,2	598,1
2020		5,4	10,2	40,4	65,9	115,5	123,8	121,6	70,5	37,0	6,9	0,1	597,3	612,2
2021			3,9	24,9	69,1	129,6	110,0	102,2	69,3	29,7	93,7		632,5	545,8
<b>2001 - 2021</b>	<b>0,2</b>	<b>1,5</b>	<b>11,1</b>	<b>45,8</b>	<b>86,1</b>	<b>116,8</b>	<b>124,4</b>	<b>95,8</b>	<b>63,5</b>	<b>34,5</b>	<b>15,6</b>	<b>0,2</b>	<b>594,7</b>	<b>591,6</b>
<b>PODIEL</b>	<b>0,0%</b>	<b>0,2%</b>	<b>1,9%</b>	<b>7,7%</b>	<b>14,5%</b>	<b>19,6%</b>	<b>20,9%</b>	<b>16,1%</b>	<b>10,7%</b>	<b>5,8%</b>	<b>2,6%</b>	<b>0,0%</b>	<b>100,0%</b>	

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

rok / mesiac	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	<b>EZ</b> kalendárny rok [mm]	<b>EZ</b> hydrologický rok [mm]	<b>EZ</b> kalendárny rok [l.s <sup>-1</sup> .km <sup>-2</sup> ]	<b>EZ</b> hydrologický rok [l.s <sup>-1</sup> .km <sup>-2</sup> ]
2001	36,5	63,8	57,7	31,4			102,5		23,8		62,3	60,2	438	<b>316</b>	13,90	<b>10,01</b>
2002	68,6	117,8	45,1							25,9	41,5	48,0	347	<b>380</b>	11,00	<b>12,05</b>
2003	117,3	9,4	6,0	7,6	20,7								161	<b>251</b>	5,11	<b>7,94</b>
2004	73,4	93,4	42,3			6,1					48,6	27,7	292	<b>215</b>	9,25	<b>6,83</b>
2005	145,6	75,6	31,9	29,5	17,2		5,4	40,7				142,0	488	<b>422</b>	15,47	<b>13,39</b>
2006	24,9	46,3	76,1	26,4	22,5							6,6	203	<b>338</b>	6,43	<b>10,72</b>
2007	230,4	69,6	48,7								106,4	35,3	490	<b>355</b>	15,55	<b>11,26</b>
2008	82,4	47,7	95,6									66,8	292	<b>367</b>	9,27	<b>11,65</b>
2009	33,1	37,5	152,1									73,5	296	<b>290</b>	9,39	<b>9,18</b>
2010	41,7	35,8	26,4	14,7	140,2	38,4	68,1	75,1	69,4		56,6	68,8	635	<b>583</b>	20,14	<b>18,50</b>
2011	35,0	23,9	6,2		9,3	50,6	61,7						187	<b>312</b>	5,92	<b>9,90</b>
2012	153,2	61,8	26,6								1,9	36,7	280	<b>242</b>	8,88	<b>7,66</b>
2013	113,3	77,5	56,1		48,4							27,4	323	<b>334</b>	10,23	<b>10,59</b>
2014	32,7	33,0	57,7	22,9	115,6		63,2	44,6	31,3	36,7	16,3	42,1	496	<b>465</b>	15,74	<b>14,75</b>
2015	73,4	28,8	55,8	4,2	73,5						35,5	23,2	294	<b>294</b>	9,34	<b>9,33</b>
2016	53,5	125,8	2,2	10,4	10,0					42,6	64,3	56,0	365	<b>303</b>	11,57	<b>9,61</b>
2017	36,8	45,2	27,8	102,0					0,2	105,2	103,6	59,7	481	<b>438</b>	15,24	<b>13,88</b>
2018	69,8	29,2	48,1										147	310	4,66	<b>9,84</b>
2019	146,8	30,8	68,3		97,4							52,6	396	406	12,55	<b>12,88</b>
2020	36,0	149,7	35,9		4,4	8,3				76,7	13,2	61,4	386	364	12,23	<b>11,53</b>
2021	76,1	55,4	26,9	39,4	88,6								286	361	9,08	<b>11,45</b>
<b>2001 - 2021</b>	<b>80,0</b>	<b>59,9</b>	<b>47,3</b>	<b>13,7</b>	<b>30,8</b>	<b>4,9</b>	<b>14,3</b>	<b>7,6</b>	<b>5,9</b>	<b>13,7</b>	<b>26,2</b>	<b>45,3</b>	<b>350</b>	<b>350</b>	<b>11,09</b>	<b>11,09</b>
<b>PODIEL</b>	22,9%	17,1%	13,5%	3,9%	8,8%	1,4%	4,1%	2,2%	1,7%	3,9%	7,5%	12,9%				



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

mesiac / rok	$t_{\text{vzduchu}}$ teplota vzduchu [°C]	Z zrážky [m³]	$E_r$ reálna evapotranspirácia [m³]	$O_{\text{odb}}$ odtok v pozorovaných zachytených prameňoch [m³]	$O_{\text{pod}}$ odtok v dokumentovaných menších prameňoch [m³]	$O_{\text{pov}}$ odtok povrchovými tokmi [m³]	$O_{\text{celk-év}}$ celkový evidovaný odtok z hodnotenej oblasti [m³]	$\pm \Delta R$ zmena zásob podzemnej vody [m³]	$\pm \Delta R_{pp}$ zmena zásob pôdnej vody [m³]	Z – ( $E_r + O_{\text{pov}} + O_{\text{pod}}$ + $O_{\text{odb}} \pm \Delta R$ $\pm \Delta R_{pp}$ ) [m³]
XI/2018	3,1	30 377	25 030	10 049	9 741	13 112	32 902	1 396 816	159 574	-1 583 945
XII/2018	-1,9	288 800	0	24 503	10 065	17 291	51 859	207 354	0	29 587
I/2019	-6,1	314 043	0	36 694	10 065	21 485	68 244	-1 719 999	0	1 965 797
II/2019	-0,5	65 889	0	28 075	9 091	43 190	80 356	-107 134	0	92 667
III/2019	3,8	187 399	41 381	37 498	10 247	116 188	163 932	-999 736	0	981 822
IV/2019	7,8	60 327	99 084	31 648	10 418	94 913	136 979	3 658 886	0	-3 834 622
V/2019	9,6	388 489	141 431	33 520	11 293	78 121	122 933	-212 009	0	336 135
VI/2019	19,6	51 556	305 871	26 996	10 838	57 785	95 619	-55 963	-157 194	-136 776
VII/2019	16,9	180 553	219 317	20 982	9 517	46 750	77 249	-166 691	84 427	-33 748
VIII/2019	17,5	226 334	226 334	20 439	9 145	43 985	73 569	195 443	10 811	-279 823
IX/2019	11,8	209 433	140 717	19 774	8 670	41 214	69 658	-93 101	-8 209	100 368
X/2019	7,8	123 863	80 242	19 733	8 773	41 191	69 698	-346 389	70 166	250 147
XI/2019	5,4	221 627	46 788	24 009	8 311	38 510	70 830	-150 946	0	254 956
XII/2019	-0,3	118 515	0	25 979	8 402	38 396	72 777	-156 765	0	202 503
I/2020	-2,8	77 013	0	27 015	8 213	36 976	72 205	-99 262	0	104 070
II/2020	1,3	331 799	11 554	33 814	7 512	33 305	74 631	111 584	0	134 030
III/2020	1,9	98 620	21 891	37 968	7 848	34 228	80 043	-103 711	0	100 397
IV/2020	6,6	30 591	86 469	26 392	7 415	31 771	65 579	-181 409	0	59 953
V/2020	9,2	206 225	140 978	22 242	7 477	31 433	61 152	153 684	-80 280	-69 309
VI/2020	15,8	264 840	247 059	26 549	7 056	29 067	62 672	7 188	-57 032	4 953
VII/2020	16,8	165 793	264 947	24 020	7 105	28 639	59 764	-436 067	17 401	259 747
VIII/2020	18,0	211 787	260 055	23 323	6 916	27 218	57 458	-184 147	-40 810	119 232
IX/2020	12,4	184 832	150 718	21 379	6 514	24 988	52 880	207 080	160 720	-386 567

mesiac / rok	$t_{\text{vzduchu}}$ teplota vzduchu [°C]	Z zrážky [m³]	$E_r$ reálna evapotranspirácia [m³]	$O_{\text{odb}}$ odtok v pozorovaných zachytených prameňoch [m³]	$O_{\text{pod}}$ odtok v dokumentovaných menších prameňoch [m³]	$O_{\text{pov}}$ odtok povrchovými tokmi [m³]	$O_{\text{celk-ov}}$ celkový evidovaný odtok z hodnotenej oblasti [m³]	$\pm \Delta R$ zmena zásob podzemnej vody [m³]	$\pm \Delta R_{pp}$ zmena zásob pôdnej vody [m³]	Z – ( $E_r + O_{\text{pov}} + O_{\text{pod}}$ + $O_{\text{odb}} \pm \Delta R$ $\pm \Delta R_{pp}$ ) [m³]
X/2020	7,4	356 614	79 217	22 448	6 545	24 424	53 417	49 631	0	174 350
XI/2020	1,6	42 999	14 697	23 290	6 154	22 284	51 728	-124 933	0	101 507
XII/2020	0,0	131 564	242	23 965	6 174	21 629	51 768	-36 282	0	115 837
I/2021	-3,1	162 798	0	24 832	5 985	20 209	51 026	-158 819	0	270 590
II/2021	-2,3	118 515	0	22 178	5 243	17 033	44 454	-236 859	0	310 919
III/2021	0,6	65 889	8 267	24 742	5 626	17 506	47 874	-98 235	0	107 983
IV/2021	3,8	137 554	53 317	27 378	5 264	15 589	48 232	-23 617	-86 003	145 626
V/2021	9,4	337 361	147 910	49 276	5 254	14 712	69 242	-65 376	-72 325	257 909
VI/2021	17,6	48 989	277 155	36 821	4 905	12 885	54 611	-14 034	9 675	-278 418
VII/2021	19,1	170 499	235 411	28 869	4 883	11 917	45 670	-172 510	-144 425	206 353
VIII/2021	14,9	465 289	218 707	30 649	4 694	10 497	45 840	150 946	0	49 795
IX/2021	11,9	90 491	148 218	30 810	4 363	8 806	43 979	-131 094	63 453	-34 066
X/2021	5,7	29 094	63 590	27 216	4 323	7 703	39 241	-90 020	-34 496	50 779
<b>2019</b>	<b>7,5</b>	<b>2 127 065</b>	<b>1 279 406</b>	<b>309 910</b>	<b>117 863</b>	<b>615 225</b>	<b>1 042 998</b>	<b>1 757 478</b>	<b>148 226</b>	<b>-2 101 044</b>
<b>2020</b>	<b>7,6</b>	<b>2 268 256</b>	<b>1 309 676</b>	<b>315 138</b>	<b>89 313</b>	<b>378 955</b>	<b>783 407</b>	<b>-783 140</b>	<b>5 902</b>	<b>952 412</b>
<b>2021</b>	<b>6,6</b>	<b>1 801 042</b>	<b>1 167 515</b>	<b>350 025</b>	<b>62 868</b>	<b>180 772</b>	<b>593 665</b>	<b>-1 000 831</b>	<b>-266 714</b>	<b>1 307 406</b>
<b>2019 - 2021</b>	<b>7,2</b>	<b>6 196 364</b>	<b>3 756 597</b>	<b>975 073</b>	<b>270 045</b>	<b>1 174 952</b>	<b>2 420 070</b>	<b>-26 493</b>	<b>-112 585</b>	<b>158 774</b>

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

mesiac / rok	$t_{\text{vzduchu}}$ teplota vzduchu [°C]	Z zrážky [mm]	$E_r$ reálna evapo- transpirácia [mm]	$O_{\text{odb}}$ odtok v pozorovaných zachytených prameňoch [mm]	$O_{\text{pod}}$ odtok v dokumentovaných menších prameňoch [mm]	$O_{\text{pov}}$ odtok povrchovými tokmi [mm]	$O_{\text{celk-ov}}$ celkový evidovaný odtok z hodnotenej oblasti [mm]	$\pm AR$ zmena zásob podzemnej vody [mm]	$\pm AR_{pp}$ zmena zásob pôdnej vody [mm]	Z – ( $E_r + O_{\text{pov}} + O_{\text{pod}} +$ $O_{\text{odb}} \pm \Delta R$ $\pm \Delta R_{pp}$ ) [mm]
XI/2018	3,1	14	12	5	5	6	15	653	75	-740
XII/2018	-1,9	135	0	11	5	8	24	97	0	14
I/2019	-6,1	147	0	17	5	10	32	-804	0	919
II/2019	-0,5	31	0	13	4	20	38	-50	0	43
III/2019	3,8	88	19	18	5	54	77	-467	0	459
IV/2019	7,8	28	46	15	5	44	64	1 710	0	-1 793
V/2019	9,6	182	66	16	5	37	57	-99	0	157
VI/2019	19,6	24	143	13	5	27	45	-26	-73	-64
VII/2019	16,9	84	103	10	4	22	36	-78	39	-16
VIII/2019	17,5	106	106	10	4	21	34	91	5	-131
IX/2019	11,8	98	66	9	4	19	33	-44	-4	47
X/2019	7,8	58	38	9	4	19	33	-162	33	117
XI/2019	5,4	104	22	11	4	18	33	-71	0	119
XII/2019	-0,3	55	0	12	4	18	34	-73	0	95
I/2020	-2,8	36	0	13	4	17	34	-46	0	49
II/2020	1,3	155	5	16	4	16	35	52	0	63
III/2020	1,9	46	10	18	4	16	37	-48	0	47
IV/2020	6,6	14	40	12	3	15	31	-85	0	28
V/2020	9,2	96	66	10	3	15	29	72	-38	-32
VI/2020	15,8	124	115	12	3	14	29	3	-27	2
VII/2020	16,8	78	124	11	3	13	28	-204	8	121
VIII/2020	18,0	99	122	11	3	13	27	-86	-19	56
IX/2020	12,4	86	70	10	3	12	25	97	75	-181

mesiac / rok	teplota vzduchu [°C]	Z zrážky [mm]	$E_r$ reálna evapo- transpirácia [mm]	$O_{odb}$ odtok v pozorovaných zachytených prameňoch [mm]	$O_{pod}$ odtok v dokumentovaných menších prameňoch [mm]	$O_{pov}$ odtok povrchovými tokmi [mm]	$O_{celk-év}$ celkový evidovaný odtok z hodnotenej oblasti [mm]	$\pm \Delta R$ zmena zásob podzemnej vody [mm]	$\pm \Delta R_{pp}$ zmena zásob pôdnej vody [mm]	Z – ( $E_r + O_{pov} + O_{pod} +$ $O_{odb} \pm \Delta R$ $\pm \Delta R_{pp}$ ) [mm]
X/2020	7,4	167	37	10	3	11	25	23	0	82
XI/2020	1,6	20	7	11	3	10	24	-58	0	47
XII/2020	0,0	62	0	11	3	10	24	-17	0	54
I/2021	-3,1	76	0	12	3	9	24	-74	0	126
II/2021	-2,3	55	0	10	2	8	21	-111	0	145
III/2021	0,6	31	4	12	3	8	22	-46	0	50
IV/2021	3,8	64	25	13	2	7	23	-11	-40	68
V/2021	9,4	158	69	23	2	7	32	-31	-34	121
VI/2021	17,6	23	130	17	2	6	26	-7	5	-130
VII/2021	19,1	80	110	13	2	6	21	-81	-68	96
VIII/2021	14,9	218	102	14	2	5	21	71	0	23
IX/2021	11,9	42	69	14	2	4	21	-61	30	-16
X/2021	5,7	14	30	13	2	4	18	-42	-16	24
<b>2019</b>	<b>7,5</b>	<b>994</b>	<b>598</b>	<b>145</b>	<b>55</b>	<b>288</b>	<b>488</b>	<b>822</b>	<b>69</b>	<b>-982</b>
<b>2020</b>	<b>7,6</b>	<b>1 060</b>	<b>612</b>	<b>147</b>	<b>42</b>	<b>177</b>	<b>366</b>	<b>-366</b>	<b>3</b>	<b>445</b>
<b>2021</b>	<b>6,6</b>	<b>842</b>	<b>546</b>	<b>164</b>	<b>29</b>	<b>85</b>	<b>278</b>	<b>-468</b>	<b>-125</b>	<b>611</b>
<b>2019 - 2021</b>	<b>7,2</b>	<b>966</b>	<b>585</b>	<b>152</b>	<b>42</b>	<b>183</b>	<b>377</b>	<b>-12</b>	<b>-53</b>	<b>68</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 Geofundu ŠGÚDŠ Bratislava
- 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 Geofundu 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
- 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