

Určenie infiltračnej oblasti a dopadov razenia tunela Višňové na podzemné vody

Determination of the infiltration area of the Višňové tunnel and impacts of excavation on groundwater

Július Bohyník¹, Marián Coplák², Peter Malík³, Jaromír Švasta⁴

Abstrakt

Podrobný inžinierskogeologický a hydrogeologický prieskum tunela Višňové formou prieskumnej štôlne (v rokoch 1998 – 2002) razenej naprieč pohorím Malá Fatra priniesol veľa nových a zaujímavých hydrogeologických poznatkov. Predovšetkým množstvo podzemnej vody drénované už počas razenia prieskumnej štôlne prekvapovalo svojou kvantitou. Nemenej prekvapivým bolo aj množstvo vody trvale odtekajúce z prieskumnej štôlne po jej prerazení. Realizácia prieskumnej štôlne v dĺžke 7,5 km tak znamenala značný zásah do horninového prostredia severozápadnej časti Lúčanskej Malej Fatry s dopadom najmä na odtokové pomery, obeh a režim podzemnej vody. Základným predpokladom hodnotenia dopadov razenia a prevádzky tunela Višňové na odtokové pomery územia je vyčlenenie infiltračnej oblasti odtekajúcich vôd, ktoré sa podieľajú na celkovom odtoku z tunela.

Kľúčové slová

Infiltračná oblasť, odtokové pomery, prieskumná štôlňa, vodné zdroje, podzemná voda

Abstract

The detailed engineering geological and hydrogeological survey of the Višňové tunnel through the exploration gallery (1998 – 2002) excavated across the Malá Fatra Mountains brought many new and interesting hydrogeological findings. In particular, the amount of groundwater drained during the excavation was surprising. No less surprising was the amount of water flowing out of the exploration gallery once the excavation works were completed. The realization of the 7,5 km long exploration gallery caused a significant interference with the rock massif environment of the north-western part of Lúčanská Malá Fatra, in the area between Višňové and Dubná Skala, with particular impact on runoff, circulation and groundwater regime. The basic prerequisite for evaluating the impacts of the development and operation of the Višňové tunnel on the outflow of the area is the delineation of the infiltration area of the waters that are involved in the total outflow from the tunnel.

Key words

Infiltration area, runoff rates, exploration tunnel, water sources, groundwater

1 CAD-ECO, a.s., Svätoplukova 28, 821 08 Bratislava, e-mail: bohynikj@cadeco.sk

2 CAD-ECO, a.s., Svätoplukova 28, 821 08 Bratislava, e-mail: coplakm@cadeco.sk

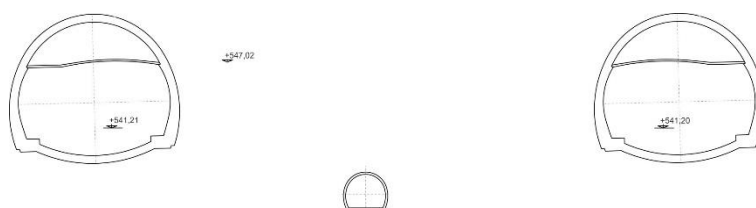
3 Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, Mlynská dolina 1, 817 04 Bratislava, e-mail: peter.malik@geology.sk

4 Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, Mlynská dolina 1, 817 04 Bratislava, e-mail: jaromir.svasta@geology.sk

1 Úvod

Diaľničný tunel Višňové je súčasťou diaľnice D1 Lietavská Lúčka – Višňové – Dubná Skala. Na severnom a severozápadnom okraji pohoria Malá Fatra, kde je vedená trasa diaľničného tunela Višňové, sú v katastrálnom území obcí Stráňavy, Višňové a Turie významné vodárensky využívané zdroje podzemných vôd. Ich priemerná sumárna výdatnosť počas razenia prieskumnej štôlne (v rokoch 1999 – 2001) bola až 155,8 l/s (Méryová in Matejček, et al. 2002).

Tunel je budovaný dvomi tunelovými rúrami - severnou tunelovou rúrou (STR) s celkovou dĺžkou 7424,9 m a južnou tunelovou rúrou (JTR) s celkovou dĺžkou 7462,0 m. Smerové vedenie tunela je upravené tak, aby osi tunelových rúr zabezpečili polohu prieskumnej štôlne približne v strede medzi oboma rúrami. Výškové vedenie je upravené tak, aby tunelové rúry boli situované nad prieskumnou štôľňou, čo zabezpečí jej drenážnu odvodňovaciu funkciu (Obr. 1). Drénovaná podzemná voda je následne odvádzaná cez východný portál do čistiarne vôd.



Obr. 1 Poloha tunelových rúr k prieskumnej štôľni v charakteristickom priečnom reze
Fig. 1 Position of tunnel tubes to the exploration gallery in the characteristic cross-section

Zdroj: Coplák, M., et al. 2018, CAD-ECO, a.s., Bratislava

V súčasnosti prebieha razenie na štyroch čelbách (dvoch z východného a dvoch zo západného portálu). Po zahájení razenia diaľničného tunela bol očakávaný vyšší priemerný odtok v porovnaní s priemerným odtokom z prieskumnej štôlne monitorovanom pred výstavbou. Priemer celkového odtoku, aj keď nie v celom roku 2016, sa zvýšil na 211,96 l/s. Pri vyrazení približne 10 km tunelových rúr priemerná hodnota celkového odtoku z tunela v roku 2017 bola až 187,08 l/s. Zvýšenie odtoku pri razení tunela znamená zvýšenie dopadu na odtokové pomery, obeh a režim podzemnej vody v území. Aj preto s odstupom 15-tich rokov po prerazení prieskumnej štôlne a zahájení razenia diaľničného tunela bolo potrebné zaoberať sa otázkou vyčlenenia oblasti ovplyvnenej drenážnym účinkom samotného tunela Višňové.

2 Stručná charakteristika prírodných pomerov

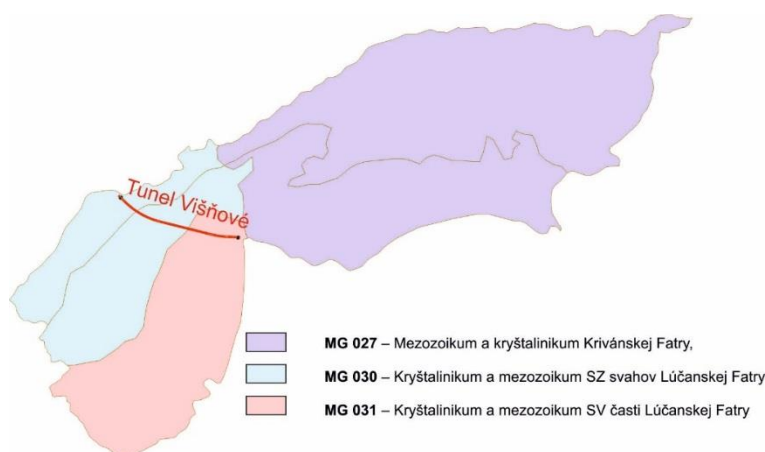
Predmetné územie s tunelom Višňové patrí do Fatransko – tatranskej oblasti, do celku Malá Fatra, podcelku Lúčanská Fatra, oddielu Lúčanské Veterné hole. Východný portál leží na rozhraní celku Turčianska kotlina, podcelku Turčianske nivy.

V trase tunela Višňové sa na geologickej stavbe podieľajú prevažne horniny kryštalinika, obalovej sekvencie mezozoika a okrajovo horniny flyšovej formácie paleogénu. Trasa tunela sa nachádza v tektonicky exponovanej časti pohoria, v blízkosti výrazného zlomového pásma, ktoré rozdeľuje pohorie na Lúčanskú a Kriváňsku časť. Na zlomovom pásme je založené antecedentné údolie Váhu. Intenzívna tektonická aktivita sa prejavila nielen na porušení kryštalinika, ale podieľa sa aj na komplikovanej stavbe príkrovových jednotiek krížňanského a chočského príkrovu, ďalej na charaktere styku nadložných jednotiek s kryštalinikom a styku pohoria ako celku s príľahlými depresiami Žilinskej a Turčianskej kotliny.

V Kryštaliniku Malej Fatry schopnosť prepúšťať a akumulovať podzemné vody závisí od priestorového rozloženia, hustoty a stupňa zvetrávania puklín tektonického porušenia masívu. **Zvodnenie je teda viazané okrem zóny zvetrávania a pripovrchového rozvoľnenia najmä na zóny intenzívneho tektonického porušenia.** Zlomy a stupeň porušenia kryštalinika podmienili vytvorenie riečnej siete a rozhodujúcim spôsobom sa podieľali na vytvorení podmienok pre obeh, prúdenie a spôsob odvodňovania podzemnej vody.

Komplex mezozoických hornín Malej Fatry (lúčanskej skupiny), tvorený karbonátmi obalovej sekvencie a karbonátmi križňanského príkrovu, budujú významnú hydrogeologickú štruktúru medzi Strečnom a Turím. Na dopĺňaní podzemných vôd sa podieľajú infiltrované atmosférické zrážky a zdrénované vody priľahlého masívu budovaného kryštalinikom. Štruktúra je odvodňovaná bariérovými prameňmi na styku s nízko zvodnenými sedimentami paleogénu. Významné odvodnenie štruktúry sa uskutočňuje prostredníctvom veľkých vyvieraciek v Turianskej, Višňovskej a Stráňavskej doline.

Podzemné vody územia medzi Višňovým a Dubnou skalou s tunelom Višňové patria v zmysle Nariadenia vlády SR č.269/2010 Z. z., prílohy č. 2 k **útvary puklinových a krasovo-puklinových podzemných vôd Malej Fatry oblasti povodia Váh, kód útvaru SK200240FK** (Obr. 2). Plocha útvaru je 406,534 km².



Obr. 2 Útvary puklinových a krasovo-puklinových podzemných vôd Malej Fatry oblasti povodia Váh (kód útvaru SK200240FK) s vyznačením hydrogeologických rajónov

Fig. 2 The unit of fracture and fracture-karst groundwater of The Mala Fatra mountain of Váh basin area (code SK200240FK) indicating the hydrogeological regions

Zdroj: Coplák, M., et al. 2018, CAD-ECO, a.s., Bratislava

Z hľadiska regionálneho hydrogeologického členenia bol útvary generovaný z troch hydrogeologických rajónov, ktoré sú v súčasnosti legislatívne vyčlenené podľa prílohy č. 1 k Vyhláske Ministerstva životného prostredia Slovenskej republiky č.242/2016 Z. z., ktorou sa ustanovujú podrobnosti o vymedzení správneho územia povodia, environmentálnych cieľoch, ekonomickej analýze a o vodnom plánovaní:

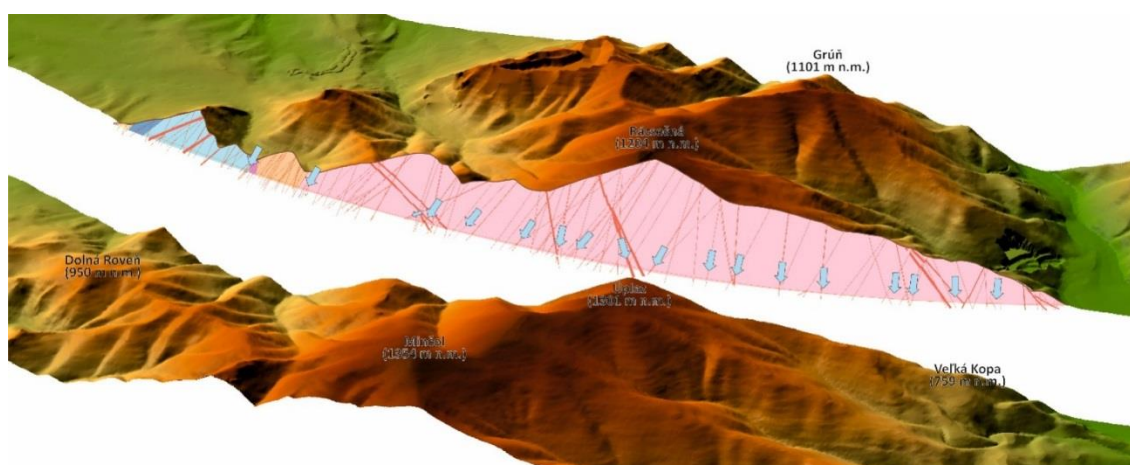
- MG 027 – Mezozoikum a kryštalinikum Krivánskej Fatry,
- MG 030 – Kryštalinikum a mezozoikum severozápadných svahov Lúčanskej Fatry,
- MG 031 – Kryštalinikum a mezozoikum severovýchodnej časti Lúčanskej Fatry.

Razením diaľničného tunela Višňové naprieč pohorím Lúčanskej Fatry sú dotknuté podzemné vody hydrogeologických rajónov MG 030 a MG 031 (Obr. 1). Rajón MG 027 je od predchádzajúcich dvoch oddelený výrazným zlomovým pásmom, na ktorom je založené hlboko

zarezané údolie rieky Váh. Za túto hranicu vplyv drenážneho účinku nezasahuje. Celková plocha dotknutých hydrogeologických rájónov MG 030 a MG 031 predstavuje 161,583 km².

3 Celkový odtok a odtok z tunela Višňové

Oblasť severnej časti Lúčanskej Malej Fatry je nositeľom významných prírodných množstiev podzemnej vody, ich prejavom sú aj vysoké odtoky podzemnej vody z prieskumnej štôlne dokumentované podrobným inžinierskogeologickým a hydrogeologickým prieskumom formou prieskumnej štôlne. Razením prieskumnej štôlne boli overené významne zvodnené zóny. Výrazné súvislé prítoky počas razenia prieskumnej štôlne boli dokumentované v horninách mezozoika v úsekoch 1 405 – 1 470 m, 1 620 – 1 670 m, 1 770 – 1 780 m (krasové s okamžitou výdatnosťou 45 l/s), 1 970 – 1 980 m, 2 160 – 2 340 m (Matejček et. al., 2002). V kryštaliniku razenom od západného portálu boli dokumentované výrazné zóny s prítokmi vody v relatívnom staničení 3 490 - 3 554 m, 3 700 - 3 776 m a 3920 - 4118 m zóny s intenzívnymi prítokmi do 20 l/s. Od východného portálu boli dokumentované prítoky v kryštaliniku o veľkosti od 20 do 105 l/s v staničení 705 – 730 m, 993 – 995 m, 1 112 – 1 130 m, 1 600 - 1 850 m, 2 414 - 2 421 m, 2 493 – 2 499 m. V staničení 2 810 – 2 895 m bol prerazený systém otvorených priečných zlomov s prítokom >100 l/s. Podobná štruktúra s prievalom vody bola v staničení 3 500 – 3 509 m a zóna v staničení 4 260 – 4 670 m. V pozdĺžnom profile (*Obr. 1*) sú schematicky priestorovo zobrazené uvedené úseky s významnými prítokmi podzemných vôd počas razenia štôlne.



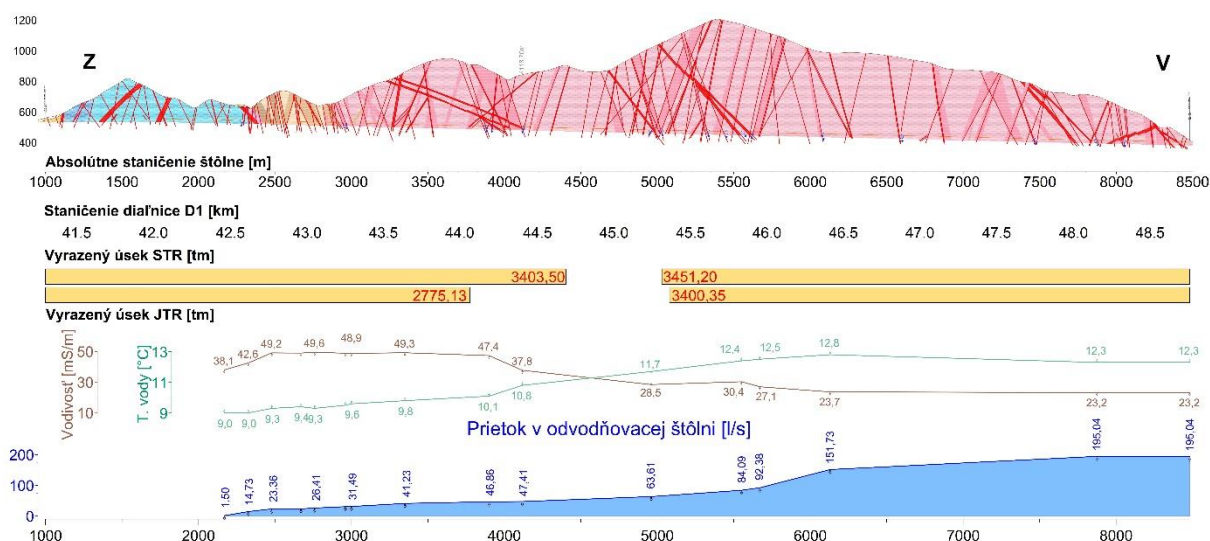
Obr. 3 Priestorové zobrazenie úsekov s výraznými prítokmi podzemných vôd počas razenia prieskumnej štôlne

Fig. 3 3D-section with significant groundwater inflows during excavation of the exploration gallery

Zdroj: Holeša, Š. 2005 in Coplák, M., et al. 2018, CAD-ECO, a.s., Bratislava

Z prírastku prietoku drénovanej vody v odvodňovacom rigole prieskumnej (odvodňovacej) štôlne v decembri 2017 (*Obr. 1*) boli identifikované úseky s aktívnymi prítokmi podzemnej vody. Prvý merateľný prítok vody bol v absolútnom staničení prieskumnej štôlne 2 169 m v komplexe vápencov a dolomitov. V mernom profile na kontakte mezozoika a kryštalinika pritekalo do prieskumnej štôlne 14,73 l/s. V úseku medzi staničeniami 2 760 – 3 350 m razenom v horninách kryštalinika s prevahou mylonitizovaných granitoidov a biotitických granitoidov bol prírastok na prietoku ďalších 14,82 l/s.

Nárast prietoku z kryštalinika bol v úseku 4 118 až 4 960 m postupný zo 47,41 l/s na 63,61 l/s. Vyšší prírastok vody až 20,47 l/s medzi 4 960 až 5 550 m bol ako dôsledok privedenia až 12,5 l/s vody z razenej južnej tunelovej rúry. Najvyšší prírastok prietoku vody v prieskumnej štólňi bol zistený v úseku 5 550 – 6 130 m, kde tunel prechádza viacerými tektonicky porušenými zónami a súčasne v úseku intenzívne prebieha výstavba severnej a južnej tunelovej rúry od východného portálu. Do prieskumnej štólne v tomto úseku bolo privedených z JTR a STR celkovo 12,9 l/s vody. Vo zvyšnom úseku po východný portál v dĺžke 2 350 m bol prírastok na prietoku v prieskumnej štólňi 43,31 l/s.



Obr. 4 Prietok drénovanej podzemnej vody v prieskumnej štólňi dňa 13.12.2017

Fig. 4 Drainage flow of groundwater in exploration gallery on 13/12/2017

Zdroj: Coplák, M., et al. 2018, CAD-ECO, a.s., Bratislava

Prekvapivým je však nárast hodnôt mernej elektrickej vodivosti od 38,1 až 49,6 mS/m (Obr. 1) v kryštaliniku do absolútneho staničenia 3 850 m, ktorá je typická v hodnotenom území pre podzemné vody mezozoika. S nárastom prítoku a mernej elektrickej vodivosti tiež vidieť relatívne nižšie hodnoty teploty vody v rozsahu 9,0 až 9,8 °C. Podľa starších výskumov v oblasti na dopĺňaní vôd mezozoika sa podieľajú vody príľahlého masívu budovaného kryštalinikom. Merania teploty vody a mernej elektrickej vodivosti však indikujú prestup vôd z mezozoika do kryštalinika v okolí prieskumnej štólne, čo pravdepodobne súvisí so zmenou hydrogeologických pomerov (najmä redukciou výšok hladín podzemnej vody) následkom vyrazenia štólne.

Na prietoku drénovanej podzemnej vody v prieskumnej (odvodňovacej) štólňi má podiel aj prítok vôd odvádzaných z aktuálne razených tunelových rúr. Z celkového odtoku 195 l/s v decembri 2017 až 29,8 % tvoril prítok z aktuálne razených tunelových rúr a to z JTR privedených 30,7 l/s a STR celkovo 27,35 l/s.



Obr. 5 Meranie prietoku v odtokovom žľabe prieskumnej štôlne a prítok vody STR
 Fig. 5 Measurement of flow in the drainage trough of the exploration gallery and water inlet STR
 Zdroj: Coplák, M., et al. 2018, CAD-ECO, a.s., Bratislava

Celkové množstvo odtečenej vody z prieskumnej štôlne je spracované na podklade 10-ročného radu meraní (Tab. 1). Podkladom pre hodnotenie množstva odtekajúcej vody počas razenia diaľničného tunela Višňové boli jednorazové merania odtoku za rok 2016 merané s frekvenciou 1x mesačne s prvým meraním od 16. 4. 2016 a merania odtoku z tunela ultrazvukovým hladinovým meraním od začiatku roku 2017.

Z prieskumnej štôlne v rokoch 2005 až 2014 ročne odtekalo 4 724 485 až 6 701 690 m³ vody. Pri priemernom odtoku 170,67 l/s za obdobie 10 rokov, t. j. od 01. 2005 do 12. 2014 odtieklo z prieskumnej štôlne sumárne 53 821 657 m³ podzemných vôd.

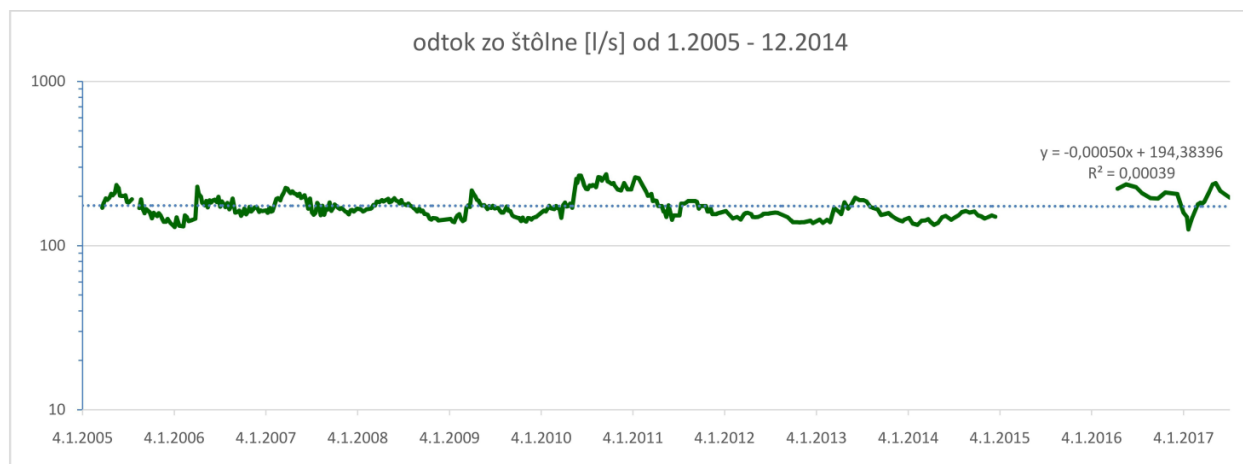
Tab. 1 Celkový evidovaný odtok z prieskumnej štôlne
 Tab. 1 Total recorded outflow from the exploration gallery

Rok	O _{min} minimálny ročný evidovaný odtok zo štôlne	O _{max} maximálny ročný evidovaný odtok zo štôlne	O _{priem} priemerný ročný odtok zo štôlne	O _{priem} priemerný ročný odtok zo štôlne	Celkové množstvo odtečenej vody zo štôlne za rok
	[l·s ⁻¹]	[l·s ⁻¹]	[l·s ⁻¹]	[m ³ ·s ⁻¹]	[m ³]
2005	137,36	233,86	173,77	0,174	5 480 097
2006	129,94	228,16	169,21	0,169	5 336 131
2007	153,14	224,72	180,09	0,180	5 679 225
2008	142,42	194,61	171,33	0,171	5 403 110
2009	138,90	216,55	161,43	0,161	5 090 869
2010	147,74	272,15	212,51	0,213	6 701 690
2011	143,59	260,55	178,70	0,179	5 635 522
2012	137,15	162,27	149,81	0,150	4 724 485
2013	137,73	195,91	161,93	0,162	5 106 673
2014	133,68	162,27	147,89	0,148	4 663 854
Priemer 2005 - 2014	129,94	260,55	170,67	0,171	5 382 166
04.-12.2016*	193,44	236,39	211,96	0,212*	5 036 191*
01.-12.2017	125,48	240,51	187,077	0,187	5 899 660

Zdroj: Coplák, M., et al. 2018, CAD-ECO, a.s., Bratislava

Na začiatku razenia oboch tunelových rúr, t.j. od roku 2015, celkový odtok nebol sledovaný. Prvé merania odtoku z tunela v etape výstavby sú až zo 16. 4. 2016. Priemer hodnôt odtoku z tunela rok 2016 je 211,96 l/s. Avšak túto hodnotu nemožno považovať za priemerný ročný odtok (v *Tab. 1* je vyznačený *). Jednak ide o jednorazové merania s frekvenciou 1x mesačne a tiež v odtoku chýba perióda s prevažne nízkym odtokom v zimnom období. Priemerná hodnota odtoku za rok 2017 tvorí odtok 187,08 l/s.

Časový priebeh celkového evidovaného odtoku z prieskumnej štôlne a tunela Višňové s naznačením jeho trendu je zobrazený na obrázku *Obr. 6*, štatisticky je vyjadrený v tabuľke *Tab. 1*. Analýzou trendu odtoku možno pozorovať veľmi mierny pokles až stabilizáciu jeho odtoku vyjadrenú rovnicou lineárneho trendu $y = -0,0005x + 194,384$, avšak s veľmi nízkou hodnotou spoľahlivosti.



Obr. 6 Celkový evidovaný odtok vody z prieskumnej štôlne

Fig. 6 Total recorded outflow from the exploration gallery

Zdroj: Coplák, M., et al. 2018, CAD-ECO, a.s., Bratislava

4 Vymedzenie infiltračnej oblasti odtoku z tunela Višňové

Základným predpokladom hodnotenia dopadov razenia a prevádzky tunela Višňové na odtokové pomery územia je vyčlenenie infiltračnej oblasti odtekajúcich vôd, ktoré sa podieľajú na celkovom odtoku z tunela. Odhad infiltračnej oblasti vôd odvádzaných tunelom Višňové bol vykonaný na základe bilančnej úvahy dotknutého územia a vyčlenenie ovplyvnenej oblasti bolo vykonané numerickým zrážkovo-odtokovým modelom širšej oblasti tunela Višňové.

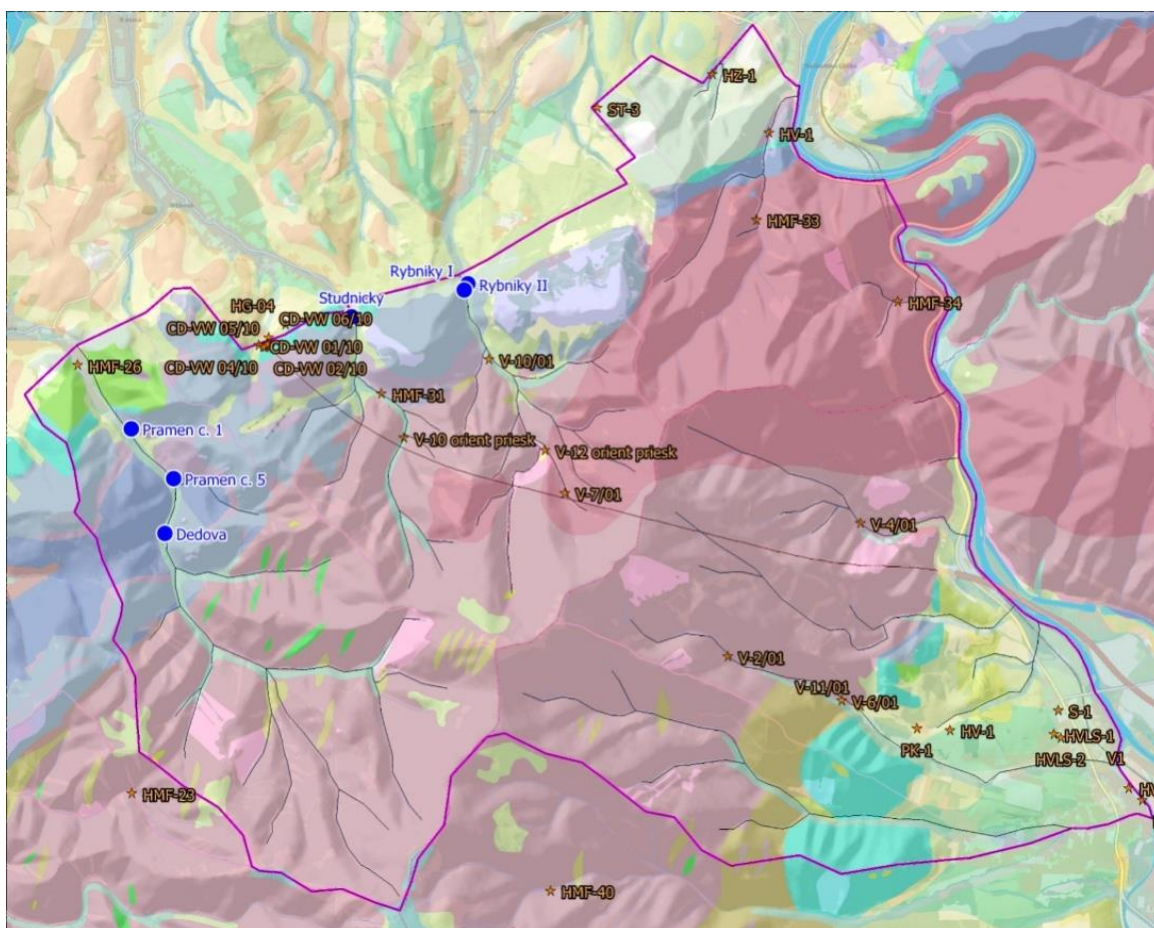
4.1 Zrážkovo - odtokový model

Overiť vplyv výstavby tunela Višňové na prúdenie podzemných vôd v masíve Lúčanskej Malej Fatry a zistenie rozsahu tlakovej depresie vyvolanej odvodnením tunelovými rúrami bolo vykonané numerickým modelovaním. Zrážkovo-odtokovým modelom bol simulovaný scenár neovplyvnených piezometrických výšok hladín podzemnej vody pred realizáciou prieskumnej štôlne a simulovaný stav po výstavbe tunela Višňové. Charakter riešeného problému vyžaduje vernú aproximáciu geologického prostredia a geometrie tunelových rúr. Prúdenie podzemnej vody do tunelových rúr resp. odvodňovacej štôlne vyvolalo extrémne zmeny piezometrickej výšky hladín podzemnej vody na relatívne malé vzdialenosti. Takéto vyvolané zmeny podmieňujú potrebu detailnej diskretizácie priestoru do výpočtovej siete v horizontálnom aj vertikálnom smere. Na modelovanie bola použitá metóda konečných prvkov a numerický kód FEFLOW (Finite

Element SubsurfaceFlow Modeling System).

Modelovanie prúdenia podzemných vôd vychádza z koncepčného šesťvrstvového modelu, ktorý je definovaný geologickými, hydrogeologickými a hydrologickými podmienkami, topografiou, využívaním krajiny a ľudskými zásahmi do hydrologického cyklu.

Rozsah územia bol volený tak, aby jeho hranice boli jasne hydrogeologicky definovateľné a aby územie zahŕňalo všetky výverý a potenciálne miesta infiltrácie podzemných vôd cirkulujúcich v okolí tunela. Modelové územie ohraničuje zo severovýchodu rieka Váh, z juhu hrebeň vedúci cez kóty Ráztoky, Krivá, Dlhá lúka, Zázrivá, Skalka, Kobylie, Ostrá a Čipčie a na severozápade tektonickým rozhraním mezozoických a terciérnych hornín pozdĺž horného okraja obcí Turie, Višňové, Straňavy a Strečno (Obr. 7).

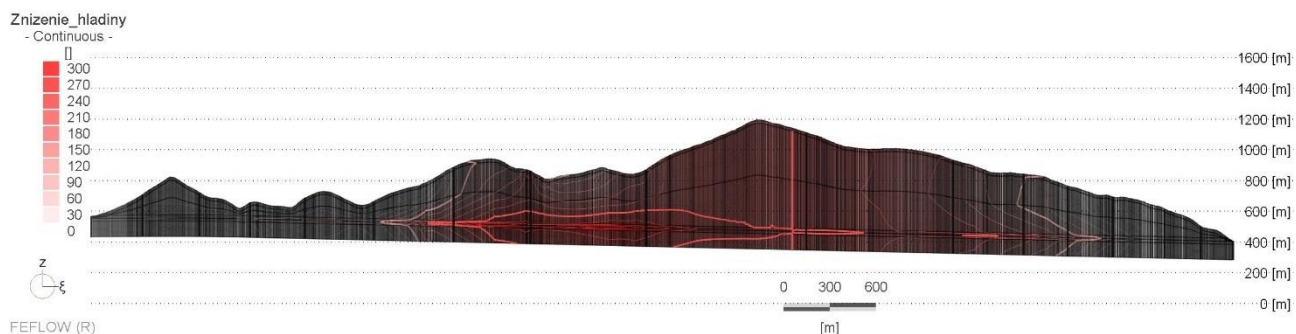


Obr. 7 Vymedzenie modelovaného územia na podklade geologickej mapy v M 1:50 000

Fig. 7 Definition of the model area based on the geological map in M 1:50 000

Zdroj: (Káčer Š., et al. 2005 in Zdroj: Holeša, Š. 2005 in Coplák, M., et al. 2018, CAD-ECO, a.s., Bratislava)

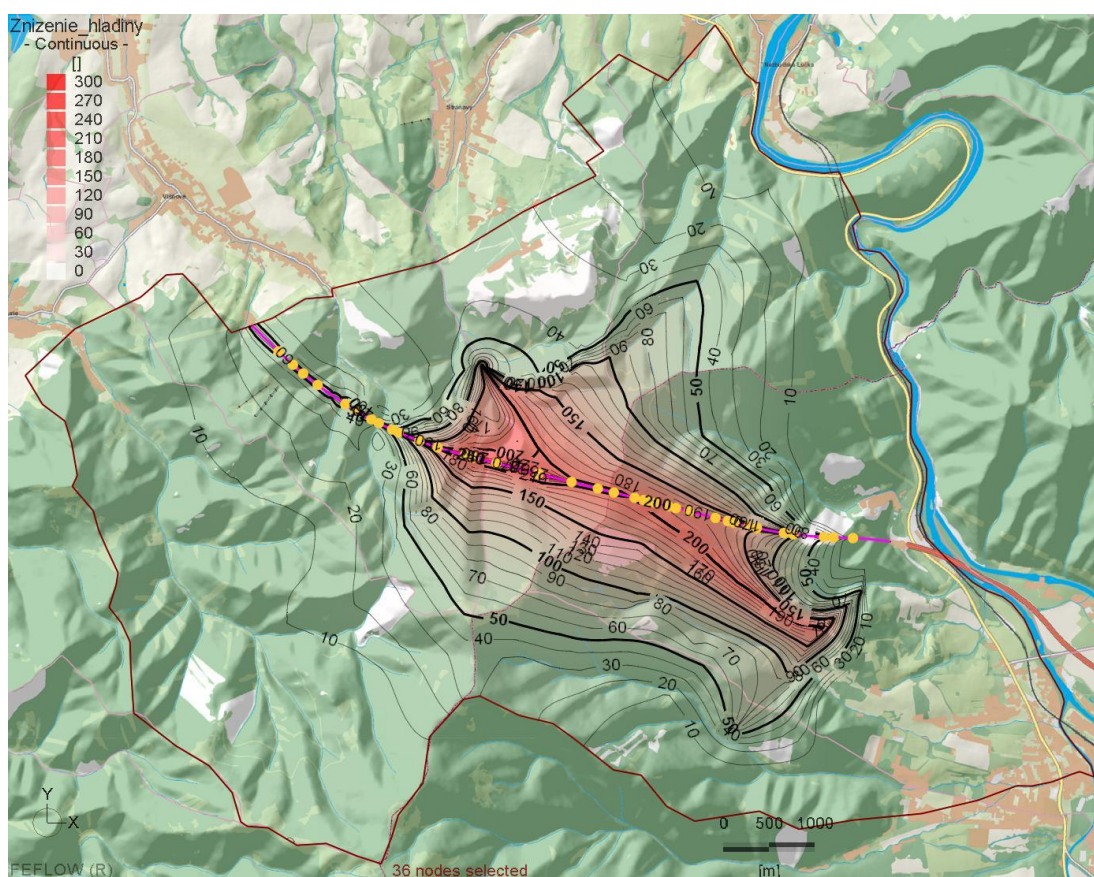
Simuláciou drenážneho vplyvu takto vyrazených tunelových rúr bolo zistené významné ovplyvnenie prúdenia podzemných vôd vo väčšej časti masívu pozdĺž tunelových rúr. Podľa výsledného modelu došlo na viacerých miestach ku zníženiu hladiny podzemnej vody miestami až k nivelete tunela, ako je zobrazené v pozdĺžnom reze na obrázku Obr. 8. Simulované piezometrické výšky hladín podzemných vôd po vyrazení tunela zobrazujú rozsah takto vyvolanej tlakovej depresie (Obr. 9).



Obr. 8 Výsledné simulované zníženie hladín podzemnej vody v priestore tunela.

Fig. 8 The resulting simulated lowering of groundwater levels in tunnel space.

Zdroj: Coplák, M., et al. 2018, CAD-ECO, a.s., Bratislava



Obr. 9 Pokles piezometrických výšok [m] vplyvom drenážneho účinku tunela.

Fig. 9 Decrease of piezometric heights [m] due to the drainage effect of the tunnel.

Zdroj: Coplák, M., et al. 2018, CAD-ECO, a.s., Bratislava

Pri simulácii vplyvu výstavby tunela na odtokové pomery územia sa v modelovom riešení v numerickej bilancii odtoku v oblasti prameňov, povrchových tokov a do tunela z časti odlišuje od doteraz reálne zistených meraní.

Modelovaním bol dosiahnutý simulovaný priemerný ročný odtok z tunela po výstavbe tunela Višňové 170,67 l/s. V aktuálnom odtoku počas výstavby tunela je priemerná hodnota za rok 187,07 l/s. Vzhľadom na to, že v aktuálnom odtoku prevažuje dynamická zložka, možno očakávať

vyššiu hodnotu odtoku z tunela ako je simulovaná hodnota odtoku modelovaním.

Priemerná výdatnosť vodného zdroja Stráňavy v prameňoch Rybníky I. II za hydrologické roky 2000 - 2017 je 66,68 l/s, simulovaná výdatnosť zdroja modelovaním pred výstavbou 62,42 l/s tak predstavuje dobrú zhodu. Menej reálna je však simulácia poklesu výdatnosti uvedeného zdroja až o 21 % (Tab. 2). **Vodný zdroj v Stráňavách patrí k skupine prameňov s hlbším obehom podzemných vôd a jeho výdatnosť nebola ovplyvnená drenážnym účinkom štólne.**

Tab. 2 Bilancia simulovaného odtoku v oblasti prameňov a povrchových tokov

Tab. 2 Balance of simulated drainage in spring area and surface streams

	Pred výstavbou štólne [l·s ⁻¹]	Po výstavbe tunela [l·s ⁻¹]	Rozdiel [l·s ⁻¹]	Pokles
Odtok z tunela	0	170,67	-170,67	
VZ Stráňavy - Rybníky pramene I. II.	62,42	49,29	13,13	21,0 %
VZ Višňové – Studničky	15,69	11,97	3,72	23,7 %
VZ Turie, Dedová a Pramene č. 1a, 5	41,44	39,24	2,20	5,3 %
Povrchové toky spolu	751,40	578,41	172,99	23,0 %

Zdroj: Coplák, M., et al. 2018, CAD-ECO, a.s., Bratislava

Priemerná výdatnosť vodného zdroja Višňové v prameni Studničky za hydrologické roky 2000 - 2002, kedy sa ešte neprejavil vplyv drenážneho účinku prieskumnej štólne, bola 14,91 l/s. Simulovaná výdatnosť zdroja modelovaním pred výstavbou 15,69 l/s tak predstavuje dobrú zhodu. Menej reálna je však simulácia poklesu výdatnosti uvedeného zdroja len o 23,7 % (Tab. 2). Podľa doterajších výsledkov bilancie sa priemerná výdatnosť zdroja za hydrologické roky 2004 - 2017 po prejavení drenážneho účinku prieskumnej štólne znížila približne o 54,9 %.

V každom numerickom modeli sú inherentne zakomponované mnohé neurčitosti, vyplývajúce z konceptualizácie problému a najmä z variability vlastností prírodného prostredia. V modelovanej oblasti tunela Višňové sa stretávame s mimoriadne podrobnými informáciami o geologickej a tektonickej stavbe, prítokoch podzemnej vody do prieskumnej štólne počas jej razenia. Tieto informácie sú však v úzkej línii samotného tunela Višňové získanými realizáciou podrobného inžinierskogeologického prieskumu formou prieskumnej štólne v rokoch 1998 - 2002. So zväčšujúcou sa vzdialenosťou v priestore od tunela sme boli odkázaní len na štruktúrno-tektonickú schému vyplývajúcu z poznania regionálnej geologickej a tektonickej stavby širšieho územia. Výsledky modelovania je tak možné považovať za teoretické a je potrebná ich verifikácia.

4.2 Vodná bilancia oblasti Tunela Višňové

Podzemné vody predstavujú dynamickú zložku abiotického prostredia a zmeny ich množstva a kvality v čase podliehajú mnohým vplyvom prirodzeného sezónneho cyklu kolobehu vôd v rámci hydrologického roka, ale aj antropogénnym vplyvom, ktoré v našom prípade predstavuje mohutný drenážny prvok – tunel Višňové – Dubná Skala.

Pravdepodobná infiltračná oblasť podzemných vôd drénovaných tunelom Višňové v časti Lúčanskej Malej Fatry bola odhadnutá s plochou 16,379 km² s priemernou nadmorskou výškou 847,5 m n.m. Pre uvedenú oblasť bola odvodená veľkosť dlhodobých priemerných ročných zrážok 929,9 mm a veľkosť priemernej ročnej teploty 5,15 °C.

Jedným zo základných problémov pri vyčlenení veľkosti územia, ovplyvneného drenážnym účinkom tunela, je súčasný odhad množstva infiltrovaných zrážok. Pri výpočte priemernej reálnej evapotranspirácie podľa Thornthwaita s mesačným krokom hodnotenia a pri porovnávaní vzťahov

medzi priemernými mesačnými zrážkovými úhrnmi za roky 2000 - 2017, mesačnými hodnotami potenciálnej evapotranspirácie a potenciálnymi zásobami pôdnej vody (danej pôdnou retenčnou kapacitou v mm) bola pre túto oblasť stanovená priemerná veľkosť potenciálnej evapotranspirácie 596,0 mm a veľkosť reálnej evapotranspirácie 592,7 mm. Zvyšková hodnota neodparených zrážok (veľkosť efektívnych zrážok) bola 446,9 mm a vo vyjadrení v jednotkách odtoku $16,74 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ (Tab. 3). V prípade ak by všetky tieto neodparené zrážky infiltrovali do horninového prostredia by sa dal z danej uvažovanej plochy $16,379 \text{ km}^2$ očakávať priemerný odtok okolo $274 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ (Tab. 3). Toto množstvo je však len teoretické, hodnotená oblasť bola zvolená po oboch stranách plánovanej tunelovej rúry tak, aby rovnomerne pokryla príslušnú plochu Lúčanskej Malej Fatry, pričom nezohľadňuje rozdielne drenážne účinky dôležitých diskontinuit horninového masívu, ktoré privádzajú vodu do tunela.

Tab. 3 Výpočet efektívnych zrážok v infiltračnej ploche tunela Višňové.

Tab. 3 Calculation of effective precipitation in the infiltration area of the Višňové tunnel.

rok	t _{vzduchu} teplota vzduchu [°C]	Z zrážky [mm]	E _p potenciálna evapotransp irácia [mm]	E _r reálna evapotran spirácia [mm]	Z _E vypočítané efektívne zrážky [mm]	Z _E vypočítané efektívne zrážky [l·s ⁻¹ ·km ⁻²]	Z _E vypočítané efektívne zrážky infiltr. plochy [m ³]	odhad celkového priemerného odtoku z infiltr. plochy [l·s ⁻¹]
2000	6,4	1084	588,9	588,9	495,8	15,72	8 121 385	257,5
2001	6,8	1199	590,4	590,4	607,5	19,27	9 950 799	315,5
2002	6,1	1287	594,9	594,9	691,7	21,93	11 329 166	359,2
2003	6,0	1051	597,3	597,3	454,2	14,40	7 438 770	235,9
2004	5,8	1066	565,0	565,0	501,5	15,90	8 213 946	260,5
2005	5,4	1119	565,0	565,0	553,5	17,55	9 065 238	287,5
2006	5,0	1067	571,3	571,3	527,4	16,72	8 638 594	273,9
2007	7,6	1200	609,6	609,6	558,9	17,72	9 154 030	290,3
2008	6,4	1032	576,1	576,1	456,1	14,46	7 470 260	236,9
2009	6,6	1088	593,4	593,4	494,2	15,67	8 094 359	256,7
2010	5,8	1424	571,7	571,7	852,3	27,03	13 960 403	442,7
2011	6,4	1016	605,3	605,3	425,1	13,48	6 963 032	220,8
2012	6,4	1015	605,7	605,7	395,4	12,54	6 476 000	205,4
2013	6,7	1023	606,9	581,4	441,2	13,99	7 226 907	229,2
2014	7,9	1201	622,7	622,7	578,4	18,34	9 472 901	300,4
2015	7,8	992	626,5	593,1	434,3	13,77	7 113 958	225,6
2016	7,5	1171	619,6	619,6	515,9	16,36	8 449 310	267,9
2017	6,6	1139	617,9	617,9	520,7	16,51	8 527 798	270,4
2000 - 2017	6,2	1121	596,0	592,7	528,0	16,74	8 648 159	274,2

Zdroj: Coplák, M., et al. 2018, CAD-ECO, a.s., Bratislava

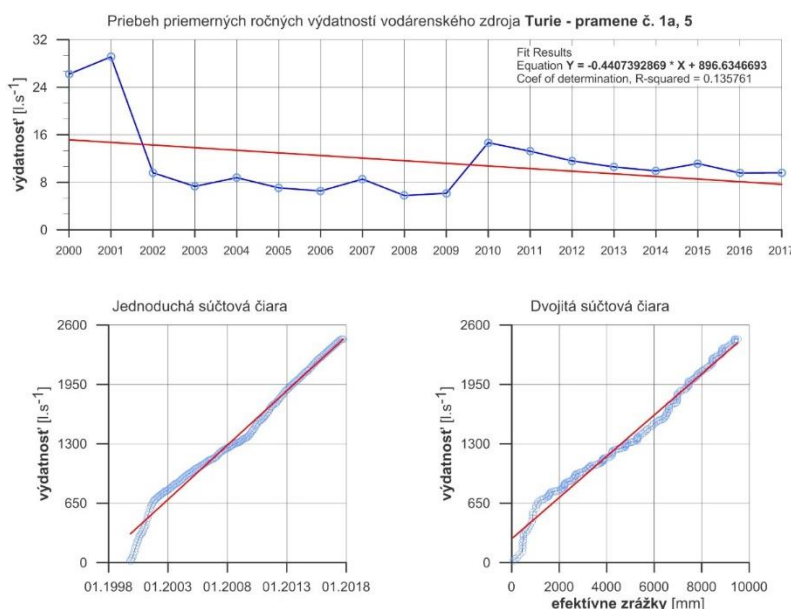
Po vyrazení prieskumnej štôlne odhadovali Malík P., Coplák M. (2005) rozsah infiltračnej oblasti tunela pri zohľadnení odhadu veľkosti odtekajúcich statických zásob podzemnej vody v masíve. Pri veľmi vysokých hodnotách poklesu hladiny podzemných vôd v masíve Δh a koeficienta zásobnosti S (poklesu až o 230 m a veľkosti koeficienta zásobnosti $0,04 = 4\%$) predpokladali podiel odtečených statických zásob na celkovom množstve 78 % (cca $18,4 \text{ mil. m}^3$) a následne dostaneme šírku ovplyvnenej oblasti b cca 500 m, keď by sa sumárna veľkosť odtoku z tunela mala ustáliť na množstve 70 až $80 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$. Pri nízkych hodnotách Δh a S (poklesu hladín o cca

30 m a veľkosti koeficienta zásobnosti 0,002 = 0,2 %) bol odhad šírky ovplyvnenej oblasti b o veľkosti cca 2200 m a teoretický podiel odtečených statických zásob na celkovom množstve len 4 % (cca 0,88 mil. m³). Pri tejto druhej možnosti sa mala sumárna veľkosť odtoku z tunela po niekoľkých rokoch ustáliť na hodnote 250 až 300 l·s⁻¹. V súčasnosti odtekajúce množstvo je viacmenej ustálené na hodnote ~180 l·s⁻¹, t.j. hodnote bližšej k druhému variantu úvahy, teda sa prikláňa k nižšiemu podielu statických zásob na odtoku v počiatkovej fáze razenia tunela a vyššej účasti dynamickej zložky priebežne sa formujúcich podzemných vôd v oblasti.

4.3 Vplyv drenážnych účinkov tunela na podzemné vody v oblasti

Pre zhodnotenie dlhodobých drenážnych účinkov tunela Višňové bolo potrebné vykonať analýzu dostatočne dlho a kontinuálne pozorovaných údajov o výdatnostiach, resp. hladinách podzemnej vody v skúmanej oblasti, ako aj v jej širšom okolí, ktoré už nemôže byť zasiahnuté vplyvom drenáže infiltračnej oblasti vôd odvádzaných tunelom. Hodnotenie bolo vykonané graficko-štatistickou analýzou jednoduchých a dvojítých súčtových čiar dostatočných radov údajov z pozorovaných objektov v sieti SHMÚ a vodárensky využívaných prameňoch v oblasti.

Pri vodárensky využívaných prameňoch v oblasti žiaľ neboli k dispozícii kompletne údaje pokrývajúce homogénnymi meraniami celé obdobie rokov 2000 - 2017, priebeh priemerných mesačných výdatností teda musel byť vo viacerých prípadoch interpolovaný a priebeh jednoduchých súčtových čiar má preto nižšiu výpovednú schopnosť. Príklad graficko-štatistickej analýzy výdatnosti prameňa je uvedený na obrázku (Obr. 10).



Obr. 3 Graficko-štatistická analýza výdatností vodárenského zdroja Turie, pramene č. 1a a 5.
Fig. 10 Graphic-statistical analysis of the yield of water source Turie, source Nos. 1a and 5.

Zdroj: Coplák, M., et al. 2018, CAD-ECO, a. s., Bratislava

Z výsledkov graficko-štatistickej analýzy prameňov možno konštatovať, že pre pramene Rybníky I. a Rybníky II. v obci Stráňavy zaznamenávame ustálený trend bez zjavného ovplyvnenia. Podobne je tomu v prípade prameňa Dedová v obci Turie, kde po decembri 2013 dokonca zaznamenávame zmenu trendu vývoja jeho výdatnosti spojenú s jej nárastom. Ide o skupinu prameňov s hlbším obehom podzemných vôd, ktorá nebola ovplyvnená drenážnym

účinkom tunela a má aj pomalšiu reakciu na priebeh efektívnych zrážok v oblasti.

Prameň Studničky vo Višňovom síce vykazuje celkový pokles hodnôt výdatnosti, tento sa však počas hodnoteného obdobia odohral (podľa dostupných údajov) v období medzi rokmi 2003 a 2010, kedy bol prerušený miernym nárastom a výdatnosť začala znova poklesávať cca v období po auguste 2015. Spoločná výdatnosť vodárensky využívaných prameňov Turie 1a a 5 sa výrazne zmenila približne v októbri 2001 a odvtedy si prameň udržiava ustálenú, i keď menšiu výdatnosť. Vodárensky využívané pramene Turie 1a a 5 a pram. Studničky vo Višňovom však nemajú obeh podzemných vôd viazaný na plytkú zónu pripovrchového rozvoľnenia typickú pre pramene z kryštalinika, tieto vodárenské zdroje sú viazané na triasové karbonáty, kde je zvyčajný oveľa hlbší obeh podzemných vôd. Zmeny ich výdatnosti v období hydrologických rokov 2000 až 2017 možno dávať do súvisu s drenážnym účinkom prieskumnej štôlne tunela Višňové.

Z výsledku-graficko-štatistickej analýzy je zrejmé, že tento účinok už v čase vyznel a zmeny na prameňoch sú stabilizované, účinok drenáže nových statických zásob a rozširovanie infiltračnej oblasti novobudovaných tunelových rúr po roku 2015 nie je na grafe (*Obr. 3*) viditeľný.

5 Záver

Posúdenie vplyvu výstavby tunela Višňové na režim vôd v širšej oblasti tunela Višňové bolo vypracované na základe bilančnej úvahy dotknutého územia, porovnaním referenčných meraní výdatnosti prameňov pozorovaných zaručene neovplyvnených drenážnym účinkom tunela v širokej oblasti. Odhad dopadov výstavby tunela Višňové a plošné vyčlenenie pravdepodobnej ovplyvnenej oblasti bol porovnané numerickým zrážkovo-odtokovým modelom širšej oblasti tunela Višňové.

Pravdepodobnú infiltračnú oblasť podzemných vôd drénovaných tunelom Višňové tvorí plocha 16,379 km². Na celkovom súčasnom odtoku z prieskumnej štôlne dominuje dynamická odtoková zložka, vidno tu silnú reakciu na sezónnosť tvorby efektívnych zrážok a zároveň je tu pozorovateľné ustáľovanie sa, resp. prispôsobovanie sa odtoku efektívnym zrážkam od roku 2006. Drenáž statických zásob od začiatku výstavby tunela, t.j. po roku 2015, je zatiaľ pozorovateľná len v minimálnej miere a zmena veľkosti doteraz tunelom drénovanej oblasti sa podľa analyzovaných údajov zatiaľ ukazuje ako nie príliš veľká.

Vodárensky využívané pramene Rybníky I. a Rybníky II. v Stráňavách a Dedová v Turí sa vyznačujú hlbším obehom podzemných vôd, ich výdatnosť podľa analýzy dostupných meraní nebola ovplyvnená drenážnym účinkom prieskumnej štôlne ani výstavbou tunela Višňové. Vodárensky využívané pramene Turie 1a a 5 a pram. Studničky vo Višňovom sú viazané na triasové karbonáty. Zmenu ich výdatnosti v období po hydrologickom roku 2002 možno dávať do súvisu s drenážnym účinkom prieskumnej štôlne. Zmeny na prameňoch Turie 1a a 5 a pram. Studničky vo Višňovom sú stabilizované, účinok drenáže nových statických zásob a rozširovanie infiltračnej oblasti novobudovaných tunelových rúr po roku 2015 nie je podľa analýzy dostupných údajov viditeľný.

Literatúra

Coplák, M., - Bohyník, J., - Holeša, Š., - Kuvik, M., - Žabková, E., 2018: Diaľnica D1 Lietavská Lúčka – Višňové – Dubná Skala, Hydrogeologické zhodnotenie vplyvu výstavby, expertné posúdenie, Odborný geologický posudok, CAD-ECO, a.s., Bratislava

Holeša, Š., 2005: Využitie GIS-u pri hodnotení a prezentácii inžinierskogeologických pomerov prieskumnej štôlne Višňové, Rigorózna práca, KIG PRiF Univerzita Komenského, Bratislava

Malík, P., Coplák, M. 2005: Rozsah infiltračnej oblasti tunela Višňové. Zborník 13. slovenskej hydrogeologickej konferencie "Človek a voda", Brusno 26.-28.10.2005, ISBN 80-969342-1-X, s. 69-73

Matejček, A., Bohyník, J., Hyčko, M., 2002: Diaľnica D1 Višňové – Martin, podrobný inžinierskogeologický a hydrogeologický prieskum formou prieskumnej štôlne pre tunel Višňové, GEO-Višňové, INGEO-ighp, s.r.o. Žilina, GEOFOS s.r.o., Žilina, GEOEXPERTS s.r.o., Žilina