

Geologické oprávnenie na vykonávanie geologických prác vydané
MŽP SR - č. zápisu v registri geologických oprávnení 2179

ZÁVEREČNÁ SPRÁVA

Názov úlohy:**Diaľnica D1 Turany – Hubová – Monitoring povrchových
a podzemných vôd do 12/2021****Názov a kód okresu:**Turany (IČÚTJ - 865788), Krpeľany (IČÚTJ - 829412),
Ratkovo (IČÚTJ - 851574), Kraľovany (IČÚTJ - 828220),
Stankovany (IČÚTJ - 857823), Švošov (IČÚTJ - 862444),
Ľubochňa (IČÚTJ - 833509), Hubová (IČÚTJ - 820075)**Názov a kód katastrálneho
územia:**

Martin (506), Dolný Kubín (503), Ružomberok (508)

Objednávateľ:**DOPRAVOPROJEKT, a.s.**Kominárska 2,4
831 04 Bratislava**Obstarávateľ:****Národná diaľničná spoločnosť, a.s.**Dúbravská cesta 14
841 04 Bratislava**Zhotoviteľ:****DPP Žilina s. r. o.**Kominárska 2,4
831 04 Bratislava - mestská časť Nové Mesto
Prevádzka Žilina, Legionárska 8203, 010 01 Žilina**Číslo úlohy zhotoviteľa:****143-2/2021****Zodpovedný riešiteľ úlohy:****Mgr. Daniela Sklenárová****Riešitelia čiastkových úloh:****- hydrogeológia**Mgr. David Heglas
Mgr. Miroslav Chovanec
Mgr. Miroslav Otruba
RNDr. Ľubomír Banský, PhD.
Ol'ga Andrisková, Michal Vlček**- grafické práce****Dátum vyhotovenia:****marec 2022****Podpis štatutárneho orgánu
zhotoviteľa/pečiatka zhotoviteľa:****DPP Žilina, s.r.o.**
Kominárska 2, 4
831 04 Bratislava
IČO: 50 391 248Mgr. Daniela Sklenárová
konateľ spoločnosti

OBSAH

1.	ÚVOD	3
2.	ROZSAH POSKYTNUTÝCH PODKLADOV	3
3.	ZÁKLADNÉ ÚDAJE O STAVBE	3
4.	CHARAKTERISTIKA PRÍRODNÝCH POMEROV	4
5.	GEOLOGICKÁ STAVBA ÚZEMIA A HYDROGEOLOGICKÉ POMERY ÚZEMIA	5
6.	METODIKA REALIZOVANÝCH PRÁČ	9
7.	VÝSLEDKY HYDROGEOLOGICKÝCH MERANÍ	12
7.1	Tunel Korbeľka	12
7.2	Tunel Havran	37
8.	ZÁVER	52
	ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY	53

ZOZNAM PRÍLOH:

Príloha č. 1.1	: Situácia geologických diel km 0,000 - 9,000 a vysvetlivky; M=1:5 000
Príloha č. 1.2	: Situácia geologických diel km 9,000 - KÚ a vysvetlivky; M=1:5 000
Príloha č. 1.3	: Situácia geologických diel km, Kľačiansky zosuv a vysvetlivky; M=1:5 000
Príloha č. 2	: Údaje o výdatnosti vodných zdrojov
Príloha č. 3	: Protokoly o skúške vôd
Príloha č. 4	: Priebeh teploty vody a hladiny podzemnej vody vo vrtoch P-1 až P-4, VZ-1 až VZ-5 - grafy
Príloha č. 5	: Hydrologická bilancia – tunel Korbeľka
Príloha č. 6	: Hydraulický model prúdenia podzemných vôd – tunel Korbeľka
Príloha č. 7	: Úroveň hladiny podzemnej vody v pozdĺžnom profile tunela Korbeľka a vysvetlivky, mierka 1:5 000.
Príloha č. 8	: Hydrologická bilancia – tunel Havran
Príloha č. 9	: Hydraulický model prúdenia podzemných vôd – tunel Havran
Príloha č. 10	: Úroveň hladiny podzemnej vody v pozdĺžnom profile tunela Havran a vysvetlivky, mierka 1:5 000.
Príloha č. 11	: CD – dáta z kontinuálnych snímačov HPV a z uzatvorených systémov piezometrov

1. ÚVOD

Záverečná správa z úlohy Monitoring povrchových a podzemných vôd do 12/2022 pre stavbu „Diaľnica D1 Turany - Hubová“ je vypracovaná na základe objednávky firmy DOPRAVOPROJEKT, a. s., Kominárska 2,4, 832 03 Bratislava.

Geologická úloha je zameraná na vyhodnotenie meracích prác realizovaných na monitorovacích objektoch, ktoré boli realizované v predchádzajúcich etapách prieskumov. Ide o merania hladín podzemných vôd, merania uzatvorených systémov piezometrov, merania výdatností povrchových tokov, merania výdatností jestvujúcich odvodňovacích vrtov, úplný rozbor pitnej vody z vodných zdrojov, spracovanie hydrologickej bilancie podzemných vôd pre tunel Korbeľka a Havran ako aj hydraulického modelu prúdenia podzemných vôd pre tunel Korbeľka a Havran.

Cieľom monitoringu bolo sledovať základný stav hladiny podzemných vôd v záujmovom území s významnou tvorbou, akumuláciou a vývermi podzemných vôd hydrogeologickej štruktúry Kopa s navrhovaným tunelom Korbeľka a štruktúry Havran s tunelom Havran. Výsledky meraní monitorujú neovplyvnený stav územia pred samotnou výstavbou trasy diaľnice v danom úseku.

Úloha je u zhotoviteľa geologických prác, spoločnosti DPP Žilina s.r.o., zaregistrovaná pod číslom 143-2/2021.

2. ROZSAH POSKYTNUTÝCH PODKLADOV

K vypracovaniu záverečnej správy z úlohy Monitoring povrchových a podzemných vôd do 12/2022 oobjednávateľ poskytol v digitálnej forme:

- polohopisnú a výškopisnú situáciu záujmového územia,
- pozdĺžny profil osou diaľnice D1 Turany - Hubová a tunelov Korbeľka a Havran
- výsledky orientačného a podrobného inžinierskegeologického prieskumu (Grenčíková a kol., 2009; Kuvik a kol., 2014, Grenčíková a kol., 2019) ako aj iné prieskumy uvedené v literatúre
- sprievodná správa k porovnávacej štúdii diaľnice D1 Turany – Hubová
- záverečné stanovisko MŽP SR o posudzovaní vplyvov na životné prostredie.

3. ZÁKLADNÉ ÚDAJE O STAVBE

Diaľnica D1 Turany - Hubová začína v katastrálnom území mesta Turany na úseku prevádzkovej diaľnice D1 Dubná Skala – Turany, v križovatke „Turany 2“. Trasa diaľnice D1 pokračuje údolím Váhu po poľnohospodárskych pozemkoch medzi starým korytom Váhu a Krpeľanským kanálom, neskôr križuje koryto rieky Váh a jestvujúcu cestu III/2131 do Nolčova. Následne z údolia Váhu vchádza trasa diaľnice D1 do dvoch za sebou idúcich tunelov Korbeľka a Havran. Tunel Korbeľka je vedený popod masív Kopy a tunel Havran popod rovnomenný masív. Medzi uvedenými tunelmi je krátky úsek diaľnice nad údolím Váhu v katastri obce Stankovany (medzi Stankovanmi a Ľubochňou). Tunel Havran je vyústený za juhovýchodným okrajom obce Švošov, kde je časť diaľnice vedená po poľnohospodárskych pozemkoch. Diaľnica D1 potom tretíkrát križuje koridor rieky Váh a napája sa na nadväzujúci úsek D1 Hubová - Ivachnová v križovatke Hubová. V koncovom úseku diaľnice D1 Turany – Hubová je v dostupnej vzdialenosti od križovatky Hubová navrhnuté Stredisko správy a údržby Švošov, sprístupnené novým mostom ponad rieku Váh.

Stavebné objekty:

Tunel Korbeľka - Stavebná časť:

- 401-10 Západný portál,
- 401-11 Východný portál,
- 401-20 Hĺbený ľavý - pravý tunel, západný portál,
- 401-21 Hĺbený ľavý - pravý tunel, východný portál,
- 401-30 Razený tunel - ľavá tunelová rúra,
- 401-31 Razený tunel - pravá tunelová rúra,
- 401-32 Priečne prepojenia.

Tunel Havran - Stavebná časť:

- 451-10 Západný portál,
- 451-11 Východný portál,
- 451-20 Hĺbený ľavý - pravý tunel, západný portál,
- 451-21 Hĺbený ľavý - pravý tunel, východný portál,

451-30 Razený tunel - ľavá tunelová rúra,
451-31 Razený tunel - pravá tunelová rúra,
451-32 Priečne prepojenia.

Stavebník:

Názov : Národná diaľničná spoločnosť, a.s.,
Adresa : Dúbravská cesta 14, 841 04 Bratislava

Nadriadený orgán

: Ministerstvo dopravy, výstavby a regionálneho rozvoja
Slovenskej republiky,
Námestie slobody č.6 , 810 05 Bratislava.

Identifikačné údaje

Stavba :
Názov stavby : Diaľnica D1 Turany – Hubová.
Kraj : Žilinský.
Okres : Martin (506), Dolný Kubín (503), Ružomberok (508).

Zoznam dotknutých katastrálnych území:

Katastrálne územie:	IČZÚJ	IČÚTJ
Turany	512486	865788
Krpeľany	512389	829412
Ratkovo	512541	851574
Kraľovany	509744	828220
Stankovany	511030	857823
Švošov	511064	862444
Ľubochňa	510807	833509
Hubová	510441	820075

4. CHARAKTERISTIKA PRÍRODNÝCH POMEROV

Podľa regionálneho geomorfologického členenia (Mazúr, Lukniš, 1980) záujmové územie patrí do Alpsko-himalájskej sústavy, podsústavy Karpaty, provincie Západné Karpaty, subprovincie Vnútorne Západné Karpaty, oblasti Fatransko-tatranskej, celku Veľká Fatra, podcelku Šípska Fatra a Lysec. Hlavnými exogénnymi činiteľmi, ktoré sa uplatnili pri formovaní reliéfu je eróznio-akumulačná činnosť. Súčasný reliéf je výsledkom prevažne erózívnej činnosti. Hlavným eróziívnym činiteľom bol Váh.

Hlavným činiteľom, ktorý ovplyvňoval vývoj územia v nedávnej geologickej minulosti, bol tok rieky Váh v súčinnosti s tektonickými procesmi - výzdvihom okolitých pohorí a poklesávaním výplne kotliny. Smer toku Váhu je najvýznamnejšie ovplyvnený tektonickým porušením a geologickou stavbou okolitých horstiev, kde rieka sledovala najoslabenejšie časti masívu. Riečna činnosť - najmä bočná a hĺbková erózia a akumulácia - spôsobovala vznik epigenetických meandrov (najmä v neogéne a kvartéri). Výsledkom tejto činnosti je údolie s hlboko zarezaným vodným tokom s pomerne strmými svahmi. Podrezávaním svahov eróznou činnosťou rieky dochádza k vzniku svahových deformácií vo forme zosunov i blokových deformácií. Pri vyústeniach bočných prítokov Váhu do hlavnej doliny vznikli prolúviálne kužele rozličného rozsahu. Najvýraznejším je prolúvium pri vyústení Hubovskej doliny

Podľa staršej klimatologickej klasifikácie (Quitt, 1970) údolie Váhu patrí do oblasti mierne teplej označenej indexom MT1, MT3 a MT5. Vyššie položené hornatiny sú zaradené do klimatickej oblasti CH5. Klimatické pomery sú podmienené kotlinovým charakterom územia v Turčianskej kotline a vysokohorským charakterom Veľkej Fatry

Ročný zrážkový úhrn v tejto oblasti je 800 – 1 000 mm zrážok, vrcholové partie príľahlých horstiev však zaznamenajú ročné úhrny zrážok až 1 600 mm.

V zmysle novej klimatologickej klasifikácie (Lukniš - Konček, 1982) patrí územie do oblasti mierne teplej až chladnej, okrsku studeného horského veľmi vlhkého resp. do okrsku mierne chladného veľmi vlhkého. Najteplejší mesiac je júl s priemernou teplotou 13 – 17°C, najchladnejší mesiac je január s priemernou teplotou -3 až -6°C. Podľa údajov zrážkomernej stanice Ružomberok priemerný úhrn zrážok za obdobie 1951 – 1980 dosiahol 802,9 mm. Maximálna priemerná ročná hodnota zrážkového úhrnu bola v území 951,5 mm a minimálna 618,8 mm. Prevládajúce množstvo zrážok spadne v teplom polroku (IV-IX) 502,9 mm, v zimnom polroku (X-III) 300,0 mm.

V oblasti západného portálu tunela Korbeľka patrí územie do okrsku dolinového, mierne teplého a vlhkého s chladnou alebo studenou zimou, s teplotou v januári pod -3°C. Podľa klimaticko-geografických typov klímy študovanej oblasti považujeme za kotlinový, mierne teplý s veľkou intenzitou teplôt, s

priemernou teplotou v januári $-2,5^{\circ}\text{C}$ do $-5,0^{\circ}\text{C}$ a v júli $17,0 - 18,5^{\circ}\text{C}$. Priemerné ročné zrážky sa pohybujú od 600 - 800 mm.

Z hľadiska seizmicity v zmysle platnej STN 73 0036 (STN EN 1998-1 Navrhovanie konštrukcií na seizmickú odolnosť) záujmové územie leží v oblasti seizmického ohrozenia s referenčným špičkovým seizmickým zrýchlením $a_g^R = 0,63 \text{ m.s}^{-2}$. Geologické podložie stavieb je možné zaradiť v oblasti skalných svahov a v trase tunela do kategórie A. Podložie reprezentované stredne uľahnutými štrkami, suťami, pieskami a ílmi na prevažne skalnom podloží (oblasti aluviálnej nivy) možno zaradiť do kategórie E. Predpokladá sa, že najintenzívnejšie účinky sa prejavujú vo zvodených náplavoch, v blízkosti zlomov a v nestabilných svahoch, ako aj na svahoch, ktoré sú na hranici rovnovážneho stavu

V súlade s STN 73 6114 (Vozovky pozemných komunikácií - Základné ustanovenia pre navrhovanie) je stanovená hĺbka premŕzania $h_{pr} = 0,05 \sqrt{600} = 1,22 \text{ m}$, pričom v zmysle STN 73 6114 je mrazový index záujmového územia $I_{m,n} = 600$ pre I. triedu dopravného zaťaženia (s periodicitou $n = 0,1$).

5. GEOLOGICKÁ STAVBA ÚZEMIA A HYDROGEOLOGICKÉ POMERY ÚZEMIA

V zmysle regionálneho členenia (Mahel' et al., 1967) je širšie územie v okolí trasy diaľnice D1 Turany – Hubová budované horninami geotektonickej jednotky Centrálne západné Karpaty. Trasa diaľnice prechádza čiastočne Turčianskou kotlinou a z väčšej časti masívom Veľkej Fatry.

Výplň Turčianskej kotliny je v tejto oblasti budovaná horninami **centrálnokarpatského paleogénu**. V tomto geologickom komplexe možno vyčleniť nasledujúce súvrstvia:

- **borovské súvrstvie** - bazálna transgresívna litofácia (stredný až vrchný eocén) je zložená z karbonátových brekcií, zlepcov a pieskovcov, prítomné sú aj organodetritické a organogénne vápence.
- **hutianske súvrstvie** - ílovcová litofácia (vrchný eocén - priabón) je zložená z premenlivo vápnitých sivých ílovcov, s ojedinelými lavicami pieskovcov, siltovcov, drobnozrnných zlepcov a šošovkovitých polôh paleokarbonátov, dosahujúcich hrúbku 10 – 25 cm.

Veľká Fatra je výrazný horský masív severo-južného smeru a ju budujú horniny tatrika, veporika a hronika.

Tatrikum – šiprúňska sekvencia

V oblasti južne od Ľubochne a Hubovej sa vyskytujú horniny šiprúňskej sekvencie a to členy jurského a kriedového veku. Predstavujú najspodnejšiu časť celého geologického komplexu v tomto území. Tieto horniny nebudú zastihnuté v trase navrhovaného tunela Korbeľka.

Veporikum – krížňanský príkrov

Je v skúmanom území zastúpené najrozsiahlejšie. Z hľadiska litológie je komplex budovaný rozličnými typmi karbonatických a klastických hornín jury, kriedy a triasu (dolomity, vápence, bridlice, pieskovce).

Medzi súvrstvia, ktoré sa vyskytujú v skúmanom území, patria:

- **porubské súvrstvie** (alb - cenoman) – ide o súvrstvie ílovitých bridlíc, piesčitých vápencov a jemnozrnných pieskovcov,
- **vlkolínske brekcie** (barém - alb) – chaoticky zvrstvené vápencovo-slieňovcové brekcie,
- **slienité bridlice** (barém - alb) – súvrstvie tmavosivých slienitých bridlíc a piesčitých a organodetritických vápencov,
- **noľčovské vrstvy** (apt – alb) – predstavujú vulkanické horniny, ktoré patria po genetickej a petrografickej stránke ku hyaloklastitom (vulkanické sklovité brekcie). Pôvodne to boli lávové prúdy, resp. silly, ktoré boli dezintegrované vo vodnom prostredí. Ďalším typom boli dajky, resp. komínové brekcie. Veľkosť jednotlivých úlomkov dosahuje max. 7 cm, v priemere 1 cm. Hornina má prevažne trávovozelené sfarbenie. Po petrografickej stránke sú to podľa Hovorku a Spišiaka (l. c.) limburgity s afanitickým charakterom a mandľovcovitou štruktúrou. Základná hmota je takmer výlučne karbonátová,
- **mráznické súvrstvie** (valangin - spodný barém) – ide o súvrstvie sivých slienitých vápencov, slieňovcov a slienitých bridlíc, miestami s polohami organodetritických vápencov. Vápence sú prevažne lavicovité, tektonizované až zbriдлиčnatené, s nerovnými plochami vrstevnatosti. Bridlice tvoria polohy do hrúbky 2 m. Časté sú železité povlaky na plochách,
- **osnické súvrstvie** (titón – spodný valangin) – sivé slienité vápence s lastúrnatým lomom, doskovité až lavicovité, s vložkami slienitých bridlíc do 5 cm. V teréne sú ťažko vyčleniteľné.

Hronikum – chočský príkrov

Komplex hornín hronika je v skúmanom území hojne zastúpený najmä v severnej a západnej časti pohoria.

Charakteristickými súvrstviami hronika v skúmanom území sú:

- **hlavné dolomity** (karn – norik) – sú najvrchnejším členom chočského príkrovu v tejto oblasti. Sú prevažne svetlosivé, lavicovité s hrúbkou lavíc 20 – 200 cm. Sú zväčša celistvé, menej sa vyskytujú kryštalické a pórovité variety. V komplexe sa nachádzajú polohy dachsteinských vápencov. Celková hrúbka súvrstvia dosahuje maximálne 200 m,
- **wettersteinské vápence a dolomity** (fasan) – predstavujú svetlosivé celistvé a organodetritické dolomity, prevažne hrubolavicovité, so stromatolitovými polohami. Hrúbka súvrstvia dosahuje 300 m. V miestach, kde sú vyvinuté stromatolitové polohy sú pravidelne lavicovité, s hrúbkou vrstiev 10 – 20 cm. Väčšinou sú celistvé, silno pórovité s dutinkami po riasach,
- **raminské vápence** (ilýr – kordevol) – predstavujú prechodný typ medzi wettersteinskými a reiflinskými vápencami,
- **gaderské vápence** (pelsón – ilýr) sú tmavosivé, celistvé alebo svetlosivé krinoidové vápence. Sú lavicovité až hrubolavicovité alebo masívne, s charakteristickým hnedým odtieňom, v spodnej časti súvrstvia prevládajú slienitejšie typy. Hrúbka komplexu je cca 100 m,
- **reiflinské vápence** (pelsón – kordevol) – predstavujú tmavosivé až sivé vrstevnaté, niekedy organodetritické vápence s hojnými hľuzami a vrstvami rohovcov. Sporadicky sa vyskytujú vložky sivých a olivovo zelených i béžových tufitov hrúbky do 20 – 30 cm, niekedy i viac. Vrchnú časť súvrstvia tvoria niekedy niekoľko metrov hrubé vrstvy tmavosivých vápnitých a ílovitých bridlíc s lavicami tmavých, ílovitých vápencov s vrstvičkami silicítov. Vápence a dolomity sú veľmi pevné, zvyčajne zdravé až navetrané, v okolí výrazných puklín a tektonických porúch zvetrané. Sú systematicky rozpukané, s otvorenými puklinami. Hydrogeologicky predstavujú kolektor podzemnej vody s výraznou puklinovou a krasovou priepustnosťou,
- **ramsauské dolomity** (vrchný anis) – sú tmavosivej farby so žltkastou patinou, vrstevnaté, s hrúbkou vrstiev 10 – 15 cm. Sú často brekciovité. Sú celistvé, so zrnitým dolomitickým rozpadom. Vyskytujú sa v nich vložky tmavosivých bridlíc. Obsahujú zrná pyritu. Hydrogeologicky predstavujú kolektor podzemnej vody s výraznou puklinovou a krasovou priepustnosťou. Hrúbka súvrstvia dosahuje 200 – 300 m,
- **gutensteinské vápence** (anis) – predstavujú tmavosivé až čierne hrubolavicovité vápence, často červíkovité, miestami laminované, s vložkami dolomitov, s bielymi kalcitovými žilami. Ojedinele sa vyskytujú organodetritické vápence. Hrúbka súvrstvia dosahuje 150 m. Hojne sa vyskytujú polohy brekcií,
- **gutensteinské dolomity** (spodný anis) – predstavujú tmavosivé až tmavohnedé a čierne, silne bituminózne dolomity, často vystupujúce vo forme šošoviek, miestami laminované, s vložkami dolomitov, s bielymi kalcitovými žilami. Sú tenko doskovité až tenkolavicovité. Hrúbka súvrstvia dosahuje 20 m. Hojne sa vyskytujú polohy brekcií.

Obr. č. 1: Geologická mapa predmetného územia (Geologická mapa Slovenska M 1:50 000 [online]. Bratislava: Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, 2013: <http://apl.geology.sk/gm50js>.)



Kvartérne sedimenty na území oboch vyššie uvedených celkov – Turčianskej kotliny i Veľkej Fatry – zahrňujú rad genetických typov, vyznačujúcich sa variabilným litologickým zložením, pestrú faciálnou skladbou i rôznym vekom od najstaršieho pleistocénu až do holocénu. V sledovanom území sú vyvinuté sedimenty: fluvialného komplexu, proluvialného komplexu, deluvialného komplexu, sedimenty úvalín, komplexu organických sedimentov a antropogénny komplex.

Hydrogeologické pomery skúmaného územia sú podmienené predovšetkým klimatickými pomermi, spolu s geomorfologickými, geologicko-tektonickou stavbou, odtokovými pomermi a ďalšími činiteľmi, ako napr. strmosť svahov, zalesnenie a pod. Od týchto činiteľov závisí, aký podiel zrážok pripadá na výpar a povrchový odtok, aké množstvo zrážkových vôd dopĺňa množstvá podzemných vôd v geologických štruktúrach a aké sú fyzikálno-chemické vlastnosti podzemných vôd.

V aluviálnej nive Váhu patria podzemné vody v zmysle Nariadenia vlády SR č. 282/2010 Z.z., prílohy č. 2 do útvaru SK1000500P Medzizrnové podzemné vody kvartérnych náplavov horného Váhu a jeho prítokov. Kolektorom v uvedenej oblasti sú aluviálne a terasové štrky, piesčité štrky, piesky, glacifluviálne sedimenty, proluvialné sedimenty holocénu a pleistocénu s medzizrnovou priepustnosťou.

Útvar SK1000500P, ktorého celková plocha je 1 069,302 km² a je generovaný základný hydrogeologickým rajónom Q-P 033, má na základe vodohospodárskej bilancie z roku 2020 (SHMÚ – Vodohospodárska bilancia, kvalita podzemnej vody 2020) bilančný stav pasívny bez zmeny pasívneho stavu, tento stav je nezmenený v porovnaní s rokom 2019. Celkové využiteľné množstvo podzemných vôd 4 887,05 l.s⁻¹ z čoho v roku 2020 celkový odber predstavoval 327,48 l.s⁻¹, čo predstavuje 7,10 % podiel využívaných podzemných vôd a stav kritický a havarijný je v uvedenom útvare 0. Bilančný stav je dobrý. Útvar má vysoký vodoochranný potenciál pôd.

Podzemné vody v predkvartérnych horninách a horninách v trase tunelov Korbeľka a Havran patria v zmysle Nariadenia vlády SR č. 282/2010 Z. z., prílohy č. 2 do útvaru SK200270KF Dominantné krasovo - puklinové podzemné vody Veľkej Fatry, Chočských vrchov a Západných Tatier. Kolektorom v uvedenej oblasti sú vápence a dolomity mezozoika s krasovo - puklinovou priepustnosťou.

Útvar SK200270KF Dominantné krasovo-puklinové podzemné vody Veľkej Fatry, Chočských vrchov a Západných Tatier, patrí medzi významné útvary využívané na zásobovanie obyvateľstva pitnou vodou.

Útvar má veľkú rozlohu, a je generovaný rajónmi: celý rajón MG 014; M 019; M 020; G 021; M 022; čiastkový rajón VH 10 rajónu M 015, subrajón VH 00 rajónu M 023, subrajón Váhu s čiastkovými rajónmi VH 10; VH 20; VH 31; VH 32; VH 40 rajónu M 024.

Prietočnosť podľa atlasu SR:

Podľa mapy prietočnosti – atlas SR, je prietočnosť štrkovej formácie alúvia Váhu (QP 33, fQ) charakterizovaná v hodnotách $T > 1 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. Horniny masívu Kopa a Havran - slienité vápence a bridlice veporika (K1V) a sliene sú charakterizované koeficientom prietočnosti $T = 1 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ (M 020, K1V), zvyšné horniny masívu Kopa a Havran sú charakterizované koeficientom prietočnosti $T = 1 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ (M 020, PGB, T2H). Uvedené hodnoty sú rádovo vyššie, ako sa uvádza v HG mapách.

Mezozoický karbonátový komplex má v skúmanom území najvýznamnejšiu úlohu. Mezozoikum je zastúpené v širšom okolí v geologických celkoch tatrika, veporika a hronika, teda obalovej série a križňanského a chočského príkrovu (oIGHP, 2014).

Najsevernejším a hydrogeologicky najvýznamnejším hydrogeologickým čiastkovým rajónom Veľkej Fatry (M 020, VH 10) je kryha dolomitov a vápencov chočského príkrovu medzi obcami Krpeľany, Šútovo a Ľubochňa.

V podstatnej miere je budovaný dolomitmi a vápencami stredného a vrchného triasu. Jeho rozloha je cca 18 km², s dokumentovaným odtokom podzemných vôd v hodnote cca 40 l.s⁻¹. Hladina podzemnej vody je prevažne voľná až mierne napätá, zvodnenie je viazané na zóny tektonického porušenia. Stupeň transmisivity $T \geq 1 \cdot 10^{-2} - 1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, a s udávanou hodnotou špecifickej výdatnosti $q \geq 1 \cdot 10 \text{ l.s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$. Priepustnosť týchto hornín je puklinová a puklinovo-krasová. Na tento významný karbonátový komplex sú viazané viaceré vodné zdroje, ktoré sa využívajú pre zásobovanie pitnou vodou. Podzemné vody sú viazané najmä na tektonické línie a vyvierajú prevažne na kontakte s nepriepustnými sedimentami kriedy križňanského príkrovu, ktoré ležia v podloží dolomitov (oIGHP, 2014).

Tohto pôvodu sú využívané podzemné vody vodného zdroja Teplička východne od Krpelian, vodný zdroj Pod Kopou južne od obce, zdroj Korbeľka západne od obce Stankovany a zdroj Fatra medzi Ľubochňanským sedlom a Ľubochňou a VZ Rojkov južne od obce Rojkov. Podobný pôvod – t.j. z karbonátových komplexov - majú i minerálne vody vyvierajúce pri obciach Stankovany a Rojkov. Ich obeh je však výrazne hlbší (oIGHP, 2014).

Druhý významný dielčí rajón (južne od trasy D1) tvorí vápencovo-dolomitický komplex v severozápadnej časti pohoria Veľká Fatra, patriaci obalovej sérii a z časti krížňanskému príkrovu. Je obmedzený na východe dolinou Ľubochnianky, na juhu kryštallickým masívom Ľubochnianskym a siaha na západ zhruba po spojnici Turčianska Štiavnička – Sklabiňa (Šuba J., 1984).

Jeho celková rozloha je cca 42,5 km², s dokumentovaným odtokom podzemných vôd cez 100 l.s⁻¹. Hladina podzemnej vody je tu prevažne voľná, priepustnosť puklinová, stupeň transmisivity je veľmi vysoký. Trasa navrhovaných variantov sem však nezasahuje. Naopak, slienité vápence a sliene ktoré sú takisto súčasťou krížňanského príkrovu a budú s vysokou pravdepodobnosťou zasahovať do navrhovaných trás diaľnice sa vyznačujú slabou puklinovou priepustnosťou, v prípade väčšieho plošného zastúpenia slietov môže byť súvrstvie až relatívne nepriepustné. Stupeň transmisivity je nízky, s hodnotou koeficienta prietochnosti $T < 1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$. Jednotková špecifická výdatnosť $q < 0,1 \text{ l.s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ (olGHP, 2014).

Pohorie Havrana medzi obcami Stankovany a Švošov nie je uvádzané ako vodohospodársky významné územie. V západnej časti triasu Chočského príkrovu sa nachádza významný využívaný vodný zdroj Suchá dolinka a vo východnej časti je to využívaný vodný zdroj - prameň Dušička ľavý a pravý.

Zvodnenie **kvartérnych ako i neogénnych** sedimentov je závislé na ich hrúbke, charaktere, stupni zahĺbenia, uľahnutosti, príp. na vzdialenosti od povrchového toku. **Deluviálne** sedimenty predstavujú významný hydrogeologický prvok. V zásade ich možno rozčleniť na deluviálne íly až sute kamenito-ílovité a sute ílovito-kamenité, kamenité až balvanité. Íly a sute kamenito-ílovité tvoria zvyčajne najvrchnejšiu časť kvartérneho pokryvu na miernejších svahoch a sú zároveň izolátorom pre infiltráciu zrážkových vôd. Výraznejšie akumulácie sa nachádzajú hlavne v pätách svahov. Priepustnejším kolektorom sú sute ílovito- a siltovito-kamenité, kamenité a balvanité, ktoré v najspodnejšej časti komplexu prechádzajú do silne zvetraných hornín podložia. Tieto komplexy predstavujú privilegované cesty prúdenia podzemnej vody plytko pod povrchom a sú aktivizované najmä v čase intenzívnych zrážok. Vzhľadom na silne priepustné karbonátové podložie sa však rýchlo odvodňujú a nepredstavujú hydrogeologickú bariéru pre infiltráciu zrážok.

Najväčšiu priepustnosť a hydrogeologický význam z kvartérnych komplexov majú **fluviálne** sedimenty poriečnej nivy Váhu (hrúbky 5 - 16 m), v ktorých prevládajú piesčité štrky s prevahou frakcie 2 - 6 cm s pokryvkou povodňových piesčitých hĺn hrubých 0,3 až 3 m. Prirodzený hydrogeologický režim fluviálnych sedimentov bol ovplyvnený najmä výstavbou VD Krpeľany a derivačného kanála. Kanál pôsobí na územie ako drén (je zahĺbený až do predkvartérneho podložia).

Proluviálne sedimenty predstavujú plošne obmedzené a veľmi heterogénne kvartérne komplexy. Ide prevažne o nevytriedené štrkovité, hlinité a ílovité sedimenty s chaotickou sedimentáciou a nízkym stupňom opracovania úlomkov. Z hľadiska budovania diaľnice sú nevýznamné, majú iba lokálny význam, pokiaľ sú na ne viazané miestne vodné zdroje.

Trasa variantu V2 diaľnice D1 v úseku Turany – Hubová prechádza vonkajším pásmom hygienickej ochrany vodného zdroja Turany. Trasa sa najmä v tunelovom úseku približuje k ochranným pásmam vodných zdrojov Korbeľka, Teplica, Fatra, Kraľovany a Rojkov (olGHP, 2014).

Širšia záujmová oblasť je na výskyt minerálnych vôd veľmi bohatá. Len v samotnom okrese Ružomberok bol zaznamenaný výskyt 32 prírodných minerálnych zdrojov a zdrojov prírodných minerálnych vôd stolových. Časť takýchto zdrojov sa nachádza aj v k.ú. obcí Ľubochňa, Stankovany – m.č. Rojkov, Stankovany a Švošov.

Všeobecne sú minerálne vody záujmovej oblasti vyššie mineralizované karbonátogénne nevýrazného Ca(Mg)-HCO₃ typu spolu s geneticky príbuznými prechodnými karbonáto-sulfátogénnymi až sulfátogénnymi vodami. Podzemné vody sa formujú v podmienkach hlbšieho obehu zrážkových vôd infiltrujúcich do karbonatických komplexov krížňanskej jednotky. Okrem rozpúšťania karbonátov sa podzemné vody mineralizujú aj rozpúšťaním sádrovca. Hlbinný obeh dokumentuje aj ich zvýšená teplota. Podzemná voda pramení na krížovaní pozdĺžnych a priečnych zlomov.

V oblasti koridoru diaľnice D1 Turany - Hubová a v jeho bezprostrednom okolí sú vyhlásené nasledovné legislatívne chránené územia:

- **Národný park Malá Fatra**, ktorá podľa podkladov je súčasťou národného parku. Park bol vyhlásený v roku 1988. Rozloha územia v III. stupni ochrany prírody je 22 630 ha, rozloha ochranného pásma s II. stupňom ochrany prírody je 23 262 ha,
- **Národný park Veľká Fatra**, vyhlásený v roku 2002. Rozloha územia v III. stupni ochrany prírody je 40 371 ha, rozloha územia v II. stupni ochrany prírody (ochranné pásmo) je 26 133 ha,
- samostatne chránené územia s V. stupňom ochrany prírody sú **Rojkovské rašelinisko** (prírodná rezervácia), **Rojkovská travertínová kopa** (prírodná pamiatka), **Šútovská epigenéza** (prírodná pamiatka), **Kraľoviansky meander** (prírodná pamiatka), **Korbeľka** (prírodná rezervácia)

- a **Močiar** (prírodná rezervácia),
- ako ramsarská lokalita je zapísané údolie Oravy od Dolného Kubína po jej ústie do Váhu pri obci Kľačany,
- oblasť patrí zároveň do vodohospodárskej chránenej oblasti Veľká Fatra,
- **Chránené vtáčie územie Malá Fatra** SKCHVU013 Vyhláška MŽP SR č. 2/2011 Z.z..

6. METODIKA REALIZOVANÝCH PRÁČ

Meranie hladín podzemných vôd

V trase diaľnice D1 boli vytipované hydrogeologické (HG) vrty za účelom režimového merania hladiny podzemnej vody. Meranie hladiny podzemnej vody vo vrtoch sa realizuje v zmysle požiadaviek normy STN EN ISO 22475-1:2013.

Merania hladiny podzemnej vody (portálové časti) boli realizované manuálne kontaktným elektroakustickým hladinomerom model 101 spoločnosti Solinst Canada Ltd. Meranie hladiny podzemných vôd je s presnosťou 0,01 m. Merané boli nasledujúce vrty:

Tunel Korbeľka

HG-01	HG-02	HGZ-1 I.	HGZ-1 II.	HGZ-2	HG-03	HG-04	HGV-1	HGV-2
-------	-------	----------	-----------	-------	-------	-------	-------	-------

Tunel Havran

HG-1	22P	23P	25P	26P
------	-----	-----	-----	-----

V portálovej časti tunela Havran vrty H2/HG-2 a H3/PZ-2 neboli merané, nakoľko uvedené vrty sú zničené, merania hladín podzemných vôd boli nahradené funkčnými vrtmi 22P, 23P, 25P a 26P.

V tunelových vrtoch sú nainštalované automatické záznamníky na kontinuálne meranie hladín podzemných vôd. Na kontinuálne záznamy boli použité zariadenia spoločnosti Solinst Canada Ltd., Levellogger a barologery firmy Solinst Ltd. Kontinuálny monitoring hladín podzemných vôd začal (meranie hladiny podzemných vôd bolo a je realizované každých 6 hodín) v roku 04/2014 (oIGHP, 2014), kedy boli vybudované vrty v portálových častiach tunela Korbeľka a TK-01, TK-02 (západný portál), vrt TK-04, TK-05, TK-07 nachádzajúce sa v strednej časti tunela a vrt TK-10 situovaný vo východnej časti tunela. Kontinuálny monitoring hladín podzemných vôd pokračoval do 11/2017. Následne bol monitoring čiastočne prerušený a to v období 11/2017 – 10/2018. V etape (pIGHP, 2019) tento monitoring pokračoval snímače sa do hydrogeologických vrtoch inštalovali, tak ako boli vrty dovŕtané a kontinuálny monitoring pokračoval počas trvania prieskumu do 05/2019. Na základe požiadavky objednávateľa NDS, a.s bol monitoring obnovený a pokračoval až do 12/2021. Meranie hladín podzemných vôd je nastavené na meranie hladín každých 6 hodín. Merané boli tieto vrty:

Tunel Korbeľka

TK-01	TK-02	TK-04	TK-05	TK-07	TK-10	TKB-2	TKB-4	TKB-6	TKB-7	TKB-10	HGK-1
Barologger (TK-02)		Barologger (TK-10)									

Tunel Havran

THV-1	THV-2a	THV-5	HGH-1	HGH-2
Barologger (THV-2a)				

Merania boli vykonané na všetkých hydrogeologických vrtoch, ktoré boli zachované a sú funkčné. Danými meraniami sa overila úroveň hladiny podzemnej vody (HPV). Úroveň HPV pre všetky merané objekty je udávaná v m pod terénom (m p. t.). Táto hodnota je vypočítaná po odrátaní dĺžky kovovej ochrannnej pažnice. Namerané údaje boli zapisované v teréne do prvej dokumentácie a neskôr spracované do tabuľkovej a grafickej formy.

Súčasťou monitoringu podzemných vôd bolo aj monitorovanie hladín podzemných vôd vo vrtoch v okolí Rojkovského rašeliniska. Ide o tieto vrty: P-1 až P-4, VZ-1 až VZ-5.

Vo vrtoch sú nainštalované kontinuálne záznamníky zariadenia spoločnosti Solinst Canada Ltd., Levellogger a barologery firmy Solinst Ltd.

V oblasti západného portálu projektovaného tunela Rojov (povrchový variant, vrty vybudované v roku

2010 a 2015) boli merané HPV manuálne kontaktným elektroakustickým hladinomerom model 101 spoločnosti Solinst Canada Ltd. Meranie hladiny podzemných vôd je s presnosťou 0,01 m. Merané boli nasledujúce vrty:

R1/PZ-1	R3/PZ-2	R5/PZ-3	R6/PZ-4	R9/PZ-5	R11/PZ-6	16 AP	16P	18P	R12/PZ-1	R14/PZ-3
HG-1	HG-2									

Vo vrtoch HG-1 a HG-2 sú nainštalované automatické záznamníky na kontinuálne meranie hladín podzemných vôd. Na kontinuálne záznamy boli použité zariadenia spoločnosti Solinst Canada Ltd., Levellogger.

Monitoring hladín podzemných bol realizovaný v zabudovaných vrtoch na Kľačianskom zosuve, ide o vrty:

6a/PZ-1	6a/PZ-2	6a/PZ-3	6a/PZ-4	6a/PZ-5	6a/PZ-6	6a/PZ-7	4P	5-P/N	6P
7P	8AP	9-P/N	10P	11P	12P	13-P/N	14P	15-P/N	DV-1/PZ
DV-2/PZ	DV-3/PZ	DV-4/PZ	DV-5/PZ	DV-6/PZ	6b/PZ-2	6b/PZ-3	6b/PZ-4	6b/PZ-5	

Merania boli realizované manuálne kontaktným elektroakustickým hladinomerom model 101 spoločnosti Solinst Canada Ltd. Meranie hladiny podzemných vôd je s presnosťou 0,01 m.

V I. a II. etape geotechnického monitoringu (rok 2011 - 2013) bolo osadených do 11 vybraných hydrogeologických vrtoch 5-P/N, 11P, 12P, 13-P/N, 15-P/N, DV-3/PZ, DV-4/PZ, DV-5/PZ, 6a/PZ-5, 6a/PZ-6, 6a/PZ-7, v kritických zosuvných profiloch, technické zariadenia na automatický záznam úrovne hladiny podzemnej vody a teploty vody – snímače levellogger a 1 barologger na záznam atmosférického tlaku (DV-4/PZ). Tieto snímače sú dnes už nefunkčné a nebolo možné z nich stiahnuť dáta.

Umiestnenie jednotlivých vrtoch na tuneli Korbeľka a tuneli Havran je zrejmý zo situácie č. 1.1., 1.2. a 1.3.

Uzatvorené systémy piezometrov

V etape orientačného IGHP boli vo vrtoch na tuneli Korbeľka (oIGHP, 2014) TK-03, TK-06 a TK-09 inštalované snímače na meranie hydrostatického tlaku. V rámci úlohy (pIGHP 2019) boli vrty na tuneli Korbeľka TKB-1, TKB-3, TKB-5, TKB-8, TKB-11B, TKB-12 a vrty na tuneli Havran THV-2, THV-3 a THV-4 vystrojené uzatvoreným systémom merania údajov puklinových resp. hydrostatických tlakov vody v horninovom prostredí. Výsledkom meraní sú údaje o pórových (puklinových) tlakoch v okolí tunelových rúr. Hĺbka osadenia snímačov do pieskového filtra bola definitívne vyšpecifikovaná po dokumentácii vrtného jadra a realizácii následných karotážných meraniach so zistením úsekov s prítokmi podzemnej vody.

Účelom týchto snímačov je dôkladné poznanie hydrogeologických pomerov, ktoré sú v rámci tunelových stavieb potrebné a budú použité pri monitorovaní nestacionárnych dejov, ako je razenia tunela, kedy môže byť zaznamenaný pokles hydrostatického tlaku a identifikácia okamžitých prítokov podzemnej vody do tunelových rúr.

Umiestnenie jednotlivých vrtoch s uzatvoreným systémom piezometrov na tuneli Korbeľka a tuneli Havran je zrejmý zo situácie č. 1.1. a 1.2.

Monitoring povrchových vôd

V rámci monitoringu povrchových tokov bol meraný prietok vybraných povrchových tokov, ktoré predstavujú priamy odtok zo sledovanej hydrogeologickej štruktúry masívu Kopy a z hydrogeologickej štruktúry masívu Havran.

Merania boli realizované objemovo označenými nádobami veľkosti 0,2 až 60 l a čas bol meraný stopkami. Prietok bol meraný priamo na vodných tokoch s možnosťou merania. Ak nebolo možné merať prietok vodných tokov priamo, bolo koryto povrchového toku upravené a tok bol zvedený do rúry priemeru 120 mm. Prietok bol meraný následne pomocou takejto úpravy ako prietok vody cez rúru.

Práce boli realizované na vodnom toku Ľubochňanka v úseku od lyžiarskeho vleku po ústie do Váhu a na jej ľavostranných prítokoch v tomto úseku v niekoľkých profiloch, na vodnom Bielom potoku a jeho prítokoch v niekoľkých profiloch, na bezmennom vodnom toku v údolí severne od západného portálu tunela Korbeľka, a na významnejších bezmenných vodných tokoch na východnom a severnom svahu masívu Kopy.

Do celkového zhodnotenia povrchového odtoku masívu Havran sú zaradené všetky vodné toky. Ohraničenie masívu je dané riekou Váh z juhovýchodu, juhozápadu a západu. Zo severozápadu je to

bezmenný vodný tok prameniaci v oblasti pod Hôrkou, z juhovýchodu je to bezmenný tok pretekajúci obcou Švošov a na severe je to spojnice vrcholov - hrebeň medzi vrcholmi Ostré, Javorník a sedlo Javorníka a kóty 823 (Javorník - smer Hôrka).

Sledované boli výdatnosti na týchto povrchových tokoch:

Tunel Korbeľka	Tunel Havran
VT-1 - Biely potok a jeho pravostranný prítok	VT-50 - prepad z VZ Suchá Dolinka
VT-2 - VT nad Ľubochňou - pri prameni Fatra	VT-51-A – potok pri rezervoári
VT-3 - VT Ľubochňa - prameň	VT-51 – Stankovany – pod vodojemom
VT-4 - VT VZ Korbeľka	VT-52 – prameň pred VZ vpravo vo svahu
VT-5 - VT V portál tunela	VT-53 – južný okraj obce Stankovany
VT-6 – VT pri chate oproti Stankovanom	VT-54 – prameň za ŽSR a cestou 2211
VT-7 – VT pri travertínovom jazere	VT-55 – prameň pri poľnej ceste k VZ (Suchá dolinka)
VT-8 – travertínové jazero	VT-56 – pred Švošovom vľavo od cesty 2211
VT-9 – VT pri VZ Pod Kopou	VT-57 – prameň pri kaplnke
VT-13 – VT – pod VZ Teplica	VT-58 – bezmenný pod Dušičkou (obec Švošov)
VT-14 – VT – potok vľavo od tunela	
VT-15 – VT – výtok z horizontálneho vrtu H-1	

Situácia miest merania prietokov povrchových tokov je uvedená z prílohy č. 1.1. a 1.2.

Monitoring vodných zdrojov

V záujmovom území tunel Korbeľka existujú a sú využívané nasledujúce vodné zdroje, ktoré sú v správe troch vodárenských spoločností. Vodné zdroje sú využívané pre zásobovanie obyvateľstva pitnou vodou a majú vybudované a legislatívne určené ochranné pásma.

- Turčianska vodárenská spoločnosť, a.s. Martin - VZ Teplička 1 a Teplička 2
- Oravská vodárenská spoločnosť, a.s. – Dolný Kubín – VZ Kralovany s prameňmi Pod kopu 1 – 5
- Ružomerská vodárenská spoločnosť, a.s. Ružomberok – VZ Rojkov, VZ Korbeľka, VZ Fatra.

V záujmovom území tunel Havran existujú a sú využívané nasledujúce vodné zdroje, ktoré sú v správe Ružomerská vodárenská spoločnosť, a.s. Ružomberok. Vodné zdroje VZ Pod Suchou dolinkou, VZ Dušička – pravý a Dušička - ľavý sú využívané pre zásobovanie obyvateľstva pitnou vodou a majú vybudované a legislatívne určené ochranné pásma.

Vodárenské spoločnosti poskytli údaje o výdatnosti jednotlivých vodných zdrojov (príloha č. 2). Zo všetkých vodárenských zdrojoch boli odobraté vzorky podzemných vôd na kompletný rozbor pitnej vody v zmysle vyhláška č. 247/2017 Z. z. v platnom znení (príloha č. 3).

Tabuľka č. 1: Prehľad vzoriek podzemných vôd odobraných z vodných zdrojov

Prieskumné dielo	Číslo protokolu	Dátum odberu	Laboratórium
VZ Teplica	17460/2021	15.12.2021	INGEO - ENVILAB, s.r.o. Žilina
VZ Pod kopou	17457/2021	15.12.2021	INGEO - ENVILAB, s.r.o. Žilina
VZ Rojkov	17454/2021	15.12.2021	INGEO - ENVILAB, s.r.o. Žilina
VZ Korbeľka	17451/2021	15.12.2021	INGEO - ENVILAB, s.r.o. Žilina
VZ Fatra	17448/2021	15.12.2021	INGEO - ENVILAB, s.r.o. Žilina
VZ Suchá dolinka	17442/2021	15.12.2021	INGEO - ENVILAB, s.r.o. Žilina
VZ Dušička - ľavý	17445/2021	15.12.2021	INGEO - ENVILAB, s.r.o. Žilina

Situácia vodných zdrojov je zrejماً zo situácie č. 1.1. a 1.2.

Meranie výdatností odvodňovacích vrtov

Súčasťou terénnych prác bolo meranie výdatností odvodňovacích vrtov na odvodňovacích hniezdach (stanovištiach), ktoré boli v zosuvnom území Kraľovianskeho zosuvu vybudované.

Počas merania výdatnosti bolo zistené, že odvodňovacie hniezda S-1 a S-3 sú nefunkčné, zasypané zosuvným materiálom, odvodňovacie hniezda S-2 a S-4 sú funkčné.

V území boli dodatočne v roku 12/2018 – 09/2019 vybudované nové hniezda V1 až V5, všetky odvodňovacie vrty sú funkčné až na hniezdo V5, z ktorého vetva V5/1 a V5/2 je nefunkčná a je zasypaná zosuvným materiálom ako aj vetva V1/2 v hniezde V1.

Hydrologická bilancia

Pre plošné vymedzenie potenciálnej infiltračnej oblasti podzemných vôd v masíve, resp. zbernej plochy postihnutej drenážnym účinkom v dôsledku výstavby tunelov Korbeľka a Havran bola zostavená hydrologická bilancia územia a stanovenie prognózy prítokov do tunelov počas razenia a po výstavbe.

Hydraulický model prúdenia podzemných vôd

Pre overenie vplyvu výstavby budúcich tunelov Korbeľka a Havran na prúdenie podzemných vôd v masíve Kopa s dôrazom na zistenie vplyvu poklesu úrovni hladín podzemných vôd v dôsledku drenáže tunelovými rúrami, odhadnutia rozsahu zvodnenia ako aj zistenia vplyvu na kvantitu prameňov, potokov a využívaných vodárenských zdrojov pitnej vody bol vypracovaný hydraulický model prúdenia podzemných vôd pre neovplyvnený stav a stav ovplyvnený výstavbou obidvoch tunelov bez opatrení a stav ovplyvnený výstavbou obidvoch tunelov s realizovanými opatreniami.

7. VÝSLEDKY HYDROGEOLOGICKÝCH MERANÍ**7.1 TUNEL KORBEĽKA****Meranie hladín podzemných vôd**

Počas prieskumných prác (2014 – 2019) v masíve Kopa v zabudovaných archívnych zvislých hydrogeologických vrtoch s označením TK a v novorealizovaných zvislých hydrogeologických vrtoch s označením TKB, HGK, boli nainštalované automatické kontinuálne hladinomy firmy Solinst Ltd. Vo vrtoch TK-02 a TK-10 boli nainštalované barologery firmy Solinst Ltd. na záznam atmosférického tlaku. Snímače sú upevnené na lankách s čítačou hlavou umiestnenou na zhlaví vrtu. Poklop – uzáver vrtu je zabezpečený šrobovacím uzáverom.

Tabuľka č. 2: Štatistické charakteristiky hladín podzemných vôd a teploty vody – kontinuálne snímače, tunel Korbeľka

Monitoring hladín podzemných vôd (04/2014 – 11/2017), oIGHP, 2014

Vrt	Hladina podzemných vôd					
	maximum	minimum	minimum	maximum	priemer	rozkyv
	m p.t.	m p.t.	m n.m.	m n.m.	m p.t.	m
TK-01	10,63 (2016)	15,35 (2015)	483,26	487,98	13,41	4,14
TK-02	19,15 (2016)	33,14 (2014)	497,81	511,80	25,51	25,60
TK-04	177,44 (2016)	182,35 (2015)	471,98	476,89	180,08	4,73
TK-05	265,37 (2016)	267,12 (2015)	466,19	468,14	266,33	1,30
TK-07	282,04 (2017)	286,28 (2016)	642,22	642,22	284,28	4,28
TK-10	11,93 (2017)	14,42 (2014)	559,09	561,58	12,64	1,39

Monitoring hladín podzemných vôd (10/2018 – 12/2021)

Vrt	Hladina podzemných vôd						Teplota podzemných vôd		
	maximum	minimum	minimum	maximum	priemer	rozkyv	minimálna	maximálna	priemer
	m p.t.	m p.t.	m n.m.	m n.m.	m p.t.	m	°C	°C	°C
TK-01	10,92 (22.3.2019)	17,58 (9.10.2020)	481,03	487,69	14,58	6,66	8,28	8,73	8,44
TK-02	19,45 (19.5.2021)	35,76 (13.10.2018)	495,19	511,50	23,96	16,31	7,39	7,89	7,84
TK-04	178,70 (24.10.2018)	182,43 (5.3.2021)	389,69	393,42	181,082	3,72	7,14	7,45	7,43
TK-05	266,56 (3.4.2019)	267,93 (12.12.2019)	465,58	466,95	267,18	1,37	6,53	8,25	6,85
TK-07	281,80 (13.7.2019)	293,07 (27.2.2021)	631,19	642,46	288,34	11,26	6,22	6,33	6,29
TK-10	11,73 (27.5.2021)	12,54 (17.6.2019)	560,97	561,78	12,01	0,81	7,87	8,00	7,97
TKB-2	106,73 (4.4.2019)	108,62 (12.2.2021)	459,97	461,86	107,77	1,88	8,26	8,39	8,33
TKB-4	130,83 (22.4.2019)	133,05 (28.12.2019)	465,47	467,69	132,07	2,21	7,87	7,96	7,91

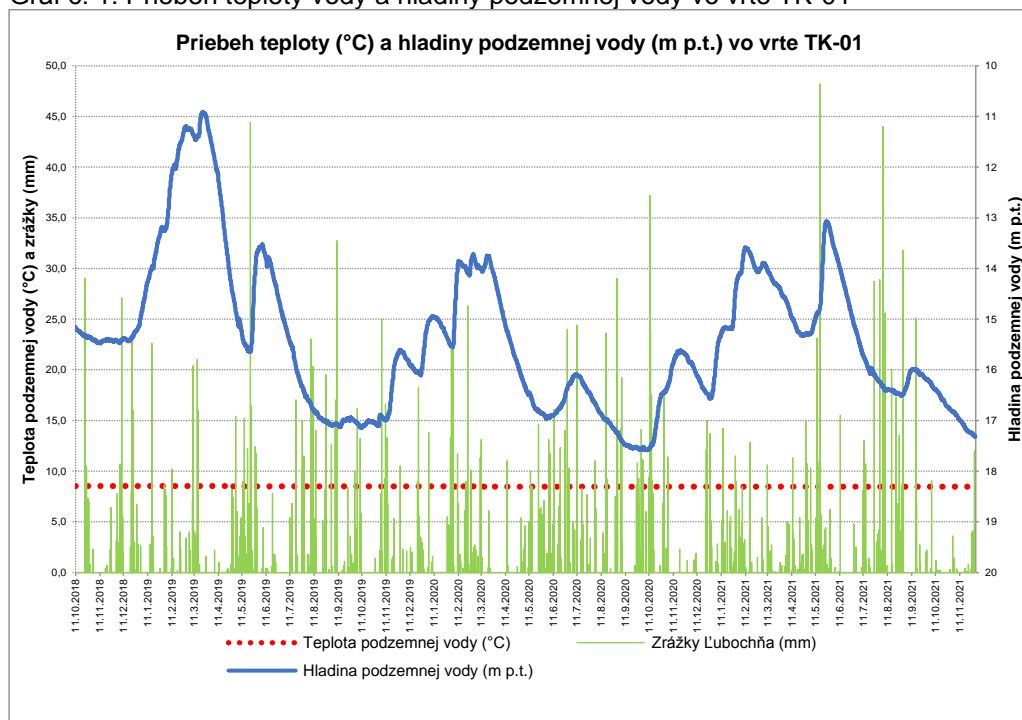
TKB-6	292,93 (29.3.2020)	293,95 (19.12.2019)	457,81	458,83	293,43	1,01	7,04	8,26	7,10
TKB-7	264,41 (8.4.2010)	266,34 (8.5.2021)	468,41	470,34	265,52	1,92	6,48	6,57	6,50
TKB-10	319,26 (15.8.2019)	342,08 (27.2.2021)	539,76	562,58	355,58	22,82	6,46	6,62	6,51
HGK-1	99,74 (21.3.2019)	130,17 (11.6.2019)	439,2	469,63	107,17	31,14	7,85	9,01	8,03

Priebeh hladín podzemných vôd je zrejmy príloha č. 7 - Úroveň hladiny podzemnej vody v pozdĺžnom profile tunela Korbeľka, mierka 1:5 000.

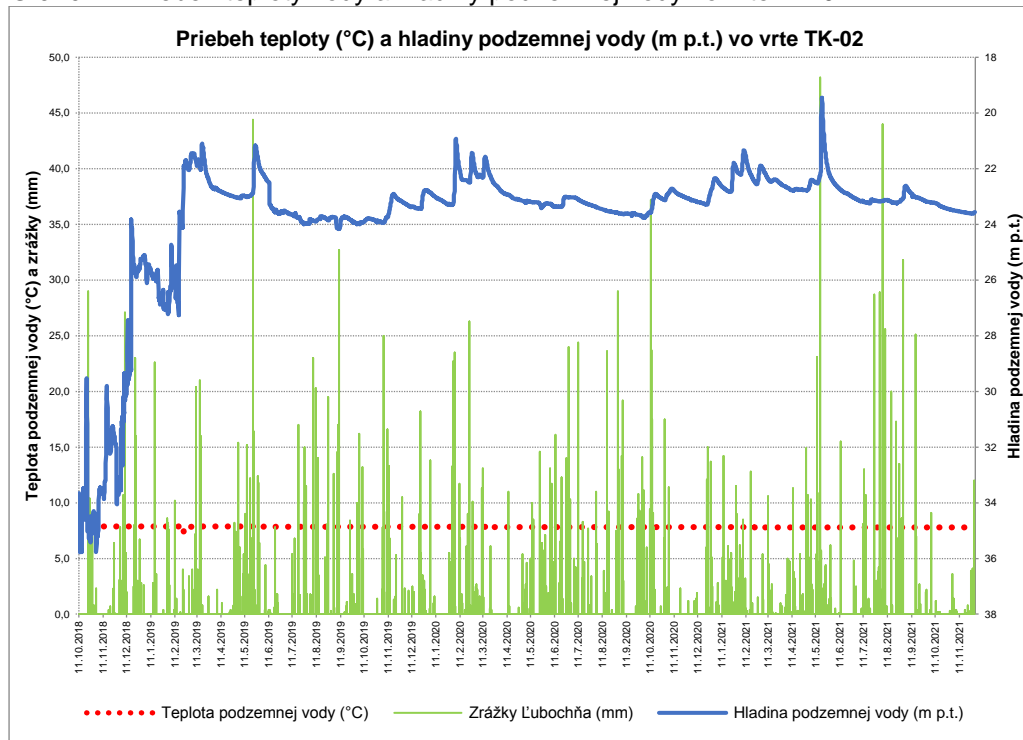
V portálových vrtoch tunela Korbeľka TK-01 a TK-02 (Západný portál) a vrt TK-10 (východný portál) sa hladina podzemných vôd pohybovala počas sledovaného obdobia (2014 – 2021) pohybovala od 10,63 m p.t. (TK-01) do 35,76 (TK-02) s najväčším rozkyvom hladín podzemných vôd 25,51 m (tabuľka č. 2).

Režim hladiny podzemných vôd v týchto vrtoch je závislý na výraznom kolísaní hladín podzemných vôd, strmý nárast a rýchly pokles hladiny podzemnej vody z maxím. Pokles hladín podzemnej vody je zrejmy v obdobiach s deficitom zrážok, menej strmý a pozvoľný pokles hladiny podzemných vôd v dôsledku odvodňovania masívu. Režim podzemných vôd v týchto vrtoch zodpovedá plytkému obehu podzemných vôd viazaných na zónu zvetrania a pripovrchového rozvoľnenia hornín a je výraznou reakciou na klimatické režimotvorné činitele ako sú atmosférické zrážky.

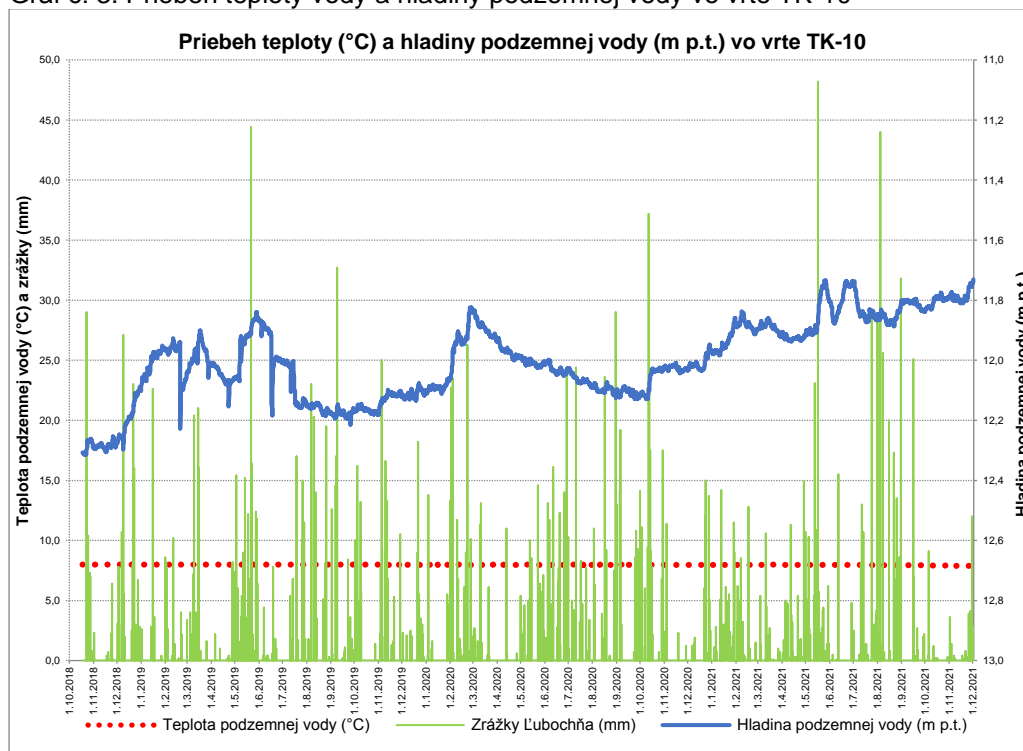
Graf č. 1: Priebeh teploty vody a hladiny podzemnej vody vo vrte TK-01



Graf č. 2: Priebeh teploty vody a hladiny podzemnej vody vo vrte TK-02



Graf č. 3: Priebeh teploty vody a hladiny podzemnej vody vo vrte TK-10



Hlboké tunelové hydrogeologické vrty situované v masíve Kopa nemajú taký veľký rozkyv hladín podzemných vôd počas sledovaného obdobia, okrem vrtu TKB-10 (rozkyv 22,82 m) a vrtu TK-07 (rozkyv 11,26 m), ktoré sú situované v strede tunela a snímače na kontinuálne meranie hladín podzemných vôd sú zabudované v súvislých sivých, brekciovitých, gutensteinských dolomitoch štureckého príkrovu.

V tejto časti tunela dochádza z dôvodu výraznej tektoniky k nárastu hladiny podzemnej vody, oproti okolitým vrtom, kedy je hladina podzemnej vody situovaná pod niveletou tunela – vrty TKB-7 (maximum 266,34 m p.t.). Od vrtu TKB-10 (maximum 342,08 m p.t.) začína nárast hladiny podzemnej vody ku vrtu TK-07 hladina podzemnej vody je na maximálnej úrovni 293,07 m p.t.. Očakávaný prítok podzemnej vody do tunelovej rúry bloku KB9 je $Q = 2,0 - 6,0 \text{ l.s}^{-1}$.

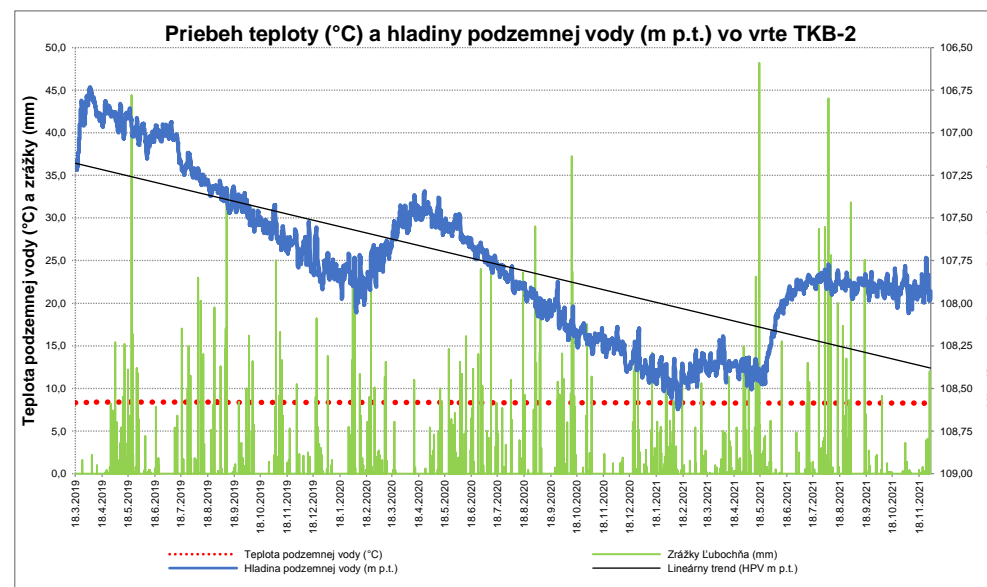
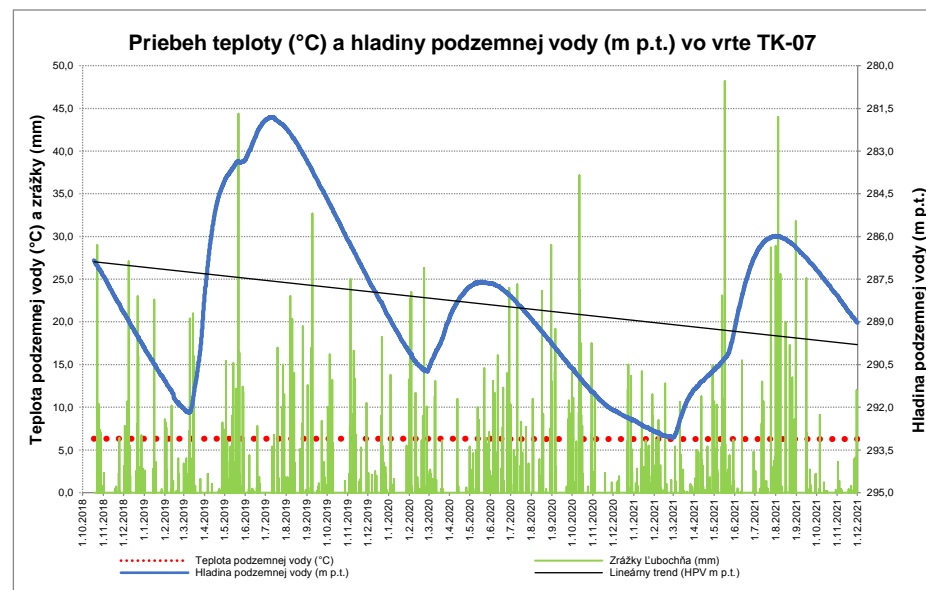
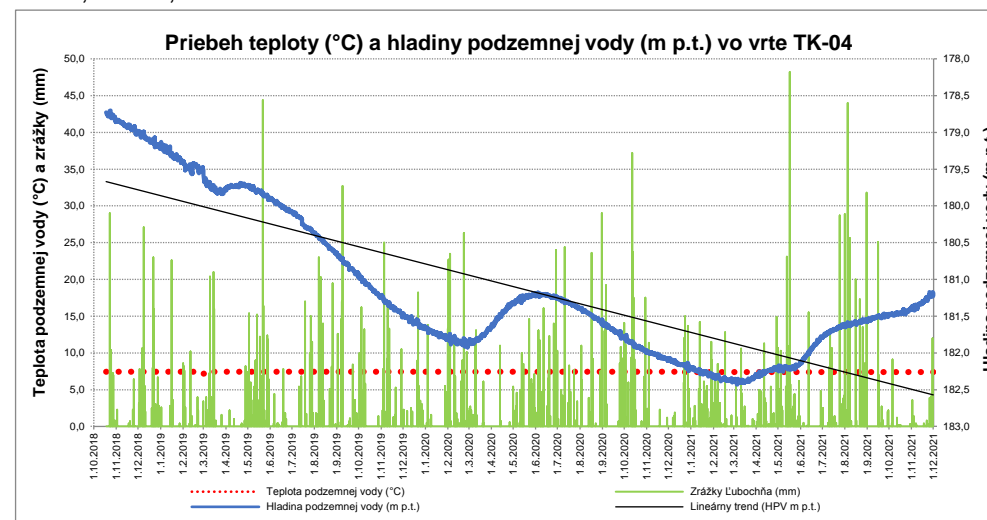
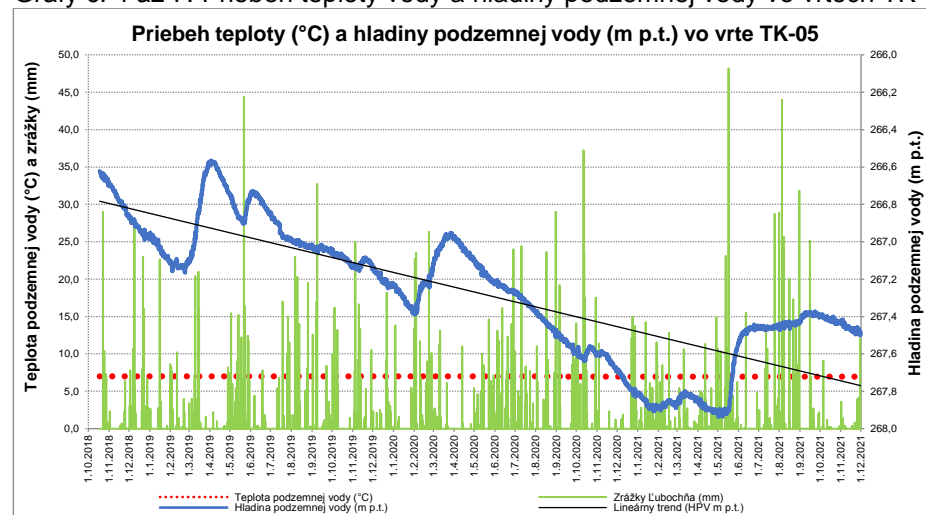
Obeh a cirkuláciu podzemných vôd v masíve Kopa umožňujú otvorené, viditeľné pukliny v dôsledku

rozpadu na väčšie bloky resp. zóny s tektonickým porušením. Dolomity sú tak stredne až dobre priepustné. Prítoky do tunela budú mať prevažne charakter zamokrenia a plošného odkvapkávania zo stien a stropov. Väčšie sústredené prítoky podzemnej vody možno očakávať v len tektonických poruchách, kde zároveň hrozí riziko sufózie ílovitého materiálu a strata súdržnosti horniny (komínovanie).

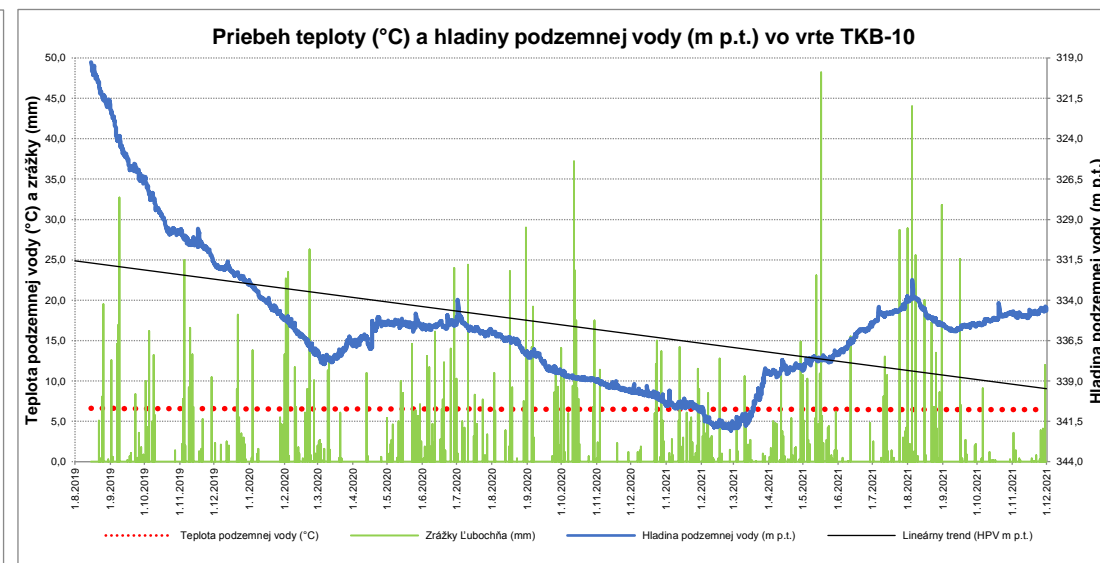
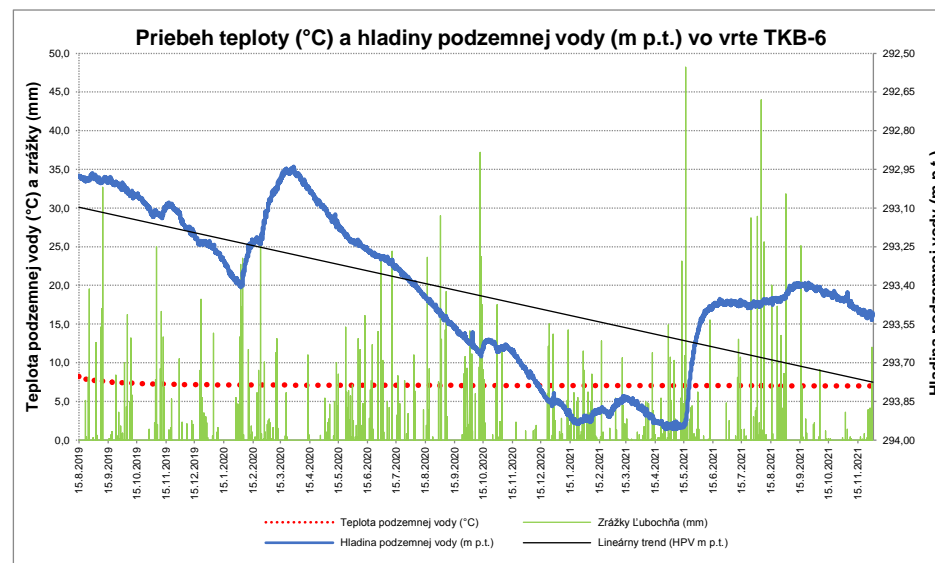
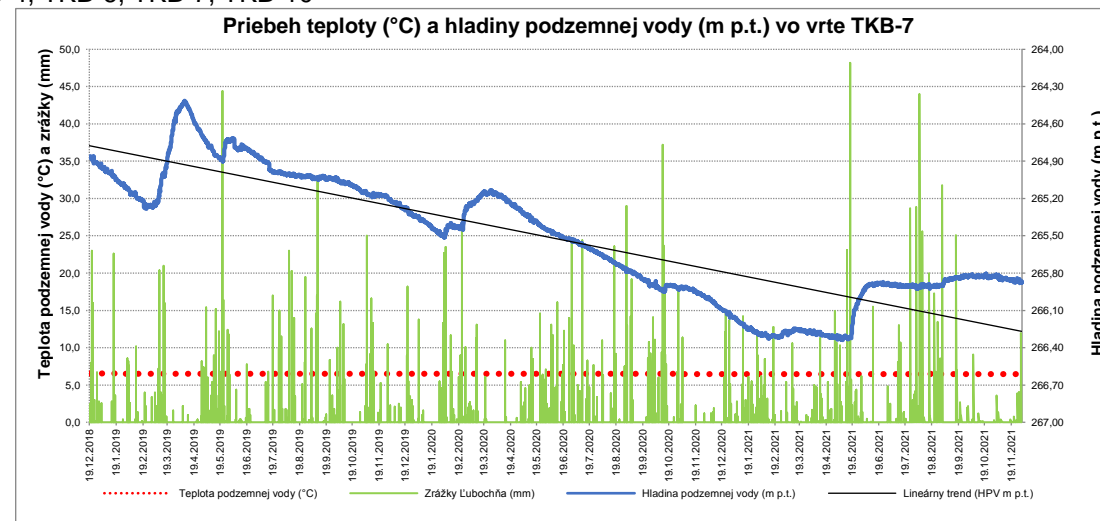
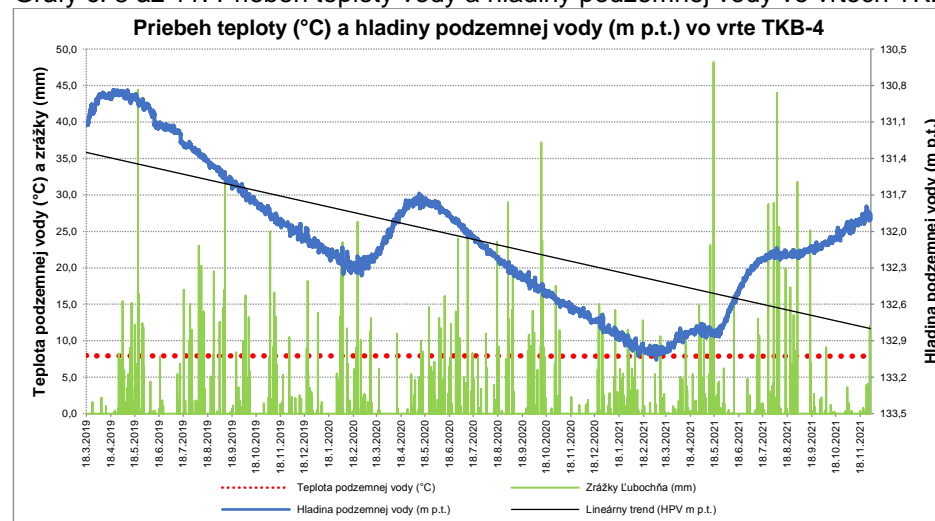
Tento úsek tunela pretína masív Kopy, v ktorom dochádza k najintenzívnejším prítokom (infiltrácii) vody z atmosférických zrážok do horninového prostredia, z tohto dôvodu boli vo vrtoch TKB-10 a TK-07 overené vyššie hladiny podzemných vôd.

Súčasťou grafov sú aj trendové analýzy, ktoré vo všetkých tunelových vrtoch poukazujú na trend poklesu hladín podzemných vôd, čo je dôsledok obdobia celkového poklesu zrážkovej aktivity - prevládajú suché až normálne roky (grafy č. 4 - 12).

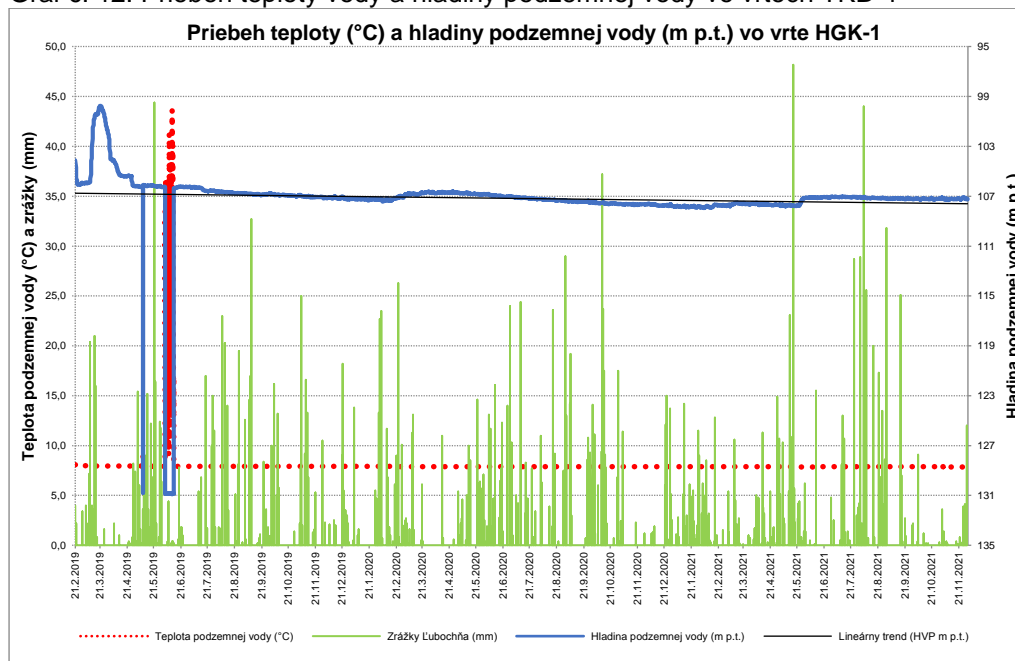
Grafy č. 4 až 7: Priebeh teploty vody a hladiny podzemnej vody vo vrtoch TK-05, TK-04, TK-07, TKB-2



Grafy č. 8 až 11: Pribeh teploty vody a hladiny podzemnej vody vo vrtoch TKB-4, TKB-6, TKB-7, TKB-10



Graf č. 12: Priebeh teploty vody a hladiny podzemnej vody vo vrtoch TKB-4



V oblasti tunela, kde je niveleta tunela vedená nad hladinou podzemnej vody (km 5 308,16 do 6 810,49) (príloha č. 7), nedošlo na základe údajov z kontinuálnych snímačov hladín podzemných vôd (2018 – 2021) k nárastu hladiny podzemnej vody nad uvedenú niveletu tunela projektovanú v etape DÚR. Hladiny podzemných vôd vo vrtoch majú veľmi nízky rozkyv a to TK-05 (1,37 m), TKB-7 (1,92 m).

V zabudovaných piezometrických vrtoch v portálových úsekoch tunela Korbeltka boli merané hladiny podzemných vôd pomocou kontaktného hladinomeru podľa schváleného harmonogramu do 12.2021 (tabuľka č. 3). Ide o vrty v portálových úsekoch tunela Korbeltka. Hladiny podzemných vôd nie sú veľmi rozkolísané, naopak rozkyv hladín podzemných vôd je nízky od 0,04 m HGZ-2 až do 2,65 m HGZ-2, okrem vrtu HG-03, kde bol zaznamenaný rozkyv hladín podzemných vôd 11,75 m.

Tabuľka č. 3: Štatistické charakteristiky hladín podzemných vôd (m p.t.) – merania kontaktným hladinomerom, tunel Korbeltka

Vrt	HG-01	HG-02	HGZ-1 I.	HGZ-1 II.	HGZ-2	HG-03	HG-04	HGV-1	HGV-2
10.7.2018	2,49	4,13	*	*	*	6,63	19,17	*	*
8.2.2019	1,96	2,90	*	*	*	5,59	19,02	13,80	8,37
17.4.2019	2,34	3,90	4,25	4,45	7,87	5,60	19,10	13,82	8,37
24.4.2019	2,33	3,91	4,29	4,49	8,02	5,62	19,17	13,91	8,38
15.7.2019	2,41	3,97	4,41	4,52	9,52	6,63	19,14	14,18	8,39
20.7.2021	2,43	4,04	4,50	4,53	9,94	11,71	19,19	14,25	8,41
15.8.2021	2,42	3,99	4,48	4,53	9,75	8,25	19,15	14,20	8,40
16.9.2021	2,42	4,02	4,78	4,78	10,28	9,84	19,12	15,22	8,40
25.10.2021	2,45	4,06	4,96	4,97	10,41	16,71	19,21	15,95	8,40
24.11.2021	2,45	4,07	5,09	5,09	10,45	17,27	19,22	16,08	8,41
1.12.2021	2,46	4,09	5,16	5,16	10,52	17,34	19,24	16,13	8,41
maximum	1,96	2,90	4,25	4,45	7,87	5,59	19,02	13,12	8,37
minimum	2,49	4,13	5,16	5,16	10,52	17,34	19,24	16,13	8,41
rozkyv	0,53	1,23	0,91	0,71	2,65	11,75	0,22	2,33	0,04

Poznámka: * Vrt HGZ-1 I., HGZ-1 II. a HGZ-2 – vybudovaný 22.3.2019, vrt HGV-1 – vybudovaný 13.12.2018 a HGV-2 – vybudovaný 9.12.2018

Z údajov hladín podzemných vôd (tunel Korbeltka) verifikovanými hydraulickým modelom boli stanovené generálne smery prúdenia podzemných vôd v masíve Kopa. Prúdenie podzemných vôd smeruje

od elevácie úrovně hladín podzemných vôd smerom k okraju masívu Kopa, kde dochádza k ich odvodňovaniu prameňmi alebo skrytými prestupmi do povrchových vôd.

Priebeh hladín podzemných vôd je zrejmy aj prílohy č. 7: Úroveň hladiny podzemnej vody v pozdĺžnom profile tunela Korbeľka, mierka 1:5 000.

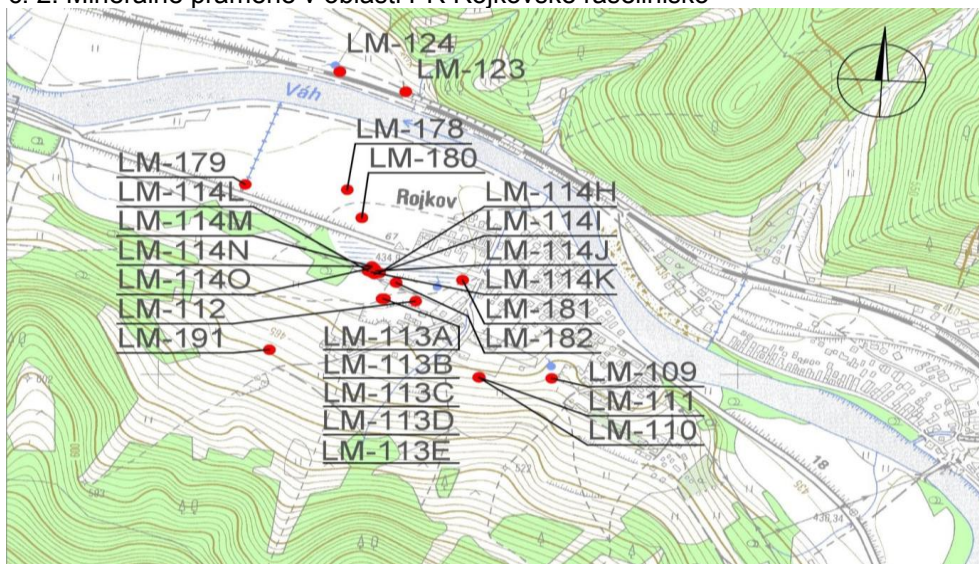
Rojkovské rašelinisko

Územie Prírodná rezervácia (PR) Rojkovské rašelinisko o výmere 28 807 m² v zmysle zákona NR SR č. 543/2002 Z.z. o ochrane prírody a krajiny v znení neskorších predpisov je priradený 4. stupeň ochrany. Prírodná rezervácia je časťou územia európskeho významu SKÚEV 0238 Veľká Fatra patriaceho do území NATURA 2000. Predmetom legislatívnej ochrany je prelínanie slatinných rašelinísk, prechodných a vrchoviskových biocenóz na malej ploche s výskytom vzácnej fauny. PR Rojkovské rašelinisko sa nachádza v okrajovej časti aluviálnej nivy Váhu teda v tesnej blízkosti svahov masívu Kopy. Severnú hranicu rašeliniska tvorí násyp cesty I. triedy I/18, pozdĺž ktorého sú odvodňovacím rigolom odvádzané povrchové vody a pravdepodobne prebytočná voda z rašeliniska. Územie prírodnej rezervácie je zmenené ťažbou rašeliny prebiehajúcej v 60 rokoch minulého storočia, terénymi úpravami v miestach dnešného ihriska ako aj skládkou v SV časti rezervácie.

PR Rojkovské rašelinisko patrí k tzv. živým rašeliniskám, kde prebieha aj v súčasnosti tvorba rašeliny. Hrúbka alebo plošný výskyt rašeliny na území PR nie je známy. Hrúbka rašeliny hnedej farby bola overená iba vo vrte VZ-3 (Grenčíková, A. a kol., 2009) s mocnosťou 2,4 m. Rašelina je organický sediment, ktorý vzniká rozkladom rašelinotvornej vegetácie a má vysokú retenčnú schopnosť. Rašelina sa nachádza v tzv. zóne katotelmu, kde prevláda kyslé redukčné prostredie bez prístupu kyslíka.

Špecifikom územia Rojkovského rašeliniska je prítomnosť prameňov studenej minerálnej vody s obsahom CO₂, ovplyvňujúceho pH okolitého prostredia ako aj obvyčajnej vody bohatej na obsah základných minerálov a prínosom zrážkovej vody spadnutej na územie PR. Na vodný režim a fyzikálno-chemické vlastnosti vôd v rašelinisku je viazaný výskyt mokradnej fauny a flóry, ktorá je na území prírodnej rezervácie predmetom legislatívnej ochrany. V rámci registrácie minerálnych vôd a revízií registrácií (Tkáčik 1960, Krahulec a kol., 1978 in Grenčíková a kol., 2009) sú pramene minerálnej vody zaregistrované v databáze minerálnych vôd. Priamo v rašelinisku približne v strednej časti prírodnej rezervácie - v miestach degradovaných ťažbou rašeliny je pramenisko registrovaných ôsmich výverov s označením LM-114 Pramene v rašeline. V tejto časti sa vyskytuje biotop dystrofných stojatých vôd a biotop rašelinových brežín. Vo vonkajšej JV časti hranice rezervácie je registrovaných 5 minerálnych prameňov s označením LM-113 „Pramene pri kyselke“ a zachytený minerálny prameň v skruži LM-112 „Kyselka“. Situačne sú pramene zobrazené v nasledujúcom obrázku č. 2.

Obr. č. 2: Minerálne pramene v oblasti PR Rojkovské rašelinisko



Minerálne vody vystupujú nielen v rašelinisku, ale boli zistené vo vrtoch situovaných vo fluvialných sedimentoch Váhu VZ-1, VZ-2, KS-7, KS-10, v SV časti rašeliniska VZ-3 a vo vrte VZ-4 (Grenčíková a kol., 2009). Ďalej boli zistené v pozorovacom vrte na severných svahoch masívu Kopy v mieste tektonického porušenia masívu vo vrte R11/PZ-6 (Grenčíková a kol., 2009) a v prameni LM-19. V širšom okolí sú evidované v Rojkove LM-109 Jazero, na pravej strane Váhu LM-159, v Stankovanoch a Švošove. V rámci geologickej úlohy bol na okraji nivy Váhu realizovaný vrt P-4, kde bol zistený ďalší výskyt minerálnej vody s celkovou mineralizáciou 988 mg.l⁻¹ a so zvýšeným obsahom CO₂ 220 mg.l⁻¹.

Minerálne vody sú podmienené aktivitou zlomovej línie V-Z smeru a systému priečných zlomových líní (Bezák a kol., 2004 in Grenčíková a kol., 2009).

Pre doplnenie pozorovacej siete v okolí PR Rojkovské rašelinisko boli vo svahu v západnej časti rezervácie vybudované štyri pozorovacie vrtý P-1 až P-4. Spolu s vrtmi VZ-1 až VZ-5 realizovanými v rámci podrobného inžinierskegeologického a hydrogeologického prieskumu (Grenčíková a kol., 2009) tvoria sieť monitorovacích vrtov po obvode prírodnej rezervácie. Vrtý boli realizované so súhlasom ŠOP NP Veľká Fatra. Keďže prírodná rezervácia nemá vyhlásené ochranné pásmo, tak do vzdialenosti 100 m okolo hranice rezervácie platí 3. stupeň ochrany. Priamo v území prírodnej rezervácie, ktorá je predmetom ochrany nie je na sledovanie hladín podzemnej vody vybudovaná monitorovacia sieť (plytkých sond).

Z monitoringu hladín podzemných vôd vyplýva (monitoring do 2021), že hladiny podzemných vôd vo vrtoch v okolí Rojkovského rašeliniska miene poklesli od roku 2010 (tabuľka č. 4). Z údajov meraní výšky hladín podzemnej vody z rokov 2016 - 2021 vyplynulo, že maximálna hladina podzemnej vody vo vrte P-4 mala pozitívnu piezometrickú výšku. Najvyššia úroveň hladiny podzemnej vody od -0,31 do 3,31 m p.t. s rozkyvom 3,62 m bola zistená vo vrte P-4. Najhlbšia úroveň hladiny podzemnej vody kolísajúca od 2,82 – 20,93 m p.t. bola zistená v pozorovacom vrte P-3, s rozkyvom hladín podzemných vôd 18,11 m p.t.

Situácia prieskumných diel je zrejماً zo situácie č. 1.2.

Tabuľka č. 4 Výsledky režimových meraní vo vrtoch v okolí Rojkovského rašeliniska

Označenie vrtu	podrobný IGHP (3/2010 - 4/2010)			orientačný IGHP variant V1or (12/2015 - 1/2016)			podrobný IGHP 02/2016 – 12/2021		
	m p.t. (m n.m.)			m p.t. (m n.m.)			m p.t. (m n.m.)		
	max	min	rozkyv	max	min	rozkyv	max	min	rozkyv
VZ-1	-0,01	0,17	0,18	0,71	0,98	0,27	0,20	1,99	1,78
VZ-2	-0,37	0,76	1,13	0,22	0,51	0,29	poškodený snímač		
VZ-3	0,10	0,18	0,08	0,68	0,92	0,24	0,59	1,34	0,74
VZ-4	3,23	3,27	0,04	vrt nepriechodný			0,70	4,35	3,65
VZ-5	4,41	4,76	0,35	4,86	5,36	0,5	0,50	6,52	6,01
P-1	Vrtý boli odvrtné až v roku 2015			11,24	11,55	0,30	9,24	12,93	3,69
P-2				6,29	8,28	1,99	6,35	10,01	3,66
P-3				vrt nepriechodný			2,82	20,93	18,11
P-4				0,018	0,915	0,89	-0,31	3,31	3,62

Priebeh teploty vody a hladiny podzemnej vody vo vrtoch P-1 až P-4 a VZ-1 až VZ-5 je zrejماً z grafov v prílohe č. 4.

Západný portál tunela Rojkov (vrtý vybudované v rámci povrchového variantu D1 Turany - Hubová, rok 2010, 2015)

V rokoch 2010 a 2015 boli v rámci prieskumov vybudované vrtý na západnom portáli tunela Rojkov (povrchový variant) z dôvodu overenia zložitých geologických podmienok v oblasti západného portálu tunela Rojkov. Situácia prieskumných diel je zrejماً zo situácie č. 1.2.

Tabuľka č. 5: Štatistické charakteristiky hladín podzemných vôd (m p.t.) – merania kontaktným hladinomerom – západný portál tunela Rojkov

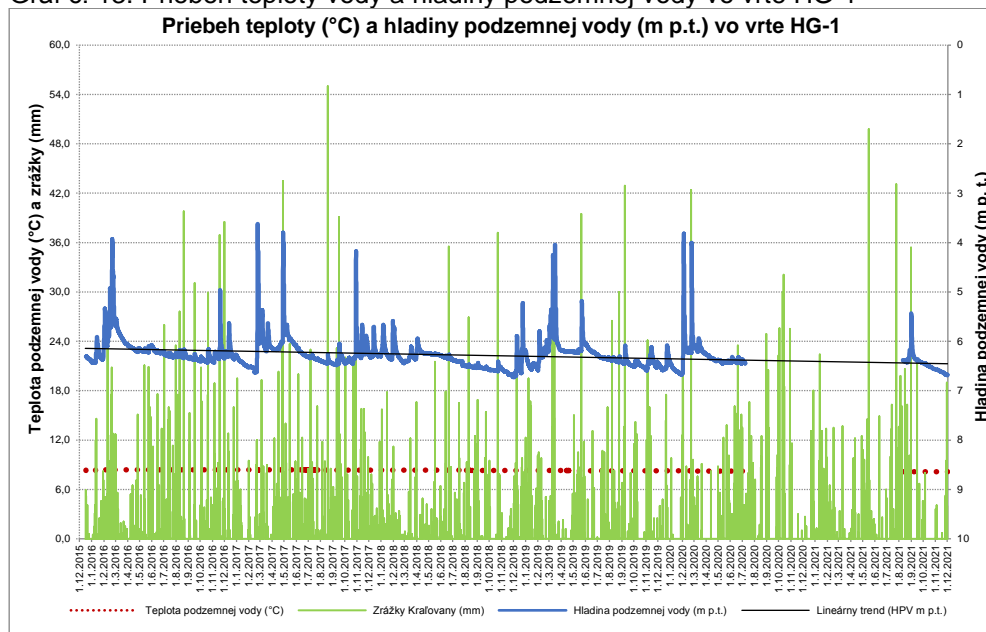
Označenie vrtu/dátum merania	R1/PZ-1	R3/PZ-2	R5/PZ-3	R6/PZ-4	R9/PZ-5	R11/PZ-6	16 AP	16P	18P	R12/PZ-1	R14/PZ-3
18.7.2019	20,04	19,62	13,16	21,08	9,25	14,87	14,44	12,56	3,63	6,54	5,75
11.8.2021	20,1	19,89	13,09	21,15	10,83	14,91	14,70	12,6	3,37	6,38	6,37
16.9.2021	19,89	19,82	13,17	20,92	8,67	14,83	13,35	12,55	3,33	6,38	5,39
26.10.2021	20,13	19,93	13,25	21,15	10,35	14,97	14,5	12,58	3,51	6,54	6,23
24.11.2021	20,25	19,99	13,23	21,22	11,54	15,02	14,87	12,59	3,61	6,62	6,39
2.12.2021	20,27	20,01	13,27	21,28	11,72	15,11	14,98	12,62	3,68	6,7	6,51
minimum	20,27	20,01	13,27	21,28	11,72	15,11	14,98	12,62	3,68	6,7	6,51
maximum	19,89	19,62	13,09	20,92	8,67	14,83	13,35	12,55	3,33	6,38	5,39
priemer	20,11	19,88	13,20	21,13	10,39	14,95	14,47	12,58	3,52	6,53	6,11
rozkyv	0,38	0,39	0,18	0,36	3,05	0,28	1,63	0,07	0,35	0,32	1,12

Vrtý situované v tejto časti územia vykazujú za sledované obdobie veľmi nízky rozkyv hladín

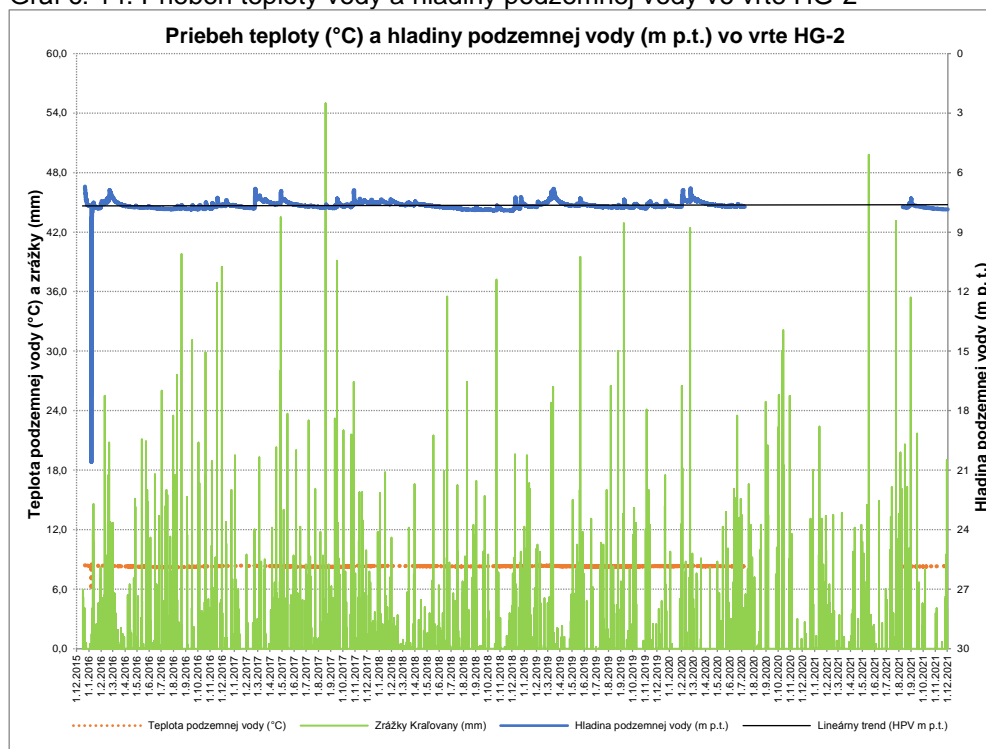
podzemných vôd a to od 0,07 m (vrt 16P) do 3,05 m (vrt R9/PZ-5). Prehľad štatistických výsledkov merania hladín podzemnej vody v pozorovacích vrtoch je uvedený v tabuľke č. 5 a 6.

Vo vrtoch HG-1 a HG-2 boli nainštalované automatické kontinuálne hladinomyery firmy Solinst Ltd. Z monitoringu hladín podzemných vôd vyplýva (monitoring do 2021), že hladiny podzemných vôd vo vrtoch HG-1 a HG-2 majú vyrovnaný až mierne klesajúci trend, čo je dôsledok obdobia celkového poklesu zrážkovej aktivity - prevládajú suché až normálne roky (grafy č. 13 a 14). Rozkvy hladín podzemných vôd sa pohyboval od 3,1 m (HG-1) až 13,89 m (HG-2).

Graf č. 13: Priebeh teploty vody a hladiny podzemnej vody vo vrte HG-1



Graf č. 14: Priebeh teploty vody a hladiny podzemnej vody vo vrte HG-2



Tabuľka č. 6: Štatistické charakteristiky hladín podzemných vôd a teploty vody – kontinuálne snímače – západný portál tunela Rojkov

Vrt	Hladina podzemných vôd						Teplota podzemných vôd		
	maximum	minimum	minimum	maximum	priemer	rozkyv	minimálna	maximálna	priemer
	m p.t.	m p.t.	m n.m.	m n.m.	m p.t.	m	°C	°C	°C
HG-1	3,62 (24.2.2017)	6,72 (3.12.2018)	499,52	496,42	6,26	3,10	8,13	8,39	8,32
HG-2	6,71 (22.12.2015)	20,57 (7.1.2016)	496,43	482,57	7,65	13,86	5,88	8,64	8,31

Kraľoviansky zosuv

V rokoch 2009 a 2010 boli na Kraľovianskom zosuve vybudované vrty za účelom sledovania výšky hladiny podzemnej vody v zosuvnom území. V niektorých vrtoch sú merané HPV manuálne kontaktným elektroakustickým hladinomerom model 101 spoločnosti Solinst Canada Ltd. Meranie hladiny podzemných vôd je s presnosťou 0,01 m.

V I. a II. etape geotechnického monitoringu (rok 2011 - 2013) bolo osadených do 11 vybratých hydrogeologických vrtoch 5-P/N, 11P, 12P, 13-P/N, 15-P/N, DV-3/PZ, DV-4/PZ, DV-5/PZ, 6a/PZ-5, 6a/PZ-6, 6a/PZ-7, v kritických zosuvných profiloch, technické zariadenia na automatický záznam úrovne hladiny podzemnej vody a teploty vody – snímače levelogger a 1 barologger na záznam atmosférického tlaku (DV-4/PZ). Tieto snímače sú dnes už nefunkčné a nebolo možné z nich stiahnuť dáta.

Hladiny podzemných vôd Kraľovianskeho zosuvu nie sú veľmi rozkolísané, rozkyv hladín podzemných vôd je nízky od 0,01 m vrt 4P – 0,02 m vrt DV-1/PZ až po 5,16 m vrt 10P, v ktorom bol zaznamenaný najväčší rozkyv hladín podzemných vôd za sledované obdobie (tabuľka č. 7).

Situácia prieskumných diel je zrejماً zo situácie č. 1.3.

Podľa vývoja klimatických činiteľov v lokalite Kraľoviansky zosuv je zrejماً, že hladiny podzemných vôd reagujú na zmeny klimatických činiteľov, v niektorých vrtoch je reakcia okamžitá, vo väčšine vrtoch však reagujú podzemné vody na zmenu klimatických činiteľov s oneskorením. Zvýšené množstvo atmosférických zrážok infiltruje v horných častiach masívu a gravitačným presunom zo sutí, pozdĺž tektonických línií a povrchovej zóny predkvartérnych porušených hornín sa dostáva do spodných častí masívu s prejavom zvýšenia hladín podzemných vôd vo vrtoch až do fluvialných sedimentov Váhu. Hladina podzemnej vody je prevažne viazaná na porušené a šmykové zóny zosuvného delúvia Kraľovianskeho zosuvu. Zvýšené hladiny podzemných vôd následne aktivizujú pohyby v zosuvnom území.

Tabuľka č. 7: Štatistické charakteristiky hladín podzemných vôd (m p.t.) – merania kontaktným hladinomerom, Kraľoviansky zosuv

Označenie vrtu/dátum merania	6a/PZ-1	6a/PZ-2	6a/PZ-3	6a/PZ-4	6a/PZ-5	6a/PZ-6	6a/PZ-7	4P	5-P/N	6P	7P	8AP	9-P/N	10P	11P	12P	13-P/N	14P
26.8.2021	4,70	20,81	suchý	12,33	4,60	5,22	7,89	20,28	9,06	10,31	10,85	11,63	22,06	10,04	17,71	zničený	7,86	5,62
16.9.2021	4,64	20,72	suchý	12,20	4,71	5,22	7,86	20,28	10,25	11,93	10,85	11,47	21,86	10,71	17,72	zničený	8,06	5,54
26.10.2021	4,76	20,98	suchý	12,34	5,06	5,38	7,87	20,28	10,38	12,57	11,02	11,65	22,07	13,81	17,62	zničený	8,21	5,78
24.11.2021	4,82	21,04	suchý	12,31	5,24	5,43	7,92	20,27	10,41	12,56	11,04	11,74	22,18	14,58	17,74	zničený	8,28	5,87
8.12.2021	4,85	21,07	suchý	12,33	5,31	5,47	7,95	20,28	10,46	12,58	11,08	11,82	22,23	14,71	17,80	zničený	8,32	5,94
minimum	4,85	21,07		12,34	5,32	5,47	7,95	20,28	11,74	12,76	11,08	11,84	22,23	15,20	17,80		8,32	5,94
maximum	4,64	20,72		11,93	4,60	5,22	7,59	20,27	9,06	10,31	10,85	11,47	21,86	10,04	15,77		7,86	5,54
priemer	4,75	20,92		12,24	5,04	5,35	7,85	20,28	10,38	12,12	10,96	11,69	22,09	13,18	17,39		8,17	5,75
rozkyv	0,21	0,35		0,41	0,72	0,25	0,36	0,01	2,68	2,45	0,23	0,37	0,37	5,16	2,03		0,46	0,40

Označenie vrtu/dátum merania	15-P/N	DV-1/PZ	DV-2/PZ	DV-3/PZ	DV-4/PZ	DV-5/PZ	DV-6/PZ	6b/PZ-2	6b/PZ-3	6b/PZ-4	6b/PZ-5
26.8.2021	10,06	22,17	10,29	12,28	13,53	17,68	17,85	13,43	7,34	7,87	4,78
16.9.2021	10,05	22,17	10,27	11,38	11,17	17,79	17,82	13,18	8,12	7,96	4,86
26.10.2021	10,14	22,16	10,33	11,86	11,26	suchý	17,88	13,51	9,50	8,11	4,92
24.11.2021	10,17	22,15	10,38	12,14	11,25	suchý	17,92	13,61	9,61	8,25	4,97
8.12.2021	10,21	22,17	10,41	12,33	11,28	suchý	17,97	13,66	9,67	8,34	5,02
minimum	10,21	22,17	10,41	12,33	13,53	17,79	17,97	13,66	9,67	8,34	5,02
maximum	10,04	22,15	10,27	11,38	11,13	17,62	17,82	13,18	7,34	7,87	4,78
priemer	10,11	22,16	10,35	11,93	11,60	17,70	17,88	13,48	8,62	8,12	4,92
rozkyv	0,17	0,02	0,14	0,95	2,40	0,17	0,15	0,48	2,33	0,47	0,24

Uzavreté systémy piezometrov

V etape orientačného IGHP boli vo vrtoch (oIGHP, 2014) TK-03, TK-06 a TK-09 inštalované snímače na meranie hydrostatického tlaku, základné údaje sú uvedené v tabuľke č. 8.

V rámci úlohy (pIGHP 2019) boli vrty TKB-1, TKB-3, TKB-5, TKB-8, TKB-11B, TKB-12, vystrojené uzatvoreným systémom merania údajov puklinových resp. hydrostatických tlakov vody v horninovom prostredí. Výsledkom meraní sú údaje o pórových (puklinových) tlakoch v okolí tunelových rúr. Hĺbka osadenia snímačov do pieskového filtra bola definitívne vyšpecifikovaná po dokumentácii vrtného jadra a realizácii následných karotážnych meraní so zistením úsekov s prítokmi podzemnej vody.

Účelom týchto snímačov je dôkladné poznanie hydrogeologických pomerov, ktoré sú v rámci tunelových stavieb potrebné a budú použité pri monitorovaní nestacionárnych dejov, ako napr. počas razenia tunela môže byť zaznamenaný pokles hydrostatického tlaku a identifikácia okamžitých prítokov podzemnej vody do tunelových rúr.

Tieto snímače sú závislé na pravidelnej údržbe (výmene batérií), preto ak v grafoch nie sú dáta, boli vybité baterky, nie je to chyba snímača.

V tabuľke č. 8 sú uvedené hodnoty hydrostatického tlaku, ktoré zodpovedajú odvodenej hladine podzemnej vody.

Tabuľka č. 8: Štatistické charakteristiky hydrostatických tlakov – uzavreté piezometre, tunel Korbeľka
Monitoring hydrostatického tlaku (04/2014 – 11/2017), oIGHP, 2014

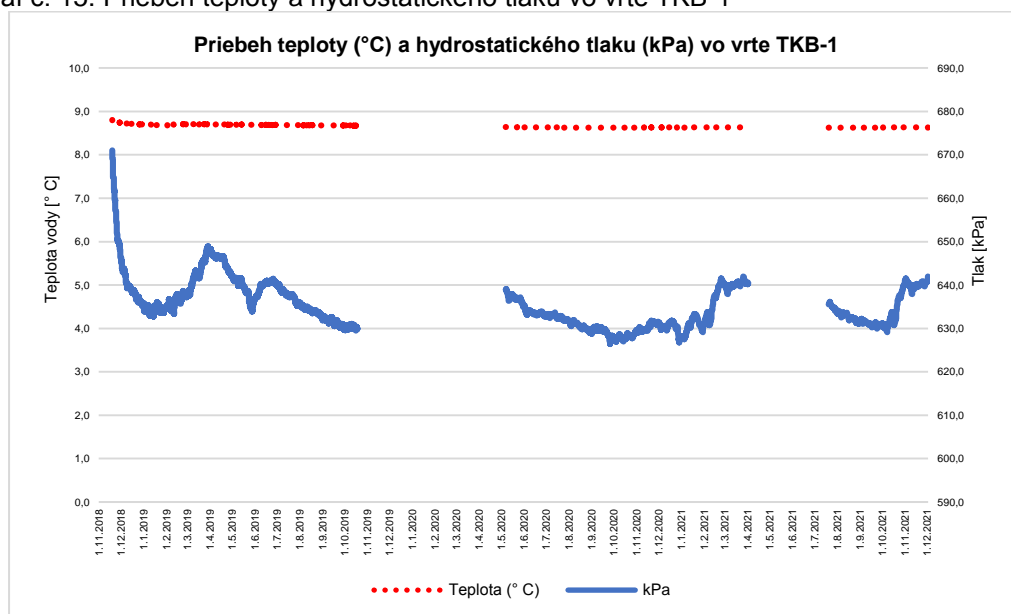
Vrt	Hodnoty hydrostatického tlaku			Hladina podzemnej vody		
	minimum kPa	maximum kPa	priemer kPa	minimum m n.m.	maximum m n.m.	priemer m n.m.
TK-03	275,53	299,91	287,14	457,22	458,40	458,53
TK-06	369,92	375,86	375,86	473,08	473,65	473,32
TK-09	942,87	1 344,94	1 053,98	594,96	632,13	605,23

Monitoring hydrostatického tlaku/hladiny podzemnej vody (10/2018 – 12/2021)

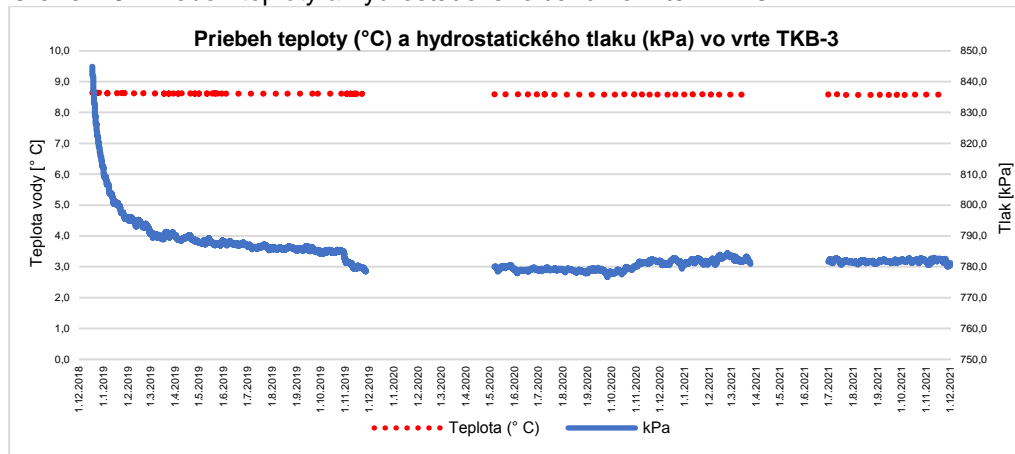
Vrt	Hodnoty hydrostatického tlaku			Hladina podzemnej vody			Teplota prostredia (vody)		
	minimum kPa	maximum kPa	priemer kPa	minimum m n.m.	maximum m n.m.	priemer m n.m.	minimum °C	maximum °C	priemer °C
TKB-1	626,03	671,43	637,33	496,54	501,08	497,65	8,62	8,80	8,68
TKB-3	776,68	844,85	788,25	518,16	525,11	519,34	8,57	8,64	8,61
TKB-5	158,10	232,76	190,83	464,16	471,77	467,49	7,37	7,45	7,40
TKB-8	26,82	62,13	47,41	471,90	475,50	474,00	6,40	6,86	6,47
TKB-11B	222,13	426,72	359,72	516,72	537,58	530,75	6,58	6,73	6,62
TKB-12	767,64	997,32	820,43	553,80	577,21	559,18	10,72	10,83	10,76

Počas prieskumov vo vrtoch s osadenými uzatvorenými piezometrami dochádzalo veľmi pozvoľne k ušľachovaniu hydrostatického tlaku, k ustáleniu tlaku došlo až po ukončení prieskumu (viď graf č. 15 až č. 20), nakoľko sa vo vrtoch prejavoval pokles výplachovej vody z vrtných prác. Úroveň hydrostatických tlakov sa postupne ustálila ako je zrejme z uvedených grafov.

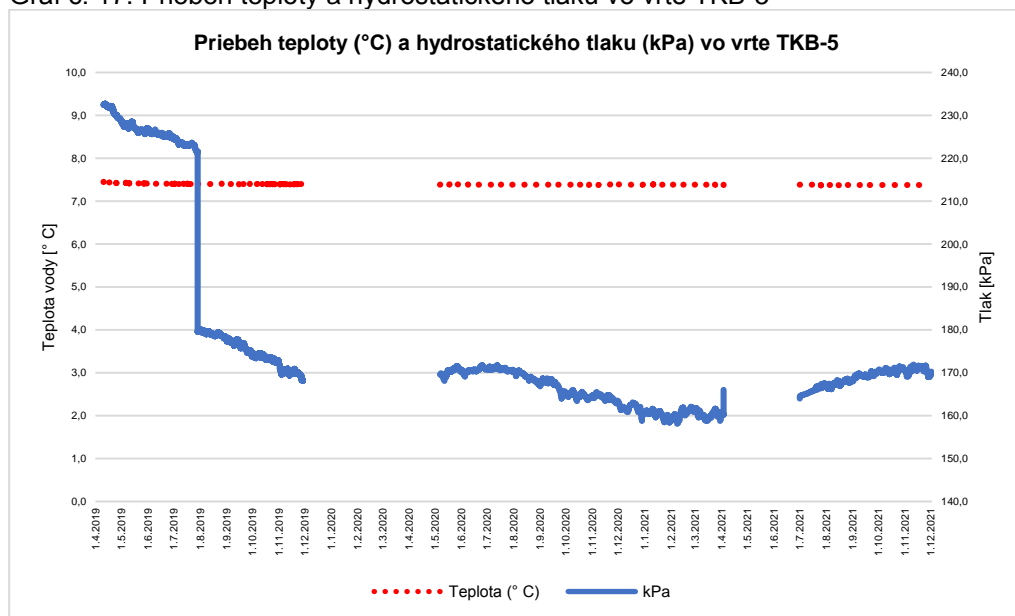
Graf č. 15: Priebeh teploty a hydrostatického tlaku vo vrte TKB-1



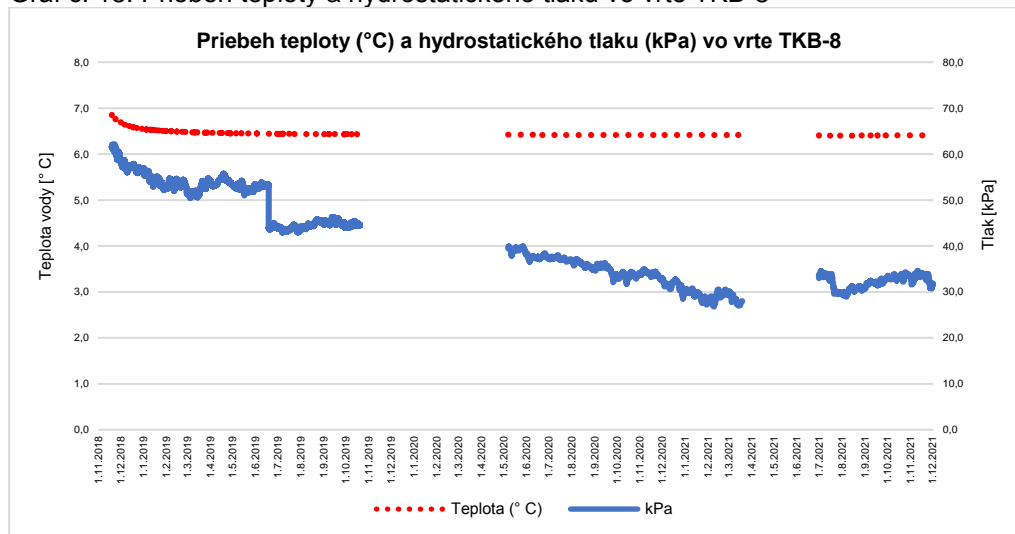
Graf č. 16: Priebeh teploty a hydrostatického tlaku vo vrte TKB-3



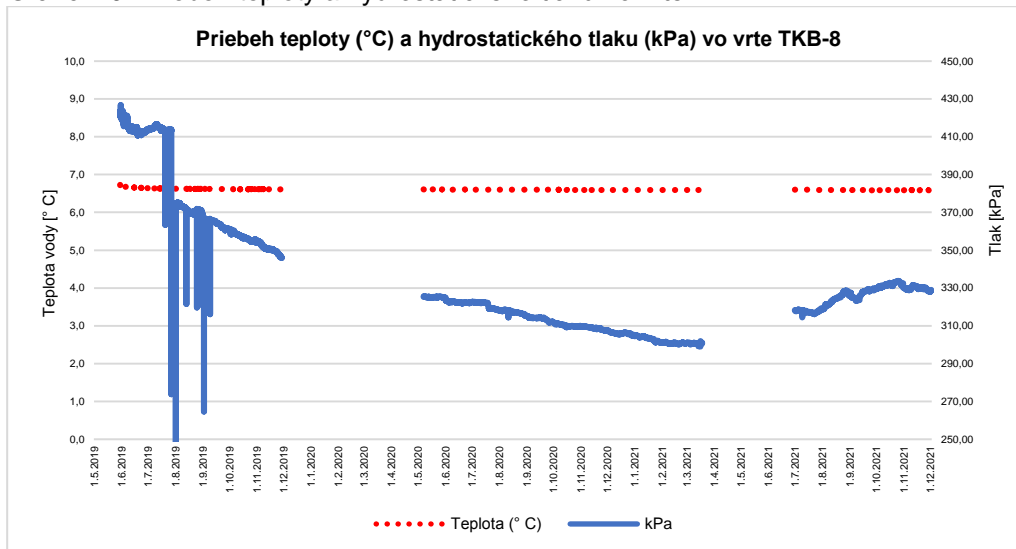
Graf č. 17: Priebeh teploty a hydrostatického tlaku vo vrte TKB-5



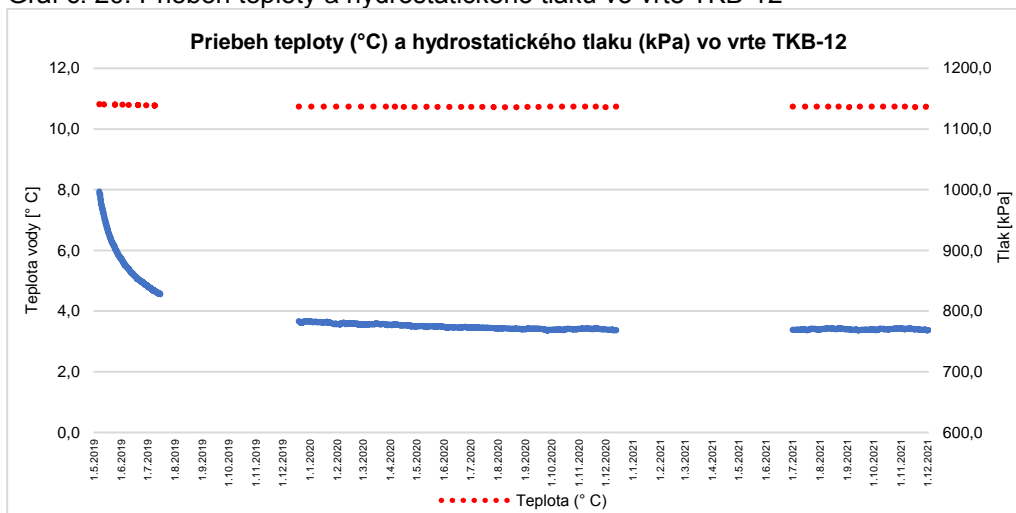
Graf č. 18: Priebeh teploty a hydrostatického tlaku vo vrte TKB-8



Graf č. 19: Priebeh teploty a hydrostatického tlaku vo vrte TKB-11B



Graf č. 20: Priebeh teploty a hydrostatického tlaku vo vrte TKB-12



Monitoring povrchových vôd

V rámci monitoringu povrchových tokov počas pIGHP 2019, boli sledované vybrané pramene, ktoré neboli merané kontinuálnymi snímačmi a predstavujú priamy odtok zo sledovanej hydrogeologickej štruktúry masívu Kopy. Merania boli realizované objemovo označenými nádobami veľkosti 0,2 až 60 l a čas bol meraný stopkami. Prietok bol meraný priamo na vodných tokoch s možnosťou merania. Ak nebolo možné merať prietok vodných tokov priamo, bolo koryto toku upravené a tok bol zvedený do rúry priemeru 120 mm. Prietok bol meraný následne pomocou takejto úpravy ako prietok vody cez rúru. Údaje o prietokoch na povrchových tokoch sú zrejmé v tabuľka č. 9.

V rámci podrobného prieskumu 2019 boli sledované účelové hydrologické merania okamžitých prietokov na povrchových tokoch v záujmovej oblasti s cieľom spresniť hydrologickú bilanciu masívu. Práce boli realizované na vodnom toku Ľubochnianka v úseku od lyžiarskeho vleku po ústie do Váhu a na jej ľavostranných prítokoch v tomto úseku v niekoľkých profiloch, na vodnom Bielom potoku a jeho prítokoch v niekoľkých profiloch, na bezmennom vodnom toku v údolí severne od západného portálu tunela Korbeľka, a na významnejších bezmenných vodných tokoch na východnom a severnom svahu masívu Kopy.

Situácia miest merania prietokov povrchových tokov je uvedená v prílohe č. 1.1. a 1.2.

VT-1 - Biely potok a jeho pravostranný prítok

Biely potok bol meraný počas (PIGHP 2019) od oblasti na výstupe z HG štruktúry (VT-1-OD) až k pramennej oblasti Bieleho potoka a jeho pravostranného prítoku s pramennou oblasťou pri Ľubochnianskom sedle, na ľavom svahu sedla v smere vodného toku. Masív Kopa (chrbát vrcholu Fatra) sa nachádza vpravo od sedla, prameň (VT-1-PR) je na svahu pod vrcholom Tlstý diel.

Prietok v pravom prítoku Bieleho potoka po sútok narastá na cca 1,2 l/s v trase cca 1,0 km. Biely potok má prírastok prietoku od prameňa po sútok na vzdialenosť cca 1,6 km cca 2,3 l/s. Výrazný prírastok prietoku

je zaznamenaný aj po sútoku Bieleho potoka a jeho pravostranného prítoku na dĺžke cca 0,8 km. Celkový odtok na výstupe bol cca 7,3 l/s. Oba vodné toky sa občasne v koryte až úplne ponárali do kamenitých až balvanitých sutí, nižšie opäť vyvierali na povrch. Časť vody v niektorých merných profiloch určite prúdila sutami pod povrchovým tokom.

Údaj celkového merateľného povrchového odtoku pre Biely potok začleňuje odvodnenie masívu Magura, Tlstý diel a iba malú časť masívu Kopa, odhadom cca 13% povodia Bieleho potoka je prítok z pravej strany pravostranného prítoku Bieleho potoka (od masívu Kopa), čo je cca 0,9451 l.s⁻¹ (zjednodušeným prístupom).

Odtok z územia vo VT Biely potok je nestály, pri zrážkach vystupuje nad 15,38 l.s⁻¹.

VT-2 - VT nad Ľubochňou - pri prameni Fatra

Vodný tok pri prameni – vodnom zdroji Fatra, bol základným meraním meraný od výstupu z HG štruktúry (VT-2-OD) až k pramennej oblasti bezmenného potoka, ľavostranného prítoku vodného toku Ľubochnianka. Prameň (VT-2-PR) je v údolí pod Ľubochnianskym sedlom. Masív Kopa s vrcholom Fatra sa v smere vodného toku nachádza vľavo od sedla. Vzhľadom k morfológii terénu a zdokumentovaným výverom vody P 13, prameň č. 2469 (oIGHP, 2014) je možné predpokladať, že pramenná oblasť je pod vrcholom Tlstý diel, prameň je zásobený vodou z pravej strany povodia.

Prietok vo vodnom toku narastá iba mierne a to predovšetkým pod VZ Fatra. Celkový odtok na výstupe bol cca 0,74 l/s. Údaj celkového merateľného povrchového odtoku pre bezmenný potok začleňuje odvodnenie vrcholu Tlstý diel a masív Kopa – vrchol Fatra. Za predpokladu, že prameň je z masívu Tlstého dielu, tak v celej ploche od prameňa bol prírastok prietoku iba 0,37 l/s. Plocha povodia pre masív Kopa je cca rovnaký, ako povodia Tlstého dielu. Prietok nezahŕňa prepád z VZ Fatra, k celkovému odtoku je potrebné pripočítať výdatnosť VZ, ktorý sa nachádza na ľavom brehu VT pod vrcholom Fatra.

Odtok z územia vo vodnom toku je nestály, pri zrážkach vystupuje nad 9,09 l.s⁻¹ (hodnota aj s vodou z prepádu VZ Fatra), počas suchších období je skoro až suchý.

VT-3 - VT Ľubochňa - prameň

Prameň v obci Ľubochňa sa nachádza nad centrom obce vľavo od rieky Ľubochnianka nad alúviom rieky a začiatku svahu vrcholu Vysoký grúň (Vysoký vrch). Jeden prameň je upravený do podoby kaplnky, podľa vyjadrenia miestnych obyvateľov už viac desaťročí a nikdy nevysychá. V okolí smerom proti toku Ľubochnianky boli dokumentované ďalšie vývery podzemnej vody celkom s tromi odtokmi združenými pod cestu do jedného priepustu, kde vytekajú do rieky Ľubochnianka. Pramenná oblasť vyteká priamo do vodného toku Ľubochnianka, a preto predstavuje priame odvodnenie masívu Kopa.

VT-4 - VT VZ Korbeľka

Vodný tok pri VZ Korbeľka sa nachádza na rozhraní katastra obcí Ľubochňa a Stankovany, vodný tok tvorí ľavostranný prítok Váhu. Prameň VT je vo vzdialenosti cca 800 m od rieky Váh. Cca 160 m pod prameňom VT sa nachádza zachytený prameň VZ Korbeľka, nachádzajúci sa vľavo od VT. Vodný tok vteká priamo do vodného toku Váh, a preto predstavuje priame odvodnenie masívu Kopa.

Prietok vo vodnom toku narastá predovšetkým v okolí VZ Korbeľka. Celkový odtok na výstupe bol cca 1,0 l.s⁻¹. Odtok z územia vo vodnom toku je nestály, pri zrážkach vystupuje až na 8,69 l.s⁻¹ s prírastkom prietoku v okolí vodného zdroja, počas suchších období (záver monitorovacieho obdobia) je prietok povrchového toku nižší. Uvedené údaje zahŕňajú aj prepád z VZ. Pre celkový odtok je potrebné pripočítať aj spotrebu vody odoberanú z VZ Korbeľka.

VT-5 - VT V portáli tunela

Vodný tok pri V portáli tunela Korbeľka sa nachádza v katastri obce Stankovany, vodný tok tvorí ľavostranný prítok Váhu. Prameň VT je vo vzdialenosti cca 470 m od rieky Váh. Povrchový tok vteká priamo do vodného toku rieky Váh, a preto predstavuje priame odvodnenie masívu Kopa, odvodňuje východnú časť masívu Kopa s vrcholom Kopa.

Z nameraných údajov prietoku je vodným tokom stály od prameňa až po výtok z HG štruktúry masívu Kopa. Prietokové množstvo je ale veľmi rozkolísané a silne reaguje na zrážky. Nameraný prietok 3,33 l.s⁻¹ dňa 16.7.2019 je cca 15 násobok prietoku zo dňa 14.11.2018 (0,12 l.s⁻¹).

VT-6 – VT pri chate oproti Stankovanom

Pramene nad chatou oproti Stankovanom sú zachytené do VZ pre chatu a pod chatou sú celkom 3 vývody vody v rúrkach. Povrchový tok sa nachádza vo svahu nad alúviom rieky Váh, preteká povrchovo riečnymi náplavami a vteká priamo ako ľavostranný prítok do rieky Váh. Odvodňuje priamo masív Kopy – vrchol Kopa, a to z jeho SV strany. Najväčší prietok bol zmeraný dňa 6.3.2019 v hodnote 2,72 l.s⁻¹, najnižšia hodnota bola nameraná 0,16 l.s⁻¹ (dňa 4.11.2021).

VT-7 – VT pri travertínovom jazere

Vodný tok sa nachádza v JV časti obce Rojkov pri travertínovom jazere. Pramení vo svahu pod vrcholom Kopa v jeho SV časti cca 350 m od rieky Váh. Tok tvorí ľavostranný prítok Váhu a odvodňuje priamo masív Kopy.

Prietok vo vodnom toku v smere prúdenia je cca stály, celkový prietok klesá, voda vsakuje dnom koryta do svahu. Odtok z územia vo vodnom toku je nestály, pri zrážkach vystupuje až na $1,19 \text{ l.s}^{-1}$, v suchších obdobiach klesá $< 1,00 \text{ l.s}^{-1}$.

VT-9 – VT pri VZ Pod Kopou

Povrchový tok pramení prevažne zachytenými prameňmi VZ Pod Kopou. Celková dĺžka vodného toku je cca 1,0 km. Vodný tok je ľavostranným prítokom rieky Váh. Pramene a vodný tok je cca severne od masívu Kopa a vrcholu s názvom Kopa. Vodný tok má smer toku z juhu na sever a preteká prevažne svahmi masívu Kopa, pramene sú vo vzdialenosti cca 1,1 km od vrcholu masívu Kopa. Počas toku povrchový tok vstupuje a opäť vyviera v suťoviskách, prietok vody na svahoch kopca je tak silne premenlivý. V pramennej oblasti sú pramene zachytené a zvedené do rezervoáru VZ Pod Kopou.

Povrchový tok stráca vodnosť z dôvodu prestupu povrchovej vody do sútí. Následne pod vyústením prepadu z rezervoára je prietok vodného toku výrazne vyšší. Odtok z územia vo vodnom toku je veľmi silne nestály, pri zrážkach bol nameraný prietok až na $17,34 \text{ l.s}^{-1}$.

VT-13 – VT – prameň pod Teplicou

Pramene vodného toku tvoria upravené záchyty VZ Teplica. Pod rezervoárom prebytočná voda vyteká do pôvodného koryta vodného toku. Priamo pod rezervoárom je podľa neovereného zdroja odber vody do rybníka, nachádzajúceho sa nižšie v smere vodného toku. V smere vodného toku vo vzdialenosti cca 75 m od prepadu z rezervoára sa na pravom brehu nachádza zachytený prameň s vtokom do toku pod Teplicou. Celý povrchový tok má od prepadu z VZ po vtok do rieky Váh cca 340 m. Tok tvorí ľavostranný prítok Váhu a vteká do upraveného koryta. V smere vodného toku je v mernom prepade priamo nad ním odvod vody do rybníkov, merať výdatnosť povrchového toku tak nie je možné. Výdatnosť bol meraná iba pre pravostranný prameň VT.

VT-14 – VT – potok vľavo od tunela:

Vodný tok je situovaný juhovýchodne od obce Krpeľany, na ľavom svahu kopca, vľavo od projektovaného tunela Korbeľka (v smere staničenia). Celý vodný tok má dĺžku približne 600 m, tvorí ľavostranný prítok rieky Váh, vlieva sa do upraveného koryta rieky. V prvej polovici toku sa povrchový tok čiastočne stráca a následne opäť vynára zo sútí.

Vodný tok v smere prúdenia mení vodnosť cca na dvojnásobok, z $0,1$ na $0,25 \text{ l.s}^{-1}$ na výstupe z masívu Kopa. Celkový prietok meraný na výstupe z masívu bol od $0,24$ do viac ako $3,51 \text{ l.s}^{-1}$. Prietok je silne závislý od zrážok, v zrážkovom období nadobúda viac ako 15 násobný prietok oproti suchému obdobiu.

VT-15 – VT – výtok z horizontálneho vrtu H-1:

Po dovŕtaní horizontálneho vrtu pre západný portál tunela Korbeľka bol sledovaný výtok vody na povrch terénu priamo zo svahu. Voda z vrtu vyteká na terén a po trávnom poraste steká na nivu rieky Váh. Nejedná sa o povrchový tok, v súčasnosti však tento prietok vody znamená priame odvodnenie masívu Kopa. Výtok z horizontálneho vrtu sa počas prieskumu (pIGHP 2019) pohyboval od $0,01 - 0,02 \text{ l.s}^{-1}$, v súčasnosti je vrt stále vyteká s prietokom od $0,021 - 0,004 \text{ l.s}^{-1}$.

Celkový odtok z masívu Kopa (2018 – 2021) povrchovými tokmi k 12/2021 predstavoval pri jednorázovom meraní $19,11 \text{ l.s}^{-1}$. Táto hodnota bola nameraná v dlhodobom suchom období bez výraznejších zrážok. Počas jednorázových meraní na vodných tokoch boli stanovené maximálne prietoky, maximálny prietok z masívu Kopa bol stanovený meraniami na min. $75,4398 \text{ l.s}^{-1}$. Hodnota nepredstavuje úplný sumárny merateľný povrchový odtok, merné profily jednotlivých meraní vodných tokov neboli v ústí vodných tokov, ale nachádzali sa na vodných tokoch vyššie po prúdení, kde bolo možné vykonávať merania. Nezahŕňajú tak celé povodia vodných tokov.

Tabuľka č. 9: Meranie prietoku na povrchových tokoch masívu Kopy

Názov povrchového toku	Lokalita	Dátum	Prietok [l.s ⁻¹]	Dátum	Prietok [l.s ⁻¹]	Dátum	Prietok [l.s ⁻¹]	Dátum	Prietok [l.s ⁻¹]	Dátum	Prietok [l.s ⁻¹]	Dátum	Prietok [l.s ⁻¹]
Biely potok a jeho pravostranný prítok	Krpeľany	13.11.2018	5,309	6.3.2019	>5	10.6.2019	>5	16.7.2019	15,384	4.11.2021	4,93	8.12.2021	5,41
VT nad Ľubochňou - pri prameni Fatra	Ľubochňa	6.11.2018	0,737	6.3.2019	9,09	10.6.2019	>7	16.7.2019	4,00	4.11.2021	0,98	8.12.2021	0,92
VT Ľubochňa - prameň	Ľubochňa	14.11.2018	0,485	6.3.2019	0,893	10.6.2019	0,909	16.7.2019	0,909	4.11.2021	0,38	8.12.2021	0,19
VT VZ Korbeľka	Ľubochňa	6.11.2018	0,997	6.3.2019	8,695	10.6.2019	5,168	16.7.2019	3,486	4.11.2021	0,82	8.12.2021	1,095
VT V portál tunela	Stankovany	14.11.2018	0,212	6.3.2019	3,333	10.6.2019	1,262	16.7.2019	0,727	4.11.2021	0,49	8.12.2021	0,465
VT pri chate oproti Stankovanom	Stankovany	13.11.2018	0,194	6.3.2019	2,702	10.6.2019	0,586	16.7.2019	0,265	4.11.2021	0,165	8.12.2021	0,213
VT pri travertínovom jazere	Rojkov	14.11.2018	0,097	6.3.2019	0,952	10.6.2019	1,194	16.7.2019	0,689	4.11.2021	0,307	8.12.2021	0,247
Travertínové jazero	Rojkov	14.11.2018	0,144	6.3.2019	0,95	10.6.2019	0,00	16.7.2019	0,117	4.11.2021	0,133	8.12.2021	0,097
VT pri VZ Pod Kopou	Kraľovany	14.11.2018	5,637	6.3.2019	>10	10.6.2019	>7	16.7.2019	17,341	4.11.2021	6,59	8.12.2021	7,14
VT Prameň pod Teplicou	Krpeľany	14.11.2018	1,619	6.3.2019	2,01	10.6.2019	1,939	16.7.2019	1,714	4.11.2021	2,666	8.12.2021	2,777
VT – potok vľavo od tunela	Krpeľany	12.11.2018	0,244	6.3.2019	1,678	10.6.2019	3,517	16.7.2019	0,283	4.11.2021	0,410	8.12.2021	0,552
VT – výtok z horizontálneho vrtu H-1	Krpeľany	13.11.2019	*	6.3.2019	*	10.6.2019	0,019	16.7.2019	0,021	4.11.2021	0,006	8.12.2021	0,004

Poznámka: *vrt H-1 dobudovaný 14.4.2019

Monitoring vodných zdrojov v masíve Kopa

Najvýznamnejším prvkom ovplyvnenia kvality a kvantity pozemných bod v masíve Kopa sú jestvujúce vodné zdroje. V záujmovom území existujú a sú využívané nasledujúce vodné zdroje, ktoré sú v správe troch vodárenských spoločností. Vodné zdroje sú využívané pre zásobovanie obyvateľstva pitnou vodou a majú vybudované a legislatívne určené ochranné pásma.

- Turčianska vodárenská spoločnosť, a.s. Martin - VZ Teplička 1 a Teplička 2
- Oravská vodárenská spoločnosť, a.s. – Dolný Kubín – VZ Kľačany s prameňmi Pod kopu 1 – 5
- Ružomerská vodárenská spoločnosť, a.s. Ružomberok – VZ Rojkov, VZ Korbeľka, VZ Fatra.

Vodný zdroj Teplica/Teplička s prameňmi Teplička 1 je v nadmorskej výške 449,91 m n. m., prameň Teplička 2 vo výške 445,87 m n.m., vyviera na kontakte dolomitov resp. vápencov stredného triasu hronika (chočského príkrovu) a dolomitických zlepcov, brekcií a pieskovcov borovského súvrstvia vnútrokarpatského paleogénu. Vzhľadom na vyššiu výdatnosť vodného zdroja je predpokladaná dotácia podzemných vôd po relatívne otvorenom systéme puklín a otvorenej tektonike masívu Kopa. V podloží zvyšku paleogénnych hornín na ľavej strane údolia, v ktorom sa vodný zdroj nachádza, bolo geofyzikálnymi prácami overené súvrstvie hornín krížňanského príkrovu. Toto súvrstvie predstavuje v danej pozícii hydraulickú bariéru, pozdĺž ktorej dochádza k výverom podzemných vôd (oIGHP, 2014).

V rokoch 1971 až 1993 bol prameň pozorovaný na mernom objekte SHMÚ. Priemerná výdatnosť zdroja (Teplička 1 a Teplička 2) bola $Q_{\text{priem}} = 53,50 \text{ l.s}^{-1}$. Po tomto období bol prameň vodárensky zachytený, jeho priemerná výdatnosť sa v rokoch 2002 až 2005 bola $Q_{\text{priem}} = 38,28 \text{ l.s}^{-1}$. Priemerný odber za toto obdobie bol nízky iba $1,78 \text{ l.s}^{-1}$ (Nemethyová et al., 2011). V rokoch 2009 – 2013 sa priemerná výdatnosť zdroja Teplička 1 pohybovala $Q_{\text{priem}} = 20,37$ až $30,90 \text{ l.s}^{-1}$, priemerný odber z vodného zdroja prameňa Teplička 1 bol v rozmedzí $1,55$ až $2,04 \text{ l.s}^{-1}$. Priemerná výdatnosť VZ Teplička v rokoch 2013 – 2017 bola od $18,42$ až $22,93 \text{ l.s}^{-1}$ s priemerným odberom $1,92 \text{ l.s}^{-1}$ (Kandera et al, 2018). Priemerná výdatnosť za sledované obdobie 2018 – 2021 bola vo VZ Teplička $19,42 \text{ l.s}^{-1}$.

Režim prameňa je závislý od úhrnov zrážok, kedy v období jarného topenia snehov sú zaznamenané vyššie výdatnosti ako v lete a na jeseň. Prameň má relatívne stálu výdatnosť počas roku. Čo sa týka odberu podzemnej vody z prameňa na pitné účely ide o stabilný odber za posledné roky, odber vody na pitné účely predstavuje 11 % z celkovej výdatnosti prameňa (roky 2013 – 2017) a tým možno konštatovať, že skutočný odber nedosahuje povolené odberové množstvá. Celkovo možno konštatovať do budúcnosti mierny pokles skutočne odoberaných množstiev podzemných vôd na pitné účely súvisiaci s poklesom odberu veľkých spotrebiteľov ako aj domácností.

Na základe stanovenia využiteľnosti množstiev podzemných vôd prameň Teplička bol prameň zaradený do kategórie B (vyhláška 51/2008 Z.z.v platnom znení) s využiteľným množstvom $19,00 \text{ l.s}^{-1}$ (Kandera et al, 2018).

Vodný zdroj Kľačany, s prameňmi Pod Kopou 1 - 5 sa nachádza v nadmorskej výške 593,23 m n.m. (Pod Kopou 5) v hornatom, svahovitom teréne, JV od obce Kľačany. Vlastný vodný zdroj tvorí 5 prameňov, ktoré sú zdrojom pitnej vody pre vodovod Kľačany. Prameň Pod kopou 5 je dlhodobo nevyužívaný. Pramene vyvierajú na kontakte dolomitov stredného triasu hronika a málo priepustných slienitých vápencov mráznického a porubského súvrstvia krížňanského príkrovu.

Priemerná ročná výdatnosť jednotlivých prameňov vodárenského zdroja v období 2003 – 2007 podľa hydrogeologického posudku (Nemethyová et al., 2008) bola $Q_1 = 7,54 \text{ l.s}^{-1}$ (prameň 1), $Q_2 = 4,2 \text{ l.s}^{-1}$ (prameň 2), $Q_3 = 2,08 \text{ l.s}^{-1}$ (prameň 3), $Q_4 = 2,96 \text{ l.s}^{-1}$ (prameň 4) a $Q_5 = 0,25 \text{ l.s}^{-1}$ (prameň 5). Súčet priemerných výdatností vodného zdroja Kľačany tak celkovo v hodnotenom päťročnom období predstavuje $17,03 \text{ l.s}^{-1}$. Podľa údajov Oravskej vodárenskej spoločnosti OVS a.s. sa priemerná výdatnosť prameňa vodného zdroja pohybovala v období 11/2012 - 04/2014 v rozmedzí $Q_{\text{sum1-5}} = 5,43$ až $18,55 \text{ l.s}^{-1}$, v priemere $15,03 \text{ l.s}^{-1}$ (oIGHP, 2014). Priemerná výdatnosť v rokoch 2013 – 2017 VZ Pod kopu 1 bola od $4,46$ – $11,50 \text{ l.s}^{-1}$ s priemerným odberom $0,14 \text{ l.s}^{-1}$, VZ Pod kopu 2 bola od $2,75$ – $4,95 \text{ l.s}^{-1}$ s priemerným odberom $0,12 \text{ l.s}^{-1}$, VZ Pod kopu 3 bola od $1,15$ – $1,87 \text{ l.s}^{-1}$ s priemerným odberom $0,12 \text{ l.s}^{-1}$, VZ Pod kopu 4 bola od $1,05$ – $3,11 \text{ l.s}^{-1}$ s priemerným odberom $0,19 \text{ l.s}^{-1}$ (Kandera et al, 2018). Priemerná výdatnosť za sledované obdobie 2018 – 2021 bola vo VZ Pod kopu 1 – $3,001 \text{ l.s}^{-1}$, VZ Pod kopu 2 – $3,04 \text{ l.s}^{-1}$, VZ Pod kopu 3 – $1,72 \text{ l.s}^{-1}$, VZ Pod kopu 4 – $2,47 \text{ l.s}^{-1}$.

Režim prameňa je závislý od úhrnov zrážok, kedy v období jarného topenia snehov sú zaznamenané vyššie výdatnosti ako v lete a na jeseň. Prameň má relatívne stálu výdatnosť počas roku. Čo sa týka odberu podzemnej vody z prameňa na pitné účely ide o stabilný odber za posledné roky, odber vody na pitné účely predstavuje VZ Pod kopou 1 – 2 %, VZ Pod kopou 2 – 3 %, VZ Pod kopou 3 – 8 % a VZ Pod kopou 4 – 8 % celkovej výdatnosti prameňa (roky 2013 – 2017) a tým možno konštatovať, že skutočný odber

nedosahuje povolené odberové množstvá. Celkovo možno konštatovať do budúcnosti mierny pokles skutočne odoberaných množstiev podzemných vôd na pitné účely súvisiaci s poklesom odberu veľkých spotrebiteľov ako aj domácností.

Na základe stanovenia využiteľnosti množstiev podzemných vôd bol prameň Kral'ovany zaradený do kategórie B (vyhláška 51/2008 Z.z. v platnom znení) s využiteľným množstvom VZ Pod kopou 1 – 3,47 l.s.⁻¹, VZ Pod kopou 2 – 2,87 l.s.⁻¹, VZ Pod kopou 3 – 1,34 l.s.⁻¹, VZ Pod kopou 4 – 2,09 l.s.⁻¹ (Kandera et al, 2018).

Vodný zdroj Rojkov tvorí zachytený prameň vo svahu južne od obce Rojkov. Výver prameňa je v nadmorskej výške 515,35 m n.m. Podľa hodnotenia inžinierskogeologických pomerov predmetného územia (Matejček, 2007) sa prameň Rojkov nachádza pod rajónom mezozoika križňanského príkrovu – slieňovcovo-vápencové horniny mráznického súvrstvia (slienité vápence, slieňovce, slienité bridlice – stratigraficky patria nekomu a polohy hľuznatých vápencov na báze, vyšší berias – apt). Leží na rozhraní kvartérneho rajónu deluviálnych sedimentov (hlíny, íly, sute) a rajónu zosuvných území (sute, íly v plazivom – creepovom - alebo zosuvnom pohybe). Zosuvy sú vyvinuté v nižšie položených častiach svahu.

Priemerná ročná výdatnosť prameňa Rojkov za obdobie rokov 2003 – 2007 predstavuje 4,02 l.s.⁻¹, maximálna priemerná mesačná výdatnosť $Q_{\max} = 6,59$ l.s.⁻¹, minimálna $Q_{\min} = 2,17$ l.s.⁻¹ (Némethyová et al., 2008). Podľa údajov vodárenskej spoločnosti sa priemerná výdatnosť prameňa vodného zdroja pohybovala v období 11/2012 - 04/2014 v rozmedzí $Q = 3,75$ až $6,32$ l.s.⁻¹, v priemere 4,73 l.s.⁻¹ (oIHP, 2014). Priemerná výdatnosť VZ Rojkov v rokoch 2013 – 2017 bola od 4,88 – 5,09 l.s.⁻¹ s priemerným odberom 0,71 l.s.⁻¹ (Kandera et al, 2018). Priemerná výdatnosť za sledované obdobie 2018 – 2021 bola vo VZ Rojkov 4,93 l.s.⁻¹.

Režim prameňa Rojkov je závislý od úhrnov zrážok, kedy v období jarného topenia snehov sú zaznamenané vyššie výdatnosti ako v lete a na jeseň. Prameň má relatívne stálu výdatnosť počas roku. Čo sa týka odberu podzemnej vody z prameňa na pitné účely ide o stabilný odber za posledné roky, odber vody na pitné účely predstavuje 14 % z celkovej výdatnosti prameňa (roky 2013 – 2017) a tým možno konštatovať, že skutočný odber nedosahuje povolené odberové množstvá. Celkovo možno konštatovať do budúcnosti mierny pokles skutočne odoberaných množstiev podzemných vôd na pitné účely súvisiaci s poklesom odberu veľkých spotrebiteľov ako aj domácností.

Na základe stanovenia využiteľnosti množstiev podzemných vôd prameň Rojkov bol prameň zaradený do kategórie B (vyhláška 51/2008 Z.z. v platnom znení) s využiteľným množstvom 4,36 l.s.⁻¹ (Kandera et al, 2018).

Vodný zdroj Korbeľka tvorí zachytený prameň vystupujúci severne od obce Ľubochňa v doline Korbeľka vo výške 538,12 m n.m. Prameň Korbeľka sa nachádza v rajóne deluviálnych sedimentov (hlíny, íly, sute) a pásmo hygienickej ochrany II. stupňa sa rozprestiera v rajóne deluviálnych sedimentov (hlíny, íly, sute) – južná časť a severná časť leží v rajóne prevažne dolomitických, na báze vápencových hornín (dolomity, dolomitické vápence s vložkami a polohami vápenca) mezozoika chočského príkrovu, ktoré sú postihnuté blokovými deformáciami. Samotný prameň sa nachádza pri južnom okraji pásma hygienickej ochrany II. stupňa, v deluviálnych sedimentoch.

Prameň je zdrojom pitnej vody pre obec Ľubochňa miestna časť Korbeľka. Priemerná ročná výdatnosť vodárensky využívaného prameňa Korbeľka je 0,65 l.s.⁻¹. Podľa údajov Vodárenskej spoločnosti Ružomberok, a.s. sa priemerná výdatnosť vodného zdroja pohybovala v období 11/2012 - 04/2014 v rozmedzí $Q = 0,36$ až $0,70$ l.s.⁻¹, v priemere 0,49 l.s.⁻¹. Priemerná výdatnosť VZ Korbeľka v rokoch 2013 – 2017 bola od 0,42 – 0,55 l.s.⁻¹ s priemerným odberom 0,03 l.s.⁻¹ (Kandera et al, 2018). Priemerná výdatnosť za sledované obdobie 2018 – 2021 bola vo VZ Korbeľka 0,41 l.s.⁻¹.

Režim prameňa Korbeľka je závislý od úhrnov zrážok, kedy v období jarného topenia snehov sú zaznamenané vyššie výdatnosti ako v lete a na jeseň. Prameň má relatívne stálu výdatnosť počas roku. Čo sa týka odberu podzemnej vody z prameňa na pitné účely ide o stabilný odber za posledné roky, odber vody na pitné účely predstavuje 7 % z celkovej výdatnosti prameňa (roky 2013 – 2017) a tým možno konštatovať, že skutočný odber nedosahuje povolené odberové množstvá. Celkovo možno konštatovať do budúcnosti mierny pokles skutočne odoberaných množstiev podzemných vôd na pitné účely súvisiaci s poklesom odberu veľkých spotrebiteľov ako aj domácností.

Na základe stanovenia využiteľnosti množstiev podzemných vôd prameň Korbeľka bol zaradený do kategórie B (vyhláška 51/2008 Z.z. v platnom znení) s využiteľným množstvom 0,43 l.s.⁻¹ (Kandera et al, 2018).

Vodný zdroj Fatra vyviera na južnom okraji štruktúry Kopa v nadmorskej výške 568,00 m n.m. v

dolomitoch stredného triasu hronika (?) resp. na ich tektonickom kontakte s komplexom allgäuských vrstiev. Podľa pracovníkov vodárenskej spoločnosti záchyt prameňa je na pravej strane údolia v päte svahov masívu Tlstý diel, ktorý je tvorený rádiolárovými vápencami veporika (súčasť krížňanského príkrovu). Výšková pozícia prameňa indikuje kontakt vápencov a podložného súvrstvia slienitých a škvŕnitých vápencov allgäuských vrstiev.

Podľa údajov Vodárenskej spoločnosti Ružomberok a.s. sa priemerná výdatnosť prameňa vodného zdroja pohybovala v období 11/2012 - 04/2014 v rozmedzí $Q = 3,55$ až $9,68 \text{ l.s}^{-1}$, v priemere $5,79 \text{ l.s}^{-1}$ (oIGHP, 2014). Priemerná výdatnosť VZ Fatra v rokoch 2013 – 2017 bola od $6,48$ – $8,19 \text{ l.s}^{-1}$ s priemerným odberom $1,40 \text{ l.s}^{-1}$ (Kandera et al, 2018). Priemerná výdatnosť za sledované obdobie 2018 – 2021 bola vo VZ Fatra $6,50 \text{ l.s}^{-1}$.

Dňa 15.12.2021 boli odobraté vzorky podzemných vôd z vodných zdrojov na kompletný rozbor pitnej vody v zmysle vyhlášky MZ SR č. 247/2017 Z.z. v platnom znení. Podzemná voda z vodných zdrojov vyhovuje uvedenej vyhláške, neboli prekročené limitné hodnoty žiadneho ukazovateľa, okrem vodného zdroja Pod kopou, kde boli prekročené hodnoty ukazovateľov Koliformné baktérie a Enterokoky. Podzemná voda zo všetkých vodných zdrojov je upravovaná chloráciou pred distribúciou do verejnej vodovodnej siete.

Podrobnejšie informácie sú uvedené v kompletných analýzach podzemných vôd, príloha č. 3.

Meranie výdatností odvodňovacích vrtov

Súčasťou terénnych prác bolo meranie výdatností odvodňovacích vrtov na odvodňovacích hniezdach (stanovištiach), ktoré boli v zosuvnom území Kraľovianskeho zosuvu vybudované.

Počas merania výdatností bolo zistené, že odvodňovacie hniezda S-1 a S-3 sú nefunkčné, zasypané zosuvným materiálom, odvodňovacie hniezda S-2 a S-4 sú funkčné.

V území boli dodatočne v roku 12/2018 – 09/2019 vybudované nové hniezda V1 až V5, všetky odvodňovacie vrty sú funkčné až na hniezdo V5, z ktorého vetva V5/1 a V5/2 je nefunkčná a je zasypaná zosuvným materiálom ako aj vetva V1/2 v hniezde V1.

Tabuľka č. 10: Prehľad merania výdatností na odvodňovacích vrtoch – Kraľoviansky zosuv

Dátum merania	S-1 S-3	S-2 (l/min)					S-4 (l/min)			
		S-2/I	S-2/II	S-2/III	S-2/IV	S-2/V	S-4/I	S-4/II	S-4/III	S-4/IV
11.3.2014	zasypané	zasypané	suchý	suchý	0,780	suchý	1,500	7,900	2,020	16,900
19.5.2014	zasypané	zasypané	suchý	suchý	7,390	0,0340	18,050	12,740	1,980	19,660
7.1.2016	zasypané	zasypané	0,390	suchý	suchý	zamrz.	17,142	1,188	8,826	7,128
16.9.2021	zasypané	zasypané	0,280	suchý	suchý	0,0218	16,127	11,127	2,147	17,001
8.12.2021	zasypané	zasypané	kvapká	suchý	suchý	suchý	5,235	3,285	1,284	6,128

Dátum merania	V1 (l/min)			V-2 (l/min)			V-3 (l/min)		
	V1/1	V1/2	V1/3	V2/1	V2/2	V2/3	V3/1	V3/2	V3/3
16.9.2021	0,00016	zničený	suchý	kvapká	suchý	suchý	kvapká	suchý	kvapká
8.12.2021	suchý	zničený	suchý	kvapká	suchý	suchý	kvapká	suchý	kvapká

Dátum merania	V4 (l/min)			V-5 (l/min)			
	V4/1	V4/2	V4/3	V5/1	V5/2	V5/3	V5/4
16.9.2021	0,00021	suchý	0,00015	zničený	zničený	suchý	kvapká
8.12.2021	kvapká	suchý	kvapká	zničený	zničený	suchý	kvapká

Hydrologická bilancia- tunel Korbeľka

Získané údaje o kvantite pozemných a povrchových vôd v masíve Kopa boli podklad pre hydrologickú bilanciu. V rámci jednotlivých hydrologických rokov 2014 – 2018 sa celkový evidovaný odtok z hydrogeologickej štruktúry Kopy pohyboval od 256 do 288 mm ($3\,975\,462 \text{ m}^3$ až $4\,471\,833 \text{ m}^3$; 126 až 142 l.s^{-1}). Pri hodnotení tohto odtoku len cca 2/3 odtokových množstiev, ktoré sa dajú predpokladať

z veľkosti efektívnych zrážok vypočítaných na plochu hydrogeologickej štruktúry Kopy od 10,4 do 16,3 l.s⁻¹.km⁻², priemerne 12,86 l.s⁻¹.km⁻², ktoré by sa mali prejavíť v odtoku priemerne 200 l.s⁻¹, resp. v jeho veľkosti medzi cca 162 až 253 l.s⁻¹. Uvedená chyba bilancie tým zároveň predstavuje zhruba 16 % zrážkových úhrnov.

Cezhraničný odtok z bilancovanej hydrogeologickej štruktúry je zanedbateľný a celkový priemerný odtok zo štruktúry masívu Kopa sa pri zohľadnení veľkostí efektívnych zrážok pre obdobie hydrologických rokov 2001 – 2018 môže pohybovať medzi hodnotami 128 l.s⁻¹ pri minimálnych stavoch a 336 l.s⁻¹ pri maximálnych stavoch, s priemernou hodnotou 196 l.s⁻¹.

Výsledky hydrologickej bilancie hydrogeologickej štruktúry Kopy pre obdobie hydrologických rokov 2019 – 2021 sú hodnotené ako celkové objemy vôd obiehajúce v uvedenom období v rámci uzavretej hydrogeologickej štruktúry s plochou 15,538 km² vyjadrené v objemových jednotkách. 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 s 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 m³ až 2 629 033 m³; 71 až 83 l.s⁻¹).

Pri hodnotení 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 l.s⁻¹.km⁻², priemerne 11,88 l.s⁻¹.km⁻² ktoré by sa mali prejavíť v odtoku priemerne 184 l.s⁻¹, resp. v jeho veľkosti medzi cca 176 až 194 l.s⁻¹. Evidované odtoky akoby zachytávali priemerne len 42 % potenciálne odtekajúci vôd. Uvedená chyba bilancie tým zároveň predstavuje zhruba 29,8 % zrážkových úhrnov. Táto chyba je možná predovšetkým v nedostatočnej evidencii všetkých odtokov z uvedeného územia ktoré by boli vykonávané počas celého obdobia, najmä pri evidencii výdatností vodárensky využívaných prameňov

Pre porovnanie s predchádzajúcim bilancovaným obdobím hydrologických rokov 2014 – 2018, kde bola dokumentovaná priemerná hodnota zo štruktúry evidovaného odtoku 126 až 142 l.s⁻¹, priemerne 135 l.s⁻¹, bol priemerný evidovaný odtok za obdobie 2019 – 2021 (78,4 l.s⁻¹; 71 – 83 l.s⁻¹) len polovičný.

Z údajov o celkovej zmene zásob podzemnej vody vyplýva, že uvedené zmeny boli pomerne veľké, celkovo bola medzi 2018 až 2021 zaznamenaná zmena zásob podzemnej vody ΔR -26 493 m³ resp. pokles o 12,4 mm.

Aj naďalej je možné konštatovať, že cezhraničný odtok z bilancovanej hydrogeologickej štruktúry je zanedbateľný a že celkový priemerný odtok zo štruktúry sa pri zohľadnení veľkostí efektívnych zrážok pre obdobie hydrologických rokov 2001 – 2021 v oblasti kóty Kopa môže pohybovať medzi hodnotami 128 l.s⁻¹ pri minimálnych stavoch a 336 l.s⁻¹ pri maximálnych stavoch, s priemernou hodnotou 196 l.s⁻¹.

Podrobnejšie je hydrologická bilancia popísaná v prílohe č. 5.

Hydraulický model prúdenia podzemných vôd - tunela Korbel'ka

Cieľom hydraulického modelovania bolo overenie možného vplyvu tunela Korbel'ka na prúdenie podzemných vôd v masíve vrchu Kopa a predpoklad miery ovplyvnenia výdatností vodných zdrojov v bezprostrednom okolí odvodnených tunelových rúr. Hydraulický model rieši diaľničný variant s tunelom Korbel'ka, ktorý je projektovaný od obce Krpel'any po obec Stankovany. Modelované boli tri scenáre a to 1) pôvodný stav, 2) stav ovplyvnený výstavbou tunela bez realizovania opatrení proti drenážnemu účinku tunela, 3) stav ovplyvnený realizáciou navrhnutých opatrení.

Charakter riešeného problému vyžaduje reálu aproximáciu geologického prostredia a taktiež geometriu tunelových rúr. Pre aktualizované modelovanie bol zvolený overený modulárny modelový systém MODFLOW od U.S. Geological Survey (štátna geologická služba USA) v najnovšej verzii č. 6. Modelový systém je založený na metóde konečných rozdielov (napr. MODFLOW), ktorá presnejšie stanovuje výslednú bilanciu – objemy prúdenia podzemnej vody a tým určiť potencionálne vplyvy či už čerpania alebo drenážneho účinku tunelových rúr vo väčších vzdialenostiach od zdroja vplyvu. Modelový systém jednoduchším spôsobom popisuje okrajové podmienky, napríklad celkový odpor a umiestnenie tunela v horninovom prostredí je nahradené jednou konštantou.

Z hydrogeologického hľadiska bol model koncipovaný ako šesťvrstvový, kde 1. vrstva zodpovedá hlavnej hydrogeologickej priepustnej vrstve - fluviálnym sedimentom, 2. vrstva zodpovedá proluviálnym zeminám, 3. vrstva zodpovedá deluviálnym zeminám, 4. vrstva predkvartérnym zlepencom borovského súvrstvia paleogénu, 5. vrstva zodpovedá dolomitom hronika, vápencom hronika, 6. vrstva zodpovedá slienitým vápencom mráznického súvrstvia fatrika. Výsledky monitorovania hladín podzemnej vody pre vápence a dolomity hronika nevykazovali zásadne rozdielne vlastnosti, preto boli v modeli reprezentované ako jeden druh hornín.

Vzhľadom k tomu, že do modelu bol zahrnutý celý horninový priestor, v ktorom možno predpokladať

prúdenie podzemných vôd, bola báza modelu explicitne stanovená na základe predpokladanej hĺbky porušenia hornín jednotlivých celkov. Geometria vrstiev modelu bola zvolená tak, aby hlavná priepustná vrstva (zóna) bola kvôli stabilite výpočtov v prvej vrstve modelu (zhora).

Infiltrácia zrážkových vôd bola riešená Neumannovou okrajovou podmienkou (2. druhu) na povrchu terénu. Hodnota konštantného prítoku bola prevzatá z hydrologickej bilancie.

Napriek tomu, že výsledky prác Švastu a Malíka 2008, ktoré nepotvrdili významnejšie skryté prestupy podzemných vôd z triasových karbonátov hronika v sledovanej štruktúre do iných území bola v mieste hlavných tokov na okraji modelu vložená okrajová podmienka $H = \text{konštanta}$, ktorá zabezpečuje stabilitu matematického modelu a zabezpečuje odtok „prebytočných“ zrážkových vôd odtekajúcich buď cez zvodnené deluviálne sedimenty alebo zvetranú vrchnú vrstvu menej priepustných sedimentov mimo model.

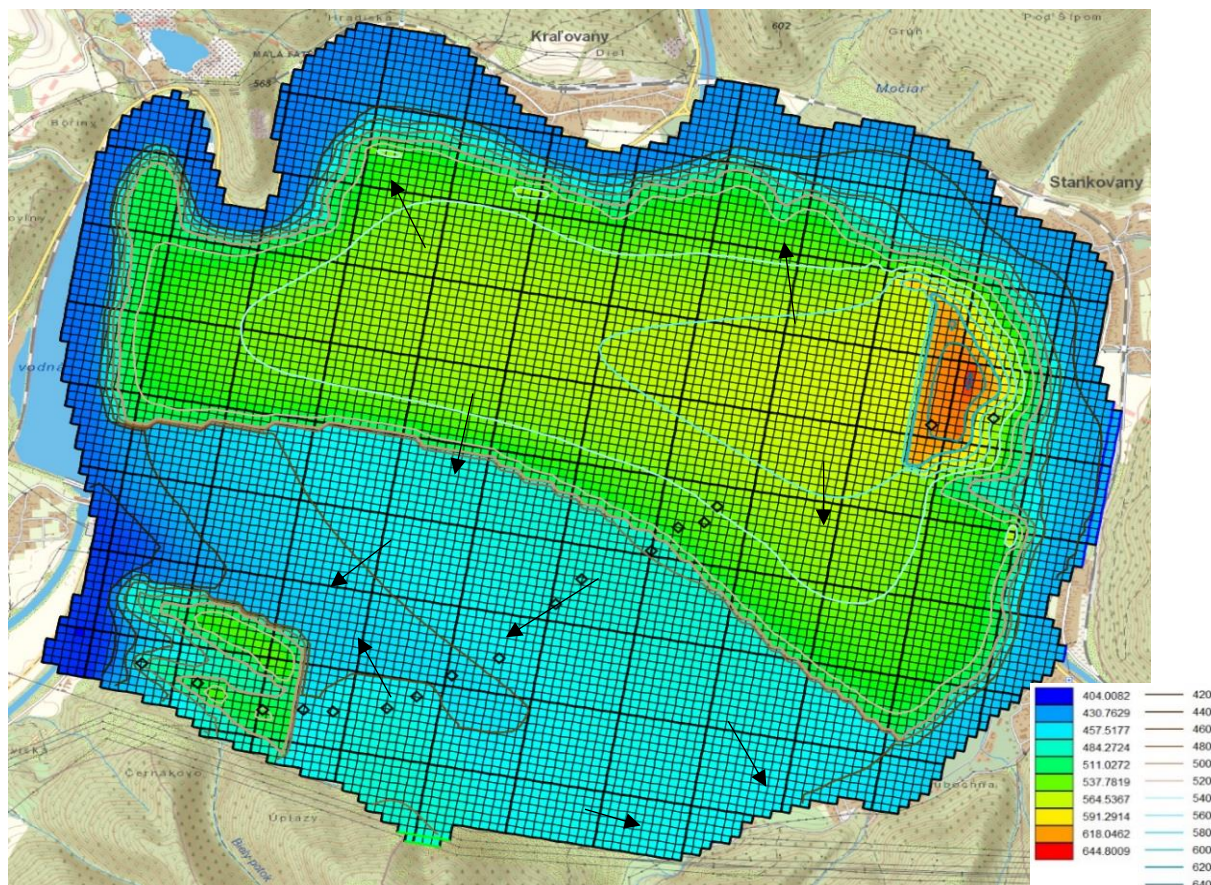
V oblastiach výverov podzemných vôd do prameňov a potokov bola definovaná okrajová podmienka drenážneho prvku tesne pod terénom s limitovaním prietoku smerom mimo model, čím bolo simulované drénovanie podzemných vôd v závislosti na piezometrickej výške.

Pre posudzovanie vplyvu výstavby tunela na režim podzemnej vody bol ako reprezentatívny vybraný nízky stav v marci roku 2021. Tento stav bol vybratý ako vhodný z dôvodu ustálených okrajových podmienok (stabilizované nízke zrážky a nízky stav povrchových tokov).

Najcitlivejším parametrom modelu bolo rozhranie viacej a menej priepustných hornín, či už sa jednalo o zvetranú vrstvu mráznického súvrstvia alebo skrasovatelé vápence a dolomity hronika. Kalibrácia modelu bola vykonaná úpravami koeficientov filtrácie (získaných zo skúšok in situ) a zmenami vyššie uvedeného rozhrania tak, aby hladiny podzemných vôd simulované modelom čo najlepšie zodpovedali nameraným hodnotám a bilancia prúdenia vody v matematickom modeli zodpovedala bilancii, ktorá bola zostavená počas prieskumu.

Modelované boli nasledujúce scenáre – pôvodný stav bez tunelových diel, stav ovplyvnený výstavbou obidvoch tunelov bez opatrení a stav ovplyvnený výstavbou obidvoch tunelov s realizovanými opatreniami.

Scenár 0: neovplyvnený stav - Východiskom pre posúdenie vplyvu výstavby tunelových rúr na režim podzemných vôd je model kvázi prirodzeného stavu pred výstavbou. Model vykazuje dobrú zhodu simulovanej piezometrickej výšky s hladinou nameranou vo vrtoch.



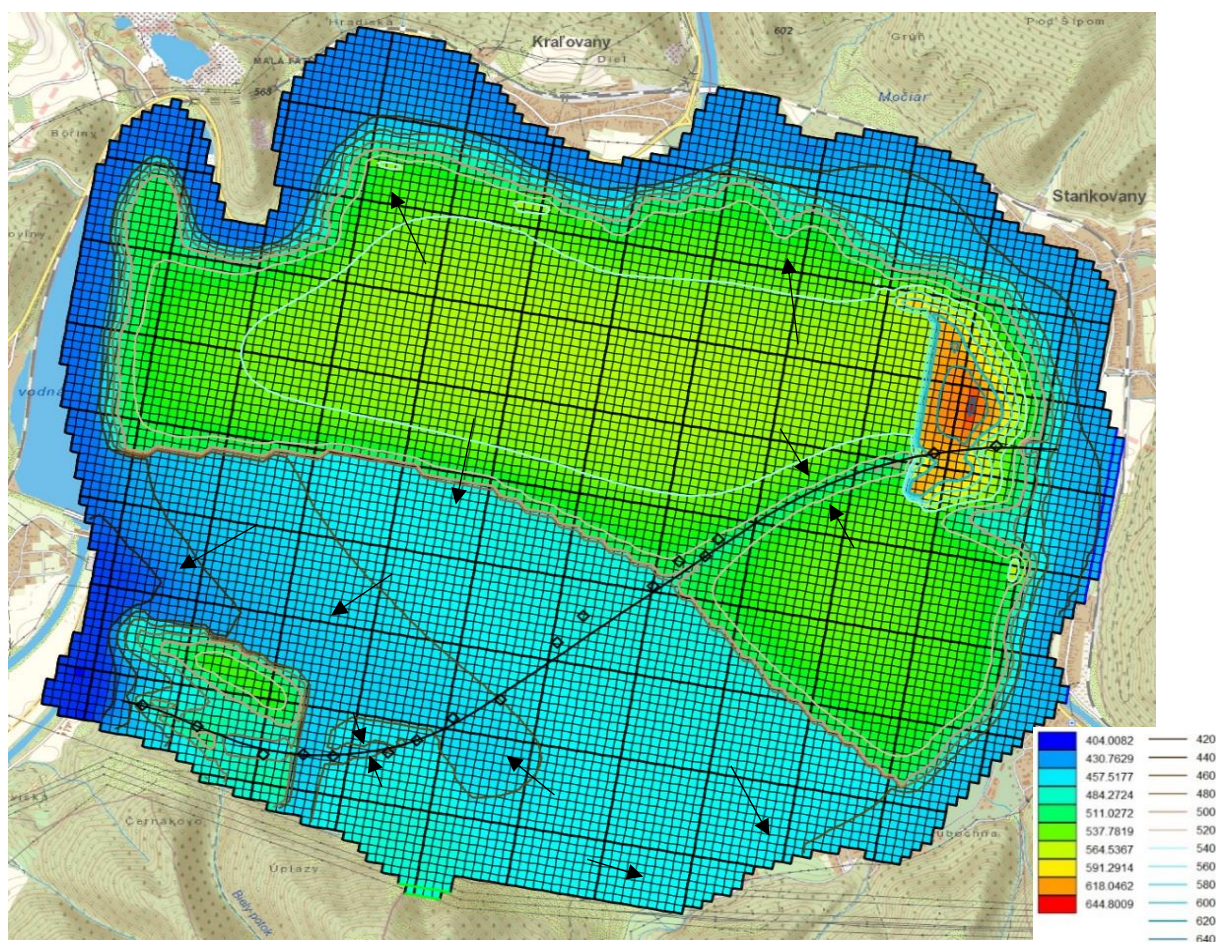
Obr. č. 3: Výsledné simulované piezometrické výšky (m n.m.) na úrovni tunelových rúr, tunel Korbeľka, neovplyvnený stav so znázornením generálneho smeru prúdenia podzemných vôd

Scenár 1: realizácia tunela bez opatrení - V tomto scenári je predpokladaná konštrukcia tunela s betónovým ostením hrúbky 300 mm a drenážou na päte ostenia tvorenou zbernými potrubiami a obsypom.

Vzhľadom na očakávané prítoky vôd vo vyrazených tunelových rúrach bude v úseku tvorenom skrasovatenými vápencami vhodné vybudovať ostenie s protiklenbou, ktorá výrazne obmedzí prítok zo spodnej časti tunelovej rúry. Teleso tunelových rúr je simulované ako drenážny prvok, ktorý odvádza vodu z masívu s relatívne nízkym hydraulickým odporom na plášti tunelových rúr. Kóta dna drénu bola zvolená na úrovni nivelety, a hydraulický odpor bol zvolený tak aby zodpovedal priepustnosti rozvoľneného masívu. Simuláciou drenážneho vplyvu takto definovaných tunelových rúr bolo zistené významné ovplyvnenie prúdenia podzemných vôd.

Pozdĺž tunelových rúr by došlo na viacerých miestach ku zníženiu voľnej hladiny podzemnej vody a to najmä v úvodnej časti (západ), kde je niveleta tunelových rúr na nižšej úrovni a je pod hladinou podzemnej vody a v centrálnej časti, kde prechádza tunel priepustnými horninami severnej kryhy dolomitov a vápencov hornika. Pri tomto scenári bude mať najväčší vplyv na režim podzemnej vody drenáž v úseku km 1,7 až 2,7 (TKB-2 až TKB-5), kde dôjde ku odvedeniu vôd z dobre zvodnených vápencov napájajúcich oblasť vodný zdroj Teplica. V tomto úseku vzhľadom k významnému vodárenskému zdroju bude nevyhnutné realizovať opatrenia.

Numerickým modelovaním bol odhadnutý aj pravdepodobný percentuálny pokles výdatností okolitých vodných zdrojov (tabuľka č. 11).



Obr. č. 4: Simulované hladiny podzemných vôd (m n.m.) pre scenár tunela – bez opatrení so znázornením generálneho smeru prúdenia podzemných vôd

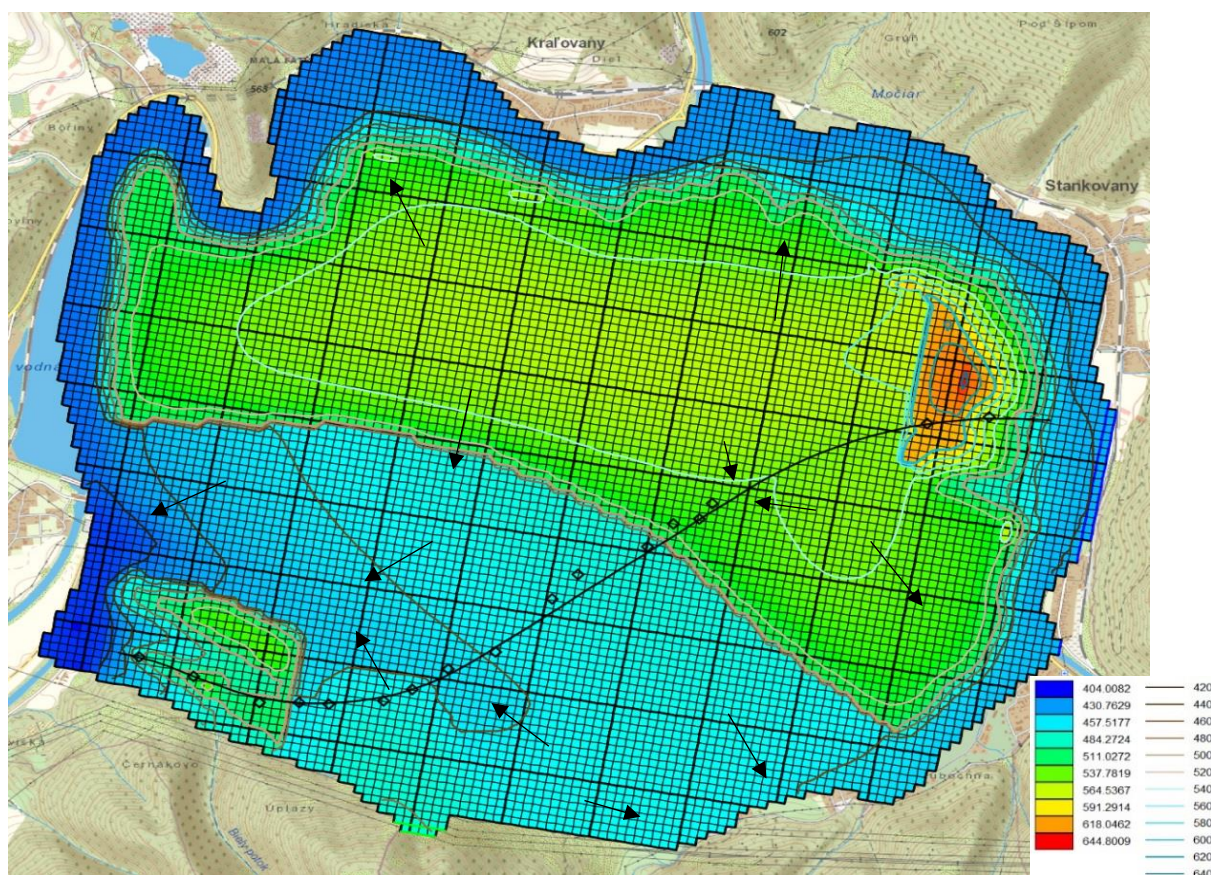
Scenár 2: realizácia tunela s realizovanými opatreniami - V riešení je predpokladaná konštrukcia tunela podobná s prechádzajúcim variantom, navyše sa v exponovaných miestach uvažuje s betónovým ostením hrúbky 300 mm, celoplošnou hydroizoláciou a utesneným okolím oboch tunelových rúr (nepriepustný tunel).

Teleso tunelových rúr je simulované ako drenážny prvok, ktorý odvádza vodu z masívu s relatívne nízkym hydraulickým odporom na plášti tunelových rúr. Kóta dna drénu bola zvolená na úrovni nivelety, a hydraulický odpor bol znížený na úroveň 30% hodnoty v miestach realizácie opatrení. Hodnota 30% zníženia hodnoty hydraulického odporu bola zvolená na základe konzervatívneho odborného odhadu. V skutočnosti úroveň opatrení zodpovedá poklesu hydraulického odporu až na úroveň jednotiek percent,

výpočty sú na strane bezpečnosti, keby došlo pri opatreniach v dôsledku iných vplyvov ku zmenám priepustnosti celoizolovaného profilu ostenia tunelu. Simuláciou drenážneho vplyvu takto definovaných tunelových rúr bolo zistené významné menšie ovplyvnenie prúdenia podzemných vôd a to väčšinou iba lokálneho významu. Nedôjde ku zásadným zmenám smerov prúdenia ani množstva podzemnej vody a významne klesne riziko ohrozenia vodného zdroja Teplica a vodného zdroja na severe masívu Kopy.

Napriek zvoleným opatreniam je predpoklad, že najviac bude ovplyvnený VZ Korbeľka, ktorý je veľmi závislý od lokálnych pomerov, má nízku a premenlivú výdatnosť. V jeho prípade treba vopred uvažovať s jeho náhradou.

Výsledný vplyv pre najkritickejší variant a to pre typ tunela – priepustný – otvorený hydroizolačný systém s postrannou drenážou a pre variant s realizovanými opatreniami (nepriepustný tunel – uzatvorený hydroizolačný systém) stanovený hydraulický model prúdenia podzemných vôd je sumarizovaný v tabuľke č. 11. Pri realizácii navrhovaných opatrení bude priemerný pokles hladín podzemných vôd v masíve Kopa znížený o 28,2 m pri minimálnom stave hladiny podzemných vôd v porovnaní s variantom bez opatrení, kedy dôjde k priemernému poklesu hladín podzemných vôd v masíve Kopa o 45,8 m. Zmeny výdatností vodných zdrojov budú významne nižšie (tabuľka č. 11) pri variante s opatreniami.



Obr. č. 5: Simulované hladiny podzemných vôd (m n.m.) pre scenár tunela s navrhnutými opatreniami so znázornením generálneho smeru prúdenia podzemných vôd

Pokles hladín podzemných vôd pre scenár – stav bez opatrení a scenár stav s realizovanými opatreniami je príloha č. 7 - Úroveň hladiny podzemnej vody v pozdĺžnom profile tunela Korbeľka, mierka 1:5 000.

Výdatnosť reálnych prameňov je odrazom v čase premenlivých procesov infiltrácie, akumulácie a obehu podzemných vôd, ktoré sú predurčené zložitými hydrogeologickými podmienkami. Aj napriek vysokej komplexnosti prezentovaného modelu nebolo možné, vzhľadom na prijatý koncept, dosiahnuť absolútnu zhodu simulovaných a reálnych výdatností. Matematický model v miestach jednotlivých prameňov má inú mierku, keďže vychádza z regionálneho prieskumu masívu a podrobného prieskumu, ktorý sa realizoval v trase tunela.

Matematický model však dokáže stanoviť ovplyvnenie hladín a množstiev podzemnej vody v oblastiach jednotlivých vodných zdrojov a prameňov. Preto bol prijatý spôsob vyjadrenia zmeny výdatností pomocou percentuálneho rozdielu medzi simulovaným neovplyvneným a ovplyvneným stavom a tento rozdiel potom aplikovať na reálne výdatnosti vodných zdrojov, čím bol získaný odhad poklesu

výdatnosti v jednotkách l.s⁻¹.

Tabuľka č. 11: Prehľad simulovaného ovplyvnenia vodných zdrojov o oblasti masívu Kopy

Vodný zdroj	Priemerná výdatnosť (l.s ⁻¹)	Simulovaná výdatnosť – scenár – neovplyvnený stav (l.s ⁻¹)	Simulovaná výdatnosť – stav bez opatrení (l.s ⁻¹)	Pokles výdatnosti – stav bez opatrení (%)	Pokles priemernej výdatnosti – stav bez opatrení (l.s ⁻¹)	Simulovaná výdatnosť – stav realizácia opatrení (l.s ⁻¹) *	Pokles výdatnosti - stav realizácia opatrení (%)	Pokles priemernej výdatnosti - stav realizácia opatrení (l.s ⁻¹)
Teplica	26,04	35,24	30,19	14,3%	3,72	32,10	8,9%	2,32
Fatra	5,79	2,65	2,52	4,9%	0,28	2,57	3,2%	0,19
Korbeľka	0,49	2,51	1,58	37,1%	0,18	1,73	31,1%	0,15
Rojkov	4,73	12,34	11,82	4,2%	0,20	11,99	2,8%	0,13
Pod Kopou	15,03	10,89	8,25	24,2%	3,64	8,91	18,2%	2,74
Spolu	52,08	63,63	54,36		8,03	57,03		5,52

Poznámka: Poznámka: hodnoty čiernou farbou – stanovené modelom, hodnoty modrou farbou – hodnoty z monitorovania a predpokladané poklesy monitorovaných hodnôt

stav bez opatrení – priepustný tunel, otvorený izolačný systém s postrannou drenážou

stav realizácia s opatreniami – nepriepustný tunel (uzatvorený hydroizolačný systém) a polopriepustný tunel

Kompletný hydraulický model prúdenia podzemných vôd masívu Kopa je súčasťou prílohy č. 6.

7.2 TUNEL HAVRAN

Meranie hladiny podzemných vôd

Počas prieskumných prác v masíve Havran v novorealizovaných zvislých hydrogeologických vrtoch s označením THV-1, THV-2a, THV-5, HGH-1 a HGH-2 nainštalované automatické kontinuálne hladinometry firmy Solinst Ltd. Meranie hladín podzemných vôd bolo nastavené na 6 hodinový interval merania. Vo vrte THV-2a bol nainštalovaný barologer firmy Solinst Ltd. na záznam atmosférického tlaku. Snímače sú upevnené na lankách s čítačovou hlavou umiestnenou na i zhlaví vrtu. Poklop – uzáver vrtu je zabezpečený šrobovacím uzáverom.

V etape (pIGHP, 2019) bol zahájený monitoring hladín podzemných vôd (10/2018 – 05/2019), postupne sa osadzovali snímače do hydrogeologických vrtoch, tak ako boli vrty dovŕtané a kontinuálny monitoring pokračoval počas trvania prieskumu 05/2019. Na základe požiadavky objednávateľa NDS, a.s. bol obnovený a pokračoval až do 12/2021.

Tabuľka č. 12: Štatistické charakteristiky hladín podzemných vôd a teploty vody – kontinuálne snímače, tunel Havran

Vrt	Hladina podzemných vôd (10/2018 – 12/2021)						Teplota podzemných vôd		
	maximum m p.t.	minimum m p.t.	maximum m n.m.	minimum m n.m.	priemer m	rozkyv m	minimálna °C	maximálna °C	priemer °C
THV-1	58,11 (18.3.2019)	82,64 (20.6.2019)	562,15	537,62	73,53	24,52	7,37	8,16	7,67
THV-2a	109,27 (11.6.2019)	124,04 (24.4.2019)	729,85	715,08	116,31	14,77	7,91	8,46	8,11
THV-5	28,35 (26.12.2018)	50,74 (28.11.2021)	510,28	487,89	39,32	22,39	10,17	10,48	10,27
HGH-1	25,90 (26.2.2020)	36,58 (8.5.2019)	609,42	598,74	27,08	10,68	7,05	8,83	7,27
HGH-2	- 0,04 (21.5.2021)	4,27 (9.9.2019)	529,69	525,46	3,25	4,67	9,96	10,10	10,06

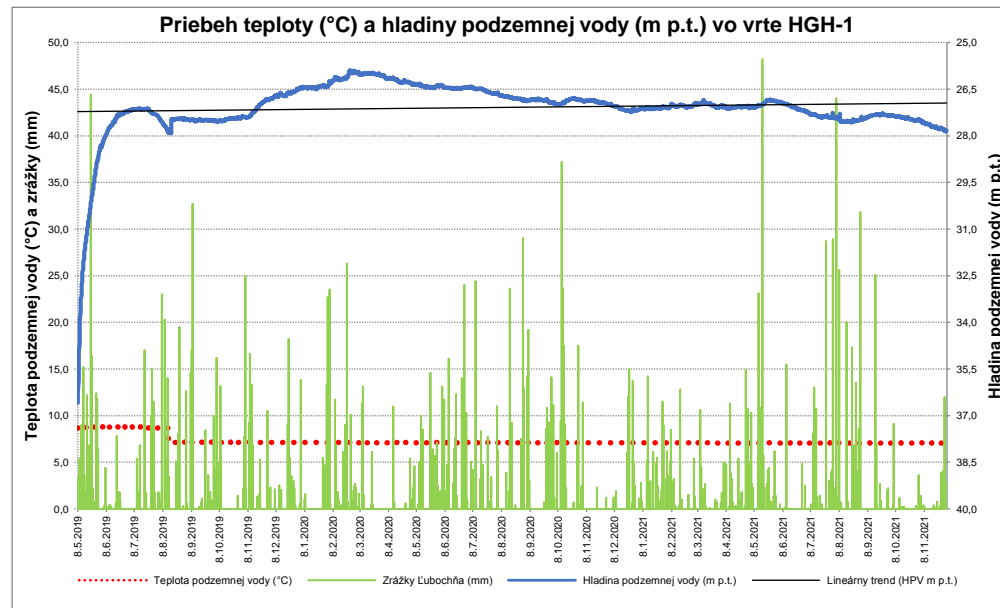
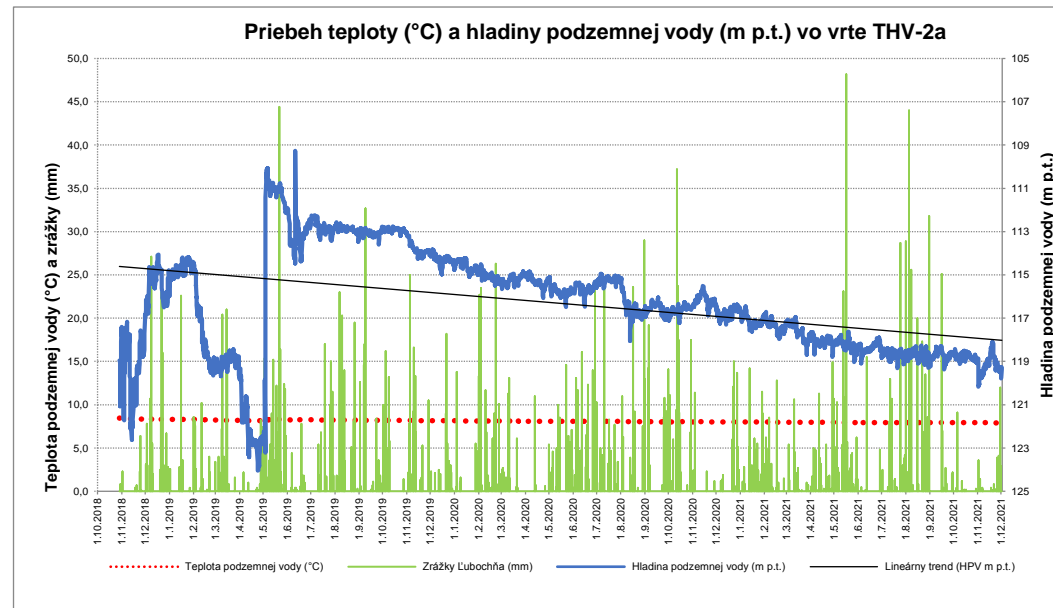
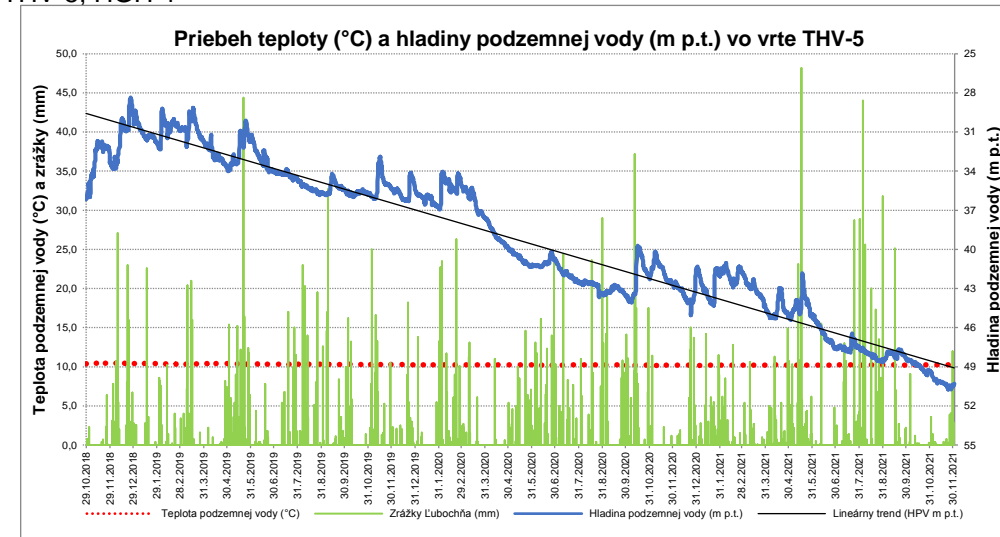
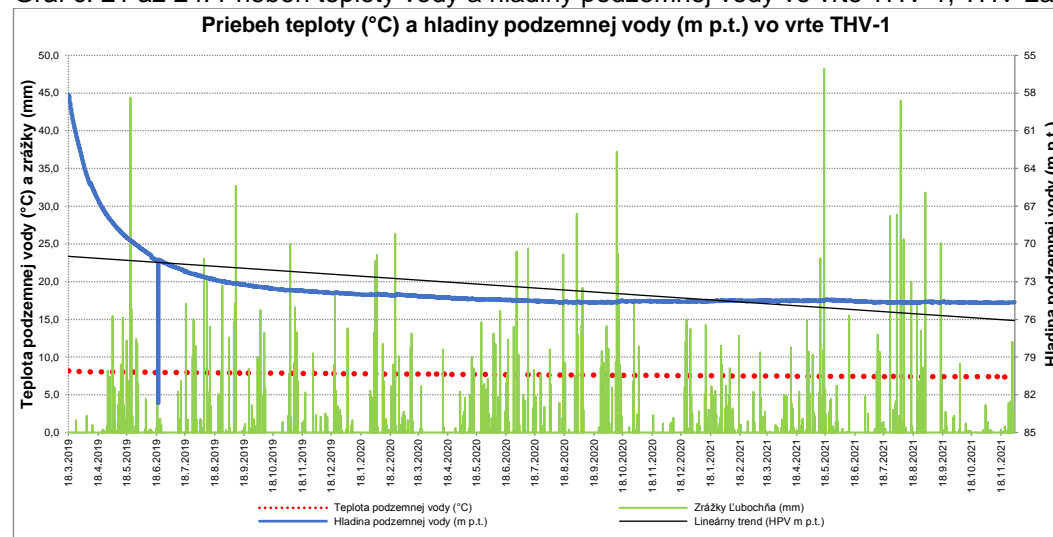
Režim hladiny podzemných vôd v masíve Havran poukazuje na veľmi rýchly obeh podzemných vôd puklinovým systémom najmä vo vrchnej časti vrcholu masívu Havran. Prestup vôd do hlbokých obehov je pravdepodobne oveľa pomalší. Jedná sa však iba o bodové overenie bez podrobných znalostí o systéme puklín pre hlbší obeh podzemných vôd.

Tunelové hydrogeologické vrty situované v masíve Havran majú pomerne väčší rozkyv hladín podzemných vôd počas sledovaného obdobia, okrem vrtu HGH-2 (rozkyv 4,67 m), rozkyv hladín podzemných vôd sa pohyboval od 10,68 m (vrt HGH-1) až po 24,52 m (vrt THV-1). Vrt THV-1 (graf č. 21) bol výrazne ovplyvnený najprv postupným poklesu úrovne hladiny podzemnej vody ovplyvnenej výplachovou vodou z vŕtania a následne vplyvom čerpaciej skúšky na vrte HGH-1.

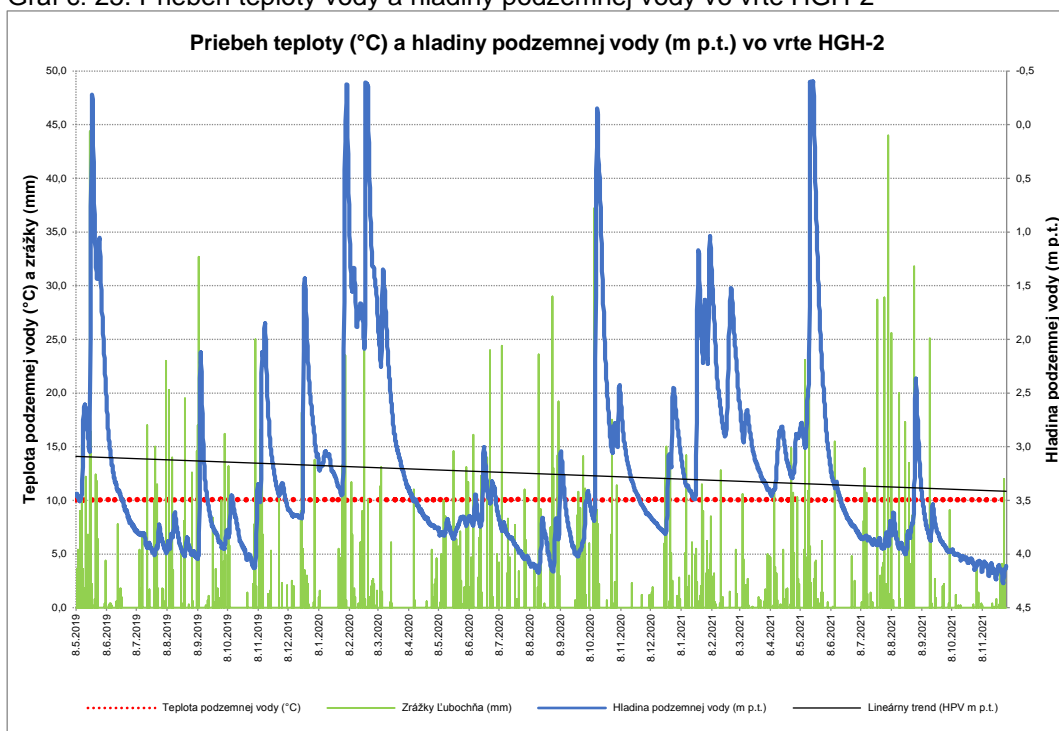
Celý tunel Havran, jeho niveleta je situovaná pod hladinou podzemnej vody.

Priebeh hladín podzemných vôd je zrejmý aj prílohy č. 10: Úroveň hladiny podzemnej vody v pozdĺžnom profile tunela Havran, mierka 1:5 000.

Graf č. 21 až 24: Pribeh teploty vody a hladiny podzemnej vody vo vrte THV-1, THV-2a, THV-5, HGH-1



Graf č. 25: Priebeh teploty vody a hladiny podzemnej vody vo vrte HGH-2



V zabudovaných piezometrických vrtoch v portálových úsekoch tunela Havran boli merané hladiny podzemných vôd pomocou kontaktného hladinomeru podľa schváleného harmonogramu do 12.2021. Hladiny podzemných vôd nie sú veľmi rozkolísané, naopak rozkyv hladín podzemných vôd je nízky od 0,41 m vo vrte 26P až do 5,96 m vo vrte 5,96 m.

Tabuľka č. 13: Štatistické charakteristiky hladín podzemných vôd (m p.t.) – merania kontaktným hladinomerom, tunel Havran

Vrt	HG-1	22P	23P	25P	26P
8.5.2019	23,67	17,84	24,88	17,59	16,59
16.7.2019	24,90	18,75	24,01	13,63	16,55
11.8.2021	25,31	19,37	24,02	18,21	16,77
16.9.2021	23,80	19,37	24,01	19,50	16,88
25.10.2021	23,68	19,70	24,16	19,59	16,91
24.11.2021	23,66	19,18	23,90	19,41	16,93
2.12.2021	23,71	19,34	24,03	19,54	16,96
maximum	25,31	17,84	23,90	13,63	16,55
minimum	23,66	19,70	24,88	19,59	16,96
rozkyv (m)	1,65	1,86	0,98	5,96	0,41

Uzavreté systémy piezometrov

V rámci úlohy (pIGHP 2019) boli vrty THV-2, THV-3 a THV-4 vystrojené uzatvoreným systémom merania údajov puklinových resp. hydrostatických tlakov vody v horninovom prostredí. Výsledkom meraní sú údaje o pórových (puklinových) tlakoch v okolí tunelových rúr. Hĺbka osadenia snímačov do pieskového filtra bola definitívne vyšpecifikovaná po dokumentácii vrtného jadra a realizácii následných karotážnych meraniach so zistením úsekov s prítokmi podzemnej vody.

Účelom týchto snímačov je dôkladné poznanie hydrogeologických pomerov, ktoré sú v rámci tunelových stavieb potrebné a budú použité pri monitorovaní nestacionárnych dejov, ako napr. počas razenia tunela môže byť zaznamenaný nárast hydrostatického tlaku a identifikácia okamžitých prítokov podzemnej vody do tunelových rúr.

V tabuľke č. 14 sú uvedené hodnoty hydrostatického tlaku, ktoré zodpovedajú odvodenej hladine

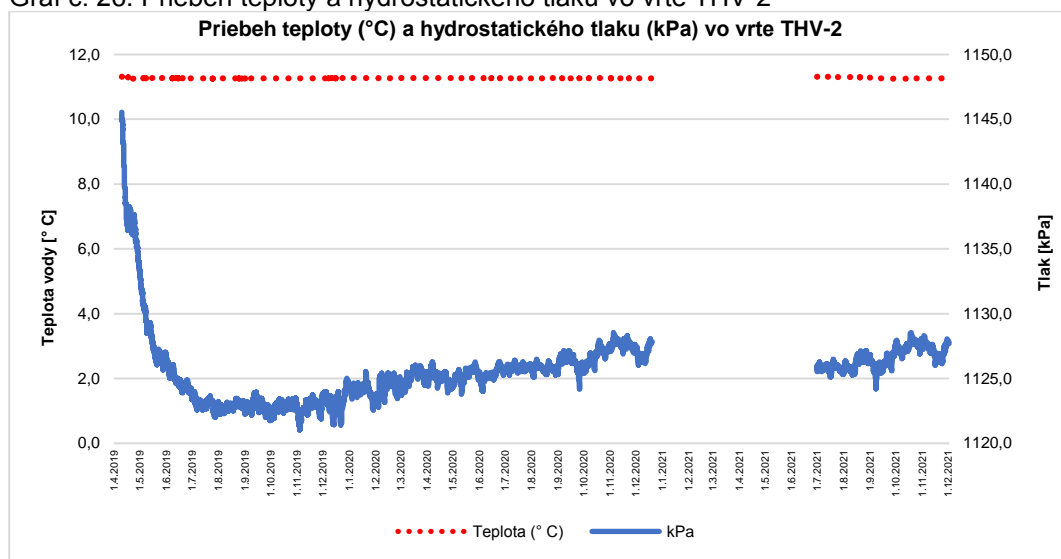
podzemnej vody. V prílohe č. 10 sú vo vrtoch vynesené odvodené hladiny podzemných vôd uzatvorených piezometroch.

Tieto snímače sú závislé na pravidelnej údržbe (výmene batérií), preto v grafoch nie sú dáta, boli vybité baterky, nie je to chyba snímača.

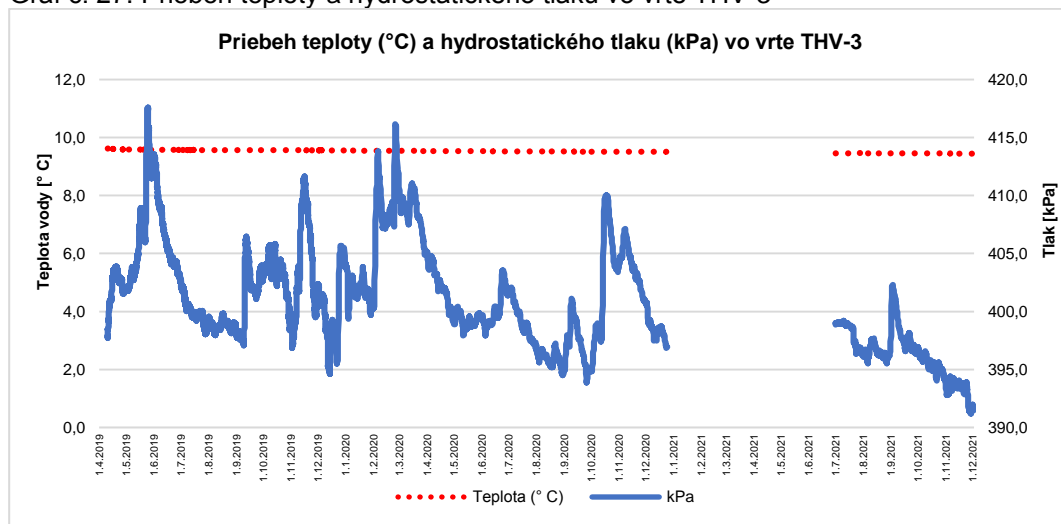
Tabuľka č. 14: Štatistické charakteristiky hydrostatických tlakov – uzavreté piezometre, tunel Havran

Vrt	Hodnoty hydrostatického tlaku			Hladina podzemných vôd			Teplota prostredia (vody)		
	minimum kPa	maximum kPa	priemer kPa	minimum m n.m.	maximum m n.m.	priemer m n.m.	minimum °C	maximum °C	priemer °C
THV-2	1 121,05	1 145,53	1 125,23	591,50	593,99	591,92	11,25	11,31	11,27
THV-3	391,20	417,60	402,00	532,50	535,20	533,60	9,4	9,6	9,6
THV-4	328,20	364,60	344,70	514,30	517,00	515,00	10,2	10,4	10,3

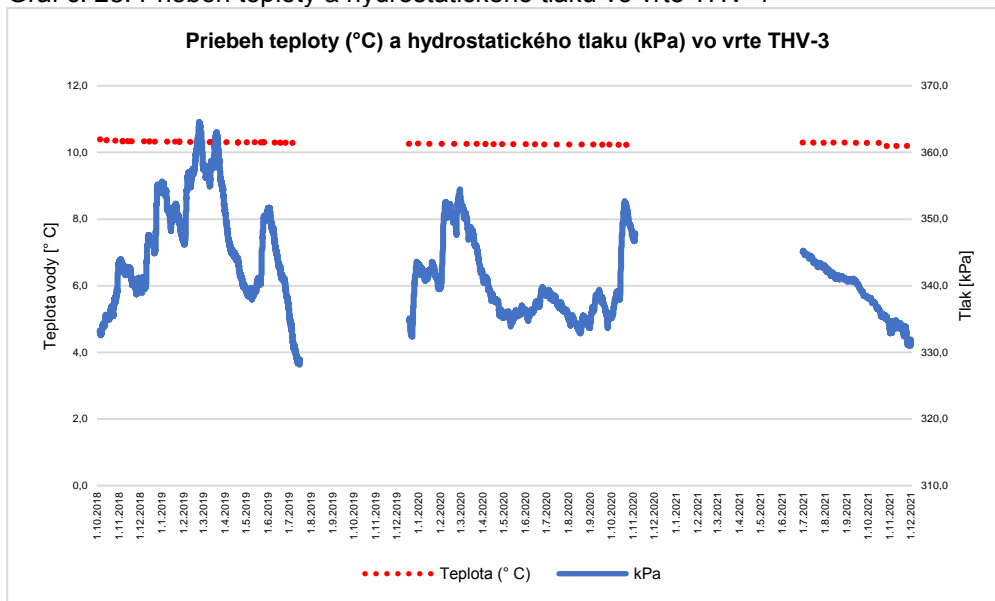
Graf č. 26: Priebeh teploty a hydrostatického tlaku vo vrte THV-2



Graf č. 27: Priebeh teploty a hydrostatického tlaku vo vrte THV-3



Graf č. 28: Priebeh teploty a hydrostatického tlaku vo vrte THV-4



Počas prieskumov vo vrtoch s osadenými uzatvorenými piezometrami dochádzalo veľmi pozvoľne k ustaľovaniu hydrostatického tlaku, k ustáleniu tlaku došlo až po ukončení prieskumu (viď graf č. 26 až č. 28), nakoľko sa vo vrtoch prejavoval pokles výplachovej vody z vrtných prác. Úroveň hydrostatických tlakov sa postupne ustálila ako je zrejme z uvedených grafov.

Monitoring povrchových vôd

Sledované vybrané pramene boli tie pramene, ktoré neboli merané kontinuálnymi snímačmi a predstavujú priamy odtok zo sledovanej hydrogeologickej štruktúry masívu Havran.

Merania boli realizované objemovo označenými nádobami veľkosti 0,2 až 60 l a čas bol meraný stopkami. Prietok bol meraný priamo na vodných tokoch s možnosťou merania. Ak nebolo možné merať prietok vodných tokov priamo, bolo koryto toku upravené a tok bol zvedený do rúry priemeru 120 mm. Prietok bol meraný následne pomocou takejto úpravy ako prietok vody cez rúru.

Situácia miest merania prietokov povrchových tokov je zrejme z prílohy č. 1.1. a 1.2 a namerané údaje sú v tabuľke č. 15.

VT-50 - prepad z VZ Suchá Dolinka:

Povrchový vodný tok je pod pramenným záchytnom tvorený prepacom vody zo záchytnu. Povrchová voda steká po svahu na cestu, kde boli vykonané jej merania. Pod cestou vodný tok vsakuje do deluviálnych sutí. Z pramenného záchytnu je voda vedená do rezervoára umiestneného pod poľnou cestou, kde boli umiestnené snímače pre kontinuálny sled vody.

Podľa nameraných údajov voda má pomerne nestále parametre čo sa týka vodivosti a teploty. Zachytený a využívaný prameň „Suchá dolinka“ priamo odvodňuje HG štruktúru hory Havran v jej západnej časti. Nevyužitá voda z prepadu vsakuje do delúvia a podloží hornín, nižšie po svahu podľa prúdnice z časti dotuje povrchový tok – potok pri rezervoári (VT-51-A).

VT-51-A – potok pri rezervoári:

Vodný tok meraný v blízkosti spodného rezervoára nad obcou Stankovany je situovaný vľavo od rezervoára a o niekoľko desiatok metrov vteká ako ľavostranný prítok do vodného toku prameniaceho v oblasti Hôrka (VT-51). Výtok – prepad z rezervoára tvorí pravostranný prítok vodného toku VT-51-A.

Meraný profil VT-51-A sa nachádza na vodnom toku prameniacom pod masívom hory Havran a priamo odvodňuje uvedené HG štruktúru, jej severozápadné svahy. Čiastočne je pravdepodobne dotovaný prepacom – nezachytenou vodou z VZ Suchá dolinka.

VT-51 – Stankovany – pod vodojemom:

Pramenná oblasť uvedeného toku je medzi vrcholmi Hôrka a Javorník, severne od kóty Havran. Vodný tok má juhozápadný až západný smer toku a v južnej časti obce Stankovany tvorí pravostranný prítok rieky Váh. Vodný tok odvodňuje iba severozápadnú časť masívu Havran s názvom Javorník, a celú južnú časť masívu Hôrka.

V meranom bode – nad ním sa vodný tok spája s vodným tokom VT-51-A a prepacom z rezervoára

(VT-50 rezerv). Oba toky spoločne tvoria ľavý prítok vodného toku VT-51.

Tok VT-51 nad sútokom s VT-51-A má nestály prietok a pH, pomerne stálu vodivosť, teplota závisí na ročnom období. Vodný tok nad sútokom má pomerne značnú oblasť povodia. Povodie - svahy masívu Havran tvorí cca 65 %, čo predstavuje aj to isté percento povrchového odtoku VT-51 nad sútokom s VT-51-A. K dátumu 15.7.2019 táto hodnota predstavuje $0,4713 \text{ l.s}^{-1}$.

VT-52 – prameň pred VZ vpravo vo svahu:

Pramenný sústredený výver sa nachádza v záreze lesnej cesty pred zachytenými prameňmi VZ Suchá dolinka. Voda z prameňa steká po svahu, preteká pod cestou a po niekoľkých metroch sa ponára do sutí. Voda vsakuje do delúvia a podložných hornín, nižšie po svahu podľa prúdnice čiastočne dotuje povrchový tok VT-53.

Prameň v sledovanom období má pomerne stály prietok, obecné je pH nižšie pri väčšom prietoku, teploty vody je závislá na poveternostných podmienkach a mení sa od 7,1 do 10,3 °C, pričom najvyššia teplota bola zaznamenaná počas najväčšieho prietoku.

VT-53 – južný okraj obce Stankovany:

Vodný tok pramení v údolí, v ktorom sa nachádza prameň pred VZ (VT-52). Vodný tok tečie severozápadným smerom, v obci Stankovany sa vlieva do bezmenného potoka prameniaceho v údolí pod Hôrkou a Javorníkom, do VT-51. VT priamo odvodňuje masív Havran v jeho centrálnej časti – severozápadné svahy masívu. Dotovaný je čiastočne prameňom označeným ako VT-52.

Vodný tok bol meraný na okraji obce Stankovany, vykazuje nestály prietok s maximom $7,143 \text{ l.s}^{-1}$ a minimom $0,352 \text{ l.s}^{-1}$, ktorý je závislý na zrážkach a čiastočnej dotácii prameňom VT-52. Vo vode VT zvýšením prietoku rastie vodivosť, pH je pomerne nestále, teplota závisí na klimatických pomeroch.

VT-54 – prameň za ŽSR a cestou 2211:

Vodný tok pramení zo svahovín za železnicou, na krátkom úseku podteká pod železnicou a cestou 2211 (Lubochňa-Stankovany) a tvorí pravostranný prítok rieky Váh. Pramenná oblasť je na rozhraní delúvií a alúvia rieky Váh, juhozápadne od západného portálu tunela Havran. Vodný tok priamo odvodňuje západnú časť masívu Havran.

VT-55 – prameň pri poľnej ceste k VZ (Suchá dolinka):

Vodný tok pramení na päte svahu v deluviálnych sedimentoch západne od vrchola Havran nad poľnou cestou k VZ Suchá dolinka. Odvodňuje západnú časť masívu, od prameňa steká dole po svahu, preteká pod železnicou a cestou 2211, kde sa vlieva do rieky Váh, tvorí pravostranný prítok rieky Váh. Vodný tok priamo odvodňuje západné svahy masívu Havran.

Prameň bol meraný v roku 2019 a v roku 2021, vykazuje relatívne stály prietok a vodivosť, pH je premenlivé, teplota je pravdepodobne závislá na poveternostných podmienkach.

VT-56 – pred Švošovom vľavo od cesty 2211:

Vodný tok pramení vo svahoch v lese nad meraným profilom VT-56. Steká po svahoch a pri ceste je upravený – zvedený do plastovej rúry, kde boli realizované merania. Od meraného profilu preteká ďalej pod cestou a železnicou a tvorí pravostranný prítok rieky Váh. Vodný tok priamo odvodňuje južnú, až juhovýchodnú časť masívu Havran (juhovýchodný svah v južnej časti), pramenná oblasť sa nachádza južne od vrcholu (kóty) Havran. Namerané údaje sú uvedené v tabuľke č. 15.

Vodný tok bol meraný v roku 2019 a v roku 2021, vykazuje pomerne značnú rozkolísanosť prietoku a pH, vodivosť je pomerne stála a teplota je závislá na klimatických pomeroch.

VT-57 – prameň pri kaplnke:

Prameň pri kaplnke je situovaný na pravom brehu VT-58 odvodňujúceho údolie s vodným zdrojom Dušička, a preteká obcou Švošov. Výver sa nachádza v obci Švošov, je upravený do rúrky, a vteká priamo do vodného toku VT-58. Prameň tak priamo odvodňuje centrálnu časť juhovýchodného svahu masívu Havran.

Prameň je z hľadiska výdatnosti pomerne stály (zo obdobia merania), vykazuje malú rozkolísanosť vodivosti, väčšiu rozkolísanosť pH a teploty, ktorá je pravdepodobne ovplyvnená klimatickými pomermi.

VT-58 – bezmenný pod Dušičkou (obec Švošov):

Vodný tok pramení v doline nad obcou Švošov, medzi vrcholmi Havran a Ostré. Situovaný je východne od masívu Havran, preteká zo severu na juh cez obec Švošov, kde sa vlieva priamo do rieky Váh a tvorí pravostranný prítok rieky Váh. Vodný tok odvodňuje juhovýchodné svahy masívu Havran a západné až juhozápadné svahy masívu Ostré. Nad obcou na pravom brehu v masíve Havran sa nachádza vodný zdroj Dušička ľavý, na ľavom brehu sa nachádza Dušička pravý.

Vodný tok podľa merania z 15.7.2019 postupne zvyšuje svoj prietok v trase toku. Na krátkej vzdialenosti medzi bodmi VT-58 a VT-58-A je zvýšenie prietoku viac ako dvojnásobné. Smerom po vodnom toku s pribúdajúcim prietokom vody klesá vodivosť a stúpa teplota vody. V toku všeobecne s prírastkom prietoku klesá vodivosť. Teplota je pravdepodobne ovplyvnená poveternostnými pomermi.

Z hľadiska merateľného povrchového odtoku vodný tok odvodňuje masív Havrana a Ostrého. Plocha povodia pre Havran je pri orientačnom meraní cca 51 % z celkového povodia pre meraný bod VT-58-A.

Do celkového zhodnotenia povrchového odtoku masívu Havran sú zaradené všetky vodné toky (VT). Ohraničenie masívu je dané riekou Váh z juhovýchodu, juhozápadu a západu. Zo severozápadu je to bezmenný vodný tok prameniacy v oblasti pod Hôrkou (VT-51), z juhovýchodu je to bezmenný tok pretekajúci obcou Švošov (VT-58) a na severe je to spojnica vrcholov - hrebeň medzi vrcholmi Ostré, Javorník a sedlo Javorníka a kóty 823 (Javorník-smer Hôrka). K celkovému povrchovému odtoku je potrebné ešte prirátat' výdatnosti zachytených prameňov vodných zdrojov, ktoré v nasledujúcej tabuľke č. 15 nie sú zahrnuté. Jedná sa o VZ Suchá dolinka a Dušička ľavý.

V tabuľke č. 15 sú uvedené všetky merané vodné toky pre masív Havran. Hodnoty sú uvedené pre jednotlivé povodia „očistené“ o prítok z iných povodí. Sumárny odtok vodnými tokmi k dátumu 8.12.2021 z masívu Havran po posledné merné profily v trase vodných tokov predstavoval cca 4,54 l.s⁻¹. Táto hodnota bola nameraná v období po nešpecifikovanom období so zrážkami. Hodnota nepredstavuje úplný sumárny merateľný povrchový odtok, merné profily jednotlivých meraní vodných tokov neboli v ústí vodných tokov, ale nachádzali sa na vodných tokoch vyššie po prúde, kde bolo možné vykonávať merania. Nezahŕňajú tak celé povodia vodných tokov.

Zachytený prameň VZ Suchá dolinka a prameň pred VZ (VT-52) priamo odvodňujú časť masívu Havran – jeho vrchnú časť, „čiapku“ tvorenú triasovými horninami chočského príkrovu, dolomitmi a dolomitmi s polohami vápencov. Pramene sa nachádzajú na severozápadných svahoch masívu Havran. Juhovýchodné svahy nemajú pramene priamo na rozhraní chočského a slabo priepustného krížňanského príkrovu. Tieto svahy sú odvodňované iba vodným zdrojom Dušička ľavý, prameňom pri kaplnke (VT-57) a vodným tokom pretekajúcim obcou Švošov.

Tabuľka č. 15: Meranie prietoku na povrchových tokoch masívu Havran

Názov povrchového toku	Lokalita	Dátum	Prietok [l.s ⁻¹]	Dátum	Prietok [l.s ⁻¹]	Dátum	Prietok [l.s ⁻¹]	Dátum	Prietok [l.s ⁻¹]	Dátum	Prietok [l.s ⁻¹]
Prepad z VZ Suchá Dolinka	Stankovany	6.3.2019	2,978	15.7.2019	0,718	16.7.2019	3,323	4.11.2021	0,135	8.12.2021	0,162
Potok pri rezervoári	Stankovany	6.3.2019	0,978	15.7.2019	1,111	15.7.2019	1,111	4.11.2021	0,442	8.12.2021	0,50
Stankovany – pod vodojemom	Stankovany	6.3.2019	>10	15.7.2019	3,459	15.7.2019	3,459	4.11.2021	0,488	8.12.2021	0,798
Prameň pred VZ vpravo vo svahu	Stankovany	6.3.2019	0,941	10.6.2019	1,556	15.7.2019	1,341	4.11.2021	0,618	8.12.2021	0,656
Južný okraj obce Stankovany	Stankovany	6.3.2019	7,143	10.6.2019	1,377	15.7.2019	0,352	4.11.2021	0,585	8.12.2021	0,696
Prameň za ŽSR a cestou 2211	Stankovany	6.3.2019	1,245	10.6.2019	0,903	15.7.2019	0,50	4.11.2021	0,188	8.12.2021	0,162
Prameň pri poľnej ceste k VZ (Suchá dolinka)	Stankovany	6.3.2019	0,854	10.6.2019	0,998	15.7.2019	0,819	4.11.2021	0,60	8.12.2021	0,546
VT pred Švošovom vľavo od cesty 2211	Švošov	6.3.2019	2,222	10.6.2019	1,077	15.7.2019	0,45	4.11.2021	0,002	8.12.2021	0,175
Prameň pri kaplnke	Švošov	6.3.2019	0,342	10.6.2019	0,196	15.7.2019	0,109	4.11.2021	0,032	8.12.2021	0,303
Bezmenný pod Dušičkou (obec Švošov)	Švošov	6.3.2019	>10	10.6.2019	4,308	15.7.2019	1,018	4.11.2021	0,396	8.12.2021	0,503

Monitoring vodných zdrojov

V záujmovom území existujú a sú využívané nasledujúce vodné zdroje, ktoré sú v správe Ružomerská vodárenská spoločnosť, a.s. Ružomberok. Vodné zdroje VZ Pod Suchou dolinkou, VZ Dušička – pravý a Dušička - ľavý sú využívané pre zásobovanie obyvateľstva pitnou vodou a majú vybudované a legislatívne určené ochranné pásma.

Vodný zdroj Pod Suchou dolinkou je situovaný v horskom teréne JV od obce Stankovany v nadmorskej výške 643,94 m n.m. Prameň Pod Suchou dolinkou sa nachádza na rozhraní rajónu deluviálnych sedimentov a rajónu prevažne dolomitických na báze vápencových hornín (dolomity, dolomitické vápence s vložkami a polohami vápenca) mezozoika chočského príkrovu, so sklonom vrstevnatosti 20° smerom k trase tunela Havran.

Prameň sa využíva na zásobovanie obce Stankovany pitnou vodou. Priemerná výdatnosť prameňa za obdobie rokov 1986 – 1988 bol 6,3 l.s⁻¹. Priemerná ročná výdatnosť (2003 – 2007) prameňa bola 8,21 l.s⁻¹ (Némethyová et al., 2008). Krivka výdatnosti zdroja je rozkolísaná, s pravidelnými maximami v mesiacoch apríl, máj a minimami v mesiacoch november a december. Výraznejšie mesačné maximá sa vyskytli v jarných mesiacoch v roku 2004 (15,93 l.s⁻¹). Najväčšia priemerná ročná výdatnosť bola pozorovaná v roku 2005 (8,65 l.s⁻¹), najmenšia bola zaznamenaná v roku 2006 (7,68 l.s⁻¹). Priemerná výdatnosť za sledované obdobie 2018 – 2021 bola vo VZ Pod Suchou dolinkou 6,71 l.s⁻¹.

Vodný zdroj Dušička sa nachádza cca 300 m severne od obce Švošov. Prameň Dušička - ľavý v nadmorskej výške 569,01 m n.m. (Dolinský potok) je situovaný vedľa Dolinského potoka cca 130 m od vodojemu. Prameň Dušička - pravý (Dušička) v nadmorskej výške 569,80 m n.m. sa nachádza vo svahu cca 60 m nad vodojemom.

Vodárenský zdroj prameň Dušička - ľavý sa nachádza na rozhraní rajónu deluviálnych sedimentov (hliny, íly, sute) a rajónu náplavov horských tokov (štrky, piesky, náplavové hliny, íly) oddelených predpokladaným zlomom I. kategórie (regionálnym) so sklonom Z-ZSZ, ktorý pravdepodobne prechádza údolím Dolinského potoka. Vodárenský zdroj Dušička - pravý sa nachádza pri východnom okraji rajónu deluviálnych sedimentov (hliny, íly, sute) na rozhraní s rajónom slieňovcovo-vápencových hornín (mráznické súvrstvie). V blízkosti prameňa boli zdokumentované výrazné erózne ryhy. Sklon vrstevnatosti je 35° smerom k trase tunela Havran.

Zachytené pramene sú v správe Ružomerskej vodárenskej spoločnosti, a.s. a sú napojené na skupinovú vodovod Hubová - Švošov. Priemerná ročná výdatnosť prameňa Dušička - pravý v hodnotenom období (2003 – 2007) predstavuje 1,10 l.s⁻¹ a prameňa Dušička - ľavý 1,62 l.s⁻¹. Výdatnosť prameňov v priebehu roka kolíše, s pravidelnými mesačnými maximami v apríli, máji a minimami v novembri a decembri. Priemerná výdatnosť za sledované obdobie 2018 – 2021 bola vo VZ Dušička - ľavý 2,21 l.s⁻¹, VZ Dušička - pravý 1,29 l.s⁻¹.

Dňa 15.12.2021 boli odobraté vzorky podzemných vôd z vodných zdrojov na kompletný rozbor pitnej vody v zmysle vyhlášky MZ SR č. 247/2017 Z.z. v platnom znení. Podzemná voda z vodných zdrojov vyhovuje uvedenej vyhláške, neboli prekročené limitné hodnoty žiadneho ukazovateľa. Podzemná voda je upravovaná chloráciou pred distribúciou do verejnej vodovodnej siete. Protokoly analýz podzemných vôd sú uvedené v prílohe č. 3.

Hydrologická bilancia - tunel Havran

Hydrologická bilancia, ktorá bola vypracovaná pre hydrogeologickú štruktúru stredno- a vrchnotriasových dolomitov a vápencov tektonickej jednotky hronika v oblasti kóty 882 Havran v Šípскеj (pravobrežnej) 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 Suchá dolinka, Dušička – pravý a Dušička – ľavý od Ružomerskej vodárenskej spoločnosti. Zostaveniu bilančného hodnotenia vôd pre jednotlivé hydrologické roky 2014 až 2018 v uvedenej hydrogeologickej štruktúre predchádzalo zostavenie orientačnej hydrologickej bilancie na základe priemerných údajov za roky 1951 – 1981, ktoré slúžilo ako základ pre detailné rozvinutie do obdobia hydrologických rokov 2014 – 2018.

V rámci jednotlivých hydrologických rokov 2014 – 2018 sa celkový evidovaný odtok z hydrogeologickej štruktúry Havrana pohyboval od 165 do 191 mm (353 673 m³ až 408 852 m³; 11,2 až 13,0 l.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 od 9,3 do 14,7 l.s⁻¹.km⁻², priemerne 11,5 l.s⁻¹.km⁻² ktoré by sa mali prejavovať v odtoku priemerne 25 l.s⁻¹, resp. v jeho veľkosti medzi cca 20 až 32 l.s⁻¹. Uvedená chyba bilancie tým zároveň predstavuje zhruba 22 % zrážkových úhrnov.

Na základe geologickej stavby územia sa predpokladá, že cezhraničný odtok z bilancovanej hydrogeologickej štruktúry masívu Havran smeruje čiastočne do alúvia Váhu, ďalšia časť sa realizuje v malých prameňoch napájajúcich menšie režimovo nesledované vodné toky.

Celkový priemerný odtok z hydrogeologickej štruktúry Havrana sa pri zohľadnení veľkostí efektívnych zrážok pre obdobie hydrologických rokov 2001 – 2018 v oblasti kóty Havran môže pohybovať medzi hodnotami $15,0 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ pri minimálnych stavoch do $40,0 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ pri maximálnych stavoch, s priemernou hodnotou $23,4 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$.

Výsledky hydrologickej bilancie hydrogeologickej štruktúry Havrana pre obdobie hydrologických rokov 2019 – 2021 sú hodnotené celkové objemy vôd obiehajúce v uvedenom období v rámci tejto uzavretej hydrogeologickej štruktúry s plochou $2,139 \text{ km}^2$ vyjadrené v objemových jednotkách. 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 ($\pm \Delta R_{pp}$) 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 ($\pm \Delta R$ 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 je 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 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.

Údaje o celkovej zmene zásob podzemnej vody, o jej medziročných a medzimesačných zmenách sú pomerne veľké, celkovo bola medzi 2018 až 2021 zaznamenaná zmena zásob podzemnej vody ΔR - $26\,493 \text{ m}^3$ resp. pokles o 12,4 mm. Medziročne boli však tieto zmeny oveľa výraznejšie.

Celkový priemerný odtok z hydrogeologickej štruktúry Havrana sa pri zohľadnení veľkostí efektívnych zrážok pre obdobie hydrologických rokov 2001 – 2021 v oblasti kóty Havran sa pohybuje 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 $23,4 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$.

Kompletná hydrologická bilancia masívu Havran je súčasťou prílohy č. 8.

Hydraulický model prúdenia podzemných vôd - tunela Havran

Cieľom hydraulického modelovania bolo overenie možného vplyvu tunela Havran na prúdenie podzemných vôd v masívoch vrchov Havran a Ostré v oblasti Šípskej Fatry a predpoklad miery ovplyvnenia výdatností vodných zdrojov v bezprostrednom okolí tunelových rúr. Riešenie diaľničného variantu s tunelom Havran, ktorý je projektovaný od Stankovian po Švošov. Modelované boli tri scenáre a to 1) pôvodný stav, 2) stav ovplyvnený výstavbou tunela bez realizovania opatrení proti drenážnemu účinku tunela, 3) stav s realizáciou navrhnutých opatrení.

Charakter riešeného problému vyžaduje reálnu aproximáciu geologického prostredia a taktiež geometrie tunelových rúr. Pre modelovanie bol zvolený overený modulárny modelový systém MODFLOW od U.S. Geological Survey (štátna geologická služba USA) v najnovšej verzii č. 6. Modely založené na metóde konečných rozdielov (napr. MODFLOW) správnejšie stanovujú výslednú bilanciu – objemy prúdenia podzemnej vody a tým presnejšie dokážu určiť potencionálne vplyvy či už čerpania alebo drenážneho účinku tunelových rúr vo väčších vzdialenostiach od zdroja vplyvu. Jednoduchším spôsobom sa popisujú okrajové podmienky, napríklad celkový odpor a umiestnenie tunela v horninovom prostredí je nahradené jednou konštantou.

Zostavený hydraulický model bol na základe doplňujúcich výsledkov monitorovania počas obdobia rokov 2018 až 2021 a prepracovaný bol pre použitie v softvéri MODFLOW 6 od USGS. MODFLOW je modulárny hydrologický model USGS. MODFLOW 6 je objektovo orientovaný program a vyvinutý bol s cieľom poskytnúť platformu na podporu viacerých modelov a viacerých typov modelov v rámci rovnakej simulácie. MODFLOW sa považuje za medzinárodný štandard pre simuláciu a predpovedanie podmienok podzemnej vody a interakcií podzemná voda/povrchová voda.

Z hydrogeologického hľadiska bol model koncipovaný ako dvojvrstvový. Prvá vrstva modelu predstavuje priepustnejšie horniny: ramsauské dolomity a guttensteinské vápence hronika (u ktorých predpokladáme skrasovanie a vyššie priepustnosti), fluviálne a deluviálne sedimenty a v prípade slienitých vápencov, slieňovcov a flocov mrázničného a porubského súvrstvia fatrika vrchnú porušenú vrstvu, na ktorej hrúbku poukazujú merané hladiny podzemnej vody vo vrtoch. Ďalšie vrstvy

matematického modelu (druhá hydrogeologická vrstva) predstavujú menej priepustné horniny hlbšie položeného mráznického súvrstvia. Tunelové rúry budú podľa predpokladov prechádzať takmer výlučne súvrstviami fatrika, pri ktorom možno očakávať vyššie priepustnosti najmä v okolí portálov tunela a v mieste križovania s bezmenným potokom v Švošove pod vodným zdrojom Dušička.

Infiltrácia zrážkových vôd bola riešená okrajovou podmienkou 2. druhu ($Q = \text{konšt.}$) na povrchu terénu. Hodnota konštantného prítoku bola prevzatá z hydrologickej bilancie. V mieste hlavných tokov na okraji modelu je vložená okrajová podmienka $H = \text{konštanta}$, ktorá zabezpečuje stabilitu matematického modelu a zabezpečuje odtok „prebytočných“ zrážkových vôd odtekajúcich buď cez zvodnené deluviálne sedimenty, kvartérne fluviálne sedimenty alebo zvetranú vrchnú vrstvu menej priepustných sedimentov mimo model. V oblastiach výverov podzemných vôd do prameňov a potokov bola definovaná okrajová podmienka drenážneho prvku tesne pod terénom s limitovaním prítoku smerom mimo model, čím bolo simulované drénovanie podzemných vôd v závislosti na piezometrickej výške.

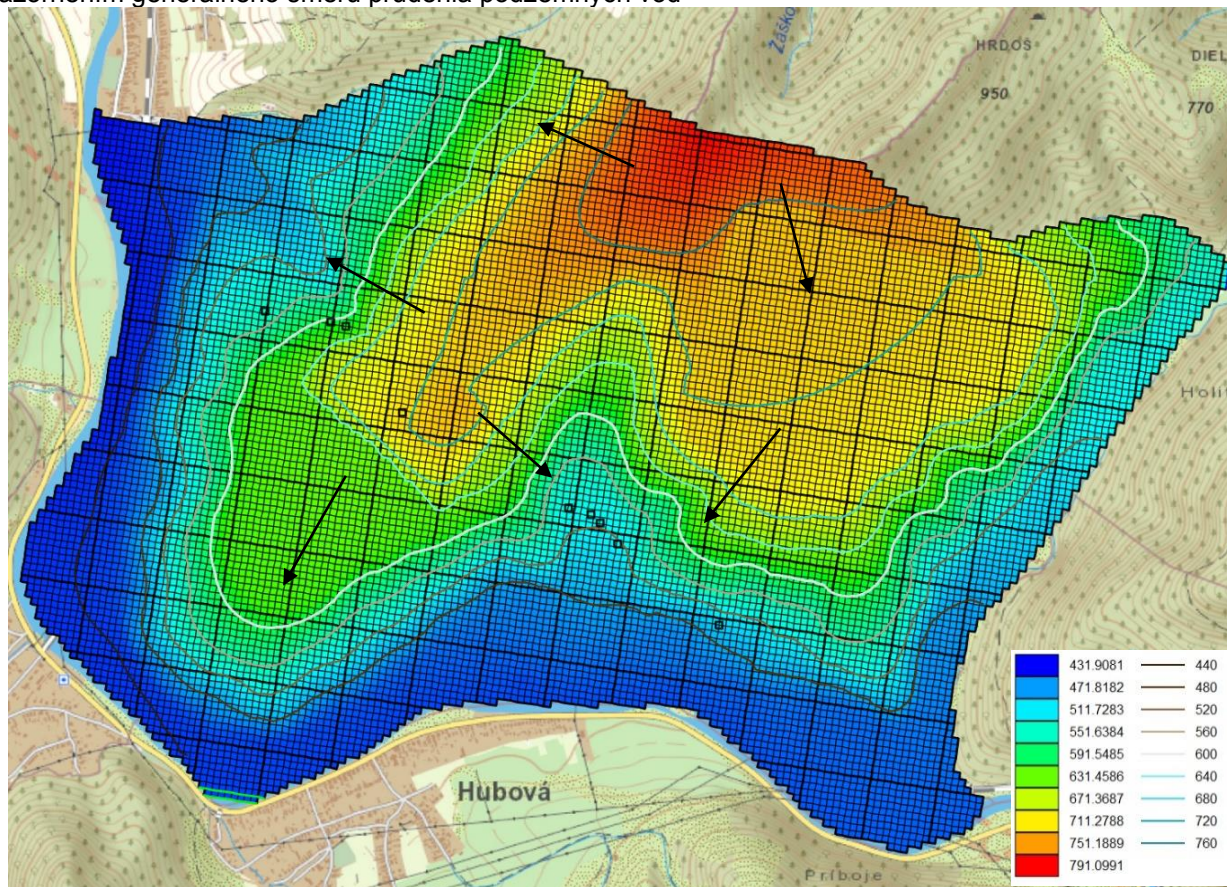
Najcitlivejšími parametrami modelu bola kóta rozhranie viacej a menej priepustných hornín (kóta bázy 1. Vrstvy modelu) a koeficient filtrácie. Tieto kóty boli v prípade tohoto modelu zvolené na základe geologickej mapy SR. Kalibrácia modelu bola vykonaná úpravami koeficientov filtrácie (získaných zo skúšok in situ) a lokálne aj úpravami kóty vyššie uvedeného rozhrania tak, aby hladiny podzemných vôd simulované modelom čo najlepšie zodpovedali nameraným hodnotám a bilancia prúdenia vody v matematickom modeli zodpovedala bilancii, ktorá bola zostavená počas prieskumu.

Pre posudzovanie vplyvu výstavby tunela Havran na režim podzemných vôd bol vybraný ako reprezentatívny nízky stav v septembri roku 2020. Tento stav bol vybratý ako vhodný z dôvodu aspoň krátkodobo ustálených okrajových podmienok

Modelované boli nasledujúce scenáre – pôvodný stav bez tunelových diel, stav ovplyvnený výstavbou obidvoch tunelov bez opatrení a stav ovplyvnený výstavbou obidvoch tunelov s realizovanými opatreniami.

Scenár 0: neovplyvnený stav - Východiskom pre odhad ovplyvnenia podzemných vôd existenciou tunelových rúr je model kvázi prirodzeného stavu pred výstavbou diaľnice v danom úseku. Prúdenie podzemnej vody vo väčšine územia (slienitých vápencov, slieňovcov a ílovcov) kopíruje svahy, v miestach výskytu dolomitov a vápencov hronika bude kopírovať rozhranie na ich báze.

Obr. č. 6: Simulované hladiny podzemnej vo (m n.m.), neovplyvnený stav – tunel Havran so znázornením generálneho smeru prúdenia podzemných vôd



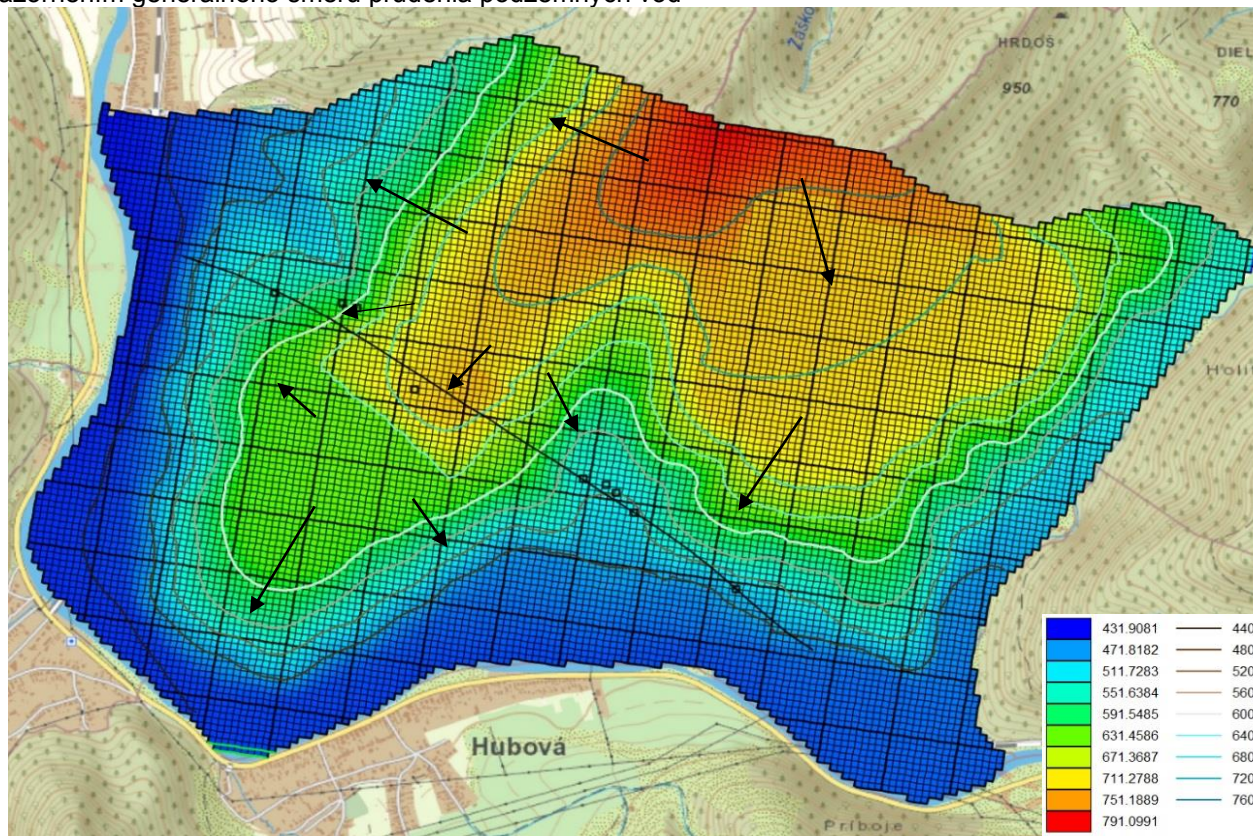
Scenár 1: realizácia tunela bez opatrení - V riešení je predpokladaná konštrukciu tunela s betónovým ostiením hrúbky 300 mm a drenážou na päte ostenia tvorenou zbernými potrubiami a obsypom.

Vzhľadom na očakávané prítoky vôd vo vyrazených tunelových rúrach v úseku potencionálneho kontaktu s alúviom bezmenného potoka pod vodným zdrojom Dušička (obec Švošov) bude vhodné vybudovať ostenie s protiklenbou, ktorá výrazne obmedzí prítok zo spodnej časti tunelovej rúry. Teleso tunelových rúr je simulované ako drenážny prvok, ktorý odvádza vodu z masívu s relatívne nízkym hydraulickým odporom na plášti tunelových rúr. Kóta dna drénu bola zvolená na úrovni nivelety, a hydraulický odpor zodpovedá priepustnosti rozvoľneného masívu. Simuláciou drenážneho vplyvu takto definovaných tunelových rúr bolo zistené významné lokálne ovplyvnenie prúdenia podzemných vôd v rámci masívu Havrana a v miestach bezmenného potoka v Švošove pod vodným zdrojov Dušička. Vplyv sa z týchto miest následne propaguje do okolia a ovplyvňuje tlakové pomery v miestach vodárenských zdrojov.

Pokles hladín pri vybudovaní tunela bez opatrení je možné očakávať jednak v centrálnej časti masívu Havrana, kde ale je relatívne nízke zvodnenie. Významnejší pokles hladín nastane v miestach alúvia bezmenného potoka v Švošove pod vodným zdrojom Dušička. V týchto miestach by vzhľadom na existenciu zlomov, ktoré určili tvar doliny, a ich možnú relatívne vysokú priepustnosť mohlo v extrémnom prípade dôjsť až ku priesaku celého prietoku bezmenného potoka do tunela. Opatrenia v týchto miesta preto na základe výsledkov prieskumu potvrdeného modelovaním sú nevyhnutné.

Numerickým modelovaním simulované poklesy piezometrických výšok sa prejavajú aj na zmenšení prítoku vody do miest drenážnych prvkov predstavujúcich pramene vodárenských zdrojov. Odhadnutý percentuálny pokles výdatností v okolitých vodných zdrojoch na základe výsledkov modelovania pri tomto variante je uvedený v tabuľke č. 16.

Obr. č. 7: Simulované hladiny podzemnej vody (m n.m.), stav bez opatrení – tunel Havran so znázornením generálneho smeru prúdenia podzemných vôd

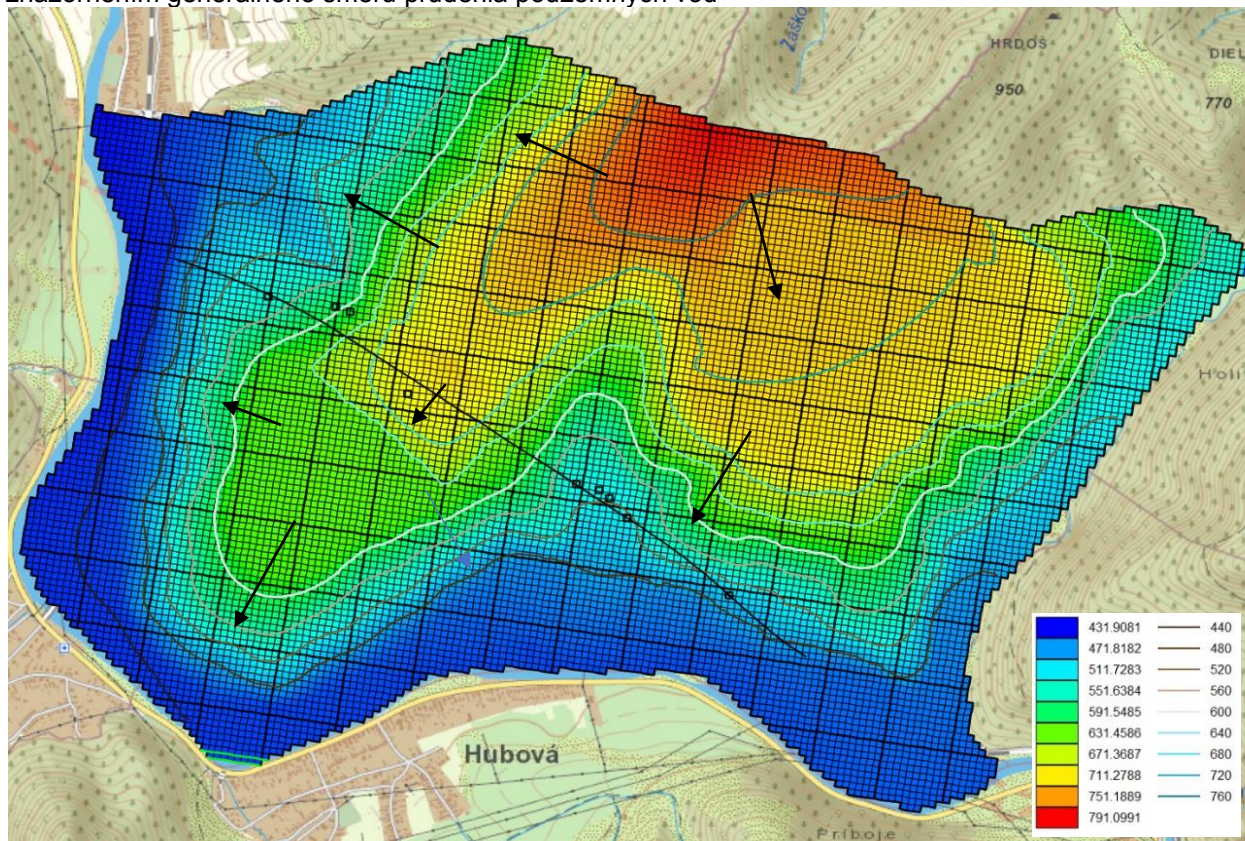


Scenár 2: realizácia tunela s realizovanými opatreniami - V predmetnom scenári sa uvažuje s vybudovaním tunela, kde je predpokladaná konštrukcia tunela podobná s prechádzajúcim variantom, navyše sa v exponovaných miestach uvažuje s betónovým ostením hrúbky 300 mm, celoplošnou hydroizoláciou a utesneným okolím oboch tunelových rúr (nepriepustný tunel).

Teleso tunelových rúr je simulované ako drenážny prvok, ktorý odvádza vodu z masívu s relatívne nízkym hydraulickým odporom na plášti tunelových rúr. Kóta dna drénu bola zvolená na úrovni nivelety, a hydraulický odpor bol znížený na úroveň 30% hodnoty v miestach realizácie opatrení. Hodnota 30% bola zvolená na základe konzervatívneho odborného odhadu. V skutočnosti úroveň opatrení zodpovedá poklesu hydraulického odporu až na úroveň jednotiek percent, ale takto sú výpočty na strane bezpečnosti keby došlo pri opatreniach časom alebo inými vplyvmi ku zmenám priepustnosti ostenia tunelu. Simuláciou drenážneho vplyvu takto definovaných tunelových rúr bolo zistené významné menšie ovplyvnenie prúdenia podzemných vôd väčšinou iba významu a menší celkový vplyv na výdatnosti vodárenských zdrojov. V miestach nivy bezmenného potoka v Švošove pod vodným zdrojom Dušička bude vplyv tunela významne nižší a opatrenia zabránia nežiadúcemu prieniku vody z alúvia do tunelových rúr. Opatrenia v týchto miestach vzhľadom na možný výskyt priepustnejších zlomových pásiem nezachytených vrtní sú nevyhnutné.

Pri realizácii navrhovaných opatrení bude priemerný pokles hladín podzemných vôd v masíve Havranu znížený o 12,2 m pri minimálnom stave hladiny podzemných vôd (oproti priemernému poklesu 18,6 m bez opatrení) ako aj zmeny výdatností vodných zdrojov budú nižšie v porovnaní s variantom bez opatrení. V tomto prípade, aj pri scenári s opatreniami bol postup konzervatívny, čiže modelovalo sa utesnenie tunela na úroveň 30%. V skutočnosti správne realizované opatrenia vrátane injektáže okolia tunela majú potenciál utesniť tunel tak, že jeho drenážny účinok poklesne na úroveň jednotiek percent voči otvorenému tunelu, v tomto prípade môže byť celkový vplyv na obeh podzemných vôd v masíve Havran a na vodný zdroj Dušička a pod Suchou dolinkou zanedbateľný.

Obr. č. 8: Simulované hladiny podzemných vôd (m m.n.), ovplyvnený stav – s opatreniami - tunel Havran so znázornením generálneho smeru prúdenia podzemných vôd



Tabuľka č. 16: Prehľad simulovaného ovplyvnenia vodných zdrojov o oblasti masívu Havran

Vodný zdroj	Priemerná výdatnosť (l.s ⁻¹)	Simulovaná výdatnosť – scenár – neovplyvnený stav (l.s ⁻¹)	Simulovaná výdatnosť – stav bez opatrení (l.s ⁻¹)	Pokles výdatnosti – stav bez opatrení (%)	Pokles priemernej výdatnosti – stav bez opatrení (l.s ⁻¹) *	Simulovaná výdatnosť – stav s realizáciou opatrení (l.s ⁻¹)	Simulovaný pokles výdatnosti - stav realizácia opatrení (%)	Pokles výdatnosti - stav realizácia opatrení (l.s ⁻¹)
Dušíčka – pravý	2,31	2,53	2,09	17,24 %	0,40	2,27	10.20 %	0,24
Dušíčka – ľavý	1,06	0,91	0,76	16,58 %	0,17	0,82	9.86 %	0,10
Suchá dolinka	7,81	8,72	7,37	15,41 %	1,20	7,62	12.58 %	0,98
Spolu	11,18	12,16	10,22		1,77	10,71		1,32

Poznámka: hodnoty čiernou farbou – stanovené modelom, hodnoty modrou farbou – hodnoty z monitorovania a predpokladané poklesy monitorovaných hodnôt

stav bez opatrení – priepustný tunel, otvorený izolačný systém s postrannou drenážou

stav realizácia s opatreniami – nepriepustný tunel (uzatvorený hydroizolačný systém) a polopriepustný tunel

Matematický model bol zostavený na základe dostupných výsledkov inžinierskogeologického a hydrogeologického prieskumu, úrovne poznatkov o prúde podzemnej vody v masíve, ktorým prechádza tunel Havran. Za najrizikovejší úsek tunela sa javí miesto pod alúviom bezmenného potoka v Švošove pod vodným zdrojom Dušíčka až po miesta v okolí vrtu THV-4. V týchto miestach by vzhľadom na existenciu zlomov, ktoré určili tvar doliny potoka, a ich možnú priepustnosť mohlo v extrémnom prípade dôjsť až ku prietoku celého prietoku bezmenného potoka do tunela. Opatrenia v týchto miestach preto na základe výsledkov prieskumu potvrdeného modelovaním sú nevyhnutné a je potrebné ich realizovať počas razenia tunela (injekcia zlomov a rozrušeného zóny v okolí tunela, celoplošná hydroizolácia).

Priebeh hladín podzemných vôd je zrejмый z prílohy č. 10 - Úroveň hladiny podzemnej vody v pozdĺžnom profile tunela Havran, mierka 1:5 000.

Kompletný hydraulický model prúdenia podzemných vôd masívu Havran je súčasťou prílohy č. 9.

8. ZÁVER

Cieľom monitoringu povrchových a podzemných vôd do roku 12/2021 bolo sledovať základný stav masívu Kopy a masívu Havran, vývoj hladiny podzemných vôd v území s významnou tvorbou, akumuláciou podzemných vôd. Hodnotené územie patrí do významnej hydrogeologickej štruktúry Kopa a masívu Havran s využívanými vodnými zdrojmi pitnej vody pre zásobovanie obyvateľov priľahlých obcí.

Súčasťou monitoringu boli nasledujúce práce:

- meranie hladín podzemných vôd – portálové časti tunela Korbeľka a Havran, vrty situované v tuneloch Korbeľka a Havran, Rojkovské rašelinisko a Kraľoviansky zosuv
- meranie uzavretých systémy piezometrov
- monitoring povrchových vôd
- monitoring kvality podzemných vôd vodných zdrojov
- meranie výdatností odvodňovacích vrtov – Kraľoviansky zosuv
- hydrologická bilancia tunel Korbeľka a Havran
- hydraulický model prúdenia podzemných vôd tunel Korbeľka a Havran.

Výsledky meraní monitoringu spracované v texte vyššie dokumentujú súčasný, neovplyvnený stav územia pred samotnou výstavbou diaľnice D1 Turany – Hubová s tunelmi Korbeľka a Havran.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- Atlas krajiny Slovenskej republiky, Ministerstvo životného prostredia SR Bratislava, Slovenská agentúra životného prostredia Banská Bystrica, 1. vydanie, 2002
- Gazda S., 1971: Modifikácia Palmerovho klasifikačného systému. In: Hydrogeologická ročenka 1970 - 1971. Bratislava, s. 122 - 126.
- Gašparík, J.: Geologická mapa Turčianskej kotliny, M = 1 : 50 000. ŠGÚDŠ, Bratislava, 1993;
- Gross, P. et al.: Geologická mapa južná a východná Orava, M = 1: 50 000, ŠGÚDŠ, Bratislava, 1994;
- Grenčíková, A., et al.: Diaľnica D1 Turany – Hubová, podrobný inžinierskogeologický a hydrogeologický prieskum. DPP Žilina s.r.o., Žilina, 2019;
- Grenčíková, A., et al.: Diaľnica D1 Turany – Hubová, variant V1, orientačný inžinierskogeologický a hydrogeologický prieskum. Geofos s.r.o., Žilina, 2016;
- Grenčíková, A., et al.: Diaľnica D1 Turany – Hubová, doplnkový inžinierskogeologický prieskum. Geofos s.r.o., Žilina, 2010;
- Grenčíková, A. et al.: Diaľnica D1 Turany-Hubová, podrobný inžinierskogeologický prieskum, Ingeo a.s. Žilina, 2009;
- Kuvik, M. et al., 2014: Diaľnica D1 Turany-Hubová, modifikovaný údolný variant V1 a subvariant V1a a variant V2 s tunelom Korbeľka, orientačný inžinierskogeologický prieskum. CAD-ECO a.s., Bratislava, 2014;
- Kuvik, M., et al.: Diaľnica D1 Turany – Hubová, inžinierskogeologická štúdia pre tunely Veľká Fatra a Korbeľka. CAD-ECO a.s., Bratislava, 2010;
- Janták, V., et al.: D1 Dubná Skala-Turany, podrobný inžinierskogeologický prieskum, GEOHYCO a.s., Bratislava, 1996;
- Jetel J., 1982: Určovaní hydraulických parametrov hornín hydrodynamickými skúškami ve vrtech. ÚÚG, Praha, 246 s.
- Malgot, J., et al.: Diaľničný tunel Korbeľka, inžinierskogeologická štúdia. Katedra geotechniky STU, Bratislava, 1997;
- Matejček, A.: D1 Lubochňa-Ivachnová, orientačný prieskum - štúdia, GEOFOS s.r.o. Žilina, 1998;
- Matejček, A. – Bohyník, J. – Coplák, M.: Diaľnica D1 Turany – Hubová, DÚR. Inžinierskogeologický posudok. Geofos s.r.o., Žilina, 2007;
- Matejček, A., et al.: Diaľnica Turany – Hubová, tunely Rojkov – Havran, inžinierskogeologická štúdia. Geofos s.r.o., Žilina, 2007;
- Máľuš, J.: Ľubochňa - Ivachnová - diaľnica D1, orientačný inžinierskogeologický a predbežný hydrogeologický prieskum. Uranpres a.s., Spišská Nová Ves, 1996. GEOFOND 80482;
- Šuba J., 1984, Hydrogeologická rajonizácia Slovenska, SHMU, 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;
- 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;
- Némethyová, M. - Kalvodová, M.: Martin (Dubná Skala) - Hubová - diaľnica D1, hydrogeologické posudky a štúdie náhradných vodných zdrojov, hydrogeologický prieskum. Dopravoprojekt a.s., Bratislava, 2000. GEOFOND 83891;
- Némethyová, M. – Gajdoš, V. - Bahna, B.: Diaľnica D1 Dubná skala – Turany, vplyv stavby a prevádzky na vodárenský zdroj Lipovec, podrobný hydrogeologický prieskum. Vodné zdroje Slovakia, Bratislava, 2005. GEOGOFND 86146;
- Némethyová, M. – Barušková, L. - Kováč, P.: Diaľnica D1 úsek Turany - Hubová, hydrogeologický posudok, dopracovanie pre DSP, Vodné zdroje Slovakia, Bratislava, 2008;
- Némethyová, M. – Malík, P. - Némethyová, S.: Diaľnica D1 úsek Turany - Hubová, hydrogeologická štúdia, Vodné zdroje Slovakia, Bratislava, 2011;
- Ondrášik, R.: Diaľnica D1 Martin – Ľubochňa, inžinierskogeologická štúdia, KIG PriFUK Bratislava, 1996;
- Ondrášik, R.: Inžinierskogeologické zhodnotenie tektonickej nerovnorodosti údolia Váhu medzi Ružomberkom a Krpeľanmi, KIG PriFUK Bratislava, 1987;
- Polák, M., et al.: Geologická mapa Veľkej Fatry, M = 1 : 50 000, ŠGÚDŠ, Bratislava, 1997;
- Polák, M., et al.: Vysvetlivky ku geologickej mape Veľkej Fatry, M = 1 : 50 000, ŠGÚDŠ, Bratislava,

1997

- Rentka, R.: Geologické pomery v trasách diaľničných tunelov v SR. Inžinierskogeologická štúdia. INGEO a.s., Žilina, 1995;
- Vrábel P., et.al.: Diaľnica D1 Poluvsie – Ivachnová, inžinierskogeologická štúdia, IGHP n.p., Žilina, 1984;
- Záthurecký A., et. al.: D1 Martin – Ľubochňa, orientačný inžinierskogeologický prieskum, INGEO a.s., Žilina, 1998. GEOFOND 84402;
- Quitt, E., et al.: Klimatické oblasti ČSSR, Academia Brno, 1971;
- Peržel, M.: Strážovský príkrov vo Veľkej Fatre. Geologické práce, Správy 48, Bratislava, 1969;
- Lukniš, M. – Konček, M.: Atlas SSR – Ovzdušie a vodstvo, vydalo Vydavateľstvo VEDA Bratislava, 1982;
- Maheľ, M. et al.: Regionální geologie ČSSR, II. Západní Karpaty, sv.1. Ústřední geologické vydavatelství, Praha, 1967;
- Mazúr, E. – Lukniš, M.: Regionálne geomorfologické členenie SSR, mapa 1 : 500 000, Geografický ústav SAV Bratislava, 1980;

Server ŠGÚDŠ Bratislava (www.geology.sk):

Geologická mapa Slovenska M 1:50 000 [online]. Bratislava: Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, 2013. Dostupné na internete: <http://apl.geology.sk/gm50js>.

Hydrogeologické mapy [online]. Bratislava: Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, 2008. Dostupné na internete: <http://apl.geology.sk/hydrogeol>.

Register skládok odpadov <http://mapserver.geology.sk/skladky>

Register IG vrtov <http://mapserver.geology.sk/igvrtv>

Register HG vrtov <http://mapserver.geology.sk/hgvrtvpdf2>

Register svahových deformácií <http://mapserver.geology.sk/zosuvy>

Register environmentálnych záťaží a skládok odpadov (www.enviroportal.sk)

Atlas krajiny, Enviro portál 2002: <https://geo.enviroportal.sk/atlassr/>

Národný geoportál, SAŽP: <http://geoportal.gov.sk/sk/map>

- Vyhláška č. 211/2005 Z. z. - Vyhláška Ministerstva životného prostredia Slovenskej republiky, ktorou sa ustanovuje zoznam vodohospodársky významných vodných tokov a vodárenských vodných tokov
- Nariadenie vlády SR č. 282/2010 Z.z., ktorým sa ustanovujú prahové hodnoty a zoznam útvarov podzemných vôd, v platnom znení
- Vyhláška MŽP SR č. 2/2011 Z.z., ktorou sa vyhlasuje Chránené vtáčie územie Malá Fatra
- Vyhláška č. 247/2017 Z. z. Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky, ktorou sa ustanovujú podrobnosti o kvalite pitnej vody, kontrole kvality pitnej vody, programe monitorovania a manažmente rizík pri zásobovaní pitnou vodou
- STN 0036 73 (STN EN 1998-1 Navrhovanie konštrukcií na seizmickú odolnosť)
- STN 73 7507 projektovanie cestných tunelov
- STN 73 6114 Vozovky pozemných komunikácií - Základné ustanovenia pre navrhovanie