

**VÝSKUMNÝ ÚSTAV VODNÉHO HOSPODÁRSTVA**  
**Nábr. arm. gen. L. Svobodu č. 5, 812 49 Bratislava**



**Riešiteľ (titul, meno a priezvisko):**

**Mgr. Vladimír Chudoba, PhD.**

**Názov čiastkovej úlohy:**

Identifikácia útvarov podzemných vôd,  
od ktorých sú priamo závislé útvary  
povrchových vôd.

**Interné číslo úlohy:**

**21013**

**Kód úlohy:**

**1.2.6.2**

**Gestor:**

**Ing. Viera Vikukelová**

**Mgr. Oliver Horvát, PhD.**



**Bratislava marec/2022**

<b>Generálny riaditeľ ústavu:</b>	<b>Ing. Katarína Holubová, PhD.</b>
<b>Riaditeľ odboru:</b>	<b>Ing. Andrej Seman</b>
<b>Vedúci oddelenia:</b>	<b>RNDr. Anna Patschová, PhD.</b>
<b>Zodpovedný riešiteľ:</b>	<b>Mgr. Vladimír Chudoba, PhD.</b>
<b>Spoluriešiteľ:</b>	<b>RNDr. Anna Patschová, PhD.</b>
<b>Spolupracovníci:</b>	

**Spolupracujúce externé organizácie: Slovenský hydrometeorologický ústav, Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, Štátna ochrana prírody Slovenskej Republiky, Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského v Bratislave**

# Obsah

Obsah.....	3
Zoznam najpoužívanějších skratiek .....	5
Úvod.....	6
1. Základné východiská hodnotenia interakcie podzemnej a povrchovej vody .....	7
1.1 Interakcia podzemnej a povrchovej vody.....	8
2. Metodika identifikovania útvarov podzemných vôd, od ktorých sú priamo závislé útvary povrchových vôd .....	10
2.1 Metodika hodnotenia hydraulického vzťahu podzemnej a povrchovej vody.....	11
2.1 Metodika identifikácie útvarov podzemných vôd, od ktorých sú priamo závislé útvary povrchových vôd .....	13
3. Hodnotenie hydraulického vzťahu podzemnej a povrchovej vody .....	13
3.1 Vstupné údaje .....	13
3.2 1. krok – priradenie častí útvarov povrchovej vody k útvarom podzemnej vody .....	15
3.3 2. krok – vytvorenie podkladovej mapy hodnotenia priepustnosti prostredia.....	16
3.3.1 Priepustnosť prostredia z hľadiska litologického typu hornín – 1. parameter.....	16
3.3.2 Horninové zastúpenie a typ priepustnosti horninového prostredia – 2. parameter.....	17
3.3.3 Koeficient filtrácie – 3. parameter.....	18
3.3.4 Hodnotenie priepustnosti prostredia a potenciálnej interakcie podzemnej a povrchovej vody	20
3.3.5 Vytvorenie finálne podkladovej mapy hodnotenia priepustnosti prostredia .....	22
3.4 Skríning – stanovenie nožnej interakcie a hydraulického vzťahu útvarov povrchových vôd s útvarmi podzemných vôd.....	23
3.4.1 Priepustné prostredie .....	24
3.4.2 Menej priepustné prostredie .....	24
3.4.3 Nepriepustné prostredie.....	25
3.4.4 Priepustné prostredie – nepatrný kvartér .....	25
3.5 Výsledky skríningu a diskusia.....	25
3.5.1 Prirodzené útvary povrchových vôd.....	26
3.5.2 Výrazne zmenené útvary povrchových vôd .....	26
3.5.3 Umelé útvary povrchových vôd .....	27
4. Identifikácia útvarov podzemných vôd, od ktorých sú priamo závislé útvary povrchových vôd .	29
4.1 Kritéria pre identifikáciu útvarov podzemných vôd, od ktorých sú priamo závislé útvary povrchových vôd .....	29
4.2 Vytvorenie zoznamu útvarov podzemných vôd, od ktorých sú priamo závislé útvary povrchových vôd .....	29
5. Zistené nedostatky .....	32
5.1 Prietoknosť T .....	33

5.2	Kolmatácia riečneho dna .....	34
5.3	Rozdielne rozlíšenie vstupných máp .....	36
5.4	Ostatné útvary povrchových vôd.....	36
6.	Pilotný návrh riešenia smeru interakcie podzemnej a povrchovej vody .....	37
	Záver.....	44
	Zoznam použitej literatúry .....	45

## Zoznam najpoužívanějších skratiek

GIS	geografický informačný systém
m p. t.	metrov pod terénom
MO-PzV	monitorovací objekt podzemnej vody
PMP	plán manažmentu povodí
PV	povrchová voda
PzV	podzemná voda
RSV	rámcová smernica o vode
SHMÚ	Slovenský hydrometeorologický ústav
ŠGÚDŠ	Štátny geologický ústav Dionýza Štúra
ŠOP SR	Štátna ochrana prírody Slovenskej Republiky.
ÚPoV	útvár povrchovej vody
ÚPzV	útvár podzemnej vody
VS	vodomerná stanica
VÚVH	Výskumný ústav vodného hospodárstva

## Úvod

Podľa požiadaviek smernice Európskeho parlamentu a Rady 2000/60/ES, ktorou sa stanovuje rámec pôsobnosti pre opatrenia spoločenstva v oblasti vodného hospodárstva (tzv. rámcová smernica o vode – RSV)<sup>1</sup> pri realizácii programov opatrení špecifikovaných v plánoch vodohospodárskeho manažmentu povodia za účelom dosiahnutia environmentálnych cieľov pre podzemné vody v zmysle článku 4.1 RSV sa vyžaduje:

1. Zaviesť potrebné opatrenia na zabránenie alebo obmedzenie vstupu znečisťujúcich látok do podzemnej vody a na zabránenie zhoršenia stavu všetkých útvarov podzemnej vody.
2. Chrániť, zlepšovať a obnovovať všetky útvary podzemnej vody, zabezpečiť rovnováhu medzi odberom a dopĺňaním podzemnej vody za účelom dosiahnutia dobrého stavu podzemných vôd.
3. Uskutočniť potrebné opatrenia na zvrátenie akéhokoľvek významného a trvalo vzostupného trendu koncentrácie akejkoľvek znečisťujúcej látky, ktorý je spôsobený ľudskou činnosťou, za účelom postupného zníženia znečistenia podzemnej vody.

Východiskom je vykonať charakteristiku správneho územia povodia a zhodnotenie dopadu ľudskej činnosti na podzemnú vodu (článok 5 RSV) podľa požiadaviek uvedených v prílohe II a III. Charakterizácia musí obsahovať úvodný popis všetkých útvarov podzemnej vody na zhodnotenie ich využívania a miery rizika, že nespĺnia ciele, ktoré sú pre útvary podzemných vôd. Súčasťou úvodného popisu je aj stanoviť tie útvary podzemnej vody, od ktorých sú priamo závislé ekosystémy povrchových vôd alebo suchozemské ekosystémy.

Následne pre útvary alebo skupiny útvarov podzemnej vody, ktoré boli identifikované ako rizikové po úvodnom popise sa vyžaduje uskutočniť ďalší popis týchto útvarov s cieľom realizovať presnejšie vyhodnotenie významu príslušného rizika a identifikovať všetky opatrenia potrebné podľa článku 11 RSV<sup>1</sup>.

Za účelom splnenia požiadaviek RSV v prílohe II bode 2.1, aby boli identifikované tie útvary podzemnej vody, od ktorých sú priamo závislé ekosystémy povrchovej vody, bolo potrebné vytvoriť metodický postup na priradenie vzťahov medzi útvarmi povrchových vôd (ÚPoV) a útvarmi podzemných vôd (ÚPzV). Celá analýza má viesť k bližšiemu pochopeniu procesov výmeny vody medzi útvarmi podzemnej vody a útvarmi povrchovej vody, aby sa mohli navrhnúť ciele opatrenia pre ÚPzV klasifikované v zlom stave a v riziku nedosiahnutia environmentálnych cieľov RSV<sup>1</sup>, ktoré sú v interakcii s ÚPoV.

V tejto správe sa budeme venovať prvej fáze charakterizácie hydraulických vzťahov povrchovej a podzemnej vody, a to pomocou skríningu a následne na základe výsledkov vytvoriť zoznam útvarov podzemných vôd, ktoré sú asociované s útvarmi povrchových vôd. Načrtne sa i návrh riešenia odhadu smeru vodovýmeny medzi povrchovou a podzemnou vodou.

---

<sup>1</sup> Smernica Európskeho parlamentu a Rady 2000/60/ES z 23. októbra 2000, ktorou sa stanovuje rámec pôsobnosti pre opatrenia spoločenstva v oblasti vodného hospodárstva, Ú. v. L 327/1, 22.12.2000, s. 275-346. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/?uri=celex:32000L0060>

# 1. Základné východiská hodnotenia interakcie podzemnej a povrchovej vody

Základné východiská pre predmetné hodnotenie interakcie medzi ÚPzV a súvisiacimi ÚPoV a identifikovanie zoznamu útvarov podzemnej vody, od ktorých sú priamo závislé ekosystémy povrchovej vody, sú stanovené požiadavkami prílohy II bodu 2.1 a 2.2 RSV<sup>1</sup>:

## 2.1. Úvodný popis

Členské štáty vykonajú úvodný popis všetkých útvarov podzemnej vody na zhodnotenie ich využívania a miery rizika, že nesplnia ciele, ktoré sú pre útvary podzemných vody stanovené v článku 4. Na účely tejto úvodnej charakterizácie môžu členské štáty útvary podzemnej vody zoskupovať. Tieto analýzy môžu využívať existujúce hydrologické, geologické, pedologické údaje, údaje o využívaní územia, vypúšťaniach, odberoch a iné, ale musia stanoviť:

- polohu a hranice útvaru alebo útvarov podzemnej vody,
- vplyvy, ktorým je útvary podzemnej vody vystavené, vrátane:
  - plošných zdrojov znečistenia,
  - bodových zdrojov znečistenia,
  - odberov vody,
  - umelého dopĺňania,
- všeobecný charakter nadložných vrstiev lokality povodia, z ktorého je útvary podzemnej vody dopĺňaný,
- **tie útvary podzemnej vody, od ktorých sú priamo závislé ekosystémy povrchovej vody alebo suchozemské ekosystémy.**

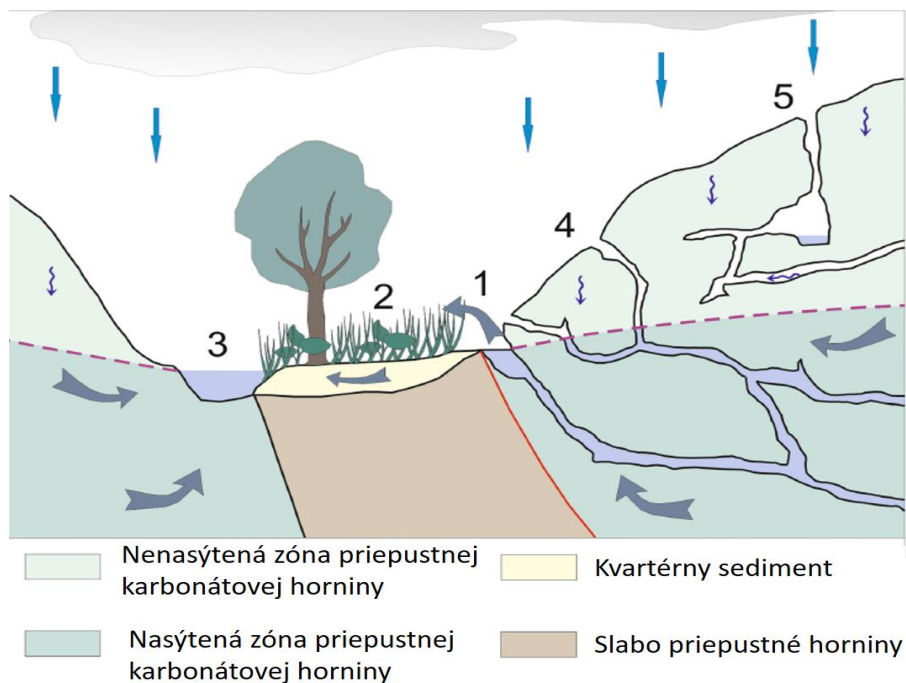
## 2.2. Ďalší popis

Po úvodnom popise členské štáty uskutočnia ďalší popis tých útvarov alebo skupín útvarov podzemnej vody, ktoré boli identifikované ako rizikové s cieľom realizovať presnejšie vyhodnotenie významu príslušného rizika a identifikovať všetky opatrenia potrebné podľa článku 11. Preto bude táto charakteristika zahŕňať príslušné informácie o vplyve ľudskej činnosti a podľa potreby príslušné informácie o:

- geologických charakteristikách útvaru podzemnej vody vrátane rozsahu a typu geologických jednotiek,
- hydrogeologických charakteristikách útvaru podzemnej vody, vrátane hydraulickej vodivosti, pórovitosti a napätosti,
- charakteristikách povrchových depozitov a pôd v povodí, z ktorého je útvary podzemnej vody dopĺňaný, vrátane hrúbky, pórovitosti, hydraulickej vodivosti a absorpčných vlastností depozitov a pôd,
- stratifikačných charakteristikách podzemnej vody v rámci daného útvaru podzemnej vody,
- **súpisu pridružených povrchových systémov, vrátane suchozemských ekosystémov a útvarov povrchovej vody, s ktorými je útvary podzemnej vody dynamicky spojený,**
- **odhadoch smerov a rýchlostí výmeny vody medzi útvary podzemnej vody a súvisiacimi povrchovými systémami,**
- dostatočných údajov na výpočet dlhodobej priemernej ročnej rýchlosti celkového dopĺňania,
- charakteristike chemického zloženia podzemnej vody, vrátane špecifikácie príspevkov antropogénnej činnosti. Členské štáty môžu použiť typológie pre charakterizovanie podzemnej vody, keď stanovujú úrovne prírodného pozadia pre tieto útvary podzemnej vody.

## 1.1 Interakcia podzemnej a povrchovej vody

Podzemná voda (PzV) a povrchová voda (PV) nie sú izolované súčasti hydrologického ekosystému, ale často veľmi úzko súvisia a vzájomne sa ovplyvňujú. Hoci sa tradične výskum zameriaval buď na PV alebo na PzV, keďže sú samostatnými ekosystémami (Obr. 1), je pre dosiahnutie dobrého chemického i kvantitatívneho stavu vôd nevyhnutné poznať vzájomné súvislosti medzi podzemnou a povrchovou vodou. Nakoľko zlý stav (či už kvalitatívny, alebo kvantitatívny) povrchových vôd môže spôsobiť zhoršenie stavu podzemných vôd a naopak zlý stav PzV môže zhoršiť stav PV<sup>2,3,4,5</sup>.



Obr. 1 Ekosystémy spojené s podzemnou vodou a ekosystémy závislé od podzemnej vody v krasovom systéme. 1) prameň; 2) suchozemské ekosystémy; 3) vodný tok; 4) speleologický objekt s hĺbkou, ktorá dosahuje nasýtenú časť zvodnenej vrstvy; 5) speleologický objekt v nenasýtenej zóne<sup>6</sup>.

Na identifikovanie a posúdenie vzájomnej súvislosti a ovplyvnenia medzi PzV a PV je vhodné okrem iného využiť aj poznanie režimu prúdenia podzemnej vody a jeho grafické znázornenie formou hydroizohýps (spojnica bodov s rovnakou úrovňou voľnej hladiny určitej zvodne meranej v rovnakom čase.) a prúdnic. Na ich základe je možné interpretovať rôzne parametre prúdenia podzemných vôd, filtračných vlastností a geometrie priebehu prostredia hydrogeologického prostredia, okrajových podmienok na hraniciach odoberania a infiltrácie vody. Práve sledovanie úrovne hladiny podzemnej vody nám umožňuje identifikovať, či podzemná a povrchová voda sú v hydraulickej súvislosti (Obr. 2) a o aký typ ovplyvnenia sa jedná: či podzemná voda je zdrojom dopĺňania povrchovej vody (Obr. 2 a, c) alebo naopak práve povrchová voda je zdrojom dopĺňania podzemnej vody (Obr. 2 b, c, d).

<sup>2</sup> Dahl, M., Nilsson, B., Langhoff, J. H., & Refsgaard, J. C., 2007. Review of classification systems and new multi-scale typology of groundwater–surface water interaction. *Journal of Hydrology*, 344(1-2), 1-16.

<sup>3</sup> Sophocleous, M., 2002. Interactions between groundwater and surface water: the state of the science. *Hydrogeology journal*, 10(1), 52-67.

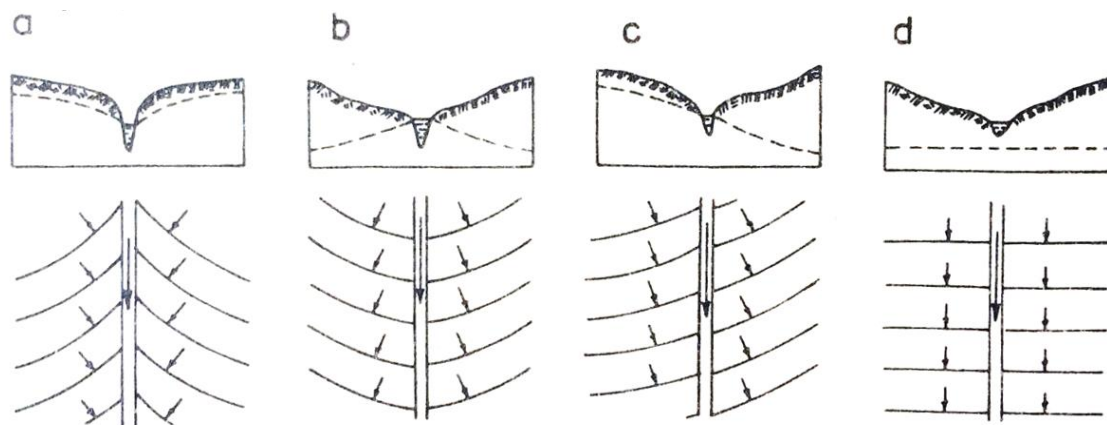
<sup>4</sup> Winter, T. C., Harvey, J. W., Franke, O. L., & Alley, W. M., 1998. Ground water and surface water: a single resource. DIANE Publishing Inc.

<sup>5</sup> Krčmář, D., 2012. Modelovanie interakcie povrchových a podzemných vôd. *Podzemná voda*, XVII, 1/2012, 1-13.

<sup>6</sup> Brkić, Ž., Kuhta, M., Larva, O., & Gottstein, S., 2019. Groundwater and connected ecosystems: An overview of groundwater body status assessment in Croatia. *Environmental Sciences Europe*, 31(1), 1-20.



Avšak na vytvorenie dostatočne podrobných a presných hydroizohýps je potrebné mať k dispozícii dostatočne hustú pozorovaciu sieť na sledovanie režimu podzemných vôd, čo pre celé územie Slovenska nie je reálne možné a ani potrebné.



Obr. 2 Charakteristické prípady hydroizohýps podzemných vôd v blízkosti recipientov povrchovej vody a – povrchový tok drénuje podzemnú vodu, b – infiltrácia povrchovej vody do horninového prostredia, c – na pravej strane povrchový tok drénuje podzemnú vodu, na ľavej strane povrchová voda infiltruje do horninového prostredia, d – medzi povrchovou a podzemnou vodou nie je súvislosť<sup>7</sup>.

Interakcia podzemnej a povrchovej vody je podmienená<sup>8</sup>:

1. Hydraulickou vodivosťou a jej distribúciou v toku a fluvialných sedimentoch.
2. Úrovnňou hladiny rieky vzhľadom na úroveň hladiny podzemnej vody.
3. Polohou a geometriou toku.

Toky interagujú s podzemnou vodou podľa vyššie uvedených faktorov, ktoré vytvárajú rôzne podmienky režimu<sup>9,4,10</sup> v rámci povodia, ako je znázornené na Obr. 3. Môžu nastať nasledujúce situácie:

1. Úplná alebo čiastočná dotácia povrchovej vody z podzemnej vody.
2. Úplná alebo čiastočná dotácia podzemnej vody do povrchového toku.
3. Povrchová voda infiltruje podzemnú vodu, ale nie je priamo spojená s hladinou podzemnej vody (priesak/prienik cez horninové prostredie).
4. Podzemná voda z časti dotuje a z časti drénuje povrchovú vodu (prechádza cez tok).
5. Súbežné prúdenie, hladiny povrchovej a podzemnej vody sú rovnaké.

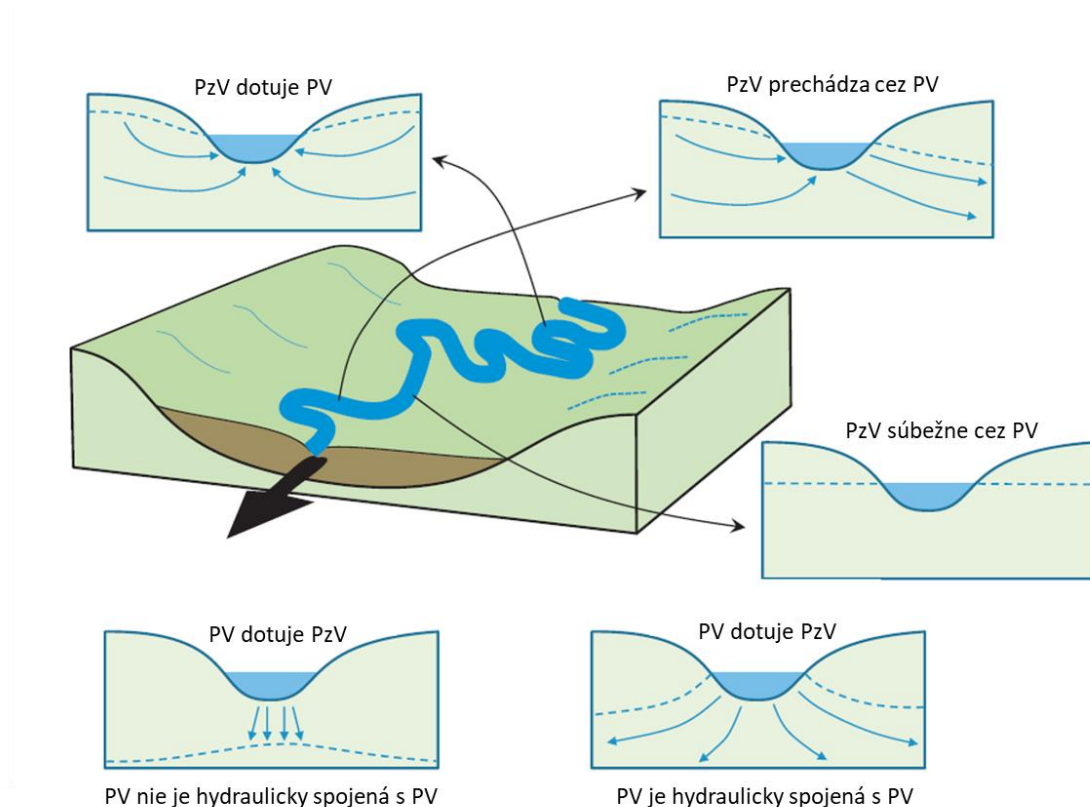
Je tiež potrebné spomenúť, že toky môžu vykazovať dočasné odchýlky v povahe ich interakcií s podzemnými vodami vzhľadom na obdobie. V jarnom v jesennom období môže mať tok rôzne režimy interakcie kvôli stavu hladiny vôd.

<sup>7</sup> Melioris, L., Mucha, I, Pospíšil, P., 1986. Podzemná voda-metódy výskumu a prieskumu. Alfa.

<sup>8</sup> Woessner, W. W., 2000. Stream and fluvial plain ground water interactions: rescaling hydrogeologic thought. *Groundwater*, 38(3), 423-429.

<sup>9</sup> Woessner, W. W., 1998. Changing views of stream-groundwater interaction. In: *Proceedings of American Institute of Hydrology/International Association of Hydrologists XXVIII Congress: Gambling with Groundwater, Physical, Chemical and Biological Aspects of Aquifer-Stream Relationships* St. Paul, MN, 1-6.

<sup>10</sup> Hoehn, E., 1998. Solute exchange between river water and groundwater in headwater environments. *International Association of Hydrological Sciences, Publication*, 248, 165-172.



Obr. 3 Znárodné rôzne typy interakcií podzemnej vody (PzV) a povrchovej vody (PV) v rámci jedného toku<sup>11</sup>.

Typickým miestom interakcie podzemnej a povrchovej vody sú najmä kvartérne útvary podzemných vôd.

V prípade predkvartérnych útvarov podzemných vôd je interakcia významne obmedzená a ovplyvnená polohou priepustných predkvartérnych hornín/kolektorov. Vzájomné ovplyvnenie podzemných a povrchových vôd je viazané len na miestach tektonického porušenia predkvartérnych hornín a prechádzanie toku priamo zvodneným priepustným predkvartérnym kolektorom. V prípade uzavretých kolektorov najmä neogénnych a flyšových horninách je hydraulická súvislosť podzemných vôd a povrchových vôd nulová a nedochádza k ich vzájomnému ovplyvneniu a znečisteniu.

Meraním prietokov vo viacerých profiloch na povrchovom toku je možné overiť miesto/úsek vodovýmeny (dotácie, drénovania) na toku. Presnosť takéhoto stanovenia závisí od hustoty meraní profilov ako aj intervalov meraní. Tieto sa však často robia len ojedinele v rámci hydrogeologického prieskumu na vybraných konkrétnych miestach a krátkodobo, preto ich využitie je obmedzené.

## 2. Metodika identifikovania útvarov podzemných vôd, od ktorých sú priamo závislé útvary povrchových vôd

Na základe existujúcich poznatkov sme vychádzajúc z dostupných vstupných údajov spracovali návrh metodického postupu hodnotenia interakcie medzi útvarmi povrchovej vody a útvarmi podzemnej vody pomocou skríningu. Návrh metodiky bol prerokovaný, pripomienkovaný ad hoc pracovnou skupinou pre interakciu podzemných a povrchových vôd, ktorá bola vytvorená v rámci národnej Pracovnej skupiny podzemná voda riešajúcej problematiku implementácie RSV<sup>1</sup> pro oblasť podzemných vôd,

<sup>11</sup> Khan, Haris Hasan, et al., 2019. Groundwater and surface water interaction. In: *GIS and Geostatistical Techniques for Groundwater Science*, Edited by Senapathi Venkatramanan. Prasanna Mohan Viswanathan Sang Yong Chung, Elsevier, 197-207.

a následne bol návrh metodiky odsúhlasený dňa 17.6.2021. Na základe schválenej metodiky bol vytvorený zoznam útvarov podzemnej vody, od ktorých sú priamo závislé útvary povrchovej vody.

Na splnenie požiadavky prílohy II bodu 2.1 RSV<sup>1</sup> je nutné:

- Zhodnotiť hydraulické vzťahy medzi podzemnou a povrchovou vodou. Pre tento účel sme zvolili metódu skríningu.
- Následne na základe výsledkov skríningu identifikovať útvary podzemných vôd, od ktorých sú priamo závislé útvary povrchových vôd, a vytvoriť ich zoznam.

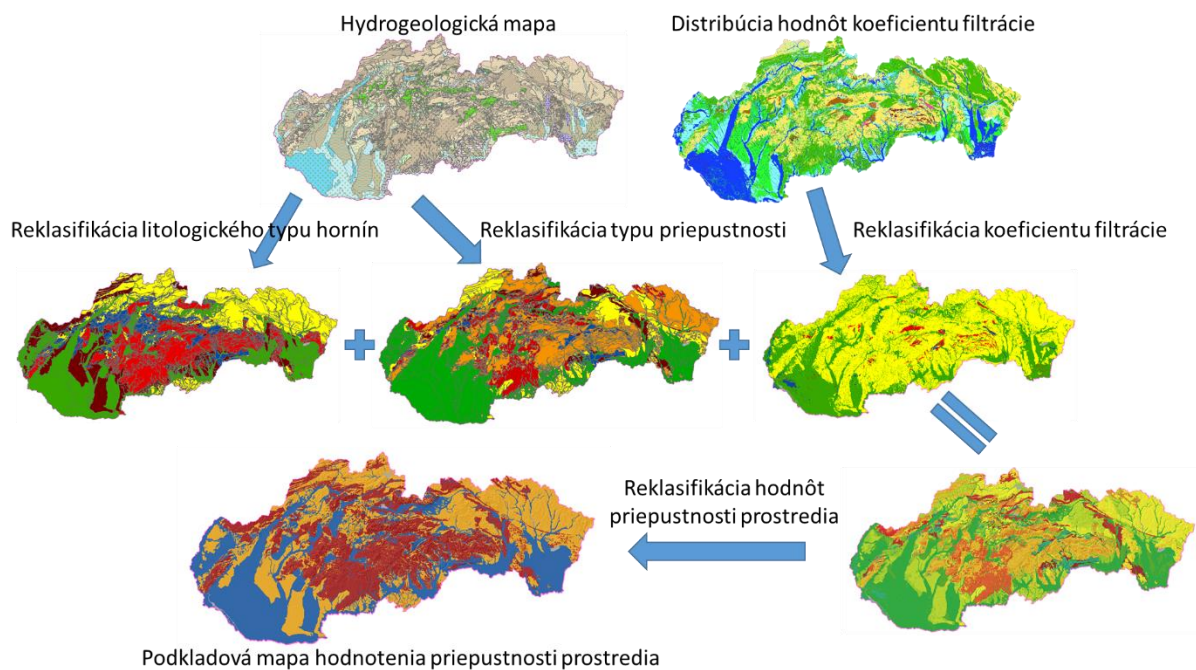
## 2.1 Metodika hodnotenia hydraulického vzťahu podzemnej a povrchovej vody

Na popis hodnotenia hydraulického vzťahu bola vybraná metóda skríningu podľa vybraného kritéria, keďže patrí medzi najrýchlejšie spôsoby možnosti priradenia hydraulického vzťahu. Dané hlavné kritérium – priepustnosť prostredia bolo definované tromi parametrami 1 až 3, ktoré vychádzali z hydrogeologickej mapy SR a mapy distribúcie koeficientu filtrácie. Hoci sú tieto parametre previazané, výsledok kombinácie parametrov bol rozdielny a považujeme ho za presnejší ako využitie len jedného z týchto parametrov.

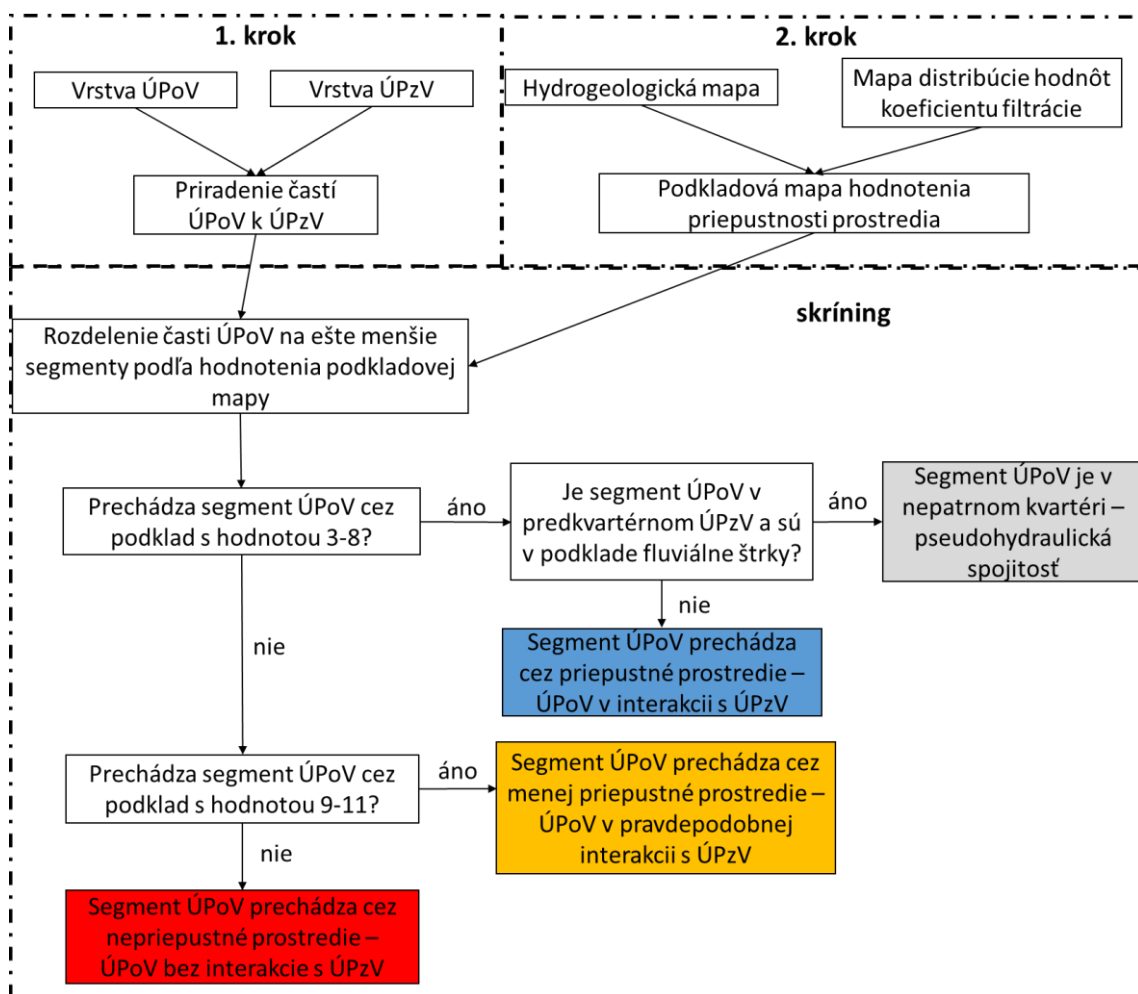
Aby bolo možné vykonať samotný skrínig, je nutné predtým vykonať:

- **1. krok:** Pomocou GIS analýzy a expertného posúdenia priradiť časti ÚPoV k jednotlivým prislúchajúcim ÚPzV – aby boli vytvorené objekty samotného skríningu (viac v kapitole 3.2).
- **2. krok:** Vytvoriť podkladovú mapu hodnotenia priepustnosti prostredia na priradenie vlastnosti objektom skríningu, ktorá pozostáva z nasledovných krokov:
  - Pomocou GIS analýzy bola vykonaná parametrizácia podkladových máp s následným obodovaním priepustnosti. Nasledovala reklasifikácia 3 parametrov: **litologický typ hornín, horninové zastúpenie a typ priepustnosti horninového prostredia a koeficient filtrácie.**
  - Pre jednotlivé parametre boli priradené body priepustnosti založené na expertnom posúdení, ktoré sa verifikovali a spätne upravovali v závislosti na reálnych poznatkoch tak, aby finálny výsledok kombinácie 3 parametrov bol čo najpresnejší a priniesol spoľahlivé výsledky (Obr. 4) (viac v kapitole 3.3).
- Po vytvorení objektov a vytvorení podkladovej mapy bolo možné vykonať **skrínig**, ktorý rozdelí časti ÚPoV na ešte menšie segmenty, ktorým boli priradené hodnotenia priepustnosti prostredia podľa toho, v akom prostredí sa tieto časti nachádzajú. Napríklad ak útvar povrchovej vody prechádza cez priepustné prostredie, jeho segment bol označený ako v interakcii s podzemnou vodou.

Schematický postup hodnotenia hydraulického vzťahu podzemnej a povrchovej vody je znázornený na Obr. 5.



Obr. 4 Schéma tvorby podkladovej mapy hodnotenia priepustnosti prostredia pre možnú interakciu povrchovej a podzemnej vody.



Obr. 5 Metodický postup pre prvotný skrining na identifikáciu predpokladanej interakcie medzi útvorom podzemnej vody (ÚPzV) a súvisiacim útvorom povrchovej vody (ÚPoV).

## 2.1 Metodika identifikácie útvarov podzemných vôd, od ktorých sú priamo závislé útvary povrchových vôd

Na základe skríningu je možné identifikovať konkrétne útvary, a vytvoriť tak zoznam útvarov podzemnej vody, od ktorých sú priamo závislé útvary povrchovej vody.

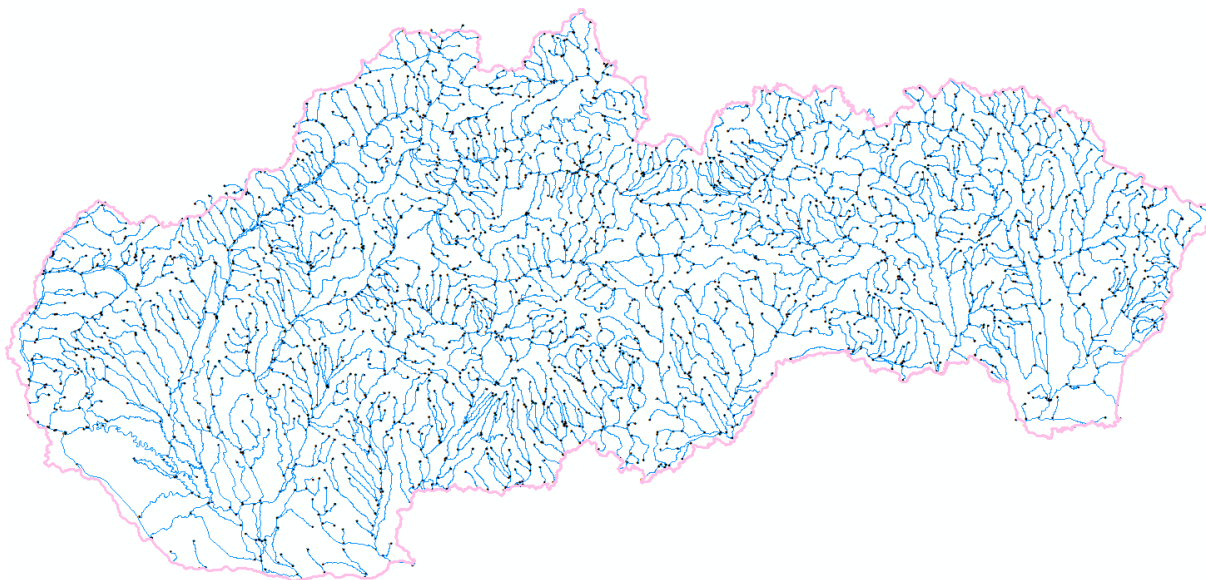
Vzhľadom na komplexnosť výsledkov sme sa rozhodli vyberať iba také ÚPoV, kde bude interakcia najpravdepodobnejšia, a preto sme výber zúžili len na prechod prirodzených ÚPoV priepustným prostredím. Identifikácia jednotlivých útvarov povrchových vôd, ktoré predpokladáme, že sú závislé na podzemnej vode, prebehla na základe jednoduchých kritérií, či je ÚPoV prirodzený a či prechádza cez priepustné prostredie, alebo boli do zoznamu zaradené na základe expertného posúdenia (viac v kapitole 4).

## 3. Hodnotenie hydraulického vzťahu podzemnej a povrchovej vody

### 3.1 Vstupné údaje

V rámci skríningu interakcie PzV a PV boli použité nasledovné informácie, údaje a mapové podklady geografického informačného systému (GIS):

- Aktualizovaný zoznam útvarov povrchových vôd k roku 2020, zdroj: VÚVH (Obr. 6)

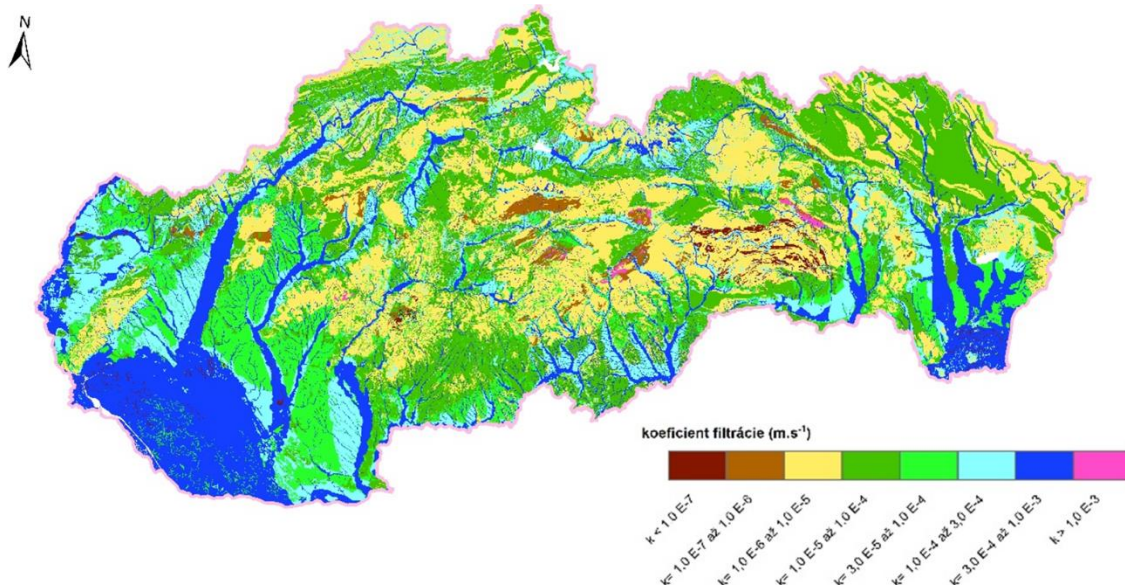


Obr. 6 Útvary povrchových vôd (zdroj: VÚVH, 2020).

- Aktualizovaný zoznam kvartérnych a predkvartérnych útvarov podzemných vôd k roku 2019, zdroj: SHMÚ (Obr. 7)







Obr. 9 Distribúcia hodnôt koeficientu filtrácie s rastrom 200 x 200 m (zdroj: ŠGÚDŠ, 2013) <sup>13</sup>.

### 3.2 1. krok – priradenie častí útvarov povrchovej vody k útvarom podzemnej vody

V SR bolo v rámci aktualizácie Vodného plánu Slovenska<sup>14</sup> vymedzených 106 útvarov podzemných vôd (ÚPzV) a 1 349 útvarov povrchových vôd (ÚPoV), ktorým bolo možné priradiť ÚPzV. Z celkového počtu ÚPzV 16 kvartérnych ÚPzV, 59 predkvartérnych a 31 geotermálnych ÚPzV bolo možné útvary priradiť len 16 kvartérnym ÚPzV a 58 predkvartérnym ÚPzV. Vzhľadom na charakter geotermálnych ÚPzV a ich prakticky žiadnu, resp. minimálnu súvislosť s povrchovými vodami neboli súčasťou metodického riešenia. Taktiež berúc do úvahy problematické hodnotenie vertikálnej interakcie medzi jednotlivými kvartérnymi a predkvartérnymi ÚPzV boli v metodike využité len vrchné zvodnenec, a teda ak sa nachádza prekryv predkvartérneho útvaru podzemnej vody s kvartérnym útvarom podzemnej vody, tak sa hodnotil len vrchný, teda kvartérny zvodnenec. Útvar SK2000500P – *Medzizrnové podzemné vody južnej časti Podunajskej panvy* nie je zahrnutý do tejto analýzy, pretože je celý prekrytý kvartérnym útvarom podzemnej vody. Útvary povrchových vôd sa členia na **prirodzené vodné útvary** (1 035, resp. 77 % ÚPoV), ktoré sú bez významného vplyvu ľudskej činnosti, **výrazne zmenené vodné útvary** (261, resp. 20 % ÚPoV), ktorých charakter sa v dôsledku fyzikálnych zmien spôsobených ľudskou činnosťou podstatne zmenil, ako to určí členský štát v súlade s ustanoveniami prílohy II RSV<sup>1</sup> a **umelé vodné útvary** (53, resp. 3 % ÚPoV), ktoré sú vytvorené ľudskou činnosťou.

Nakoľko ÚPoV predstavujú línie prechádzajúce mnohokrát aj viacerými ÚPzV, tak ich bolo potrebné rozdeliť. Útvary povrchových vôd boli rozdelené na menšie časti podľa príslušnej časti prislúchajúce k jednotlivým ÚPzV. Takýmto rozdelením a priradením vzniklo 1 760 častí prirodzených vodných útvarov, 486 častí výrazne zmenených vodných útvarov a 72 častí umelých vodných útvarov, ktorým bolo možné priradiť ÚPzV. Konkrétne vzniklo 2 318 priradených častí ÚPoV- unikátnych dvojíc ÚPoV s ÚPzV.

<sup>14</sup> Ministerstvo životného prostredia Slovenskej Republiky, 2022. Vodný Plán Slovenska, Plán manažmentu správneho územia povodia Dunaja, Plán manažmentu správneho územia povodia Visly, Aktualizácia. Ministerstvo životného prostredia Slovenskej Republiky. Dostupné z: <https://www.minzp.sk/voda/vodny-plan-slovenska/>

V prípade, ak časť ÚPoV, ktorá prislúchala k ÚPzV, bola menšia ako 10 % celkovej dĺžky ÚPoV, tak táto časť bola individuálne pričlenená/priradená na základe odborného posúdenia k ÚPzV, do ktorého bola priradená predchádzajúca alebo nasledujúca väčšia časť ÚPoV – išlo celkovo o 371 takýchto nevýznamných častí ÚPoV.

Celkovo bolo týmto priradením vytvorených 1 947 častí ÚPoV, ku ktorým bol priradený ÚPzV.

### 3.3 2. krok – vytvorenie podkladovej mapy hodnotenia priepustnosti prostredia

Základným kritériom pre hodnotenie interakcie útvarov podzemných vôd a útvarov povrchových vôd sú okrem situovaní samotných útvarov hlavne priepustnosť horninového prostredia. Tá môže byť charakterizovaná rôznymi parametrami, avšak vzhľadom na potrebu vykonania hodnotenia pre celé Slovensko boli zvolené nasledovné 3 parametre horninového prostredia – ide o **litologický typ horniny**, **horninové zastúpenie a typ priepustnosti horninového prostredia** a **koefficient priepustnosti  $k$**  ( $\text{m.s}^{-1}$ ). Teoreticky sa dá uvažovať aj o štvrtom parametre – koefficiente prietochnosti  $T$  ( $\text{m}^2\text{s}^{-1}$ ), ktorý však vzhľadom na aktuálny stav podkladových máp nebol využitý (viac v kapitole 5).

Takéto mapové (grafické) spracovanie parametrov vytvára najjednoduchší spôsob pre hodnotenie interakcie ÚPoV a ÚPzV.

Každému parametru bola pridelená číselná hodnota klasifikujúca „priepustnosť“. Vo všeobecnosti platí, čím menšia je číselná hodnota parametra, tým má horninové prostredie lepšiu/vyššiu priepustnosť. Výsledné hodnotenie priepustnosti prostredia je súčet parametrov a expertného posúdenia.

#### 3.3.1 Priepustnosť prostredia z hľadiska litologického typu hornín – 1. parameter

Prvý parameter pre posúdenie interakcie vôd v ÚPoV a ÚPzV vznikol reklasifikáciou informácie o skupine hornín z hľadiska litologického typu hornín (Obr. 10, v GIS vrstve atribút sk\_litogeo) z hydrogeologickej mapy<sup>12</sup>. Teda parameter bol vytvorený priradením číselnej hodnoty 1 až 5 bodov priepustnosti horninám prostredia (Tab. 1), pričom najnižšia hodnota 1 definuje najvyššiu priepustnosť a stúpajúce hodnoty stanovujú zostupnú mieru priepustnosti (5 určuje prakticky nepriepustné horninové prostredie).

Field	Value
FID	668
Shape	Polygon
aqtyp	IIIa
style	IIIaAcid VolcanicUndifferentiated
typ_zvodne	Menšie zvodnenie s medziznovým alebo puklinovým typom priepustnosti alebo oblasti s takmer žiadnymi množstvami podzemnej vody;Kyslé vulkanity;Nerozlišené
aquifer_ty	Aquifers in which flow is mainly intergranular (porous formations generally not consolidated)
typ_zvod_1	Menšie zvodnenie s obmedzenými množstvami podzemných vôd miestneho významu
aquifer_1	Minor aquifers with local and limited groundwater resources
sk_litogeo	Kyslé vulkanity
en_litogeo	Acid Volcanic
sed_prostr	Nerozlišené
dep_enviro	Undifferentiated
sk_popis	andezity; priepustnosť puklinová, intenzita zvodnenia značne menlivá v závislosti od rozpukania, zvýšené zvodnenie na tekt. zónach, častý výskyt podz. vôd s napätou hladinou
st_area_sh	35065606,2677
st_length	52857,262494

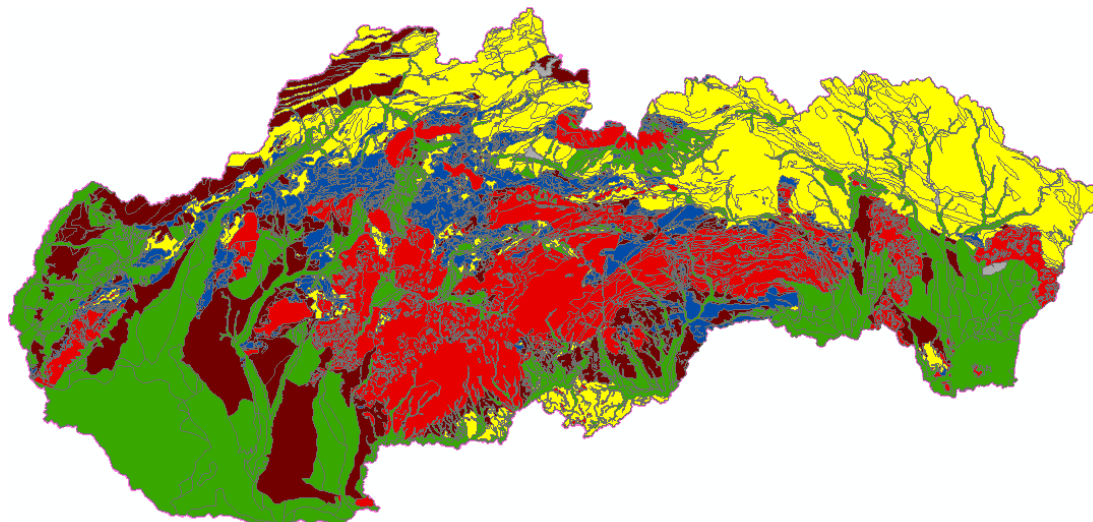
Obr. 10 Príklad atribútov GIS vrstvy hydrogeologickej mapy<sup>12</sup>. Atribút sk\_litogeo podklad pre 1. parameter.

Vzhľadom na podobné vlastnosti priepustnosti niektorých hornín boli vytvorené skupiny hornín. Celkovo 16 rôznych typov hornín uvádzaných v hydrogeologickej mape bolo rozdelených do 5 skupín, ktorým boli priradené body priepustnosti (Tab. 1). Toto priradenie vychádza zo všeobecných poznatkov o priepustnosti typu hornín. Platí, že najnižšia hodnota 1 definuje najvyššiu priepustnosť a stúpajúce hodnoty stanovujú zostupnú mieru priepustnosti. Výsledné mapové znázornenie 1. parametra v rámci Slovenska je spracované na Obr. 11.



Tab. 1 Prehľadná tabuľka vytvorenia 1. parametra

body priepustnosti	skupina hornín
1	dolomity vápence
2	piesky, štrky
3	pieskovce, zlepenice
4	bázické plutonity, bázické vulkanity, kyslé plutonity, kyslé vulkanity, metamorfity
5	íly, ílovce, silt, slítovece, slenie a slieňovce



Obr. 11 Distribúcia hodnôt 1. parametra podľa Tab. 1 na mape SR..

### 3.3.2 Horninové zastúpenie a typ priepustnosti horninového prostredia – 2. parameter

Druhý parameter pre posúdenie interakcie vôd ÚPoV a ÚPzV vznikol reklasifikáciou informácie z popisu o horninovom zastúpení a type priepustnosti horninového prostredia z hydrogeologickej mapy<sup>12</sup> (Obr. 12, v GIS vrstve atribút sk\_popis).

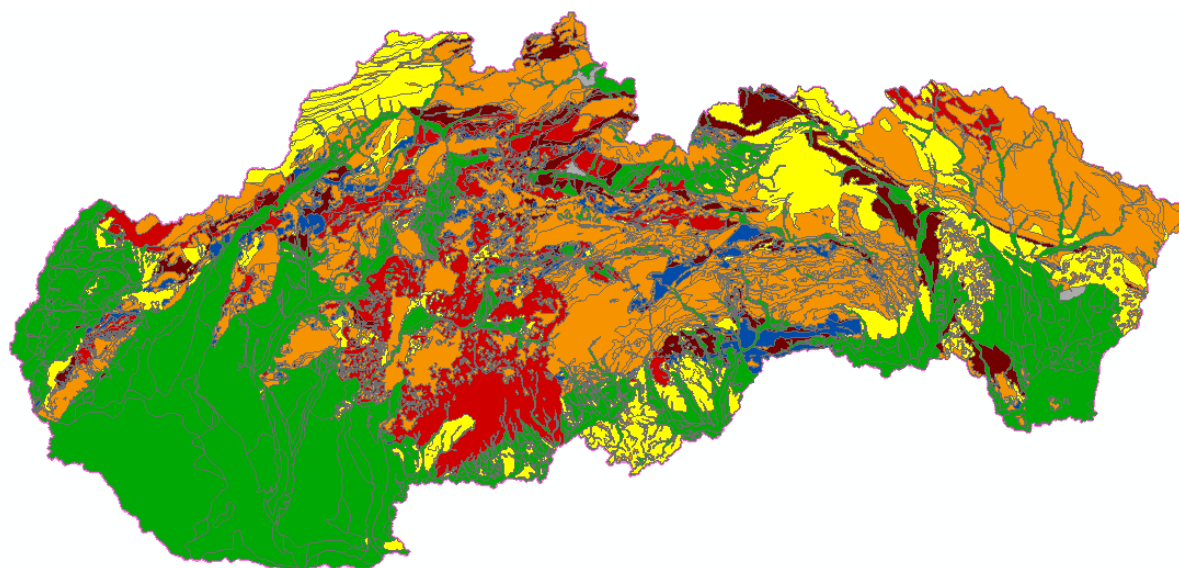
Field	Value
FID	668
Shape	Polygon
aqtyc	IIIa
style	IIIaAcid VolcanicUndifferentiated
typ_zvodne	Menšie zvodnenie s medzivrstevným alebo puklinovým typom priepustnosti alebo oblasti s takmer žiadnymi množstvami podzemnej vody;Kyslé vulkanity;Nerozlišené
aquifer_ty	Aquifers in which flow is mainly intergranular (porous formations generally not consolidated)
typ_zvod_1	Menšie zvodnenie s obmedzenými množstvami podzemných vôd miestneho významu
aquifer__1	Minor aquifers with local and limited groundwater resources
sk_litgeo	Kyslé vulkanity
en_litoge	Acid Volcanic
sed_prostr	Nerozlišené
dep_enviro	Undifferentiated
sk_popis	andezity; priepustnosť puklinová, intenzita zvodnenia značne menlivá v závislosti od rozpukania, zvýšené zvodnenie na tekt. zónach, častý výskyt podz. vôd s napätou hladinou
st_area_sh	35065806,2677
st_length_	52857,262494

Obr. 12 Príklad atribútov GIS vrstvy hydrogeologickej mapy<sup>12</sup>. Atribút sk\_popis podklad pre 2. parameter.

Z vyše 300 rôznych popisov hornín bolo vytvorených 6 skupín podľa popisu ich priepustnosti, ktorým boli priradené body priepustnosti (Tab. 2) podobne ako v prípade parametra 1, najnižšia hodnota 1 definuje najvyššiu priepustnosť a stúpajúce hodnoty stanovujú zostupnú mieru priepustnosti. Výsledné mapové znázornenie 2. parametra v rámci Slovenska je spracované na Obr. 13.

Tab. 2 Prehľadná tabuľka vytvorenia 2. parametra

body priepustnosti	priepustnosť
1	puklinovo-krasová
2	medzizrnová
4	medzizrnovo-puklinová a puklinovo-medzizrnová
5	puklinová
7	slabá puklinová a takmer nepriepustná
10	nepriepustná



Obr. 13 Distribúcia hodnôt 2. parametra podľa Tab. 2 na mape SR..

### 3.3.3 Koeficient filtrácie – 3. parameter

Tretí parameter bol vytvorený priradením bodov priepustnosti podľa hodnôt koeficientu filtrácie  $k$  z práce Malíka et al<sup>15</sup>. Koeficient filtrácie  $k$  má rozmer rýchlosti a je vyjadrený vzťahom:

$$k = \frac{\gamma k_0}{\mu}$$

Kde  $\gamma$  je špecifická tiaž definovaná ako sila pôsobiaca na jednotku objemu kvapaliny v gravitačnom poli,  $\mu$  je dynamická viskozita kvapaliny a  $k_0$  je koeficient prípuštnosti, ktorý vyjadruje vlastnosti pórovitého prostredia prepúšťať vodu<sup>15</sup>. Pri zjednodušení ak budeme koeficienty  $\gamma$  a  $\mu$  považovať za konštanty, môžeme používať koeficient filtrácie ako jeden z parametrov hodnotenia priepustnosti prostredia. Hodnoty koeficientov filtrácie boli zatriedené do 5 skupín podľa rozsahu hodnôt v zmysle Fendekovej et al.<sup>16</sup> (Tab. 3). Pri reklasifikácii sme pre slovné vyjadrenie priepustnosti využili zjednodušenú klasifikáciu triedy priepustnosti podľa Jetela<sup>17</sup> (Tab. 4), a jednotlivým skupinám boli priradené body priepustnosti (Tab. 5). Pričom sme prvé 4 triedy a posledné 2 triedy priepustnosti zlúčili /zoskupili. Pri porovnaní údajov Tab. 3 a Tab. 4, môžeme konštatovať dobrú zhodu medzi parametrami podľa Fendekovej<sup>16</sup> a rozdelením podľa Jetela<sup>17</sup>, ktoré tvoria východisko pre stanovenie 3. parametra (Tab. 5). Výsledné mapové znázornenie 3. parametra v rámci Slovenska je spracované na Obr. 14.

<sup>15</sup> Mucha, I. Šestakov, V.M. 1987. Hydraulika podzemných vôd. Vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry Bratislava str. 13.

<sup>16</sup> Fendeková, M. et al. 1997. Základy hydrogeológie. Vysokoškolské skriptá, Bratislava, Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského v Bratislave.

Tab. 3 Rozsah koeficientov filtrácie jednotlivého prostredia podľa Fendekove et al.<sup>16</sup>.

rozsah koeficientov filtrácie $k$ [ $\text{m.s}^{-1}$ ]	
čistý hrubozrný štrk	$> 1.10^{-2}$
piesčitý hrubozrný štrk	$1.10^{-3} - 4.10^{-3}$
štrkovitý piesok (alúvia riek)	$8.10^{-4} - 2.10^{-3}$
stredozrný piesok	$8.10^{-5} - 5.10^{-4}$
hlinitý jemnozrný piesok	$8.10^{-6} - 2.10^{-5}$
silt	$1.10^{-7} - 1.10^{-6}$
íl	$< 1.10^{-7}$

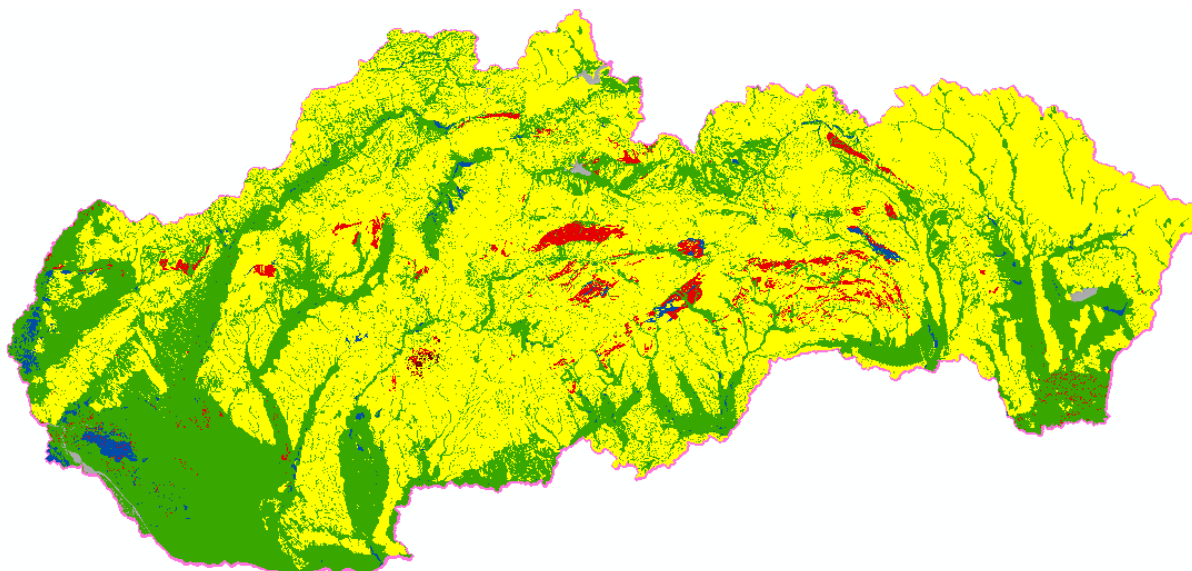
Tab. 4 Triedy priepustnosti vzhľadom na koeficient filtrácie podľa Jetela<sup>17</sup>.

koeficient filtrácie $k$ [ $\text{m.s}^{-1}$ ]	trieda priepustnosti	označenie hornín podľa stupňa priepustnosti
$> 1.10^{-2}$	I	veľmi silno priepustné
$1.10^{-3} - 1.10^{-2}$	II	silno priepustné
$1.10^{-4} - 1.10^{-3}$	III	dost' silno priepustné
$1.10^{-5} - 1.10^{-4}$	IV	mierne priepustné
$1.10^{-6} - 1.10^{-5}$	V	dost' slabo priepustné
$1.10^{-7} - 1.10^{-6}$	VI	slabo priepustné
$1.10^{-8} - 1.10^{-7}$	VII	veľmi slabo priepustné
$< 1.10^{-8}$	VIII	nepatrne priepustné

Tab. 5 Prehľadná tabuľka vytvorenia 3. parametra.

body priepustnosti	priepustnosť	$k$ [ $\text{m.s}^{-1}$ ]
1	dobré priepustné	$> 8.10^{-4}$
2	stredne priepustné	$8.10^{-4} - 8.10^{-5}$
3	slabo priepustné	$8.10^{-5} - 1.10^{-6}$
4	veľmi slabo priepustné	$1.10^{-6} - 1.10^{-7}$
5	nepriepustné	$< 1.10^{-7}$

<sup>17</sup> Jetel, J. 1973. Logický systém pojmov – základní podmínka formalizace a matematizace v hydrogeologii. Geologický průzkum, vol. 15 (1): 13-17.



Obr. 14 Distribúcia hodnôt 3. parametra podľa Tab. 5 na mape SR.

### 3.3.4 Hodnotenie priepustnosti prostredia a potenciálnej interakcie podzemnej a povrchovej vody

V ďalšom kroku sme na základe takto stanovených parametrov 1 až 3 ich kombináciou identifikovali miesta s najvýznamnejšou priepustnosťou v ÚPzV, tzn. s najväčším potenciálom interakcie podzemnej a povrchovej vody.

Najskôr boli formou kombinovanej matice spracované výsledné parametre 1 a 2 (Tab. 6). V niektorých prípadoch bolo nutné aj individuálne odborné posúdenie a úprava hodnôt vo vzťahu k hydrogeologickým rozdielom, resp. podobnosti (v tabuľke sú zmeny zvýraznené červeným písmom):

1. Pre kombináciu piesky, štrky + medzizrnovo-puklinová, puklinovo-medzizrnová priepustnosť bola hodnota zvýšená o 1,
2. Pre kombináciu piesky, štrky + puklinová priepustnosť bola hodnota zvýšená o 1.

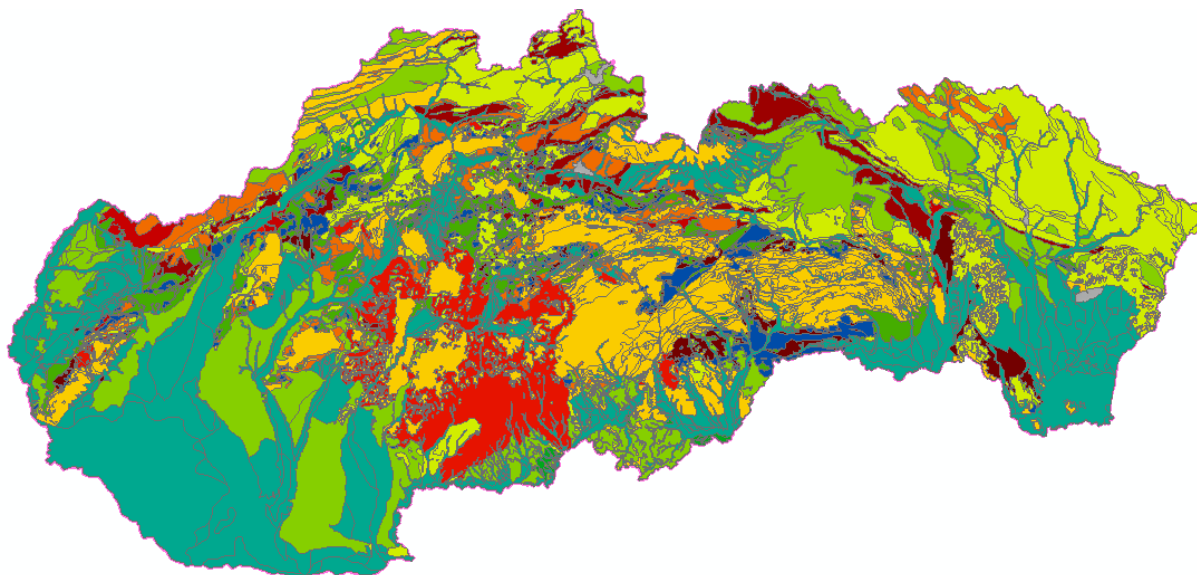
Na Obr. 15 je graficky znázornený výstup kombinácie 1. a 2. parametra, ktorý vstupuje následne do ďalšieho kroku hodnotenia v kombinácii s 3. parametrom.

Tab. 6 Hodnotenie priepustnosti horninového prostredia útvarov podzemných vôd kombináciou 1. a 2. parametra.

2. parameter 1. parameter	puklinovo- krasová	medzizrnová	medzizrnovo- puklinová, puklinovo- medzizrnová	puklinová	slabá puklinová, takmer nepriepustná	nepriepustná
dolomity, vápence	2	3	5	6	8	11
piesky, štrky	3	4	7	8	9	12
pieskovce, zlepenec	4	5	7	8	10	13
bázické plutonity, bázické vulkanity, kyslé plutonity, kyslé vulkanity, metamorfity	5	6	8	9	11	14

2. parameter 1. parameter	puklinovo- krasová	medzizrnová	medzizrnovo- puklinová, puklinovo- medzizrnová	puklinová	slabá puklinová, takmer nepriepustná	nepriepustná
íly, ílovce, silt, slitovce, slenie a slieňovce	6	7	9	10	12	15

Poznámka: Hodnoty 7 a 8 sú červenou, keďže boli posúdené expertne. Hodnoty 3 a 14 sú bez farby, pretože takáto kombinácia sa nevyskytla.



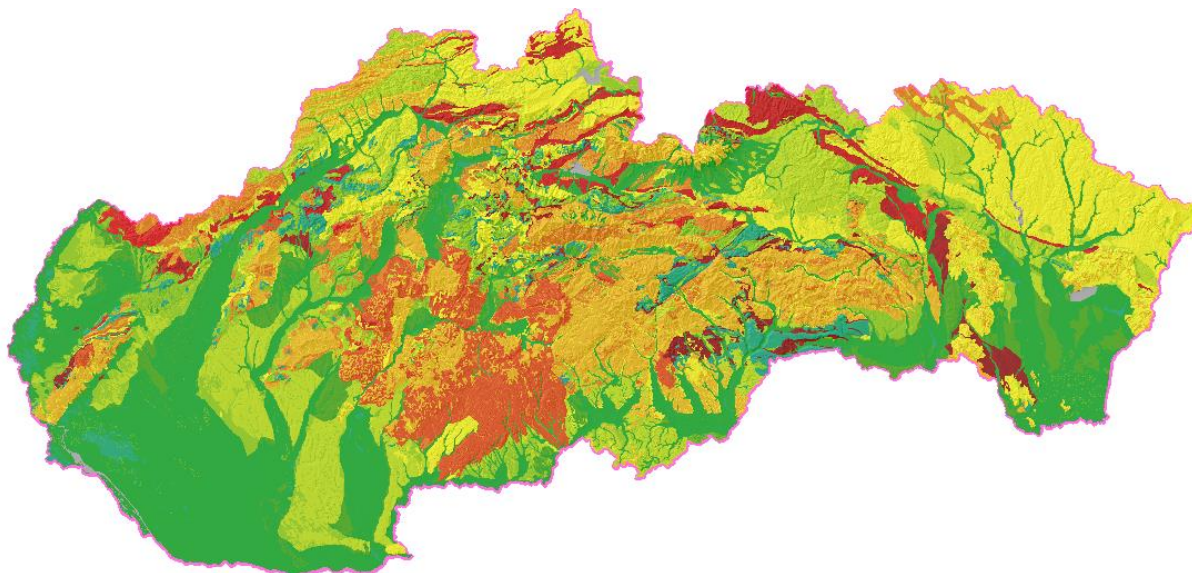
Obr. 15 Distribúcia kombinácie hodnôt 1. a 2. parametra podľa Tab. 6 na mape SR.

Finálne hodnotenie priepustnosti prostredia je spracované ako kombinácia sumy číselných hodnôt všetkých troch parametrov na základe matice (Tab. 7) a expertného posúdenia. Výsledné mapové znázornenie hodnotenia všetkých 3 parametrov v rámci SR dokumentuje Obr. 16.

Tab. 7 Prehľadná tabuľka vytvorenia kombináciou 1., 2. a 3. parametra.

1 a 2. parameter 3. parameter	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	15
dobré priepustné	3	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	16
stredne priepustné	4	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	17
slabo priepustné	5	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	18
veľmi slabo priepustné	6	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	19





Obr. 16 Hodnotenie priepustnosti prostredia – kombinácia hodnôt 1. 2. a 3. parametra podľa Tab. 7 na mape SR..

### 3.3.5 Vytvorenie finálnej podkladovej mapy hodnotenia priepustnosti prostredia

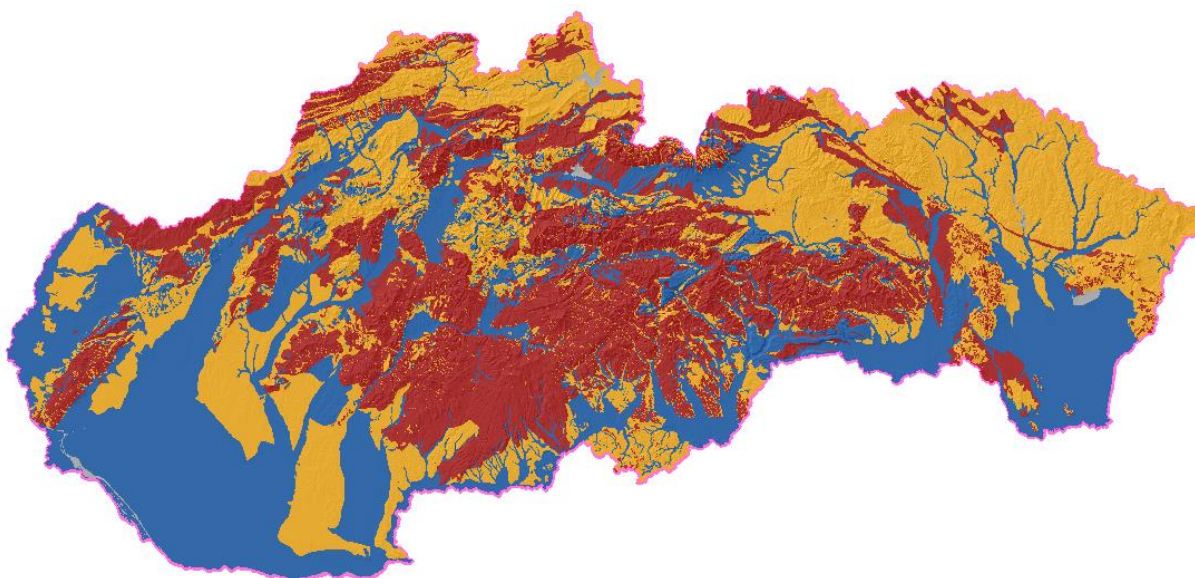
Opierajúc sa o skutočnosť, že interakcia veľmi úzko závisí od priepustnosti horninového prostredia, sme pre účel stanovenia možnej interakcie a hydraulického vzťahu ÚPoV s ÚPzV výsledky hodnotenia priepustnosti horninového prostredia spracované na základe parametrov 1, 2 a 3 (Tab. 7) vyhodnotili tak, že hodnoty v rozsahu 3 - 19 boli reklasifikované (Tab. 8) a rozdelené do 3 hlavných kategórií – s interakciou, s možnou/potenciálnou interakciou a bez interakcie (Tab. 9). Finálne hodnotenie priepustnosti prostredia v rámci SR dokumentuje Obr. 17.

Tab. 8 Reklasifikácia Tab. 7 do 3 skupín podľa bodov priepustnosti. Priepustné prostredie (3 - 8 bodov) – modrá farba, menej priepustné prostredie (9 - 11 bodov) – oranžová farba, nepriepustné prostredie (12 - 19 bodov) – červená farba.

1 a 2. parameter 3. parameter	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	15
dobré priepustné	3	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	16
stredne priepustné	4	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	17
slabo priepustné	5	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	18
veľmi slabo priepustné	6	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	19

Tab. 9 Predpoklad hydraulického vzťahu medzi povrchovou vodou PV a podzemnou vodou PzV vzhľadom na hodnotenie priepustnosti prostredia.

bod priepustnosti	hodnotenie prostredia	hydraulický vzťah PV a PzV
3-8	priepustné	interakcia
9-11	menej priepustné	možná interakcia
12-19	nepriepustné	bez interakcie

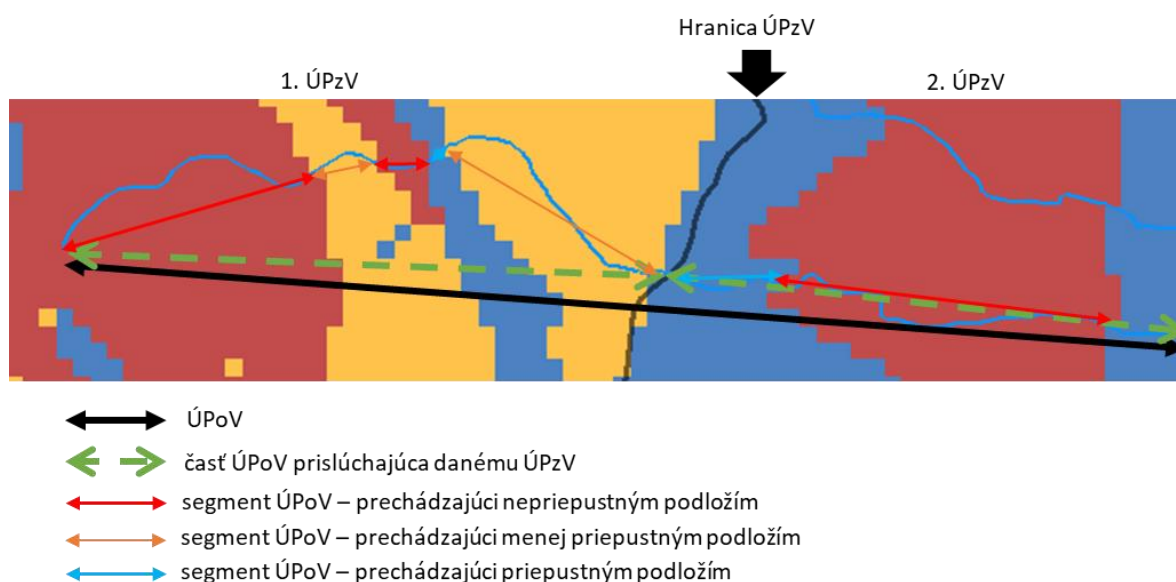


Obr. 17 Podkladová mapa hodnotenia priepustnosti prostredia podľa Tab. 9.

### 3.4 Skríning – stanovenie možnej interakcie a hydraulického vzťahu útvarov povrchových vôd s útvarmi podzemných vôd

Po vykonaní 1. a 2. kroku bolo možné vykonať skríning, t. j. preveriť požadované vlastnosti (spravidla na veľkom počte preverovaných objektov stále rovnakým spôsobom). Nami preverovaná vlastnosť je hydraulická spojitosť medzi povrchovou a podzemnou vodou, ktorá je charakterizovaná priepustnosťou prostredia.

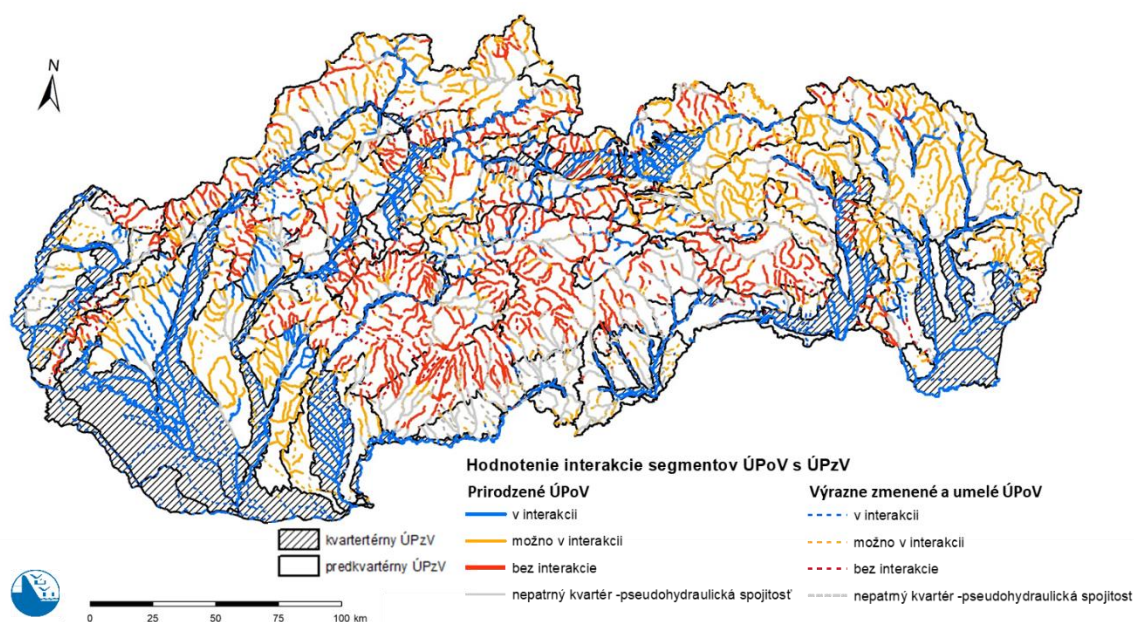
Jednotlivé časti ÚPoV identifikované v 1. kroku (1 947) boli pomocou skríningu rozdelené na ešte menšie úseky, tzv. segmenty podľa toho ako prechádzali cez rôzne kategórie priepustnosti prostredia. Jedna časť ÚPoV mohla prechádzať viacerými typmi prostredia ako je znázornené na Obr. 18. a teda sa skladal z viacerých segmentov rôznych priepustnosti.



Obr. 18 Příklad rozdelenia útvaru povrchovej vody (ÚPoV) na časti ÚPoV podľa útvaru podzemnej vody (ÚPzV) a následne na segmenty podľa priepustnosti prostredia.

Takýmto spôsobom sme dostali 5 568 segmentov prirodzených ÚPoV, 1 266 segmentov výrazne zmenených ÚPoV a 150 segmentov umelých ÚPoV. Jednotlivé segmenty boli rozdelené

do nasledovných štyroch skupín: v interakcii, možno v interakcii, bez interakcie a nepatrný kvartér – pseudohydraulická spojitosť (Obr. 19).



Obr. 19 Mapové zobrazenie interakcie podzemnej a povrchovej vody. Priradenia útvaru povrchových vôd (ÚPoV) podľa priepustnosti prostredia s vyobrazením útvarov podzemných vôd (ÚPzV).

### 3.4.1 Priepustné prostredie

Pri prechode segmentu ÚPoV cez horninové prostredie charakterizované ako priepustné s bodmi priepustnosti 3 - 8 je vysoká pravdepodobnosť hydraulickej spojitosti podzemnej a povrchovej vody, teda ÚPoV prechádza cez priepustné prostredie s predpokladom, že povrchová voda je v interakcii s podzemnou vodou – segment útvaru je klasifikovaný ako v interakcii a na základe ďalšej analýzy je potrebné stanoviť typ interakcie a množstvo vodovýmeny.

Vieme, že takýto predpoklad nemusí byť vždy správny, pretože interakcia nezávisí len od priepustnosti horninového prostredia, ale môže byť významne ovplyvnená aj:

- Stavom dna koryta povrchového toku – najmä stupňom kolmatácie jeho dna. Kolmatácia dna sa v skríningu nedá odhaliť, a preto je potrebné vytvoriť dodatočnú analýzu (viac v kapitole Zistené nedostatky).
- Stavom a výškou hladiny podzemnej vody.
- Stupňom úpravy koryta povrchového toku.

Takéto hodnotenie si však vyžaduje ďalšie podrobnejšie analýzy.

### 3.4.2 Menej priepustné prostredie

Pri prechode segmentu ÚPoV cez horninové prostredie charakterizované ako menej priepustné s bodmi priepustnosti 9 - 11 je hydraulická spojitosť podzemnej a povrchovej vody potenciálne možná, teda segment ÚPoV prechádzajúci cez menej priepustné prostredie je klasifikovaný ako s možnou interakciou, ale menej významnou z hľadiska ovplyvnenia stavu podzemnej vody. V týchto prípadoch nie je možné jednoznačne určiť, ale ani vylúčiť interakciu a je nutné tieto segmenty podrobiť detailnejšej analýze.

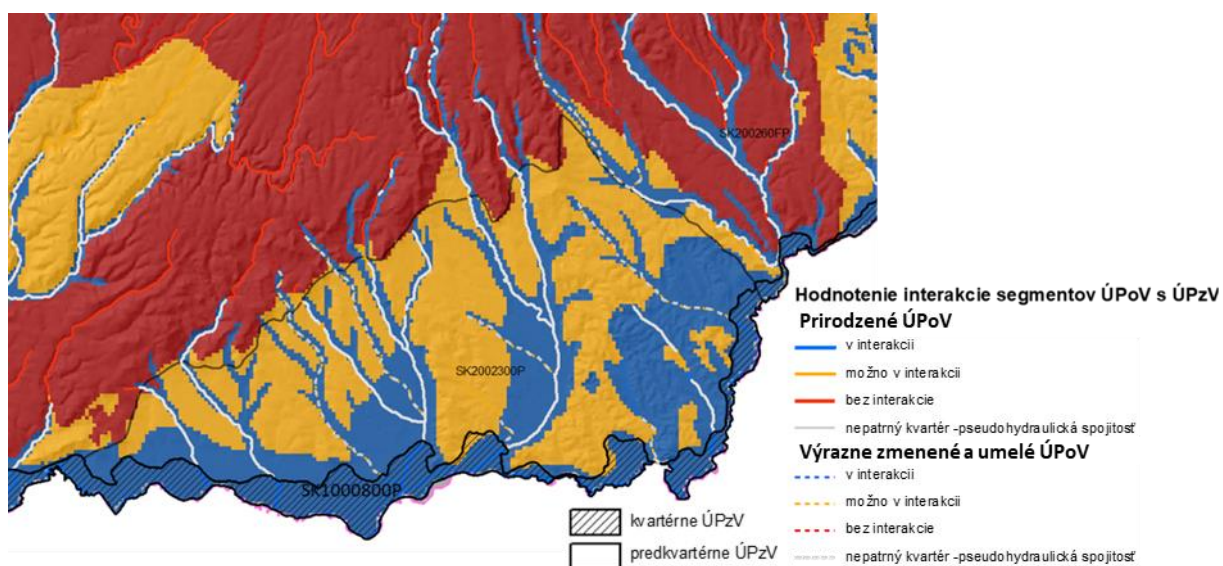


### 3.4.3 Nepriepustné prostredie

Pri prechode segmentu ÚPoV cez horninové prostredie charakterizované ako nepriepustné s bodmi priepustnosti 12 - 19 je ÚPoV klasifikovaný ako bez interakcie, vzájomná hydraulická súvislosť ÚPoV a ÚPzV nie je pravdepodobná, resp. je zanedbateľná vzhľadom na vlastnosti horninového prostredia, ktorým segment ÚPoV prechádza.

### 3.4.4 Priepustné prostredie – nepatrný kvartér

V prípade ak segment ÚPoV prechádza cez horninové prostredie charakterizované ako priepustné s bodmi priepustnosti 3 - 8, ale sa zároveň nachádza v predkvartérnom ÚPzV, prechádza priepustným prostredím (podľa predloženej metódy) tvoreným fluvialnymi štrkmi malej mocnosti, ide o špeciálny prípad nepatrného kvartéru, nakoľko ide o nevymedzený kvartérny sediment, ktorý z hľadiska zvodnenia ÚPzV nie je významný, keďže podzemná voda v útvare je viazaná prioritne na predkvartérne horniny. Ako príklad je uvedená Ipeľská kotlina (Obr. 20), kde sú znázornené segmenty ÚPoV šedou farbou, ktoré prechádzajú cez takýto nepatrný kvartér. Ak segment ÚPoV je v takejto oblasti nepatrného kvartéru, tak hydraulická súvislosť tam je, avšak je náročné určiť, či dochádza len k interakcii s podzemnou vodou v nepatrnom kvartéri alebo aj s podzemnou vodou vymedzenou predkvartérnym útvarom podzemnej vody. Preto bol tento prípad dodatočne vyčlenený ako 4. skupina. Pre tieto prípady, je nutné vykonať ďalšie podrobnejšie analýzy, aby sa zhodnotila interakcia.



Obr. 20 Ipeľská kotlina – interakcia útvarov povrchových vôd (ÚPoV) v rámci nevyčleneného kvartéru v predkvartérnom útvare podzemnej vody (ÚPzV) SK2002300P – Medzizrnové podzemné vody východnej časti Podunajskej panvy a Ipeľskej kotliny.

## 3.5 Výsledky skríningu a diskusia

Vzhľadom na potreby požiadaviek RSV bolo potrebné identifikovať tie útvary podzemnej vody, od ktorých sú priamo závislé ekosystémy povrchovej vody. Tejto identifikácii predchádzalo hodnotenie hydraulického vzťahu medzi ÚPoV a ÚPzV pomocou skríningu podľa vybraného kritéria, ktorý patrí medzi najrýchlejšie spôsoby priradenie hydraulického vzťahu.

Zo vstupných vrstiev bola vytvorená podkladová mapa priepustnosti prostredia (Obr. 17). Následne podľa metodického postupu zobrazeného na Obr. 5 bola priradená hydraulická spojitosť jednotlivým ÚPzV k súvisiacim ÚPoV (Obr. 19).

Je samozrejmé, že takýmto skríningovým procesom nebolo možné podchytiť všetky skutočnosti, ale zvolený prístup odpovedá dostupným údajom a poznatkom a kompromisu medzi zložitou a presnosťou analýzy.

Výsledkom skríningu je komplexný pohľad na jednotlivé útvary podzemných aj povrchových vôd a prostredie, ktorým prechádzajú ÚPoV. Každá časť ÚPoV priradená k ÚPzV má určenú dĺžku, ktorá je v interakcii, v pravdepodobnej interakcii, bez interakcie alebo je tam pseudohydraulická spojitosť, danou sumou jednotlivých segmentov. Výsledky analýzy rozdelenia prirodzených, výrazne zmenených a umelých ÚPoV podľa ÚPzV a priepustnosti prostredia je zdokumentované v Tab. 10 - Tab. 14.

### 3.5.1 Prirodzené útvary povrchových vôd

Výsledky analýzy dokumentujú, že v kvartérnych útvaroch podzemných vôd prechádza približne 3 136 km (93,2 %) prirodzených ÚPoV cez priepustné prostredie, 112 km (3,3 %) prirodzených ÚPoV cez menej priepustné prostredie a 116 km (3,4 %) prirodzených ÚPoV cez nepriepustné prostredie.

Cez predkvartérne útvary podzemných vôd prechádza približne 937 km (9,4 %) prirodzených ÚPoV cez priepustné prostredie, 3 347 km (33,5 %) prirodzených ÚPoV cez menej priepustné prostredie, 3 438 km (34,4 %) prirodzených ÚPoV cez nepriepustné prostredie a 2 276 km (22,8 %) prirodzených ÚPoV sa nachádza v nevymedzenom kvartéri, kde je potrebný pre hodnotenie hydraulickej spojitosti s predkvartérnym ÚPzV individuálny prístup a detailnejšia analýza.

Tab. 10 Rozdelenie prirodzených útvarov povrchových vôd (ÚPoV) podľa útvaru podzemných vôd (ÚPzV) a priepustnosti prostredia.

	dĺžka ÚPoV, ktoré sa nachádzajú v uvedenom type ÚPzV pričom prechádzajú / pretekajú cez				
typ ÚPzV	priepustné prostredie [km (%)]	menej priepustné prostredie [km (%)]	nepriepustné prostredie [km (%)]	nepatrný kvartér – pseudohydraulická spojitosť [km (%)]	celková dĺžka ÚPoV [km]
kvartérne	3 136 (93,2)	112 (3,3)	116 (3,4)		3 364
predkvartérne	937 (9,4)	3 347 (33,5)	3 438 (34,4)	2 276 (22,8)	9 998

### 3.5.2 Výrazne zmenené útvary povrchových vôd

Na základe výsledkov analýzy je dokumentované, že v kvartérnych útvaroch podzemných vôd prechádza približne 939 km (88,2 %) výrazne zmenených ÚPoV cez priepustné prostredie, 99 km (9,3 %) výrazne zmenených ÚPoV cez menej priepustné prostredie a 27 km (2,5 %) výrazne zmenených ÚPoV cez nepriepustné prostredie.

V predkvartérnych útvaroch podzemných vôd prechádza približne 174 km (9,5 %) výrazne zmenených ÚPoV cez priepustné prostredie, 714 km (38,9 %) výrazne zmenených ÚPoV cez menej priepustné prostredie a 528 km (22,9 %) výrazne zmenených ÚPoV cez nepriepustné prostredie a 420 km (22,9 %) výrazne zmenených ÚPoV sa nachádza v nevymedzenom kvartéri, kde sa musí individuálne pristúpiť k hodnoteniu hydraulickej spojitosti s predkvartérnym ÚPzV.

Tab. 11 Rozdelenie výrazne zmenených útvarov povrchových vôd (ÚPoV) podľa útvaru podzemných vôd (ÚPzV) a priepustnosti prostredia.

	dĺžka ÚPoV, ktoré sa nachádzajú v uvedenom type ÚPzV pričom prechádzajú / pretekajú cez				
typ ÚPzV	priepustné prostredie [km (%)]	menej priepustné prostredie [km (%)]	nepriepustné prostredie [km (%)]	nepatrný kvartér – pseudohydraulická spojitosť [km (%)]	celková dĺžka ÚPoV [km]
kvartérne	939 (88,2)	99 (9,3)	27 (2,5)		1 065

	dĺžka ÚPoV, ktoré sa nachádzajú v uvedenom type ÚPzV pričom prechádzajú / pretekajú cez				
typ ÚPzV	priepustné prostredie [km (%)]	menej priepustné prostredie [km (%)]	nepriepustné prostredie [km (%)]	nepatrný kvartér – pseudohydraulická spojitosť [km (%)]	celková dĺžka ÚPoV [km]
predkvartérne	174 (9,5)	714 (38,9)	528 (22,9)	420 (22,9)	1 836

### 3.5.3 Umelé útvary povrchových vôd

Na základe výsledkov analýzy je zdokumentované, že v kvartérnych útvaroch podzemných vôd prechádza približne 808 km (97,7 %) umelých ÚPoV cez priepustné prostredie, 17 km (2,1 %) umelých ÚPoV cez menej priepustné prostredie a 2 km (0,2 %) umelých ÚPoV cez nepriepustné prostredie.

V prípade predkvartérnych útvarov podzemných vôd prechádza približne 12 km (25,5 %) umelých ÚPoV cez priepustné prostredie, 13 km (27,7 %) umelých ÚPoV cez menej priepustné prostredie a 3 km (6,4 %) umelých ÚPoV cez nepriepustné prostredie a 19 km (40,4 %) umelých ÚPoV sa nachádza v nevymedzenom kvartéri, kde sa musí individuálne pristúpiť k hodnoteniu hydraulickej spojitosti s predkvartérnym ÚPzV.

Tab. 12 Rozdelenie umelých útvarov povrchových vôd (ÚPoV) podľa útvaru podzemných vôd (ÚPzV) a priepustnosti prostredia.

	dĺžka ÚPoV, ktoré sa nachádzajú v uvedenom type ÚPzV pričom prechádzajú / pretekajú cez				
typ ÚPzV	priepustné prostredie [km (%)]	menej priepustné prostredie [km (%)]	nepriepustné prostredie [km (%)]	nepatrný kvartér – pseudohydraulická spojitosť [km (%)]	celková dĺžka ÚPoV [km]
kvartérne	808 (97,7)	17 (2,1)	2 (0,2)		827
predkvartérne	12 (25,5)	13 (27,7)	3 (6,4)	19 (40,4)	47

Súhrnný popis podielu typu ÚPoV, súčet dĺžok jednotlivých segmentov ÚPoV a podiel rôznych priepustností v kvartérnych ÚPzV sa nachádza v Tab. 13 a v predkvartérnych ÚPzV v Tab. 14.

Tab. 13 Rozdelenie a pomer zastúpenia rôznych typov útvarov povrchových vôd (ÚPoV) v jednotlivých kvartérnych útvaroch podzemných vôd (ÚPzV) a priepustnosti prostredia.

kód ÚPzV	podiel prirodzených ÚPoV [%]	podiel výrazne zmenených ÚPoV [%]	podiel umelých ÚPoV [%]	dĺžka ÚPoV, ktorá je priradená k danému ÚPzV a pričom prechádza/preteká cez			pomer dĺžok ÚPoV, ktoré sú priradené danému ÚPzV a prechádza/preteká cez		
				priepustné prostredie [km]	menej priepustné prostredie [km]	nepriepustné prostredie [km]	priepustné prostredie [%]	menej priepustné prostredie [%]	nepriepustné prostredie [%]
SK1000100P	52,5	28,4	19,1	373	52	3	87,2	12,2	0,6
SK1000200P	20,1	56,8	23,0	52	0	0	100,0	0,0	0,0
SK1000300P	52,3	9,3	38,3	452	6	1	98,4	1,3	0,3
SK1000400P	60,6	23,6	15,8	975	29	1	97,0	2,9	0,1
SK1000500P	65,7	23,7	10,6	812	29	71	89,0	3,2	7,8
SK1000600P	0,0	13,9	86,1	100	3	0	97,1	2,9	0,0
SK1000700P	57,1	29,4	13,5	397	18	4	94,8	4,2	1,0
SK1000800P	90,4	5,0	4,7	159	2	1	98,0	1,3	0,6
SK1000900P	68,9	31,1	0,0	95	0	0	99,5	0,5	0,0
SK1001000P	93,2	6,8	0,0	289	37	4	87,6	11,1	1,3
SK1001100P	83,2	16,8	0,0	103	0	1	98,7	0,0	1,3
SK1001200P	73,3	24,1	2,6	415	20	54	84,9	4,0	11,1
SK1001300P	97,0	3,0	0,0	52	7	0	88,7	11,3	0,0
SK1001400P	98,4	1,6	0,0	47	13	4	72,8	20,5	6,8
SK1001500P	60,1	14,1	25,8	521	4	0	99,2	0,8	0,0
SK1001600P	86,8	13,2	0,0	53	7	0	88,4	11,6	0,0

Tab. 14 Rozdelenie a pomer zastúpenia rôznych typov útvarov povrchových vôd (ÚPoV) v jednotlivých predkvartérnych útvaroch podzemných vôd (ÚPzV) a priepustnosti prostredia.

kód ÚPzV	podiel prirodzených ÚPoV [%]	podiel výrazne zmenených ÚPoV [%]	podiel umelých ÚPoV [%]	dĺžka ÚPoV, ktorá je priradená k danému ÚPzV a pričom prechádza/preteká cez				pomer dĺžok ÚPoV, ktoré sú priradené danému ÚPzV a prechádza/preteká cez			
				priepustné prostredie [km]	menej priepustné prostredie [km]	nepriepustné prostredie [km]	nepatrný kvartér - pseudohydraulická spojitosť [km]	priepustné prostredie [%]	menej priepustné prostredie [%]	nepriepustné prostredie [%]	nepatrný kvartér - pseudohydraulická spojitosť [%]
SK200010FK	72,1	27,9	0,0	8	7	43	0	13,9	12,0	74,0	0,1
SK2000200P	54,7	42,3	2,9	36	77	7	87	17,3	37,4	3,3	42,0
SK200030FK	60,6	39,4	0,0	5	11	44	0	8,4	18,4	73,2	0,0
SK2000400P	64,9	35,1	0,0	9	9	16	19	16,5	16,8	30,9	35,8
SK2000500P	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
SK200060KF	31,7	68,3	0,0	8	7	13	6	23,4	21,3	37,0	18,2
SK2000700F	39,9	60,1	0,0	0	3	62	2	0,0	4,2	92,3	3,5
SK200080KF	92,1	7,9	0,0	26	31	9	22	29,7	35,2	10,5	24,7
SK2000900F	100,0	0,0	0,0	0	19	28	11	0,0	32,9	47,9	19,2
SK2001000P	90,4	8,2	1,4	231	444	5	106	29,4	56,4	0,7	13,5
SK200110KF	81,4	18,6	0,0	5	15	9	0	15,9	51,8	30,7	1,6
SK200120FK	92,9	7,1	0,0	5	17	95	11	3,9	13,6	74,0	8,5
SK2001300P	92,3	7,7	0,0	72	46	6	80	35,3	22,6	3,1	39,0
SK200140KF	82,9	17,1	0,0	56	118	85	59	17,5	37,2	26,8	18,5
SK200150FK	95,0	5,0	0,0	5	51	81	16	3,1	33,1	53,0	10,8
SK200160FK	98,1	1,9	0,0	5	28	36	6	7,0	36,6	48,2	8,2
SK200170FP	86,9	8,5	4,6	6	5	58	10	8,2	6,1	73,0	12,7
SK2001800F	91,1	8,9	0,0	34	541	412	260	2,7	43,4	33,0	20,9
SK200190FK	53,3	46,7	0,0	2	1	9	1	14,5	6,4	71,7	7,3
SK200200FP	84,4	15,6	0,0	1	1	37	2	1,5	2,8	91,9	3,8
SK2002100P	100,0	0,0	0,0	1	0	4	3	14,1	0,0	50,5	35,5
SK200220FP	84,6	15,4	0,0	18	81	623	133	2,1	9,5	72,8	15,6
SK2002300P	62,8	35,6	1,6	9	154	7	172	2,7	45,1	1,9	50,2
SK200240FK	95,9	4,1	0,0	11	26	98	2	7,7	18,8	71,9	1,6
SK200250KF	98,8	1,2	0,0	19	20	2	2	43,3	46,9	5,5	4,3
SK200260FP	83,7	16,3	0,0	5	36	383	198	0,8	5,9	61,5	31,8
SK200270KF	96,2	3,8	0,0	67	153	63	3	23,4	53,6	22,0	1,0
SK200280FK	92,1	7,9	0,0	81	113	641	333	6,9	9,6	54,6	28,9
SK200290FK	94,8	5,2	0,0	11	4	45	9	15,4	5,8	65,5	13,3
SK200300FK	100,0	0,0	0,0	28	31	34	5	28,5	31,2	34,9	5,5
SK2003100P	77,2	22,8	0,0	5	19	1	157	2,7	10,3	0,4	86,6
SK2003200P	100,0	0,0	0,0	0	17	1	0	0,0	95,3	4,7	0,0
SK2003300F	83,2	16,8	0,0	4	1	48	27	5,3	1,0	60,4	33,2
SK200340KF	97,9	2,1	0,0	37	12	15	19	44,8	14,3	17,7	23,2
SK200350FK	100,0	0,0	0,0	1	16	46	0	1,8	24,8	73,3	0,1
SK200360FK	100,0	0,0	0,0	2	9	71	1	2,4	11,3	85,3	1,0
SK2003700P	84,5	15,5	0,0	3	28	4	110	2,1	19,5	2,8	75,6
SK200380FP	63,6	36,4	0,0	0	0	10	2	0,0	0,0	79,7	20,3
SK200390KF	100,0	0,0	0,0	28	5	35	4	38,4	7,2	48,9	5,6
SK2004000P	54,2	45,8	0,0	0	9	1	30	1,0	21,4	3,2	74,5
SK200410KF	100,0	0,0	0,0	7	8	12	0	27,6	29,7	42,6	0,0
SK200420FK	61,8	38,2	0,0	3	6	12	6	12,7	22,2	44,6	20,6
SK2004300F	100,0	0,0	0,0	0	6	21	2	0,0	21,9	71,1	7,0
SK200440KF	100,0	0,0	0,0	20	9	19	2	40,9	17,2	37,6	4,4
SK2004500P	0,0	100,0	0,0	2	24	0	12	4,1	64,4	0,0	31,6
SK200460KF	93,6	6,4	0,0	33	41	38	16	25,7	31,8	29,9	12,6
SK2004700F	83,9	16,1	0,0	8	242	104	54	1,9	59,3	25,6	13,3
SK200480KF	80,5	19,5	0,0	25	4	20	67	21,9	3,5	17,4	57,3
SK2004900F	86,7	13,3	0,0	3	365	53	170	0,5	61,8	8,9	28,7
SK200500FK	91,5	8,5	0,0	3	26	238	84	0,7	7,5	67,7	24,1
SK200510KF	69,5	30,5	0,0	1	40	25	44	0,5	36,3	22,8	40,4
SK2005200P	0,0	100,0	0,0	7	0	0	0	98,0	0,0	0,0	2,0
SK2005300P	34,2	65,8	0,0	8	21	19	7	14,4	39,1	34,2	12,3
SK200540FP	91,3	8,7	0,0	6	65	22	0	6,3	70,1	23,6	0,0
SK200550FP	86,4	13,6	0,0	17	57	33	6	14,6	50,6	29,4	5,4
SK200560FK	68,3	31,7	0,0	0	6	0	1	0,0	89,1	2,4	8,5
SK2005700F	82,2	17,8	0,0	15	866	95	215	1,3	72,7	8,0	18,0
SK2005800P	45,9	46,9	7,2	121	20	35	111	42,1	7,0	12,3	38,6
SK200590FP	57,2	42,8	0,0	2	100	35	2	1,3	71,9	25,4	1,4

Podrobnejší výsledok skríningu pre jednotlivé prirodzené ÚPoV sa nachádza v Prílohe I, pre jednotlivé výrazne zmenené ÚPoV v Prílohe II a pre umelé ÚPoV v Prílohe III.

## 4. Identifikácia útvarov podzemných vôd, od ktorých sú priamo závislé útvary povrchových vôd

Pomocou skríningu bol posúdený hydraulický vzťah medzi ÚPoV a ÚPzV podľa metodiky opísanej v kapitole 2. Na základe tejto analýzy boli identifikované útvary podzemných vôd, od ktorých sú priamo závislé útvary povrchovej vody, a vytvoril sa ich zoznam.

### 4.1 Kritéria pre identifikáciu útvarov podzemných vôd, od ktorých sú priamo závislé útvary povrchových vôd

Vzhľadom na fakt, že aj malý úsek môže byť významný z pohľadu vodovýmeny, nezohľadňovala sa veľkosť dĺžky segmentu v priepustnom prostredí, tzn. časť ÚPoV bola asociovaná ako priamo závislá na danom ÚPzV, ak má nenulovú dĺžku segmentu v priepustnom prostredí, a teda sú podľa metodiky v interakcii. Ďalej boli identifikované niektoré ÚPoV na základe expertného posúdenia (dlhodobé pozorovanie ŠGÚDŠ, alebo testov Povrchová voda<sup>18,19</sup>, ktoré sú súčasťou hodnotenia chemického a kvantitatívneho stavu ÚPzV).

Pri analýze sa zistilo, že touto metódou by nebolo vhodné identifikovať výrazne zmenené a umelé vodné útvary bez podrobnejšej analýzy (viac v kapitole 5. Zistené nedostatky), a preto bolo vytvorenie zoznamu zúžené len na prirodzené ÚPoV z Tab. 10.

V tejto fáze analýzy neboli tiež hodnotené segmenty ÚPoV, ktoré prechádzali menej priepustným prostredím, kde je len znížená pravdepodobnosť interakcie, nie je však vylúčená. Tieto segmenty si vyžadujú ďalšiu pozornosť a podrobnejšiu analýzu, aby sme vedeli určiť, či naozaj aj v týchto segmentoch dochádza k interakcii medzi povrchovou a podzemnou vodou.

### 4.2 Vytvorenie zoznamu útvarov podzemných vôd, od ktorých sú priamo závislé útvary povrchových vôd

Na základe požiadavky prílohy II bodu 2.1 RSV<sup>1</sup> bol vytvorený zoznam útvarov podzemných vôd, od ktorých sú priamo závislé útvary povrchových vôd. Zvolené kritéria spĺňalo 1 410 segmentov ÚPoV s dĺžkou takmer 4 000 km v 751 častiach ÚPoV rozdelené z 626 ÚPoV. Výsledný zoznam kvartérnych a predkvartérnych ÚPzV, od ktorých sú priamo závislé prirodzené ÚPoV, dokumentujú Tab. 15 a Tab. 16. Menovitý zoznam prirodzených útvarov povrchových vôd je uvedený v Prílohe IV.

Tab. 15 Výsledný zoznam kvartérnych útvarov podzemných vôd (ÚPzV), od ktorých sú priamo závislé prirodzené útvary povrchových vôd (ÚPoV).

kód ÚPzV	názov ÚPzV	počet častí ÚPoV	dĺžka ÚPoV v interakcii [km]
SK1000100P	Medzizrnové podzemné vody kvartérnych náplavov Viedenskej panvy	18	184
SK1000200P	Medzizrnové podzemné vody kvartérnych náplavov západnej časti Podunajskej panvy	2	10
SK1000300P	Medzizrnové podzemné vody kvartérnych náplavov centrálnej časti Podunajskej panvy	9	235
SK1000400P	Medzizrnové podzemné vody kvartérnych náplavov dolného toku Váhu, Nitry a ich prítokov	54	602
SK1000500P	Medzizrnové podzemné vody kvartérnych náplavov horného toku Váhu a jeho prítokov	83	510

<sup>18</sup> Hamar Zsideková, B., Chudoba, V., Patschová, A., Bubeníková, M., Ščerbáková, S., Rajczyková, E., 2020. Hodnotenie chemického stavu kvartérnych a predkvartérnych útvarov podzemných vôd - Test zhoršenia chemického a ekologického stavu súvisiacich útvarov povrchových vôd v dôsledku prieniku znečisťujúcich látok z útvarov podzemných vôd. Správa k úlohe č. 10063, Bratislava, Výskumný ústav vodného hospodárstva.

<sup>19</sup> Kelčík, S., Kullman, E., Brezianská, K., Danáčová, Z., Lovasová, E., 2020. Interakcia podzemných a povrchových vôd z hľadiska kvantity – aktualizácia. Správa, Bratislava, Výskumný ústav vodného hospodárstva.



kód ÚPzV	názov ÚPzV	počet častí ÚPoV	dĺžka ÚPoV v interakcii [km]
SK1000600P	Medzizrnové podzemné vody kvartérnych náplavov východnej časti Podunajskej panvy	1	12
SK1000700P	Medzizrnové podzemné vody kvartérnych náplavov Hrona a jeho prítokov	18	232
SK1000800P	Medzizrnové podzemné vody kvartérnych náplavov Ipľa a jeho prítokov	16	137
SK1000900P	Medzizrnové podzemné vody kvartérnych náplavov Rimavy a jej prítokov	6	65
SK1001000P	Medzizrnové podzemné vody kvartérnych náplavov Dunajca a Popradu a ich prítokov	25	262
SK1001100P	Medzizrnové podzemné vody kvartérnych náplavov Slanej a jej prítokov	7	83
SK1001200P	Medzizrnové podzemné vody kvartérnych náplavov Hornádu, Bodvy a ich prítokov	28	300
SK1001300P	Medzizrnové podzemné vody kvartérnych náplavov Tople a jej prítokov	4	50
SK1001400P	Medzizrnové podzemné vody kvartérnych náplavov horného toku Ondavy a jej prítokov	5	46
SK1001500P	Medzizrnové podzemné vody kvartérnych náplavov Bodrogu, Latorice, dolného toku Ondavy, dolného toku Laborca a ich prítokov	20	311
SK1001600P	Medzizrnové podzemné vody kvartérnych náplavov horného toku Laborca a jeho prítokov	6	47

Tab. 16 Výsledný zoznam predkvartérnych útvarov podzemných vôd (ÚPzV), od ktorých sú priamo závislé prirodzené útvary povrchových vôd (ÚPoV).

kód ÚPzV	názov ÚPzV	počet častí ÚPoV	dĺžka ÚPoV v interakcii [km]
SK200010FK	Puklinové a krasovo-puklinové podzemné vody Pezinských a Devínskych Karpát čiastkového povodia Moravy a Dunaja	3	8,0
SK2000200P	Medzizrnové podzemné vody západnej časti Viedenskej panvy	9	25,0
SK200030FK	Puklinové a krasovo-puklinové podzemné vody Pezinských Karpát čiastkového povodia Váhu	2	1,5
SK2000400P	Medzizrnové podzemné vody východnej časti Viedenskej panvy	2	2,9
SK2000500P	Medzizrnové podzemné vody južnej časti Podunajskej panvy	0	0,0
SK200060KF	Dominantné krasovo-puklinové podzemné vody Pezinských a Brezovských Karpát čiastkového povodia Moravy	1	1,5
SK2000700F	Puklinové podzemné vody západnej časti flyšového pásma	0	0,0
SK200080KF	Dominantné krasovo-puklinové podzemné vody Pezinských, Brezovských a Čachtických Karpát čiastkového povodia Váhu	12	24,5
SK2000900F	Puklinové podzemné vody Myjavskej pahorkatiny	0	0,0
SK2001000P	Medzizrnové podzemné vody centrálnej časti Podunajskej panvy a jej výbežkov	34	209,0
SK200110KF	Dominantné krasovo-puklinové podzemné vody južnej časti Považského Inovca	2	4,1
SK200120FK	Puklinové a krasovo-puklinové podzemné vody severnej časti Považského Inovca	6	4,9
SK2001300P	Medzizrnové podzemné vody Bánovskej kotliny	15	68,4
SK200140KF	Dominantné krasovo-puklinové podzemné vody severnej časti Strážovských vrchov a Lúčanskej Malej Fatry	16	45,5
SK200150FK	Puklinové a krasovo-puklinové podzemné vody Tribeča	6	3,3
SK200160FK	Puklinové a krasovo-puklinové podzemné vody južnej časti Strážovských vrchov	4	5,3
SK200170FP	Puklinové a medzizrnové podzemné vody neovulkanitov a terciérnych náplavov Hornonitrianskej kotliny	5	6,5
SK2001800F	Puklinové podzemné vody západnej časti flyšového pásma a podtatranskej skupiny	42	31,2
SK200190FK	Puklinové a krasovo-puklinové podzemné vody pohoria Žiar	1	1,9

kód ÚPzV	názov ÚPzV	počet častí ÚPoV	dĺžka ÚPoV v interakcii [km]
SK200200FP	Puklinové a medzizrnové podzemné vody neovulkanitov pohoria Vtáčnik a Kremnických vrchov	1	0,6
SK2002100P	Medzizrnové podzemné vody Turčianskej kotliny	1	1,2
SK200220FP	Puklinové a medzizrnové podzemné vody severnej časti stredoslovenských neovulkanitov	19	17,6
SK2002300P	Medzizrnové podzemné vody východnej časti Podunajskej panvy a Ipľskej kotliny	6	4,6
SK200240FK	Puklinové a krasovo-puklinové podzemné vody Malej Fatry	9	9,1
SK200250KF	Dominantné krasovo-puklinové podzemné vody Veľkej Fatry	5	18,6
SK200260FP	Puklinové a medzizrnové podzemné vody južnej časti stredoslovenských neovulkanitov	2	0,3
SK200270KF	Dominantné krasovo-puklinové podzemné vody Veľkej Fatry, Chočských vrchov a Západných Tatier	29	66,6
SK200280FK	Puklinové a krasovo-puklinové podzemné vody Nízkych Tatier a Slovenského rudohoria	44	74,7
SK200290FK	Puklinové a krasovo-puklinové podzemné vody južných svahov Nízkych Tatier	5	10,5
SK200300FK	Puklinové a krasovo-puklinové podzemné vody severozápadu Nízkych Tatier	9	28,0
SK2003100P	Medzizrnové podzemné vody Lučeneckej kotliny a západnej časti Cerovej vrchoviny	4	3,8
SK2003200P	Medzizrnové podzemné vody Oravskej kotliny	0	0,0
SK2003300F	Puklinové podzemné vody podtatranskej skupiny a Liptovskej kotliny	8	4,2
SK200340KF	Dominantné krasovo-puklinové podzemné vody severu Nízkych Tatier	10	36,9
SK200350FK	Puklinové a krasovo-puklinové podzemné vody Tatier čiastkového povodia Váhu	2	1,2
SK200360FK	Puklinové a krasovo-puklinové podzemné vody severovýchodu Nízkych Tatier	2	2,0
SK2003700P	Medzizrnové podzemné vody Rimavskej kotliny, Oždianskej pahorkatiny a východnej časti Cerovej vrchoviny	5	3,0
SK200380FP	Puklinové a medzizrnové podzemné vody neovulkanitov Pokoradzskej tabule	0	0,0
SK200390KF	Dominantné krasovo-puklinové podzemné vody Muránskej planiny	9	27,7
SK2004000P	Medzizrnové podzemné vody Valickej pahorkatiny	2	0,4
SK200410KF	Dominantné krasovo-puklinové podzemné vody východu Nízkych Tatier	2	7,5
SK200420FK	Puklinové a krasovo-puklinové podzemné vody severnej časti Kozích chrbtov	2	2,2
SK2004300F	Puklinové podzemné vody Nízkych Tatier a Kozích chrbtov	0	0,0
SK200440KF	Dominantné krasovo-puklinové podzemné vody Tatier čiastkového povodia Dunajca a Popradu	6	20,4
SK2004500P	Medzizrnové podzemné vody Gemerskej pahorkatiny	0	0,0
SK200460KF	Dominantné krasovo-puklinové podzemné vody Slovenského raja a Galmusu	11	30,7
SK2004700F	Puklinové podzemné vody podtatranskej skupiny a flyšového pásma čiastkového povodia Dunajca a Popradu	13	7,9
SK200480KF	Dominantné krasovo-puklinové podzemné vody Slovenského krasu	9	16,4
SK2004900F	Puklinové podzemné vody podtatranskej skupiny a flyšového pásma čiastkového povodia Hornádu	7	2,9
SK200500FK	Puklinové a krasovo-puklinové podzemné vody Slovenského rudohoria	3	1,2
SK200510KF	Dominantné krasovo-puklinové podzemné vody Braniska a Čiernej hory	1	0,6
SK2005200P	Medzizrnové podzemné vody Abovskej pahorkatiny	0	0,0
SK2005300P	Medzizrnové podzemné vody Košickej kotliny	0	0,0
SK200540FP	Puklinové a medzizrnové podzemné vody neovulkanitov Slanských vrchov čiastkového povodia Hornádu	6	5,9
SK200550FP	Puklinové a medzizrnové podzemné vody neovulkanitov Slanských vrchov čiastkového povodia Bodrogu	10	14,0

kód ÚPzV	názov ÚPzV	počet častí ÚPoV	dĺžka ÚPoV v interakcii [km]
SK200560FK	Puklinové a krasovo-puklinové podzemné vody zemplanika	0	0,0
SK2005700F	Puklinové podzemné vody podtatranskej skupiny a flyšového pásma čiastkového povodia Bodrogu	25	15,4
SK2005800P	Medzizrnové podzemné vody Východoslovenskej panvy	20	57,0
SK200590FP	Puklinové a medzizrnové podzemné vody neovulkanitov Vihorlatu	2	0,9

V 10 predkvartérnych ÚPzV neboli identifikované priamo závislé prirodzené ÚPoV v priepustnom prostredí a teda sa v nich nenachádzajú žiadne ÚPoV v interakcii.

Z výsledkov vyplýva, že najviac (83) súvisiacich ÚPoV má ÚPzV SK1000500P – *Medzizrnové podzemné vody kvartérnych náplavov horného toku Váhu a jeho prítokov*, avšak najviac segmentov ÚPoV s priepustným prostredím ÚPzV s dĺžkou 602 km a počtom 54 ÚPoV je v ÚPzV SK1000400P – *Medzizrnové podzemné vody kvartérnych náplavov dolného toku Váhu, Nitry a ich prítokov*.

Pre porovnanie jednotlivých typov ÚPzV z pohľadu priepustnosti kolektora bola vytvorená Tab. 17, kde sú sčítané údaje z Tab. 15 a Tab. 16.

Nie je prekvapujúce, že najviac závislých ÚPoV (302) ako aj dĺžky segmentov ÚPoV (3388,3 km) je v medzizrnových kvartérnych ÚPzV. Pri porovnaní predkvartérnych ÚPzV je najviac závislých častí ÚPoV (113) v ÚPzV s dominantnou krasovo-puklinovou priepustnosťou s celkovou dĺžkou 301 km segmentov v priepustnom prostredí. Najväčší súčet segmentov ÚPoV (375,3 km) v priepustnom prostredí je v ÚPzV s medzizrnovou priepustnosťou s počtom 98 závislých častí ÚPoV.

Tab. 17 Súčtová tabuľka počtu závislých ÚPoV podľa typu priepustnosti ÚPzV.

typ ÚPzV	priepustnosť kolektora	počet priamo závislých častí ÚPoV	dĺžka ÚPoV v interakcii [km]
kvartérne ÚPzV	medzizrnová	302	3388,3
predkvartérne ÚPzV	dominantná krasovo-puklinová	113	301,0
	medzizrnová	98	375,3
	puklinová a krasovo-puklinová	98	153,8
	puklinová	95	61,6
	puklinová a medzizrnová	45	45,8

## 5. Zistené nedostatky

Pri tvorbe metodiky sme sa stretli s niekoľkými výzvami, ktoré sťažujú identifikáciu interakcie medzi ÚPoV a ÚPzV. Všetky nižšie spomenuté nedostatky si vyžadujú podrobnejšie hodnotenia a viac času na vyriešenie problematiky, preto ich nebolo možné zapracovať v rámci aktualizácie 3. cyklu plánov manažmentov povodí (PMP)<sup>14</sup> v tejto prvej fáze skríningového riešenia pre vytvorenie zoznamu útvarov podzemných vôd, ktoré sú asociované s útvarmi povrchových vôd.

V rámci úlohy sme načrtli zistené nedostatky pri riešení problematiky interakcie podzemnej a povrchovej vody a spoľahlivosti výsledkov. Najpodstatnejšie nedostatky sú popísané v nasledujúcich podkapitolách súčasne s prvotnou analýzou riešenia zistených nedostatkov. Zistené nedostatky bude potrebné podrobiť podrobnejšiemu skúmaniu v rámci aktualizácie PMP v ďalšom cykle (2022-2027).



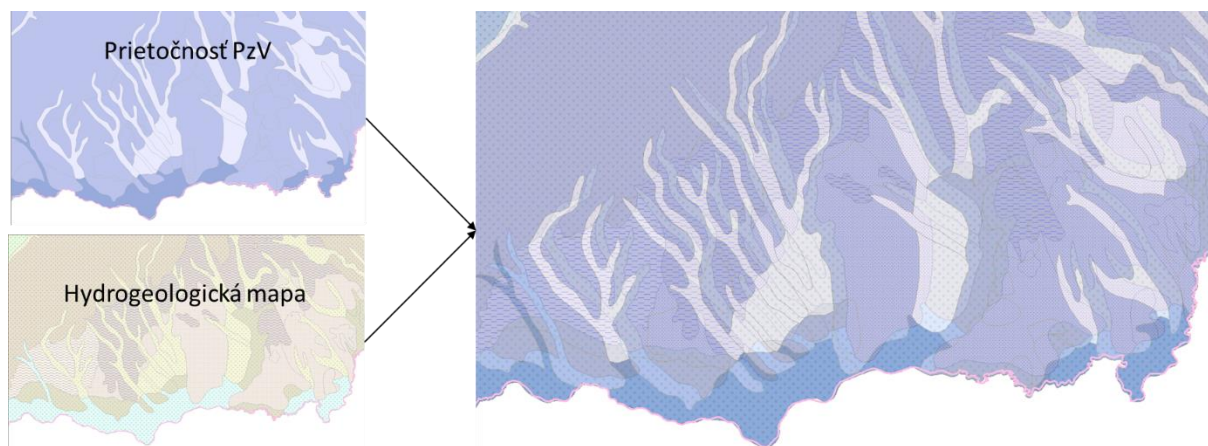
## 5.1 Prietočnosť T

Jedným z kritériom pre hodnotenie interakcie podzemnej a povrchovej vody môže byť aj koeficient prietočnosti  $T$  ( $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ). Dostupné informácie o koeficiente prietočnosti pre celé Slovensko sú v správe Malík et al.<sup>13</sup> z roku 2013, v ktorej sú informácie i o distribúcii hodnôt koeficienta filtrácie  $k$ . Tieto dva koeficienty sú závislé cez vzťah:

$$T = k \cdot b,$$

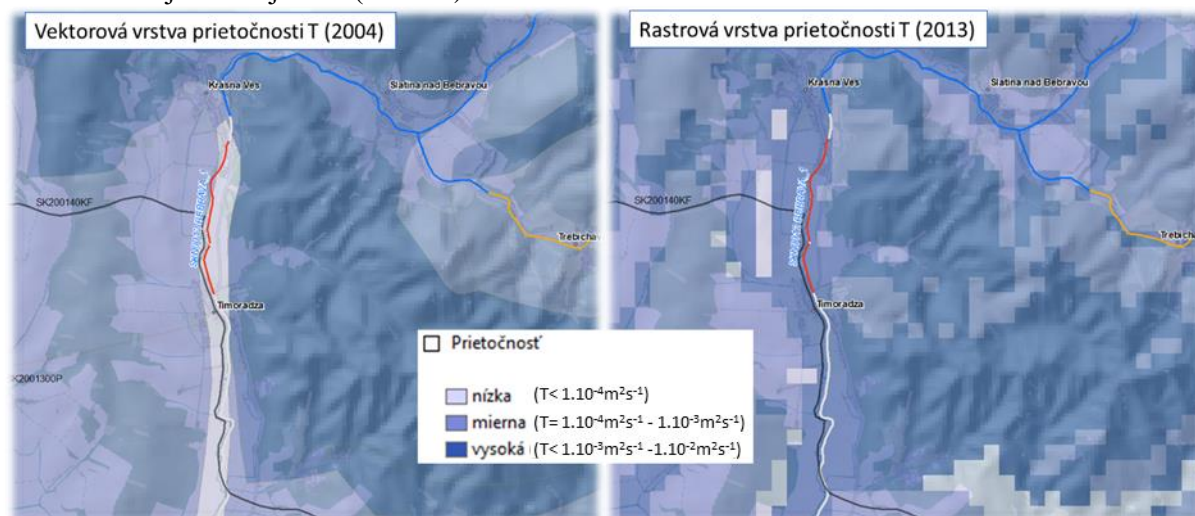
kde  $T$  je prietočnosť,  $k$  je koeficient filtrácie a  $b$  je hrúbka zvodnenca. V tomto prípade by parametrizácia koeficienta prietočnosti  $T$  nepriniesla novú informáciu v porovnaní s použitím len koeficientu filtrácie z rovnakého zdroja. Ďalšou možnosťou je použiť hodnotu  $T$  z iných zdrojov. K dispozícii sme mali GIS vrstvu s prietočnosťou podzemných vôd z roku 2004, ktorá bola nedôveryhodná z dvoch dôvodov.

1. Deformácia samotnej vrstvy, ktorá osobitne pripomínala štruktúru hydrogeologickej mapy, avšak pri prekrytí vrstvou prietočnosti je zjavné, že štruktúry sú vzájomne posunuté o približne 1 km, avšak hranice SR súhlasia, teda sa nejedná o zmenu v posune do jednej strany, ale deformáciu v rámci obsahu mapy (Obr. 21).



Obr. 21 Porovnanie dvoch GIS vrstiev s podobnými štruktúrami ako prekryv týchto vrstiev.

2. Neznámy zdroj GIS vrstvy a starší dátum z roku 2004 vzbudzuje nedôveryhodnosť pri porovnaní s novšou GIS vrstvou z roku 2013, ktorá je ale rastrová a vykazuje rozdielne hodnoty prietočnosti. Pre ilustráciu bol vybraný úsek, kde sú hodnoty prietočnosti  $T$  zobrazené v rovnakej farebnej škále (Obr. 22).



Obr. 22 Porovnanie dvoch GIS vrstiev prietočnosti  $T$  z roku 2004 a z roku 2013 (Malík et al.)<sup>13</sup>.

Na stránkach ŠGÚDŠ sú spracované aj novšie mapy s dokumentovanými hodnotami T, avšak nie pre celé Slovensko, a preto za daných okolností nebola prietochnosť zaradená ako jeden z parametrov vstupujúcich do skríningu.

## 5.2 Kolmatácia riečneho dna

V prípade hydraulickej súvislosti povrchového toku s podzemnou vodou závisí dopĺňanie podzemnej vody infiltráciou z rieky významne aj na veľkosti zakolmatovania koryta rieky. Proces kolmatácie je výsledkom režimu povrchových vôd, kedy jemné plaveniny po poklese rýchlosti prúdenia vody klesajú na dno a buď prenikajú hlbšie alebo ostávajú na povrchu dna koryta, kde sa dlhodobo usadzujú stále jemnejšie častice, a tým vytvárajú kolmatačnú vrstvu. Čím jemnejšie sú sedimenty riečneho dna, tým nižšia je ich priepustnosť<sup>20</sup>, a pri väčšej hrúbke sa táto vrstva stáva nepriepustnou a zamedzuje priamej interakcii podzemnej a povrchovej vody. Priepustnosť kolmatačných oblastí sa líši podľa dynamickej hydrológie a nemožno ju považovať za konštantnú. Niekedy naopak pri vysokých stavoch a povodniach môže byť táto kolmatačná vrstva porušená alebo eliminovaná. Ide o dynamický a meniaci sa systém, ktorý ovplyvňuje intenzitu interakcie podzemnej a povrchovej vody. To je stále istý druh neistoty v prípade výskumu brehovej infiltrácie, ale aj v prípade modelovania<sup>21</sup>.

Kolmatácia dna sa dá určiť z prieskumu dnového sedimentu alebo nepriamo z rýchlosti prúdenia toku. Zo štúdie na vodnom diele Freudenu (Rakúsko) riešajúcej rôzne druhy kolmatácie znázornenej na Obr. 23 vyšli nasledovné závery: Pri rýchlosti prúdenia toku  $< 0,3 \text{ m.s}^{-1}$  môže dochádzať ku vonkajšej kolmatácii a pri rýchlostiach  $0,3 - 1 \text{ m.s}^{-1}$  dochádza ku prechodnému typu kolmatácie (kolmatácia spevnenou vrstvou), tzv. „armour layer clogging“, t. j. jemné sedimenty vyplňajú dutiny spevnenej vrstvy, čo ju robí veľmi kompaktnou. Pri rýchlostiach prúdenia toku okolo  $1 \text{ m.s}^{-1}$  môže ešte stále dochádzať k vnútornej kolmatácii (Obr. 24). Pri rýchlostiach prúdenia toku okolo  $2 \text{ m.s}^{-1}$  (prípadné povodňové javy) už môže dochádzať k odkolmatovaniu riečneho dna<sup>22</sup>.



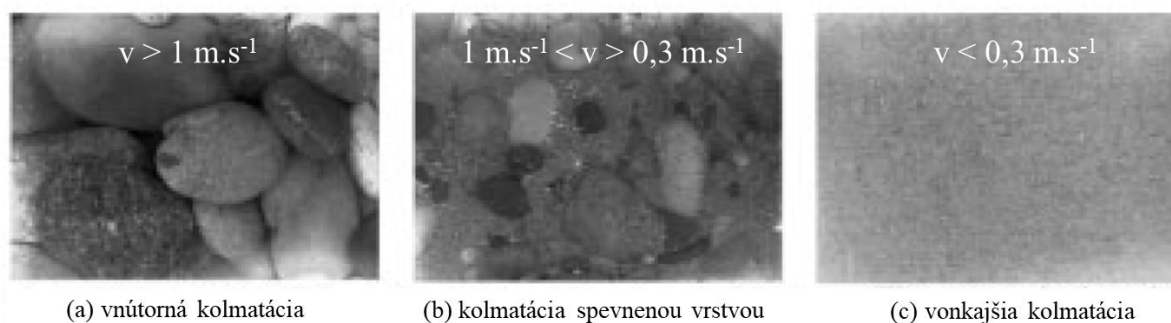
Obr. 23 Ilustračný obrázok znázorňujúci vnútornú kolmatáciu (vľavo), kolmatáciu spevnenou vrstvou (v strede) a vonkajšiu kolmatáciu (vpravo) (upravené<sup>23</sup>).

<sup>20</sup> Némethy, P. 1997. Kolmatácia koryta rieky – významný činiteľ pri dopĺňaní podzemnej vody. *Podzemná voda*, ISSN 1335- 1052, 3(2), 70-75.

<sup>21</sup> Schubert, J., 2002. Hydraulic aspects of riverbank filtration—field studies. *Journal of Hydrology*, 266(3-4), 145-161.

<sup>22</sup> Blaschke, A. P., Steiner, K. H., Schmalfuss, R., Gutknecht, D., & Sengschmitt, D., 2003. Clogging processes in hyporheic interstices of an impounded river, the Danube at Vienna, Austria. *International Review of Hydrobiology: A Journal Covering all Aspects of Limnology and Marine Biology*, 88(3-4), 397-413.

<sup>23</sup> Rudnick S., 2018.. Hydrological modelling of a catchment supported by the discharge of treated wastewater - A comparison of two model concepts (dissertation thesis). Humboldt-Universität zu Berlin, p. 139.



Obr. 24 Textúra troch rôznych kolmatácií z vodného diela Freudenu (Rakúsko)<sup>22</sup> pri rôznych rýchlostiach prúdenia toku v.

Štúdie na vodnom diele Gabčíkovo dospeli k nasledovným záverom<sup>24</sup>: „Priepustnosť riečného dna sa v čase mení a je ovplyvňovaná hlavne sedimentáciou a eróziou a morfológickými zmenami riečného koryta. Zabezpečenie dostatočne vysokej priepustnosti znamená udržať koryto rieky bez jemných častíc, bez bahna. Sedimentácia jemných častíc-bahna-závisí od rýchlosti toku. Ak je rýchlosť prúdenia vody aspoň v niektorých ročných obdobiach vyššia ako približne 0,2 m.s<sup>-1</sup>, riečne dno obyčajne nie je zabahnené a priepustnosť riečného dna je obyčajne dostatočne vysoká.“

Šajgalík et al.<sup>25</sup> uvádza nasledovné rýchlosti prúdenia vody, pri ktorých sa častice rôznej veľkosti začínajú dostávať do pohybu (Tab. 18).

Tab. 18 Unášacia sila prúdu vody pri určitých rýchlostiach podľa Šajgalíka et al.<sup>25</sup>.

názov častice	rýchlosť [m.s <sup>-1</sup> ]	názov častice	rýchlosť [m.s <sup>-1</sup> ]
jemnozrný piesok	0,162	okruhliak $\Phi$ 54 mm	1,62
hrubozrný piesok	0,216	úlomky 82 cm <sup>3</sup>	2,27
drobný štrk	0,332	úlomky 558 cm <sup>3</sup>	3,25
stredný štrk	0,332	úlomky 1 116 cm <sup>3</sup>	4,87
hrubý štrk	0,975	úlomky 5,6 – 8,4 dm <sup>3</sup>	11,69

Pri porovnaní rôznych štúdií nie je možné určiť všeobecnú hraničnú rýchlosť prúdenia toku, pri ktorej vzniká kolmatácia riečného dna, ale najpravdepodobnejšia je, ak rýchlosť toku klesne pod 0,2 - 0,3 m.s<sup>-1</sup>.

Avšak nie na všetkých tokoch sú merania rýchlosti. Pri nemonitorovaných tokoch je potrebné túto rýchlosť odhadnúť napríklad zo sklonu toku podľa reliéfu terénu. Tu môžeme vychádzať z práce Gierkeho<sup>26</sup>, ktorý pracuje s Manning a Chézyho empirickou formulou pre výpočet priemernej rýchlosti toku zo sklonu a ďalších geometrických charakteristík parametrickou metódou<sup>27</sup>. Pri výpočtoch je možné kalibrovať niektoré faktory z dostupných terénnych protokolov, ktoré avšak poukazujú na meranie v danom čase, ktoré väčšinou zodpovedalo kvôli účelom merania nízkej hladine vody. Avšak aj tieto údaje môžu priblížiť odhad rýchlosti toku, na ktorom nie sú žiadne merania.

<sup>24</sup> Dostupné z: <http://www.gabcikovo.gov.sk/old.gabcikovo.gov.sk/doc/green/sk/Kapitola6.html>

<sup>25</sup> Šajgalík, J., Čabalová, D., Schiitznerová, V., Šamalíková, M., Zeman, O., 1986. Geológia. ALFA Bratislava, SNTL Praha, 563 s.

<sup>26</sup> Gierke, J.S., 2002. Michigan Tech, Engineering Applications in the Earth Sciences: River Velocity. Dostupné z: [http://www.cce.mtu.edu/peacecorps/resources/use\\_of\\_manning\\_equation\\_for\\_measuring\\_river\\_velocity.pdf](http://www.cce.mtu.edu/peacecorps/resources/use_of_manning_equation_for_measuring_river_velocity.pdf)

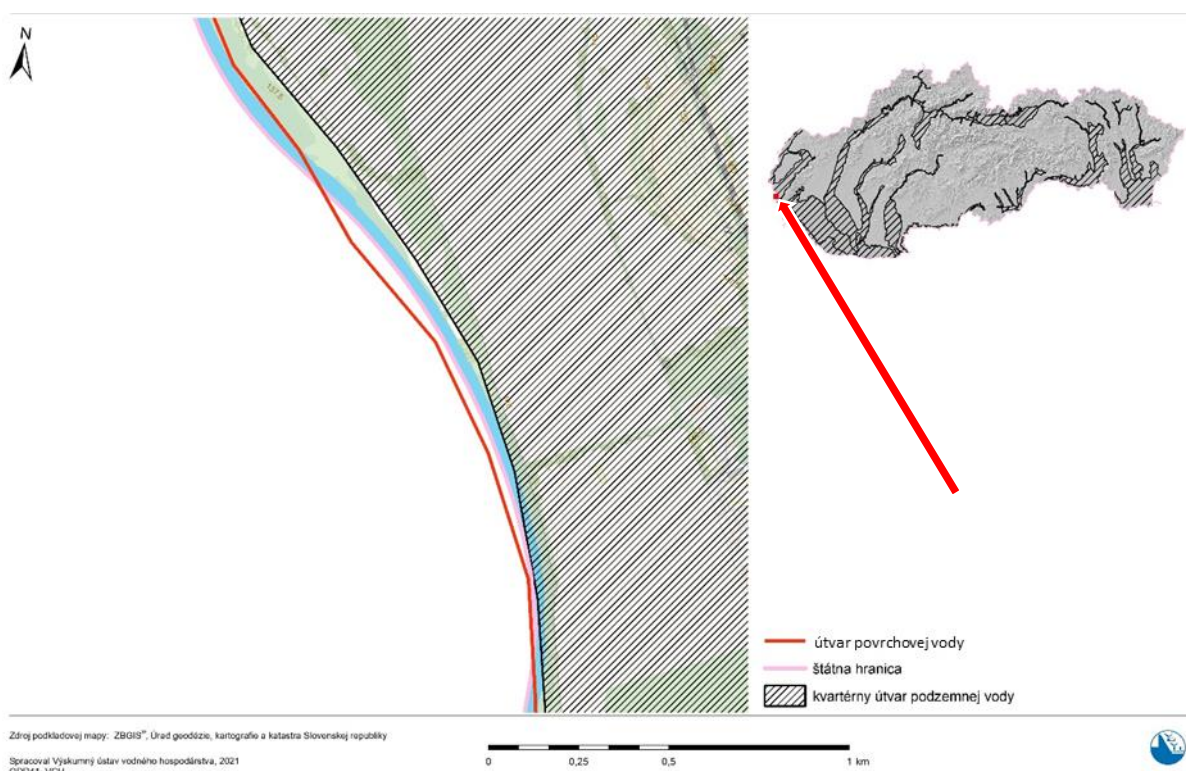
<sup>27</sup> Manning, R., 1895. On the flow of Water in Open Channels and Pipes. Transactions Institute of Civil Engineers of Ireland, 20, 161-209, Dublin, 1891, Supplement, 24, 179-207.



### 5.3 Rozdielne rozlíšenie vstupných máp

Spôľahlivosť riešenia závisí nielen na dostatku kvalitných dát a ich hustote, ale v prípade GIS vrstvy aj podrobnosti mierky. V našej práci sme využívali rôzne dostupné informácie. V niektorých prípadoch máme informácie s rozlíšením 10 x 10 m (mierka 1 : 10 000), pri použití leteckého laserového skenovania ešte presnejšie s rozlíšením 1 x 1 m (1 : 1 000). Problémom je, ak pri niektorých údajoch pracujeme s rozlíšením 50 x 50 m (mierka 1 : 50 000) alebo až 200 x 200 m (1 : 200 000), čím sa znižuje efektívnosť použitia presnejších údajov. Teda napríklad dĺžky ÚPoV vypočítané v prostredí ArcGis sú skreslené v dôsledku použitia vrstvy, ktorej podklad bol v mierke 1 : 50 000 taktiež ako ich situovanie.

Treba tiež zohľadniť fakt, že vypočítané dĺžky ÚPoV sú len 2D projekciou celkovej dĺžky toku (bez ohľadu na sklon toku), a teda aj v tomto dôsledku dochádza ku skresleniu údajov o dĺžke toku v jednotlivých ÚPzV. Podobné nedostatky v dôsledku rôzneho rozlíšenia sa ukazujú aj pri hraničných tokoch, keď pri priradovaní ÚPoV k ÚPzV sú vynechané nezanedbateľné dĺžky tokov, ktoré boli následne manuálne doplnené (Obr. 25).



Obr. 25 Ukážka rôznych vrstiev s rôznym rozlíšením, ktoré rozdielne opisujú západnú hranicu SR. Je viditeľné ako útvár povrchovej vody (červená línia) zachádza mimo oficiálnu hranicu SR (ružová línia) a je zjavné ako ani útvár podzemnej vody (šrafovaný polygón s čiernym ohraničením) nekopíruje hranicu SR.

### 5.4 Ostatné útvary povrchových vôd

V tomto (3.) cykle PMP nebolo možné identifikovať výrazne zmenené a umelé útvary povrchových vôd od ktorých sú priamo závislé útvary podzemných vôd, pretože si vyžadujú dôkladnejšiu štúdiu, či sa daný ÚPoV zaradil do kategórie výrazne zmenené alebo umelé vodné útvary v dôsledku prvku typu kaskáda, kedy je znemožnená migrácia rýb, ale k interakcii s podzemnou vodou môže dochádzať, alebo je vybetónované dno alebo brehy toku a interakcia s podzemnou vodou je znemožnená. Pre výrazne zmenené útvary bude potrebné najskôr realizovať ich rozdelenie podľa technickej úpravy z hľadiska možnosti vylúčenia interakcie – t. j. bez interakcie a ostatné a následne posúdiť možnosť interakcie. Pri

umelých ÚPoV sa jedná aj o kanály, ktoré môžu drénovať podzemnú vodu, avšak aj v tomto prípade hrá dôležitú rolu kolmatácia dna toku.

## 6. Pilotný návrh riešenia smeru interakcie podzemnej a povrchovej vody

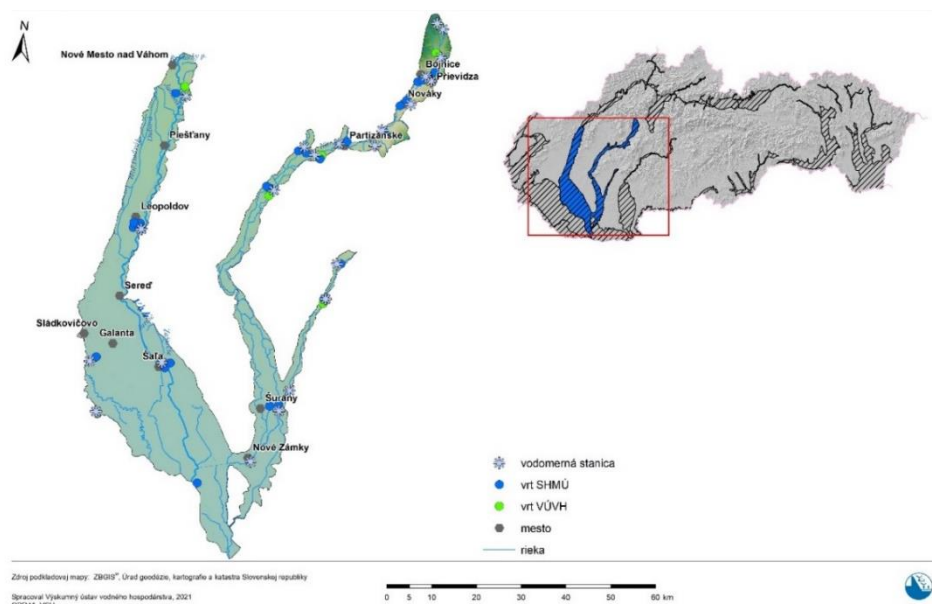
Jedna z požiadaviek RSV je aj identifikácia smeru interakcie medzi povrchovou a podzemnou vodou. Pre túto bližšiu charakterizáciu interakcie bol vybraný jeden útvar podzemnej vody, na ktorom sme sa pokúsili vykonať analýzu pomocou dostupných údajov. Pilotný útvar podzemnej vody SK1000400P – *Medzizrnové podzemné vody kvartérnych náplavov dolného toku Váhu, Nitry a ich prítokov*, bol klasifikovaný v 3. PMP v zlom chemickou stave aj podľa testu zhoršenia chemického a ekologického stavu súvisiacich útvarov povrchových vôd v dôsledku prieniku znečisťujúcich látok z útvarov podzemných vôd<sup>18</sup> a zároveň v tomto ÚPzV bolo k dispozícii najviac (22) vodomerných staníc (VS) na 14 tokoch, z toho pri 20 VS bolo 39 monitorovacích objektov podzemnej vody (MO-PzV) štátnej hydrologickej siete SHMÚ alebo účelovej monitorovacej siete VÚVH do vzdialenosti 2,5 km (Obr. 26). K dispozícii sme mali údaje o mesačnej minimálnej, priemernej a maximálnej výške hladiny povrchovej vody na VS. Pre podzemnú vodu sme použili údaje z hydrologickej ročenky a teda ročné minimum, priemer a maximum úrovně hladiny podzemnej vody pre príslušné roky. Na tomto ÚPzV sa nachádza 81 prirodzených ÚPoV, 11 výrazne zmenených ÚPoV a 14 umelých ÚPoV, takže je zjavné, že VS pokrývajú len malú časť tokov. Na tomto pilotnom riešení sme nebrali do úvahy len prirodzené ÚPoV, kedyže by to výrazne znížilo množstvo použiteľných dát.

Porovnaním údajov o výške hladín povrchových tokov a výšky hladiny podzemnej vody sa našlo niekoľko problémov. Hoci boli MO-PzV do vzdialenosti 2,5 km od VS, nie všetky MO-PzV boli použiteľné k posúdeniu interakcie.

Ako príklad uvádzame najbližšie MO-PzV. Do vzdialenosti 500 m od vodomernej stanice bolo 5 MO-PzV (Obr. 27 - Obr. 36), do vzdialenosti 1 km bolo 10 MO-PzV a 10 MO-PzV bolo vo vzdialenosti väčšej ako 2 km.

Pri vodomernej stanici 6475 *Hlohovec* sa nachádzajú 4 MO-PzV, z toho MO-PzV 7710 *Hlohovec* je vzdialený približne 80 m. Pri tomto MO-PzV (Obr. 27 a Obr. 28) je možné vidieť, že povrchová voda má väčšinou maximá vyššie ako je maximálna hladina podzemnej vody a taktiež aj minimálna hladina povrchovej vody je vyššie ako minimálna hladina podzemnej vody. Hladiny sú viac menej ustálené a nedochádza k veľkému vychýleniu od priemerných hodnôt. Ak dochádza k interakcii, tak dochádza k dotácii podzemnej vody z povrchového toku.

Ďalší najbližší MO-PzV ku vodomernej stanici je v lokalite Vieska nad Žitavou. VS 6820 *Vieska nad Žitavou* a MO-PzV 355 *Vieska nad Žitavou* sú od seba vzdialené približne 315 m (Obr. 29 a Obr. 30). Tu je možná interakcia v podobe dotácie Žitavy podzemnou vodou.



Obr. 26 Vybraný pilotný útvar podzemnej vody SK1000400P – Medzizirnové podzemné vody kvartérnych náplavov dolného toku Váhu, Nitry a ich prítokov a lokalizácia vodomerňých staníc na tokoch v danom útvare podzemnej vody a monitorovacie objekty podzemných vôd (MO-PzV) monitorovacej siete VÚVH a SHMÚ.

VS 6570 Chalmová je od MO-PzV 258 Bystričany vzdialený približne 365 m (Obr. 31 a Obr. 32), kde pri interakcii dochádza k dotácii toku Nitra podzemnou vodou.

Pre VS 6473 Hrádok a najbližší MO-PzV SKV108009 Hrádok vzdialený približne 400 m (Obr. 33 a Obr. 34) nie je možné priamo posúdiť vzájomnú interakciu, hoci sú blízko, avšak MO-PzV sa nachádza na inom toku a teda v inom povodí.

VS 6520 Tužina a MO-PzV SKV206609 Nitrianske Pravno sú vzdialené približne 450 m (Obr. 35 a Obr. 36), avšak interakcia sa posudzovala s výškou hladiny južnejšie podľa leteckého laserového skenovania<sup>28</sup>, kde úroveň hladiny podzemnej vody bola priemerne o 2,5 m nižšie ako úroveň povrchovej vody. A teda, pri zvážení výšky toku v blízkosti MO-PzV usudzujeme, že v týchto miestach môže dochádzať k dotácii podzemnej vody povrchovou vodou.

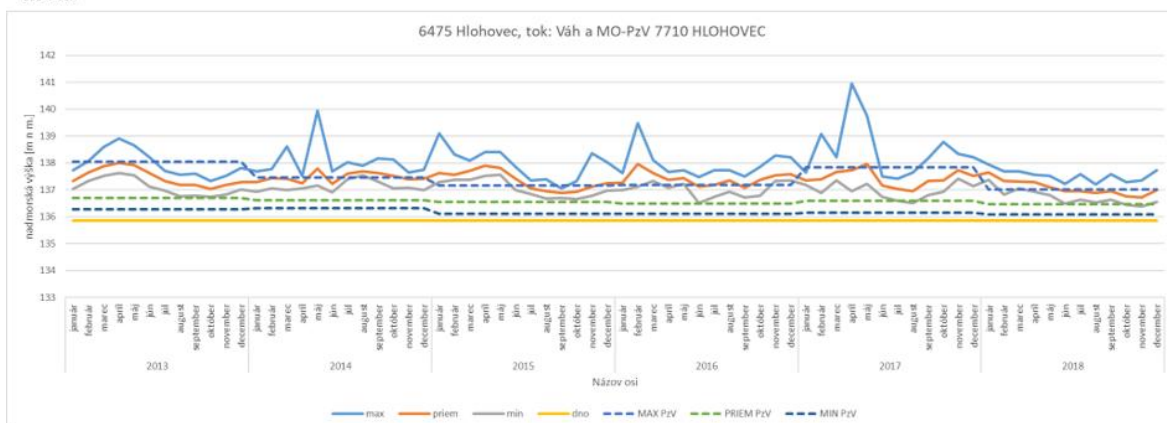
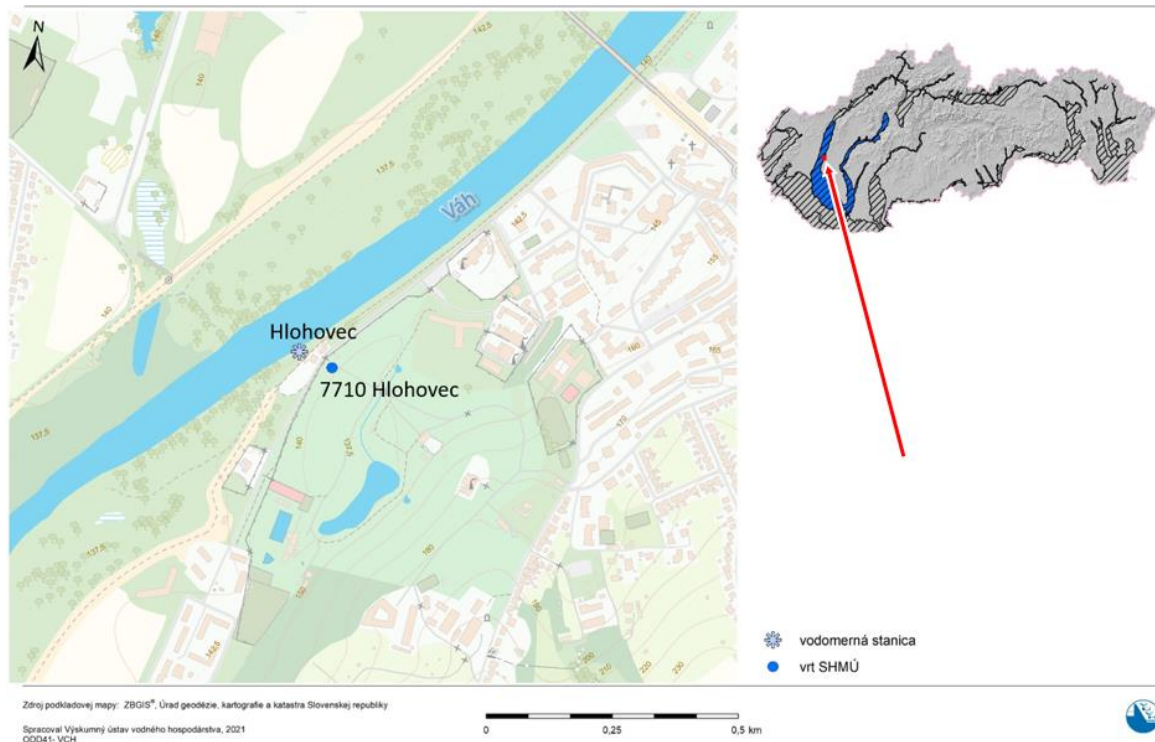
Podrobne boli spracované aj ostatné VS s MO-PzV a pri väčšine analyzovaných objektov bola úroveň podzemnej vody vyššie ako úroveň hladiny povrchovej vody, čo indikuje dotáciu povrchovej vody podzemnou vodou.

Pri mnohých MO-PzV bude nutné z dôvodu absencie VS prihliadať na digitálny model reliéfu, ktorý pri vodných plochách a tokoch predstavuje aktuálnu (v čase skenovania) vodnú hladinu interpolovanú z bodov na brehu vzdialených menej ako 1 m od brehovej čiary alebo bodov na vodnej hladine. V takomto prípade ale zistíme iba výšky hladín podzemných a povrchových vôd, ale nie samotný priebeh hladiny, vďaka ktorému je možné potvrdiť interakciu.

Pre vybrané MO-PzV je vhodné sa pozerieť na úroveň hladín PzV s mesačným alebo denným krokom, ale nie ročným krokom ako v tomto pilotnom riešení. Podobne, ak to bude možné, je potrebné zmenšiť časový krok aj pri VS. Pri menšom časovom kroku sa predpokladá, že vo vybraných lokalitách bude možné identifikovať smer vodovýmeny.

<sup>28</sup> Dostupné z: <https://www.geoportal.sk/sk/udaje/lls-dmr/>

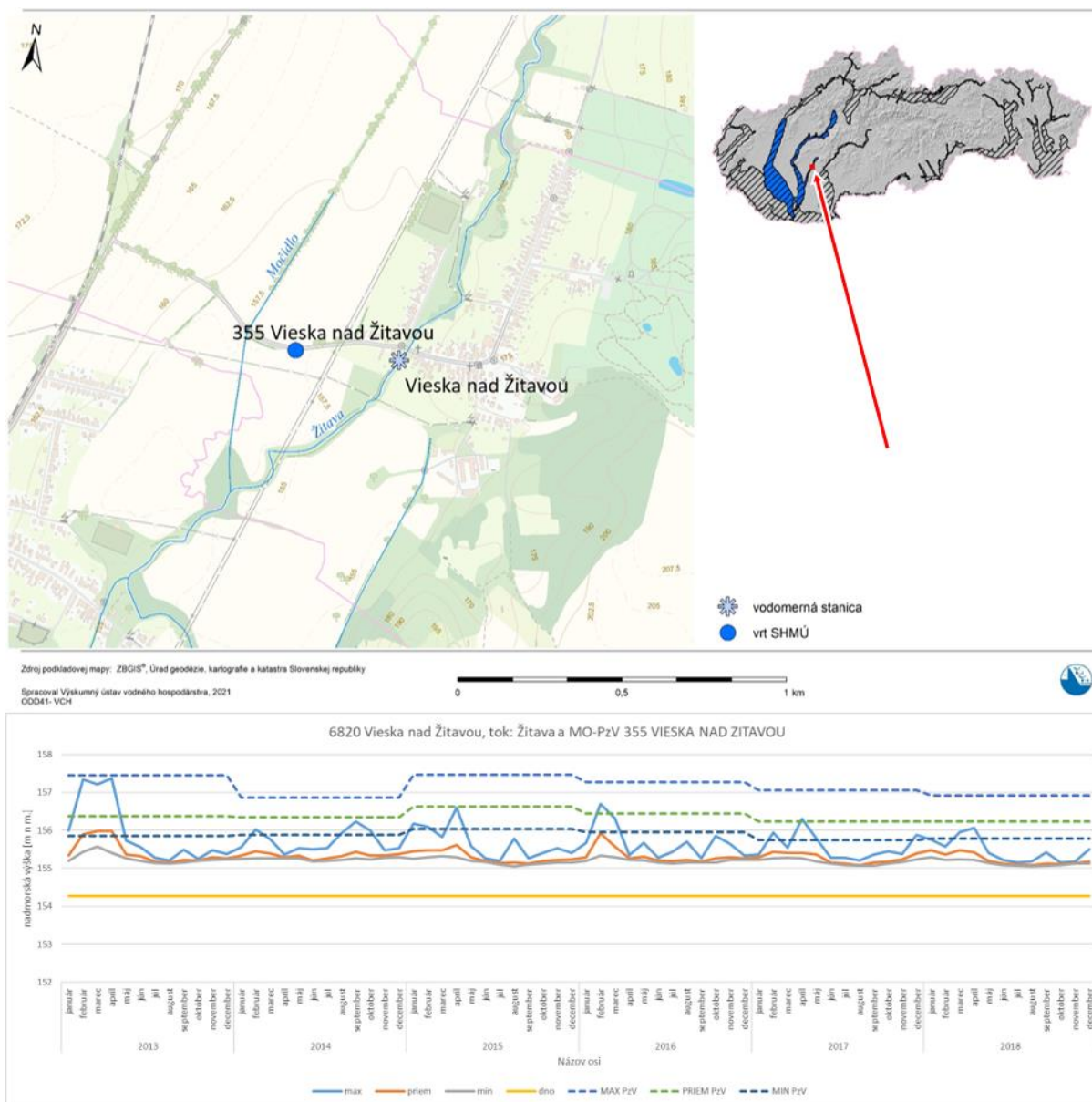




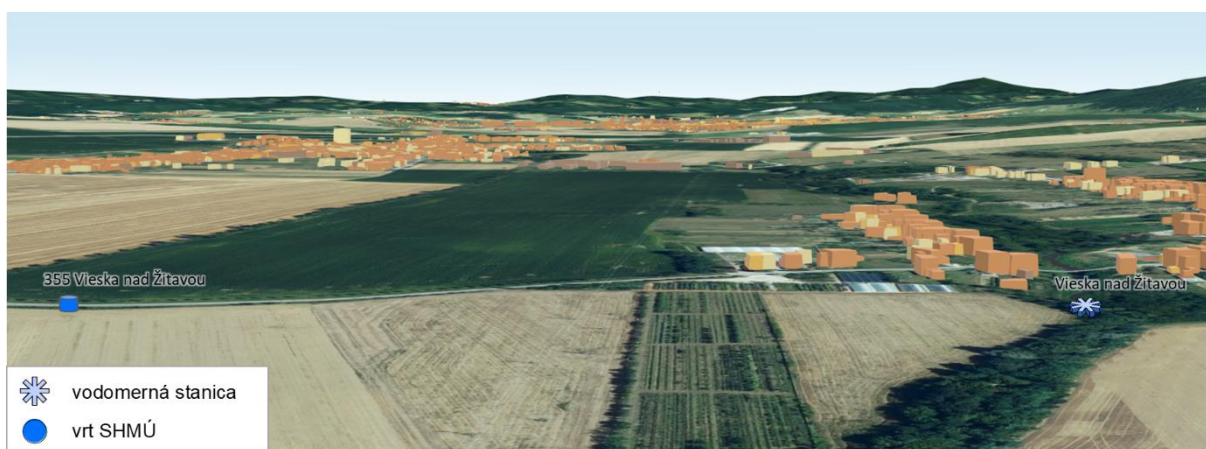
Obr. 27 Vodomerná stanica 6475 Hlohovec na toku Váh s blízkym monitorovacím objektom podzemnej vody (MO-PzV) 7710 Hlohovec vzdialených od seba cca 80 m. Dolu graf priebehu úrovne mesačnej hladiny povrchovej vody vo vodomernej stanici (plná čiara) a úrovne ročnej hladiny podzemnej vody v MO-PzV (prerušovaná čiara).



Obr. 28 3D-lokalizácia MO-PzV 7710 Hlohovec a vodomernej stanice 6475 Hlohovec vzdialených od seba cca 80 m (zdroj: zbgis.geolog.sk).

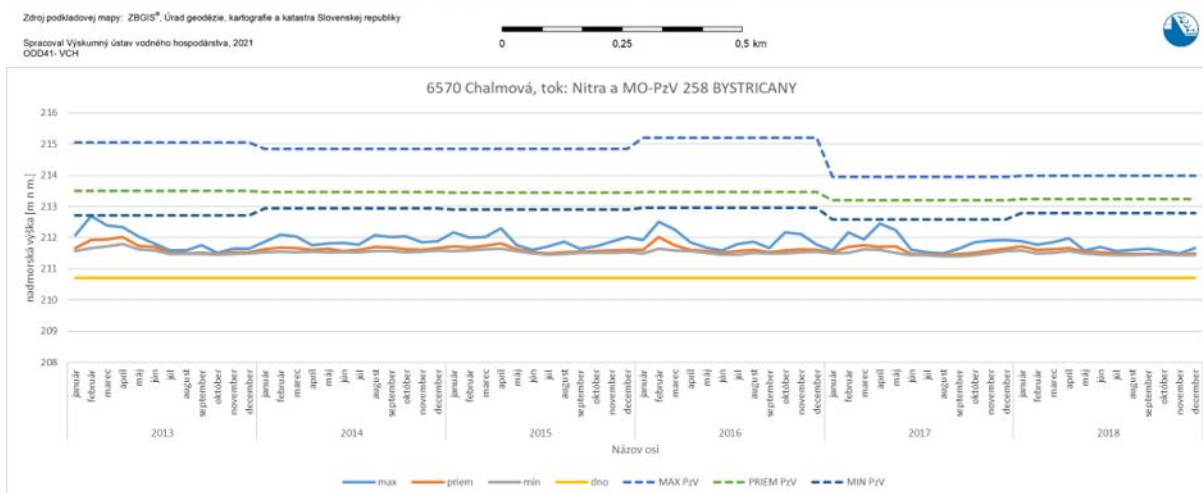
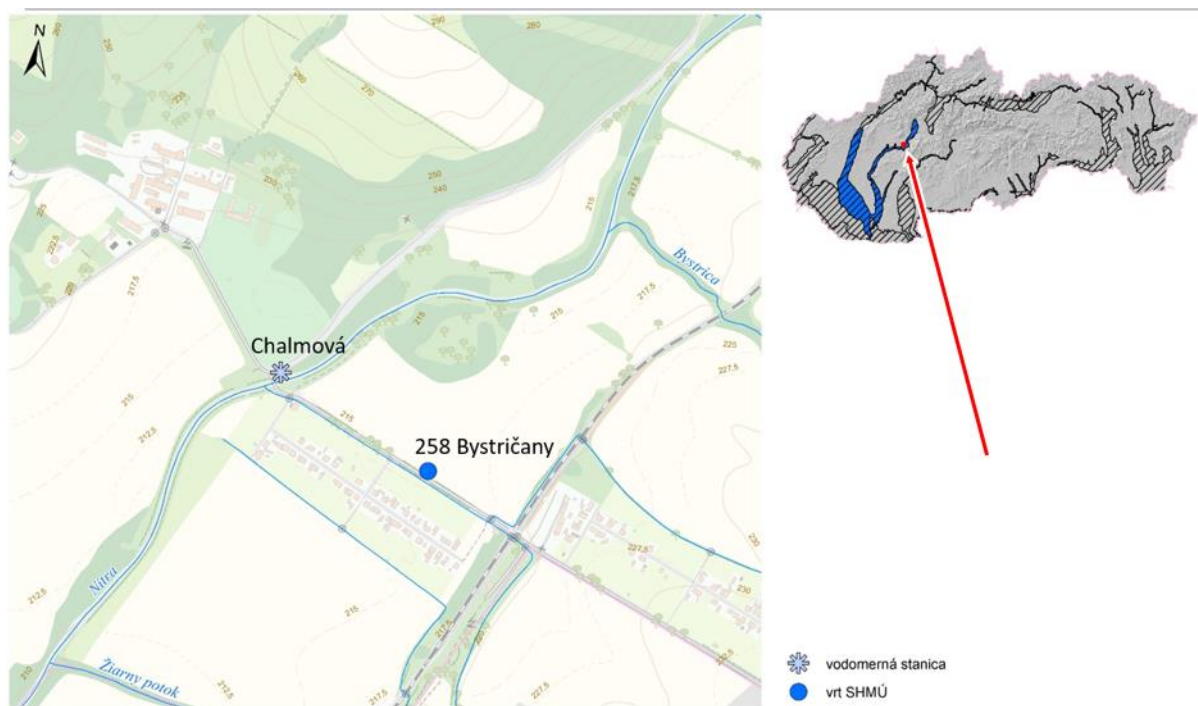


Obr. 29 Vodomerňa stanica 6820 Vieska nad Žitavou na toku Žitava s blízkym monitorovacím objektom podzemnej vody (MO-PzV) 355 Vieska nad Žitavou vzdialených od seba cca 315 m. Dolu graf priebehu úrovne mesačnej hladiny povrchovej vody vo vodomernej stanici (plná čiara) a úrovne ročnej hladiny podzemnej vody v MO-PzV (prerušovaná čiara).



Obr. 30 3D-lokalizácia MO-PzV 355 Vieska nad Žitavou a vodomernej stanice 6820 Vieska nad Žitavou vzdialených od seba cca 315 m (zdroj: zbgis.geolog.sk).

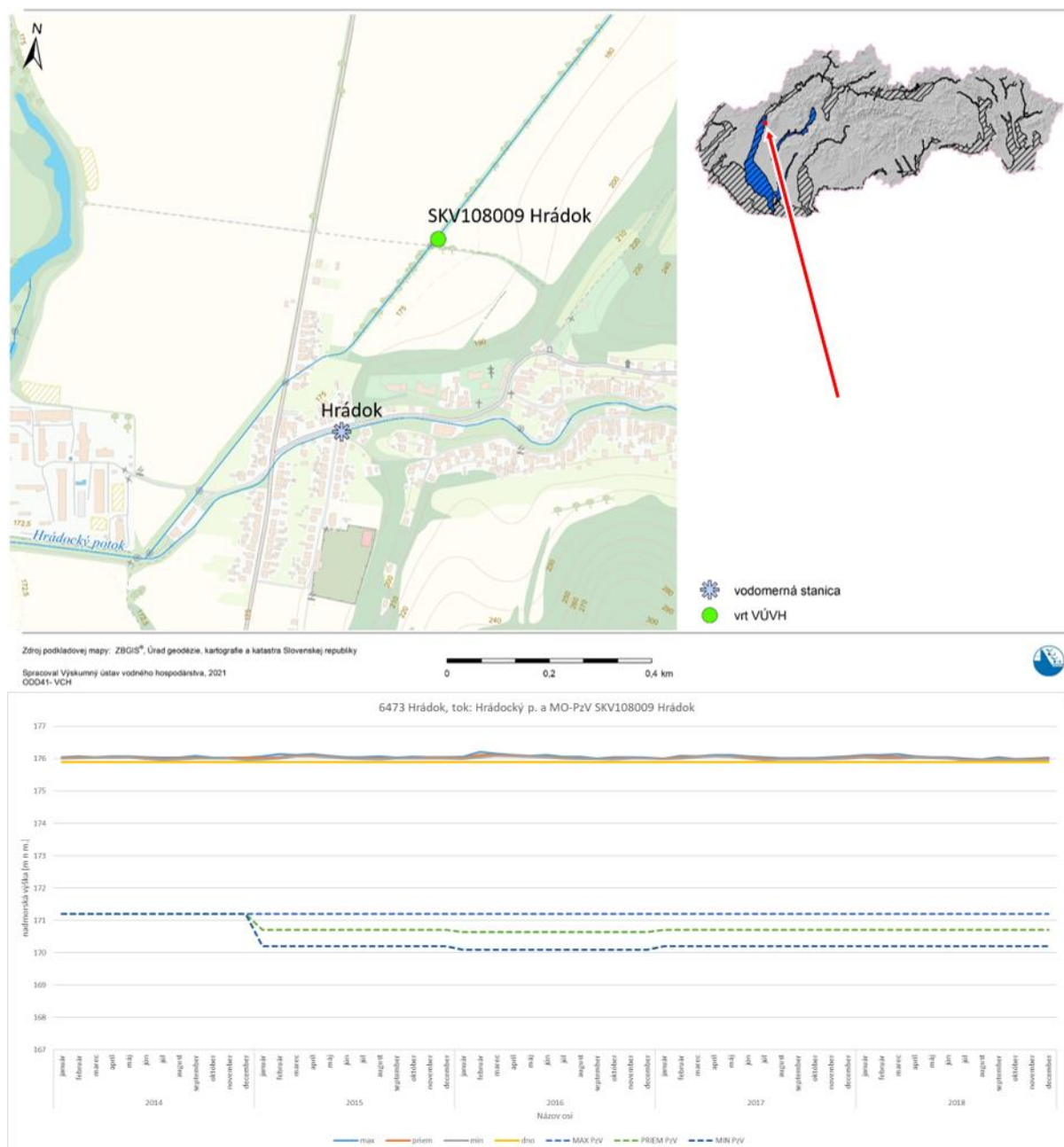




Obr. 31 Vodomerná stanica 6570 Chalmová na toku Nitra s blízkym monitorovacím objektom podzemnej vody (MO-PzV) 258 Bystričany vzdialených od seba cca 365 m. Dolu graf priebehu úrovne mesačnej hladiny povrchovej vody vo vodomernej stanici (plná čiara) a úrovne ročnej hladiny podzemnej vody v MO-PzV (prerušovaná čiara).



Obr. 32 3D-lokalizácia MO-PzV 258 Bystričany a vodomernej stanice 6570 Chalmová vzdialených od seba cca 365 m (zdroj: zbgis.geolog.sk).

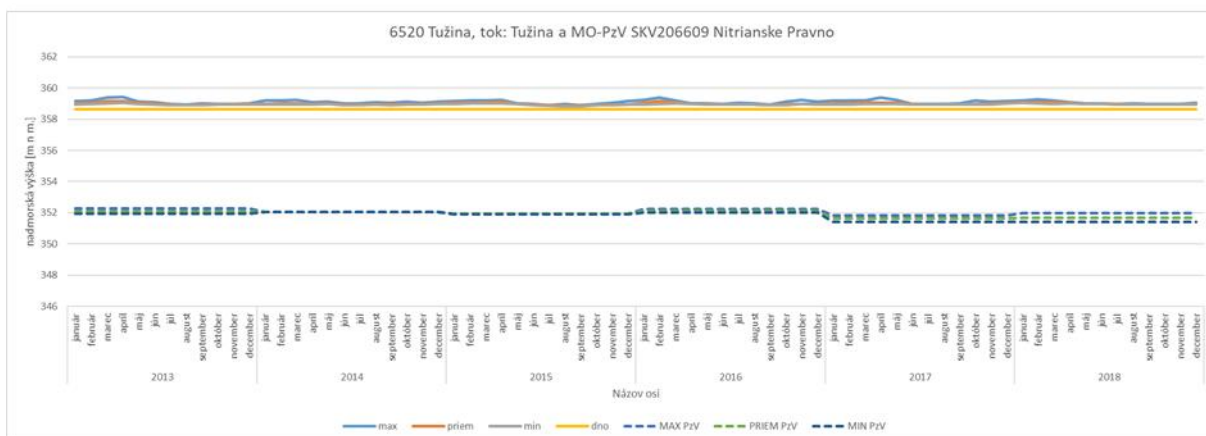
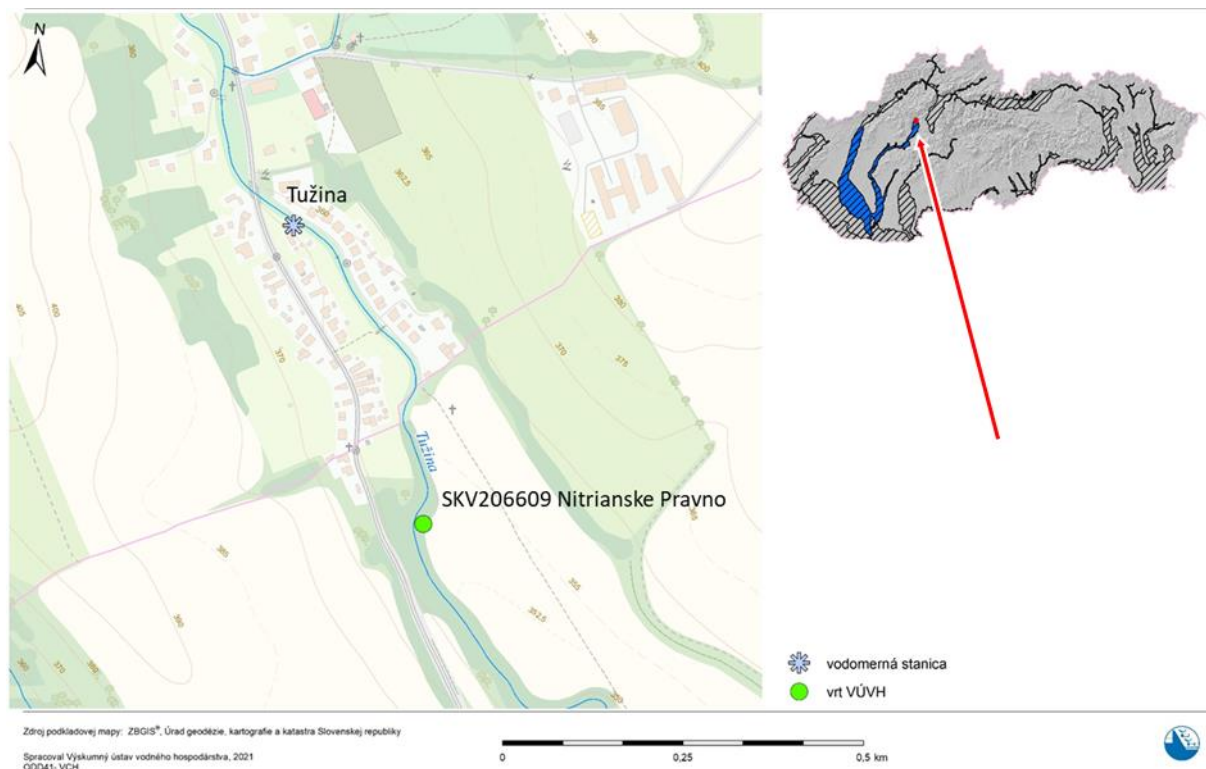


Obr. 33 Vodomerňá stanica 6473 Hrádok na toku Hrádokský potok s blízkym monitorovacím objektom podzemnej vody (MO-PzV) SKV108009 Hrádok vzdialených od seba cca 400 m. Dolu graf priebehu úrovne mesačnej hladiny povrchovej vody vo vodomernej stanici (plná čiara) a úrovne ročnej hladiny podzemnej vody v MO-PzV (prerušovaná čiara).



Obr. 34 3D-lokalizácia MO-PzV SKV108009 Hrádok a vodomernej stanice 6473 Hrádok vzdialených od seba cca 400 m (zdroj: zbgis.geolog.sk).





Obr. 35 Vodomerná stanica 6520 Tužina na toku Tužina s blízkym monitorovacím objektom podzemnej vody (MO-PzV) SKV206609 Nitrianske Pravno vzdialených od seba cca 450 m. Dolu graf priebehu úrovne mesačnej hladiny povrchovej vody vo vodomernej stanici (plná čiara) a úrovne ročnej hladiny podzemnej vody v MO-PzV (prerušovaná čiara).



Obr. 36 3D-lokalizácia MO-PzV SKV206609 Nitrianske Pravno a vodomernej stanice 6520 Tužina vzdialených od seba cca 450 m (zdroj: zbgis.geolog.sk).

## Záver

Cieľom úlohy bola identifikácia útvarov podzemných vôd, od ktorých sú priamo závislé útvary povrchových vôd, ktorá vyplýva zo splnenia požiadaviek RSV podľa prílohy II. V rámci úlohy bol vyvinutý metodický postup pozostávajúci zo skríningu na určenie hydraulického vzťahu medzi útvarmi povrchových vôd a útvarmi podzemných vôd a následnou identifikáciu priamo závislých útvarov povrchových vôd pomocou vybraných kritérií.

V prvom kroku boli priradené útvary povrchových vôd k útvarom podzemných vôd. V druhom kroku bola pomocou GIS analýzy údajov z hydrogeologickej mapy a mapy koeficientov filtrácie reklasifikáciou 3 parametrov: litologického typu hornín, horninové zastúpenie a typ priepustnosti horninového prostredia a koeficienty filtrácie vytvorená mapa priepustnosti prostredia, ktorá charakterizuje hydraulický vzťah medzi povrchovou a podzemnou vodou.

Skríning bol vykonaný pre všetkých 1 349 útvarov povrchových vôd rozdelených na prirodzené (77 %), výrazne zmenené (20 %) alebo umelé (3%) vodné útvary, ktoré prislúchajú k 16 kvartérnym a k 58 predkvartérnym útvarom podzemných vôd. Výsledky analýzy dokumentujú, že v kvartérnych útvaroch podzemných vôd prechádza približne 3 136 km (93,2 %) prirodzených ÚPoV cez priepustné prostredie, 112 km (3,3 %) prirodzených ÚPoV cez menej priepustné prostredie a 116 km (3,4 %) prirodzených ÚPoV cez nepriepustné prostredie. Cez predkvartérne útvary podzemných vôd prechádza približne 937 km (9,4 %) prirodzených ÚPoV cez priepustné prostredie, 3 347 km (33,5 %) prirodzených ÚPoV cez menej priepustné prostredie, 3 438 km (34,4 %) prirodzených ÚPoV cez nepriepustné prostredie a 2 276 km (22,8 %) prirodzených ÚPoV sa nachádza v nevymedzenom kvartéri, kde je potrebný pre hodnotenie hydraulickej spojitosti s predkvartérnym ÚPzV individuálny prístup a detailnejšia analýza. Podrobnejšie výsledky skríningu pre jednotlivé prirodzené ÚPoV sa nachádzajú v Prílohe I, pre jednotlivé výrazne zmenené ÚPoV v Prílohe II a pre jednotlivé umelé ÚPoV v Prílohe III., kde sú uvedené menovite útvary povrchových vôd ako aj dĺžky ich segmentov.

Následne na základe výsledkov analýzy skríningu boli vytvorené charakteristiky vzťahov jednotlivých útvarov povrchových a podzemných vôd. Na vytvorenie zoznamu útvarov podzemných vôd, od ktorých sú priamo závislé útvary povrchových vôd, boli kvôli časovej náročnosti a zložitosti riešenia posúdené len prirodzené útvary povrchových vôd. Výrazne zmenené a umelé vodné útvary si vyžadujú podrobnejšiu analýzu, a preto neboli v tejto fáze spracované. V tejto fáze analýzy boli hodnotené len segmenty ÚPoV, ktoré prechádzali priepustným prostredím. Segmenty ÚPoV, ktoré prechádzali menej priepustným prostredím, kde je len znížená pravdepodobnosť interakcie, nie je však vylúčená neboli zatiaľ posudzované. Tieto segmenty si vyžadujú ďalšiu pozornosť a podrobnejšiu analýzu, aby sa vedelo určiť, či naozaj aj v týchto segmentoch dochádza k interakcii medzi povrchovou a podzemnou vodou.

Celkovo bolo analyzovaných 5 568 segmentov prirodzených útvarov povrchových vôd, pre ktoré bola na základe priepustnosti prostredia zhodnotená hydraulická spojitosť s útvarom podzemnej vody. Zvolené kritéria spĺňalo 1 410 segmentov ÚPoV s dĺžkou takmer 4 000 km, ktoré sa nachádzali v 751 častiach ÚPoV rozdelené z 626 ÚPoV.

Výstupom riešenia úlohy je zoznam identifikovaných útvarov podzemných vôd, od ktorých sú priamo závislé prirodzené útvary povrchových vôd (Príloha IV). Najviac závislých častí ÚPoV (302) ako aj dĺžky segmentov ÚPoV (3388,3 km) je kvartérnych útvaroch podzemných vôd s medzizrnovou priepustnosťou. Pri porovnaní predkvartérnych ÚPzV je najviac závislých častí ÚPoV (113) v ÚPzV s krasovo-puklinovou priepustnosťou s celkovou dĺžkou 301 km segmentov v priepustnom prostredí a najväčší súčet segmentov ÚPoV (375,3 km) v priepustnom prostredí je v ÚPzV s medzizrnovou priepustnosťou s počtom 98 závislých častí ÚPoV.

Tento zoznam je len orientačný a slúži na prvé zhodnotenie charakterizácie vzťahov podzemnej a povrchovej vody. Pri tomto hodnotení nebola braná do úvahy možná kolmatácia riečného dna, ktorá aj napriek priepustnému prostrediu neumožňuje hydraulickú spojitost podzemnej a povrchovej vody, a preto tento zoznam nemožno považovať za definitívnu verziu. Podrobnejšia analýza je plánovaná v ďalšej fáze riešenia problematiky interakcie podzemnej a povrchovej vody v rámci aktualizácie PMP, v rámci ktorej navrhujeme riešiť zistené nedostatky identifikované prvotnou analýzou riešenia, kde by už bola v prípade dostatku kvalitných údajov braná do úvahy aj kolmatácia dna určená priamo alebo nepriamo. Dôležitou úlohou bude aj preskúmať niektoré segmenty ÚPoV priamo v teréne, keďže bez vizuálnej a osobnej prehliadky môže dôjsť k prehliadnutiu dôležitých informácií, ktoré nie je možné zistiť z máp.

Pre bližšiu charakterizáciu útvaru podzemnej vody, konkr. doplnenia informácií o odhadoch smerov výmeny vody medzi útvarom podzemnej vody a súvisiacimi povrchovými útvarmi, bol ako pilotný útvar podzemnej vody vybratý SK1000400P – *Medzizrnové podzemné vody kvartérnych náplavov dolného toku Váhu*, kde bolo k dispozícii najviac (22) vodomerných staníc na 14 tokoch, z toho pri 20 vodomerných staniach bolo 39 monitorovacích objektov podzemnej vody do vzdialenosti 2,5 km, ktoré boli vhodné na analýzu s cieľom preskúmať smer interakcie podzemnej a povrchovej vody. V tomto prípade sme nezohľadňovali typ povrchových vôd. Pri väčšine analyzovaných objektov bola úroveň podzemnej vody vyššia ako úroveň hladiny povrchovej vody, čo indikuje dotáciu povrchovej vody podzemnou vodou.

Pri riešení problematiky interakcie podzemnej a povrchovej vody sme zistili mnohé nedostatky a limitácie ohľadom dostupnosti údajov a pod, preto súčasťou aktualizácie metodiky v ďalšom cykle prípravy PMP bude i zahrnutie nových a podrobnejších informácií do hodnotenia interakcie.

## Zoznam použitej literatúry

Blaschke, A. P., Steiner, K. H., Schmalfuss, R., Gutknecht, D., & Sengschmitt, D., 2003. Clogging processes in hyporheic interstices of an impounded river, the Danube at Vienna, Austria. *International Review of Hydrobiology: A Journal Covering all Aspects of Limnology and Marine Biology*, 88(3-4), 397-413.

Brkić, Ž., Kuhta, M., Larva, O., & Gottstein, S., 2019. Groundwater and connected ecosystems: An overview of groundwater body status assessment in Croatia. *Environmental Sciences Europe*, 31(1), 1-20.

Dahl, M., Nilsson, B., Langhoff, J. H., & Refsgaard, J. C., 2007. Review of classification systems and new multi-scale typology of groundwater-surface water interaction. *Journal of Hydrology*, 344(1-2), 1-16.

<http://www.gabcikovo.gov.sk/old.gabcikovo.gov.sk/doc/green/sk/Kapitola6.html>

<https://www.geoportal.sk/sk/udaje/lis-dmr/>

Fendeková, M. et al. 1997. Základy hydrogeológie. Vysokoškolské skriptá, Bratislava, Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského v Bratislave.

Gierke, J.S., 2002. Michigan Tech, Engineering Applications in the Earth Sciences: River Velocity. Dostupné z: [http://www.cee.mtu.edu/peacecorps/resources/use\\_of\\_manning\\_equation\\_for\\_measuring\\_river\\_velocity.pdf](http://www.cee.mtu.edu/peacecorps/resources/use_of_manning_equation_for_measuring_river_velocity.pdf)

Hamar Zsidedková, B., Chudoba, V., Patschová, A., Bubeníková, M., Ščerbáková, S., Rajczykova, E., 2020. Hodnotenie chemického stavu kvartérnych a predkvartérnych útvarov podzemných vôd - Test zhoršenia chemického a ekologického stavu súvisiacich útvarov povrchových vôd v dôsledku prieniku znečisťujúcich látok z útvarov podzemných vôd. Správa k úlohe č. 10063, Bratislava, Výskumný ústav vodného hospodárstva.

Hoehn, E., 1998. Solute exchange between river water and groundwater in headwater environments. *International Association of Hydrological Sciences, Publication*, 248, 165-172.

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



Jetel, J. 1973. Logický systém pojmov – základní podmínka formalizace a matematizace v hydrogeologii. *Geologický průzkum*, vol. 15 (1): 13-17.

Kelčík, S., Kullman, E., Brezianská, K., Danáčová, Z., Lovásová, E., 2020. Interakcia podzemných a povrchových vôd z hľadiska kvantity – aktualizácia. Správa, Bratislava, Výskumný ústav vodného hospodárstva.

Khan, Haris Hasan, et al., 2019. Groundwater and surface water interaction. In: *GIS and Geostatistical Techniques for Groundwater Science*, Edited by Senapathi Venkatramanan. Prasanna Mohan Viswanathan Sang Yong Chung, Elsevier, 197-207.

Krčmář, D., 2012. Modelovanie interakcie povrchových a podzemných vôd. *Podzemná voda*, XVII, 1/2012, 1-13.

Malík P., Švasta, J., Černák, R., Lenhardtová, E., Bačová, N., Remšík, A., 2013. Kvantitatívne a kvalitatívne hodnotenie útvarov podzemnej vody. Prípravná štúdia, časť I. – Doplnenie hydrogeologickej charakterizácie útvarov podzemnej vody vrátane útvarov geotermálnej vody. Bratislava, Štátny geologický ústav Dionýza Štúra.

Manning, R., 1895. On the flow of Water in Open Channels and Pipes. *Transactions Institute of Civil Engineers of Ireland*, 20, 161-209, Dublin, 1891, Supplement, 24, 179-207.

<sup>1</sup> Melioris, L., Mucha, I., Pospíšil, P., 1986. Podzemná voda-metódy výskumu a prieskumu. Alfa.

Ministerstvo životného prostredia Slovenskej Republiky, 2022. Vodný Plán Slovenska, Plán manažmentu správneho územia povodia Dunaja, Plán manažmentu správneho územia povodia Visly, Aktualizácia. Ministerstvo životného prostredia Slovenskej Republiky. Dostupné z: <https://www.minzp.sk/voda/vodny-plan-slovenska/>

Mucha, I. Šestakov, V.M. 1987. *Hydraulika podzemných vôd*. Vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry Bratislava str. 13.

Némethy, P. 1997. Kolmatácia koryta rieky – významný činiteľ pri dopĺňaní podzemnej vody. *Podzemná voda*, ISSN 1335- 1052, 3(2), 70-75.

Rudnick S., 2018.. Hydrological modelling of a catchment supported by the discharge of treated wastewater - A comparison of two model concepts (dissertation thesis). Humboldt-Universität zu Berlin, p. 139.

Schubert, J., 2002. Hydraulic aspects of riverbank filtration—field studies. *Journal of Hydrology*, 266(3-4), 145-161.

Smernica Európskeho parlamentu a Rady 2000/60/ES z 23. októbra 2000, ktorou sa stanovuje rámec pôsobnosti pre opatrenia spoločenstva v oblasti vodného hospodárstva, Ú. v. L 327/1, 22.12.2000, s. 275-346. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/?uri=celex:32000L0060>

Sophocleous, M., 2002. Interactions between groundwater and surface water: the state of the science. *Hydrogeology journal*, 10(1), 52-67.

Šajgalík, J., Čabalová, D., Schiitznerová, V., Šamálíková, M., Zeman, O., 1986. *Geológia*. ALFA Bratislava, SNTL Praha, 563 s.

Winter, T. C., Harvey, J. W., Franke, O. L., & Alley, W. M., 1998. Ground water and surface water: a single resource. DIANE Publishing Inc.

Woessner, W. W., 1998. Changing views of stream-groundwater interaction. In: *Proceedings of American Institute of Hydrology/International Association of Hydrologists XXVIII Congress: Gambling with Groundwater, Physical, Chemical and Biological Aspects of Aquifer-Stream Relationships* St. Paul, MN, 1-6.

Woessner, W. W., 2000. Stream and fluvial plain ground water interactions: rescaling hydrogeologic thought. *Groundwater*, 38(3), 423-429.