

IDENTIFIKÁCIA ÚTVAROV PODZEMNÝCH VÔD, OD KTORÝCH SÚ PRIAMO ZÁVISLÉ ÚTVARY POVRCHOVÝCH VÔD

IDENTIFICATION OF GROUNDWATER BODIES FOR WHICH ARE DIRECTLY DEPENDENT SURFACE WATER BODY

Vladimír Chudoba, Anna Patschová

ABSTRACT

The concept of water protection, according to the legislative requirements of the Water Framework Directive (WFD, 2000/60/EC), is based on the fulfilment of the environmental objectives, which include initial characterisation of all groundwater bodies. Member states may identify those groundwater bodies for which there are directly dependent surface water ecosystems. Before the identification itself, it was necessary to evaluate the hydraulic relationship between groundwater and surface water which was performed by a screening that included 1 349 surface water bodies, 16 quaternary groundwater bodies and 58 pre-Quaternary groundwater bodies. The screening process took into account individual geological formations represented by 3 parameters – underlying stratum, permeability and hydraulic conductivity. Each of the parameters was scored according to its water permeability. Subsequently, the individual points were added up. For the determination of possible interaction between surface water and groundwater the final scores were reclassified into 4 classes of interaction. Due to the complexity of heavily modify and artificial water bodies, only natural surface water bodies were taken into account. Therefore if the part of natural surface water body in first class of interaction were found in groundwater body, this part was identified as directly dependent surface water body for given groundwater body.

KEY WORDS

Water Framework Directive, interaction, surface water body, groundwater body

KEÚČOVÉ SLOVÁ

Rámcová smernica o vode, interakcia, útvar povrchovej vody, útvar podzemnej vody

ÚVOD

Jednou z požiadaviek rámcovej smernice o vode (smernica 2000/60/ES, ďalej len RSV) je vykonať charakteristiku správneho územia povodia a zhodnotenia dopadu ľudskej činnosti na podzemnú vodu podľa požiadaviek uvedených v prílohe II a III. Charakterizácia musí obsahovať úvodný popis všetkých útvarov podzemných vôd nevyhnutný pre zhodnotenie ich využívania a miery rizika, že nespĺnia ciele, ktoré sú stanovené pre útvary podzemných vôd. Súčasťou úvodného popisu je aj požiadavka určiť tie útvary podzemnej vody, od ktorých sú priamo závislé ekosystémy povrchových vôd alebo suchozemské ekosystémy (príloha II 2.1. RSV).

Nakoľko v usmerňujúcich dokumentoch nie je definovaný konkrétny postup pre identifikovanie útvarov podzemných vôd, od ktorých sú priamo závislé ekosystémy povrchových vôd bolo potrebné vytvoriť metodický postup pre identifikáciu na základe poznania a priradenie vzťahov medzi útvarmi povrchových vôd (ÚPoV) a útvarmi podzemných vôd (ÚPzV).

Podzemná voda a povrchová voda nie sú izolované súčasti hydrologického ekosystému, ale sa vzájomne ovplyvňujú. Hoci tradične sa výskum zameriava buď len na povrchovú alebo len na podzemnú vodu, keďže sú samostatnými ekosystémami, je nevyhnutné poznať aj vzťah medzi týmito ekosystémami, nakoľko stav povrchových vôd môže spôsobiť zhoršenie stavu

Mgr. Vladimír Chudoba, PhD., RNDr. Anna Patschová, PhD.

Výskumný ústav vodného hospodárstva, Oddelenie hodnotenia podzemných vôd, Nábr. arm. gen. L. Svobodu 5, 812 49 Bratislava, vladimir.chudoba@vuvh.sk, anna.patschova@vuvh.sk

podzemných vôd a naopak stav podzemnej vody môže zhoršiť stav povrchovej vody (Dahl et al., 2007; Krčmář, 2012; Sophocleous, 2002; Winter et al., 1998). Tento vzťah nie je ale jednoduché identifikovať.

Hydraulický vzťah medzi podzemnou a povrchovou vodou sa dá podľa Meliorisa (1986) okrem iného určiť aj z hydroizohýps. Takúto mapu pre celé Slovensko nemáme spracovanú, keďže pre vytvorenie takýchto podrobných hydroizohýps je potrebné mať hustú pozorovaciu sieť, čo nie je pre celé územie Slovenska možné.

Navrhnúť postup pre identifikovanie útvarov podzemnej vody, od ktorých sú priamo závislé ekosystémy povrchovej vody vzhľadom na počet útvarov povrchových a podzemných vôd, využitie množstva dostupných dát pre celé Slovensko a podrobnosť hodnotenia, vytvára robustný systém hodnotenia, ktorý si vyžadoval čo možno najväčšiu mieru automatizácie riešenia, s minimalizáciou expertných vstupov.

V tomto článku sa budeme venovať prvotnej charakterizácii hydraulických vzťahov povrchovej a podzemnej vody, pomocou skrínungu založenom na kritériu priepustnosti prostredia. Pri tomto skrínungu sa nezohľadňoval smer prúdenia vody v rámci predpokladanej interakcie, pretože tento proces je podmienený viacerými faktormi, ktoré nebolo možné v tejto prvotnej fáze automatizovať (Hoehn, 1998, Woessner, 1998, 2000).

Do skrínungu vstupovalo 1349 ÚPoV, ktoré boli priradené k útvarom podzemných vôd (ÚPzV) – 16 kvartérnych ÚPzV a 58 predkvartérnych ÚPzV (keďže sme vychádzali z predpokladu, že v priamej hydraulickej súvislosti s povrchovými vodami môže byť prvý zvodnený horizont, tak predkvartérny ÚPzV SK2000500P – *Medzizrnové podzemné vody južnej časti Podunajskej panvy* nie je zahrnutý do tejto analýzy, pretože je celý prekrytý kvartérnymi útvarmi podzemných vôd ako aj 31 geotermálnych ÚPzV neboli hodnotené pre ich prakticky žiadnu, resp. minimálnu súvislosť s povrchovými vodami.

Na základe hydrogeologickej mapy 1 : 200 000 (2008) ako aj mapy distribúcie hodnôt koeficientu filtrácie 1 : 200 000 (Malík et al., 2013), bol vytvorený bodovací systém priepustnosti prostredia, ktorý vstupoval ako hodnotiace kritérium pre skrínung a vďaka ktorému bolo možné zhodnotiť hydraulický vzťah medzi povrchovou a podzemnou vodou. Následne na základe výsledkov skrínungu sme pomocou určených kritérií identifikovali útvary podzemných vôd, od ktorých sú priamo závislé útvary povrchových vôd.

METODICKÝ POSTUP

Prvým krokom bola analýza dostupných údajov, ktoré je možné využiť pri identifikácii útvarov

podzemnej vôd, od ktorých sú priamo závislé útvary povrchových vôd. Na základe existujúcich poznatkov o hydraulickej spojitosti podzemných a povrchových vôd, sme vychádzajúc z analyzovaných dostupných údajov, ktoré vstupujú do hodnotenia interakcie medzi útvarom povrchovej vody a útvarom podzemnej vody, rozdelili postup do 4 častí. Postup je znázornený na schéme obr. 1.

- Zhodnotenie hydraulického vzťahu medzi podzemnou a povrchovou vodou. Pre tento účel bola zvolená metóda skrínungu, t. j. preveriť požadované vlastnosti (spravidla na veľkom počte preverovaných objektov stále rovnakým spôsobom):
 - Pomocou GIS analýzy a expertného posúdenia priradiť časti ÚPoV k jednotlivým prislúchajúcim ÚPzV – aby boli vytvorené objekty samotného skrínungu.
 - Vytvoriť podkladovú mapu hodnotenia priepustnosti prostredia na priradenie vlastnosti objektom skrínungu, ktorá pozostáva z parametrizácie podkladových máp s následným obodovaním priepustnosti.
- Identifikácia útvarov podzemných vôd, od ktorých sú priamo závislé útvary povrchových vôd, na základe zhodnotenia hydraulického vzťahu skrínungom.

VÝSLEDKY

Hodnotenie hydraulického vzťahu

Hodnotenie hydraulického vzťahu metódou skrínungu bolo uskutočnené podľa vybraného kritéria, ktorým bola priepustnosť založená na 3 parametroch a priradenia hodnoty / skóre priepustnosti. Aby bolo možné vykonať samotný skrínung, bolo potrebné najskôr priradiť jednotlivé útvary povrchovej vody k útvaru podzemnej vody:

Priradenie útvaru povrchovej vody k útvaru podzemnej vody

Útvary povrchových vôd sa členia na prirodzené vodné útvary (1 035, resp. 77 % zo všetkých 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 a umelé vodné útvary (53, resp. 3 % ÚPoV), ktoré sú vytvorené ľudskou činnosťou.

Vzhľadom k tomu, že ÚPoV predstavujú líniové útvary, ktoré môžu prechádzať aj viacerými ÚPzV boli tieto útvary rozdelené na menšie časti podľa prislúchajúcich ÚPzV, a takto vzniklo 1 760 častí prirodzených vodných útvarov, 486 častí výrazne

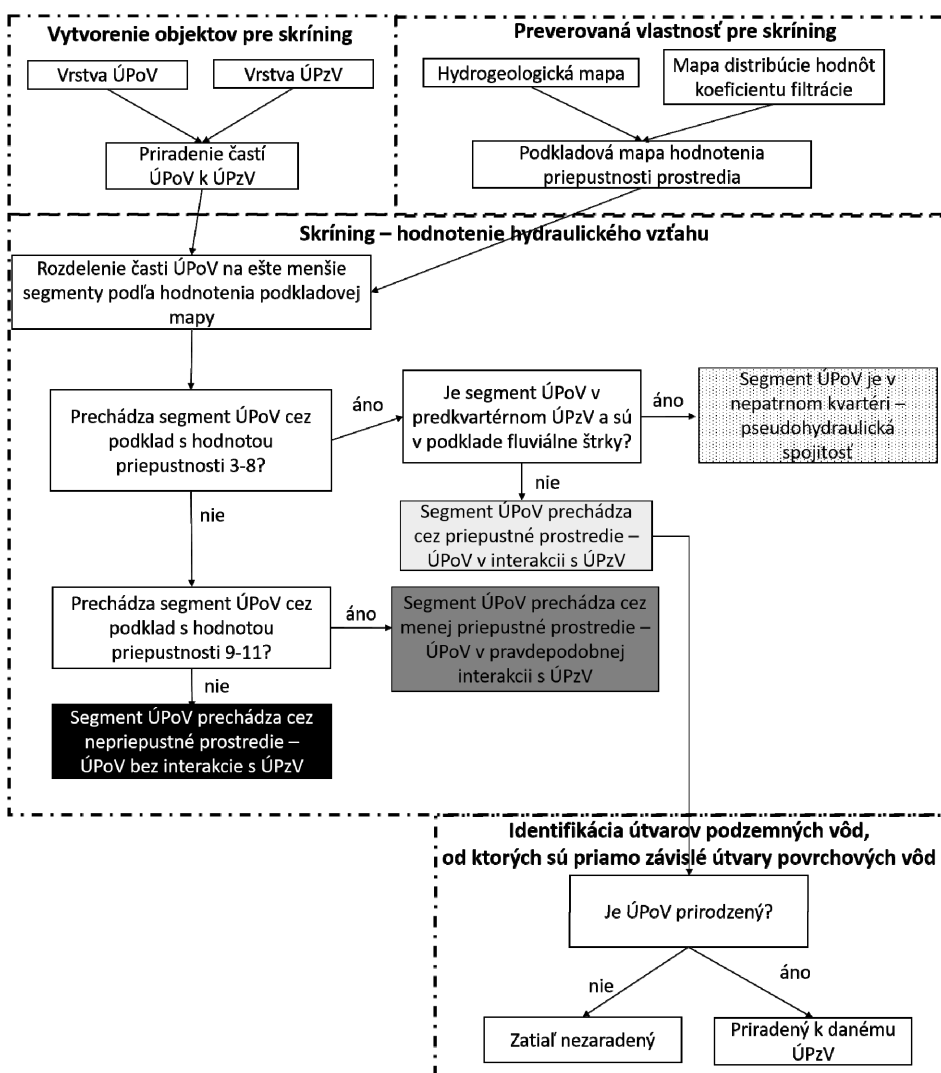
zmenených vodných útvarov a 72 častí umelých vodných útvarov, ktoré bolo možné priradiť ÚPzV. Celkovo vzniklo 2318 priradených častí ÚPoV – unikátnych dvojíc ÚPoV s ÚPzV.

Hodnotenie priepustnosti prostredia

Z hydrogeologickej mapy (2008) boli využité 2 parametre, ktorým boli pridelené body z hľadiska schopnosti priepustnosti prostredia, ktorá je podmienkou pre hydraulickú súvislosť povrchových a podzemných vôd. Prvý parameter vznikol reklasifikáciou informácie o litologickom type hornín

(tab. 1), druhý parameter reklasifikáciou informácie o type priepustnosti horninového prostredia (tab. 2). Tretí parameter bol vytvorený z mapy distribúcie koeficientu filtrácie (Malík et al., 2013). Celkový rozsah hodnôt koeficientov filtrácie bol zatriedený do 5 skupín podľa dostupných podkladov (Fendeková et al., 1995; Jetel, 1973). Jednotlivým skupinám boli priradené body priepustnosti (tab. 3).

V rámci reklasifikácie vo všeobecnosti platí, čím menšia je hodnota parametra, tým má prostredie lepšie priepustné vlastnosti.



Obr. 1 Metodický postup pre prvotný skrining na hodnotenie hydraulického vzťahu medzi útvarom podzemnej vody (ÚPzV) a súvisiacim útvarom povrchovej vody (ÚPoV) a identifikáciu ÚPzV, od ktorých sú priamo závislé ÚPoV. Hodnoty priepustnosti podkladovej mapy vychádza z tab. 4. Pojem „nepatrný kvartér“ charakterizuje kvartér aluviálnych a deluviálnych náplavov malých tokov v horských a podhorských, bez väčšieho vodo hospodárskeho významu. (Poznámka: niektoré ÚPoV boli priradené k daným ÚPzV na základe doterajších poznatkov z hydrogeologických prieskumov a nie len podľa tejto schémy).

Fig. 1 Methodological procedure for initial screening to identify the determine the expected interaction between a groundwater body (ÚPzV) and a related surface water body (ÚPoV) and identification those groundwater bodies for which there are directly dependent surface. Hydraulic score is based on tab. 4.

Tab. 1 Priradenie bodov priepustnosti prvého parametra na základe skupiny hornín.

Tab. 1 Assignment of permeability scores of the first parameter based on the underlying stratum.

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

Tab. 2 Priradenie bodov priepustnosti druhého parametra na základe popisu priepustnosti.

Tab. 2 Assignment of permeability scores of the second parameter based on permeability description.

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

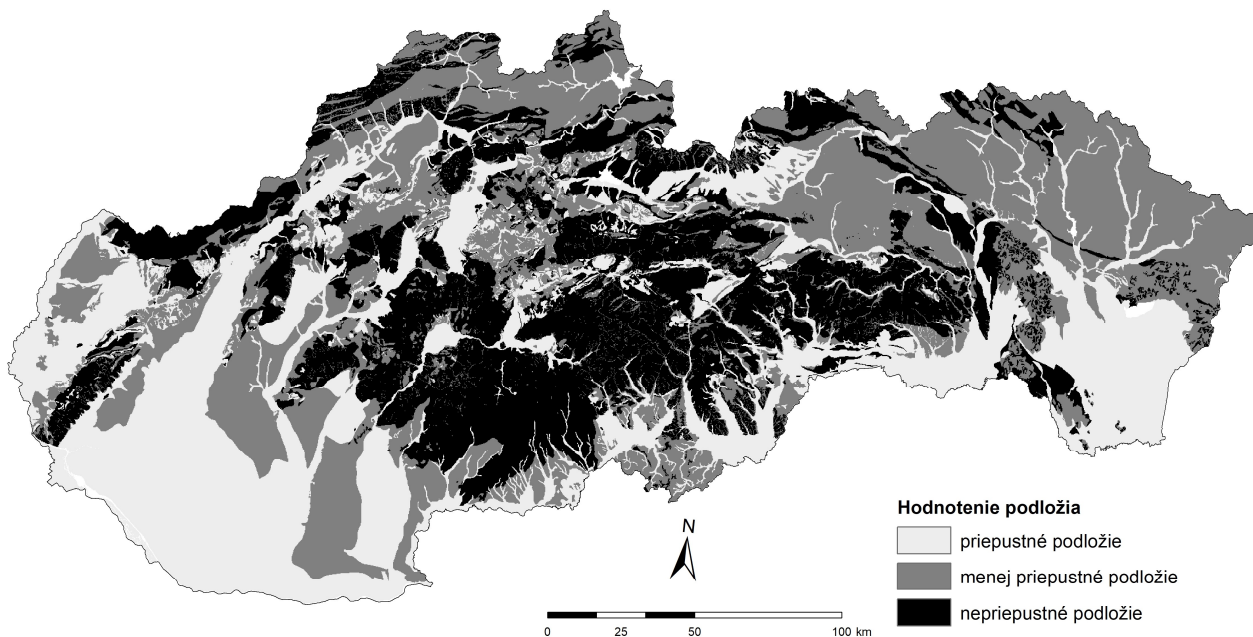
Tab. 3 Priradenie bodov priepustnosti tretieho parametra na základe koeficientu filtrácie.

Tab. 3 Assignment of permeability scores of the third parameter based on hydraulic conductivity.

body priepustnosti	priepustnosť	k (m.s ⁻¹)
1	dobre priepustné	$> 8 \cdot 10^{-4}$
2	stredne priepustné	$8 \cdot 10^{-4} - 8 \cdot 10^{-5}$
3	slabo priepustné	$8 \cdot 10^{-5} - 10^{-6}$
4	veľmi slabo priepustné	$10^{-6} - 10^{-7}$
5	nepriepustné	$< 10^{-7}$

Kombinácia parametrov

Finálne hodnotenie priepustnosti prostredia je suma všetkých troch parametrov, vrátane expertného posúdenia. Výsledná suma bodov v rozsahu 3 – 19 bola rozdelená do 3 skupín, ktoré odhadujú priepustnosť hornín s tým, že predpokladáme, že interakcia veľmi úzko závisí od priepustnosti horninového prostredia (tab. 4). Finálne hodnotenie priepustnosti horninového prostredia v rámci SR dokumentuje obr. 2.



Obr. 2 Mapové zobrazenie finálneho hodnotenia priepustnosti prostredia podľa tab. 4.
Fig. 2 Map distribution of the final permeability scores based on tab. 4.

Tab. 4 Predpoklad hydraulického vzťahu vzhľadom na hodnotenie priepustnosti prostredia.

Tab. 4 Assignment of hydraulic scores of the third parameter based on hydraulic conductivity.

body priepustnosti	hodnotenie prostredia	hydraulický vzťah ÚPoV s ÚPzV
3 – 8	priepustné	interakcia
9 – 11	menej priepustné	pravdepodobná interakcia
12 – 19	nepriepustné	bez interakcie

Stanovenie hydraulického vzťahu útvarov povrchových vôd s útvarmi podzemných vôd

Jednotlivé časti ÚPoV sú rozdelené na ešte menšie úseky tzv. segmenty podľa toho ako prechádzali cez rôzne kategórie priepustnosti prostredia. Jedna časť ÚPoV mohla prechádzať viacerými typmi prostredia.

Priepustné prostredie

Pri prechode segmentu ÚPoV cez horninové prostredie charakterizované ako priepustné so sumárnou hodnotou bodov priepustnosti v rozsahu 3 – 8 je vysoká pravdepodobnosť hydraulického 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. 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 však v skríningu nedá odhaliť, a preto je potrebné vytvoriť dodatočnú analýzu.
- Stavom a výškou hladiny podzemnej vody.
- Stupňom úpravy koryta povrchového toku.

Takéto hodnotenie si však vyžaduje ďalšie podrobnejšie analýzy.

Menej priepustné prostredie

Pri prechode segmentu ÚPoV cez horninové prostredie charakterizované ako menej priepustné so sumárnou hodnotou bodov priepustnosti v rozsahu 9 – 11 je hydraulická spojitosť podzemnej a povrchovej vody potenciálne možná, teda segment ÚPoV prechádzajúci cez menej priepustné prostredie je klasifikovaný ako útvar 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.

Nepriepustné prostredie

Pri prechode segmentu ÚPoV cez horninové prostredie charakterizované ako nepriepustné so sumárnou hodnotou bodov priepustnosti v rozsahu 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.

Priepustné prostredie – nepatrný kvartér

V prípade ak segment ÚPoV prechádza cez horninové prostredie charakterizované ako priepustné so sumárnou hodnotou bodov priepustnosti v rozsahu 3 – 8, ale sa zároveň nachádza v predkvartérnom ÚPzV, prechádza priepustným prostredím (podľa predloženej metódy) tvoreným fluvialnými štrkami malej mocnosti, prevažne maximálne do 3 m (ojedinele do 5 m), ide o špeciálny prípad nepatrného kvartéru, nakoľko ide o nevyhradené kvartérne sedimenty, ktoré z hľadiska zvodnenia ÚPzV nie sú významné, keďže podzemná voda v útvare je viazaná prioritne na predkvartérne horniny. Preto bol tento prípad dodatočne vyčlenený ako 4. skupina pseudohydraulická spojitosť. Pre tieto prípady, je nutné vykonať ďalšie podrobnejšie analýzy, aby sa zhodnotila možná interakcia.

Výsledok skríningu

Takýmto spôsobom sme dostali 5568 segmentov prirodzených ÚPoV, 1266 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. 3).

Posledným krokom skríningu bola sumarizácia dĺžok jednotlivých segmentov danej časti ÚPoV s rovnakým finálnym priradením charakteristiky interakcie v danom ÚPzV, na základe čoho bola vytvorená základná analýza rozdelenia vodných útvarov. Sumár analýzy je uvedený v tab. 5, z ktorej je zjavné, že najdlhšie ÚPoV prechádzajúci cez priepustné prostredie sú v kvartérnych ÚPzV. V predkvartérnych ÚPzV prevláda menej priepustné prostredie pre prirodzené a výrazne zmenené ÚPoV. V prípade umelých ÚPoV v predkvartérnych ÚPzV prevláda prechod cez nepatrný kvartér.

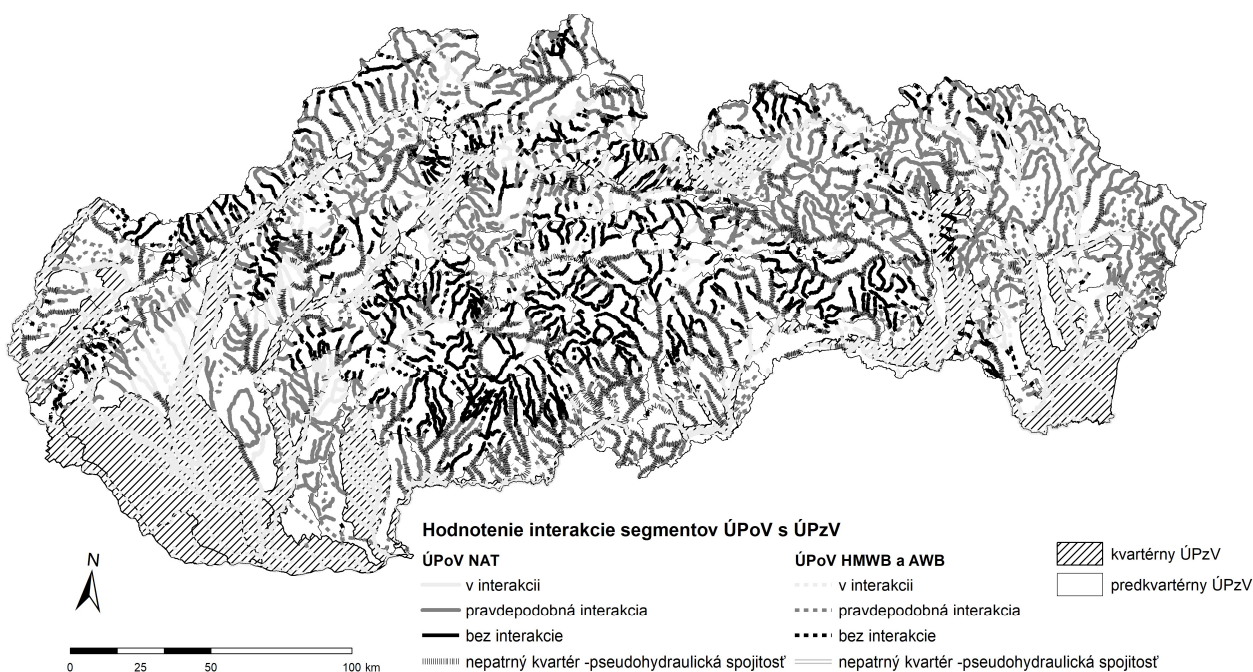
Identifikácia útvarov podzemných vôd, od ktorých sú priamo závislé útvary povrchových vôd

Výsledný skríning posúdenia hydraulického vzťahu medzi ÚPoV a ÚPzV slúžil ako podklad pre identifikovanie útvarov podzemných vôd, od ktorých sú priamo závislé útvary povrchových vôd.

Vzhľadom na fakt, že aj malý úsek ÚPoV môže byť významný z pohľadu vodovýmeny (ako výsledok interakcie podzemných a povrchových vôd), sa pri identifikácii nezohľadňovala veľkosť dĺžky segmentu v priepustnom prostredí, tzn. časť ÚPoV bola asociovaná ako priamo závislá na danom ÚPzV, ak mala nenulovú dĺžku segmentu v priepustnom prostredí, a teda bola v zmysle metodiky vyhodnotená v interakcii. Ďalej boli v zozname overené a uvedené také ÚPoV, ktoré sú identifikované v interakcii na základe doterajších poznatkov z hydrogeologických prieskumov a expertného posúdenia (napr. dlhodobé pozorovanie

ŠGÚDŠ alebo z výsledkov testu Povrchová voda (Hamar Zsideková et al., 2020; Kelčík et al., 2020), ktoré sú súčasťou hodnotenia chemického a kvantitatívneho stavu ÚPzV.

Z expertnej analýzy vyplynulo, že touto navrhnutou metódou nie je vhodné identifikovať útvary podzemných vôd, od ktorých sú priamo závislé útvary povrchových vôd, ktoré sú výrazne zmenené a umelé vodné útvary bez podrobnejšej analýzy, a preto tieto ÚPoV nie sú súčasťou zoznamu identifikovaných útvarov (v zozname sú zaradené len prirodzené ÚPoV).



Obr. 3 Mapové zobrazenie interakcie podzemnej a povrchovej vody. Priradenia útvaru povrchových vôd (ÚPoV) podľa priepustnosti prostredia s vyobrazením útvarov podzemných vôd (ÚPzV).

Fig. 3 Map of groundwater and surface water interaction. Assignments of the surface water body (ÚPoV) according to the permeability and shown groundwater bodies (ÚPzV).

Tab. 5 Rozdelenie útvarov povrchových vôd (ÚPoV) podľa útvaru podzemných vôd (ÚPzV) a hodnotenia priepustnosti prostredia. **Tab. 5** Proportions of surface water body (ÚPoV) by groundwater body (ÚPzV) and final permeability.

		dĺžka ÚPoV, ktoré sa nachádzajú v uvedenom type ÚPzV pričom prechádzajú / pretekajú cez				
		priepustné prostredie (km) ÚPoV	menej priepustné prostredie (km) ÚPoV	nepriepustné prostredie (km) ÚPoV	nepatrný kvartér (km) ÚPoV	celková dĺžka ÚPoV (km)
typ ÚPoV	typ ÚPzV	v interakcii s ÚPzV	v pravdepodobnej interakcii s ÚPzV	bez interakcii s ÚPzV	v pseudohydraulickej spojitosti s ÚPzV	
prirodzený	kvartérny	3136 (93,2 %)	112 (3,3 %)	116 (3,4 %)	-	3364
	predkvartérny	937 (9,4 %)	3347 (33,5 %)	3438 (34,4 %)	2276 (22,8 %)	9998
výrazne zmenený	kvartérny	939 (88,2 %)	99 (9,3 %)	27 (2,5 %)	-	1065
	predkvartérny	174 (9,5 %)	714 (38,9 %)	528 (22,9 %)	420 (22,9 %)	1836
umelý	kvartérny	808 (97,7 %)	17 (2,1 %)	2 (0,2 %)	-	827
	predkvartérny	12 (25,5 %)	13 (27,7 %)	3 (6,4 %)	19 (40,4 %)	47

Tab. 6 Výsledný zoznam kvartérnych útvarov podzemných vôd (ÚPzV), od ktorých sú priamo závislé prirodzené útvary povrchových vôd (ÚPoV).

Tab. 6 The final inventory of quaternary groundwater bodies (ÚPzV) for which there are directly dependent surface water bodies (ÚPoV).

kód ÚPzV	počet častí ÚPoV	dĺžka ÚPoV v interakcii (km)
SK1000100P	18	184
SK1000200P	2	11
SK1000300P	9	235
SK1000400P	54	602
SK1000500P	83	510
SK1000600P	1	12
SK1000700P	18	232
SK1000800P	16	137

kód ÚPzV	počet častí ÚPoV	dĺžka ÚPoV v interakcii (km)
SK1000900P	6	65
SK1001000P	25	262
SK1001100P	7	83
SK1001200P	28	300
SK1001300P	4	50
SK1001400P	5	46
SK1001500P	20	311
SK1001600P	6	47

Tab. 7 Výsledný zoznam predkvartérnych útvarov podzemných vôd (ÚPzV), od ktorých sú priamo závislé prirodzené útvary povrchových vôd (ÚPoV).

Tab. 7 The final inventory of quaternary groundwater bodies (ÚPzV) for which there are directly dependent surface water bodies (ÚPoV).

kód ÚPzV	počet častí ÚPoV	dĺžka ÚPoV v interakcii (km)
SK200010FK	3	8,0
SK2000200P	9	25,0
SK200030FK	2	1,5
SK2000400P	2	2,9
SK200060KF	1	1,5
SK200080KF	12	24,5
SK2001000P	34	209,0
SK200110KF	2	4,1
SK200120FK	6	4,9
SK2001300P	15	68,4
SK200140KF	16	45,5
SK200150FK	6	3,3
SK200160FK	4	5,3
SK200170FP	5	6,5
SK2001800F	42	31,2
SK200190FK	1	1,9
SK200200FP	1	0,6
SK2002100P	1	1,2
SK200220FP	19	17,6
SK2002300P	6	4,6
SK200240FK	9	9,1
SK200250KF	5	18,6
SK200260FP	2	0,3
SK200270KF	29	66,6
SK200280FK	44	74,7

kód ÚPzV	počet častí ÚPoV	dĺžka ÚPoV v interakcii (km)
SK200290FK	5	10,5
SK200300FK	9	28,0
SK2003100P	4	3,8
SK2003300F	8	4,2
SK200340KF	10	36,9
SK200350FK	2	1,2
SK200360FK	2	2,0
SK2003700P	5	3,0
SK200390KF	9	27,7
SK2004000P	2	0,4
SK200410KF	2	7,5
SK200420FK	2	2,2
SK200440KF	6	20,4
SK200460KF	11	30,7
SK2004700F	13	7,9
SK200480KF	9	16,4
SK2004900F	7	2,9
SK200500FK	3	1,2
SK200510KF	1	0,6
SK200540FP	6	5,9
SK200550FP	10	14,0
SK2005700F	25	15,4
SK2005800P	20	57,0
SK200590FP	2	0,9

Poznámka: V 10 predkvartérnych ÚPzV (SK2000500P, SK2000700F, SK2000900F, SK2003200P, SK200380FP, SK2004300F, SK2004500P, SK2005200P, SK2005300P, SK200560FK) neboli identifikované súvisiace prirodzené ÚPoV v priepustnom prostredí, lebo sa v nich nenachádzajú žiadne ÚPoV a preto nie sú uvedené v tabuľke tab. 7.

Rovnako v rámci tejto fázy analýzy neboli hodnotené také 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 spoľahlivejšie určiť, či naozaj aj v týchto segmentoch dochádza/nedochádza k interakcii medzi povrchovou a podzemnou vodou.

Zvolené kritéria spĺňalo 1 410 segmentov ÚPoV s celkovou dĺžkou takmer 4 000 km v 751 častiach ÚPoV spadajúcich do 626 ÚPoV na základe rozdelenia. Výsledný zoznam kvartérnych a predkvartérnych ÚPzV, od ktorých sú priamo závislé prirodzené ÚPoV, dokumentujú tab. 6 a tab. 7.

DISKUSIA

Vzhľadom na potreby požiadaviek RSV bolo potrebné identifikovať tie útvary podzemnej vody v SR, od ktorých sú priamo závislé ekosystémy povrchovej vody. Za týmto účelom bol vypracovaný metodický postup, ktorý je rozdelený do 4 častí (obr. 1). Vlastnej identifikácii predchádzalo hodnotenie hydraulického vzťahu medzi ÚPoV a ÚPzV pomocou skríningu podľa vybraného kritéria (priepustnosti) ktorý patrí medzi najrýchlejšie spôsoby priradenie hydraulického vzťahu. Dané kritérium – priepustnosť horninového prostredia bolo definované tromi parametrami, ktoré vychádzali z hydrogeologickej mapy SR a mapy distribúcie koeficientu filtrácie. Hoci sú tieto parametre previazané, výsledok kombinácie parametrov bol rozdielny a to poskytlo presnejší výsledok, ako by bolo len využitie jedného z parametrov.

Pre jednotlivé parametre boli priradené body (skóre) priepustnosti založené na existujúcich poznatkoch, ktoré sa verifikovali tak, aby finálny výsledok kombinácie 3 parametrov bol čo najpresnejší a priniesol spoľahlivé výsledky. Je samozrejmé, že aj vzhľadom na skutočnosť hodnotenia celého územia SR v generalizovanej mierke 1:200 000 (vstupné údaje pre skríning a analýzu) takýmto skríningovým procesom nebolo možné podchytiť všetky skutočnosti, ale zvolený prístup odpovedá dostupným údajom a poznatkom a kompromisu medzi zložitosťou a presnosťou analýzy.

Pri tvorbe metodiky a identifikácii útvarov podzemných vôd, od ktorých sú priamo závislé útvary povrchových vôd sme sa stretli s niekoľkými problémami, ktoré sťažujú identifikáciu interakcie medzi ÚPoV a ÚPzV. Jednou z nich je rôzna mierka (presnosť) vstupných dát, ktorá môže skresliť dĺžky priradených ÚPoV alebo nesprávne situovať tok. Ďalším nedostatkom je nezohľadňovanie kolmatácie dna, kde pri zdanlivo priepustnom prostredí nedochádza k interakcii kvôli významnej kolmatácii dna (Némethy, 1997) a teda sa môže stať, že podľa uvedenej metodiky je ÚPoV mylne zaradený ako v interakcii s ÚPzV, hoci

reálne k žiadnej interakcii a vodovýmene v rámci takýchto útvarov nedochádza. Túto skutočnosť však zatiaľ nebolo možné vyhodnotiť, a zahrnúť do skríningu. V ďalšom období po realizácii výskumov s týmto zameraním môže byť aspekt kolmatácie zohľadnený v rámci stanovenia rýchlosti prúdenia v toku, vďaka ktorému je možné odhadnúť kolmatáciu (Blaschke et al., 2003; Gierke, 2002; Šajgalík et al., 1986) Avšak aj priepustnosť kolmatačných oblastí sa líši podľa dynamiky toku a nemožno ju považovať za konštantnú. Takže naďalej tu bude vystupovať ako určitý druh neistoty (Schubert, 2002).

Identifikácii útvarov podzemných vôd, od ktorých sú priamo závislé útvary povrchových vôd zahŕňa len prirodzené ÚPoV. Výrazne zmenené a umelé útvary povrchových vôd si vyžadujú dôkladnejšiu štúdiu, či sa daný ÚPoV zaradil do kategórie výrazne zmenené alebo umelé vodné útvary v dôsledku posúdenia interakcie nerelevantného prvku (napr. v prípade znemožnenia migrácie rýb, ale k interakcii s podzemnou vodou môže dochádzať) alebo ako dôsledok technických úprav na tokoch – napr. vybetónované dno alebo brehy toku, čím je interakcia s podzemnou vodou znemožnená. Takéto informácie v tejto fáze riešenia nebolo možné zohľadniť.

V rámci aktualizácie 3 cyklu Plánov manažmentu povodí bol po prvý krát vytvorený zoznam útvarov podzemných vôd, od ktorých sú priamo závislé útvary povrchových vôd, ktorý môže byť ďalej aktualizovaný a spresňovaný. Podrobnejšie informácie o procese identifikácie útvarov podzemných vôd, od ktorých sú priamo závislé útvary povrchových vôd sú spracované v záverečnej správe VÚVH (Chudoba, 2022).

ZÁVER

Cieľom tohto príspevku bolo predstaviť pripravený metodický postup na identifikáciu útvarov povrchových vôd súvisiacich s podzemnou vodou v SR (obr. 1), ktoré vyžaduje RSV podľa prílohy II, a vytvoriť zoznam ÚPzV od ktorých sú závislé ÚPoV. Táto požiadavka smernice doteraz nebola uskutočnená a až v rámci tretieho cyklu aktualizácie Vodného plánu SR bola táto problematika riešená.

Navrhnutý postup pre identifikovanie útvarov podzemnej vody, od ktorých sú priamo závislé ekosystémy povrchovej vody bol prispôbený úrovni podrobnosti a presnosti údajov (mierka 1 : 200 000). Vzhľadom na počet útvarov povrchových a podzemných vôd, využitie množstva dostupných dát pre celé Slovensko a podrobnosť hodnotenia bol základom metodiky skríning, ktorý dokázal spracovať robustný systém hodnotenia a ktorý umožňoval využiť veľkú mieru automatizácie riešenia, ktorý predchádzal samotnej identifikácii v zmysle navrhnutého postupu metodiky opísanej v kapitole 2.

Skríning bol vykonaný pre 349 útvarov povrchových vôd, ktoré boli označené ako prirodzené (77 %), výrazne zmenené (20 %) alebo umelé (3 %), ktoré prislúchajú k 16 kvartérnym a k 58 predkvartérnym útvarom podzemných vôd. Avšak do finálnej identifikácie útvarov podzemných vôd od ktorých sú závislé útvary povrchovej vody boli spracované len prirodzené útvary povrchových vôd.

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, z ktorých bol vytvorený finálny zoznam útvarov podzemných vôd, od ktorých sú priamo závislé útvary povrchových vôd. V kvartérnych útvaroch bolo identifikovaných 302 častí ÚPoV v celkovej dĺžke 3 388 km, ktoré sú v hydraulickej súvislosti s ÚPzV. V predkvartérnych útvaroch bolo identifikovaných 449 častí ÚPoV v celkovej dĺžke 937 km, ktoré sú v hydraulickej súvislosti s ÚPzV.

Vytvorený zoznam predstavuje prvotné schematizované a generalizované zhodnotenie interakcie na

úrovni útvaru podzemnej vody. Sme si vedomí viacerých nedostatkov riešenia. Napríklad do úvahy nebola braná kolmatácia dna povrchových tokov v ÚPoV, ktorá aj napriek priepustnému prostrediu neumožňuje hydraulickú spojitosť podzemnej a povrchovej vody. Preto bude potrebná ďalšia podobnejšia analýza, ktorá by brala do úvahy aj faktor kolmatácie dna, či už priamo alebo nepriamo určenej.

Pri riešení problematiky interakcie podzemnej a povrchovej vody sme zistili aj mnohé iné nedostatky a limitácie ohľadom chýbajúcich údajov alebo ich presnosti či dostupnosti a pod., preto súčasťou aktualizácie metodiky v ďalšom cykle prípravy plánu manažmentu povodí bude i zahrnutie nových a podrobnejších informácií do hodnotenia interakcie, na základe ktorých by sa mal vedieť odhadnúť smeru interakcie a kvantifikácia vodovýmeny.

POĎAKOVANIE

Podakovanie patrí medzirezortnej expertnej skupiny interakcia podzemnej a povrchovej vody za cenné rady a odborný pohľad na problematiku.

LITERATÚRA

- BLASCHKE, A.P., STEINER, K.H., SCHMALFUSS, R., GUTKNECHT, D., SENGSCHEMITT, 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, p. 397-413.
- 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, p. 1-16.
- FENDEKOVÁ, M., BÖHM, V., ČECH, F., HYÁNKOVÁ, K., MELIORIS, L., NÉMETHY, P., TRNOVEC, A. 1995: *Základy hydrogeológie*. Vysokoškolské skriptá. Bratislava, Univerzita Komenského, Prírodovedecká fakulta, 236 s.
- GIERKE, J.S. 2002: *Engineering Applications in the Earth Sciences: River Velocity*. Michigan Tech [Online]. Dostupné na: http://cee.mtu.edu/peacecorps/resources/use_of_manning_equation_for_measuring_river_velocity.pdf [Prístup 3.7.2021]
- 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 sívisiacich 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, p. 165-172.
- HYDROGEOLOGICKÉ MAPY, 2008: Bratislava, Štátny geologický ústav Dionýza Štúra Bratislava [Online]. Dostupné na internete: <http://apl.geology.sk/hydrogeol>. [Prístup 3.7.2021]
- CHUDOBA, V., PATSCHOVÁ, A. 2022: *Identifikácia útvarov podzemných vôd, od ktorých sú priamo závislé útvary povrchových vôd*. Správa k úlohe č. 21013, Bratislava, Výskumný ústav vodného hospodárstva [Online]. Dostupné na internete: <http://www.vuvh.sk/rsv2/default.aspx?pn=PDM> [Prístup 18.4.2022]
- JETEL, J. 1973: Logický systém pojmov – základná podmienka formalizácie a matematizácie v hydrogeológii. *Geologický průzkum*, 15, 1, s. 13-17.
- KELČÍK, S., KULLMAN, E., BREZIANSKÁ, K., DANÁČOVÁ, Z., LOVÁSOVÁ, E. 2020: *Interakcia podzemných a povrchových vôd z hľadiska kvantity – aktualizácia*. Bratislava, Výskumný ústav vodného hospodárstva.
- KRČMÁŘ, D. 2012: Modelovanie interakcie povrchových a podzemných vôd. *Podzemná voda*, 18, 1, s. 1-13.
- MALÍK, P., ŠVASTA, J., ČERNÁK, R., LENHARTOVÁ, 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, Ministerstvo životného prostredia, Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, 100 s.
- MELIORIS, L., MUCHA I, POSPÍŠIL P. 1986: *Podzemná voda – metódy výskumu a prieskumu*. Bratislava, Alfa, 429 s.
- NÉMETHY, P. 1997: Kolmatácia koryta rieky – významný činiteľ pri dopĺňaní podzemnej vody. *Podzemná voda*, 3, 2, s. 70-75.

- SCHUBERT, J. 2002: Hydraulic aspects of riverbank filtration—field studies. *Journal of Hydrology*, 266, 3-4, p. 145-161.
- Smernica Európskeho parlamentu a Rady 2000/60/ES z 23. októbra 2000, ktorou sa stanovuje rámec pôsobnosti pre opatrenia spoločensva v oblasti vodného hospodárstva.*
- SOPHOCLEOUS, M. 2002: Interactions between groundwater and surface water: the state of the science. *Hydrogeology journal*, 10, 1, p. 52-67.
- ŠAJGALÍK, J., ČABALOVÁ, D., SCHIITZNEROVÁ, V., ŠAMALÍKOVÁ, M., ZEMAN, O. 1986: *Geológia*. Bratislava, ALFA-SNTL, 563 s.
- WINTER, T.C., HARVEY, J.W., FRANKE, O.L., ALLEY, W.M. 1998: *Ground water and surface water: a single resource*. USGS Circular 1139, Geological Survey.
- 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*, p.1-6.
- WOESSNER, W.W. 2000: Stream and fluvial plain ground water interactions: rescaling hydrogeologic thought. *Groundwater*, 38, 3, p. 423-429.

SUMMARY

Taking into account the requirements of the WFD according to Annex II. it was necessary to identify the groundwater bodies (GWB) for which there are directly dependant surface water ecosystems in this case represented only by surface water bodies (SWB). For this purpose, it was first necessary to create a methodological procedure for identifying connections between SWB and GWB. A screening is one of the fastest ways to determine a hydraulic relationship by selected criterion. The criterion – water permeability was defined based on three parameters – underlying stratum, permeability assessed according to the hydrogeological map of the Slovak Republic (2008) and hydraulic conductivity which was evaluated following the map of the distribution of the filtration (Malík et al, 2013). Although these parameters are interconnected, the result of the combination of parameters was different and more accurate than using only one of the parameters.

The individual parameters were assigned permeability points according to the expert judgement, which were set up based on the result of the combination of parameters until it achieved satisfactory results. Such a process did not cover all the details, and it was necessary to compromise between the complexity and accuracy of the analysis.

Screening was performed for 1,349 surface water bodies which were identified as natural (77 %), heavily modified (20 %) or artificial (3 %), and for 16 quaternary and 58 pre-quaternary groundwater bodies.

The permeability map was created from the input layers (Fig. 2) by summarizing of the parameter's permeability points. For the final determination of possible interaction between surface water and groundwater, the final scores were reclassified into 4 classes of interaction – In interaction, in possible interaction, without interaction and pseudohydraulic connectivity. The last class stand for such bodies of surface water, which are located in pre-Quaternary bodies but pass through Quaternary sediments. The whole procedure is shown in the diagram in fig. 1, the hydraulic relationship was assigned to the individual GWB to the related SWB (Fig. 3). For the overview, a basic analysis of the division of departments was created (Table 5).

For the final identification of those groundwater bodies for which there are directly dependent surface waters were selected 5,568 segments of natural surface water bodies, which were assigned permeability class, according to input parameters. Thus, 1,410 segments with almost 4,000 km flows through the permeable part of GWB.

The created list is only indicative and it is used for initial characterization. The clogging process of the riverbed was not taken into account, where in the seemingly permeable part there is no interaction due to the clogged riverbed (Némethy, 1997) and thus it may happen that SWB is incorrectly classified as directly dependent with GWB. However, this fact has not yet been evaluated and thus applied to screening. Later, after further research, this aspect may be taken into account by estimating the flow velocity, which is key factor for clogging process (Blaschke et al., 2003; Gierke, 2002; Šajgalík et al., 1986). But this process cannot be considered constant. So it will continue to appear here as another uncertainty (Schubert. 2002).

The final results from the initial screening of associated natural surface water bodies to Quaternary groundwater bodies are shown in tab. 6 and to pre-Quaternary groundwater bodies in tab. 7.

It is also very important to examine all objects directly in-situ, because without a visual inspection, there may be overlooked important information that cannot be read from the maps.

In last step in creating the list of GWB for which there are directly dependent SWB we have focused only on natural SWB. Heavy modified and artificial surface water bodies require a more in-depth study of reasons why they are not classified as natural SWB, as there is a possibility that there is a modification that prevent the interaction of surface water and groundwater.