

## TEST KVALITY VODY URČENEJ NA ĽUDSKÚ SPOTREBU REALIZOVANÝ NA SLOVENSKU – METODIKA A VÝSLEDKY PRE VYBRANÉ ÚTVARY PODZEMNÝCH VÔD

TEST OF QUALITY OF WATER INTENDED FOR HUMAN CONSUMPTION APPLIED IN SLOVAKIA –  
METHODOLOGY AND RESULTS FOR SELECTED GROUNDWATER BODIES

Katarína Kučerová, Mária Bubeníková, Anna Patschová

### ABSTRACT

According to Water Framework Directive, the member states shall ensure the protection for the identified groundwater bodies with the aim of avoiding deterioration in their quality in order to reduce the level of purification treatment required in the production of drinking water. The test of quality of water intended for human consumption is one of the 4 tests to assess the groundwater body chemical status according to Groundwater Directive. 44 relevant indicators of untreated water intended for human consumption at 1 980 groundwater abstraction points for a period of 10 years (2008 – 2017) were evaluated. The main part of the test consists of assessment of the statistical significant and sustained upward trend of the concentration of individual indicators at abstraction points. The statistical significance of trends was tested by nonparametric Mann-Kendall test and parametric linear regression. At the level of the groundwater body, the percentage of the area in poor status was evaluated by interpolation of the last 2-year average concentration of indicator using the kriging method. The evaluation resulted in 60 groundwater bodies in good status, 6 groundwater bodies classified at risk of failing to achieve environmental objectives by 2027 and 1 Pre-Quaternary groundwater body classified in poor chemical status due to ammonium.

### KEY WORDS

Chemical status, groundwater body, trends assessment, water intended for human consumption, Water plan of the Slovak Republic

### KEÚČOVÉ SLOVÁ

Chemický stav, útvary podzemnej vody, hodnotenie trendov, voda určená na ľudskú spotrebu, Vodný plán Slovenska

### ÚVOD

Zabezpečenie zdravotne bezpečnej a dostupnej pitnej vody pre všetkých obyvateľov a domácnosti je jednou z hlavných úloh vodného hospodárstva. Na Slovensku pochádza až 84 % pitnej vody zo zdrojov podzemnej vody (ÚVZ SR, 2021). Celkové dokumentované využiteľné množstvá podzemných vôd predstavovali v roku 2019 cez 78 000 l·s<sup>-1</sup>. V roku 2019 bolo odobrané cez 10 700 l·s<sup>-1</sup> podzemných vôd, pričom hlavnú časť odberov 73 % predstavovali odbery pre zásobovanie obyvateľstva formou verejných vodovodov (SHMÚ, 2020). Úroveň zásobovania obyvateľstva pitnou vodou z verejných vodovodov dosiahla v roku 2019 89,55 % (MŽP SR, 2021).

V zmysle zákona č. 364/2004 Z. z. o vodách a o zmene zákona Slovenskej národnej rady č. 372/1990 Zb. o priestupkoch v znení neskorších predpisov (vodný zákon) je na ochranu vodných zdrojov na Slovensku uplatňovaná okrem všeobecnej ochrany vôd aj špeciálna ochrana – formou vyhlásenia chránenej vodohospodárskej oblasti (CHVO) a formou rozhodnutia o určení ochranného pásma vodárenských zdrojov (OPVZ). Vo Vodnom pláne Slovenska 2021 je uvedených spolu 2 730 vodárenských zdrojov podzemných vôd, z toho 1 406 má rozhodnutím stanovené OPVZ, čo tvorí približne 7,5 % rozlohy štátu. Okrem toho, väčšie oblasti prirodzenej akumulácie vôd sú špeciálne chránené vymedzením 10 CHVO (zákon 305/2018 Z. z.

o chránených oblastiach prirodzenej akumulácie vôd a o zmene a doplnení niektorých zákonov), ktoré predstavujú 14 % z rozlohy Slovenska.

### Základné východiská a ciele testu

Jedným zo 4 relevantných testov pre hodnotenie chemického stavu útvarov podzemných vôd na základe smernice 2006/118/ES je test chránených vodohospodárskych oblastí/ochranných pásiem vodárenských zdrojov, ďalej len test kvality vody určenej na ľudskú spotrebu (test Pitná voda). Rámcová smernica o vode (RSV) vyžaduje dosiahnutie súladu s čl. 7 (Vody využívané na odber pitnej vody), konkrétne v ods. 3 je požiadavka na zabezpečenie nevyhnutnej ochrany vyčlenených vodných útvarov s cieľom vylúčiť zhoršenie ich kvality, a aby sa znížila miera úpravy potrebná pre výrobu pitnej vody. Výsledky testu boli zahrnuté do hodnotenia chemického stavu útvarov podzemných vôd. Na základe tohto hodnotenia sú pre útvary podzemných vôd klasifikované v zlom chemickom stave alebo identifikované v riziku nedosiahnutia environmentálnych cieľov navrhované opatrenia pre zvrátenie tohto stavu.

Cieľom testu kvality vody určenej na ľudskú spotrebu je nepriamo zhodnotiť, či je ochrana CHVO a OPVZ dostatočná, aby sa predchádzalo zhoršeniu kvality vody a aby sa znížila náročnosť úpravy vody zo surovej na pitnú.

V tejto tretej aktualizácii vodného plánu bola na Slovensku po prvý krát spracovaná metodika pre hodnotenie a prvý krát uskutočnený test kvality vody určenej na ľudskú spotrebu pre kvartérne a predkvartérne útvary podzemných vôd. Podrobná metodika a kompletné výsledky hodnotenia chemického stavu ÚPzV na základe testu kvality vody určenej na ľudskú spotrebu sú uvedené v správe Kučerová et al. (2020).

V článku je pozornosť venovaná metodickým princípom testovania kvality vody určenej na ľudskú spotrebu a prezentácii výsledkov na príklade 3 vybraných ÚPzV.

### METODIKA TESTU

Metodika hodnotenia chemického stavu útvarov podzemných vôd podľa testu kvality vody určenej na ľudskú spotrebu bola navrhnutá v súlade s čl. 7 RSV a odporučeniami usmernenia CIS č. 18. Metodika testu vychádza z kombinácie metodík navrhnutých expertami z Anglicka (UKTAG, 2012) a Českej republiky (Hrabánková et al., 2014) a bola prispôbená pre podmienky Slovenska (Kučerová et al., 2021). Základom testu je hodnotenie významnej zmeny kvality surovej vody z podzemných zdrojov vôd určených na ľudskú spotrebu spôsobenú antropogénnym vplyvom

prostredníctvom hodnotenia trendov ročných priemerov jednotlivých ukazovateľov kvality.

### Vstupné dáta

Vstupnými dátami pre test boli hodnoty ukazovateľov kvality surovej vody pred akoukoľvek úpravou v mieste odberu podzemnej vody určenej na ľudskú spotrebu nahlasované 14 vodárenskými spoločnosťami za časové obdobie 10 rokov (2008 – 2017). Tieto údaje o kvalite zdrojov pitných vôd sú zhromažďované v systéme ZBERVaK spravovanom Výskumným ústavom vodného hospodárstva. Údaje o zmene a náročnosti úpravy surovej vody na pitnú sa centrálné nezhrmažďujú, a preto nevstupovali do hodnotenia. Podľa usmernenia CIS č. 18 by sa mali hodnotiť všetky ukazovatele sledované podľa smernice 98/83/ES o kvalite vody určenej na ľudskú spotrebu. V teste bolo hodnotených 44 relevantných ukazovateľov (4 mikrobiologické, 37 chemických a 3 rádiologické ukazovatele) vybraných na základe početnosti meraní a zdravotnej významnosti.

### Prahové hodnoty a normy kvality

Ako hodnotiace kritérium v rámci testu boli použité prahové hodnoty (PH) určené nariadením vlády SR č. 282/2010 Z. z., ktorým sa ustanovujú prahové hodnoty a zoznam útvarov podzemných vôd a normy kvality (NK) podzemných vôd zo smernice 2006/118/ES v prílohe I (dusičnany, pesticídy spolu). Pre ukazovatele, ktorých PH nie je uvedená v nariadení vlády SR č. 282/2010 Z. z., sa PH odvodila ako 75 % z limitnej hodnoty (LH) štandardu ukazovateľa pre pitnú vodu z vyhlášky MZ SR č. 247/2017 Z. z. o kvalite pitnej vody. Limitné hodnoty ukazovateľov, ktoré neboli uvedené vo vyhláške MZ SR č. 247/2017 Z. z., boli prevzaté z vyhlášky MŽP SR č. 636/2004 Z. z. alebo z nariadenia vlády SR č. 496/2010 Z. z. Prahové hodnoty boli odvodené z limitných hodnôt ( $PH = 75 \% LH$ ) v súlade s metodikou použitou pre odvodenie organických znečisťujúcich látok pre všeobecný test hodnotenia kvality vody (Bubeníková et al., 2020). Keďže znečistenie mikroorganizmami je možné odstrániť pomerne jednoduchou technologickou úpravou vody, limity pre mikrobiologické ukazovatele boli prevzaté z vyhlášky MŽP SR č. 636/2004 Z. z. kategórie A1, ktoré sú menej prísne ako limit z vyhlášky MZ SR č. 247/2017 Z. z.. Navyše, pre niektoré menej významné ukazovatele, ako sú mikrobiologické ukazovatele (*E. coli*, koliformné baktérie, enterokoky, živé organizmy) alebo všeobecné chemické ukazovatele (absorbancia, celkové rozpustné látky, chemická spotreba kyslíka manganistanom, reakcia vody pH), boli zvolené menej prísne kritéria testu, kde PH sa neodvodila ako 75 % LH, ale sa rovnala LH.

**Metodika hodnotenia na úrovni odberného miesta**

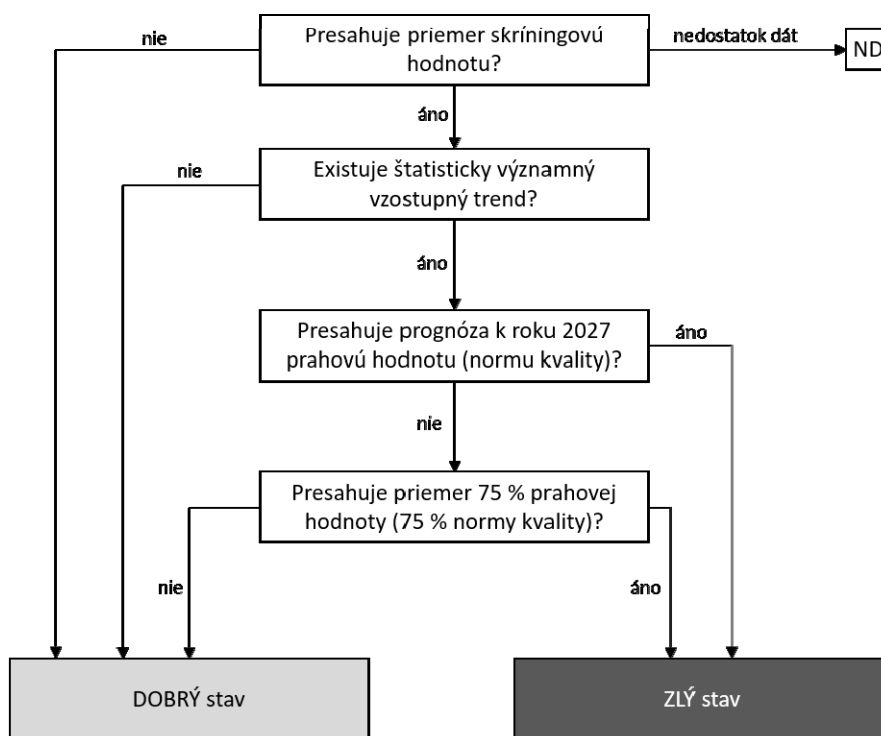
Test kvality vody určenej na ľudskú spotrebu pre hodnotenie na úrovni odberných miest je schematicky znázornený na obr. 1. Prvá časť testu pozostáva zo skríningu, ktorý porovnáva priemer z rokov 2016 – 2017 voči skrínigovej hodnote. Skrínigová hodnota je rovná 50 % PH, resp. 50 % NK. Odberné miesta, v ktorých ani jeden z ukazovateľov neprekročil skrínigovú hodnotu, boli hodnotené v dobrom stave.

Pre ukazovatele monitorované v jednotlivých odberných miestach, ktoré prekročili skrínigovú hodnotu, bol vytvorený časový rad z ročných priemerov hodnôt nameraných v období 2008 – 2017. Tento časový rad sa testoval na prítomnosť štatisticky významného vzostupného trendu podľa metodiky (Chriateľ et al., 2015). Pri hodnotení ukazovateľa pH sme venovali pozornosť nielen vzostupným, ale aj štatisticky významným klesajúcim trendom. Ak sa nepotvrdila prítomnosť štatisticky významného vzostupného trendu (pri pH aj klesajúceho), ukazovateľ bol hodnotený v dobrom stave. V prípade, že sa v časovom rade použitými štatistickými metódami

preukázala prítomnosť vzostupného trendu, skúmali sme ďalšie dve kritériá:

- Presahuje prognózovaná koncentrácia ukazovateľa k roku 2027 (predpovedaná hodnota koncentrácie na konci ďalšieho plánu manažmentu povodí) PH alebo NK?
- Presahuje priemer koncentrácie ukazovateľa za posledné dva roky v časovom rade 75 % PH alebo 75 % NK?

Ak bolo splnené aspoň jedno z kritérií, ukazovateľ bol vyhodnotený ako spôsobujúci zlý stav, a teda ho označujeme ako ukazovateľ s významne trvalo vzostupným trendom (VTVZT) na úrovni odberného miesta. Ak nebolo splnené ani jedno z kritérií, ukazovateľ bol vyhodnotený v dobrom stave. Odberné miesto bolo výsledne hodnotené v dobrom stave, ak žiaden z ukazovateľov nespôsobil zlý stav. Ak aspoň jeden z ukazovateľov v odbernom mieste bol vyhodnotený v zlom stave, odberné miesto bolo klasifikované v zlom stave kvôli danému ukazovateľu.



**Obr. 1** Schéma testu kvality vody určenej na ľudskú spotrebu na úrovni odberného miesta (ND – nedostatok/žiadne dáta)  
**Fig. 1** Scheme of the test of quality of water intended for human consumption at the level of abstraction point (ND – no data)

**Štatistický prístup hodnotenia trendov**

Metodika pre hodnotenie trendov na úrovni odberných miest je zhodná s národnou metodikou pre hodnotenie trendov (Chriateľ et al., 2015). Hodnoty namerané pod limitom kvantifikácie (LOQ) boli

nahradené najvyššou hodnotou LOQ pre daný ukazovateľ za skúmané časové obdobie 2008 – 2017. Ak bola reálne nameraná nižšia hodnota ako maximum LOQ, aj táto hodnota bola nahradená maximom LOQ. Táto primárna úprava dát slúžila na to, aby sa

predchádzalo falošne pozitívnym trendom. Údaje sa agregovali vypočítaním priemerov ročných hodnôt pre jednotlivé ukazovatele v jednotlivých odberných miestach všetkých vodárenských spoločností za časové obdobie 2008 – 2017. Pre každý časový rad boli vypočítané základné charakteristiky (počet hodnotených rokov, počet meraní, počet a percento nahradených hodnôt). Vzniknuté časové rady museli spĺňať nasledujúce kritériá, aby mohli byť štatisticky hodnotené na prítomnosť trendu:

- minimálny rozsah časového radu musí byť 6 rokov,
- posledná hodnota v časovom rade musí byť minimálne z roku 2015,
- medzera v časovom rade nesmie presiahnuť 1 rok,
- percento LOQ údajov nesmie presiahnuť 50 %.

Ak nebolo splnené niektoré z kritérií, časový rad nebolo možné hodnotiť. Vyhovujúce časové rady boli testované, či pochádzajú z normálneho rozdelenia, použitím Shapiro-Wilkovho a Lillieforstovho testu. Normálne rozdelenie bolo klasifikované len v prípade potvrdenia oboma testami. Na výpočet testov normality dát bol použitý štatistický doplnok Excelu Real Statistics.

Štatistická významnosť trendov bola testovaná neparametrickým Mann-Kendallovým testom (Salmi et al., 2002) a parametrickou lineárnou regresiou. Za štatisticky významný trend (klesajúci alebo vzostupný) bol označený taký, ktorý bol potvrdený aspoň jedným z testov. Mann-Kendallov test bol realizovaný s využitím makra programu Excel MAKESENS 1.0 vytvoreného fínskym meteorologickým inštitútom. Mann-Kendallov test nevyžaduje, aby pochádzali dáta z normálneho rozdelenia na rozdiel od parametrickej lineárnej regresie, ktorá má však väčšiu silu odhaliť štatisticky významný trend. Lineárna regresia a ANOVA boli realizované štandardným doplnkom Microsoft Office Excel 2013 – analýzou dát. Všetky štatistické testy boli hodnotené na hladine významnosti  $\alpha = 5\%$ .

Pre všetky štatisticky významné vzostupné trendy boli vypočítané prognózované hodnoty lineárneho trendu k roku 2027 a priemer z údajov nameraných za posledné 2 roky (priemer 2017 – 2016 alebo 2016 – 2015). Pre časové rady s normálnym rozdelením údajov bola prognózovaná hodnota vypočítaná z rovnice lineárnej regresie a pre časové rady, ktorých údaje nepochádzali z normálneho rozdelenia, bol použitý Senov neparametrický postup. Senov neparametrický postup bol rovnako vypočítaný pomocou Excel MAKESENS 1.0.

### Metodika hodnotenia na úrovni útvaru podzemnej vody

Podľa usmernenia CIS č. 18 sa odporúča klasifikovať útvary podzemnej vody (ÚPzV) ako v zlom stave,

ak plocha alebo objem v zlom stave presiahne 20 % z celkovej plochy alebo objemu útvaru. Vyhodnotenie testu na základe celkových odberov alebo priemernej výdatnosti odberných miest nebolo možné kvôli nekonzistentnosti dát pre jednotlivé odberné miesta. Preto sme pri hodnotení na úrovni ÚPzV vychádzali z premietnutia koncentrácie ukazovateľa na plochu ÚPzV.

Vo výslednom hodnotení na úrovni útvarov sa v prvom rade zohľadnil počet a percento odberných miest hodnotených v zlom stave v danom ÚPzV. Ak nebolo žiadne z odberných miest v zlom stave kvôli niektorému z ukazovateľov, klasifikovali sme celý ÚPzV v dobrom chemickom stave. Ak bolo niektoré z odberných miest hodnotené v zlom stave, hodnotenie ďalej pozostávalo z odhadu plochy útvaru v zlom stave, t.j. presahujúcej PH, resp. NK a expertného posúdenia. Bodové údaje z odberných miest v danom ÚPzV reprezentované priemerom posledných dvoch rokov boli interpolované na plochu ÚPzV pomocou metódy krigingu. Pre interpoláciu krigingom bol použitý softvér ArcGIS 10.5 s modulom Geostatistical Analyst, zvolený bol „kriging ordinary“. Metóda krigingu má limitácie, ktoré vyplývajú z počtu a polohy odberných miest a (ne)homogenity horninového podložia. Preto je potrebné výsledky z tejto metódy brať len ako informatívne premietnutie bodovej hodnoty na plochu, nie ako odhad reálnej koncentrácie na danom mieste. Podľa percentuálneho podielu plochy v zlom stave k ploche celého útvaru podzemnej vody sme útvary hodnotili nasledovne:

- < 5 % – v dobrom chemickom stave,
- 5 – 20 % – v riziku,
- > 20 % – v zlom chemickom stave.

Všetky ÚPzV, v ktorých bolo aspoň jedno odberné miesto hodnotené v zlom stave, boli posudzované aj na základe expertného posúdenia, kde sme ako pomocnú hodnotu zobrali priemer ukazovateľa v roku 2018. Táto hodnota nevstupovala do časového radu pre hodnotenie trendov, mala len informatívny charakter o aktuálnom vývoji koncentrácie v danom odbernom mieste. Ďalej sa v expertnom posúdení prihliadalo na pravdepodobný pôvod ukazovateľa (antropogénny a/alebo prírodný) zohľadnením požadovaných hodnôt (Bodiš et al., 2008) a zdravotnú významnosť ukazovateľa.

### VÝSLEDKY A DISKUSIA

Analyzovaných bolo viac ako 87 000 údajov (časových radov) z 1 980 odberných miest. Významný trvalo vzostupný trend (VTVzT) bol vyhodnotený 56-krát pre niektorý z hodnotených ukazovateľov. Najčastejšie bol identifikovaný VTVzT pre dusičnan v 12 odberných miestach, železo v 10, koliformné baktérie v 9, mangán v 7 a sírany v 5 odberných

miestach. Ďalej bolo aspoň v jednom odbernom mieste identifikovaný VTVzT pre amónne ióny, absorbanciu, celkovú objemovú aktivitu alfa, *E. coli*, pH, sodík a chemickú spotrebu kyslíka manganistanom.

Podrobnejšie je hodnotenie testu kvality vody určenej na ľudskú spotrebu prezentované na príklade 3 vybraných ÚPzV. V prezentovaných grafoch na obrázkoch (obr. 2 – 6, obr. 8) sú zobrazené časové rady ročných priemerov a použité kritériá testu (75 % PH, PH, LH). Navyše je v grafoch zobrazená aj limitná hodnota (LH), ustanovujúca požiadavky na kvalitu pitnej vody, ktorá síce nevstupovala priamo do hodnotenia, ale je uvedená na porovnanie a pre úplnosť informácie o danom ukazovateli. Pozad'ové hodnoty (BKG – background value) prirodzene sa vyskytujúcich látok boli stanovené kombináciou štatistického a geochemického prístupu z údajov geochemického mapovania podzemných vôd a monitoringu kvality podzemných vôd (Bodiš et al., 2008).

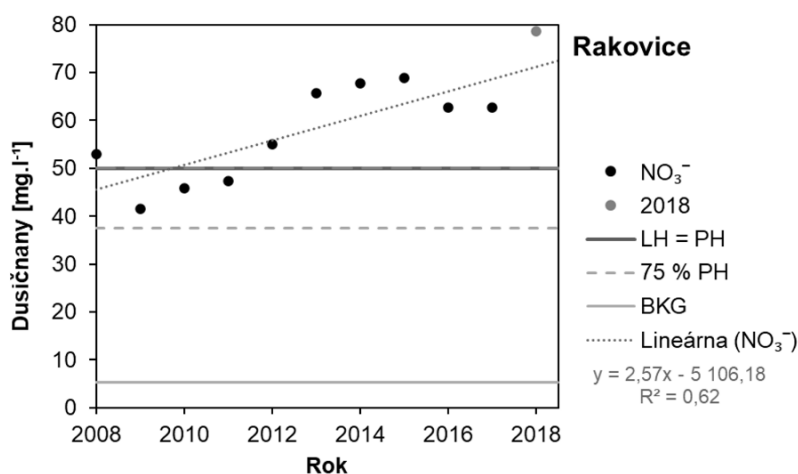
**Predkvartérny útvar SK2001000P – Medzizrnové podzemné vody centrálnej časti Podunajskej panvy a jej výbežkov**

V ÚPzV SK2001000P boli na základe analýzy na úrovni odberných miest štatisticky potvrdené VTVzT pre ukazovatele dusičnany NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, sírany SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> a mangán Mn. Niektoré časové rady sú spolu so základnými popisnými štatistickými údajmi uvedené na grafoch (obr. 2 – obr. 5). V ÚPzV bolo hodnotených

74 odberných miest podzemnej vody určenej na ľudskú spotrebu.

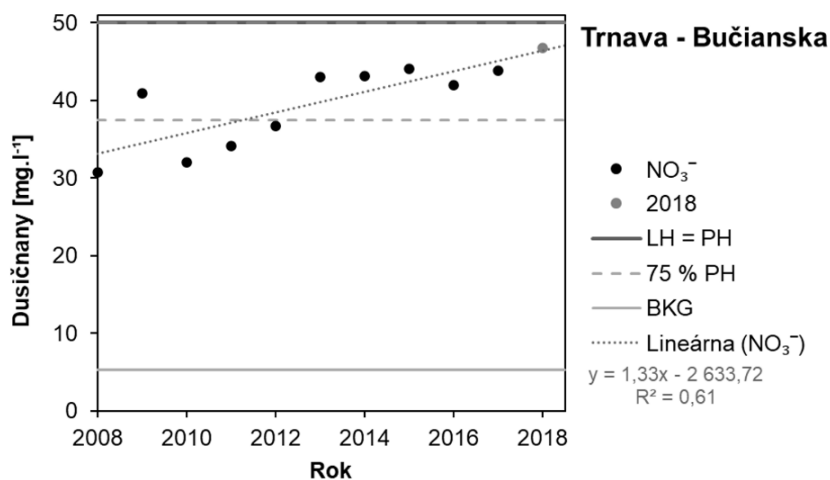
Koncentrácie dusičnanov vykazujú VTVzT v 6 odberných miestach (Hrnčiarovce, Rakovice (2 studne), Ružindol, Trnava - Bučianska (2 studne). Dusičnany sú v malých množstvách prirodzenou súčasťou vôd. Zvýšený výskyt dusičnanov vo vode môže indikovať nadmerné použitie hnojív, úniky odpadových vôd zo žump, septikov a živočíšnych fariem. Koncentrácie síranov vykazujú VTVzT v 2 odberných miestach (Leopoldov a Veľké Orvište). Sírany sú zdravotne nevýznamným ukazovateľom. Avšak vo vysokých koncentráciách môžu nepriaznivo ovplyvniť chuť vody, a ak sa vyskytujú spolu s vyššími koncentraciami horčička a sodíka, môžu pôsobiť laxatívne. Koncentrácie Mn vykazujú VTVzT v 2 odberných miestach (Leopoldov a Zavar) za hodnotené obdobie 2008 – 2017. Pravdepodobne sa jedná o mangán geogénneho pôvodu.

Ukazovatele mangán alebo železo prekračovali príslušné PH na viac ako 5 % územia ÚPzV (hodnota indikujúca riziko) v 2 ÚPzV a na viac ako 20 % územia ÚPzV (hodnota indikujúca zlý stav) v 7 ÚPzV. Koncentrácie mangánu ako aj železa prevyšujúce limit stanovený vyhláškou MZ SR č. 247/2017 Z. z. nepredstavujú zdravotné riziko, avšak môžu negatívne ovplyvňovať senzorické vlastnosti vody a treba poznamenať, že rastúce koncentrácie železa a mangánu zvyšujú nároky na technologickú úpravu vody. Navyše môžu byť príčinou technických závad a spôsobiť rozvoj železitých a mangánových baktérií, ktoré upchávajú



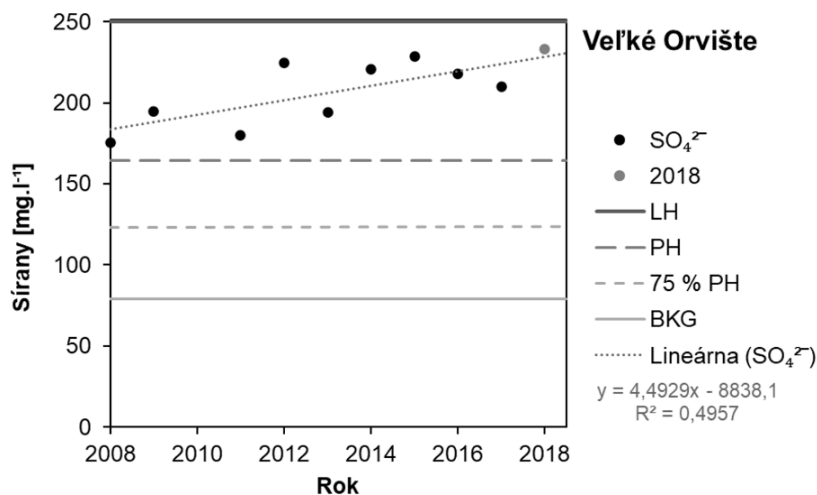
**Obr. 2** Časový rad koncentrácie dusičnanov so štatisticky potvrdeným významne trvalo vzostupným trendom v odbernom mieste Rakovice (počet meraní za obdobie 2008 – 2017 = 38, normálne rozdelenie dát, štatistická metóda potvrdzujúca trend – Mann Kendall ( $p < 0,005$ ) + ANOVA ( $p = 0,007$ ), prognóza k roku 2027 = 94,26 mg·l<sup>-1</sup>); NK – norma kvality, BKG – pozad'ová hodnota.

**Fig. 2** Time series of nitrates concentration with statistical significant and sustained upward trend in abstraction point Rakovice (number of measurements in period 2008 – 2017 = 38, normal data distribution, statistical method confirming the trend – Mann Kendall ( $p < 0.005$ ) + ANOVA ( $p = 0.007$ ), forecast for the year 2027 = 94.26 mg·L<sup>-1</sup>); NK – quality standard, BKG – background value.



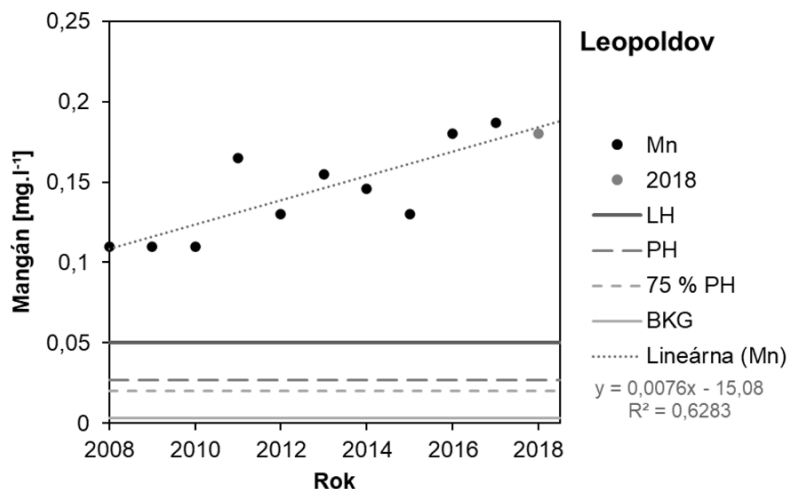
**Obr. 3** Časový rad koncentrácie dusičnanov so štatisticky potvrdeným významne trvalo vzostupným trendom v odbernom mieste Trnava - Bučianska (počet meraní za obdobie 2008 – 2017 = 43, normálne rozdelenie dát, štatistická metóda potvrdzujúca trend – Mann Kendall ( $p < 0,01$ ) + ANOVA ( $p = 0,008$ ), prognóza k roku 2027 = 58,34  $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ); NK – norma kvality, BKG – požadovaná hodnota.

**Fig. 3** Time series of nitrates concentration with statistical significant and sustained upward trend in abstraction point Trnava - Bučianska (number of measurements in period 2008 – 2017 = 43, normal data distribution, statistical method confirming the trend – Mann Kendall ( $p < 0.01$ ) + ANOVA ( $p = 0.008$ ), forecast for the year 2027 = 58.34  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ); NK – quality standard, BKG – background value.



**Obr. 4** Časový rad koncentrácie síranov so štatisticky potvrdeným významne trvalo vzostupným trendom v odbernom mieste Veľké Orvište (počet meraní za obdobie 2008 – 2017 = 9, normálne rozdelenie dát, štatistická metóda potvrdzujúca trend – ANOVA ( $p = 0,017$ ), prognóza k roku 2027 = 269,1  $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ); LH – limitná hodnota, PH – prahová hodnota, BKG – požadovaná hodnota.

**Fig. 4** Time series of sulphate concentration with statistical significant and sustained upward trend in abstraction point Veľké Orvište (number of measurements in period 2008 – 2017 = 9, normal data distribution, statistical method confirming the trend – ANOVA ( $p = 0.017$ ), forecast for the year 2027 = 269.1  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ); LH – limit value, PH – threshold value, BKG – background value.



**Obr. 5** Časový rad koncentrácie mangánu so štatisticky potvrdeným významne trvalo vzostupným trendom v odbernom mieste Leopoldov (počet meraní za obdobie 2008 – 2017 = 22, normálne rozdelenie dát, štatistická metóda potvrdzujúca trend – Mann Kendall ( $p < 0,05$ ) + ANOVA ( $p = 0,006$ ), prognóza k roku 2027 =  $0,252 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ); LH – limitná hodnota, PH – prahová hodnota, BKG – požadovaná hodnota.

**Fig. 5** Time series of manganese concentration with statistical significant and sustained upward trend in abstraction point Leopoldov (number of measurements in period 2008 – 2017 = 22, normal data distribution, statistical method confirming the trend – Mann Kendall ( $p < 0.05$ ) + ANOVA ( $p = 0.006$ ), forecast for the year 2027 =  $0.252 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ); LH – limit value, PH – threshold value, BKG – background value.

potrubia a ich odumieraním voda zapácha (Pitter, 2009). Miera rozpustnosti železa a mangánu z horninového prostredia závisí od množstva rozpusteného kyslíku v podzemnej vode a v menšej miere na ňu vplýva aj pH (v podzemných vodách bez prítomnosti kyslíka sa rozpúšťajú viac, najmä pri nižších hodnotách pH). Ako vyplýva z prírodných podmienok Slovenska, tieto dva ukazovatele sa prirodzene vyskytujú v horninovom prostredí. Z uvedeného dôvodu boli vyššie uvedené ÚPzV klasifikované v dobrom chemickom stave v ukazovateľoch železo a mangán podľa testu kvality vody určenej na ľudskú spotrebu, aj napriek tomu, že plocha koncentrácie železa alebo mangánu presahujúca príslušnú PH odhadnutá pomocou krigingu prevýšila 5 %, resp. 20 % plochy celého ÚPzV.

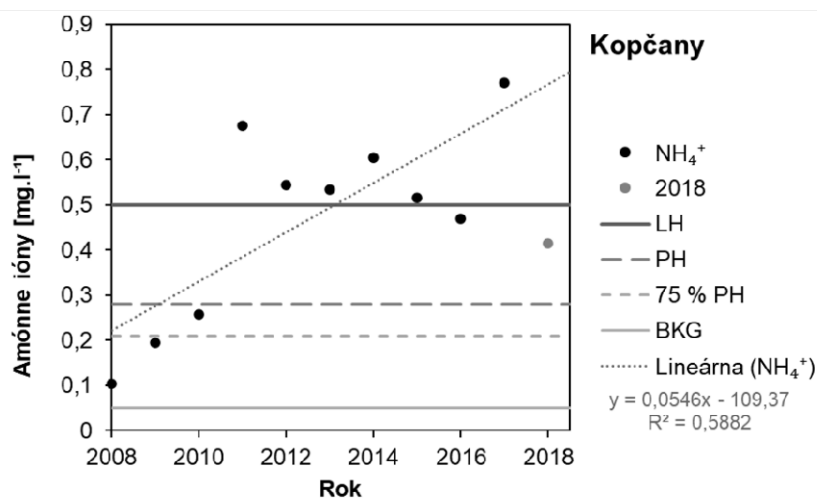
Plocha koncentrácie síranov presahujúca PH odhadnutá pomocou metódy krigingu bola 2,1 % a plocha koncentrácie dusičnanov presahujúca NK bola 0,3 % z plochy celého útvaru, čo ani pre jeden ukazovateľ nepresahuje stanovenú hodnotu 5 %. Preto predkvartérny útvar SK2001000P – *Medzizrnové podzemné vody centrálnej časti Podunajskej panvy a jej výbežkov* bol klasifikovaný v dobrom stave na základe hodnotenia chemického stavu podľa testu kvality vody určenej na ľudskú spotrebu.

#### **Predkvartérny útvar SK2000200P – Medzizrnové podzemné vody západnej časti Viedenskej panvy**

V ÚPzV SK2000200P bol na úrovni odberných miest štatisticky potvrdený VTVzT pre ukazovatele

amónne ióny  $\text{NH}_4^+$  a železo Fe. Napriek tomu, že priemerné ročné koncentrácie Fe za hodnotené obdobie prekračujú nielen PH, ale aj LH, ako sme už spomínali, v prípade železa ide najpravdepodobnejšie o geogénny pôvod. Preto je ÚPzV klasifikovaný v dobrom chemickom stave v ukazovateľoch železo, aj napriek tomu, že plocha koncentrácie železa presahujúca PH odhadnutá pomocou krigingu prevýšila 20 % plochy celého ÚPzV (40,1 %).

V ÚPzV bolo hodnotených 15 odberných miest podzemnej vody určenej na ľudskú spotrebu, z toho v 1 odbernom mieste bol štatisticky potvrdený VTVzT pre ukazovateľ amónne ióny (obr. 6). Amónne ióny sa obvykle vyskytujú v podzemných vodách v nízkych koncentráciách. Z hygienického hľadiska sú veľmi významným ukazovateľom, keďže sú jedným z primárnych produktov rozkladu organických dusíkatých látok (živočíšnych aj rastlinných). Môžu indikovať kontamináciu fekáliami alebo dusíkatými hnojivami (Pitter, 2009). Plocha koncentrácie amónnych iónov presahujúca PH odhadnutá pomocou metódy krigingu bola 26,0 % z plochy celého útvaru (obr. 7), čo presahuje stanovenú hodnotu 20 %. Preto predkvartérny útvar SK2000200P – *Medzizrnové podzemné vody západnej časti Viedenskej panvy* je vyhodnotený v zlom stave kvôli ukazovateľu amónne ióny na základe hodnotenia chemického stavu podľa testu kvality vody určenej na ľudskú spotrebu.



**Obr. 6** Časový rad koncentrácie amónnydettoch iónov so štatisticky potvrdeným významne trvalo vzostupným trendom v odbernom mieste Kopčany (počet meraní za obdobie 2008 – 2017 = 35, normálne rozdelenie dát, štatistická metóda potvrdzujúca trend – ANOVA ( $p = 0,01$ ), prognóza k roku 2027 = 1,26 mg·l<sup>-1</sup>); LH – limitná hodnota, PH – prahová hodnota, BKG – pozad'ová hodnota.

**Fig. 6** Time series of ammonium concentration with statistical significant and sustained upward trend in abstraction point Kopčany (number of measurements in period 2008 – 2017 = 35, normal data distribution, statistical method confirming the trend – ANOVA ( $p = 0.01$ ), forecast for the year 2027 = 1.26 mg·L<sup>-1</sup>); LH – limit value, PH – threshold value, BKG – background value.

### Predkvartérny útvar SK200460KF - Dominantné krasovo-puklinové podzemné vody Slovenského raja a Galmusu

V ÚPzV SK200460KF sa nachádza 96 % územia CHVO Horné povodie Hnilca. Kvalita podzemnej vody v CHVO bola monitorovaná v 1 objekte štátnej hydrologickej siete SHMÚ, v ktorom bola kvalita podzemnej vody vyhovujúca v zmysle vyhlášky MZ SR č. 247/2017 Z. z. (Bartík et al., 2020). V ÚPzV bolo hodnotených 32 odberných miest podzemnej vody určenej na ľudskú spotrebu, z toho v 3 odberných miestach boli štatisticky potvrdené VTVzT pre ukazovateľ koliformné baktérie. Koliformné baktérie môžu indikovať prítomnosť fekálneho znečistenia a tým pádom slabú ochranu vodárenského zdroja. Môžu pochádzať z tráviaceho traktu teplokrvných živočíchov alebo z pôdy, rastlín, či povrchovej vody. Ak sú prítomné koliformné baktérie, existuje riziko, že spolu s nimi mohli preniknúť do vody aj iné patogénne mikroorganizmy (Mogoňová et al., 2009).

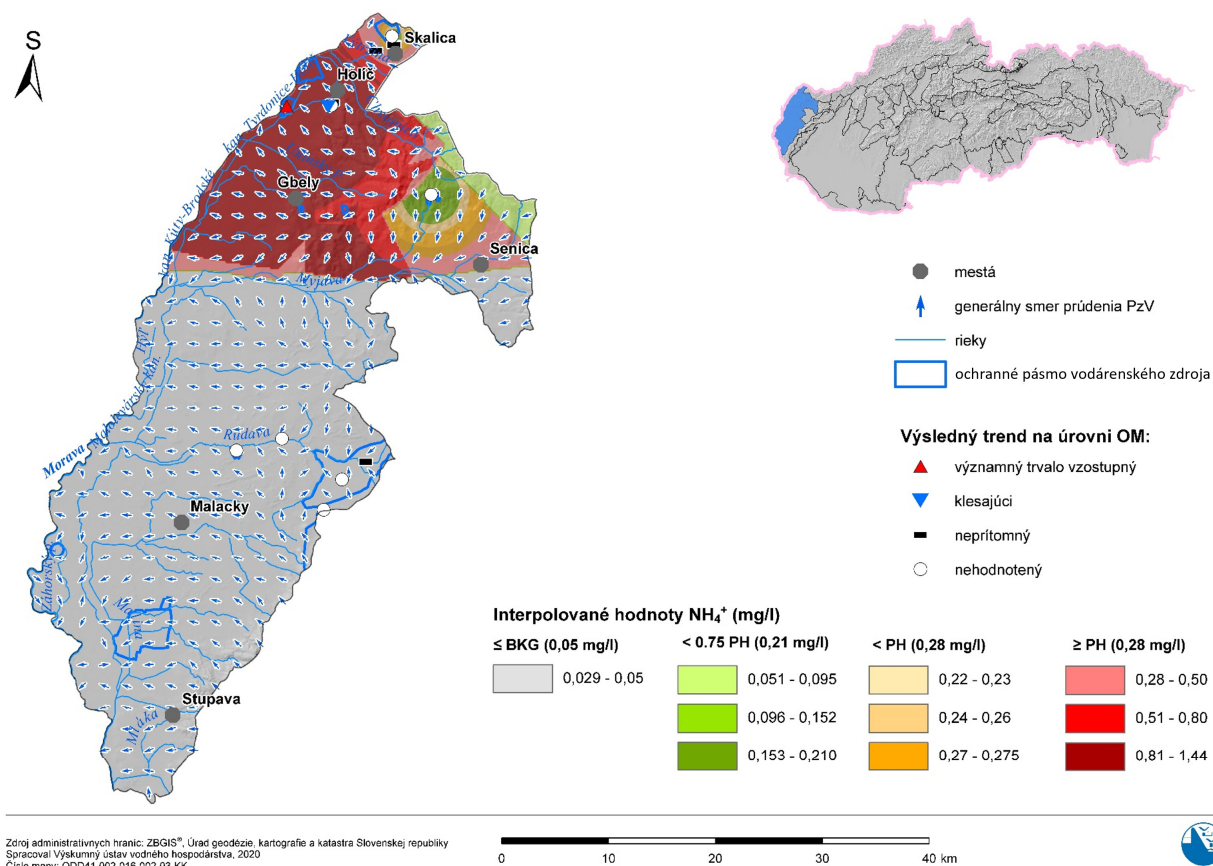
Z grafu priebehu priemerov ročných koncentrácií koliformných baktérií za sledované obdobie 2008 – 2017 a priemeru z roku 2018 je možné predpokladať zvrátenie rastúceho trendu (obr. 8), ktoré by ale bolo potrebné samostatne štatisticky overiť. Plocha koncentrácie koliformných baktérií presahujúca PH

(LH) odhadnutá pomocou metódy krigingu (obr. 9) bola 52,3 % z plochy celého útvaru, čo presahuje stanovenú hodnotu 20 %, teda by mal byť hodnotený v zlom stave. Keďže znečistenie koliformnými baktériami je možné odstrániť pomerne jednoduchou technologickou úpravou vody, je predkvartérny útvar SK200460KF – *Dominantné krasovo-puklinové podzemné vody Slovenského raja a Galmusu* vyhodnotený len v riziku na základe hodnotenia chemického stavu podľa testu kvality vody určenej na ľudskú spotrebu.

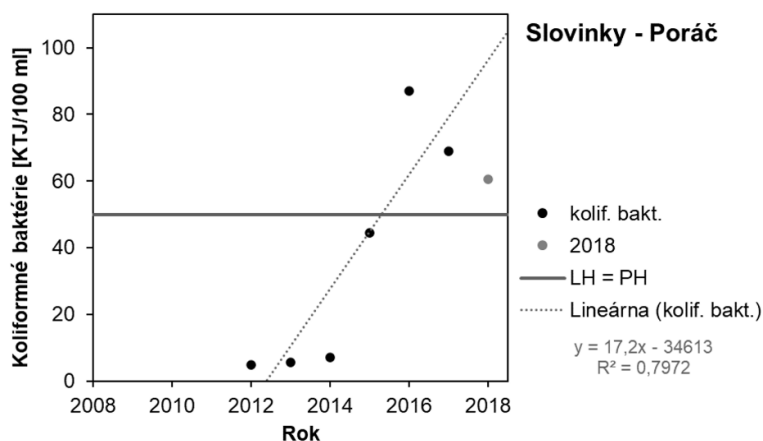
### Výsledné hodnotenie

Podrobnejšie hodnotenie testu kvality vody určenej na ľudskú spotrebu spolu s počtom/percentom odberných miest (OM) klasifikovaných v zlom stave, výsledkami krigingu a výsledným hodnotením chemického stavu ÚPzV uvádzame v tab. 1. Celkový výsledok hodnotenia testu je zobrazený na mape (obr. 10). Na základe popísanej metodiky a expertného posúdenia bolo 12 kvartérnych a 48 predkvartérnych ÚPzV klasifikovaných v dobrom chemickom stave, 2 kvartérne a 4 predkvartérne ÚPzV v riziku nedosiahnutia environmentálnych cieľov do roku 2027 a 1 predkvartérny ÚPzV v zlom chemickom stave (tab. 2). Pre nedostatok dát neboli hodnotené 2 kvartérne a 4 predkvartérne ÚPzV.



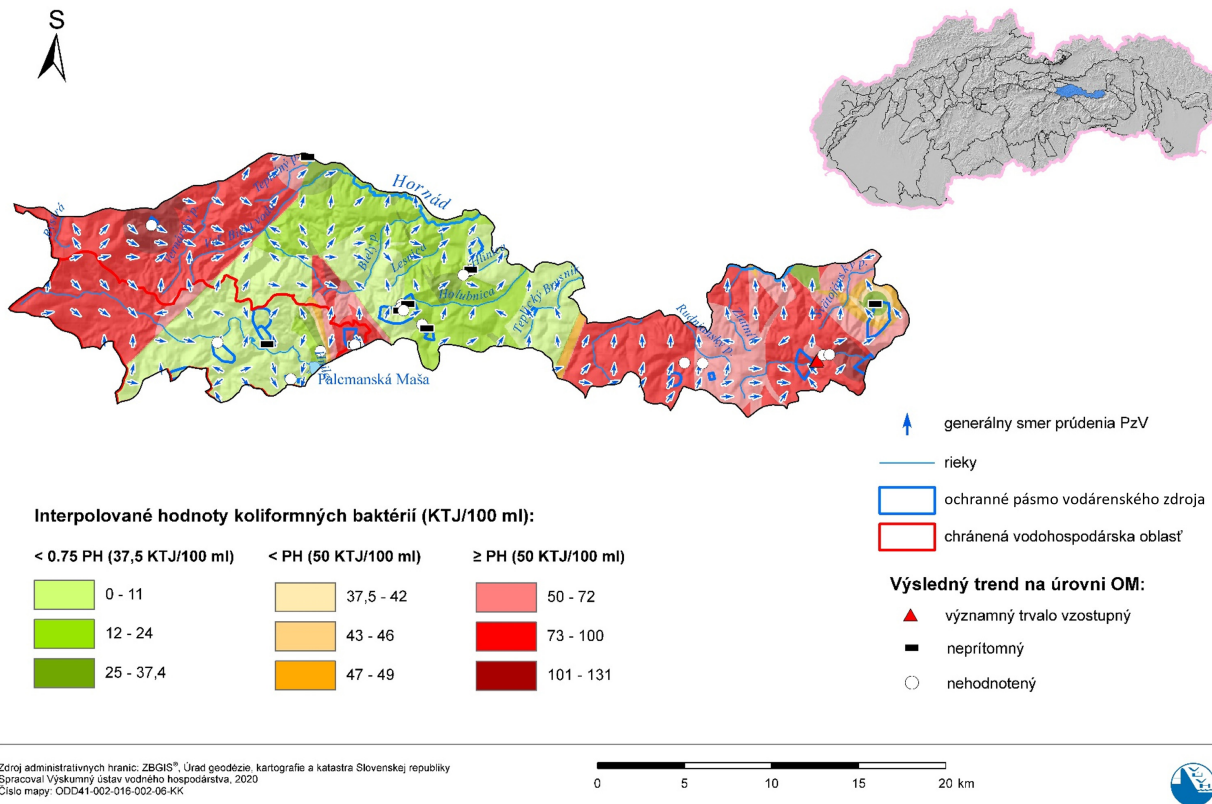


**Obr. 7** Mapa koncentrácie amónnych iónov interpolovaných prostredníctvom krigingu na plochu ÚPzV a výsledky hodnotenia trendov v odberných miestach (PzV – podzemná voda, OM – odberné miesto, BKG – požadovaná hodnota, PH – prahová hodnota).  
**Fig. 7** Map of ammonium concentration interpolated via kriging on groundwater body area and results of trend assessment in abstraction points (PzV – groundwater, OM – abstraction point, BKG – background value, PH – threshold value).

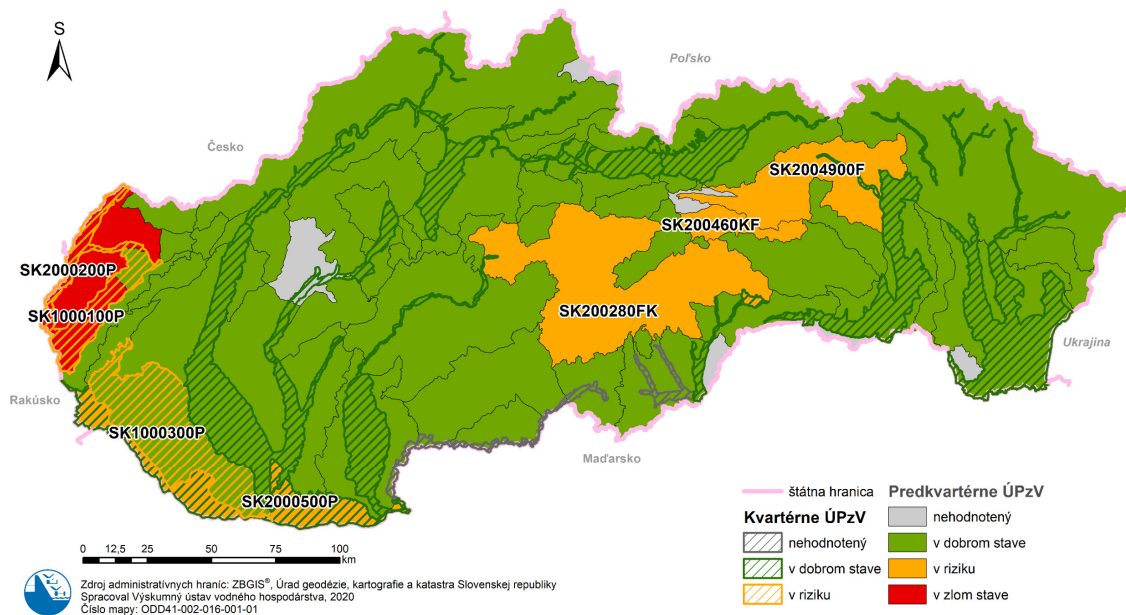


**Obr. 8** Časový rad koncentrácie koliformných baktérií so štatisticky potvrdeným významne trvalo vzostupným trendom v odbernom mieste Slovinky - Poráč (počet meraní za obdobie 2008 – 2017 = 10, normálne rozdelenie dát, štatistická metóda potvrdzujúca trend – Mann Kendall ( $p < 0,05$ ) + ANOVA ( $p = 0,017$ ), prognóza k roku 2027 = 251 KTJ/100 ml); LH – limitná hodnota, PH – prahová hodnota.

**Fig. 8** Time series of coliform bacteria concentration with statistical significant and sustained upward trend in abstraction point Slovinky - Poráč (number of measurements in period 2008 – 2017 = 10, normal data distribution, statistical method confirming the trend – Mann Kendall ( $p < 0.05$ ) + ANOVA ( $p = 0.017$ ), forecast for the year 2027 = 251 CFU/100 ml); LH – limit value, PH – threshold value.



**Obr. 9** Mapa koncentrácie koliformných baktérií interpolovaných prostredníctvom krigingu na plochu ÚPzV a výsledky hodnotenia trendov v odberných miestach (PzV – podzemná voda, OM – odberné miesto, KTJ – kolóniu tvoriaca jednotka).  
**Fig. 9** Map of coliform bacteria concentration interpolated via kriging on groundwater body area and results of trend assessment in abstraction points (PzV – groundwater, OM – abstraction point, KTJ – colony forming unit).



**Obr. 10** Mapa výsledného hodnotenia chemického stavu útvarov podzemných vôd na základe testu kvality vody určenej na ľudskú spotrebu (ÚPzV – útvar podzemnej vody).  
**Fig. 10** Map of the final assessment of groundwater body chemical status based on the test of quality of water intended for human consumption (ÚPzV – groundwater body).

**Tab. 1** Vyhodnotenie testu kvality vody určenej na ľudskú spotrebu v útvaroch podzemnej vody, kde aspoň v jednom z odberných miest bol identifikovaný významne trvalo vzostupný trend za roky 2008 – 2017.

**Tab. 1** Assessment of the test of quality of water intended for human consumption in groundwater bodies, where at least one abstraction point was identified with significant and sustained upward trend in the period 2008 – 2017.

Kód ÚPzV	Počet OM	Počet/percento hodnotených OM:			Ukazovateľ (percento) plochy ÚPzV s koncentráciou nad PH/NK	Klasifikácia chemického stavu ÚPzV	Ukazovateľ zlého chem. stavu (rizika)	
		Dobrý stav	Zlý stav					
SK1000100P	33	32	97 %	1	3 %	Fe (26,6 %), SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (8,5 %)	V RIZIKU	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
SK1000200P	42	40	95 %	2	5 %	Mn (79,4 %)	DOBRÝ	
SK1000300P	8	7	88 %	1	12 %	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (19,7 %)	V RIZIKU	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
SK1001300P	6	5	83 %	1	17 %	Fe (59,0 %)	DOBRÝ	
SK2000200P	15	13	87 %	2	13 %	Fe (40,0 %), NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (26,0 %)	ZLÝ	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
SK200030FK	17	16	94 %	1	6 %	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (0,4 %)	DOBRÝ	
SK2000500P	85	82	96 %	3	4 %	Mn (82,3 %), NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (27,9 %)	V RIZIKU	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
SK2000900F	6	3	50 %	3	50 %	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (0,0 %)	DOBRÝ	
SK2001000P	74	65	88 %	9	12 %	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (0,3 %), Mn (100,0 %), SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (2,1 %)	DOBRÝ	
SK200120FK	20	19	95 %	1	5 %	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (0,0 %)	DOBRÝ	
SK200140KF	166	165	99 %	1	1 %	koliformné baktérie (1,3 %)	DOBRÝ	
SK200150FK	36	35	97 %	1	3 %	pH (0,2 %)	DOBRÝ	
SK2001800F	219	216	99 %	3	1 %	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (0,0 %), Fe (9,1 %)	DOBRÝ	
SK200220FP	168	165	98 %	3	2 %	A (10,9 %), koliformné baktérie (2,9 %)	DOBRÝ	
SK200270KF	112	111	99 %	1	1 %	celková objemová aktivita alfa (25,3 %)	DOBRÝ	
SK200280FK	111	107	96 %	4	4 %	kolif. bakt. (9,0 %), <i>E. coli</i> (3,7 %), pH	V RIZIKU	kolif. bakt.
SK200340KF	18	17	94 %	1	6 %	celková objemová aktivita alfa (100,0 %)	DOBRÝ	
SK200410KF	12	10	83 %	2	17 %	Fe (0,0 %)	DOBRÝ	
SK200460KF	32	29	91 %	3	9 %	koliformné baktérie (52,3 %)	V RIZIKU	kolif. bakt.
SK2004700F	46	45	98 %	1	2 %	Fe (5,2 %)	DOBRÝ	
SK200480KF	27	26	96 %	1	4 %	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (0,0 %)	DOBRÝ	
SK2004900F	48	46	96 %	2	4 %	Fe (0,1 %), koliformné baktérie (35,9 %)	V RIZIKU	kolif. bakt.
SK200500FK	33	32	97 %	1	3 %	Na <sup>+</sup> (0,0 %)	DOBRÝ	
SK2005800P	14	12	86 %	2	14 %	Fe (86,2 %), CHSK <sub>Mn</sub> (24,3 %)	DOBRÝ	

Poznámky (Explanations): ÚPzV – útvar podzemnej vody (groundwater body), OM – odberné miesto (abstraction point), PH – prahová hodnota (threshold value), NK – norma kvality (quality standard).

**Tab. 2** Výsledné hodnotenie chemického stavu kvartérnych a predkvartérnych útvarov podzemných vôd podľa testu kvality vody určenej na ľudskú spotrebu.

**Tab. 2** Final assessment of chemical status of Quaternary and Pre-Quaternary groundwater body according to test of quality of water intended for human consumption.

Typ ÚPzV	Hodnotenie stavu			
	Nehodnotený	Dobrý	V riziku	Zlý
Kvartérne	2	12	2	0
Predkvartérne	6	48	4	1
Spolu	8	60	6	1

Poznámky (Explanations): ÚPzV – útvar podzemnej vody (groundwater body).

## ZÁVER

Test kvality vody určenej na ľudskú spotrebu bol uskutočnený pre 67 útvarov podzemných vôd (14 kvartérnych a 53 predkvartérnych), ktoré sú využívané pre pitné účely. Osem ÚPzV nebolo možné hodnotiť pre nedostatok alebo žiadne dáta. Geotermálne ÚPzV sú využívané najmä na energetické, rekreačné a liečebné účely, a preto sa tento test na tieto ÚPzV nevzťahoval.

Na základe zvolenej metodiky a expertného posúdenia bolo na základe testu kvality vody určenej na

ľudskú spotrebu 60 útvarov podzemných vôd klasifikovaných v dobrom chemickom stave, a len jeden útvar bol klasifikovaný v zlom chemickom stave – predkvartérny útvar podzemnej vody SK2000200P – *Medzizrnové podzemné vody západnej časti Viedenskej panvy* v dôsledku znečistenia amónnymi iónmi. Plocha koncentrácie amónnych iónov prekračujúca prahovú hodnotu odhadnutá pomocou metódy krigingu bola 26,0 % z plochy celého ÚPzV.

Šesť ÚPzV bolo testom hodnotených v riziku nedosiahnutia environmentálnych cieľov do roku 2027.

Kvartérny útvar SK1000100P – *Medzizrnové podzemné vody kvartérnych náplavov Viedenskej panvy* bol vyhodnotený v riziku kvôli ukazovateľu sírany. Kvartérny útvar SK1000300P – *Medzizrnové podzemné vody kvartérnych náplavov centrálnej časti Podunajskej panvy* a predkvartérny útvar SK2000500P – *Medzizrnové podzemné vody južnej časti Podunajskej panvy* boli vyhodnotené v riziku kvôli ukazovateľu amónne ióny. Tri predkvartérne útvary SK200280FK – *Puklinové a krasovo-puklinové podzemné vody Nízkych Tatier a Slovenského rudohoria*, SK200460KF – *Dominantné krasovo-puklinové podzemné vody Slovenského raja a Galmusu* a SK2004900F – *Puklinové podzemné vody podtatranskej skupiny a flyšového pásma čiastkového povodia Hornádu* boli vyhodnotené v riziku kvôli ukazovateľu koliformné baktérie.

V rámci testu kvality vody určenej na ľudskú spotrebu bol klasifikovaný len jeden útvar v zlom stave, avšak na výslednom hodnotení chemického stavu ÚPzV sa podieľajú aj zvyšné 3 testy. Výsledný chemický stav ÚPzV zohľadňujúci všetky 4 testy je publikovaný vo

Vodnom pláne Slovenska 2021. Pre útvary podzemných vôd klasifikované v riziku nedosiahnutia environmentálnych cieľov a útvar podzemnej vody klasifikovaný v zlom chemickom stave na základe testu kvality vody určenej na ľudskú spotrebu boli navrhnuté opatrenia na zvrátenie tohto stavu (MŽP SR, 2021a).

## POĎAKOVANIE

Špeciálne poďakovanie patrí Ing. Anne Vajíčekovej, PhD., Ing. Margite Slovinskej a Ing. Karolovi Munkovi, PhD. z Oddelenia technológie úpravy vôd VÚVH za prípravu a poskytnutie dát zo systému ZberVaK, poskytnutie konzultácií k problematike a za revíziu záverečnej správy Hodnotenie chemického stavu kvartérnych a predkvartérnych útvarov podzemných vôd – Test ochranných pásiem vodárenských zdrojov/chránených vodohospodárskych oblastí, resp. test kvality vody určenej na ľudskú spotrebu.

## LITERATÚRA

- BARTÍK, I., DÖMÉNYOVÁ, J., GÁPELOVÁ, V., CHRIAŠTEL, R., KANDRÍK, R., KRUMPOLCOVÁ, D., KULLMAN, E., LIOVÁ, S., LUPTÁKOVÁ, A., MELOVÁ, K., MICAJOVÁ, B., MOLNÁR, E., PALKOVÁ, M., PAEUŠOVÁ, Z., PECHO, J., PODOLINSKÁ, J., POÓROVÁ, J., SÍČOVÁ, B., SLIVKOVÁ, K., ŠIMOR, V., URBANCOVÁ, J. 2020: *Kvalita vôd v chránených vodohospodárskych oblastiach za rok 2019*. Bratislava, Slovenský hydrometeorologický ústav.
- BODIŠ, D., REPČOKOVÁ, Z., SLANINKA, I., KRČMOVÁ, K. 2008: Stanovenie požadovaných a prahových hodnôt ÚPV a hodnotenie chemického stavu podzemných vôd na Slovensku. Záverečná správa geologickej úlohy. č. 208/1. Manuskript – archív ŠGÚDŠ Bratislava.
- BUBENÍKOVÁ, M., PATSCHOVÁ, A., KUČEROVÁ, K., CHUDOBA, V., HAMAR ZSIDEKOVÁ, B., KUŠNIER, S. 2020: Implementácia smernice 2000/60/ES (RSV). Útvary podzemných vôd. Hodnotenie podzemných vôd pre účely smernice 2000/60/ES dosiahnutie dobrého chemického stavu v útvaroch podzemných vôd. Číslo úlohy 9063. Záverečná správa. Manuskript – VÚVH Bratislava, Január 2020.
- European Commission, 2009: Common implementation strategy for the water framework directive (2000/60/EC), Guidance document no. 18, Guidance on Groundwater Status and Trend Assessment (Usmernenie o hodnotení stavu podzemných vôd a hodnotení trendov). Technical Report – 2009 – 026, Luxembourg.
- HRABÁNKOVÁ, A., DATEL, V.J., HUBÁČKOVÁ, J., HODINÁŘOVÁ, Z. et al. 2014: *Metodika pro hodnocení stavu chráněných území podzemní a povrchové vody vymezených podle čl. 7 Rámcové směrnice o vodě č. 2000/60/ES*. Praha, Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., Ministerstvo životního prostředí České republiky, 28 s.
- CHRIAŠTEL, R., KULLMAN, E. 2015: Vyhodnotenie významných trendov v podzemných vodách v Slovenskej republike. *Acta Hydrologica Slovaca*, 16, tematické číslo, s. 59-70.
- KUČEROVÁ, K., PATSCHOVÁ, A., BUBENÍKOVÁ, M., SLOVINSKÁ, M., VAJÍČEKOVÁ, A., MUNKA, K. 2020: Hodnotenie chemického stavu kvartérnych a predkvartérnych útvarov podzemných vôd – Test ochranných pásiem vodárenských zdrojov/chránených vodohospodárskych oblastí, resp. test kvality vody určenej na ľudskú spotrebu. Správa k úlohe č. 10063. Bratislava: Výskumný ústav vodného hospodárstva. Dostupné na internete: <http://www.vuvh.sk/rsv2/default.aspx?pn=PDM> [Prístup 14. 12. 2021].
- MŽP SR, 2021a: Vodný Plán Slovenska, Plán manažmentu správneho územia povodia Dunaja, Plán manažmentu správneho územia povodia Visly. Ministerstvo životného prostredia Slovenskej Republiky. Dostupné na internete: <https://www.minzp.sk/voda/vodny-plan-slovenska/> [Prístup 14. 12. 2021].
- MŽP SR, 2021b: Napojenie obyvateľstva na verejný vodovod. Indikátory zeleného rastu. [Online] Dostupné na internete: <https://www.enviroportal.sk/indicator/detail?id=1277> [Prístup 13. 1. 2021].
- MOGOŇOVÁ, E., et al. 2009: Čo vieme o pitnej vode v Slovenskej republike, Slovenská agentúra životného prostredia, informačná brožúra v rámci projektu - Informačný systém o vode určenej na ľudskú spotrebu. Dostupné na internete: [http://www.vuvh.sk/download/VaV/Vystupy/Brozura\\_O\\_pitnej\\_vode\\_SJ.pdf](http://www.vuvh.sk/download/VaV/Vystupy/Brozura_O_pitnej_vode_SJ.pdf) [Prístup 14. 12. 2021].
- Nariadenie vlády Slovenskej republiky č. 282/2010 Z. z., ktorým sa ustanovujú prahové hodnoty a zoznam útvarov podzemných vôd.*

Nariadenie vlády Slovenskej republiky č. 496/2010 Z. z., ktorým sa mení a dopĺňa nariadenie vlády Slovenskej republiky č. 354/2006 Z. z., ktorým sa ustanovujú požiadavky na vodu určenú na ľudskú spotrebu a kontrolu kvality vody určenej na ľudskú spotrebu.

PITTER, P. 2009: *Hydrochemie*. 4. vyd. Praha, Vysoká škola chemicko-technologická, 579 s.

SALMI, T., MÄÄTTÄ, A., ANTTILA, P., RUOHO-AIROLA, T., AMNELL, T. 2002: Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimated – the Excel template application MAKESENS, Publication on Air Quality No. 31, Report code FMI-AQ-31, Dostupné na internete: <https://en.ilmatieltenlaitos.fi/makesens> [Prístup 14. 12. 2021].

SHMÚ, 2020: Vodohospodárska bilancia SR, Vodohospodárska bilancia množstva podzemnej vody za rok 2019. Ročné publikácie. Bratislava: Slovenský hydrometeorologický ústav. Dostupné na internete: <http://www.shmu.sk/sk/?page=1834> [Prístup 14. 12. 2021].

Smernica Rady 98/83/ES z 3. novembra 1998 o kvalite vody určenej na ľudskú spotrebu, Ú. v. L 330/32, 5. 12. 1998, s. 90-112.

Smernica Európskeho parlamentu a Rady 2000/60/ES z 23. októbra 2000, ktorou sa stanovuje rámec pôsobnosti pre opatrenia spoločnosti v oblasti vodného hospodárstva, Ú. v. L 327/1, 22. 12. 2000 s. 275-346.

Smernica Európskeho parlamentu a Rady 2006/118/ES z 12. decembra 2006 o ochrane podzemných vôd pred znečistením a zhoršením kvality, Ú. v. L 372, 27. 12. 2006, s. 19-31.

UK Technical Advisory Group on the Water Framework Directive, 2012: UKTAG Paper 11 b (i) - Guidance on Ground Water Chemical Classification (Usmernenie k hodnoteniu chemického stavu podzemných vôd), Groundwater Chemical Classification for the Purposes of the WFD and the Groundwater Directive, s. 32, Dostupné na internete: <https://www.wfduk.org/resources/paper-11bi-groundwater-chemical-classification-april-2019> [Prístup 14. 12. 2021].

ÚVZ SR, 2021: Správa Slovenskej republiky o kvalite vody určenej na ľudskú spotrebu v rokoch 2017 – 2019 vypracovaná na základe čl. 13 smernice Európskeho parlamentu a Rady 98/83/ES o kvalite vody určenej na ľudskú spotrebu. Bratislava: Úrad verejného zdravotníctva Slovenskej republiky, Výskumný ústav vodného hospodárstva, Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky. Dostupné na internete: [https://www.uvzsr.sk/docs/info/pitna/Sprava\\_Slovenskej\\_republiky\\_o\\_kvalite\\_vody\\_urcenej\\_na\\_ludsku\\_spotrebu\\_v\\_rokoch\\_2017\\_2019.pdf](https://www.uvzsr.sk/docs/info/pitna/Sprava_Slovenskej_republiky_o_kvalite_vody_urcenej_na_ludsku_spotrebu_v_rokoch_2017_2019.pdf) [Prístup 14. 12. 2021].

Vyhláška Ministerstva životného prostredia Slovenskej republiky č. 636/2004 Z. z., ktorou sa ustanovujú požiadavky na kvalitu surovej vody a na sledovanie kvality vody vo verejných vodovodoch.

Vyhláška Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky č. 247/2017 Z. z., ktorou sa ustanovujú podrobnosti o kvalite pitnej vody, kontrole kvality pitnej vody, programe monitorovania a manažmente rizík pri zásobovaní pitnou vodou.

Zákon č. 364/2004 Z. z., o vodách a o zmene zákona Slovenskej národnej rady č. 372/1990 Zb. o priestupkoch v znení neskorších predpisov (vodný zákon).

Zákon č. 305/2018 Z. z., o chránených oblastiach prirodzenej akumulácie vôd a o zmene a doplnení niektorých zákonov.

## SUMMARY

Maintaining suitable quality of water intended for human consumption is of great importance. In Slovakia, 84% of drinking water is exploited from the groundwater sources (ÚVZ SR, 2021). The Water Framework Directive 2000/60/EC requires an assessment of the status of groundwater bodies (GWB). The test of quality of water intended for human consumption is one of the 4 tests for assessing the groundwater body's chemical status. This test was carried out in Slovakia for the first time (Kučerová et al., 2021).

The evaluation of the test was based on the quality of untreated groundwater intended for human consumption for a total of 44 relevant indicators (4 microbiological, 37 chemical and 3 radiological) in the 1 980 abstraction points for a period of 10 years (2008 – 2017). The scheme of the test at the level of abstraction point is depicted in the fig. 1. The main part of the test consists of assessment of the statistical significant and sustained upward trend of the concentration of individual indicators at the level of abstraction point. The statistical significance of trends was tested by nonparametric Mann-Kendall test (Salmi et al., 2002) and parametric linear regression.

If there was identified the upward trend of concentration and the forecast for the year 2027 exceeds the threshold value or the average value of the last 2-years exceeds 75% of the threshold value, we consider it as abstraction point in poor status (significant and sustained upward trend at the level of abstraction point). At the level of GWB, the test consists of estimation of the percentage of groundwater body area in poor chemical status and additional expert assessment. The percentage of the area in poor status was evaluated by interpolation of the last 2-year average concentration of indicator using the kriging method. If the area evaluated in poor status was less than 5% of GWB, it was classified in good chemical status according to the test of quality of water intended for human consumption. If the area evaluated in poor status was in the range 5 – 20%, the GWB was classified in the risk of not achieving the environmental objectives by the year 2027. If the area exceeds 20% of the GWB, it was classified in poor chemical status. The resulting status of the GWB included expert assessment that takes into account the average concentration of the indicator in 2018, the background values (probable origin of the indicator - natural and/or anthropogenic) and the health importance of the indicator.

A significant and sustained upward trend (SSUT) was evaluated in 56 time series. The most frequently identified SSUT were for nitrates in 12 abstraction points, iron in 10, coliform bacteria in 9, manganese in 7 and sulphate in 5 abstraction points. Furthermore, SSUT were identified in at least one abstraction point for ammonium, absorbance, gross alpha activity, *E. coli*, pH, sodium and chemical oxygen demand by permanganate. The evaluation of the test of quality of water intended for human consumption is presented on the example of 3 selected GWBs. The presented graphs in the figures (fig. 2 - 6, 8) show the time series of annual average concentration and the used test threshold values. A more detailed evaluation of the test together with the number/percentage of abstraction points classified in poor status, kriging results and the final assessment of the chemical status of GWBs are displayed in tab. 1. The overall result of this test is shown on the map (fig. 10). Based on the chosen methodology and expert assessment, 60 GWBs were classified in good chemical status and only one GWB was classified in poor chemical status due to ammonium pollution. 6 GWBs were classified in the risk of failing to achieve environmental objectives by 2027, due to the indicator of sulphates, ammonium and coliform bacteria. 8 GWBs were not evaluated due to the lack of data. Measures to reverse this status have been proposed for GWBs assessed as being at risk of failing to achieve environmental objectives and for GWB assessed in poor chemical status. The resulting chemical status of the GWBs taking into account all 4 tests is published in the Water plan of the Slovak Republic (MŽP SR, 2021a).