

VYHODNOTENIE VÝZNAMNÝCH TRENDOV
V PODZEMNÝCH VODÁCH V SLOVENSKEJ REPUBLIKE

Róbert Chriateľ, Eugen Kullman

V roku 2014 Slovenský hydrometeorologický ústav v spolupráci s firmou Dekonta s.r.o. Bratislava vypracoval návrh hodnotenia trendov v ukazovateľoch kvantitatívneho a chemického stavu v útvaroch podzemných vôd. Následne bolo spracované samotné vyhodnotenie významných trendov v jednotlivých útvaroch podzemných vôd, vychádzajúce z komplexných výsledkov monitorovania kvantity a kvality podzemných vôd realizovaného Slovenským hydrometeorologickým ústavom v rokoch 2004 – 2013 na objektoch štátnej hydrologickej siete. V prípade hodnotenia chemického stavu, prítomnosť významných a trvalo vzostupných trendov na úrovni monitorovacích miest bola najčastejšie vyhodnotená pri ukazovateľoch Cl^- , SO_4^{2-} a NH_4^+ . Prítomnosť významného a trvalo vzostupného trendu na úrovni útvaru bola preukázaná v útvare podzemných vôd SK1000600P v ukazovateli SO_4^{2-} . V prípade hodnotenia kvantitatívneho stavu bola prítomnosť významných a trvalo vzostupných trendov bilančných stavov podzemných vôd dokumentovaná v útvaroch podzemných vôd SK200030KF, SK000900F, SK2002100P, SK2004500P, SK2005300P a SK200540FP (pri zohľadnení hodnôt transformovaných využiteľných množstiev) a navyše aj v útvare podzemných vôd SK200170FP (pri zohľadnení hodnôt netransformovaných využiteľných množstiev). Pri vyhodnotení štatisticky významných a trvalých poklesových trendov na úrovni monitorovacích miest bol takýto trend dokumentovaný v útvaroch podzemných vôd SK1001600P, SK2001800F a SK200590FP.

KLÚČOVÉ SLOVÁ: podzemný voda, hodnotenie trendov, Rámcová smernica o vode

ASSESSMENT OF SIGNIFICANT TRENDS IN GROUND WATERS IN THE SLOVAK REPUBLIC. Slovak Hydrometeorological Institute in cooperation with Dekonta s.r.o Bratislava Company prepared proposal of trend assessment for chemical and quantitative status of groundwater bodies in 2014. Afterwards was realized assessment of significant trends in individual groundwater bodies based on results of groundwater quality and quantity monitoring realized by Slovak Hydrometeorological Institute in 2004 – 2013. In the case of chemical status assessment, sustained and upward trends at sampling sites level were the most often classified for sulfates, chlorine and ammonia. Occurrence of sustained and upward trend at groundwater body level was identified for sulfates in groundwater body SK1000600P. In the case of quantitative status assessment, significant and sustained upward trends of groundwater balance status were documented in groundwater bodies SK200030KF, SK000900F, SK2002100P, SK2004500P, SK2005300P and SK200540FP (taking into account the values of transformed exploitable groundwater resources) and additionally also in the groundwater body SK200170FP (taking into account values of non-transformed exploitable groundwater resources). Significant and sustained decreasing trend at groundwater quantity monitoring sites has been documented in groundwater bodies SK1001600P, SK2001800F and SK200590FP.

KEY WORDS: groundwater, trend assessment, Water Framework Directive

Úvod

Smernica 2000/60/ES Európskeho parlamentu a Rady z 23.10.2000 ustanovujúca rámec pôsobnosti spoločenstva v oblasti vodnej politiky (v ďalšom texte RSV) definuje v čl. 4.1.b environmentálne ciele pre podzemné

vody. V uvedenom článku sa v odseku 3 uvádza, že členské štáty uskutočnia potrebné opatrenia na zvrátenie akéhokoľvek významného a trvalo vzostupného trendu koncentrácie akejkoľvek znečisťujúcej látky, ktorý je spôsobený ľudskou činnosťou, za účelom zníženia znečistenia podzemnej vody. Je zrejme, že pre naplne-

nie tejto požiadavky musia byť k dispozícii informácie o existencii vzostupných trendov koncentrácií znečisťujúcich látok v podzemných vodách a zároveň musí byť k dispozícii hodnotiacia schéma umožňujúca identifikáciu významných a trvalo vzostupných trendov na úrovni útvarov podzemných vôd.

K riešeniu uvedenej problematiky pristúpil Slovenský hydrometeorologický ústav v roku 2014, kedy v spolupráci s firmou Dekonta s.r.o. Bratislava bola v rámci úlohy 3291-00 "Implementácia RSV – klasifikácia a hodnotenie podzemných vôd" spracovaná čiastková úloha "Agregácia bodových výsledkov meraní na úroveň útvarov podzemných vôd a ich analýza za účelom priestorového zhodnotenia trendov kvantity a kvality podzemných vôd".

V rámci riešenia uvedenej čiastkovej úlohy bol navrhnutý postup hodnotenia významných a trvalo vzostupných trendov v útvaroch podzemných vôd pre ukazovatele chemického stavu. Obdobné hodnotenie bolo navrhnuté aj pre ukazovatele kvantitatívneho stavu podzemných vôd, kde bolo hodnotenie zamerané na významné poklesy využiteľných množstiev podzemných vôd. Navrhovaný postup bol následne aplikovaný na údaje z monitorovania množstva a kvality podzemných vôd realizovaného Slovenským hydrometeorologickým ústavom v štátnej monitorovacej sieti. Výsledkom hodnotenia bola identifikácia útvarov podzemných vôd v ktorých sa vyskytujú významné a trvalo vzostupné (kvalita) resp. trvalo poklesové (kvantita) trendy.

Materiál a metódy

Predmetom riešenia bolo vyhodnotenie trendov v ukazovateľoch chemického a kvantitatívneho stavu v útvaroch podzemných vôd Slovenska (vrstvy útvarov podzemných vôd v kvartérnych sedimentoch a vrstvy útvarov podzemných vôd v predkvartérnych horninách, spolu 75 útvarov podzemných vôd) v súlade s požiadavkami smernice 2000/60/ES. Základným cieľom riešenia čiastkovej úlohy bolo identifikovať tie útvary podzemných vôd Slovenska, v ktorých:

- v prípade chemického stavu je prítomný významný a trvalo vzostupný trend,
- v prípade kvantitatívneho stavu je prítomný významný a trvalo vzostupný trend pri medziročnom bilančnom hodnotení útvarov podzemnej vody stanoveným pomerom transformovaných využiteľných množstiev podzemných vôd v útvare podzemnej vody (Kullman et al, 2014) k dokumentovaným odberom podzemnej vody za útvary ako celok (dataset A),
- v prípade kvantitatívneho stavu je prítomný významný, trvalo vzostupný trend pri medziročnom bilančnom hodnotení útvarov podzemnej vody stanovených pomerom netransformovaných využiteľných množstiev podzemných vôd v útvare podzemnej vody (Kullman et al, 2014) k dokumentovaným odberom podzemnej vody za útvary ako celok (dataset B),

- v prípade kvantitatívneho stavu je prítomný významný, trvalo poklesový trend hladinového režimu podzemných vôd, alebo významný trvalo poklesový trend výdatností prameňov, v oboch prípadoch dokumentovaný na objektoch štátnej hydrologickej siete podzemných vôd SR.

Pri riešení úlohy sme vychádzali z hodnotení trendov v podzemných vodách v SR spracovaných v roku 2013 (Bodiš et al, 2013) a postupov uvedených v príručkách Európskej komisie (ďalej len EK) spracovaných za účelom harmonizácie implementácie smernice 2000/60/ES (European Commission, 2001; European Commission, 2009). Do úvahy boli brané aj prístupy hodnotenia trendov v podzemných vodách použité v Írsku (Craig et al, 2010), Veľkej Británii (UKTAG, 2012) a Rakúsku (Grath et al, 2001).

Hodnotenie trendov bolo vykonávané použitím výsledkov monitorovania kvantity a kvality podzemných vôd realizovaného Slovenským hydrometeorologickým ústavom v rokoch 2004 – 2013 a výsledkov Vodohospodárskej bilancie SR časť podzemné vody spracovaných za roky 2004 – 2012 (transpozíciou bilančného hodnotenia 141 hydrogeologických rájónov Slovenska na 75 útvarov podzemných vôd, s využitím dokumentovaných využiteľných množstiev podzemných vôd a dokumentovaných odberov podzemných vôd s odberom nad 1250 m³.mesiac⁻¹ uvádzaných pre jednotlivé hydrogeologické rájóny Slovenska). Vo všetkých troch prípadoch sa jednalo o relatívne rozsiahle dátové súbory. Pre hodnotenie trendov vývoja chemického stavu súbor vstupných údajov pozostával zo 107062 individuálnych výsledkov chemických analýz zoskupených do 5830 časových radov (pod časovým radom v celom texte rozumieme súbor napozorovaných hodnôt získaných v monitorovacom mieste bez rozlíšenia, či sa jedná o individuálne, alebo agregované údaje). Pre hodnotenie kvantitatívneho stavu bolo analyzovaných 1350 bilančných stavov a 6130 časových radov meraní na sondách a 2220 časových radov meraní na prameňoch. Pre takýto enormný rozsah údajov bolo potrebné zvoliť také metódy hodnotenia trendov, ktoré umožňujú vykonať analýzu veľkého počtu časových radov v reálnom čase.

V úvode riešenia úlohy boli definované nasledovné požiadavky na časové rady vstupujúce do hodnotenia trendov:

- Hodnotenie je potrebné vykonávať na základe priemerných ročných údajov hladín podzemných vôd alebo výdatností prameňov;
- Hodnotiace obdobie je 2004 – 2013, pri bilančnom hodnotení útvarov podzemných vôd 2004 – 2012.

V prípade hodnotenia chemického stavu boli ďalšími požiadavkami:

- Minimálny rozsah časových radov je 6 rokov;
- Medzera medzi pozorovaniami v rámci časového radu nesmie presiahnuť 1 rok;
- Posledné pozorovania musia byť vykonávané minimálne v roku 2012;

- Podiel meraní pod detekčným limitom nesmie presiahnuť 50 %;
- Podiel unikátnych hodnôt v časovom rade musí tvoriť minimálne 50 % z jeho rozsahu;
- Transformáciu cenzorovaných údajov je potrebné vykonávať v súlade s príručkou CIS č. 18 (European Commission, 2009).

Zároveň bola definovaná požiadavka, aby agregácia údajov z jednotlivých monitorovacích bodov pre útvary podzemných vôd ako celok bola vykonaná iba z monitorovacích miest s rovnakým rozsahom časových radov. Voľba štatistických metód bola podmienená rozsahom a charakterom štatistických súborov (časových radov), ktorých základným znakom bol relatívne malý rozsah ($6 \leq n \leq 10$) a rôznorodosť rozdelenia údajov.

Hodnotenie chemického stavu

Pri hodnotení chemického stavu bolo prvým krokom spracovanie opisnej štatistiky vstupných údajov. Následne bola spracovaná analýza súladu časových radov s kritériami uvedenými v predchádzajúcej kapitole. Uvedené podmienky spĺňalo 2748 časových radov. Substitúcia cenzorovaných údajov bola vykonaná nasledovným spôsobom:

- Merania pod detekčným limitom boli nahradené najvyššou hodnotou detekčného limitu vyskytujúcou sa v časovom rade (Max ND);
- V prípade, že sa v časovom rade vyskytovala reálne nameraná hodnota nižšia, ako je Max ND táto bola tiež nahradená hodnotou Max ND.

Po uvedenej úprave sme pristúpili k agregácii údajov formou výpočtu priemernej hodnoty údajov napozorovaných v monitorovacom mieste v priebehu roka. Týmto sme získali základný súbor agregovaných vstupných údajov, ktorý následne vstupoval do hodnotenia trendov na úrovni monitorovacích miest.

Pre testovanie prítomnosti štatisticky významných trendov sme použili dva testy: ANOVA (analýza rozptylu) a Mann-Kendallov test. Pri aplikácii Mann-Kendallovho testu sme použili postup aplikovaný v práci Salmi et al, (2002) t.j. v závislosti od rozsahu časových radov sme použili buď Mann-Kendallovu štatistiku S (pri $n < 10$), alebo štandardný Mann-Kendallov test (pri $n = 10$). Smer trendu sme v prípade aplikácie ANOVA odvodili zo smernice priamky lineárneho trendu a v prípade Mann-Kendallovho testu z hodnoty vypočítaných štatistik (kladné hodnoty S, alebo Z indikovali stúpajúci, záporné klesajúci trend). Obidva testy boli vykonávané na hladine významnosti $\alpha = 5\%$.

Zároveň sme testovali charakter rozdelenia údajov v jednotlivých časových radoch pomocou Shapiro-Wilkovho testu (Shapiro et al, 1965) a Lillieforsovej varianty Kolmogorov-Smirnovovho testu (Lilliefors, 1967). Vzhľadom na malý rozsah hodnotených štatistických súborov sme prijali zásadu, že normálne rozdelenie údajov vykazujú len tie časové rady, v ktorých

bolo identifikované obidvomi testami. Tak ako hodnotenie trendov, aj testovanie rozdelenia údajov sme vykonávali na hladine $\alpha = 5\%$.

Prítomnosť štatisticky významných trendov bola vyhodnotená kladne, ak bola splnená aspoň jedna z nasledovných podmienok:

- Mann-Kendallov test indikuje na zvolenej hladine štatistickú významnosť trendu a/alebo,
- ANOVA indikuje na zvolenej hladine štatistickú významnosť trendu a súčasne platí, že údaje tvoriace časový rad vykazujú normálne rozdelenie.

V ďalšom kroku sme pristúpili k identifikácii významného a trvalo vzostupného trendu v každom časovom rade, v ktorom bol zistený stúpajúci štatisticky významný trend. Na jeho určenie sme použili nasledujúce kritériá:

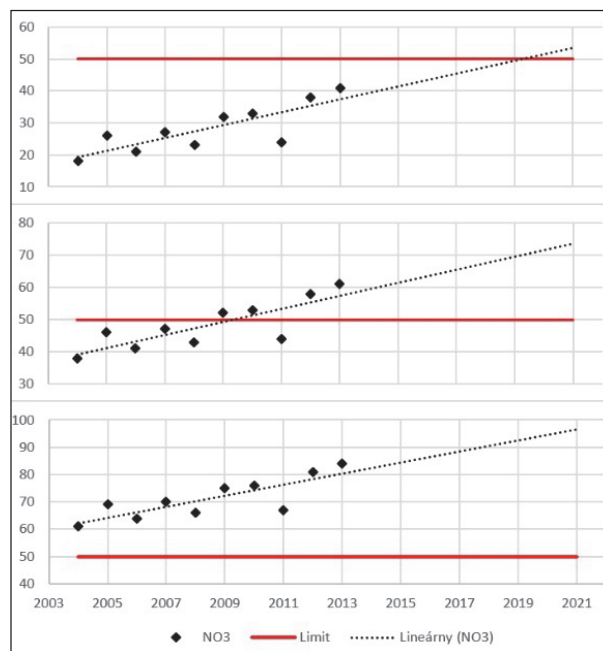
- v časovom rade je identifikovaný stúpajúci štatisticky významný trend a súčasne,
- prognózovaná hodnota lineárneho trendu pre rok 2021 je vyššia ako príslušná limitná hodnota.

Príklady zaradenia stúpajúceho štatisticky významného trendu do kategórie významných trvalo vzostupných trendov sú uvedené na obrázku 1.

Na prognózovanie hodnoty lineárneho trendu bol pri normálnom rozdelení štatistického súboru použitý regresný model vypočítaný metódou najmenších štvorcov (USEPA, 2013). V prípade, že štatistický súbor nevykazoval normálne rozdelenie, bol pre odhad skutočnej smernice lineárneho trendu použitý Senov neparametrický postup (Salmi et al, 2002). Ak prognózovaná hodnota lineárneho trendu pre rok 2021 bola vyššia ako príslušná limitná hodnota (norma kvality, alebo prahová hodnota v zmysle smernice 2006/118/ES), zistený stúpajúci štatisticky významný trend bol klasifikovaný ako významný a trvalo vzostupný trend.

Následne sme pristúpili k hodnoteniu trendov na úrovni útvarov podzemných vôd. Toto hodnotenie sa vykonávalo len pre tie ukazovatele a útvary podzemných vôd, pri ktorých bola aspoň v jednom monitorovacom mieste zistená prítomnosť významného a trvalo vzostupného trendu. Spôsob agregácie údajov bol zvolený na základe predbežnej analýzy údajov a prístupov používaných v iných členských krajinách (Craig et al, 2010; Grath et al, 2001). Agregácia údajov za jednotlivé ukazovatele bola realizovaná spriemerovaním priemerných ročných údajov napozorovaných v jednom roku vo všetkých monitorovacích miestach v rámci hodnoteného útvaru podzemných vôd, pričom museli byť splnené nasledovné podmienky:

- Hodnotiace obdobie určoval prienik časových radov v ktorých na úrovni monitorovacieho miesta bola v hodnotenom útvare podzemných vôd identifikovaná prítomnosť významného trvalo vzostupného trendu. Údaje pozorované v rokoch mimo takto určeného rozsahu neboli zaradené do ďalšieho hodnotenia;
- Časové rady kratšie, ako stanovené hodnotiace



Obr. 1. Príklady zaradenia stúpajúceho štatisticky významného trendu do kategórie významných a trvalo vzostupných trendov.

Fig. 1. Examples of the classification of “statistically significant upward trend” to the category “significant and sustained upwards trends”.

- obdobie neboli zahrnuté do agregácie údajov;
- V prípade, že sa v útvaru podzemných vôd v danom roku vyskytovalo pozorovanie len v monitorovacom mieste, v ktorom bola identifikovaná prítomnosť významného a trvalo vzostupného trendu, nebol údaj z tohto roku zaradený do agregácie údajov;
- Do agregácie boli zahrnuté aj tie časové rady, ktoré neboli hodnotené na úrovni monitorovacích miest z nasledovných dôvodov:
 - Podiel meraní pod detekčným limitom presiahol 50 %;
 - Podiel unikátnych hodnôt v časovom rade tvoril menej, ako 50 % z jeho rozsahu.

Časový rad, ktorý vznikol uvedenou agregáciou musel spĺňať požiadavky na časové rady pre hodnotenie trendov na úrovni monitorovacích miest (pozri úvod kapitoly).

Aplikovaním opísaného postupu sme získali základný súbor agregovaných vstupných údajov, ktorý následne vstupoval do hodnotenia trendov na úrovni vodných útvarov. Pre hodnotenie trendov bol použitý rovnaký postup, ako v prípade ich hodnotenia na úrovni monitorovacích miest.

Hodnotenie kvantitatívneho stavu

Pri hodnotení kvantitatívneho stavu útvarov podzemných vôd ako celku bolo primárnym krokom spracova-

nie vstupných časových radov do hodnotenia prítomnosti štatisticky významných trendov. Vstupné časové rady boli tvorené:

- Časovými radmi bilančných stavov útvarov podzemných vôd s využitím transformovaných využiteľných množstiev podzemných vôd obdobia 2004 -2012,
- Časovými radmi bilančných stavov útvarov podzemných vôd s využitím netransformovaných využiteľných množstiev podzemných vôd obdobia 2004 - 2012,
- V útvaroch podzemných vôd Slovenska u ktorých „Aktualizované hodnotenie kvantitatívneho stavu útvarov podzemných vôd“ (Kullman et. al, február 2014) dokumentovalo minimálne jeden monitorovací objekt s existujúcim poklesovým trendom (buď pokles hladín podzemných vôd v sonde, alebo pokles výdatností u prameňa) bolo spracované pričlenenie monitorovacích objektov štátnej hydrologickej siete podzemných vôd (sondy, pramene) k príslušnému útvaru podzemných vôd a pre následné hodnotenie boli vygenerované časové rady:
- Ročnými priemernými hodnotami stavov hladín podzemných vôd v m.n.m. pre jednotlivé monitorovacie objekty spadajúce do daného útvaru obdobia 2004-2013,
- Ročnými priemernými hodnotami výdatností prameňov v $l.s^{-1}$ pre jednotlivé monitorovacie objekty spadajúce do daného útvaru obdobia 2004-2013,
- Ročnými pomernými hodnotami stavov hladín pod-

zemných vôd pre jednotlivé monitorovacie objekty (sondy) spadajúce do daného útvaru obdobia 2004-2013,

- Ročnými pomernými hodnotami výdatností prameňov pre jednotlivé monitorovacie objekty (pramene) spadajúce do daného útvaru obdobia 2004 - 2013,
- Ročnými priemernými pomernými hodnotami pre všetky sondy v útvare spolu za obdobie 2004-2013,
- Ročnými priemernými pomernými hodnotami pre všetky pramene v útvare spolu za obdobie 2004-2013,
- Ročnými priemernými pomernými hodnotami pre všetky sondy a pramene v útvare spolu za obdobie 2004-2013.

Týmto sa získali základné súbory agregovaných vstupných údajov, ktoré vytvorili dátový podklad pre identifikáciu existencie významných trendov na úrovni útvarov podzemných vôd ako celku. Pre testovanie prítomnosti štatisticky významných trendov bol použitý rovnaký postup ako pri hodnotení chemického stavu podzemných vôd. Výsledkom hodnotenia bola dokumentovaná prítomnosť významného trendu (nárastového pri bilančnom hodnotení útvarov podzemných vôd resp. poklesového pri hodnotení zmien hydrologického režimu podzemných vôd – sondy, pramene a spolu) pre jednotlivé útvary podzemných vôd v kvartérnych sedimentoch a prekvartérnych horninách.

Výsledky a diskusia

Hodnotenie chemického stavu

Vyhodnotenie štatisticky významných trendov na úrovni monitorovacích miest

Kritériá pre hodnotenie trendov na úrovni monitorovacích miest spĺňalo 809 časových radov. V relatívne vysokom počte monitorovacích miest bolo možné vyhodnotiť trendy pre monitorované základné fyzikálno-chemické ukazovatele (SO_4^{2-} , Cl^- , NH_4^+ , NO_3^-) a TOC (tab. 1). Najčastejším dôvodom pre vyradenie časového radu z procesu štatistického hodnotenia trendov bola nadpolovičná prítomnosť meraní pod limit kvantifikácie použitej analytickej metódy.

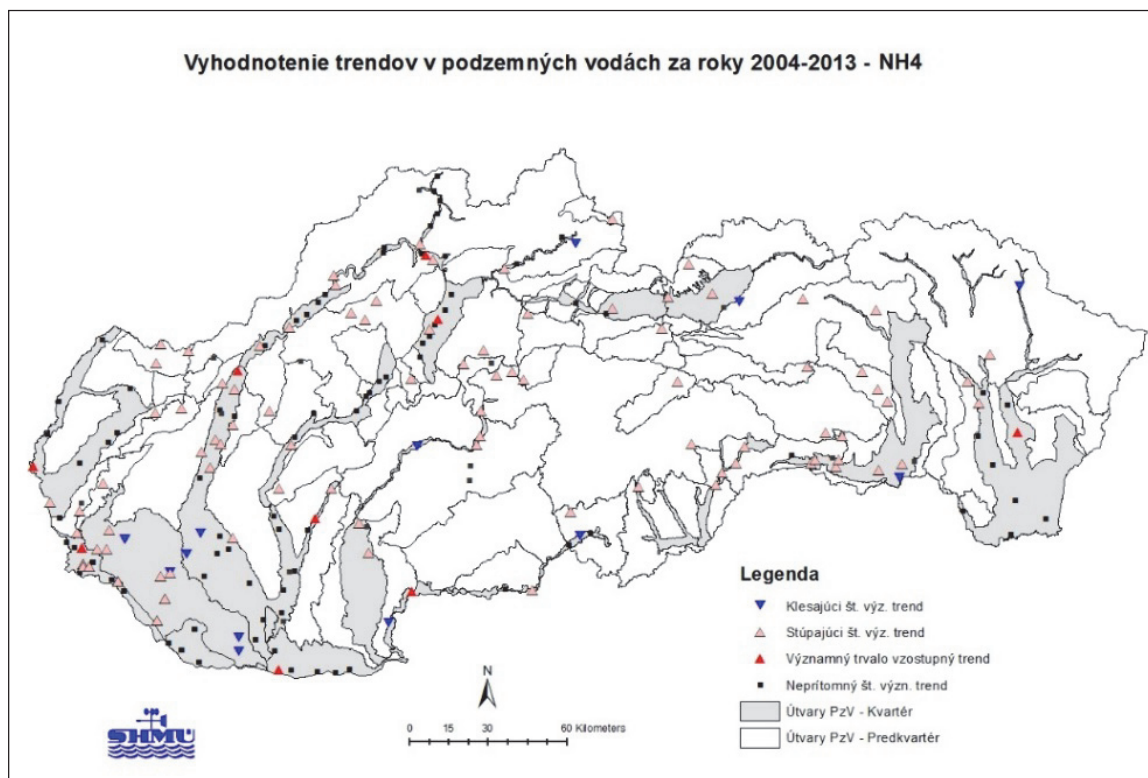
Z vyhodnotených údajov vyplýva, že v tých ukazovateľoch, kde bolo možné vyhodnotiť trendy aspoň v 10 monitorovacích miestach prevládajú štatisticky významné vzostupné trendy v prípade ukazovateľov NH_4^+ a Zn (tab. 1). Aj keď pri NH_4^+ sa jedná o výraznú prevahu počtu vzostupných trendov (obr. 2), väčšinou sa ich koncentrácie pohybujú hlboko pod príslušnou prahovou hodnotou a ako bude prezentované v ďalšom texte, zatiaľ nebol identifikovaný významný a trvalo vzostupný trend na úrovni útvaru podzemných vôd.

Vzhľadom na to, že amóniové ióny sú do podzemných vôd vnášané najmä antropogénnou cestou (Pitter, 1999),

Tabuľka 1. Prehľad počtu časových radov vstupujúcich do hodnotenia trendov a počtov štatisticky významných trendov

Table 1. Summary of number of time series involved to the trend assessment and numbers of statistically significant trends

Ukazovateľ	Celkový počet časových radov	Stúpajúci št. výz. trend	Klesajúci št. výz. trend	Nepřítomný št. význ. trend
SO4	173	47	123	3
Cl	143	51	88	4
TOC	143	10	130	3
NH4	132	104	14	14
NO3	71	24	46	1
Zn	42	27	5	10
As	21	5	9	7
CHSK-Mn	21	5	14	2
NO2	20	6	7	7
1,1,2-trichlóretén	10	1	8	1
Atrazín	10		6	4
1,1,2,2-tetrachlóretén	6	2	4	
Cd	5	3	1	1
Al	3	1	2	
Cu	2		1	1
Ni	2			2
1,2-dichlórbenzén	1		1	
1,3-dichlórbenzén	1		1	
Benzén	1		1	
Hg	1		1	
Chlórbenzén	1		1	
Celkový súčet	809	286	463	60



Obr. 2. Vyhodnotenie trendov v monitorovacích miestach – NH₄⁺.
Fig. 2. Trend assessment in sampling sites – NH₄⁺.

bude potrebné situáciu pozorne sledovať, popřípadе zväžiť prijatie preventívnych nápravných opatrení. Na druhej strane môžeme konštatovať, že štatisticky významný pokles koncentrácií prevažuje u všetkých ostatných ukazovateľov zaradených do tejto skupiny ukazovateľov (SO₄²⁻, Cl⁻, NH₄⁺, NO₃⁻, TOC, CHSK_{Mn}, NO₂⁻, 1,1,2-trichlóretén a Atrazín).

Vyhodnotenie významných a trvalo vzostupných trendov na úrovni monitorovacích miest

Významné a trvalo vzostupné trendy boli aspoň v jednom monitorovacom mieste vyhodnotené v 13 útvaroch podzemných vôd (tab. 2). Spolu bolo vyhodnotených 65 významných a trvalo vzostupných trendov. Až na dva prípady boli všetky identifikované v kvartérnych útvaroch podzemných vôd, pričom ich najčastejší výskyt bol zaznamenaný v útvaroch SK1000300P (Medzizrnové podzemné vody kvartérnych náplavov centrálnej časti Podunajskej panvy), SK1000400P (Medzizrnové podzemné vody kvartérnych náplavov dolného toku Váhu, Nitry a ich prítokov) a SK1000200P (Medzizrnové podzemné vody kvartérnych náplavov západnej časti Podunajskej panvy).

Z pohľadu hodnotených ukazovateľov boli významné a trvalo vzostupné trendy najčastejšie vyhodnotené pre Cl⁻, SO₄²⁻ a NH₄⁺ (tab. 2).

Vyhodnotenie významných a trvalo vzostupných trendov na úrovni útvarov podzemných vôd

Do hodnotenia vstupovalo 13 útvarov podzemných vôd, v ktorých aspoň v jednom monitorovacom mieste bola v danom ukazovateli identifikovaná prítomnosť významného a trvalo vzostupného trendu (tab. 2). Štatisticky významné vzostupné trendy na úrovni útvarov podzemných vôd boli vyhodnotené v šiestich z nich. Následným hodnotením boli predbežne identifikované významné a trvalo vzostupné trendy v ukazovateľoch Cl⁻ (obr. 3) a SO₄²⁻ (obr. 4) v 3 útvaroch podzemných vôd menovite: SK1000100P Medzizrnové podzemné vody kvartérnych náplavov Viedenskej panvy, SK1000600P Medzizrnové podzemné vody kvartérnych náplavov východnej časti Podunajskej panvy a SK1000700P a Medzizrnové podzemné vody kvartérnych náplavov Hrona (tab. 3).

Finálne hodnotenie pozostávalo z podrobnej analýzy údajov, ktoré vstupovali do hodnotenia predbežne identifikovaných významných a trvalo vzostupných trendov na úrovni útvarov podzemných vôd. Ukázalo sa, že výsledná klasifikácia je v útvaru SK1000100P výrazne ovplyvnená výsledkami monitorovania z objektu 209090 Záhorská Ves. Priemerná koncentrácia analyzovaná vo vzorkách odobratých v priebehu hodnotiaceho obdobia presahuje prahovú hodnotu v prípade chloridov

desaťnásobne (obr. 5) a v prípade síranov päťnásobne (obr. 6). Vzhľadom na to, že agregácia údajov s použitím aritmetického priemeru je citlivá na odľahlé hodnoty, došlo k výraznému ovplyvneniu výsledku hodnotenia, čo bolo potvrdené opakovaným hodnotením tak pri vylúčení výsledkov monitorovania z uvedeného objektu, ako aj pri agregácii údajov pomocou mediánu. V oboch prípadoch agregované údaje ležali pod prahovou hodnotou a nevykazovali štatistickú významnosť vzostupného trendu. Z uvedených dôvodov bola prítomnosť významného a trvalo vzostupného trendu vo vodnom útvere SK1000100P vyhodnotená ako nerelevantná.

Významné ovplyvnenie celkového hodnotenia chloridov v útvere podzemných vôd SK1000700P spôsobujú výsledky monitorovania z objektu 56090 Biňa, kde

priemerná koncentrácia chloridov za hodnotené obdobie presahuje príslušnú prahovú hodnotu štvornásobne (obr. 7). Aj v tomto prípade po opakovanom hodnotení pri vylúčení výsledkov monitorovania z uvedeného objektu, ako aj pri agregácii údajov pomocou mediánu sa hodnoty pohybovali pod prahovou hodnotou a nevykazovali štatistickú významnosť vzostupného trendu. Vyhodnotená prítomnosť významného a trvalého vzostupného trendu chloridov v útvere SK1000700P bola následne zamietnutá.

Analýzou vstupných údajov do hodnotenia síranov v útvere podzemných vôd SK1000600P (obr. 8) boli potvrdené závery z predchádzajúcich hodnotení a môžeme konštatovať, že v tomto útvere podzemných vôd je preukázaná prítomnosť významného a trvalo vzostupného trendu v ukazovateli SO_4^{2-} .

Tabuľka 2. Prehľad počtu monitorovacích miest s výskytom významných a trvalo vzostupných trendov

Table 2. Summary of number of sampling sites with occurrence of significant and sustained upward trends

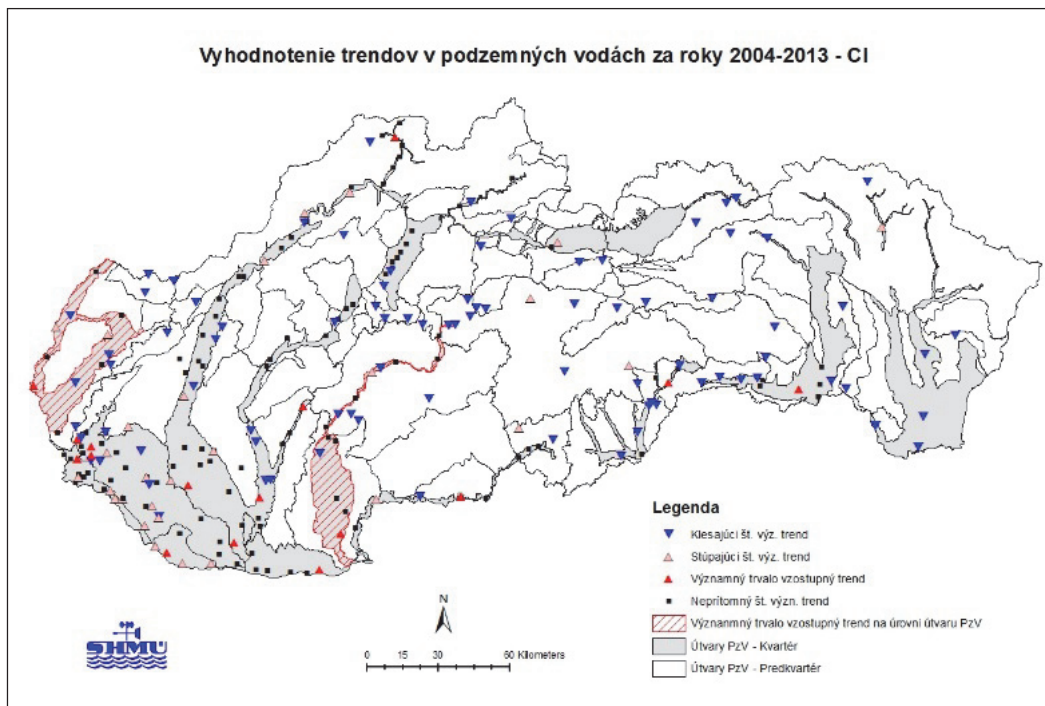
Útvar PzV	Cl	SO4	NH4	NO3	TOC	As	PCE	CHSK -Mn	Trichlór -etén	Al	Počet spolu
SK1000300	4	4		3			1		1		13
SK1000400	4	4	2	2		1					13
SK1000200	3	1	2		1	2		2			11
SK1000700	1	4			1						6
SK1000100	1	1	1		1						4
SK1000600	1	1	1	1							4
SK1000500	1		2								3
SK1000800	1	1	1								3
SK1001200	1	1					1				3
SK1001100	1				1						2
SK1001500			1								1
SK2001000		1									1
SK200540F										1	1
Počet spolu	18	18	10	6	4	3	2	2	1	1	65

Tabuľka 3. Prehľad vyhodnotených štatisticky významných vzostupných trendov na úrovni útvarov podzemných vôd

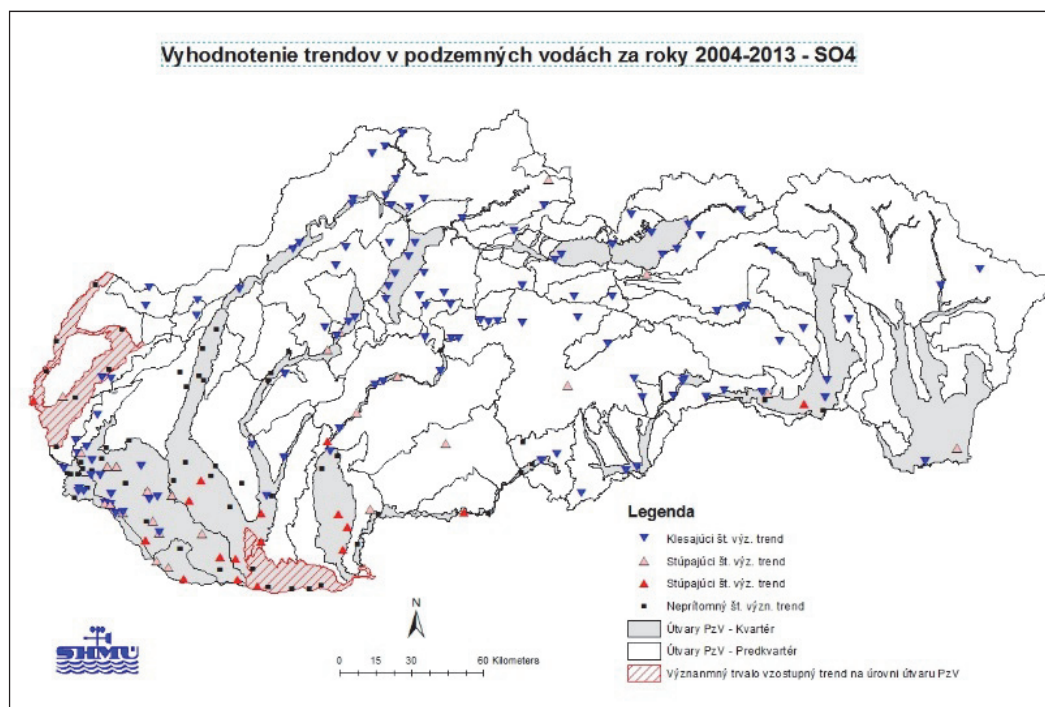
Table 3. Summary of the assessment of statistically significant upward trends on the level of groundwater bodies

Útvar PzV	Cl	NO3	SO4	As	NH4
SK1000100P	1		1		
SK1000200P	1			1	
SK1000600P		1	1		
SK1000400P		1			
SK1000500P					1
SK1000700P	1				

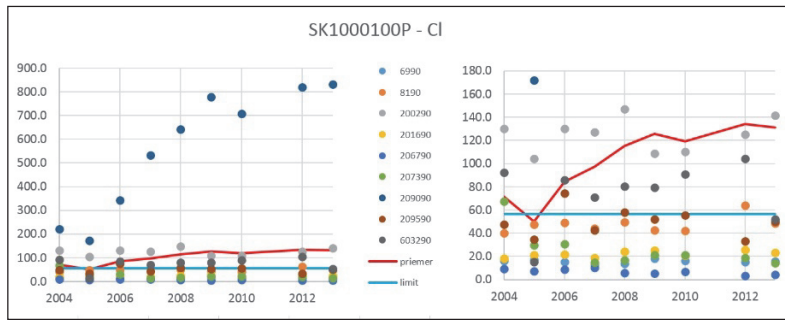
Pozn: Boldom sú označené štatisticky významné vzostupné trendy predbežne klasifikované ako významné a trvalo vzostupné trendy.



Obr. 3. Vyhodnotenie trendov v monitorovacích miestach a útvaroch PzV – Cl.
 Fig. 3. Trend assessment in sampling sites and groundwater bodies – Cl.

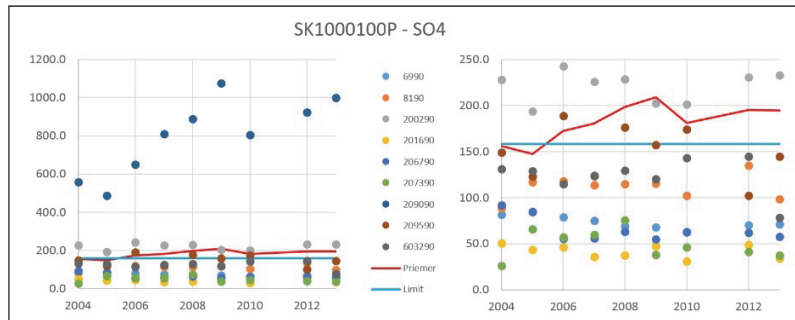


Obr. 4. Vyhodnotenie trendov v monitorovacích miestach a útvaroch PzV – SO₄²⁻.
 Fig. 4. Trend assessment in sampling sites and groundwater bodies – SO₄²⁻.



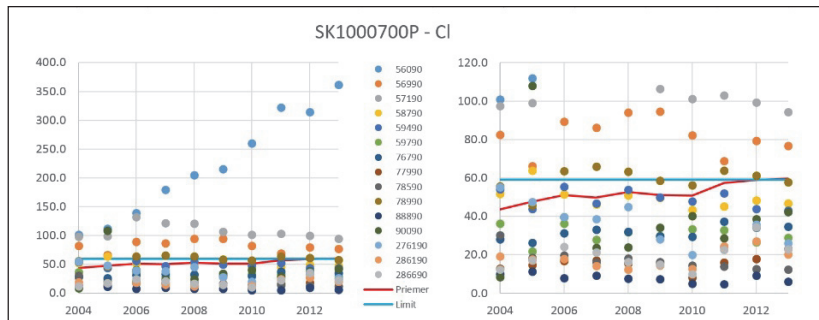
Obr. 5. Vstupné údaje pre hodnotenie trendu na úrovni útvaru PzV (zobrazenie v dvoch mierkach osi y).

Fig. 5. Input data for trend assessment on the GWB level (depicted in two scales of y axis).



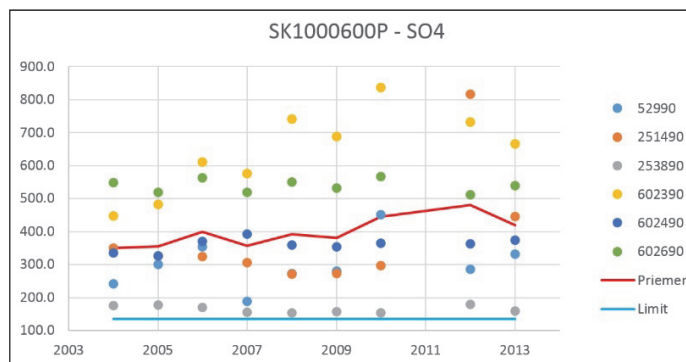
Obr. 6. Vstupné údaje pre hodnotenie trendu na úrovni útvaru PzV (zobrazenie v dvoch mierkach osi y).

Fig. 6. Input data for trend assessment on the GWB level (depicted in two scales of y axis).



Obr. 7. Vstupné údaje pre hodnotenie trendu na úrovni útvaru PzV (zobrazenie v dvoch mierkach osi y).

Fig. 7. Input data for trend assessment on the GWB level (depicted in two scales of y axis).



Obr. 8. Vstupné údaje pre hodnotenie trendu na úrovni útvaru PzV.

Fig. 8. Input data for trend assessment on the GWB level.

Hodnotenie kvantitatívneho stavu

Vyhodnotenie štatisticky významných trendov na úrovni útvaru podzemnej vody (bilančné hodnotenie)

Pri hodnotení časových radov bilančných stavov útvarov podzemných vôd s využitím *transformovaných* využiteľných množstiev podzemných vôd obdobia 2004-2012 bol dokumentovaný stúpajúci štatisticky významný trend v 6 útvaroch podzemných vôd: SK 200030KF, SK000900F, SK2002100P, SK2004500P, SK2005300P a SK200540FP (všetko vo vrstve útvarov podzemných vôd v predkvartérnych horninách).

Pri hodnotení časových radov bilančných stavov útvarov podzemných vôd s využitím *nettransformovaných* využiteľných množstiev podzemných vôd obdobia 2004-2012 bol dokumentovaný stúpajúci štatisticky významný trend v 7 útvaroch podzemných vôd: SK 200030KF, SK000900F, SK200170FP, SK2002100P, SK2004500P, SK2005300P a SK200540FP (všetko vo vrstve útvarov podzemných vôd v predkvartérnych horninách).

Vyhodnotenie štatisticky významných trendov na úrovni monitorovacích miest

Pri hodnotení štatisticky významných trendov nad datasetom výsledkov monitorovania podzemných vôd (agregované zhodnotenie monitorovacích bodov) bol dokumentovaný štatisticky významný poklesový trend v troch útvaroch podzemných vôd (jednom vo vrstve útvarov podzemných vôd v kvartérnych sedimentoch a dvoch vo vrstve útvarov podzemných vôd v predkvartérnych horninách): SK1001600P (štatisticky významný poklesový trend dokumentovaný u zhodnotenia hladinového režimu sond, hodnotenie prameňov nebolo pre absenciu miest prirodzených výverov podzemných vôd v uvedenom útvare realizované), SK2001800F (štatisticky významný poklesový trend dokumentovaný len u zhodnotenia hladinového režimu sond, spoločné zhodnotenie sond a prameňov v útvare podzemnej vody ako celku existenciu štatisticky významného poklesového trendu v režime podzemných vôd pre tento útvar nepreukázalo) a SK200590FP (štatisticky významný poklesový trend dokumentovaný u zhodnotenia výdatností prameňov, spoločné zhodnotenie sond a prameňov v útvare podzemnej vody ako celku existenciu štatisticky významného poklesového trendu v režime podzemných vôd potvrdilo).

Záver

Pri hodnotení trendov bola v závislosti od charakteru rozdelenia vstupných údajov použitá parametrická (ANOVA), alebo neparametrické metóda (Mann-Kendallov test). Na testovanie charakteru rozdelenia údajov bola použitá dvojica testov: Shapiro-Wilkov test a Lillieforsova varianta Kolmogorov-Smirnovovho testu. Všetky štatistické testy boli vykonávané na hladine

významnosti $\alpha = 5\%$. Ako problematická sa ukázala metóda agregácie bodových údajov na plochu, pri ktorej bol použitý výpočet priemerov z ročných priemerov údajov získaných z jednotlivých monitorovacích miest nachádzajúcich sa v hodnotenom útvare podzemných vôd. Následné štatistické hodnotenie takto získaných údajov môže byť výrazne ovplyvnené odľahlými hodnotami, čo sa prejavilo aj pri nami vykonávanom hodnotení. Z prvotne vyhodnotených 4 prípadov prítomnosti významných a trvalo vzostupných trendov na úrovni útvarov podzemných vôd sa ako opodstatnený ukázal len jeden. Preto je veľmi dôležité po realizácii hodnotení trendov založených na podobným spôsobom agregovaných údajoch dodatočne analyzovať všetky vstupné údaje a až na základe ich kontroly určiť, či je dané hodnotenie relevantné.

Hodnotením trendov na úrovni monitorovacích miest bol zistený štatisticky významný vzostup koncentrácií amónnych iónov aspoň v jednom monitorovacom mieste v 45 z celkového počtu 75 všetkých hodnotených útvarov podzemných vôd. Aj keď uvedený nárast koncentrácií sa dotýka prakticky všetkých kvartérnych útvarov, je nutné poznamenať, že v drvivej väčšine sa jedná o koncentračné úrovne hlboko pod príslušnou prahovou koncentráciou. Významný trvalo vzostupný trend na úrovni útvarov podzemných vôd bol identifikovaný v jednom prípade a to pri obsahu síranov v útvare SK1000600P Medzizrnové podzemné vody kvartérnych náplavov východnej časti Podunajskej panvy.

Výsledky hodnotenia kvantitatívneho stavu potvrdili existenciu stúpajúceho štatisticky významného trendu v 6 útvaroch podzemnej vody (pri bilančnom hodnotení s využitím transformovaných využiteľných množstiev podzemných vôd) a v 7 útvaroch podzemnej vody (pri bilančnom hodnotení s využitím nettransformovaných využiteľných množstiev podzemných vôd). Existencia poklesového štatisticky významného trendu bola pri analýze meraní z monitorovacích bodov kvantitatívneho monitorovania podzemných vôd potvrdená v 2 útvaroch podzemnej vody ako celku.

Literatúra

- Bodiš D. et al (2013) Kvantitatívne a kvalitatívne hodnotenie útvarov podzemnej vody (prípravná štúdia), časť III. Vyhodnotenie chemického stavu útvarov podzemnej vody, Štátny geologický ústav D. Štúra Bratislava
- Craig M. and Daly D. (2010) Methodology for establishing groundwater threshold values and the assessment of chemical and quantitative status of groundwater, including an assessment of pollution trends and trend reversal, Environmental Protection Agency, Office of Environmental Assessment, Ireland.
- European Commission (2001) The EU Water Framework Directive: statistical aspects of the identification of groundwater pollution trends, and aggregation of monitoring results, Technical report no.1, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.

- European Commission (2009) Guidance on Groundwater Status and Trend Assessments, CIS Guidance Document no. 18, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- Grath J., Scheidleder A., Uhlig S., Weber K., Kralik M., Keimel T., Gruber D. (2001): "The EU Water Framework Directive: Statistical aspects of the identification of groundwater pollution trends, and aggregation of monitoring results". Annex to the Final Report. Austrian Federal Ministry of Agriculture and Forestry, Environment and Water Management (Ref.: 41.046/01-IV1/00 and GZ 16 2500/2-1/6/00), European Commission (Grant Agreement Ref.: Subv 99/130794), in kind contributions by project partners. Vienna.
- Kullman et al. (2014) Aktualizácia hodnotenia kvantitatívneho stavu útvarov podzemných vôd, Slovenský hydrometeorologický ústav a Slovenská asociácia hydrogeológov, záverečná správa SHMÚ Bratislava
- Lilliefors H. W. (1967) On the Kolmogorov Smirnov test for normality with mean and variance unknown, Journal of the American Statistical Association vol. 62, s.399-402.
- Pitter P (1999) Hydrochemie - 3. vydanie, Vydavateľstvi VŠCHT, Praha.
- Salmi, T., Määttä, A., Anttila, P., Ruoho-Airola, T. and Amnell, T. (2002) Detecting Trends Of Annual Values of Atmospheric Pollutants by the Mann-Kendall Test and Sen's Slope Estimates-The Excel Template Application MAKESENS. Finnish Meteorological Institute.
- Shapiro, S.S., Wilk, M.B. (1965) An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). Biometrika., roč. 52, č. 3/4, s. 591-611.
- UKTAG (2012) Groundwater Trend Assessment. UK Technical Advisory Group on the Water Framework Directive.
- USEPA (2013) ProUCL Version 5.0.00 Technical Guide, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development.

ASSESSMENT OF SIGNIFICANT TRENDS IN GROUND WATERS IN THE SLOVAK REPUBLIC

The Water Framework Directive defines in Article 4 environmental objectives for surface water, groundwater and protected areas. Criteria for achieving good groundwater chemical status are defined in Annex V 2.3.2 and in particular require that concentrations of pollutants do not exceed any quality standards applicable under other relevant Community legislation. Additionally the Directive 2006/118/EC (so-called Groundwater Directive) more precisely specify a requirement to identify and reverse any significant and sustained upward trends in the concentration of groundwater pollutants. Even if basic principles of the trend assessment are apart from mentioned directives summarized in documents published in the framework of Common Implementation Strategy of Water Framework Directive, individual member states are responsible for selection of the trend assessment methodology. Slovak Hydrometeorological Institute in cooperation with Dekonta s.r.o Bratislava Company prepared proposal of trend assessment for chemical and quantitative status of groundwater bodies in 2014. Afterwards was realized assessment of significant trends in individual groundwater bodies based on results of groundwater quality and quantity monitoring realized by Slovak Hydrometeorological Institute in 2004 – 2013. Trend assessment was carried out on data fulfilling following criteria for each time series:

- Minimum length = 6 years;
- Maximum length = 10 years;
- Start of monitoring in 2004 or later;
- End of time series in 2012 or 2013;
- Maximum gap in time series - 1 year;
- Percentage of non-detects < 50%;

- Percentage of unique aggregated values $\geq 50\%$ (it's related to the count of all aggregated values evaluated in each time series).

In the first step, trend assessment was carried out at the level of monitoring points. Annual average values were assessed. Subsequently, the trend assessment was performed only for those groundwater bodies, where at least one monitoring point showed occurrence of significant sustainable upward trend. Trend assessment was performed at groundwater body level based on the aggregated values (mean of yearly means) of all monitoring sites with the same length of time series.

For each time series goodness-of-fit tests for normal distribution (Lilliefors test, Shapiro-Wilk test) were performed. Following methods were used for identification of statistically significant upward trend (5% significance level is used for all tests):

- Generalised linear regression test (ANOVA) - if the data set follows normal distribution,
- Mann-Kendall test - if the data set does not follow the normal distribution.

A significant and sustained upward trend was classified if the statistically significant upward trend was identified and predicted concentration for 2021 \geq limit value.

In the case of chemical status assessment, sustained and upward trends at sampling sites level were the most often classified for sulfates, chlorine and ammonia (tab. 2). Occurrence of sustained and upward trend at groundwater body level was identified for sulfates in groundwater body SK1000600P.

In the case of quantitative status assessment, significant

and sustained upward trends of groundwater balance status were documented in groundwater bodies SK200030KF, SK000900F, SK2002100P, SK2004500P, SK2005300P and SK200540FP (taking into account the values of transformed exploitable groundwater resources) and additionally also in the

groundwater body SK200170FP (taking into account values of non-transformed exploitable groundwater resources). Significant and sustained decreasing trend at groundwater quantity monitoring sites has been documented in groundwater bodies SK1001600P, SK2001800F and SK200590FP.

Róbert Chriateľ, Mgr
Slovenský hydrometeorologický ústav
Zelená 5
974 04 Banská Bystrica
Tel.: +421-48-4729 654
Fax: +421-48-4138 689
E-mail: Robert.Chriastel@shmu.sk

Eugen Kullman, Ing., PhD
Slovenský hydrometeorologický ústav
Jeséniova 17
833 15 Bratislava
Tel.: +421-2-59 415 451
E-mail: Eugen.Kullman@shmu.sk