

Monitorovanie environmentálnych záťaží na vybraných lokalitách Slovenskej republiky v rokoch 2012 – 2018

Monitoring of environmental loads at selected sites in the Slovak Republic in 2012 – 2018

JOZEF KORDÍK¹, IGOR SLANINKA¹, DUŠAN BODIŠ¹, FRANTIŠEK BOTTLIK¹, RADOVAN ČERNÁK¹, IVAN DANANAJ¹, RASTISLAV DEMKO¹, JANA FRIČOVSKÁ¹, BRANISLAV FRIČOVSKÝ¹, AUGUSTÍN GLUCH², MICHAL JANKULÁR¹, RÓBERT JELÍNEK³, EVA LENHARTOVÁ⁴, INGRID MAŠLÁROVÁ², RENÁTA REPKOVÁ² a MARIAN ZLOCHA¹

¹Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, Mlynská dolina 1, 817 04 Bratislava, jozef.kordik@geology.sk

²Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, regionálne centrum Spišská Nová Ves, Markušovská cesta 1, 052 40 Spišská Nová Ves

³Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, regionálne centrum Banská Bystrica, Zelená 5, 974 04 Banská Bystrica

⁴Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, regionálne centrum Košice, Jesenského 8, 040 01 Košice

© Autori 2019. Vydal ŠGÚDŠ. Licencia Creative Commons BY 4.0. (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Abstrakt. Štátny geologický ústav D. Štúra od roku 2012 realizuje významnú geologickú úlohu s názvom *Monitorovanie environmentálnych záťaží na vybraných lokalitách Slovenskej republiky*. Cieľom geologickej úlohy je návrh a realizácia monitorovacích systémov vybraných 161 environmentálnych záťaží (EZ) na Slovensku. V príspevku je pozornosť venovaná metodickým postupom monitorovania EZ a vybraným výsledkom monitorovania získaným v rokoch 2012 – 2018. Pri monitorovaní environmentálnych záťaží má vo väčšine prípadov ako transportné médium najväčší význam podzemná voda, resp. v špecifických podmienkach to môže byť aj povrchová voda. V rokoch 2012 až 2018 bolo na chemickú analýzu odobraných z podzemnej vody viac ako 7 000 vzoriek a z povrchovej vody viac ako 1 200 vzoriek. V chemickom zložení vody prevládali z kationov Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} a K^+ , z aniónov HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- a NO_3^- . Základné chemické zloženie vody v oblastiach environmentálnych záťaží je často zmenené a posúva sa od štandardných typov Ca-Mg-HCO_3 k typom s výraznejším zastúpením látok sekundárneho pôvodu (Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^-). So znečistením zo skládok, ako aj niektorými inými druhmi kontaminácie súvisí častý výskyt zvýšeného obsahu B, Cl^- , NH_4^+ a ChSK_{Mn} resp. zvýšených hodnôt vodivosti, a to aj viac, ako je IT (intervenčné kritérium) alebo ID (indikačné kritérium) – kritériá podľa smernice MŽP SR č.1/2015-7. Z organických látok sa na sledovaných lokalitách EZ (asi 25 %) javia ako najproblematickejšie chlórované alifatické uhľovodíky, najmä cis-1,2-dichlóretén, dichlórmétán, tetrachlóretén, trichlóretén a chlórétén. Vďaka zaradeniu banských lokalít do monitorovania sa na viacerých lokalitách zistilo prekročenie kvalitatívnych kritérií niektorých stopových anorganických prvkov, najmä As a Sb. Na vysoký stupeň znečistenia poukázali aj výsledky účelových stanovení chemických látok v pevných materiáloch. Zo stopových prvkov sa až na 19 lokalitách zistilo prekročenie hodnoty IT pre As. Ide predovšetkým o banské lokality Pernek, Banská Štiavnica, Partizánska Ľupča-Magurka, Špania Dolina, Ľubietová, ale aj rôzne skládky odpadu v blízkosti obcí Dobšiná, Svit, Poša, Medzibrodie nad Oravou, TKO Dolný Kubín-Široká, Predajná a Nemecká. Podobná situácia sa zaznamenala aj v prípade Sb. Prekročenie hodnoty IT sa zistilo na 13, predovšetkým banských lokalitách (Partizánska Ľupča-Magurka, Liptovská Dúbrava, Špania Dolina, Pernek). Potvrdilo sa, že odpad z banskej činnosti býva zdrojom aj ďalších kontaminantov, hlavne Cd, Cu, Pb a Zn. Z organických látok sa až na 27 lokalitách zistilo prekročenie hodnoty IT ukazovateľa NELui.

Kľúčové slová: monitorovanie, environmentálne záťaže, podzemná voda, povrchová voda, chemické zloženie, modelovanie, Slovensko

Abstract. Since 2012 State Geological Institute of Dionýz Štúr has realized geological task entitled *Monitoring of environmental loads at selected sites in the Slovak Republic*. The aim of the project is the design and implementation of monitoring systems for selected 161 contaminated sites in Slovakia. The contribution focuses on monitoring methods and selected monitoring results gained in 2012 – 2018. When monitoring environmental loads, the most important medium of contamination transport seems to be groundwater or under specific conditions it may also be surface water. Between 2012 and 2018, more than 7,000 samples were collected for groundwater chemical analysis and more than 1,200 samples from surface water. In the chemical composition of water, the Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} and K^+ cations and HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- a NO_3^- anions prevail. Basic chemical composition of water is often changed in the areas of environmental loads and shifts from standard type of Ca-Mg-HCO_3 to types with a more pronounced presence of substances of secondary origin (Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^-) occur. Frequent occurrences of increased contents of B, Cl^- , NH_4^+ and COD-Mn (even above the IT or ID criteria according to the Directive of the MoE SR No.1/2015) are related usually with landfills of municipal waste, as well as with some other types of contamination. From monitored organic substances (approx. 25 % of sites) appear to be the most problematic chlorinated aliphatic hydrocarbons, in particular cis-1,2-dichloroethene, dichloromethane, tetrachloroethene, trichloroethylene, chlorotene. With regard to inclusion of mining sites in monitoring, exceedance of quality criteria for some trace inorganic elements, in particular As and Sb, were observed. The results of chemical analyses in solid materials also showed a strong pollution. Among the trace elements, exceedances of IT value for As were found in 19 monitored sites. These are mainly mining sites Pernek, Banská Štiavnica, Partizánska Ľupča-Magurka, Špania Dolina, Ľubietová, as well as various waste dumps close to the settlements Dobšiná, Svit, Poša, Medzibrodie nad Oravou, Dolný Kubín-Široká, Predajná, Nemecká. A similar situation was also observed for Sb, where the IT value was exceeded at 13 usually mining sites (Partizánska Ľupča-Magurka, Liptovská Dúbrava, Špania Dolina, Pernek). It has been confirmed that mining waste is also the source of other contaminants, mainly Cd, Cu, Pb and Zn. Among organic

substances, exceedance of IT value of the nonpolar extractable substances were found at 27 sites.

Key words: monitoring, environmental loads, groundwater, surface water, chemical composition, modeling, Slovakia

1. ÚVOD

Environmentálne záťaž (EZ) predstavujú na Slovensku celospoločenský problém, ktorý je potrebné riešiť. Pod pojmom environmentálna záťaž sa vo všeobecnosti rozumie znečistenie územia spôsobené činnosťou človeka, ktoré predstavuje závažné riziko pre ľudské zdravie alebo horninové prostredie, podzemnú vodu a pôdu, s výnimkou environmentálnej škody. Ide o široké spektrum území kontaminovaných priemyselnou, vojenskou, banskou, dopravnou a poľnohospodárskou činnosťou, ale aj nesprávnym nakladaním s odpadom.

Problemátike environmentálnych záťaž na našom území, ako aj v zahraničí sa v posledných rokoch venuje systematická pozornosť. Ich prieskum, monitoring a sanácia sú jedným z programových cieľov vlády Slovenskej republiky a sú zakotvené v dokumente *Štátny program sanácie environmentálnych záťaž na roky 2010 – 2015* a v nadväznom dokumente *Štátny program sanácie environmentálnych záťaž na roky 2016 – 2021*.

Pomerne komplexne je problematika prieskumu, monitoringu a sanácie EZ opísaná v práci Šottník et al. (2015). V rokoch 2012 až 2015 sa realizovalo množstvo podrobných geologických prieskumov vybraných lokalít EZ, ktorých súčasťou bolo aj vyhodnotenie analýzy rizika znečisteného územia, napr. práce: Urban et al. (2015) – Vrakunská cesta – skládka CHZJD, Tupý et al. (2015a) – Martin – kasárne SNP, Pramuk et al. (2015c) – Žilina – východné priemyselné pásmo, Pospiechová et al. (2015) – Krompachy – Kovohuty. V banských oblastiach sa prieskumné práce realizovali napr. na lokalitách Poproč – Petrova dolina (Auxt et al., 2015a), Smolník – ťažba pyritových rúd (Auxt et al., 2015b), Merník – ortuťové bane (Auxt et al., 2015c), Rudňany – ťažba a úprava rúd (Pramuk a Matiová, 2015), Pezinok – oblasť rudných baní a starých banských diel (Tupý et al., 2015b), Markušovce – ťažba rúd (Pramuk et al., 2015a), Slovinky – ťažba a úprava rúd (Pramuk et al., 2015b). Viaceré prieskumné práce sa realizovali v areáli bývalých Chemických závodov Juraja Dimitrova – CHZJD (Čopan et al., 2009; Polák et al., 2009; Chovanec et al., 2011).

Jednou z pilotných prác týkajúcich sa monitorovania vplyvu environmentálnych záťaž na životné prostredie bola úloha Monitorovanie vplyvu environmentálnych záťaž na geologické činitele životného prostredia vo vybraných regiónoch Západných Karpát (Vybíral et al., 2005). Jej cieľom bolo využitie nových metodík a techník prieskumu a monitorovania, zhodnotenie vplyvov antropogénnych uloženín prostredníctvom rizikovosti uloženého odpadu a rizika znečistenia prostredia, stanovenie kvalitatívnych a kvantitatívnych parametrov znečistenia, rozsahu a stupňa znečistenia horninového prostredia a stanovenie trendov šírenia znečistenia v časovom a priestorovom vyjadrení. Z ďalších novších prác týkajúcich sa monitorovania vplyvu

EZ je možné uviesť napr. monitorovanie v areáli Be-kaert Hlohovec, a. s. (Pospiechová et al., 2014), sledovanie znečistenia v ENO Nováky (Ingár a Auxt, 2017) a monitorovanie areálu TESLA Stropkov, a. s. (Bachňák, 2019). Posanačnému monitorovaniu sa venovali napr. Auxt et al. (2018) v areáli Slovnaft, a. s. – prevádzka Holíč, Gálisová et al. (2013) v ES Krompachy, Jusková et al. (2009) v Haniške, Kandra a Jezný (2016) v AVC, a. s., Čadca, Tischler et al. (2010) v Komárne, Tischler et al. (2011) v Bratislave, Šuchová et al. (2014) v ČS Slovnaft Kežmarok – Nižná brána.

Využitie diaľkového prieskumu Zeme (DPZ) na sledovanie vplyvu skládok a starých environmentálnych záťaž na geologické faktory životného prostredia (voda, pôda, riečny sediment, resp. ovzdušie) hodnotili Gregor et al. (2008) a Zvara et al. (2015). Systém zisťovania a monitorovania škôd na životnom prostredí vznikajúcich banskou činnosťou spracovali Vrana et al. (2005).

V zahraničí sa problematika monitorovania EZ opisuje napr. v prácach Akankpo a Igboekwe (2011), Golder Associates (2010), Narany et al. (2014), Texas Groundwater Protection Committee (2013), Brown et al. (2014), DSITI (2017) a McLean et al. (2019).

Jednou z významných úloh v rámci riešenia problematiky EZ je geologická úloha realizovaná Štátnym geologickým ústavom D. Štúra s názvom *Monitorovanie environmentálnych záťaž na vybraných lokalitách Slovenskej republiky* (MEZ). Riešenie geologickej úlohy nadviazalo na výsledky úloh Ministerstva životného prostredia SR, najmä *Systematická identifikácia environmentálnych záťaž SR* (Paluchová et al., 2008) a *Regionálne štúdie hodnotenia dopadov environmentálnych záťaž na životné prostredie pre vybrané kraje* (SAŽP, 2010). Úloha MEZ sa v rokoch 2012 – 2015 riešila v rámci nenávratného finančného príspevku Operačného programu Životné prostredie, Prioritná os 4 Odpadové hospodárstvo, Operačný cieľ: *Riešenie problematiky environmentálnych záťaž vrátane ich odstraňovania*. V rokoch 2016 – 2020 sa úloha rieši z prostriedkov štátneho rozpočtu. Výsledky úlohy získané v rokoch 2012 – 2015 sú zhodnotené v záverečnej správe Kordíka et al. (2015) a následne boli publikované v celom rade publikácií, napr. Kordík et al. (2016, 2018a, 2018b), Fričovský et al. (2017) a Jantáková et al. (2018).

Riešenie úlohy MEZ charakterizuje celý rad činností, medzi ktorými dominujú zostavovanie koncepčných modelov a ich aktualizácia, návrh, vybudovanie a udržiavanie monitorovacej siete, návrh, aktualizácia a realizácia programov monitorovania (odbery vzoriek, terénne merania a laboratórne práce) a vyhodnocovanie výsledkov monitorovania. Uvedené činnosti sú v súlade so štandardnými postupmi uplatňovanými v krajinách EÚ a v súlade s právnymi predpismi EÚ, predovšetkým so Smernicou 2000/60/ES Európskeho parlamentu a Rady z 28. októbra 2000, ktorou sa stanovuje rámec pôsobnosti opatrení spoločenstva v oblasti vodného hospodárstva, Smernicou 2006/118/ES Európskeho parlamentu a Rady z 12. decembra 2006 o ochrane podzemnej vody pred znečistením a zhoršením kvality a so Spoločnou

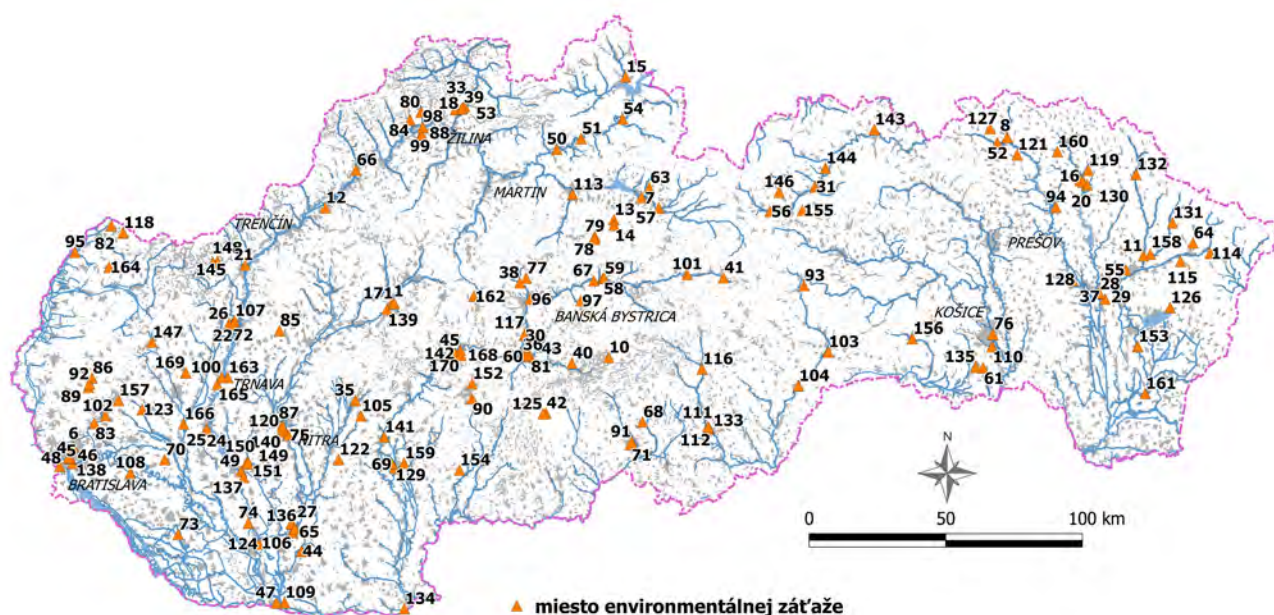
implementačnou stratégiou pre rámcovú smernicu o vodách, najmä pokynom č. 17 na zabránenie alebo obmedzenie priamych a nepriamych vstupov v kontexte dcérskej smernice o podzemných vodách 2006/118/EC. Úloha sa zároveň rieši v súlade so zákonom NR SR č. 569/2007 Z. z. o geologických prácach a príslušnou vykonávacou vyhláškou a zákonom NR SR č. 364/2004 Z. z. o vodách.

Mapa 161 vybraných monitorovaných environmentálnych záťaží a ich zoznam sú uvedené na obr. 1 a v tab. 1. V príspevku je pozornosť venovaná metodickým postupom monitorovania EZ a vybraným výsledkom monitorovania získaným v rokoch 2012 – 2018.

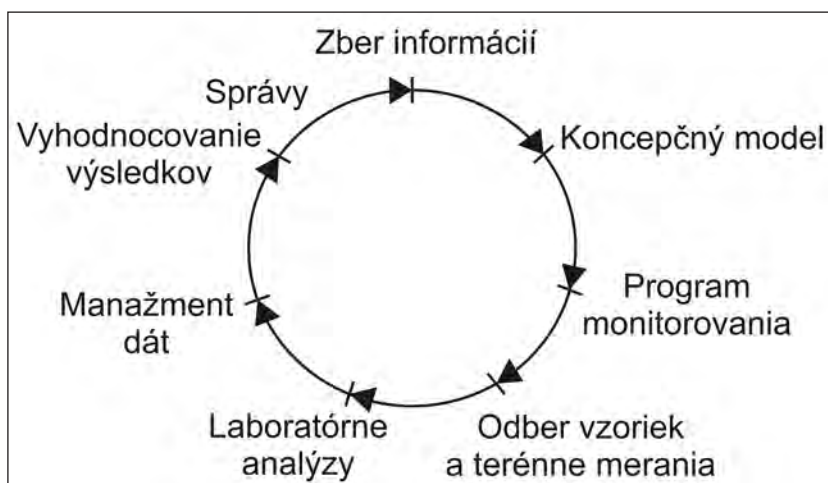
2. POSTUP RIEŠENIA

V rámci monitorovania EZ boli/sú v zmysle rámcovej smernice o vodách (Spoločná implementačná stratégia, pokyn č. 17 na zabránenie alebo obmedzenie priamych a nepriamych vstupov) realizované nasledujúce činnosti (schéma je uvedená na obr. 2):

1. zber informácií – archívna excerpčia, rekognoskácia lokalít na monitorovaných lokalitách, vytvorenie a aktualizácia účelového geologického informačného systému monitorovania environmentálnych záťaží,
2. zostavenie a aktualizácia koncepčných modelov jednotlivých lokalít,
3. návrh a aktualizácia programu monitorovania,
4. odbory vzoriek a terénne merania – odbory vzoriek vody a pevných materiálov (zemín, hornín, pôdy, riečnych/dnových sedimentov), merania pôdneho vzduchu (atmogeochémia),
5. laboratórne práce – analýzy vody a pevných materiálov, izotopové analýzy, inžinierskogeologické stanovenia (základné popisné a fyzikálne vlastnosti zemín) a špeciálne rozbory,
6. manažment dát a vyhodnocovanie výsledkov monitorovania EZ (interpretácie práce) formou záverečnej správy (december 2015), monitorovacích správ (raz za rok) a účelových priebežných správ.



Obr. 1. Mapa vybraných monitorovaných environmentálnych záťaží.



Obr. 2. Postup monitorovania environmentálnych záťaží vo vzťahu k rámcovej smernici o vodách (upravené podľa Spoločnej implementačnej stratégie pre rámcovú smernicu o vodách, pokyn č. 17 na zabránenie alebo obmedzenie priamych a nepriamych vstupov).

Tab. 1. Zoznam vybraných monitorovaných environmentálnych zátiaží.

ID	Lokalita	ID	Lokalita	ID	Lokalita
1	Nováky – NCHZ – areál závodu	43	Zvolen – Bučina – biela impregnácia	78	Partizánska Ľupča – štôlna a haldy Magurka
4	Bratislava-Stare Mesto – Chalupkova ul. – Bottova ul. – Chemika – areál závodu	44	Bajč – skládka TKO	79	Partizánska Ľupča – odkalisko Magurka
5	Bratislava-Ružinov – Gumon – areál závodu	45	Žiar nad Hronom – ZSNP – areál skup. spoločnosti	80	Veľké Rovné – skládka KO I
6	Bratislava-Nové Mesto – CHZJD – širší priestor bývalého závodu	46	Bratislava-Ružinov – SPP Votrubova ul.	81	Zvolen – Bučina – stará depónia
7	Liptovský Mikuláš – Kožarske závody	47	Komárno – SPP Bratislava	82	Skalica – areál bývalých ZVL
8	Bardejov – areál Bardejovských strojární (ZŤS)	48	Bratislava-Petržalka – Matador – areál bývalého závodu	83	Svätý Jur – Brestová – skládka s OP
10	Hriňová – ZŤS	49	Trnovec nad Váhom – skládka RSTO (Duslo)	84	Petrovice – Pšurnovice – ihrisko
11	Udavské – obaľovačka bitúmenových zmesí	50	Istebné – OFZ – haldy trosky	85	Bojná – skládka TKO A (stará)
12	Dubnica nad Váhom – ZŤS	51	Medzibrodie nad Oravou – S TKO Dolný Kubín – Široká	86	Pernek – oblasť starých banských diel
13	Lazisko – odkaliská Liptovská Dúbrava	52	Bardejov – elektrická stanica (ES)	87	Nitra – rušňové depo (Cargo)
14	Dúbrava – štôlna a haldy Liptovská Dúbrava	53	Kysucké Nové Mesto – KLF – Energetika	88	Hlboké nad Váhom – skládka KO II
15	Zubrohľava – kalové pole – ZŤS Námestovo	54	Nižná – OTF – kalové pole Malá Orava	89	Pernek – Dolná štôlna Karol a halda
16	Stropkov – obaľovačka	55	Myslina – stará skládka TKO	90	Banská Štiavnica – odkalisko Lintich
18	Nesluša – skládka PO a KO I	56	Svit – skládka Chemosvit	91	Lučenec – Marián Šustek – M Fruit
20	Stropkov – areál TESLA Stropkov	57	Podtureň – skládka Žadovica	92	Pernek – štôlna Pavol a halda
21	Nové Mesto nad Váhom – skládka KO Mnešice – Tusková	58	Predajná – skládka PO Predajná II	93	Dobšiná – skládka odpadu Bingarten
22	Piešťany – Chirana	59	Predajná – skládka PO Predajná I	94	Giraltovce – skládka TKO
24	Sereď – Niklová huta – skládka lúženca	60	Zvolen – Železničné opravovne a strojárne	95	Unín – zberné naftové stredisko Cunín
25	Sereď – Niklová huta – areál bývalého podniku	61	Haniska – SPP	96	Banská Bystrica – bývalá galvanizovňa LOBB
26	Piešťany – bývalá Tesla – kontaminačný mrak pod sídliskom	63	Veterná Poruba – skládka I	97	Ľubietová – Podlipa
27	Nové Zámky – Real – H. M. – terminál	64	Snina – stará riadená skládka odpadu	98	Kotešová – skládka PO a KO
28	Nížny Hrabovec – odkalisko Bukocel	65	Nové Zámky – rušňové depo – diagnostické stredisko	99	Hlboké nad Váhom – skládka KO (Pod brezami) V
29	Poša – odkalisko Chemka Strážske	66	Lednické Rovne – skládka Podstránie	100	Hlohovec-Šulekovo – skládka TKO
30	Sliač – letisko-juh	67	Nemecká – areál Petrochena	101	Polomka – drevo kombinát
31	Kežmarok – O – KTAN	68	Kalinovo – fenolová jama (Žiaromat)	102	Pezinok – Tehelná ul. – tok Mahulianka
33	Kysucké Nové Mesto – NN Slovakia	69	Levice – obchodné stredisko Benzinolu	103	Rožňava – mrak chlór. uhl'ovodíkov pri kasárňach

Tab. 1 – pokračovanie.

ID	Lokalita	ID	Lokalita	ID	Lokalita
35	Zlaté Moravce – bývalý areál Calexu	70	Veľké Úľany – obecná skládka KO	104	Plešivec – retenčné nádrže
36	Zvolen – Bučina – čierna impregnácia	71	Lučenec – Práčovne a čistiame pri mestskom parku	105	Čierne Kľačany – skládka TKO (pod jablňovým sadom)
37	Nižný Hrabovec – skládka v areáli firmy Bukocel	72	Piešťany – bývalá STS	106	Nové Zámky – bývalé kasárne SA – Novocentrum
38	Banská Bystrica-Uľanka – areál Chemika, a. s.	73	Mad – skládka TKO	107	Piešťany – prečerpávací stanica na ropné látky
39	Kysucké Nové Mesto – KINEX-KLF	74	Neded – areál bývalého PD (QUEEN)	108	Zlaté Klasy – skládka TKO
40	Detva – PPS Group	75	Nitra – nelegálne vypustenie RL pri ČOV (Horné Krškany)	109	Komárno – Madzagoš
41	Pohorelá – Strojsmalt Holding	76	Košice-Juh – stará plyniareň	110	Košice-Juh – VSS Košice
42	Lešť (vojenský obvod) – garážové dvory	77	Špania Dolina – flotačná úpravná	111	Rimavská Sobota – areál Slovenských cukrovarov
112	Rimavská Sobota – areál Gemer – nákup	132	Krásny Brod – skládka Monastýr – starý odpad	152	Banská Belá – odkalisko Sedem žien
113	Ružomberok – tehelná	133	Rimavská Sobota – areál bývalých ŽŤS	153	Lastomír – skládka TKO
114	Stakčín – skládka TKO s OP	134	Štúrovo – bývalé JCP, sklad asfaltov a olejov s prevádzkami	154	Hontianske Tesáre-Dlhé Hoľaje – skládka TKO
115	Belá nad Cirochou – skládka TKO	135	Košice Šaca – areál U. S. Steel Košice	155	Žakovce – skládka Úsvit
116	Hnúšťa – areál bývalých SLZ	136	Nové Zámky – mestská skládka TKO	156	Medzev – Strojsmalt
117	Sliač – letisko – produktovod	137	Trnovec nad Váhom – odkalisko Amerika I (Duslo Šaľa)	157	Modra-Hliny – skládka s OP
118	Skalica – skládka Zlatnícka dolina	138	Bratislava-Ružinov – Malý Dunaj – vtokový objekt	158	Udavské – skládka Janov dol
119	Chotča – skládka TKO Stropkov	139	Bystričany – ENO – dočasné odkalisko	159	Levice – skládka PO Levitex – Nixbrod
120	Nitra – bývalé sklady PHM na Novozámockej ceste	140	Nitra – skládka TKO Katruša	160	Hrabovčík – skládka TKO Technických služieb Svidník
121	Komárov – skládka TKO Lukavica	141	Tlmače – areál SES	161	Vojany – odkalisko EVO
122	Vráble – skládka KO (časť Židová)	142	Žiar nad Hronom – kalové pole ZSNP	162	Kremnické Bane – Ovčín
123	Báhoň – staré koryto potoka – skládka	143	Stará Ľubovňa – skládka Skalka	163	Hlohovec – priemyselný areál (vrátane bývalej Drôtovne)
124	Kolárovo – Pačérók	144	Spíšská Belá – skládka Za potokom	164	Unín – skládka odpadu
125	Lešť (vojenský obvod) – hlavný tábor	145	Stará Turá – areál Chirana	165	Hlohovec-Šulekovo – Fe-kaly
126	Jovsa – skládka komunálneho odpadu	146	Veľký Slavkov – skládka Pod farmou	166	Majcichov – skládka TKO
127	Zlaté – skládka TKO	147	Smolenice – areál Chemolak	168	Žiar nad Hronom – stará skládka PO ZSNP
128	Čaklov – skládka TKO	148	Lubina – skládka KO Paľečkové	169	Špačince – skládka TKO
129	Levice – Levitex	149	Šaľa – Duslo – výroba LAD a dusičnanu amónneho	170	Žiar nad Hronom – skládka TKO Horné Opatovce
130	Stropkov – cintorín jedov Vojtovce	150	Šaľa – Duslo – výroba kyseliny dusičnej	171	Zemianske Kostoľany – areál podniku Xella
131	Papín – skládka NNO	151	Šaľa – Duslo – výroba gumárenských chemikálií		

Pri príprave a realizácii monitorovacích prác boli využité aj podporné metódy prieskumu – geofyzikálne práce a metódy diaľkového prieskumu Zeme. V rámci doplnenia alebo vybudovania monitorovacej siete bolo v rokoch 2014 a 2015 vyhlásených a zabudovaných 669 hydrogeologických monitorovacích vrtov, resp. zrekonštruovaných 156 existujúcich starších hydrogeologických vrtov.

Zo schémy na obr. 2 vyplývajú niektoré dôležité skutočnosti. Zber informácií a realizácia jednotlivých činností v rámci monitorovania je cyklický „živý“ proces, ktorý sa systematicky opakuje. Na základe pribúdajúcich informácií z monitorovania by mali byť v určitom časovom kroku napríklad aktualizované koncepčné modely jednotlivých lokalít, resp. optimalizované programy monitorovania. V prípade nami realizovaných prác sa program monitorovania prehodnocuje raz za rok a v opodstatnených prípadoch boli aktualizované aj koncepčné modely vybraných lokalít.

Archívna excerpcia sa realizovala v období 4/2012 až 9/2013. Informácie sa získavali predovšetkým z týchto informačných zdrojov:

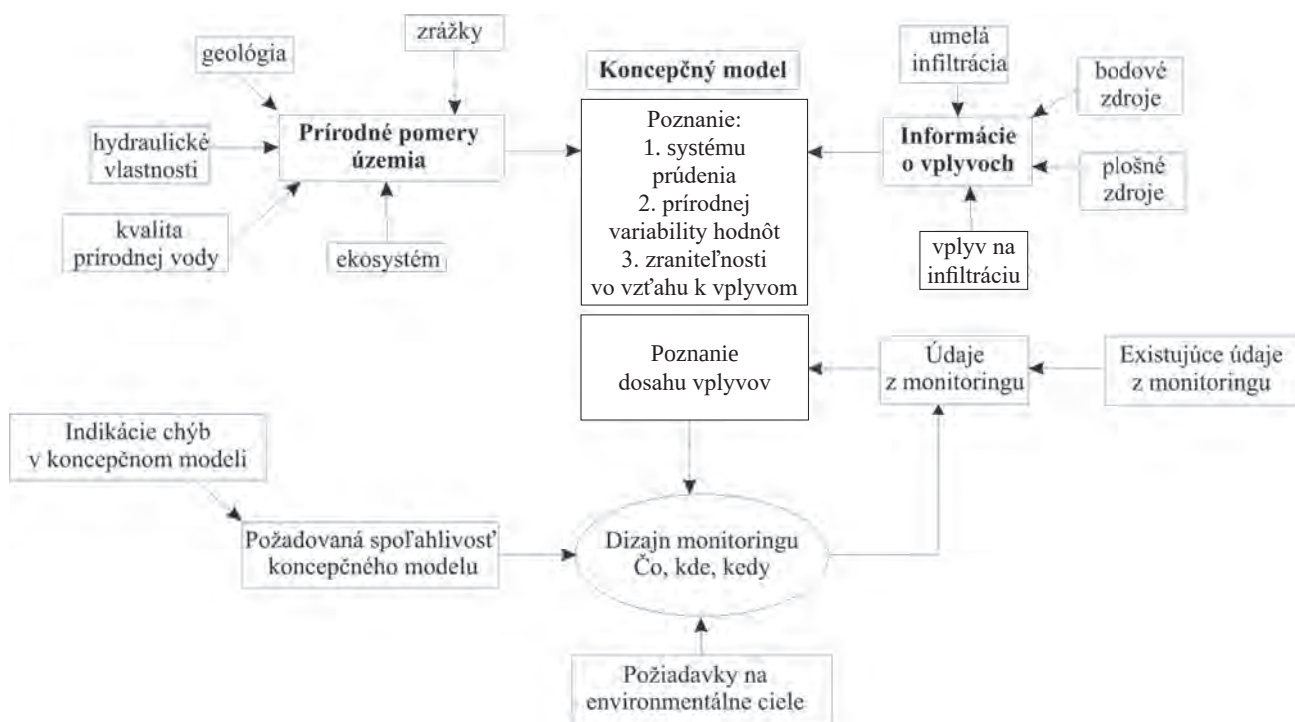
- oddelenie geofondu a oddelenie geologických informačných systémov ŠGÚDŠ (www.geology.sk),
- informačný systém environmentálnych záťaží, súčasťou ktorého je Register environmentálnych záťaží (<https://envirozataze.enviroportal.sk/>),
- príslušné úrady životného prostredia.

V rámci štúdia archívnych dokumentov sa ukázalo, že miera preskúmanosti jednotlivých lokalít EZ je rôzna. Zatiaľ čo na približne tretine lokalít sa v minulosti realizovali detailné prieskumné práce a k dispozícii bolo množstvo relevantných informácií, z viacerých lokalít nebola k dispozícii prakticky žiadna dokumentácia. Tieto skutočnosti boli následne zohľadnené pri dobudovaní monitorovacej siete a návrhu monitorovacích prác.

V rámci **rekognoskácie lokalít** realizovanej v období 6/2012 – 9/2013 sa overovali najmä reprezentatívnosť a technický stav existujúcich vrtov, prípadne iných existujúcich monitorovacích prvkov na lokalite. Všetky dokumentované objekty boli zamerané pomocou GPS a bola urobená fotodokumentácia. Tam, kde to bolo možné, sa urobili terénne merania (merná elektrolytická vodivosť, pH, teplota vody, hladina podzemnej vody atď.). V rámci rekognoskácie lokalít bolo zdokumentovaných 645 existujúcich vrtov, 157 iných zdrojov podzemnej vody (hlavne domové studne, pramene) a 495 profilov povrchových tokov.

Vzhľadom na spracúvanie veľkého množstva údajov rôzneho typu bol v počiatočnej fáze geologickej úlohy vytvorený **účelový geologický informačný systém monitorovania environmentálnych záťaží**. Textová a dátová časť systému slúži na ukladanie všeobecných informácií rôznych formátov získaných v rámci riešenia úlohy, najmä na ukladanie rôznych textových a grafických súborov do štruktúry adresárov. Databázová časť a časť GIS informačného systému slúži na spravovanie databázových formátov a formátov GIS v presne definovanej štruktúrovanej online forme. Databáza monitorovania EZ je budovaná centrálné. Technickou platformou databázy je relačný databázový systém PostgreSQL 9.3/PostGIS 2.1. Pozostáva zo sústavy vzájomne prepojených tabuliek, medzi ktorými existujú definované vzťahy (relačný model). Niektoré z tabuliek obsahujú tzv. geometriu, ktorá umožňuje, aby bola tabuľka zmapovateľná, t. j. zobraziteľná v niektorom programe GIS (v prípade našich prác využívame najmä licencie programu MapInfo Professional, resp. voľne stiahnuteľný program QGIS).

Informácie získané v rámci archívnej excerpcie a rekognoskácie lokalít boli transformované do iniciálnych **koncepčných modelov** jednotlivých lokalít. Koncepčný



Obr. 3. Vzťah medzi koncepčným modelom a návrhom monitoringu (upravené podľa Spoločnej implementačnej stratégie pre rámcovú smernicu o vodách, pokyn č. 7 Monitorovanie).

model reprezentuje schematické znázornenie alebo popis prírodných a sekundárne vyvolaných vlastností prostredia, fyzikálnych a chemických procesov prebiehajúcich v študovanej oblasti a z toho vyplývajúcich potenciálnych rizík. V koncepčnom modeli je špecifikovaná referenčná (požadová) oblasť „nad“ zdrojom znečistenia, ktorá nie je ovplyvnená danou EZ, zdroj znečistenia (relevantné informácie o jeho plošnom rozsahu, histórii a type činnosti vykonávanej na lokalite atď.), transport znečistenia (informácie o kľúčových vlastnostiach a procesoch vplyvujúcich na šírenie znečistenia) a receptory, resp. recipienty ohrozené znečistením. Iniciálne koncepčné modely tvorili základ na zostavovanie programov monitorovania. Ako už bolo uvedené, na základe zistených skutočností v priebehu monitorovania na vybraných lokalitách EZ sa koncepčné modely aktualizovali. S tým súvisela aj optimalizácia plánov monitorovania. Vzťah medzi koncepčným modelom (poznáním systému) a návrhom programu monitorovania je uvedený na obr. 3.

Pri príprave a realizácii monitorovacích prác sa kvôli ich efektívnosti a rýchlosti využili aj podporné metódy prieskumu – **geofyzikálne práce a metódy diaľkového prieskumu Zeme**. Cieľom geofyzikálnych prác bolo spresnenie priestorovej stavby horninového prostredia, určenie hrúbky pokryvných útvarov, reliéfu nepriepustného podložia a priebehu porušených zón, určenie smeru a rýchlosti prúdenia podzemnej vody a realizácia doplnkovej karotáže vo vybraných monitorovacích vrtoch. Geofyzikálne práce boli rozdelené na nasledujúce etapy:

- prípravné práce – archívna excerpácia, rekognoskácia terénu,
- terénne práce – 1. etapa (realizácia meraní CMD skríningom na všetkých lokalitách, návrh prác 2. etapy),
- terénne práce – 2. etapa (realizácia doplnujúcich geofyzikálnych meraní na vybraných lokalitách),
- vypracovanie čiastkových záverečných správ z jednotlivých lokalít.

Cieľom CMD skríningu (DEMP – dipólové elektromagnetické profilovanie) bolo zistenie elektromagnetickej vodivosti a susceptibility miestnych hornín, zemín a uloženín v troch hĺbkových úrovniach (2,2 m, 4,2 m a 6,7 m) súčasne. Používal sa merací interval 1 sekunda. Meranými veličinami boli zdanlivý merný odpor (zdanlivá merná vodivosť) a zložka in-phase, ktorá je úmerná magnetickej susceptibilite miestnych hornín a uloženín.

V rámci 2. etapy sa na vybraných lokalitách vytýčili a zamerali geofyzikálne profily a zrealizovali merania aspoň jednou z metód daných projektom geologickej úlohy – multikábel, georadar, spontánna polarizácia, HG variant metódy nabitého telesa, gamaspektrometria, emanačné merania (OAR – objemová aktivita ^{222}Rn) a karotážne merania (v rozsahu kavernometria, termometria, rezistivimetria, gamakarotáž a podľa možnosti aj elektrokartotáž). Výsledky geofyzikálnych meraní umožnili optimalizovať lokalizáciu vzorkovacích a vrtných prác.

Cieľom **diaľkového prieskumu Zeme (DPZ)** bola analýza, interpretácia a syntéza údajov DPZ (multispektrálnych družicových snímok a podrobných leteckých snímok z rôznych časových etáp) nad vybranými EZ (161 lokalít).

Pomocou metód DPZ sa sledovalo ohraničenie EZ a jej vývoj v čase – napr. hľadanie ohnisk znečistenia. V rámci zhromažďovania a vyhodnocovania súboru podkladov a informácií bol stanovený plošný a priestorový rozsah EZ a popísaný a sledovaný historický vývoj znečistenia na základe leteckých a družicových snímok s veľmi vysokým a vysokým rozlíšením. Metodický postup spracovania údajov DPZ je zhrnutý v tab. 2. Identifikácia prejavov na snímkach bola overená terénnymi prácami a tieto poznatky boli využité pri aktualizáciách koncepčných modelov a programov monitorovania.

V kontexte rámcovej smernice o vodách sa monitorovanie EZ v praxi zameriava predovšetkým na podzemnú, prípadne povrchovú vodu. Pri návrhu **programov monitorovania** EZ sa vychádzalo z predpokladaných miest úniku znečisťujúcich látok do podzemnej/povrchovej vody a zohľadňoval sa smer prúdenia podzemnej/povrchovej vody. Minimálne 1 pozorovací objekt je situovaný v oblasti neovplyvnenej EZ (s cieľom zistenia požadovaných vlastností prostredia). Frekvencia pozorovaní a hustota monitorovacej siete berú do úvahy správanie znečisťujúcich látok v prostredí (napr. čas zdržania, migračné vlastnosti, vznik degradačných produktov atď.) a monitorované ukazovatele sú indikatívne pre daný typ znečisťujúcej látky. Zabudovanie monitorovacích vrtoch a hĺbka monitorovania zohľadnili vlastnosti prostredia, typ zdroja znečistenia a charakter vstupu znečisťujúcich látok do podložia (sezónne kolísanie hladiny vody, identifikácia možných migračných a preferenčných ciest, rozpustnosť/nerozpustnosť vo vode, voľná fáza – NAPL a pod.). Pri riešení problematiky environmentálnych záťaží je potrebné brať do úvahy časovú a priestorovú premenlivosť znečistenia. Program monitorovania je rozdelený na monitorovaciu sieť (výsledkom je zoznam monitorovacích miest na základe koncepcie a cieľov monitorovania) a program monitorovacích prác (rozsah sledovaných údajov a početnosť ich sledovania, rozpis a frekvencia sledovaných parametrov, spôsob odovzdávania a uchovávanía výsledkov monitorovania).

V rámci doplnenia alebo vybudovania monitorovacej siete bolo v rokoch 2014 a 2015 vyhlbených a zabudovaných 669 hydrogeologických monitorovacích vrtoch, resp. zrekonštruovaných 156 existujúcich starších hydrogeologických vrtoch (**realizácia technických prác**). Vrty sa väčšinou realizovali technológiou rotačného jadrového vrtania bez použitia výplachu, vrtaním pomocou špirály alebo nárazovo rotačným vrtaním. Narazená a ustálená hladina podzemnej vody bola zaznamenaná do vrtného denníka. Jadro vrtu bolo po opisani a ovzorkovaní skartované. Na definitívne vystrojenie (zabudovanie) vrtu boli použité plné neperforované PVC, oceľové alebo HDPE zárubnice. Spájanie zárubníc sa robilo tak, aby vnútorná stena zárubnice bola spojená a hladká, bez vyčnievajúcich častí, ktoré by mohli spôsobovať ťažkosti pri pohybe zariadení vnútri vrtu. Spodnú časť neperforovanej zárubnice tvorí kalník zvyčajne s dĺžkou 0,5 až 2 m, ktorý je zakončený pevným plným uzáverom. Použité boli zárubnice s vnútorným priemerom od 80 do 160 mm.

V aktívnych častiach vrtného výstroja bola inštalovaná perforovaná zárubnica rovnakého typu (materiálu) a s prie-

merom ako neperforovaná zárubnica. Zvyčajne je použitý štrbinový filter. V oblasti filtra je použitý obsyp z inertného bezchybného obsypového materiálu, ktorý neovplyvňuje kvalitatívne vlastnosti vzorkovanej podzemnej vody a neredukuje priepustnosť aktívnej časti vrtu. Na obsyp bol zvyčajne použitý štrk frakcie 4 – 8 mm, v menšej miere 2 – 4 mm. V časti vrtného profilu, kde nie je inštalovaná aktívna filtračná časť, je priestor medzi stenou vrtu a definitívnou plnou zárubnicou vyplnený ílovitým tesnením, ktoré má funkciu zabránenia prenikaniu povrchovej vody do priestoru vrtu (vyplnenie priestoru medzi povrchom a vrchným okrajom filtračnej časti). Po vyvrtaní a príslušnom zabudovaní boli vrtý prečistené kalovkou a airliftom. Priemerná hĺbka hydrogeologických monitorovacích vrtov je 15,9 m pri celkovom rozsahu vrtných prác 10 642 m. Po skončení vrtných prác sa vykonalo geodetické zameranie vrtov. Presnosť geodetického zamerania: poloha ± 4 cm, výška ± 5 cm. Tým sa dosiahla 3. trieda presnosti.

Po prečistení vrtov sa na väčšine vrtov vybudovaných v rokoch 2014 a 2015 realizovali orientačné čerpace skúšky v trvaní 6 hodín v súlade s STN 73 6614 (20. 4. 1984), ktorými sa overila funkčnosť vrtu, a na základe dokumentácie boli stanovené hydraulické parametre horninového prostredia v okolí aktívnej časti vrtu. Po skončení čerpacej skúšky sa realizovala stúpacia skúška, ktorá trvala do ustálenia hladiny podzemnej vody. Počas čerpacej skúšky sa v pravidelných intervaloch sledovala úroveň hladiny podzemnej vody, merná elektrolytická vodivosť a teplota vody. Celkovo sa zrealizovalo 638 hydrodynamických skúšok. Vyhodnotenie hydrodynamických skúšok prebiehalo na základe reprezentatívnych záznamov z čerpacích a stúpacích skúšok. Na vyjadrenie hydraulických parametrov (koeficient prietoknosti T , koeficient filtrácie k) boli využité metódy priamkovej transformácie pri stúpacích a čerpacích skúškach (Cooper a Jacob, 1946) a typových kriviek (Moench, 1985) s následným kvalitatívnym hodnotením (Krásny, 1986).

Vo vybraných monitorovacích vrtoch (160 vrtov) boli ako súčasť ich zabudovania osadené automatické kontinuálne merače hladiny podzemnej vody (datalogery) Solinst LT F30/M10, ktoré automaticky v daných intervaloch (každých 60 minút) zaznamenávajú údaje o hladine a teplote podzemnej vody vo vrte. Podobne boli vo vybraných monitorovacích vrtoch osadené automatické kontinuálne merače atmosférického tlaku (barologery) Solinst LT F5/M1,5, ktoré automaticky v daných intervaloch (každých 60 minút) zaznamenávajú údaje o hodnotách atmosférického tlaku.

Počas vrtných prác sa odoberali vzorky zemín triedy kvality 3 až 4 s použitím metódy odberu vzoriek kategórie B, t. j. porušené vzorky so zachovanou vlhkosťou, a triedy kvality 1 až 2 s použitím metódy odberu kategórie A, t. j. neporušené vzorky horninového materiálu. Vzorky zemín so zachovanou prirodzenou vlhkosťou boli odobrané do PVC vrečka podľa potreby v množstve 1 – 3 kg. Neporušená vzorka zeminy bola odobraná do špeciálnych vzorkovníč – valcov. Podzemná voda bola odobraná do vzorkovníč dodaných laboratóriom a uskladnená v chladiacich boxoch pri teplote do 10 °C. Spolu sa odobralo 1 979 porušených

vzoriek zemín, 299 neporušených vzoriek a 313 vzoriek podzemnej vody. Vzorkovacie práce a preprava vzoriek boli vykonané v súlade s STN EN ISO 22475-1. Laboratórne stanovenia fyzikálnych vlastností zemín a hornín sa realizovali v ŠGÚDŠ v laboratóriu oddelenia inžinierskej geológie. V podzemnej vode sa robili základné analytické stanovenia: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Mn , Fe , NH_4^+ , NO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , ChSK_{Mn} . Z vrtných jadier boli účelovo odobrané vzorky na chemickú analýzu (celkovo 260 vzoriek). V odobraných pôdnych vzorkách a zeminách sa stanovovali podľa charakteru environmentálnej záťaže tieto ukazovatele: celkový organický uhlík – TOC, celkový obsah stopových prvkov (As, Cr, Cd, Cu, Ni, Pb, Hg, Sb, Se, V, Zn) a obsah organických kontaminantov (nepolárne extrahovateľné látky – NEL, prchavé alifatické uhl'ovodíky – PrAIU, prchavé aromatické uhl'ovodíky – PrAU, polyaromatické uhl'ovodíky – PAU, polychlórované bifenylly – PCB, organochlórové pesticídy – OCP).

Ku každému novému vrtu bola vypracovaná technická správa.

Cieľom **rekonštrukcie vybraných existujúcich vrtov** bolo zabezpečenie plnej funkčnosti a reprezentatívnosti vhodného vrtu vybraného na monitorovanie. Rekonštruovali sa aj technické časti vrtu (chráničky, zaizolovanie vrchnej časti vrtu, obnovenie náteru chráničky, obnovenie betónovej pätky okolo ústia pažnice). Ku každému zrekonštruovanému vrtu bola vypracovaná technická správa. Po prečistení vrtov (zväčša metódou airlift) sa na väčšine zrekonštruovaných vrtov robili orientačné čerpace skúšky v trvaní 6 hodín v súlade s STN 73 6614 (20. 4. 1984), ktorými sa overila funkčnosť vrtu, a na základe dokumentácie boli stanovené hydraulické parametre horninového prostredia v okolí aktívnej časti vrtu. Po skončení čerpacej skúšky sa urobila stúpacia skúška, ktorá trvala do ustálenia hladiny podzemnej vody. Počas čerpacej skúšky sa v pravidelných intervaloch sledovala úroveň hladiny podzemnej vody, merná elektrolytická vodivosť a teplota vody. Celkovo sa urobilo 154 hydrodynamických skúšok. Po skončení rekonštrukčných prác sa vykonalo geodetické zameranie vrtov v 3. triede presnosti.

Odbery vzoriek vody sa vykonávajú na základe postupov uvedených v príslušných slovenských technických normách (STN) radu STN EN ISO 5667. Priamo v teréne sa stanovovali fyzikálno-chemické vlastnosti: teplota vody, teplota vzduchu, pH, merná elektrolytická vodivosť (pri 25 °C), obsah rozpusteného kyslíka, percentuálne nasýtenie kyslíkom, hladina podzemnej vody (ak bolo relevantné), prípadne iné ukazovatele. Merania v teréne sa väčšinou vykonávali prístrojmi WTW Multi 3430 Set F v prietochnej nádobe. Merania hladiny podzemnej vody sa robili prenosným hladinomerom s možnosťou merania vodivosti Solinst – model 107 TLC a prenosným hladinomerom G30. Na meranie rozhraní fázy ľahšej, resp. ťažšej ako voda sa využíval prenosný terénny prístroj Solinst Canada Ltd. – model Interface Meter Model 122 (prostredníctvom infračerveného optického detektora merania rozhrania, presnosť merania 1 mm).

Prehľad realizovaných terénnych meraní v podzemnej a povrchovej vode za obdobie 2012 – 2018 je uvedený v tab. 3.

Tab. 2. Metodický postup spracovania údajov DPZ.

Počet kanálov	1	3	4	8
Rádiometrické metódy spracovania	++	+	+	+
Priestorové metódy spracovania	–	+	+	+
Spektrálne metódy spracovania	–	–	+	+
Pan-sharpening	–	–	++	++
Klasifikácie	–	–	+	++
Výpočet indexov	–	–	++	++
Výpočet spektrálnych tried	–	–	(+)	(+)
				
Transformácia do S-JTSK	+			
Projekt GIS	+			
Sledovanie zmien	+			
Syntetická interpretácia	+			
Vizualizácia	+			

Detailný popis, vysvetlenie jednotlivých krokov:	
Počet kanálov	k = 1... panchromatické snímky
	k = 3... typické letecké snímky v prirodzených farbách
	k = 4... družicové alebo letecké snímky s IR kanálom
	k = 8... Worldview-2 družicová snímka
Rádiometrické metódy spracovania	odstránenie šumu, zahmlenia, kontrast, jas, histogramová ekvalizácia, inverzia, odstránenie systematickej pásovitosti, normalizácia a pod.
Priestorové metódy spracovania	textúra, zhladenie, degradácia rozlíšenia, štatistické a fokálne filtre
Spektrálne metódy spracovania	spájanie vrstiev, principal component (faktorová analýza), inverzná faktorová analýza, <i>TasseledCap</i> , <i>spectral mixer</i>
Pan-sharpening	rôzne metódy ako <i>resolution merge</i> , <i>subtractive resolution merge</i> a pod.
Klasifikácie	riadená a neriadená klasifikácia (<i>cluster analysis</i>), zgrupovanie, tvorba dendrogramov a tréningových plôch
Výpočet indexov	vegetačné, antropogénne, pôdne, vodné indexy,...
Výpočet spektrálnych tried	textúra, zhladenie, degradácia rozlíšenia, štatistické a fokálne filtre
Transformácia do S-JTSK	pri snímkach v inom systéme ako S-JTSK, napr. S-452, UTM, Fi-la a pod., rektifikácia detailov podľa zvoleného etalónu DMR
Projekt GIS	definovanie poradia vrstiev, legendy, farby, zobrazené atribúty, tvorba jednoduchej aplikácie
Sledovanie zmien	sledovanie zmien v čase zvolených vrstiev
Syntetická interpretácia	interpretácia snímok DPZ spolu s ostatnými priestorovými databázami, ako sú geochemické anomálie, geofyzikálne interpretácie, podložie (geológia, pôdy, vody, IG), DMR a pod.
Vizualizácia	2D mapové kompozície, 3D pohľady, animácie, <i>slajdy</i>

Tab. 3. Počet realizovaných terénnych meraní v podzemnej a povrchovej vode za obdobie 2012 – 2018.

	Nové vrtý (VN)	Rekonšt. vrtý (VR)	Existujúce vrtý (VO)	Iné zdroje podzemnej vody – domové studne, pramene (PD)	Povrchová voda (PV)	Spolu
Hladina podzemnej vody	7 249	1 645	1 422	138	–	10 454
pH	6 065	1 227	841	353	1 392	9 878
Merná elektrolytická vodivosť	7 354	1 621	1 449	475	1 938	12 837
Rozpustený kyslík	6 562	1 378	1 021	397	1 669	11 027
Nasýtenie kyslíkom	6 144	1 301	961	350	1 503	10 259
Teplota vody	7 378	1 624	1 454	475	1 954	12 885
Teplota vzduchu	6 955	1 520	1 324	433	1 874	12 106
Eh	2 308	439	420	144	711	4 022
Výdatnosť/prietok	–	–	–	29	218	247
Senzorické vlastnosti (opísne)	6 359	1 411	1 111	398	1 670	10 949

Vzorky z monitorovacích vrtov sa väčšinou odoberali pomocou čerpadiel. Na vzorkovanie boli použité najmä čerpadlá s možnosťou regulovania výdatnosti čerpania. Umožnilo to nastavenie prietoku pri vzorkovaní tak, aby sa nenarušil prirodzený režim vo vrte a vrt sa zároveň dostatočne prečistil. Materiál čerpadla a ostatného príslušenstva nesmel negatívne ovplyvňovať kvalitu odobranej vzorky. Pri odbere vzoriek boli využité najmä tieto druhy čerpadiel: malé kompaktné odstredivé ponorné vzorkovacie čerpadlá 12V DC (výrobca: Ekotechnika, s. r. o. – model Gigant GR 4), ponorné vzorkovacie odstredivé čerpadlo s maximálnou výtláčnou výškou 90, resp. 40 m (výrobca: Eijkelkamp Agrisearch Equipment BV, model Submersible pump MP1), prenosné peristaltické čerpadlo na vzorkovanie podzemnej vody a pôdneho vzduchu s internou batériou 12V DC a mikroprocesorovou jednotkou (výrobca: Eijkelkamp Agrisearch Equipment BV, model Peristaltic pump 12Vdc). V hydrogeologických vrtoch sa vykonával väčšinou dynamický odber vzoriek podzemnej vody. Vrt bol dočerpávaný do ustálenia hodnôt fyzikálno-chemických parametrov (teplota, pH, merná elektrolytická vodivosť, rozpustený kyslík, stupeň nasýtenia kyslíkom) počas čerpania.

Odber vzoriek povrchovej vody sa vykonával na to určeným odberačom s vysúvateľnou teleskopickou tyčou.

Vzorkovacie práce boli konzultované s laboratóriom realizujúcim analytické práce (geoanalytické laboratória ŠGÚDŠ Spišská Nová Ves), aby nedošlo k nežiaducej zmene pri odbere a transporte vzoriek do laboratória. Vzorky podzemnej vody sa odoberali do vzorkovník poskytnutých laboratóriom.

Odber vzoriek sedimentov sa riadil normami STN ISO 5667-12: 2001 a STN ISO 5667-15: 2002. Odoberala sa vrchná vrstva sedimentu (jemná frakcia), ktorá indikovala aktuálny ukladací materiál a aktuálny stav znečistenia. Na chemickú analýzu sa odobralo celkovo 179 vzoriek riečnych/dnových sedimentov.

Predmetom **vzorkovania pôd** boli povrchové horizonty pôd a zeminy: poľnohospodárska orná pôda (kultizemný

orničný horizont, 0 – 20 cm), trvalé trávne porasty, lesné lúky, lesokroviny a mestské parky (humusový horizont, 0 – 10 cm), lesné pôdy (humusový horizont, 0 – 5 cm alebo 0 – 10 cm), priemyselné komplexy (vzorkovanie limitované plochou zastavania zdrojovej oblasti; humusový horizont, 0 – 5 cm alebo 0 – 10 cm) a zdrojové oblasti (humusový horizont, 0 – 5 cm alebo 0 – 10 cm – vzorkuje sa podľa charakteru a vrstvitosti akumulovaného prírodno-technogénneho alebo technogénneho materiálu). Vzorkovanie pôd/zemín sa riadi osobitnými metodickými pokynmi (Čurlík et al., 1998) a je v súlade s normami ISO, napr. ISO 10381-*Soil sampling*. Na chemickú analýzu sa odobralo celkovo 244 vzoriek pôd.

Laboratórne analýzy vzoriek vody sa robia cielene, pričom sa sledujú vopred vybrané ukazovatele uvedené v programoch monitorovania. Požiadavky na analytické práce vychádzajú predovšetkým z rámcovej smernice o vode, resp. dcérskej smernice o ochrane podzemných vôd (Smernica 2000/60/ES, Smernica 2006/118/ES). Laboratórne analýzy vody sa realizujú v geoanalytických laboratóriách ŠGÚDŠ (GAL), regionálne centrum Spišská Nová Ves. Účelové skrátené analýzy realizované na vzorkách odobraných počas hydrodynamických skúšok (v rámci budovania monitorovacích vrtov v rokoch 2014 a 2015) sa vykonávali v laboratóriu Eurofins Bel/Novamann, s. r. o., Skúšobné laboratórium, GEL Turčianske Teplice. Medzi najbežnejšie stanovované ukazovatele vo vode patria základné anorganické ukazovatele (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , NO_3^- , NO_2^- , Cl^- , SO_4^{2-}), stopové prvky (As, B, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Zn, CN^- , F^-), skupinové organické ukazovatele (celkový organický uhlík, nepolárne extrahovateľné látky ako uhl'ovodíkový index $\text{C}_{10}\text{--C}_{40}$, suma polyaromatických uhl'ovodíkov, extrahovateľné organické halogénderiváty atď.) a organické látky (alifatické a aromatické organické uhl'ovodíky, polychlórované bifenyly, chlórované uhl'ovodíky, pesticídy, minerálne oleje a ropné látky). Prehľad počtu stanovení jednotlivých chemických ukazovateľov vo vode je uvedený spolu so základnými štatistickými parametrami v tab. 8.

Analýzy pevných/tuhých materiálov (predovšetkým sedimentov, pôdy, zemín, hornín) sa vykonávajú v geoanalytických laboratóriách ŠGÚDŠ (regionálne centrum Spišská Nová Ves) v zmysle platných noriem a metodík, ktoré boli v laboratóriu vypracované a validované. V odobraných pôdných vzorkách a zeminách sa stanovujú účelovo podľa charakteru environmentálnej záťaže pôdne vlastnosti (pH/H₂O, zrnitosť, celkový organický uhlík – TOC), celkový obsah stopových prvkov (As, Cr, Cd, Cu, Ni, Pb, Hg, Sb, Se, V, Zn) a obsah organických kontaminantov (nepolárne extrahovateľné látky – NEL, prchavé alifatické uhľovodíky – PrAIU, prchavé aromatické uhľovodíky – PrAU, polyaromatické uhľovodíky – PAU, polychlórované bifenylly – PCB, organochlórové pesticídy – OCP). Prehľad počtu stanovení jednotlivých chemických ukazovateľov v pevných materiáloch spolu so základnými štatistickými parametrami je uvedený v tab. 11 až 13.

V laboratóriu izotopovej geológie ŠGÚDŠ v Bratislave sa podľa štandardných metodík účelovo realizujú **izotopové analýzy vody** – stanovenia O a H, S a O v síranoch, N a O v dusičnanoch, ¹³C_{DIC}.

V oblastiach s predpokladaným výskytom plynov alebo prchavých organických látok sa účelovo realizovali **atmo-geochemické merania**. Ide o súbor meraní, ktorých cieľom bolo stanoviť, či sa v priestore environmentálnej záťaže tvorí skládkový plyn alebo sú prítomné prchavé organické látky. Hustota premeriavaných bodov sa prispôbovala očakávanej veľkosti zdroja plyných látok. Pri meraniach sa používala meracia jednotka Dräger X-am 7000, osadená detektormi na stanovovanie obsahu CH₄, CO₂ a O₂ [obj. %].

Z reprezentatívnych vzoriek (troskový materiál, popolček) odobraných počas terénneho výskumu boli zhotovené preparáty na detailný **petrografický a mineralogický výskum**. Vzorky sa analyzovali na elektrónovom mikroanalýzátore CAMECA SX 100 na oddelení špeciálnych laboratórií ŠGÚDŠ v Bratislave. Pomocou tohto prístroja boli nasnímané elektrónové obrazy vzoriek (tzv. *back-scattered electron images*; BEI), ktoré umožnili študovať detaily vzoriek nepostrehnuteľné alebo ťažko rozlíšiteľné v optickom mikroskope. Pomocou analytickej metódy EDS (*energy-dispersive spectroscopy*) boli identifikované chemické prvky prítomné vo vzorke. Obsah týchto prvkov vo veľmi malom objeme vzorky (tzv. bodové chemické analýzy) sa stanovoval metódou WDS (*wavelength-dispersive spectroscopy*).

Prvá etapa úlohy riešená v rokoch 2012 – 2015 v rámci nenávratného finančného príspevku *Operačného programu Životné prostredie* bola ukončená rozsiahlou **záverečnou správou** (Kordík et al., 2015), ktorá je k dispozícii verejnosti v archíve geofondu ŠGÚDŠ. Výsledky prác realizovaných v rokoch 2016 až 2018 sú zhrnuté v ročných **monitorovacích správach**, ktoré boli odovzdané na sekcii fondov EÚ Slovenskej agentúry životného prostredia.

Informácie získavané pri monitorovaní environmentálnych záťaží sa **priebežne spracúvajú a vyhodnocujú** a podľa výsledkov sa upravujú programy monitorovania na nasledujúce obdobie. Cieľom je operatívne identifikovanie a vyhodnotenie prípadných náhlych zmien v hodnotách monitorovaných ukazovateľov, prípadne negatívne trendy

vo vývoji hodnôt monitorovaných ukazovateľov. Grafické spracúvanie údajov zahŕňa vizualizáciu výsledkov do mapových podkladov s využitím rôznych interpretačných postupov. K využívaným priestorovým interpretačným postupom patrí interpolácia bodových monitorovaných hodnôt (napr. hladiny podzemnej vody, obsah vybraných ukazovateľov chemického zloženia) na ploche. Interpoláčne metódy umožňujú efektívne prepočítať namerané hodnoty skúmaných ukazovateľov z nepravidelnej siete (odberové miesta vzoriek) do pravidelnej siete bodov a vytvoriť tak model priestorovej distribúcie monitorovaných hodnôt v jednotlivých časových úsekoch. Ďalším štandardne využívaným prístupom interpretácie výsledkov MEZ je štatistické spracovanie (základná popisná štatistika, v závislosti od množstva a kvality údajov korelačná a regresná analýza, prípadne mnohorozmerná štatistika). Z pohľadu legislatívy sa výsledky analýz podzemnej vody a horninového prostredia vyhodnocujú v zmysle smernice Ministerstva životného prostredia SR č. 1/2015-7 na vypracovanie analýzy rizika znečisteného územia, v ktorej sú určené indikačné a intervenčné kritériá znečisťujúcich látok, pričom:

- indikačné kritérium (ID) je hraničná hodnota koncentrácie znečisťujúcej látky stanovenej v pôde, horninovom prostredí a podzemnej vode, ktorej prekročenie môže ohroziť ľudské zdravie a životné prostredie, to znamená, že táto situácia vyžaduje monitorovanie znečisteného územia,
- intervenčné kritérium (IT) je kritická hodnota koncentrácie znečisťujúcej látky stanovenej v pôde, horninovom prostredí a podzemnej vode, ktorej prekročenie pri danom spôsobe využitia územia predpokladá vysokú pravdepodobnosť ohrozenia ľudského zdravia a životného prostredia, to znamená, že je nutné vykonať podrobný geologický prieskum životného prostredia s analýzou rizika znečisteného územia.

Pri riešení problémov prúdenia podzemnej vody, transportu kontaminantov a geochemických procesov sa účelovo využilo **hydrogeologické a geochemické modelovanie**. Proces konštrukcie **hydrogeologických modelov** vychádzal zo zostavenia koncepčného modelu, definície hydrogeologickej situácie (referenčná/infiltračná oblasť podzemnej vody, generálne smery prúdenia podzemnej vody, režimové zmeny prúdenia), definície klimatických a hydrologických charakteristík oblasti, charakteristiky kontaminantu a priestorového rozloženia kontaminácie, definície priestorovej pozície EZ, nastavenia charakteru a účelu hydrogeologického modelu a výberu vstupných údajov vzhľadom na účel modelu. Pri zostavovaní hydrogeologických modelov bol využitý predovšetkým program FEFLOW 6.0 (*Finite Element subsurface FLOW and transport system*) od spoločnosti DHI-WASY software. Modelovacie rozhranie vychádzalo z matematickej metódy konečných prvkov, pričom modelované územie sa chápe ako priestorová sieť uzlov, medzi ktorými prebiehajú následné výpočty požadovaných parametrov. Pri príprave vstupných údajov bol zároveň využitý program Surfer (Golden Software) a MapInfo

Professional. **Model transportu kontaminácie** vychádzal z prenosu definovaného kontaminantu prúdením podzemnej vody. Mechanizmus transportu bol nastavený tak, aby kontaminácia predstavovala rozpustenú zložku v podzemnej (presakujúcej) vode. Mechanizmus transportu nepočítal s procesmi difúzie alebo sorpcie a rovnako ignoroval aj rozpadové a reakčné rady. Miera aproximácie vychádzala z hustoty a kvality vstupných údajov. V prípade transportu kontaminácie bol účelovo zvolený pesimistický scenár, v rámci ktorého sa ponechávala maximálna koncentrácia kontaminantov. **Geochemické modely** predstavujú významný interpretačný nástroj pri riešení otázok genézy vôd, štúdia transportu a migrácie znečisťujúcich látok

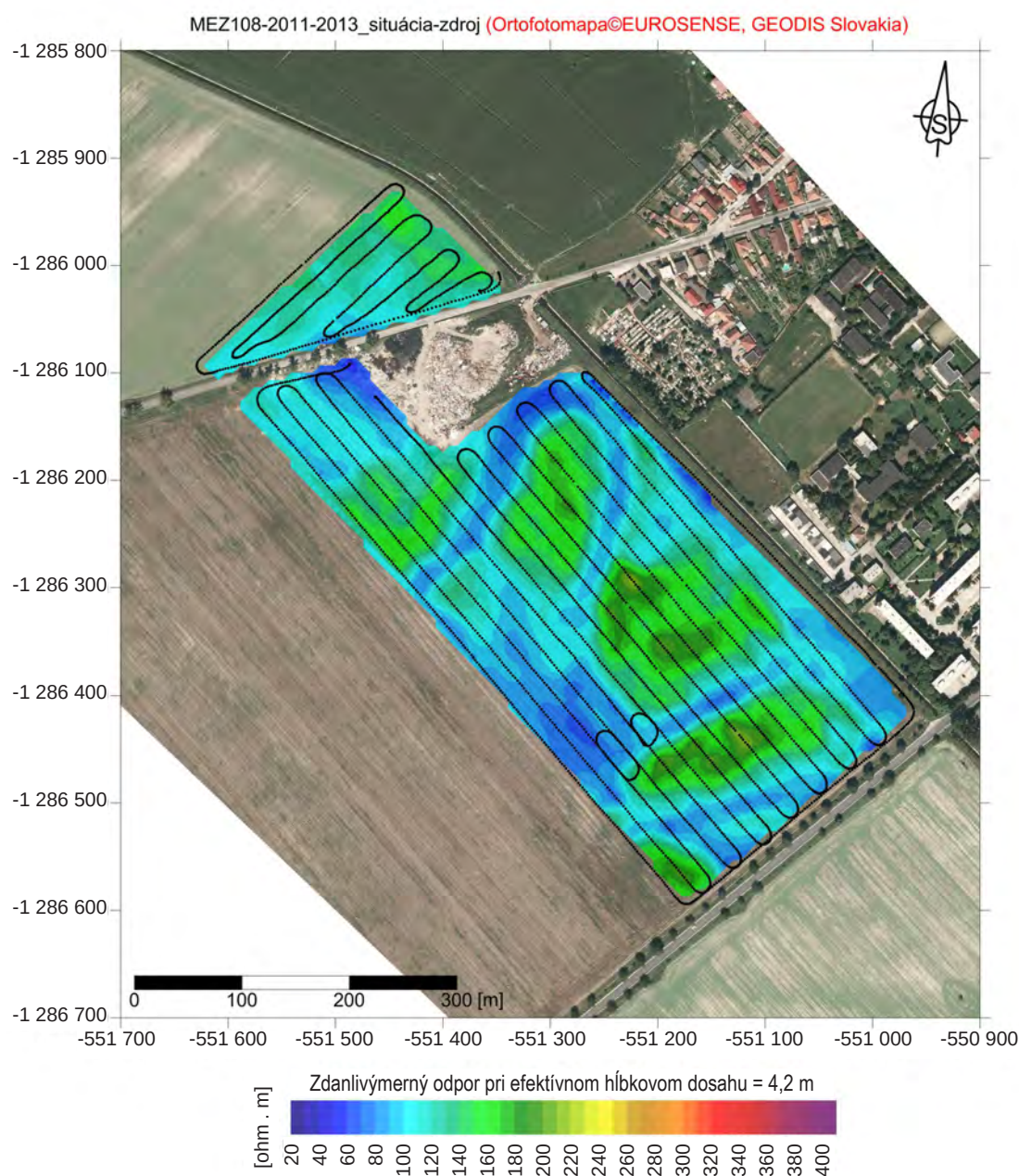
v prostredí. Geochemické modelovanie sa realizovalo prostredníctvom voľne dostupného modelu PHREEQC (Parkhurst a Appelo, 1999).

Metodické postupy monitorovania environmentálnych záťaží realizovaného ŠGÚDŠ sú detailnejšie uvedené v záverečnej správe Kordíka et al. (2015).

3. VÝSLEDKY

3.1. Geofyzikálne práce

Na všetkých 161 riešených lokalitách bol v 1. etape prác vo veľkom rozsahu (spolu okolo 1 088 km trás) použitý **CMD skríning** (DEMP). Jeho zameraním bolo rozčlene-



Obr. 4. Výsledky merania CMD skríningom, príklad z lokality ID 108 Zlaté Klasy – skládka TKO.

nie miestnych hornín a uloženín podľa ich elektromagnetických vlastností. Významným limitujúcim faktorom pri výkone tohto druhu prác bola urbanizácia a industrializácia a s tým zväčša spojené viac alebo menej výrazné elektromagnetické rušenie. Na viacerých lokalitách to viedlo k situácii, že metódy geoelektrického prieskumu na nich v ďalšej etape neboli odporúčané (multikábel, georadar, metóda spontánnej polarizácie, metóda nabitého telesa), pretože nebolo možné očakávať relevantné výsledky. Na základe výstupov meraní CMD skríningom boli indikované prostredia so zníženým zdanlivým merným odporom, zodpovedajúce horninám typu hĺn, deluviálnym sedimentom, navážkam so zvýšeným podielom ílovitej frakcie atď. Na viacerých lokalitách boli identifikované napr. skryté staré ramená a meandre vodných tokov (obr. 4), rôzne antropogénne vplyvy (potrubia, inžinierske siete) a pod. Vyšším zdanlivým merným odporom boli vyčlenené oblasti s nižším obsahom ílov a rastom podielu štrkov a pieskov, resp. skládkeho materiálu so zvýšeným merným odporom (sutina, stavebný odpad a pod.).

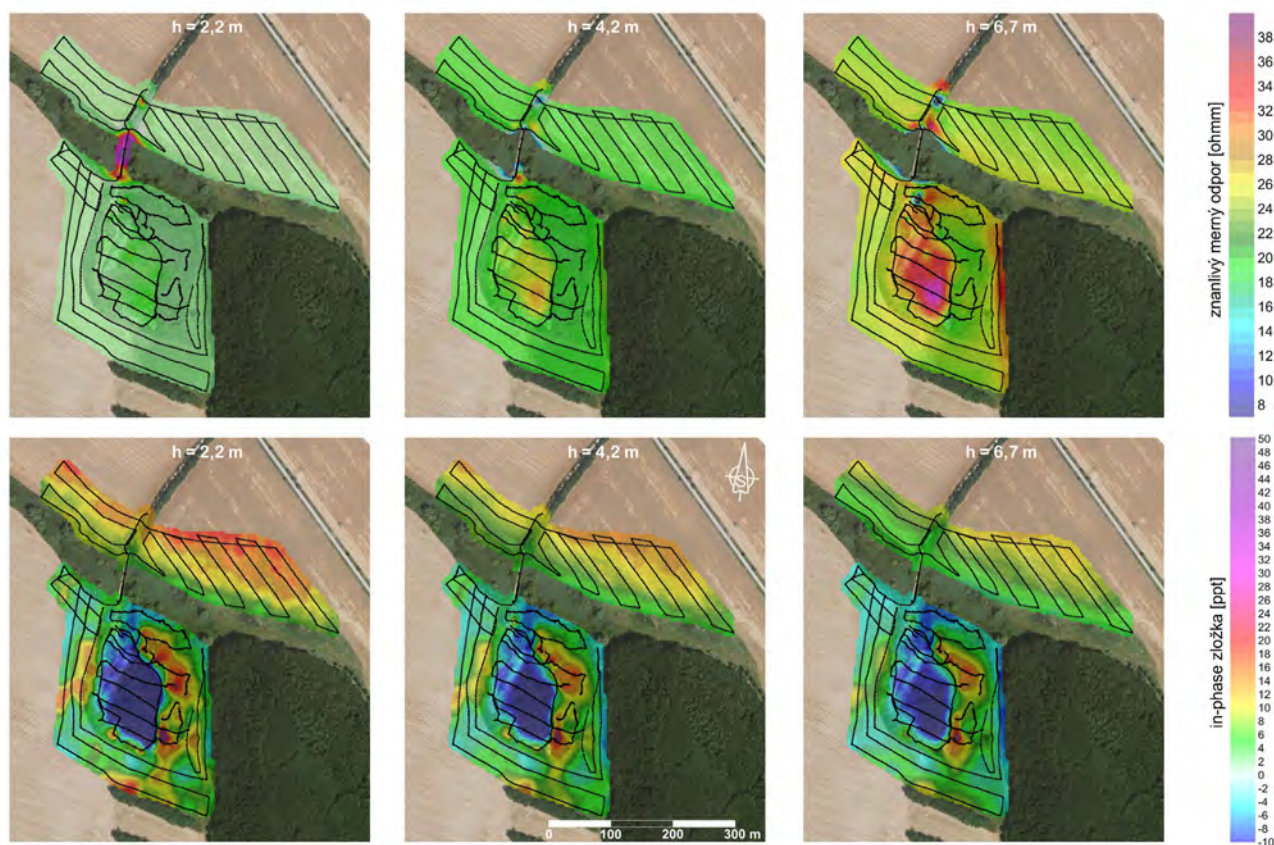
Pretože sa súbežne mapovali tri rôzne hĺbkové úrovne, z vizualizovaných výstupov je možné do určitej miery určiť aj hrúbku zmapovaných geoelektrických vrstiev (obr. 5).

Na 117 lokalitách EZ sa v 2. etape geofyzikálnych prác zrealizovali merania metódou **multikábla (ERT)**. Dosiahnuté výsledky meraní multikáblom ilustrujú vhodnosť a opodstatnenosť ich použitia – získali sa napr. detailné a relevantné informácie o geometrii a stratigrafii hornín a uloženín v areáloch objektov/lokalít do hĺbky až prvých desiatok metrov. Multikábel našiel uplatnenie napríklad

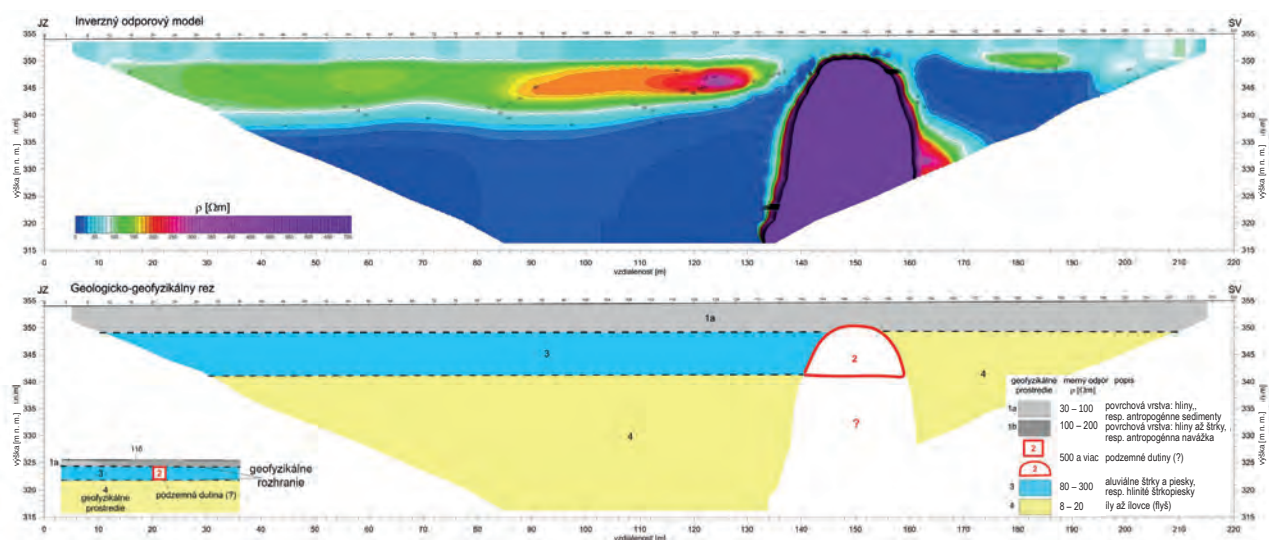
aj pri neočakávanej detekcii neznámych podpovrchových priestorov (obr. 6).

Výstupy meraní **georadarom** sú obdobné ako v prípade multikábla, ale vo výrazne vyššom rozlíšení (v závislosti od frekvencie vysielanej antény) a indikujú rozhrania s odlišnou vodivosťou a permitivitou (obr. 7). Výhodou georadaru je jednoduchosť a rýchlosť meraní, vysoká rozlišovacia schopnosť a relatívne jednoduchá interpretácia. Limitujúcimi faktormi sú najmä vysielaná frekvencia určujúca rozlíšenie detailov a hĺbkový dosah metódy, podmienený napríklad mernou vodivosťou geologického prostredia, ale aj obsahom vody, hustotou hornín a uloženín a pod. Nevyhnutným predpokladom je dostatočne rozdielna permitivita, resp. merná vodivosť jednotlivých litotypov, ale aj primerane veľká odrazová plocha sledovaných štruktúr. Napriek skutočnosti, že georadar bol použitý iba na 5 lokalitách, potvrdil svoje opodstatnenie. Za optimálny spôsob aplikácie georadaru je možné považovať kombináciu s inou vhodnou geofyzikálnou metódou, napr. metódou multikábla (ak to umožňujú parametre prostredia a podmienky merania) a optimálne aj s výsledkami karotáže na oporných vrtoch.

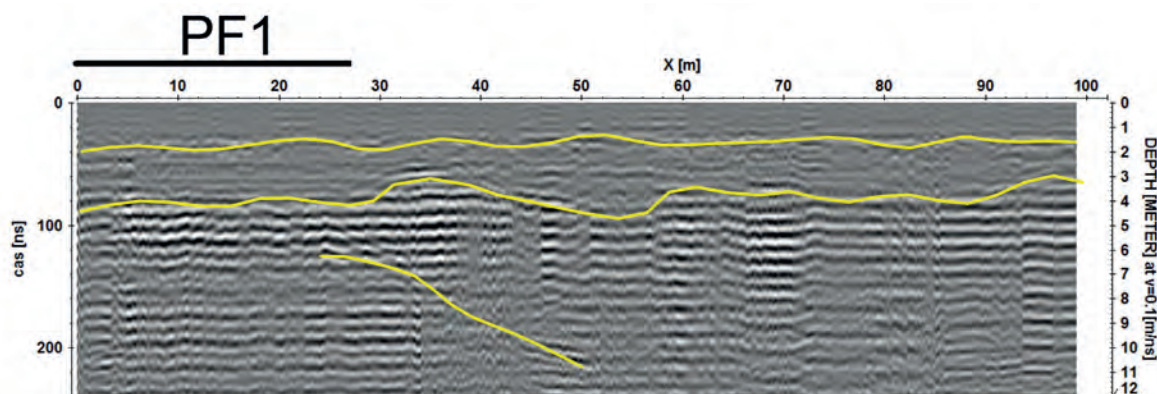
Metódu spontánnej polarizácie (SP) bolo možné použiť iba na 25 lokalitách v objeme 8 770 meraných bodov. Výhodou metódy SP je jednoduchosť a rýchlosť meraní, limitujúcim faktorom je prítomnosť rôznych rušení, spôsobených hlavne civilizačnými faktormi. Možnosti jej použitia v urbanizovaných areáloch vo väčšom rozsahu sú tak významne obmedzené. Negatívnymi hodnotami SP sú indikované oblasti možnej kontaminácie podzemnej/skládkeho



Obr. 5. Výsledky meraní CMD skríningom pri efektívnom hĺbkovom dosahu 2,2 m, 4,2 m a 6,7 m, príklad z lokality ID 122 Vrable – skládka KO.



Obr. 6. Výstupy meraní metódou multikábla – možnosti detekcie neznámych podpovrchových priestorov, príklad z lokality ID 33 Kysucké Nové Mesto – NN Slovakia, profil PF-3.



VYSVETLIVKY:
— interpretované rozhrania

Obr. 7. Výsledky meraní georadarom, príklad z lokality ID 71 Lučenec – Práčovne a čistiarne.

vej presakujúcej vody (obr. 8). Za špecifických podmienok je možné z meraní SP určiť aj smer prúdenia podzemnej vody.

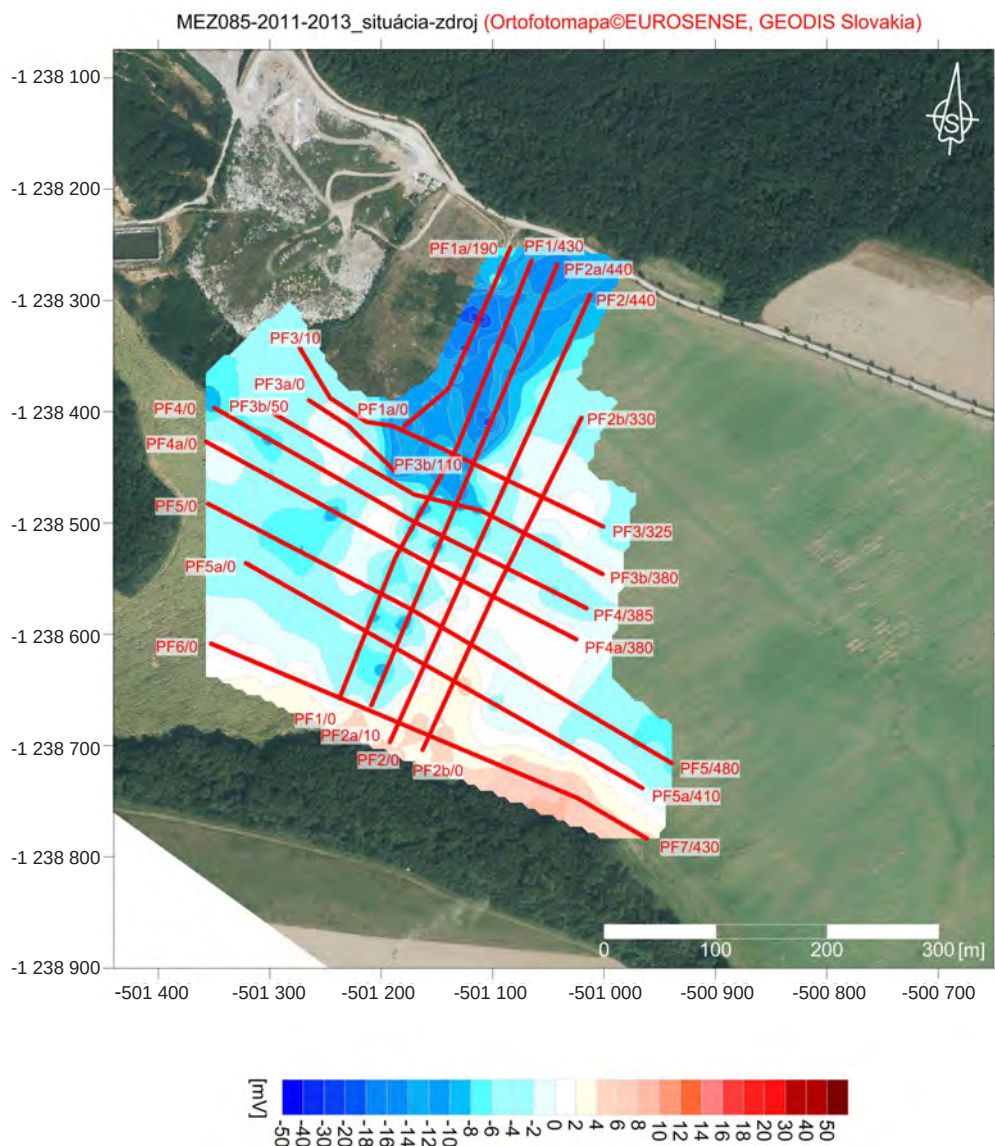
Rádiometrické metódy (gamaspektrometria – GSM a radónový prieskum – OAR) boli použité na všetkých 161 lokalitách v počte 10 bodov GSM aj OAR. Výsledky rádiometrických stanovení koncentrácie prírodných rádionuklidov „in situ“ meraniami GSM, resp. objemovej aktivity radónu v pôdnom vzduchu (OAR) poukazujú na ich veľmi dobré mapovacie možnosti. S výrazne zvýšeným obsahom ekvivalentného uránu ($eU = 9,0 - 12,3$ ppm), čo zodpovedá zvýšenej ($eU \geq 4,0$ ppm) až vysokej ($eU \geq 10,0$ ppm) prírodnej rádioaktivity horninového prostredia, boli overené napríklad ílovité a sprašové hliny na lokalite ID 21 Nové Mesto nad Váhom – skládka KO Mnešice-Tušková (obr. 9).

Atmogeochemické merania realizované na skládkach Zlaté a Spišská Belá potvrdili dobrú detekčnú schopnosť

meracej aparatury v prípade skládkových plynov CH_4 , CO_2 a O_2 . Príklad výstupu z atmogeochemických meraní je uvedený na obr. 10.

Výsledky geofyzikálnych prác poukázali na dobrú aplikovateľnosť metód pri riešení problematiky EZ. V určitých prípadoch vyplývajúcich zo samotných fyzikálnych základov jednotlivých metód a za nepriaznivých okolností však ich využitie môže byť limitované a získané údaje nebudú poskytovať relevantné výsledky. Medzi významné faktory limitujúce využitie geofyzikálnych prác je možné na základe našich získaných informácií zaradiť hlavne:

- urbanizáciu a industrializáciu skúmaných areálov,
- prítomnosť líniových objektov (ploty, koľajnice, elektrické vedenia atď.), plošne rozsiahlejšie (zabetónované/zaasfaltované) plochy, podzemné objekty (rôzne produktovody, nádrže a pod.), resp. iný kovový odpad vo väčšom rozsahu,
- nízko- aj vysokofrekvenčné elektromagnetické rušenie,



Obr. 8. Výsledky meraní metódou spontánnej polarizácie, príklad z lokality ID 85 Bojná – skládka TKO.

VYSVETLIVKY:

- profil merania spontánnou polarizáciou
- PF1/0 číslo a úsek [m] profilu

- nedostatočný kontrast fyzikálnych parametrov medzi kontaminovanými uloženinami, skládkovými kvapalinami a neznečisteným geologickým prostredím (horninové prostredie, voda),
- výrazne poklesnutú hladinu a malú rýchlosť prúdenia podzemnej vody,
- dostupnosť, morfológiu a priechodnosť terénu,
- požadovaný hĺbkový dosah a detailnosť meraní,
- časovú náročnosť niektorých geofyzikálnych prác,
- malú plynopriepustnosť geologického prostredia pod skládkou, prípadne aj skládkového materiálu,
- prekrytie skládky rôznymi tesniacimi fóliami a (separačnými) geotextíliami,
- nejednoznačnosť interpretácie geofyzikálnych meraní.

Kompletná dokumentácia geofyzikálnych prác je súčasťou záverečnej správy Kordíka et al. (2015).

3.2. Diaľkový prieskum Zeme

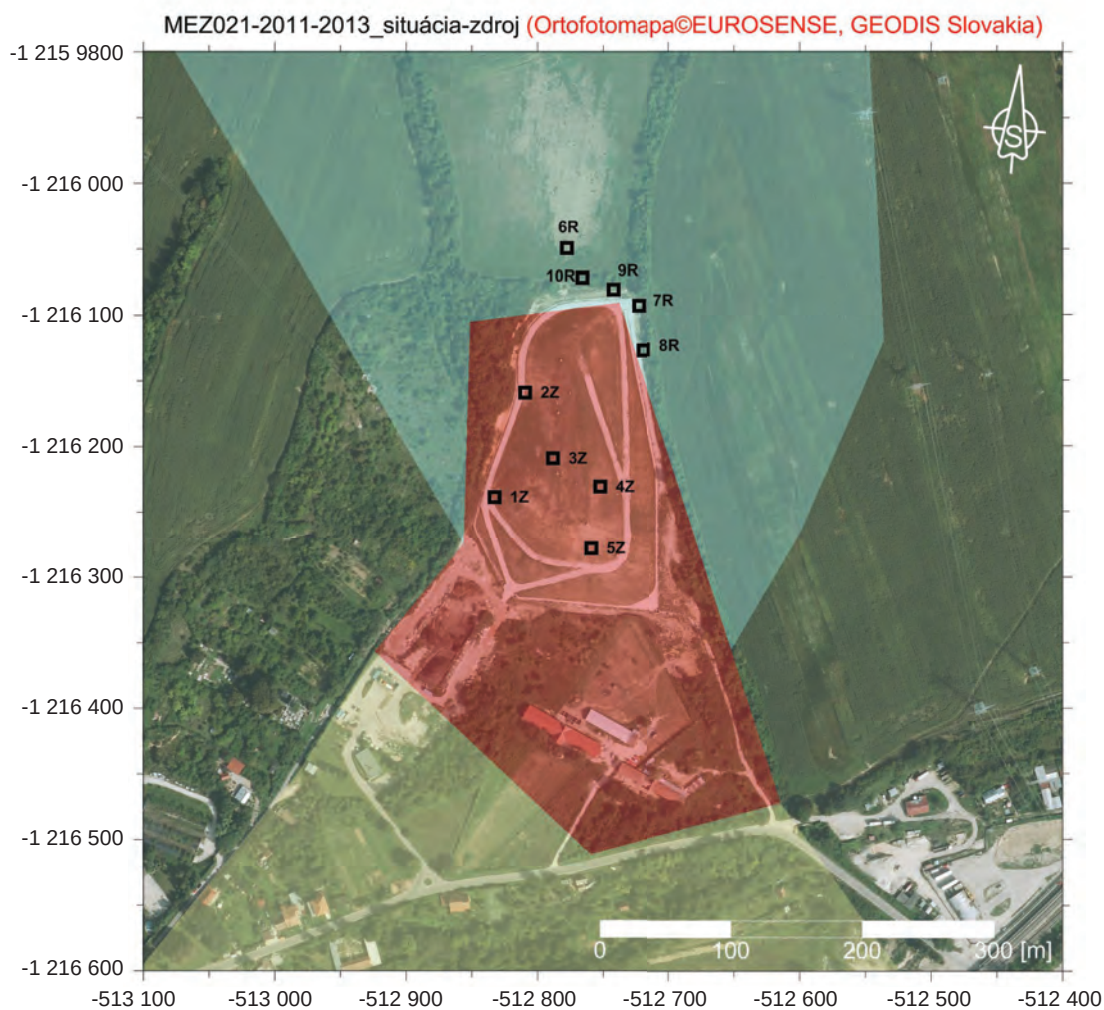
V rámci riešenia DPZ bol skúmaný a zhodnotený vzťah medzi mierkou výskumu a vhodnosťou použitia konkrétneho typu družicovej a leteckej snímky. Vhodnosť použitia satelitných snímok pri jednotlivých mierkach výskumu EZ je zhrnutý v tab. 4.

Na hodnotenie lokalít metódami DPZ bol použitý parameter „interpretovateľnosť“, v ktorom boli integrované ukazovatele ako priestorové rozlíšenie, spektrálne rozlíšenie, kontrastnosť a podobne. Parameter „interpretovateľnosť“ bol rozdelený na 6 kategórií:

- nedostatočná – menej ako dobrá (FX),
- dobrá (E),
- dobrá až veľmi dobrá (D),
- veľmi dobrá (C),
- veľmi dobrá až výborná (B),
- výborná (A).

Tab. 4. Vhodnosť použitia satelitných snímok pri jednotlivých mierkach výskumu EZ.

Mierka M = 1 : X			Nosič
najmenšia	najvhodnejšia	najväčšia	
100 000	50 000	25 000	SPOT 1-4 PAN, SPOT 5 MS, IKONOS, RapidEye, SPOT-6
25 000	10 000	5 000	MS: WorldView-2/3, GeoEye-1, QuickBird, Pléiades PAN: SPOT-5, SPOT-6
10 000	5 000	2 000	Ortofoto RGB, hyperspektrálne LS
5 000	2 000	1 000	MS: WorldView-3, ortofoto (+ IR) PAN (a PANSARP): WV-2, GE-1, QBird, Pléiades



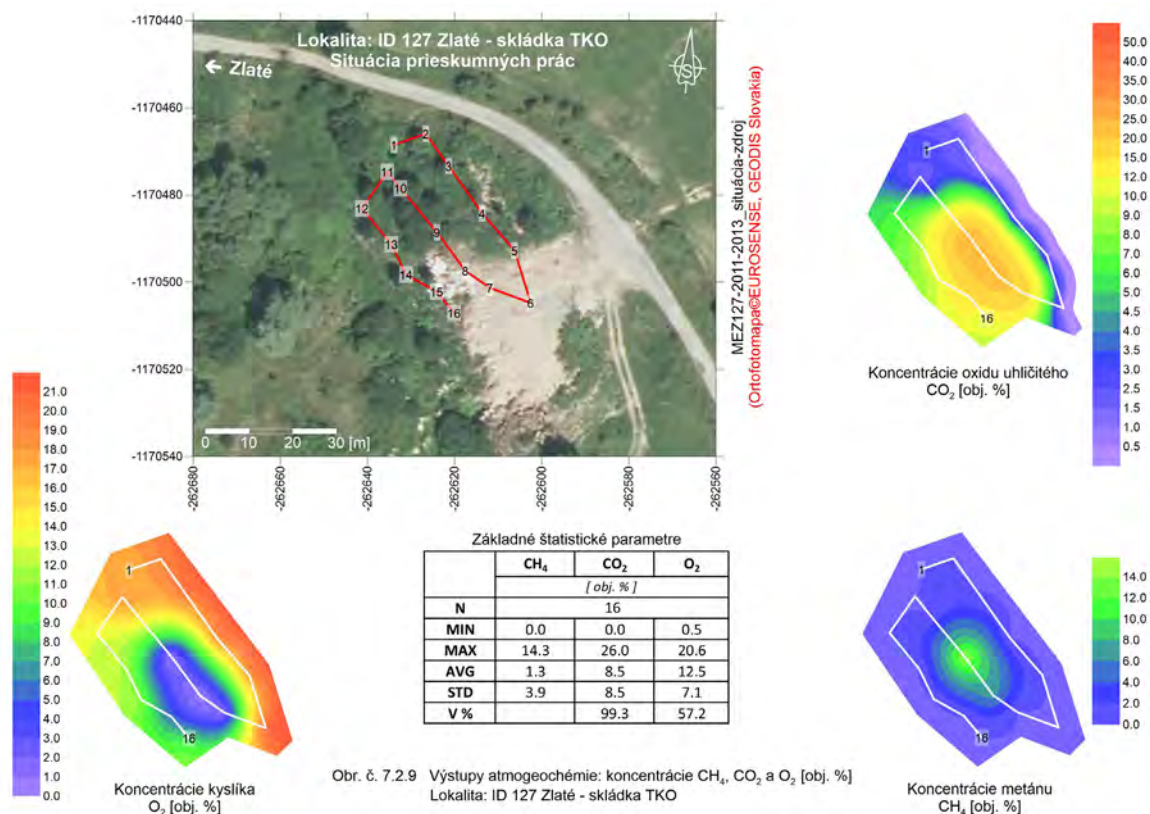
Point	K [%]	eU [ppm]	eTh [ppm]	eUt [ur]	Da [nGy.h ⁻¹]	OAR [kBq.m ⁻³]
1Z	1,1	12,1	8,6	19,3	104,6	12
2Z	0,9	11,4	7,8	17,8	96,6	12
3Z	1,1	10,8	6,9	17,4	93,8	15
4Z	1,5	12,3	7,6	20,2	109,0	16
5Z	1,1	11,7	4,5	17,0	92,4	14
6R	0,8	10,0	1,2	12,8	70,5	11
7R	0,9	9,7	1,9	13,2	72,0	15
8R	1,0	10,2	1,6	13,8	75,4	11
9R	0,9	9,4	1,0	12,5	68,4	11
10R	0,9	9,0	1,3	12,1	66,1	7
Limits	≥ 2,0	≥ 4,0	≥ 12,0	≥ 17,0	≥ 80,0	≥ 20

1Z Bod merania:
gamaspektrometria (SG)
emanačný prieskum OAR ²²²Rn)

Koncepčný model oblasti:

- zdrojová zóna (Z)
- indikačná zóna
- referenčná zóna (R)

Obr. 9. Výsledky rádiometrického prieskumu s vyznačeným generálnym smerom prúdenia podzemnej vody – prírodná rádioaktivita, príklad z lokality ID 21 Nové Mesto nad Váhom – skládka KO Mnešice – Tušková.

Obr. 10. Výstupy atmogeochemie: koncentrácia CH₄, CO₂ a O₂ (obj. %), lokalita ID 127 Zlaté – skládka TKO.

Tab. 5. Použiteľnosť metód DPZ – interpretovateľnosť a početnosť podľa typov lokalít.

Použiteľnosť metód DPZ – interpretovateľnosť (počet)	FX (nedostatočná)	E (dobrá)	D	C (veľmi dobrá)	B	A (výborná)	spolu
Priemyselný areál	23	19	8	2	2	1	55
Skládka TKO	13	10	7	3		1	34
Skládka	10	9	5	3			27
Halda			4	2	6	1	13
Kal, odkalisko		2	1	2	4		9
Kontaminácia	3	1	2	2		1	9
Depo	1	4					5
Ropné látky, obalovačky, nádrže...		2	3				5
Armáda, letisko	2	2					4
Celkovo	52	51	28	14	12	4	161

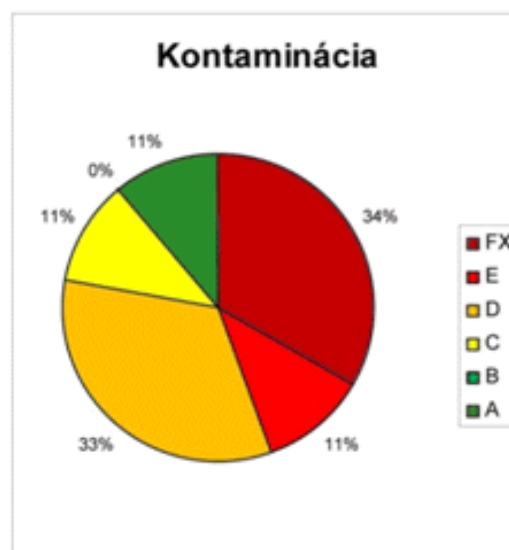
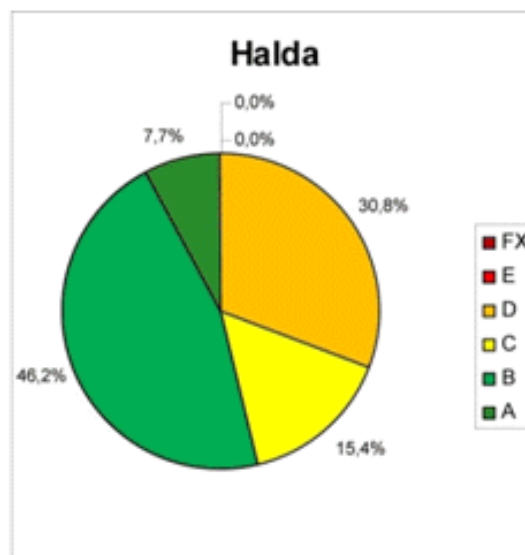
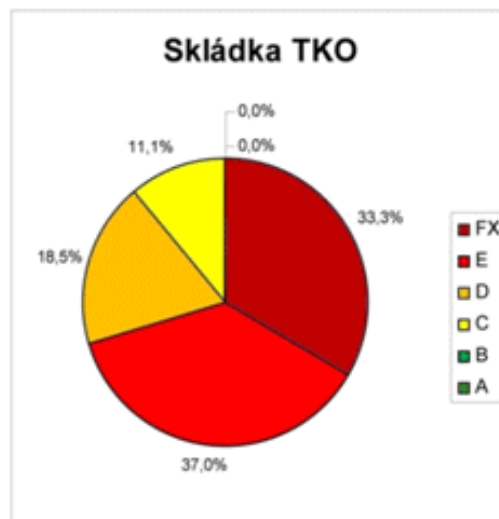
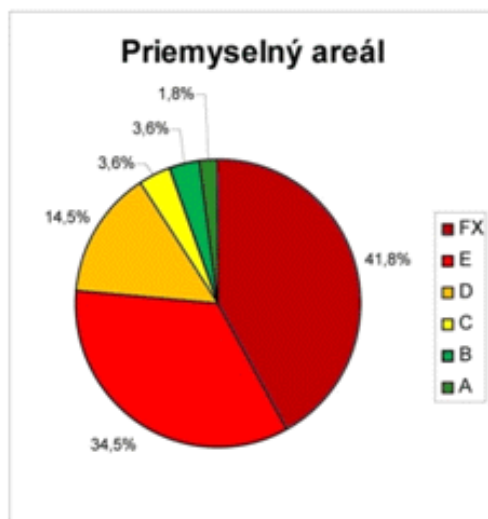
Použiteľnosť metód DPZ – interpretovateľnosť a početnosť podľa typov lokalít – je zhrnutá v tab. 5 a 6 a na obr. 11.

Vhodnými lokalitami na použitie metód DPZ sa ukázali hlavne EZ spojené s banskou činnosťou (haldy, odkaliská a ich okolie), pomerne vhodnými najmä skládky, skládka TKO, depá, rôzne kontaminácie a ropné znečistenia (ak sa prejavujú na stave rastlinstva) a niektoré priemyselné areály. Ako najmenej vhodné na použitie metód DPZ sa javili armádne lokality.

Kompletné výsledky DPZ sú uvedené v záverečnej správe Kordíka et al. (2015).

3.3. Aktualizované poznatky o geologických pomeroch územia

Realizované geologické práce potvrdili a doplnili doterajšie poznatky o geologickej stavbe oblasti EZ a okolia. Vrtmi vybudovanými v rokoch 2014 – 2015 bola zdokumentovaná geologická stavba sedimentov kvartérneho veku a podložného horninového prostredia (zvyčajne neogénneho veku, prípadne mezozoického a paleozoického veku). Geologické pomery územia sa zaznamenávali počas vrtných prác zvyčajne na úplných vrtoch, to znamená na vrtoch, ktoré sa končili v nepriepustnom podloží. Príklad



Obr. 11. Interpretovateľnosť EZ rôznych typov.

Tab. 6. Použitelnosť metód DPZ – počet a interpretovateľnosť jednotlivých lokalít (zskupené podľa typov).

Použitelnosť metód DPZ: – interpretovateľnosť: počet: {ID lokalít MEZ}	FX (< dobrá)	E (dobrá)	D	C (veľmi dobrá)	B	A (výborná)
Priemyselný areál	23: {8, 10, 26, 27, 31, 33, 38, 39, 41, 47, 52, 53, 72, 91, 96, 101, 106, 112, 113, 116, 120, 163, 171}	19: {22, 35, 40, 46, 61, 67, 69, 76, 110, 111, 129, 133, 141, 145, 147, 149, 150, 151, 156}	8: {1, 4, 5, 7, 12, 48, 82, 134}	2: {20, 45}	2: {6, 25}	1: {135}
Skládka	13: {18, 83, 88, 93, 99, 118, 131, 132, 138, 157, 158, 159, 164}	10: {21, 59, 63, 66, 81, 109, 143, 144, 146, 162}	7: {49, 51, 57, 58, 64, 98, 155}	3: {37, 56, 119}		1: {165}
Skládka TKO	10: {80, 108, 114, 115, 121, 122, 126, 154, 160, 169}	9: {94, 105, 123, 127, 128, 136, 140, 153, 166}	5: {44, 55, 85, 100, 124}	3: {70, 73, 148}		
Haldy			4: {77, 79, 97, 168}	2: {78, 170}	6: {13, 14, 50, 86, 89, 92}	1: {142}
Kal, odkalisko		2: {54, 90}	1: {15}	2: {152, 161}	4: {28, 29, 137, 139}	
Kontaminácia	3: {71, 84, 102}	1: {75}	3: {68, 74, 103}	1: {130}		1: {24}
Depo	1: {60}	4: {36, 43, 65, 87}				
Ropné látky, obalovačka, nádrže		2: {11, 107}	3: {16, 95, 104}			
Armáda, letisko	2: {42, 125}	2: {30, 117}				

Poznámka: zoznam lokalít podľa ID je uvedený v tab. 1

dokumentácie vrtu na lokalite Zlaté Moravce – Calex je zobrazený na obr. 12.

Kompletná geologická dokumentácia je súčasťou záverečnej správy Kordíka et al. (2015).

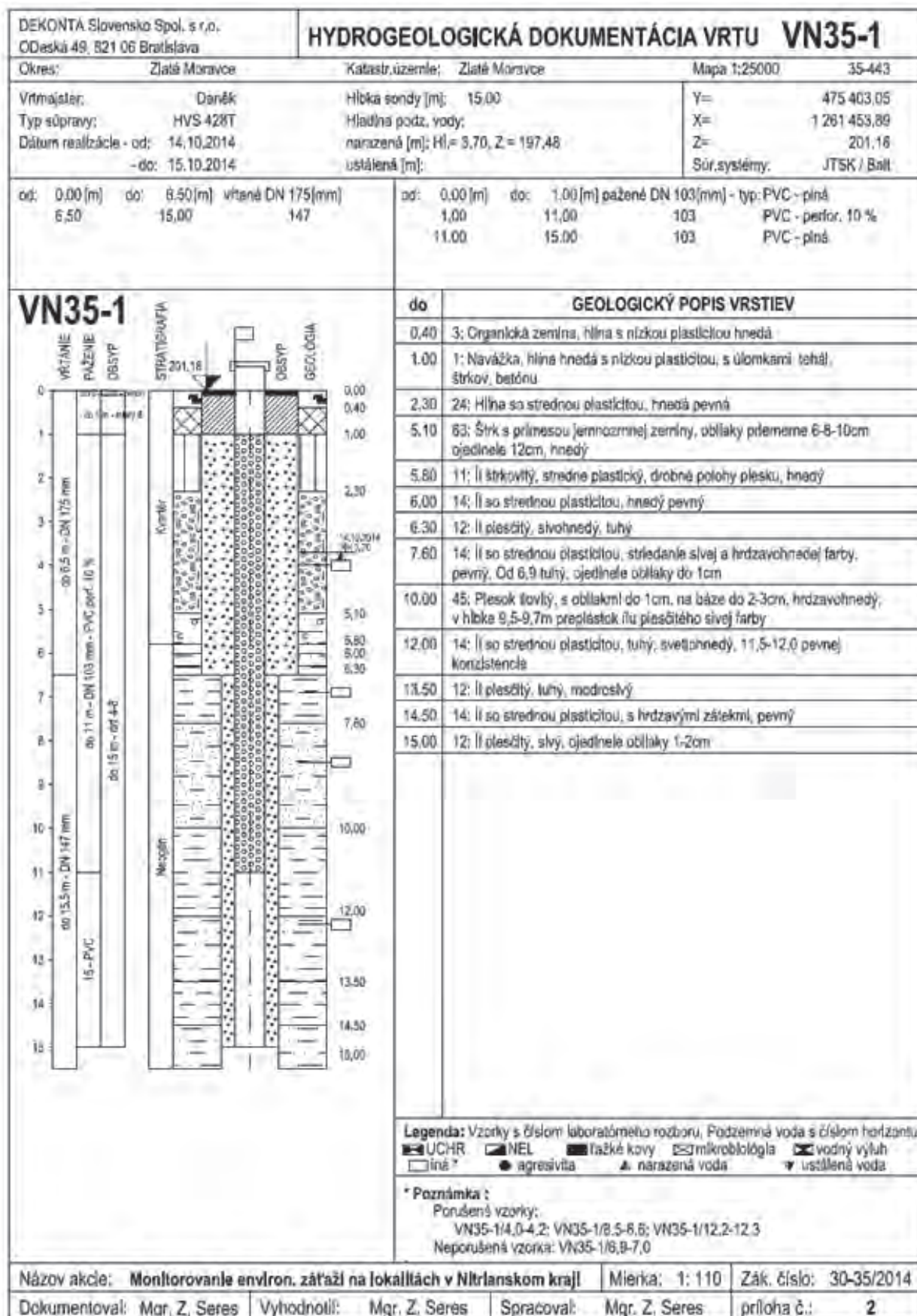
3.4. Hydrogeologické pomery

Objasnenie hydrogeologických pomerov na jednotlivých lokalitách EZ bolo jedným z kľúčových problémov, ktoré bolo potrebné riešiť. Hydrogeologické pomery v oblasti vybraných EZ sú charakterizované prostredníctvom:

- charakteristiky hydrogeologickej štruktúry:
 - určenie hydrogeologickej funkcie litotypov, prípadne stratigrafických celkov (definícia kolektorov, izolátorov, poloizolátorov),
 - určenie hydrogeologickej otvorenosti štruktúry (vrátane polohy lokálnej alebo regionálnej drenážnej oblasti, infiltračnej oblasti, hydraulikkej komunikácie s povrchovými tokmi alebo vodnými plochami),
 - určenie typu obehu a filtrácie podzemnej vody na základe dĺžky a trvania obehu (krátkodobý,

intermediárny, dlhodobý), respektíve relatívnej hĺbky obehu (plytký, intermediárny, hlboký),

- určenie charakteru hladiny podzemnej vody (voľná, polonapätá, napätá) a časových zmien hladiny podzemnej vody spolu s preferenčným trendom jej prúdenia,
- pri dostatočnom a reprezentatívnom množstve údajov aj identifikácia niektorých dynamických parametrov štruktúry (reakcia na zrážkové pomery, topenie snehovej pokrývky, infiltračný a drenážny režim povrchových tokov, brehová infiltrácia, reakcia na regulovanie vodných tokov);
- charakteristiky hydraulických parametrov na základe terénnej rekognoskácie a excerpcie údajov, respektíve vychádzajúc z orientačných hydrodynamických skúšok a skúšok v IG laboratóriu:
 - identifikácia základných typov priepustnosti podľa tvaru (medzizrnová, puklinová, krasovo-puklinová, krasová) a genézy (primárna, sekundárna),



Obr. 12. Příklad dokumentácie vrtu na lokalite Zlaté Moravce – Calex.

- o stanovenie koeficientu filtrácie na základe kriediek zrnitosti a z výsledkov laboratória mechaniky zemín (v triaxiálnej komore, priepustomere s konštantným alebo premenlivým spádom),
- o stanovenie koeficientu filtrácie, respektíve prietoknosti, poprípade zásobnosti štruktúry z reprezentatívnych záznamov orientačných hydrodynamických skúšok.

3.4.1. Charakteristika hydrogeologických štruktúr

Vo všeobecnosti môžeme konštatovať, že všetky **hydrogeologické štruktúry** identifikované v rámci riešenia geologickej úlohy sú **otvorené**. Logickým dôsledkom toho je vstup podzemnej vody do systému EZ (predovšetkým zdrojovej oblasti) a výstup zo systému (v smere k indikačnej oblasti).

Hydrogeologické štruktúry plytkého obehu spájame predovšetkým s environmentálnymi záťažami založenými v prostredí zvodní v **sedimentoch kvartérneho veku s nepriepustným podložíom** ílov, siltov a ílovcov neogénneho veku (napr. lokality ID 76 – Košice – stará plynáreň, ID 95 – Unín – zberné naftové stredisko Cunín, ID 149 – Duslo Šaľa – výroba LAD a dusičnanu amónneho), ílovcov alebo slieňovcov paleogénneho veku (napr. ID 52 – Bardejov – elektrická stanica, ID 145 – Stará Turá – areál Chirana, ID 148 – Lubina – skládka KO Palčekové), bridlic až ílovcov mezozoického veku (napr. ID 78 – Partizánska Ľupča – štôlna a haldy Magurka), granitov a granodioritov paleozoického veku (napr. ID 79 – Partizánska Ľupča – odkalisko Magurka) či metamorfítov (napr. ID 135 – Košice-Šaca – areál U. S. Steel Košice) pod dosahom kôry zvetrávania. V týchto štruktúrach sa obeh podzemnej vody viaže na blízku infiltračnú oblasť, väčšinou v elevovaných častiach bezprostredného okolia, a drénovanie podzemnej vody prebieha v najbližších povrchových tokoch. Štruktúry plytkého obehu výrazne reagujú na sezónne zmeny v zrážkových úhrnoch, respektíve v odtoku podzemnej vody po roztopení snehovej pokrývky a rovnako reagujú aj na viac-menej režimové zmeny v infiltračných a drenážnych režimoch povrchových tokov. Režim obehu je možné hodnotiť ako krátkodobý. Hladina podzemnej vody je voľná až napätá, v závislosti od podielu ílov až siltov v nadloží a od ich hrúbky. Podľa hrúbky zvodne, jej nadložia, blízkosti povrchového toku, respektíve pozície v rámci terénu sa hladina podzemnej vody v monitorovacích vrtoch sledovaných lokalít pohybuje od prelivu 0,5 m nad terénom (napríklad na lokalite ID 95 – Unín – zberné naftové stredisko Cunín) do zhruba 15 m pod úroveň terénu.

Zvodnené geologické prostredie sa v týchto oblastiach viaže prevažne na fluválne štrky až štrkopiesky, sporadicky piesky, prolúviálne štrky až piesky, respektíve deluviálne piesčité hliny s výskytom obliakov, menej glaciáluálne štrkopiesky (napr. lokalita ID 78 – Partizánska Ľupča – štôlna a haldy Magurka). V rámci hydrogeologických štruktúr plytkého obehu sú zastúpené aj zvodnené štrky až piesky neogénneho veku (prekryté sedimentmi kvartérneho veku v malej hrúbke, prípadne bez pokrývu) v nadloží nepriepustných ílov neogénneho veku, respektíve štruktúry

viazané na piesčité ílovce až pieskovce paleogénneho veku postihnuté výrazným zvetrávaním.

Špecifickým prípadom sú oblasti EZ situované v úzkych údoliach, resp. erózných ryhách, kde na prúdenie podzemnej vody má výrazný vplyv geomorfológia prostredia. Znečistenie sa najvýraznejšie šíri za vysokých vodných stavov, resp. počas intenzívnych zrážok, pričom kontaminácia pomerne rýchlo postupuje k miestnej drenážnej báze, resp. smerom k najbližšiemu recipientu (povrchovému toku). V takýchto prípadoch bolo potrebné klásť dôraz na monitorovanie recipienta, keďže vzhľadom na uvedené podmienky kontaminácia nemusí byť zachytená v podzemnej vode.

Hydrogeologické štruktúry intermediárneho až hlbokého obehu spájame so zvodnencami v geneticky starších útvaroch predovšetkým neogénneho veku, menej paleogénneho a mezozoického veku. Význam kryštalínika, resp. sérií gemerika paleozoického veku v spojení so znečistením je na sledovaných lokalitách zanedbateľný. Štruktúry hlbšieho obehu majú význam pri tvorbe a interpretácii koncepčných modelov v prípade, ak kontaminácia spolu s podzemnou vodou preukázateľne vertikálne prestupuje medzi viacerými stratigrafickými horizontmi do hlbšie položených zvodní. Najčastejším prípadom je medzivrstvový prestup podzemnej vody medzi plytkou zvodňou v sedimentoch kvartérneho veku do pieskov až štrkov neogénneho veku (napr. ID 164 – Unín – skládka odpadu), respektíve karbonátov mezozoického veku (napr. ID 58 – 59 Predajná I a II, a ID 13 – Lazisko – odkaliská Liptovská Dúbrava).

Tento typ štruktúr sa vyznačuje menej výraznou reakciou na klimatické a zrážkovo-snehové faktory, zároveň aj menej výraznou komunikáciou s povrchovými tokmi. Hladina podzemnej vody je väčšinou napätá, vo variabilnej hĺbke. Napríklad vrto VN13-3 na lokalite Lazisko – odkaliská (Liptovská Dúbrava) bola zachytená pravdepodobne krasová kaverna v dolomitoch s odlišným hydrogeologickým režimom, ako vykazovala plytká zvodňa v glaciáluálnych, prolúviálnych až fluválnych sedimentoch. Narazená hladina podzemnej vody bola v hĺbke 17 m p. t. Vo vrte VN58-3 na lokalite Predajná I bola narazená hladina podzemnej vody v pieskovcoch v hĺbke 80 m p. t., v piesčitých vápencoch v hĺbke 100 m, hladina sa ustálila v hĺbke 17 m p. t.

S ohľadom na morfológický charakter prostredia je možné, že infiltračná oblasť plytkého a hlbokého obehu sa predovšetkým v horských dolinách výraznejšie nelíši. K diferenciacii v obehu dochádza po puklinových alebo zlomových systémoch, krasových štruktúrach alebo prestupom cez tenké vrstvy poloizolátorov medzi zvodnenými polohami. Naopak, drenážna oblasť nemusí súhlasiť s polohou lokálnej drenážnej bázy. Napríklad v rámci lokality Lazisko – odkaliská predpokladáme, že jedným z možných scenárov je prestup aspoň časti podzemnej vody prestupujúcej do stredotriasových dolomitov do Liptovskej kotliny, ktorá v tomto prípade predstavuje hydrogeologický bazén.

Špecifickým typom hydrogeologických štruktúr na sledovaných lokalitách sú **hydrogeologické štruktúry s kombinovaným obehom**, pre ktoré sú typické hydraulicky spojené zvodnence. V nich je zvodňa viazaná najčastejšie

na sedimenty kvartérneho veku v bezprostrednom nadloží priepustných kolektorových hornín starších útvarov, napríklad pieskov neogénneho veku (napr. lokalita ID 95 – Unín – zberné naftové stredisko Cunín), alebo zvetraných piesčitých ílovcov paleogénneho veku (napr. ID 118 – Skalica – skládka Zlatnícka dolina). Obeh a čas zdržania podzemnej vody môžu byť výrazne variabilné. Napríklad na lokalite ID 118 – Skalica – skládka Zlatnícka dolina predpokladáme rozdiel v efektívnej filtračnej rýchlosti a čase zdržania podzemnej vody jednotlivých, hoci prepojených zvodní. Hladina podzemnej vody býva voľná až napätá, v závislosti od napätosti vyššie položenej zvodne, resp. od litologického charakteru prostredia.

3.4.2. Charakteristika hydraulických parametrov

Po prečistení vrtov sa na väčšine vrtov vybudovaných v rokoch 2014 a 2015 realizovali orientačné čerpanie skúšky v trvaní 6 hodín a následne stúpacie skúšky do ustálenia hladiny podzemnej vody, ktorými sa overila funkčnosť vrtu. Na základe dokumentácie boli stanovené hydraulické parametre horninového prostredia v okolí aktívnej časti vrtu. Zároveň boli stanovené hydraulické parametre (koeficienty filtrácie) aj na základe kriviek zrnitosti a z výsledkov laboratória mechaniky zemín. Prehľad distribúcie koeficientov prietoknosti a koeficientov filtrácie v jednotlivých stratigrafických celkoch je uvedený v tab. 7 a komentovaný je v ďalšom texte. Príklad hydrodynamickej skúšky na vrte VN35-1 (lokalita Zlaté Moravce – Callex) je zobrazený na obr. 13.

Charakteristika hydrogeologickej funkcie sedimentov kvartérneho veku

Kolektorové polohy (zvodnenie) vo **fluviálnych sedimentoch** (napr. lokality ID 7 – Liptovský Mikuláš – Kožiarke závody, ID 16 – Stropkov – obalovačka, ID 57 – Podtureň – skládka Žadovica, ID 149 – Duslo Šaľa – výroba LAD a dusičnanu amónneho, ID 150 – Duslo Šaľa – výroba kyseliny dusičnej, ID 151 – Duslo Šaľa – výroba gumárenských chemikálií) zastupujú predovšetkým piesky a štrkopiesky – piesčité štrky až štrky fluviálnych náplavov korytovej a dnovej výplne s variabilnou mierou zahlinenia, resp. terás, menej štrky a piesky pochovaných meandrov alebo piesky agradačných valov (povrchové toky vyšších radov). V nadloží kolektorov zvyčajne vystupujú piesky s prechodom k siltom až nivným hlinám predstavujúce menej priepustné až nepriepustné prostredie. V pieskoch až štrkoch terás je zároveň často možné pozorovať lokálne prevrstvenie kolektora tenkými ílovitými až hlinitými preplástkami, čo dávame do súvisu s krátkodobým prerušením vodného toku v koryte. Hladina podzemnej vody vo fluviálnych sedimentoch býva voľná až napätá, v závislosti od hrúbky a charakteru nadložia. Sedimenty sa vyznačujú medzizrnovou priepustnosťou.

V **proluviálnych sedimentoch** (napr. lokality ID 13 – Lazisko – odkaliská Liptovská Dúbrava, ID 82 – Skalica – areál bývalých ZVL, ID 102 – Pezinok – tok Mahulianka, ID 157 – Modra-Hliny – skládka) je litologické prostre-

die značne variabilné. Zvodne sa viažu na piesčité hliny až zahlinené piesky s rozdielnym zastúpením obliakov, respektíve na štrky vonkajších okrajov proluviálnych kužeľov, resp. na reziduálne proluviálne kužele pochované pod deluviálnymi, fluviálnymi alebo eolickými sedimentmi. Povrchové časti proluviálnych kužeľov bývajú častejšie siltové až hlinito-piesčité, vytvárajúc polopriepustné až nepriepustné polohy. Hladina podzemnej vody v proluviálnych sedimentoch je v závislosti od charakteru nadložia rovnako voľná až napätá. Sedimenty sa vyznačujú medzizrnovou priepustnosťou. Podieľajú sa na tvorbe otvorených štruktúr s plytkým krátkodobým obehom, respektíve na štruktúrach s hydraulicky spojenou zvodňou v proluviálnych a glaci-fluviálnych, respektíve proluviálnych a fluviálnych sedimentoch.

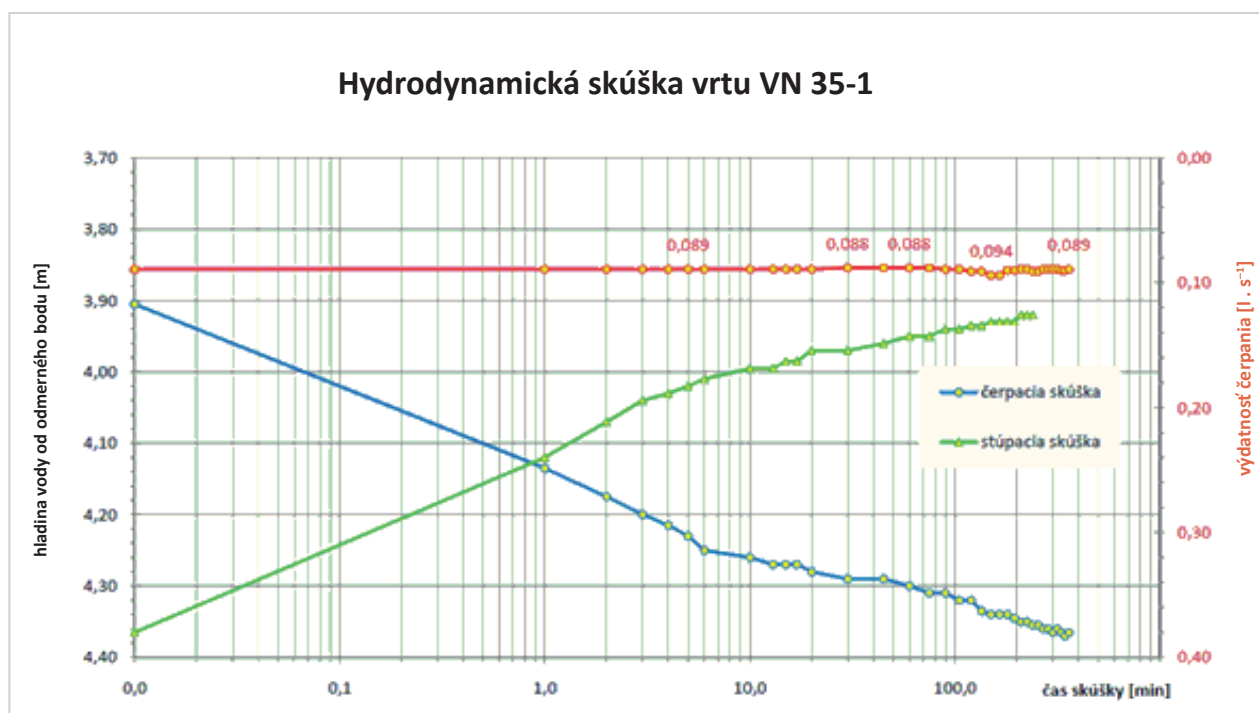
Deluviálne sedimenty (napr. lokality ID 11 – Udavské – obalovačka bitúmenových zmesí, ID 114 – Stakčín – skládka, ID 148 – Lubina – skládka KO Palčekové, ID 164 – Unín – skládka odpadu) sa geneticky viažu na lokality v elevovaných častiach reliéfu, respektíve na lokality v úvalinových dolinách a erózných ryhách. Vo všeobecnosti vytvárajú málo priaznivé podmienky na infiltráciu, obeh a akumuláciu podzemnej vody. Z litologického hľadiska boli na lokalitách pozorované deluviálne hliny až silty (prakticky nepriepustné) s izolovanými telesami pieskov, respektíve štrkov až obliakov. Hladina podzemnej vody, ak je preukázaná, je väčšinou polonapätá až napätá. Sedimenty sa vyznačujú medzizrnovou priepustnosťou.

Glacifluviálne sedimenty boli na lokalitách zdokumentované v glaciálnych dolinách severných svahov Nízkyh Tatier (napr. lokalita ID 13 – Lazisko – odkaliská Liptovská Dúbrava, ID 14 – Dúbrava – štôlna a haldy Liptovská Dúbrava, ID 79 – Partizánska Ľupča – odkalisko Magurka), resp. na južnom predpolí Vysokých Tatier (napr. lokality ID 144 – Spišská Belá – skládka Za potokom, ID 146 – Veľký Slavkov – skládka Pod farmou) a Západných Tatier (napr. lokality ID 57 – Podtureň – skládka Žadovica, ID 63 – Veterná Poruba – skládka), resp. na Orave (napr. lokalita ID 54 – Nižná – kalové pole). Zvodnenie v glacifluviálnych sedimentoch sa viaže väčšinou na bazálne štrky až štrkopiesky. V nadloží variabilne vystupujú piesčité hliny vytvárajúce polohy poloizolátorov. Hladina podzemnej vody je voľná až napätá, v závislosti od charakteru nadložia. Väčšinou tvoria plytké obehové štruktúry s fluviálnymi alebo proluviálnymi, menej deluviálnymi sedimentmi. Priepustnosť glacifluviálnych sedimentov je medzizrnová.

Na monitorovaných lokalitách vystupujú aj **eolické sedimenty** (napr. lokality ID 95 – Unín – zberné naftové stredisko Cunín, ID 123 – Báhoň – skládka, ID 140 – Nitra – skládka TKO Katruša, ID 164 – Unín – skládka odpadu, ID 169 – Špačince – skládka TKO) vo forme viatych pieskov, respektíve spraší, kde často prekrývajú fluviálne sedimenty s výraznými znakmi redepozície. Z litologického hľadiska je možné charakterizovať sumárne eolické sedimenty ako jemnozrnné, variabilne zahlinené piesky až sily. Hydrogeologická funkcia eolických sedimentov je daná litologicky. Nevytvárajú vhodné podmienky na obeh a akumuláciu podzemnej vody, v mnohých prípadoch predstavujú povrchové izolátory až poloizolátory pre nižšie položené

Tab. 7. Prehľad distribúcie koeficientu prietochnosti a koeficientu filtrácie v jednotlivých stratigrafických celkoch.

Vek hodnotených útvarov	HD parametre		Minimum	Maximum	Priemer	Medián
Pokryvné útvary kvartérneho veku	T	$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	2,53E-09	9,95E-02	4,08E-03	4,61E-04
	k	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	5,03E-10	9,96E-03	3,85E-04	1,03E-04
Sedimentárny neogén, vulkanicko-sedimentárny neogén a neovulkanity	T	$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	3,13E-08	5,43E-02	3,13E-03	5,04E-04
	k	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	7,11E-08	9,96E-03	3,13E-04	8,23E-05
Formácie flyšového pásma, bradlového pásma a podtatranskej skupiny (CKP) paleogénneho veku	T	$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	7,26E-08	9,67E-02	3,93E-03	8,07E-05
	k	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	9,55E-07	2,14E-03	2,62E-04	3,19E-05
Formácie bradlového pásma a príkrovov Západných Karpát mezozoického veku	T	$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	1,24E-06	9,95E-02	4,65E-03	5,96E-05
	k	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	8,10E-07	9,52E-03	1,34E-03	1,88E-05
Paleozoické komplexy kryštalinika a gemerika paleozoického veku	T	$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	2,53E-09	6,81E-02	2,98E-03	1,24E-04
	k	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	5,03E-10	4,54E-03	2,88E-04	2,15E-05



Obr. 13. Príklad hydrodynamickej skúšky na vrte VN35-1 (lokalita Zlaté Moravce – Calex).

zvodne vo fluvialných, menej proluviálnych sedimentoch. Priepustnosť sedimentov je medzizrnová.

Antropogénne sedimenty vystupujú prakticky vo väčšine lokalít v podobe navážok, zhutnení, respektíve skládkového materiálu a odkaliskových kalov. Prevažná časť antropogénneho prostredia má charakter hĺn až ílov, variabilne zhutnených. Z hydrogeologického hľadiska sedimenty predstavujú pre podložné zvodne poloizolátor až izolátor.

Charakteristika hydraulických parametrov sedimentov kvartérneho veku

Sedimenty kvartérneho veku boli hydrodynamickými skúškami testované na 592 záznamoch. Koeficient prietoch-

nosti T sa pohyboval v intervale $2,5 \cdot 10^{-9} - 9,9 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. Najvyššie koeficienty prietochnosti sa zaznamenali na lokalitách ID 98 – Kotešová – skládka KO a PO (fluvialne štrky), ID 7 – Liptovský Mikuláš – Kožiarske závody (fluvialne štrky) alebo ID 78 – Partizánska Ľupča – haldy Magurka (glacifluviálne štrkopiesky, fluvialne štrky). Koeficient filtrácie sedimentov kvartérneho veku bol zaznamenaný v intervale $5 \cdot 10^{-10} - 9,96 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Podľa všeobecného predpokladu koeficient filtrácie a koeficient prietochnosti závisí od genetického typu sedimentu (stabilne najvyššie hodnoty boli odhadnuté v prípade fluvialných štrkopieskov až štrkov) a litologického charakteru (klesá s podielom ílovitej, resp. hlinitej frakcie). Podľa klasifikácie Krásneho (1986) dominuje stredná, III. trieda transmisivity horninového prostredia (asi 1/3 testovaných

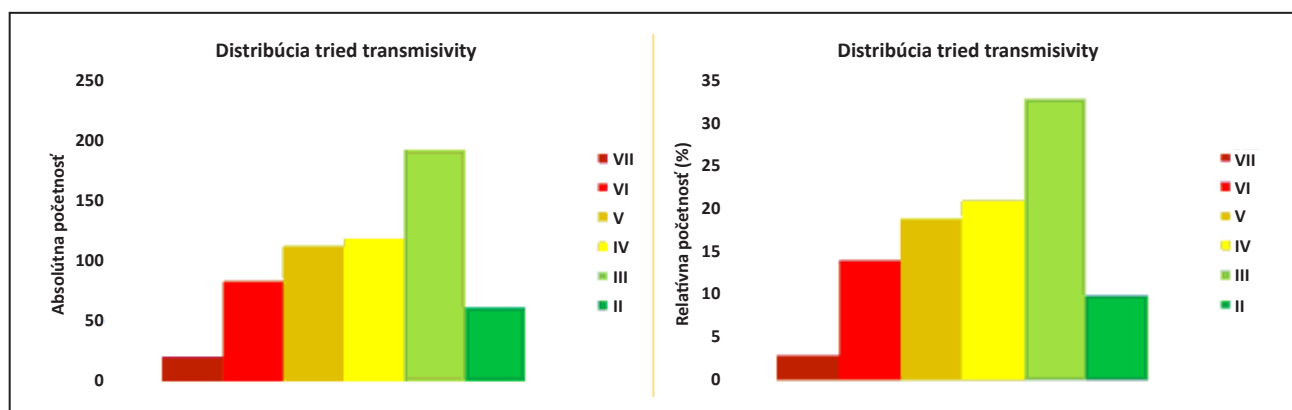
objektov) (obr. 14). Na podstatne menšom počte testovaných objektov (okolo 20 %) sa zistila nízka, IV., a veľmi nízka, V. trieda transmisivity horninového prostredia. Približne 10 % testovaných objektov sa vyznačuje vysokou, II. triedou transmisivity horninového prostredia.

Charakteristika hydrogeologickej funkcie horizontov neogénneho veku

Sedimentárny neogén môže vytvárať plytké až hlboké obehové štruktúry prostredníctvom zvodnencov v pieskoch až štrkoch, menej pieskovcoch a zlepcoch. Najčastejšie

nej vody. Jednotlivé polohy vulkanicko-sedimentárnych komplexov, ktoré sú viac-menej kompaktné (brekcie, konglomeráty), sú od seba zvyčajne hydraulicky izolované lávovými prúdmi. Priepustnosť je predovšetkým puklinová, prípadne medzizrnovo-puklinová. Vo všeobecnosti nevytvárajú vhodné podmienky na akumuláciu väčšieho množstva podzemnej vody.

Hydrogeologická funkcia komplexov **vulkanitov** neogénneho veku, napr. lávových prúdov ryolitov (napr. lokalita ID 170 – Žiar nad Hronom – skládka TKO Horné Opatovce) alebo andezitov (napr. lokalita ID 42 – vojenský obvod Lešť – garážové dvory), je kontrolovaná tvorbou



Obr. 14. Absolútne a relatívne rozdelenie tried transmisivity sedimentov kvartérneho veku podľa klasifikácie Krásneho (1986).

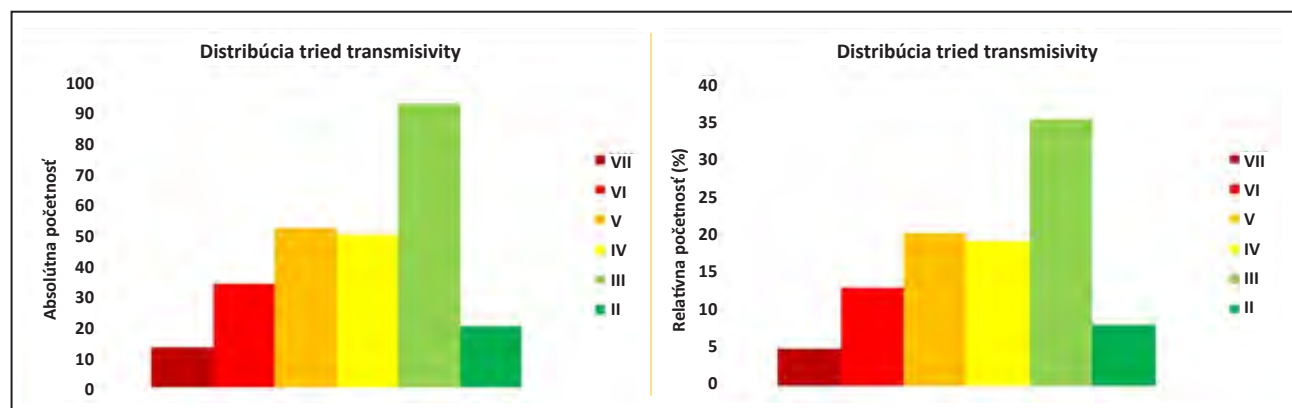
sú kolektory sedimentárneho neogénu hydraulicky izolované od plytkých zvodní kvartérneho veku v panvových, nížinných oblastiach Západných Karpát (napr. lokalita ID 149 – Duslo Šaľa – výroba LAD a dusičnanu amónneho, ID 150 – Duslo Šaľa – výroba kyseliny dusičnej, ID 151 – Duslo Šaľa – výroba gumárenských chemikálií). Na povrch vystupujú ojedinele (napr. lokalita ID 164). Priepustnosť nespevnených sedimentov je medzizrnová, zatiaľ čo v prostredí spevnených sedimentov (pieskovcov, ílovcov, zlepcov) dominuje puklinová priepustnosť.

Vulkanicko-sedimentárny neogén vystupuje v rámci hodnotených lokalít predovšetkým v tzv. stredoslovenských neovulkanitoch, kde sa podieľa na tvorbe predovšetkým intermediárnych až hlbokých obehových štruktúr, a to v podloží deluviálnych, proluviálnych, prípadne fluviálnych sedimentov tvoriacich plytké obehové štruktúry podzem-

puklinových a zvetraninových systémov. Pri výstupe na povrch sa vulkanity podieľajú na krátkodobom plytkom obehu viazanom na puklinové systémy, prípadne dotujú rozsiahlejšie zvodne v sedimentoch kvartérneho veku v nižšie položených oblastiach reliéfu.

Charakteristika hydraulických parametrov horizontov neogénneho veku

Nečlenené stratigrafické prostredie neogénneho veku sa vyhodnocovalo v perforovaných úsekoch 260 vrtov (obr. 15). Kým koeficient prietochnosti T bol odhadovaný v intervale $3,13 \cdot 10^{-8} - 5,43 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, koeficient filtrácie k bol vypočítaný pri využití metódy typových kriviek pre príslušné T v intervale $k = 7,11 \cdot 10^{-8} - 9,96 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Najvyššie hodnoty prietochnosti boli podľa očakávania



Obr. 15. Absolútne a relatívne rozdelenie tried transmisivity horninového prostredia neogénneho veku podľa klasifikácie Krásneho (1986).

zdokumentované v prostredí sedimentárneho neogénu. Koeficient prietochnosti vo vulkanických a vulkanicko-sedimentárnych komplexoch sa pohyboval v rozmedzí $T = 7 \cdot 10^{-3} - 3 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. Je však potrebné uviesť, že predovšetkým hodnoty blízke sa k hornej hranici tohto intervalu môžu byť skreslené vplyvom spojitkej perforácie prostredia sedimentov neogénneho veku so sedimentmi kvartérneho veku. Podobne ako v predchádzajúcom prípade, podľa klasifikácie Krásneho (1986) dominuje stredná, III. trieda transmisivity horninového prostredia (viac ako 1/3 testovaných objektov) (obr. 15). Na podstatne menšom počte testovaných objektov (asi 20 %) sa zistila nízka, IV., a veľmi nízka, V. trieda transmisivity horninového prostredia. Približne 8 % testovaných objektov sa vyznačuje vysokou, II. triedou transmisivity horninového prostredia.

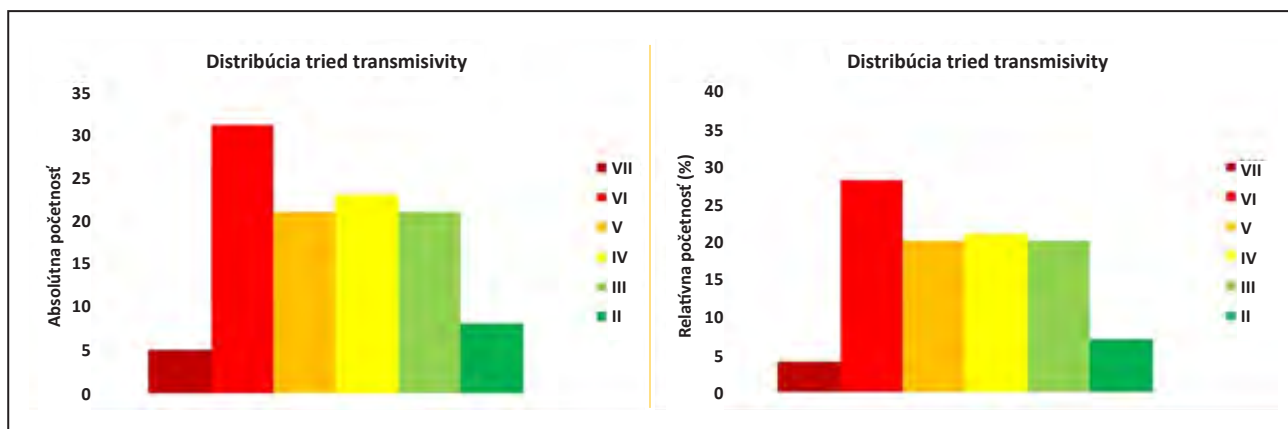
Charakteristika hydrogeologickej funkcie formácií paleogénneho veku

Na sledovaných lokalitách vystupovali sedimenty paleogénneho veku vo forme pieskoviec a ílovcov flyšového pásma (napr. lokality ID 8 – Bardejov – areál Bardejovských strojárň, ID 118 – Skalica – skládka Zlatnícka

cich zvodne na dne alebo v predpolí erózných, respektíve úvalinových dolín. V horninovom prostredí paleogénneho veku dominuje puklinová priepustnosť.

Charakteristika hydraulických parametrov formácií paleogénneho veku

Na základe realizovaných hydraulických skúšok bol z formácie paleogénneho veku stanovený rozsah koeficientu prietochnosti $T = 9,67 \cdot 10^{-2} - 7,26 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ pri koeficiente filtrácie $k = 2,14 \cdot 10^{-3} - 9,55 \cdot 10^{-7} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Vo flyšovom pásme je interval koeficientu prietochnosti $T = 8,7 \cdot 10^{-2} - 7,26 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. V jednotkách podtatranskej skupiny bol vypočítaný koeficient prietochnosti v rozsahu $T = 9,67 \cdot 10^{-2} - 1,63 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. Hodnoty blízke sa k hornej hranici tohto intervalu môžu byť skreslené vplyvom spojitkej perforácie horninového prostredia paleogénneho veku so sedimentmi kvartérneho veku, resp. ovplyvnené puklinovou priepustnosťou v dosahu kôry zvetrávania. Podľa klasifikácie Krásneho (1986) dominuje nepatrná, VI. trieda transmisivity horninového prostredia (necelej 30 % testovaných objektov) (obr. 16). Na menšom počte testovaných objektov (asi 20 %) sa zistila



Obr. 16. Absolútne a relatívne rozdelenie tried transmisivity horninového prostredia paleogénneho veku podľa klasifikácie Krásneho (1986).

dolina, ID 121 – Komárov – skládka TKO Lukavica, ID 127 – Zlaté – skládka TKO), resp. centrálnokarpatského paleogénu – podtatranskej skupiny (napr. lokality ID 7 – Liptovský Mikuláš – Kožiarske závody, ID 51 – Medzibrodie nad Oravou – skládka TKO, ID 63 – Veterná Poruba – skládka I, ID 155 – Žakovce – skládka Úsvit). Prostredie je hodnotené zo 109 záznamov. Polohy kolektorov podzemnej vody sa viažu predovšetkým na pieskovce, resp. piesčité ílovce alebo ílovce s výrazným tektonickým porušením alebo v dosahu kôry zvetrávania a odľahčenia (zhruba do 20 – 25 m p. t.). Ak sú sedimenty v priamom kontakte s nadložnými priepustnými kolektormi kvartérneho veku (napr. lokalita ID 118 – Skalica – skládka Zlatnícka dolina), podieľajú sa na tvorbe štruktúr s kombinovaným obehom, respektíve s plytkým obehom (napr. lokalita ID 7 – Liptovský Mikuláš – Kožiarske závody). Podzemná voda sa vyznačuje polonapätou až napätou hladinou, v závislosti od charakteru nadložných vrstiev. V oblasti východnej časti flyšového pásma sa zvetrané polohy paleogénneho veku podieľajú na tvorbe plytkých obehových štruktúr dotujúc

stredná, III. trieda, nízka, IV. trieda, a veľmi nízka, V. trieda transmisivity horninového prostredia.

Charakteristika hydrogeologickej funkcie formácií mezozoického veku

Komplexy mezozoického veku zastupujú príkrovové jednotky Západných Karpát (napr. lokality ID 58 a 57 – Predajná – skládka PO, ID 78 – Partizánska Ľupča – štôlna a haldy Magurka, ID 96 – Banská Bystrica – bývalá galvanizovňa LOBB), resp. sekvencie bradlového pásma (napr. lokality ID 51 – Medzibrodie nad Oravou – skládka TKO, ID 54 – Nižná – kalové pole Malá Orava, ID 66 – Lednické Rovne – skládka Podstránie, ID 98 – Kotešová – skládka). Litologická stavba mezozoika je značne variabilná. V bradlovom pásme vystupujú predovšetkým rozličné pelitické až organogénne vápence. V príkrovoch mezozoického veku bol pri realizácii monitorovacích vrtov zaznamenaný viac-menej kompletný záznam vývoja spodného triasu až strednej kriedy. Samostatné horninové prostredie mezozo-

ického veku, respektíve spoločne s nadloží bolo testované celkovo v 33 vrtoch (obr. 16).

Pre hydrogeologické zhodnotenie lokalít má mezozoikum význam v prípade, ak vystupuje v podloží sedimentov kvartérneho veku, s ktorými vytvára štruktúry plytkého, prípadne hlbšieho obehu, t. j. keď je zabezpečená hydraulická komunikácia podzemnej vody medzi zvodnencom kvartérneho a mezozoického veku. V horninovom prostredí mezozoického veku dominuje puklinová, prípadne puklinovo-krasová priepustnosť. Hladina podzemnej vody je voľná až napätá.

Charakteristika hydraulických parametrov formácií mezozoického veku

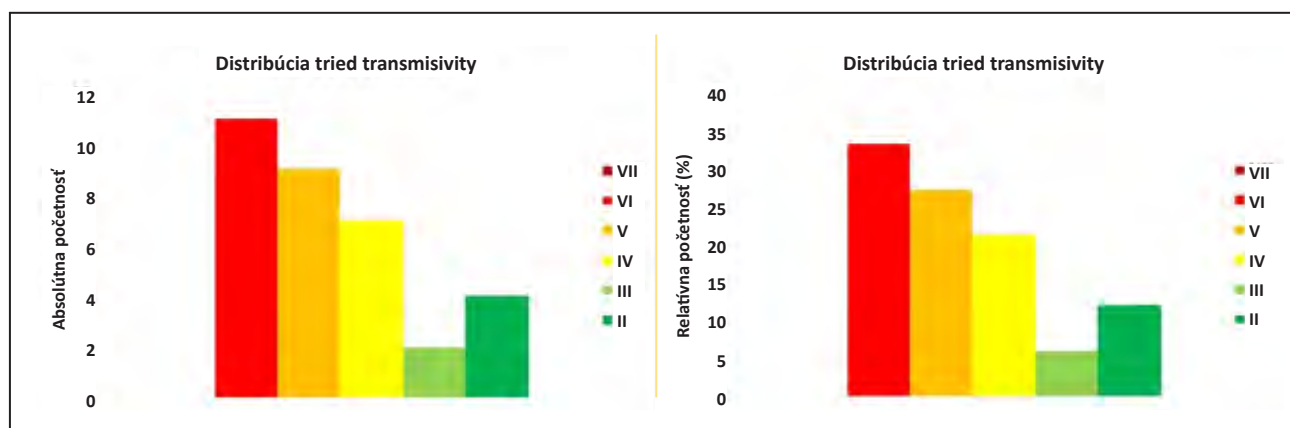
Vo všeobecnosti koeficient prietochnosti v nečlenených súvrstviach mezozoického veku varíruje v intervale $T = 1,24 \cdot 10^{-6} - 9,95 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, pričom v bradlovom pásme sa pohybuje v intervale $T = 9,95 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ a v komplexoch mezozoického veku $T = 2 \cdot 10^{-2} - 1,24 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. Značne variabilný je koeficient filtrácie udávaný z nečlenených litotypov mezozoického veku, $k = 9,52 \cdot 10^{-3} - 8,1 \cdot 10^{-7} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Pri interpretácii výsledkov je potrebné prihliadať na možné skreslenie údajov v dôsledku spoločných perforovaných intervalov v horninách kvartérneho a mezozoického veku, resp. vplyv rôznej intenzity zvetrávania v závislosti od expozície reliéfu. Podľa klasifikácie Krásneho (1986) dominuje nepatrná, VI. trieda transmisivity horninového

prostredia (asi 1/3 testovaných objektov) (obr. 17). Nasleduje nízka, IV. trieda, a veľmi nízka, V. trieda transmisivity horninového prostredia (zhruba 20 % testovaných objektov). Približne 10 % testovaných objektov sa vyznačuje vysokou, II. triedou transmisivity horninového prostredia.

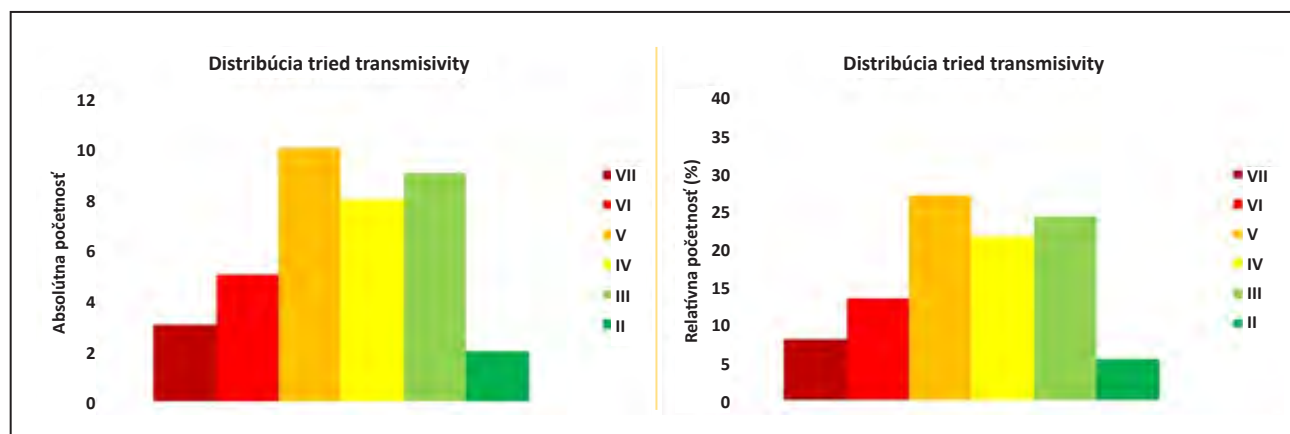
Charakteristika hydrogeologickej funkcie formácií paleozoického veku

Komplexy paleozoického veku (granity, granodiority, metamorfity) vystupujú v monitorovaných lokalitách v pozícii odkryvov a pripovrchových vrstiev kryštalinika tatrika (napr. lokality ID 13 – Lazisko – odkaliská Liptovská Dúbrava, ID 14 – Dúbrava – štôlna a haldy Liptovská Dúbrava, ID 78 – Partizánska Ľupča – štôlna a haldy Magurka, ID 79 – Partizánska Ľupča – odkalisko Magurka, ID 86 – Pernek – oblasť starých banských diel), veporika (napr. lokality ID 10 – Hriňová – ZŤS, ID 41 – Pohorelá – Strojsmalt Holding, ID 77 – Špania Dolina – flotačná úpravňa, ID 101 – Polomka – drevokombinát), resp. metasedimentov a metavulkanitov gemerika (napr. lokalita ID 156 – Medzev – Strojsmalt). Hydraulicky boli komplexy paleozoického veku odskúšané predovšetkým v spojitosti s nadložími, prevažne kvartérnymi akumuláciami na 37 záznamoch.

Komplexy paleozoického veku na lokalitách nevytvárajú prirodzené prostredie na obeh a akumuláciu väčšieho množstva podzemnej vody. Priepustnosť komplexov paleozoického veku je puklinová. Mimo dosahu kôry zvetrávania



Obr. 17. Absolútne a relatívne rozdelenie tried transmisivity horninového prostredia mezozoického veku podľa klasifikácie Krásneho (1986).



Obr. 18. Absolútne a relatívne rozdelenie tried transmisivity komplexov paleozoického veku podľa klasifikácie Krásneho (1986).

samotné horninové prostredie paleozoického veku vytvára nepriepustné podložie plytkých kvartérnych zvodní predovšetkým v exponovaných pohoriach. Hladina podzemnej vody je napätá až voľná, v závislosti od porušenia masívu a charakteru nadložných hornín.

Charakteristika hydraulických parametrov formácií paleozoického veku

Hydraulické parametre boli vo väčšine prípadov hodnotené zo spoločného zabudovania komplexov paleozoického veku a nadložných horizontov zvyčajne kvartérneho veku, preto sú výsledné hydraulické parametre orientačné. Všeobecne boli vypočítané koeficienty prietochnosti v rozsahu $T = 6,81 \cdot 10^{-2} - 2,53 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ a koeficienty filtrácie v intervale $k = 4,54 \cdot 10^{-3} - 5,03 \cdot 10^{-10} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Podľa klasifikácie Krásneho (1986) boli vo viac ako 20 % testovaných objektov vypočítané veľmi nízka, V. trieda, nízka, IV., a stredná, III. trieda transmisivity horninového prostredia (obr. 18).

3.5. Charakteristika chemického zloženia, charakteru a rozsahu kontaminácie geologického prostredia

Pri monitorovaní environmentálnych záťaží má vo väčšine prípadov ako transportné médium najväčší význam podzemná voda, resp. v špecifických podmienkach (napr. skládky tzv. údolného typu) to môže byť aj povrchová voda. Z uvedeného dôvodu sa aj odber vzoriek a realizácia chemických analýz zameriava najmä na chemické zloženie a kvalitu vôd. V rokoch 2012 až 2018 bolo z podzemnej vody odobraných na chemickú analýzu viac ako 7 000 vzoriek, z toho z vrtov vybudovaných v rokoch 2014 – 2015 celkovo 5 159 vzoriek, z vrtov rekonštruovaných v rokoch 2014 – 2015 celkovo 1 045 vzoriek, z iných starších vrtov 897 vzoriek, resp. iných zdrojov podzemnej vody (studne, pramene atď.) 343 vzoriek. Z povrchovej vody bolo na chemickú analýzu odobraných 1 206 vzoriek.

V tabuľke 8 sú uvedené základné štatistické parametre vybraných fyzikálno-chemických ukazovateľov stanovených vo vode. Na základe stanoveného chemického zloženia sa dá povedať, že vo všeobecnosti v chemickom zložení podzemnej vody prevláda pri katiónoch makroprvkov vápnik s priemerným obsahom $118 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Z ďalších katiónov nasledujú sodík (priemer $59,2 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$), horčík a draslík (priemer $34,8$ a $15,2 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$). Pri aniónoch dominujú hydrogenuhličitan (priemer $394 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$), nasledujú sírany (priemer $116 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$), chloridy (priemer $108 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$) a dusičnany (priemer $22,3 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$). Základné chemické zloženie podzemnej vody je v oblastiach environmentálnych záťaží často zmenené a posúva sa zo štandardných typov (napr. Ca-Mg-HCO_3 typu) k typom s výraznejším zastúpením látok sekundárneho pôvodu (Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-}). Prejavuje sa to na častom výskyte antropogénne zmenených typov vody, ako sú napr. Ca-Na-Cl-HCO_3 a $\text{Ca-Mg-HCO}_3\text{-SO}_4$ typy atď. Znečistenie sa často prejavuje aj zvýšením celkového obsahu rozpustených látok. Priemerná vypočítaná hodnota obsahu rozpustených látok (zo všetkých záznamov) je $847 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, čo znamená zvýšenú hodnotu v po-

rovnaní s vodami s dominantným primárnym prírodným formovaním chemického zloženia. Maximálna koncentrácia rozpustených látok v sledovaných vzorkách dosiahla veľmi vysoké hodnoty, až vyše $10\,000 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Existujú však aj lokality so špecifickým znečistením, ktoré sa nemusia prejavovať vysokým obsahom rozpustených látok (napr. znečistenie stopovými prvkami, organickými látkami). V znečistených územiach sa hodnota pH môže prejavovať rôzne. V priemere bola hodnota pH podzemnej vody zistená na úrovni blízkej neutrálnej (7,30), ale v extrémnych prípadoch dosiahla veľmi nízke hodnoty (minimum 1,17), alebo naopak, veľmi vysoké hodnoty, až viac ako 10. Extrémne hodnoty pH sa však vyskytujú pomerne ojedinele a sú spojené so špecifickou situáciou na lokalite (napr. zásadité hodnoty pH sú pozorované na lokalite Žiar nad Hronom – kalové pole ZSNP – ID142), prípadne Istebné – halda trosky – ID 50, naopak, kyslejšie hodnoty možno nájsť na lokalite Hlohovec-Šulekovo – Fe kaly – ID 165). Extrémne hodnoty pH sú však zvyčajne z priestorového hľadiska obmedzené, pretože horninové prostredie pomerne rýchlo reaguje na tieto extrémne (pufrovia schopnosť prostredia), pričom prostredie má zvyčajne potenciál upraviť hodnoty pH smerom k bežne sa vyskytujúcim, zväčša neutrálnym hodnotám.

Počet lokalít s hodnotou daného ukazovateľa (skupiny ukazovateľov) v podzemnej vode prekračujúcou kritérium IT alebo ID podľa smernice MŽP SR č.1/2015-7 aspoň v jednom pozorovaní je uvedený v tab. 9. Na najväčšom počte lokalít (takmer 60 %) sa zistilo prekročenie IT v prípade obsahu TOC, čo je však ovplyvnené aj príliš prísnou (nízkou) limitnou hodnotou kritérií IT a ID (5 , resp. $2 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$). Znečistenie organickými látkami (ktoré indikuje tento skupinový ukazovateľ) je však pomerne bežné, a to či už pri lokalitách typu komunálnych skládok, ropného znečistenia, prípadne iných zdrojov znečistenia. TOC môže byť prítomné a dokonca zvýšené aj v antropogénne neovplyvnenej podzemnej vode prítomnosťou humínových kyselín a fulvokyselín. Podobne aj v prípade ďalšieho skupinového ukazovateľa organického znečistenia ChSK_{Mn} sa zistili prekročenia hodnoty IT až na 48 lokalitách (asi 30 %).

So znečistením zo skládok, ako aj niektorých iných druhov kontaminácie súvisí častý výskyt zvýšeného obsahu B (prekročenia hodnoty ID na 27 lokalitách, hodnoty IT na 3 lokalitách), Cl^- (prekročenia hodnoty ID na 74 lokalitách, hodnoty IT na 70 lokalitách), NH_4^+ (prekročenia hodnoty ID na 58 lokalitách, hodnoty IT na 60 lokalitách) a ChSK_{Mn} (prekročenia hodnoty ID na 72 lokalitách, hodnoty IT na 48 lokalitách), resp. zvýšených hodnôt vodivosti (prekročenia hodnoty ID na 47 lokalitách, hodnoty IT na 23 lokalitách).

Z organických látok sa na sledovaných lokalitách EZ javia ako najproblematickejšie chlórované alifatické uhľovodíky (prekročenia hodnoty ID na 38 lokalitách, hodnoty IT na 40 lokalitách, t. j. približne 25 % zo všetkých sledovaných lokalít), najmä cis-1,2-dichlóretén, dichlórmétán, tetrachlóretén, trichlóretén a chlórétén.

Látky zo skupiny PAU (polycyklické aromatické uhľovodíky) v hodnotách vyšších ako ID alebo IT boli sledované na 13, resp. 18 lokalitách. Silné znečistenie zapríčinené

Tab. 8. Základné štatistické parametre vybraných fyzikálno-chemických ukazovateľov stanovených vo vode.

	Jednotky	Priemer	Medián	Smerodajná odchýlka	Minimum	Maximum	Počet analýz
pH	–	7,30	7,2	0,66	1,171	13,25	10 143
Teplota vody	°C	11,72	11,7	3,18	–0,1	32,5	13 033
Merná elektrolytická vodivosť	mS . m ⁻¹	114,2	82,3	154,71	0,431	3 640	13 108
Rozpustený O ₂	mg . l ⁻¹	3,92	2,78	3,88	0	22,7	11 202
Nasýtenie O ₂	%	36,75	26	36,94	0	657	10 309
Eh	mV	116	125	161,92	–877,8	987,8	4 017
Rozp. látky (105 °C)	mg . l ⁻¹	847	554	1 187,21	36	15 954	985
NH ₄ ⁺	mg . l ⁻¹	2,95	0,09	20,26	< 0,01	852	7 763
NO ₂ ⁻	mg . l ⁻¹	0,15	0,02	1,54	< 0,01	66,3	2 012
NO ₃ ⁻	mg . l ⁻¹	22,3	4,88	63,94	< 0,05	2 310	7 485
PO ₄ ³⁻	mg . l ⁻¹	0,21	0,03	1,28	< 0,01	50	3 172
F ⁻	mg . l ⁻¹	1,89	0,1	33,44	< 0,01	975	1 074
Cl ⁻	mg . l ⁻¹	108	28,15	462,68	0,81	13 000	7 536
SO ₄ ²⁻	mg . l ⁻¹	116	57,35	180,43	0,61	4 902	7 510
HCO ₃ ⁻	mg . l ⁻¹	394	365	302,21	0,3	5 673	6 452
TOC	mg . l ⁻¹	6,63	2,2	27,48	< 0,1	1 460	6 616
ChSK _{Mn}	mg . l ⁻¹	5,21	1,6	24,59	< 0,03	1 466	5 973
Na ⁺	mg . l ⁻¹	59,2	21,08	183,73	0,09	5 300	6 602
K ⁺	mg . l ⁻¹	15,2	3,16	87,05	0,1	2 799	6 554
Ca ²⁺	mg . l ⁻¹	118	99,8	171,56	2,4	5 470	6 554
Mg ²⁺	mg . l ⁻¹	34,8	24,4	37,93	0,04	819	6 554
Fe _{celk}	mg . l ⁻¹	2,51	0,042	23,19	< 0,002	1 040	6 877
Mn	mg . l ⁻¹	1,23	0,095	25,10	< 0,001	1 560	6 951
SiO ₂	mg . l ⁻¹	20,11	13,02	80,88	0,04	2 052	3 688
Li ⁺	mg . l ⁻¹	0,04	0,01	0,63	< 0,003	38	3 681
Ba	mg . l ⁻¹	0,17	0,081	4,01	< 0,006	317	6 268
Sr	mg . l ⁻¹	0,49	0,372	0,63	< 0,015	14,3	6 233
B	mg . l ⁻¹	0,30	0,06	0,95	< 0,006	15,964	6 771
Al	mg . l ⁻¹	0,06	0,02	0,52	< 0,005	26,733	6 310
As	µg . l ⁻¹	23,52	1	240,02	< 0,1	7 800	6 152
Sb	µg . l ⁻¹	15,39	1	256,61	< 0,1	11 300	6 120
Se	µg . l ⁻¹	1,76	1	6,82	< 1	140	862
Be	µg . l ⁻¹	0,14	0,1	2,04	< 0,1	121	3 520
Cr	µg . l ⁻¹	7,62	2	94,66	< 0,1	3 450	5 938
Cr ⁶⁺	µg . l ⁻¹	0,17	0,01	0,56	< 0,003	3,57	115
Cd	µg . l ⁻¹	0,75	0,3	8,82	< 0,1	260	5 700
Cu	µg . l ⁻¹	23,16	2	211,89	0,9	8 700	5 909
Ni	µg . l ⁻¹	55,85	2	1 595,27	< 0,1	80 523	5 890
Pb	µg . l ⁻¹	4,03	5	5,14	< 0,1	158	5 907
Mo	µg . l ⁻¹	11,09	4	55,04	< 0,1	956,8	5 652
Ag	µg . l ⁻¹	1,03	1	0,48	1	15	3 669
Co	µg . l ⁻¹	3,24	2	22,45	1,5	1 089	5 568
Sn	µg . l ⁻¹	30,37	30	10,03	0,5	300	3 667
V	µg . l ⁻¹	4,90	3	33,74	1	1 590	5 579
Zn	µg . l ⁻¹	91,56	4,6	1 388,34	< 0,5	38 346	5 910
ChSK _{Cr}	mg . l ⁻¹	40,33	11	166,35	5	4 188	1 098
P– celkový	mg . l ⁻¹	0,10	0,02	0,68	< 0,01	19,3	1 951
PAL-A	mg . l ⁻¹	3,51	0,06	79,21	< 0,01	2 200	773
Hg	µg . l ⁻¹	0,17	0,1	1,94	< 0,1	75	3 708
CN _{celk} ⁻	mg . l ⁻¹	0,07	0,005	1,47	< 0,002	44,6	919
FNI	mg . l ⁻¹	0,03	0,01	0,10	< 0,01	1,21	876
AOX	mg . l ⁻¹	0,12	0,03	0,43	< 0,004	6,59	560

Tab. 8 – pokračovanie.

	Jednotky	Priemer	Medián	Smerodajná odchýlka	Minimum	Maximum	Počet analýz
EOX	mg . l ⁻¹	0,01	0,003	0,03	< 0,003	0,615	461
Uhlíkovodíkový index (C ₁₀₋₄₀)	mg . l ⁻¹	9,35	0,02	199,02	< 0,01	6 350	2 729
1,1,1-trichlóretán	µg . l ⁻¹	0,37	0,2	3,92	< 0,1	137	2 536
1,1,2-trichlóretán	µg . l ⁻¹	1,97	0,2	20,33	< 0,2	254	156
1,1-dichlóretén	µg . l ⁻¹	1,16	0,2	16,17	< 0,1	754	2 807
1,2-cis-dichlóretén	µg . l ⁻¹	124,22	0,2	2 145,80	< 0,1	64 911	2 808
1,2-trans-dichlóretén	µg . l ⁻¹	1,57	0,2	19,90	< 0,1	751	2 808
1,2-dichlóretán	µg . l ⁻¹	4,21	0,2	87,74	< 0,1	2 530	869
Dichlómetán	µg . l ⁻¹	1,00	0,2	5,09	< 0,1	82,5	948
Tetrachlóretén	µg . l ⁻¹	120,9	0,2	1 361,20	< 0,1	35 105	2 793
Tetrachlómetán	µg . l ⁻¹	6,44	0,2	82,80	< 0,1	1 807	991
Trichlóretén	µg . l ⁻¹	286,2	0,2	3 407,48	< 0,1	85 200	2 797
Chlóretén	µg . l ⁻¹	21,83	0,2	311,48	< 0,1	9 840	2 690
Chloroform	µg . l ⁻¹	2,69	0,2	20,61	< 0,1	456	1 051
1,2,4-trichlórbenzén	µg . l ⁻¹	0,34	0,1	0,68	< 0,04	7,64	252
1,2-dichlórbenzén	µg . l ⁻¹	3,61	0,2	146,14	< 0,1	6 499	1 978
1,3-dichlórbenzén	µg . l ⁻¹	0,30	0,2	1,45	< 0,1	52,6	1 974
1,3,5-trichlórbenzén	µg . l ⁻¹	0,32	0,2	0,39	< 0,04	2	192
1,4-dichlórbenzén	µg . l ⁻¹	0,37	0,2	2,83	< 0,1	104	1 974
Benzén	µg . l ⁻¹	22,18	0,2	303,88	< 0,1	9 367	1 848
Etylbenzén	µg . l ⁻¹	25,61	0,2	368,69	< 0,1	9 780	1 848
Chlórbenzén	µg . l ⁻¹	49,20	0,2	960,97	< 0,1	28 700	1 977
Toluén	µg . l ⁻¹	43,01	0,2	950,36	< 0,02	28 550	1 854
Styrén	µg . l ⁻¹	0,81	0,2	23,09	< 0,2	975	1 784
Xylén	µg . l ⁻¹	11,19	0,2	220,60	< 0,03	7 186	1 812
Acenaftén	µg . l ⁻¹	10,87	0,03	190,65	< 0,002	5 679	2 041
Antracén	µg . l ⁻¹	1,36	0,003	30,12	< 0,001	887	2 076
Dibenzo(a,h)antracén	µg . l ⁻¹	0,07	0,03	1,37	< 0,002	60,6	2 046
Benzo(a)pyrén	µg . l ⁻¹	0,96	0,005	27,79	< 0,001	1 122	2 111
Benzo(b)fluorantén	µg . l ⁻¹	2,97	0,03	94,59	< 0,001	3 794	2 111
Benzo(g,h,i)perylén	µg . l ⁻¹	0,20	0,03	4,00	< 0,001	137	2 111
Benzo(k)fluorantén	µg . l ⁻¹	0,35	0,03	9,43	< 0,001	373	2 111
Fenantrén	µg . l ⁻¹	11,33	0,023 5	247,27	< 0,001	7681	2 110
Fluorantén	µg . l ⁻¹	7,79	0,003	182,99	< 0,001	5 072	2 111
Fluorén	µg . l ⁻¹	10,90	0,015	232,77	< 0,002	7 000	2 047
Chryzén	µg . l ⁻¹	1,63	0,003	41,05	< 0,001	1 326	2 110
Indeno(1,2,3-c,d)pyrén	µg . l ⁻¹	0,28	0,03	6,93	< 0,002	284	2 111
Naftalén	µg . l ⁻¹	11,61	0,063	205,18	< 0,001	8 451	2 137
Pyrén	µg . l ⁻¹	7,37	0,006	174,40	< 0,001	5 527	2 110
PCB28	µg . l ⁻¹	0,00	0,003	0,00	< 0,003	0,004	601
PCB52	µg . l ⁻¹	0,00	0,003	0,00	< 0,003	0,004	601
PCB101	µg . l ⁻¹	0,00	0,003	0,00	< 0,003	0,013	601
PCB118	µg . l ⁻¹	0,00	0,003	0,00	< 0,003	0,023	601
PCB138	µg . l ⁻¹	0,00	0,003	0,00	< 0,003	0,033	601
PCB153	µg . l ⁻¹	0,00	0,003	0,00	< 0,003	0,023	601
PCB180	µg . l ⁻¹	0,00	0,003	0,00	< 0,003	0,043	601
Acenaftylén	µg . l ⁻¹	0,28	0,03	5,09	< 0,002	178	2 046
Benzo(a)antracén	µg . l ⁻¹	5,47	0,003	148,83	< 0,001	5 061	2 094
BSK _s	mg . l ⁻¹	4,49	1,56	7,72	< 0,06	71	160
S (sulfidy)	mg . l ⁻¹	0,03	0,01	0,11	< 0,01	1,15	185
OCP	mg . l ⁻¹	0,03	0,025	0,02	< 0,025	0,17	81

ropnými látkami prejavujúce sa vysokým obsahom uhl'ovodíkového indexu (C_{10-40}) vyšším ako kritérium ID alebo IT sa zistilo na 11, resp. 18 lokalitách.

V oblasti sledovaných záťaží je pre Slovensko typické aj prekroenie kvalitatívnych kritérií pri niektorých stopových anorganických prvkoch. Arzén a antimón, najmä v dôsledku zaradenia banských lokalít do monitorovania, prekraujú indikačné alebo intervenčné kritériá na 15, resp. 14 lokalitách (As) a 10, resp. 12 lokalitách (Sb). Zvýšený obsah arzenu sa spája aj s priemyselnou činnosťou (napr. lokalita Nováky – ID 1).

Ako menej problematické ukazovatele z pohľadu sledovaných lokalít EZ sa javia napríklad nekomentované stopo-

vé prvky, fluoridy, dusitany, kyanidy, fenoly, chlórbenzény, látky skupiny BTEX, PCB a OCP.

Sumárny prehľad výskytu hodnôt konkrétnych ukazovateľov (prípadne skupín ukazovateľov) prekračujúcich kritériá IT a ID v zmysle smernice MŽP SR č.1/2015-7 na lokalitách monitorovaných ŠGÚDŠ v rokoch 2012 až 2018 je uvedený v tab. 10. Z informácií uvedených v tabuľke je zrejmé, že rozsiahlejšia kontaminácia na niektorých lokalitách nebola dosiaľ realizovanými monitorovacími prácami zachytená. Sem možno zaradiť napríklad lokality Udavské – obaľovačka bitúmenových zmesí alebo Mad – skládka TKO. Naopak, pri väčšine lokalít EZ sa potvrdilo významné znečistenie územia, keď aspoň v jednom prípade sa zistilo prekroenie IT kritéria (asi 84 % lokalít).

Tab. 9. Počet lokalít s hodnotou daného ukazovateľa (skupiny ukazovateľov) v podzemnej vode prekračujúcou kritérium IT a ID podľa smernice MŽP SR č.1/2015-7 aspoň v jednom objekte.

Použitá skratka ukazovateľa/skupiny ukazovateľov	Názov ukazovateľa/skupiny ukazovateľov	Počet lokalít s prekročením hodnoty IT	Počet lokalít s prekročením hodnoty ID
TOC	celkový organický uhlík	92	118
Cl ⁻	chloridy	70	74
NH ₄ ⁺	amónne ióny	60	58
ChSK _{Mn}	chemická spotreba kyslíka manganistanom draselným	48	72
CIU	chlórované alifatické uhl'ovodíky	40	38
Vodivosť	merná elektrolytická vodivosť	23	47
PAU	polycyklické aromatické uhl'ovodíky	18	13
UI	uhl'ovodíkový index (C_{10-40}), ropné látky	18	11
As	arzén	14	15
PAL	aniónové povrchovo aktívne látky	13	10
Sb	antimón	12	10
NO ₂ ⁻	dusitany	11	2
F ⁻	fluoridy	9	5
Ni	nikel	8	5
ChB	chlórbenzény	7	4
BTEX	skupina prehavých aromatických uhl'ovodíkov	7	7
FNI	fenolový index	5	1
Mo	molybdén	4	3
EOX	EOX	3	3
B	bór	3	27
Cd	kadmium	3	2
Zn	zinok	3	5
Ba	bárium	2	9
CN	celkové kyanidy	2	2
Cr	chróm	2	2
Cu	meď	1	2
Co	kobalt	1	0
V	vanád	1	1

Tab. 10. Prekračujúce ukazovatele/skupiny ukazovateľov (označené skratkami) v podzemnej vode na jednotlivých lokalitách podľa smernice MŽP SR č.1/2015-7.

ID lokality	Skrátený názov lokality	Ukazovatele prekračujúce hodnoty IT	Ukazovatele prekračujúce hodnoty ID
1	Nováky – NCHZ – areál závodu	NH ₄ ⁺ , Cl ⁻ , TOC, ChSK _{Mn} , vodivosť, Ba, As, EOX, CIU, ChB, BTEX	NH ₄ ⁺ , TOC, ChSK _{Mn} , Ba, B, As, CIU, BTEX
4	Bratislava-Staré Mesto – Chemika – areál závodu	UI, Cl ⁻ , TOC, ChSK _{Mn} , vodivosť, PAL, CIU, ChB, PAU	UI, NH ₄ ⁺ , Cl ⁻ , TOC, ChSK _{Mn} , vodivosť, B, PAL, CIU, PAU
5	Bratislava-Ružinov – Gumon – areál závodu	UI, NH ₄ ⁺ , TOC, ChSK _{Mn} , PAL, CIU, BTEX, PAU	NH ₄ ⁺ , TOC, ChSK _{Mn} , PAL, CIU, BTEX
6	Bratislava-Nové Mesto – Istrochem – širší priestor bývalého závodu	NH ₄ ⁺ , Cl ⁻ , TOC, ChSK _{Mn} , vodivosť, PAL, EOX, CIU, ChB, BTEX	NH ₄ ⁺ , Cl ⁻ , TOC, ChSK _{Mn} , vodivosť, PAL, CIU, BTEX, ChB
7	Liptovský Mikuláš – Kožiarske závody	NH ₄ ⁺ , Cl ⁻ , TOC, PAU	NH ₄ ⁺ , Cl ⁻ , TOC, ChSK _{Mn} , vodivosť
8	Bardejov – areál Bardejovských strojárni (ZŤS)	CIU, PAU	NH ₄ ⁺ , B, CIU, PAU
10	Hriňová – ZŤS	NH ₄ ⁺ , TOC, ChSK _{Mn}	UI, NH ₄ ⁺ , Cl ⁻ , TOC, ChSK _{Mn} , Cd
11	Udavské – obalovačka bitúmenových zmesí	–	–
12	Dubnica nad Váhom – ZŤS	Cr	TOC, B, Cr
13	Lazisko – odkaliská Liptovská Dúbrava	Sb	TOC, ChSK _{Mn} , Sb
14	Dúbrava – štôlna a haldy Liptovská Dúbrava	As, Sb	As
15	Zubrohľava – kalové pole – ZŤS Námestovo	TOC, ChSK _{Mn}	NH ₄ ⁺ , TOC, ChSK _{Mn}
16	Stropkov – obalovačka	–	TOC
18	Nesluša – skládka PO a KO I	–	TOC, ChSK _{Mn}
20	Stropkov – areál TESLA Stropkov	NH ₄ ⁺ , CIU	NH ₄ ⁺ , TOC
21	Nové Mesto nad Váhom – skládka KO Mnešice-Tušková	NH ₄ ⁺ , Cl ⁻ , TOC, vodivosť, CIU	Cl ⁻ , TOC, ChSK _{Mn} , vodivosť, B
22	Piešťany – Chirana	CIU	CIU
24	Sereď – Niklová huta – skládka lúženca	NH ₄ ⁺ , Cl ⁻ , Ni	Cl ⁻ , TOC, vodivosť, B
25	Sereď – Niklová huta – areál bývalého podniku	NH ₄ ⁺ , TOC, vodivosť, Ni, Co, Zn	TOC, ChSK _{Mn} , vodivosť, B, Ni
26	Piešťany – bývalá Tesla – kontaminačný mrak pod sídliskom	Cl, CIU	CIU
27	Nové Zámky – Real-H.M. – terminál	UI, NH ₄ ⁺ , Cl ⁻ , TOC, ChSK _{Mn} , BTEX	NH ₄ ⁺ , Cl ⁻ , TOC, ChSK _{Mn} , vodivosť, NO ₂ ⁻ , B, PAU
28	Nížny Hrabovec – odkalisko Bukocel	ChSK _{Mn}	Cl, TOC, ChSK _{Mn}
29	Poša – odkalisko Chemka Strážske	TOC, NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺ , TOC, B
30	Sliač – Letisko-juh	UI, Cl ⁻ , TOC, ChSK _{Mn} , As, CIU, ChB, PAU	TOC, ChSK _{Mn} , As, CIU, ChB, PAU
31	Kežmarok – OKTAN	UI, TOC, CIU, PAU	UI, NH ₄ ⁺ , TOC
33	Kysucké Nové Mesto – NN Slovakia	UI, NH ₄ ⁺ , Cl ⁻ , TOC, ChSK _{Mn} , CIU, ChB, PAU	NH ₄ ⁺ , TOC, ChSK _{Mn} , B, CIU
35	Zlaté Moravce – bývalý areál Calexu	NH ₄ ⁺ , TOC, ChSK _{Mn} , CIU	Cl ⁻ , TOC, ChSK _{Mn} , CIU

Tab. 10 – pokračovanie.

ID lokality	Skrátený názov lokality	Ukazovatele prekračujúce hodnoty IT	Ukazovatele prekračujúce hodnoty ID
36	Zvolen – Bučina – čierna impregnácia	UI, TOC, ChSK _{Mn} , FNI, CIU, PAU	UI, NH ₄ ⁺ , TOC, ChSK _{Mn} , PAU
37	Nižný Hrabovec – skládka v areáli firmy Bukocel	UI, ChSK _{Mn}	UI, TOC, ChSK _{Mn}
38	Banská Bystrica – Uľanka – areál Chemika, a. s.	NH ₄ ⁺ , TOC, ChSK _{Mn} , As, Sb, CIU	NH ₄ ⁺ , ChSK _{Mn} , As, Sb, CIU
39	Kysucké Nové Mesto – Kinex – KLF	CIU	CIU
40	Detva – PPS Group	UI, TOC, ChSK _{Mn} , CIU	TOC, ChSK _{Mn} , Zn, EOX, CIU, PAU
41	Pohorelá – Strojsmalt Holding	TOC, ChSK _{Mn} , CIU	TOC, ChSK _{Mn}
42	Lešť (vojenský obvod) – garážové dvory	TOC, CIU	TOC, CIU
43	Zvolen – Bučina – biela impregnácia	UI, NH ₄ , NH ₄ ⁺ , TOC, ChSK _{Mn} , FNI, CIU, PAU	UI, TOC, ChSK _{Mn} , CIU
44	Bajč – skládka TKO	TOC	NH ₄ ⁺ , Cl, TOC, ChSK _{Mn} , vodivosť
45	Žiar nad Hronom – ZSNP – areál skup. spoločností	–	As
46	Bratislava-Ružinov – SPP Votrubova ul.	NH ₄ ⁺ , TOC, PAL, CIU, PAU	NH ₄ ⁺ , TOC, ChSK _{Mn} , PAL, CIU, PAU
47	Komárno – SPP Bratislava	–	Cl, TOC, vodivosť, B, CIU
48	Bratislava-Petržalka – Matador – areál bývalého závodu	TOC, PAL, CIU, BTEX, PAU	TOC, ChSK _{Mn} , Cr, PAL, CIU, BTEX, ChB
49	Trnovec nad Váhom – skládka RSTO (Duslo)	NH ₄ ⁺ , Cl, TOC, vodivosť	NH ₄ ⁺ , Cl, TOC, vodivosť, Ba, B
50	Istebné – OFZ – haldy trosky	NH ₄ ⁺ , Cl, TOC, vodivosť, As, Cr, Mo	NH ₄ ⁺ , Cl, TOC, ChSK _{Mn} , vodivosť, F, B, Sb, Mo
51	Medzibrodie nad Oravou – skládka TKO Dolný Kubín-Široká	NH ₄ ⁺ , Cl, TOC, ChSK _{Mn} , vodivosť, F, NO ₂ ⁻ , B, As, Sb	NH ₄ ⁺ , Cl, ChSK _{Mn} , vodivosť, Ba, B, As, Sb, Mo, V
52	Bardejov – elektrická stanica (ES)	NH ₄ ⁺	–
53	Kysucké Nové Mesto – KLF – Energetika	CIU	TOC
54	Nižná – OTF – kalové pole Malá Orava	NH ₄ ⁺ , TOC, Cd, CN, CIU, ChB	NH ₄ ⁺ , TOC, ChSK _{Mn} , B
55	Myslina – stará skládka TKO	NH ₄ ⁺ , Cl, TOC, ChSK _{Mn}	Cl, TOC, vodivosť
56	Svit – skládka Chemosvit	NH ₄ ⁺ , TOC, As	NH ₄ ⁺ , TOC, ChSK _{Mn} , B, As
57	Podtureň – skládka Žadovica	TOC	NH ₄ ⁺ , TOC, ChSK _{Mn}
58	Predajná – skládka PO Predajná II	TOC, Sb, PAL	TOC, B, PAL
59	Predajná – skládka PO Predajná I	TOC, ChSK _{Mn} , As, Sb, PAL	TOC, ChSK _{Mn} , Ba, Sb
60	Zvolen – Železničné opravovne a strojárne	NH ₄ ⁺ , TOC, ChSK _{Mn} , CIU	UI, NH ₄ ⁺ , TOC, ChSK _{Mn} , As
61	Haniska pri Košiciach – SPP	–	ChSK _{Mn}
63	Veterná Poruba – skládka I	–	NH ₄ ⁺ , TOC

Tab. 10 – pokračovanie.

ID lokality	Skrátený názov lokality	Ukazovatele prekračujúce hodnoty IT	Ukazovatele prekračujúce hodnoty ID
64	Snina – stará riadená skládka odpadu	NH_4^+ , TOC, ChSK_{Mn} , vodivosť, B	NH_4^+ , TOC, ChSK_{Mn}
65	Nové Zámky – rušňové depo – diagnostické stredisko	CIU	NH_4^+ , Cl^- , TOC, CIU
66	Lednické Rovne – skládka Podstránie	NH_4^+ , Cl^- , TOC, ChSK_{Mn} , vodivosť, PAL	NH_4^+ , Cl^- , TOC, ChSK_{Mn} , vodivosť, Ba, B, Ni, PAL
67	Nemecká – areál Petrochema	TOC, ChSK_{Mn} , PAL	NH_4^+ , TOC, ChSK_{Mn} , CIU
68	Kalinovo – fenolová jama (Žiaromat)	NH_4^+ , TOC, ChSK_{Mn} , FNI	NH_4^+ , TOC, ChSK_{Mn} , B
69	Levice – obchodné stredisko Benzinolu	PAU	–
70	Veľké Úľany – obecná skládka KO	NH_4^+ , TOC	NH_4^+ , TOC, ChSK_{Mn}
71	Lučenec – Práčovne a čistiare pri mestskom parku	NH_4^+ , CIU	NH_4^+ , TOC, vodivosť, PAL, CIU
72	Piešťany – bývalá STS	PAU	PAU
73	Mád – skládka TKO	–	–
74	Neded – areál bývalého PD (QUEEN)	–	NH_4^+ , TOC, ChSK_{Mn}
75	Nitra – nelegálne vypustenie RL pri ČOV (Horné Krškany)	As, Sb	TOC, CIU
76	Košice-Juh – stará plynáreň	NH_4^+ , TOC, NO_2^- , CN	TOC, CN
77	Špania Dolina – flotačná úpravňa	TOC, ChSK_{Mn} , Sb	As, Sb
78	Partizánska Ľupča – štôľne a haldy Magurka	As, Sb	As, Sb
79	Partizánska Ľupča – odkalisko Magurka	Sb	Sb
80	Veľké Rovné – skládka KO I	–	–
81	Zvolen – Bučina – stará depónia	UI, NH_4^+ , TOC, ChSK_{Mn} , PAU	NH_4^+ , ChSK_{Mn} , PAU
82	Skalica – areál bývalých ZVL	UI, CIU, PAU	TOC, CIU
83	Svätý Jur – Brestová – skládka s OP	NH_4^+ , TOC, ChSK_{Mn}	ChSK_{Mn} , vodivosť, B
84	Petrovice – Pšurnovice – ihrisko	–	–
85	Bojná – skládka TKO A (stará)	NH_4^+ , Cl^- , TOC, ChSK_{Mn} , vodivosť, NO_2^- , Ba, B, As, CIU	NH_4^+ , Cl^- , TOC, ChSK_{Mn} , vodivosť, Ba, B, As, Ni, Zn, CIU
86	Pernek – oblasť starých banských diel	NO_2^-	TOC, ChSK_{Mn}
87	Nitra – rušňové depo (Cargo)	Cl^-	TOC, vodivosť, CIU
88	Hlboké nad Váhom – skládka KO II	–	–
89	Pernek – Dolná štôľňa Karol a halda	Sb	Sb
90	Banská Štiavnica – odkalisko Lintich	NH_4^+ , Cd, Zn	ChSK_{Mn}

Tab. 10 – pokračovanie.

ID lokality	Skrátený názov lokality	Ukazovatele prekračujúce hodnoty IT	Ukazovatele prekračujúce hodnoty ID
91	Lučenec – Marián Šustek – M Fruit	TOC, vodivosť, CIU	NH_4^+ , Cl^- , TOC, ChSK_{Mn} , vodivosť, B, Zn
92	Pernek – štôlna Pavol a halda	Ni	Ni
93	Dobšiná – skládka odpadu Bingarten	–	NH_4^+
94	Giraltovce – skládka TKO (94)	–	TOC
95	Unín – zberné naftové stredisko Cunín	TOC	NH_4^+ , TOC
96	Banská Bystrica – bývalá galvanizovňa LOBB	Mo, EOX, CIU	TOC, EOX, CIU
97	Ľubietová – Podlipa (haldy)	Cu	TOC, Cu
98	Kotešová – skládka PO a KO	NH_4^+ , TOC, PAU	TOC
99	Hlboké nad Váhom – skládka KO (pod brezami) V	PAL	B
100	Hlohovec-Šulekovo – skládky TKO	TOC	Cl^- , TOC, vodivosť
101	Polomka – drevokombinát	NH_4^+ , TOC, ChSK_{Mn}	NH_4^+ , TOC
102	Pezinok – Tehelná ul. – tok Mahulianka	TOC	Cl^- , TOC
103	Rožňava – mrak chlórovaných uhlíkovodíkov pri kasárňach	UI, Cl^- , TOC, CIU	UI, TOC, vodivosť, CIU
104	Plešivec – retenčné nádrže	NH_4^+ , TOC, ChSK_{Mn}	NH_4^+ , TOC
105	Čierne Kľačany – skládka TKO (pod jabloňovým sadom)	–	TOC, vodivosť, B
106	Nové Zámky – bývalé kasárne SA – Novocentrum	NO_2^- , CIU	TOC, ChSK_{Mn} , CIU
107	Piešťany – prečerpávací stanica na ropné látky	–	CIU
108	Zlaté Klasy – skládka TKO	–	–
109	Komárno – Madzagoš	NH_4^+ , Cl^- , TOC, vodivosť	NH_4^+ , Cl^- , TOC, vodivosť, B, As, FNI
110	Košice-Juh – VSS Košice	–	–
111	Rimavská Sobota – areál Slovenských cukrovarov	NH_4^+ , TOC	ChSK_{Mn}
112	Rimavská Sobota – areál Gemer nákup	NH_4^+ , TOC	TOC, ChSK_{Mn}
113	Ružomberok – teheľňa	UI, NH_4^+ , Cl^- , TOC, NO_2^- , ChB, PAU	NH_4^+ , Cl^- , TOC, ChSK_{Mn} , vodivosť, Ba, B, ChB, PAU
114	Stakčín – skládka TKO s OP	TOC	Cl^- , TOC, ChSK_{Mn}
115	Belá nad Cirochou – skládka TKO	NH_4^+ , TOC	UI, ChSK_{Mn}
116	Hnúšťa – areál bývalých SLZ	NH_4^+ , TOC, ChSK_{Mn} , NO_2^- , As, PAL, FNI, CIU	UI, NH_4^+ , Cl^- , TOC, ChSK_{Mn} , As, Cd, Cu, PAL, CIU
117	Sliač – letisko – produktovod	UI, TOC, PAL	TOC, ChSK_{Mn} , CIU

Tab. 10 – pokračovanie.

ID lokality	Skrátený názov lokality	Ukazovatele prekračujúce hodnoty IT	Ukazovatele prekračujúce hodnoty ID
118	Skalica – skládka Zlatnícka dolina	NH_4^+ , Cl^- , TOC, ChSK_{Mn} , vodivosť	NH_4^+ , TOC, vodivosť, B, CN
119	Chotča – skládka TKO Stropkov	TOC	NH_4^+ , ChSK_{Mn} , CIU
120	Nitra – bývalé sklady PHM na Novozámockej ceste	Cl^-	vodivosť
121	Komárov – skládka TKO Lukavica	TOC, ChSK_{Mn}	TOC
122	Vráble – skládka KO (časť Židová)	Cl^- , TOC, ChSK_{Mn} , vodivosť	Cl^- , ChSK_{Mn} , vodivosť, B
123	Báhoň – staré koryto potoka – skládka	NH_4^+ , Cl^- , TOC, vodivosť	Cl^- , TOC, ChSK_{Mn} , vodivosť, B
124	Kolárovo – Pačerok	TOC	NH_4^+ , Cl^- , TOC, vodivosť, B
125	Lešť (vojenský obvod) – hlavný tábor	CIU	CIU
126	Jovsa – skládka komunálneho odpadu	TOC, ChSK_{Mn} , F	NH_4^+ , TOC, ChSK_{Mn}
127	Zlaté – skládka TKO	NH_4^+ , TOC	TOC, ChSK_{Mn} , vodivosť, B
128	Čaklov – skládka TKO	–	TOC
129	Levice – Levitex	–	TOC
130	Stropkov – cintorín jedov Vojtovce	NH_4^+ , ChSK_{Mn}	NH_4^+ , TOC, ChSK_{Mn}
131	Papín – skládka NNO	TOC	TOC, ChSK_{Mn}
132	Krásny Brod – skládka Monastýr – starý odpad	TOC, ChSK_{Mn}	TOC, B, EOX
133	Rimavská Sobota – areál bývalých ZŤS	–	TOC
134	Štúrovo – bývalé JCP, sklad asfaltov a olejov s prevádzkami	CIU	B, CIU, BTEX
135	Košice-Šaca – areál U.S. steel Košice	NH_4^+ , Cl^- , TOC, NO_2^-	Cl^- , TOC, ChSK_{Mn} , vodivosť
136	Nové Zámky – mestská skládka TKO	NH_4^+ , Cl^- , TOC, ChSK_{Mn} , vodivosť	Cl^- , TOC, vodivosť, B, As
137	Trnovec nad Váhom – odkalisko Amerika I (Duslo Šaľa)	NH_4^+ , Cl^- , TOC, vodivosť, F, NO_2^- , B	NH_4^+ , Cl^- , TOC, vodivosť, F ⁻ , B, As
138	Bratislava-Ružinov – Malý Dunaj – vtokový objekt	UI, CIU	NH_4^+ , TOC, PAL, CIU
139	Bystričany – ENO – dočasné odkalisko	As, CIU, BTEX	TOC, B, BTEX
140	Nitra – skládka TKO Katruša	Cl, TOC	NH_4^+ , Cl, TOC
141	Tlmače – areál SES	CIU	CIU
142	Žiar nad Hronom – kalové pole ZSNP	NH_4^+ , TOC, ChSK_{Mn} , vodivosť, F ⁻ , As, Sb, Mo, V	NH_4^+ , TOC, F, B, Sb
143	Stará Ľubovňa – skládka Skalka	NH_4^+ , Cl^- , TOC, vodivosť, PAL	Cl^- , TOC, vodivosť, Ba, B
144	Spišská Belá – skládka Za potokom	Cl ⁻ , TOC	NH_4^+ , TOC

Tab. 10 – pokračovanie.

ID lokality	Skrátený názov lokality	Ukazovatele prekračujúce hodnoty IT	Ukazovatele prekračujúce hodnoty ID
145	Stará Turá – areál Chirana	–	TOC, PAU
146	Veľký Slavkov – skládka Pod farmou	TOC	TOC
147	Smolenice – areál Chemolak	UI, TOC, ChSK _{Mn} , FNI, BTEX	TOC, ChSK _{Mn} , BTEX, PAU
148	Lubina – skládka KO Palčekové	NH ₄ ⁺ , TOC, ChSK _{Mn}	Cl ⁻ , TOC, vodivosť, B
149	Šaľa – Duslo – výroba kyseliny dusičnej	NH ₄ ⁺	TOC, NO ₂ ⁻
150	Duslo Šaľa – HNO ₃	–	TOC
151	Šaľa – Duslo – výroba gumárenských chemikálií	Cl ⁻ , NO ₂ ⁻	Cl ⁻ , TOC, vodivosť, Zn
152	Banská Belá – odkalisko Sedem žien	Zn	Zn
153	Lastomír – skládka TKO	NH ₄ ⁺ , Cl ⁻ , TOC, ChSK _{Mn}	NH ₄ ⁺ , Cl ⁻ , TOC, ChSK _{Mn} , vodivosť
154	Hontianske Tesáre – skládka	NH ₄ ⁺ , Cl ⁻ , TOC, ChSK _{Mn}	Cl ⁻ , TOC, ChSK _{Mn} , vodivosť
155	Žakovce – skládka Úsvit	Cl ⁻ , TOC	Cl ⁻ , TOC, vodivosť, B
156	Medzev – Strojsmalt	UI, TOC, ChSK _{Mn} , PAU	UI, NH ₄ ⁺ , TOC, ChSK _{Mn}
157	Modra-Hliny – skládka s OP	NH ₄ ⁺ , Cl ⁻ , TOC	Cl, ChSK _{Mn} , vodivosť, B
158	Udavské – skládka Janov dol	–	TOC, B
159	Levice – skládka PO Levitex – Nixbrod	TOC	Cl ⁻ , TOC, vodivosť
160	Hrabovčík – skládka TKO Technických služieb Svidník	NH ₄ ⁺ , Cl ⁻ , TOC, ChSK _{Mn} , vodivosť	TOC, ChSK _{Mn} , vodivosť, B
161	Vojany – odkalisko EVO	Mo	NH ₄ ⁺ , TOC, ChSK _{Mn} , B, Mo, V
162	Kremnické Bane – Ovčín	NH ₄ ⁺ , TOC, ChSK _{Mn}	NH ₄ ⁺ , TOC, ChSK _{Mn} , vodivosť, B, PAU
163	Hlohovec – priemyselný areál (vrátane bývalej Drôtovne)	Cl ⁻ , TOC, vodivosť, B	TOC, vodivosť, B, CIU
164	Unín – skládka odpadu	NH ₄ ⁺ , TOC	TOC, B
165	Hlohovec-Šulekovo – Fe kaly	NH ₄ ⁺ , Cl ⁻ , TOC, ChSK _{Mn} , vodivosť, B, Cd	NH ₄ ⁺ , Cl ⁻ , TOC, ChSK _{Mn} , vodivosť, Ba, B
166	Majcichov – skládka TKO	–	Cl ⁻ , TOC, vodivosť
168	Žiar nad Hronom – stará skládka PO ZSNP	–	–
169	Špačince – skládka TKO	–	–
170	Žiar nad Hronom – skládka TKO Horné Opatovce	Cl ⁻ , TOC	Cl ⁻ , TOC, ChSK _{Mn} , vodivosť, F
171	Zemianske Kostoľany – areál podniku Xella	CIU	ChSK _{Mn} , CIU

Pozn.: Vysvetlenie skratiek názvov ukazovateľov alebo skupín ukazovateľov je uvedené v tab. 9.

Note: Explanation of abbreviations for the parameter names or group of parameters is given in Tab. 9.

Zeminy/horninové prostredie, pôdy a riečne/dnové sedimenty

Vzorky pevných materiálov sa odoberali účelovo na vybraných lokalitách. V tabuľkách 11 až 13 sú uvedené základné štatistické parametre (aritmetický priemer, medián, minimum, maximum) vybraných chemických ukazovateľov zvlášť zo vzoriek vrtných jadier, pôd a riečnych/dnových sedimentov.

Takmer pre všetky uvedené ukazovatele je charakteristický pomerne výrazný rozdiel priemerných hodnôt

a hodnôt mediánov, čo dokumentuje prítomnosť odľahlých až extrémnych hodnôt v jednotlivých štatistických súboroch. Najvyšší obsah sa vo všeobecnosti zistil vo vzorkách riečnych/dnových sedimentov, čo pravdepodobne súvisí s cieľným výberom odberových miest predovšetkým v kontaminovaných oblastiach.

Prehľad lokalít, na ktorých boli prekročené hodnoty ID a IT stanovených ukazovateľov v zmysle smernice MŽP SR č.1/2015-7, sú zhrnuté v tab. 14.

Tab. 11. Základné štatistické parametre vybraných chemických ukazovateľov stanovených v zeminách/horninovom prostredí.

Zeminy	Počet	Jednotka	Priemer	Medián	Minimum	Maximum
As	230	mg . kg ⁻¹	24,83	11	< 2	566
Sb	230	mg . kg ⁻¹	16,43	2	< 2	1 294
Ba	216	mg . kg ⁻¹	715,56	473	101	8 011
Sn	216	mg . kg ⁻¹	5,01	2	< 2	171
Cr	230	mg . kg ⁻¹	146,65	65	< 5	7 702
Cd	230	mg . kg ⁻¹	88,68	2	< 2	8 921
Cu	230	mg . kg ⁻¹	86,91	25	< 5	5 539
Mo	216	mg . kg ⁻¹	1,81	3	< 3	18
Ni	230	mg . kg ⁻¹	32,79	26	< 4	387
Pb	230	mg . kg ⁻¹	103,65	22	< 5	4 245
Hg	230	mg . kg ⁻¹	1,03	2	< 2	4
Se	230	mg . kg ⁻¹	0,76	1	< 1	9
Sr	216	mg . kg ⁻¹	192,60	150	25	2 373
V	230	mg . kg ⁻¹	80,07	78,5	8	210
Zn	230	mg . kg ⁻¹	859,47	77	< 5	55 536
Zr	179	mg . kg ⁻¹	244,16	226	14	712
NELui	182	mg . kg ⁻¹	1 742,71	33,5	< 1	56 800
TOC	103	%	1,36	0,55	< 0,5	14,6
1,2-cis-dichlóretén	110	µg . kg ⁻¹	4,20	1	< 1	179
Tetrachlóretén	110	µg . kg ⁻¹	13,48	1	< 1	937
Trichlóretén	110	µg . kg ⁻¹	5,80	1	< 1	183
Benzén	98	µg . kg ⁻¹	2,42	1	< 1	106
Etylbenzén	98	µg . kg ⁻¹	1,73	1	< 1	71
Chlórbenzén	109	µg . kg ⁻¹	94,01	1	< 1	4 778
Toluén	98	µg . kg ⁻¹	1,66	1	< 1	41
Xylén	98	µg . kg ⁻¹	1,75	1	< 1	33
Antracén	142	mg . kg ⁻¹	0,20	0,01	< 0,01	4,56
Benzo(a)pyrén	148	mg . kg ⁻¹	0,41	0,01	< 0,01	26,5
Benzo(b)fluorantén	148	mg . kg ⁻¹	0,28	0,01	< 0,01	16,8
Benzo(g,h,i)perylén	148	mg . kg ⁻¹	0,48	0,01	< 0,01	46,8
Benzo(k)fluorantén	148	mg . kg ⁻¹	0,15	0,01	< 0,01	9,23
Benzo(a)antracén	148	mg . kg ⁻¹	0,31	0,01	< 0,01	7,15
Fenantrén	148	mg . kg ⁻¹	0,90	0,03	< 0,01	24,6
Fluorantén	148	mg . kg ⁻¹	0,53	0,01	< 0,01	19,5
Chryzén	148	mg . kg ⁻¹	0,41	0,01	< 0,01	8,2
Indeno(1,2,3-c,d)pyrén	148	mg . kg ⁻¹	0,48	0,01	< 0,01	47,5
Naftalén	148	mg . kg ⁻¹	0,07	0,02	< 0,01	2,9
Pyrén	148	mg . kg ⁻¹	0,71	0,01	< 0,01	17,4
Polycyklické aromatické uhľovodíky spolu	148	mg . kg ⁻¹	4,36	0,06	0	145,49

Tab. 12. Základné štatistické parametre vybraných chemických ukazovateľov stanovených v pôdach.

Pôdy	Počet	Jednotka	Priemer	Medián	Minimum	Maximum
As	242	mg . kg ⁻¹	52,40	14	3	2 004
Sb	241	mg . kg ⁻¹	114,55	2	< 2	18 750
Cr	242	mg . kg ⁻¹	374,51	84	23	20 405
Cd	242	mg . kg ⁻¹	2,35	2	< 0,1	126
Cu	242	mg . kg ⁻¹	397,49	27,2	8	31 760
Ni	242	mg . kg ⁻¹	59,94	32,2	< 4	2 461
Pb	242	mg . kg ⁻¹	206,44	31,6	6	8 201
Hg	242	mg . kg ⁻¹	1,46	2	< 2	37
Se	242	mg . kg ⁻¹	0,67	1	< 1	13
V	242	mg . kg ⁻¹	93,72	86,1	17	808
Zn	242	mg . kg ⁻¹	326,96	107,35	24,2	8 546
NELui	147	mg . kg ⁻¹	330,74	13	< 1	27 304
TOC	238	%	2,75	2	< 0,5	27,7
1,2-cis-dichlóretén	100	µg . kg ⁻¹	1,45	1	< 1	69
Tetrachlóretén	99	µg . kg ⁻¹	17,60	1	< 1	760
Trichlóretén	99	µg . kg ⁻¹	4,20	1	< 1	198
Benzén	137	µg . kg ⁻¹	0,78	1	< 1	25
Etylbenzén	137	µg . kg ⁻¹	0,79	1	< 1	27
Chlórbenzén	99	µg . kg ⁻¹	0,90	1	< 1	23
Toluén	137	µg . kg ⁻¹	12,93	1	< 1	764
Xylén	137	µg . kg ⁻¹	1,445	1	< 1	40
Antracén	116	mg . kg ⁻¹	0,53	0,02	< 0,01	31
Benzo(a)pyrén	137	mg . kg ⁻¹	1,72	0,03	< 0,01	131
Benzo(b)fluorantén	137	mg . kg ⁻¹	2,36	0,04	< 0,01	200
Benzo(g,h,i)perylén	137	mg . kg ⁻¹	1,88	0,02	< 0,01	150
Benzo(k)fluorantén	137	mg . kg ⁻¹	1,64	0,03	< 0,01	147
Benzo(a)antracén	137	mg . kg ⁻¹	1,54	0,04	< 0,01	112
Fenantrén	137	mg . kg ⁻¹	1,79	0,04	< 0,01	137
Fluorantén	136	mg . kg ⁻¹	5,09	0,09	< 0,01	488
Chryzén	137	mg . kg ⁻¹	3,10	0,05	< 0,01	287
Indeno(1,2,3-c,d)pyrén	137	mg . kg ⁻¹	1,70	0,03	< 0,01	111
Naftalén	137	mg . kg ⁻¹	1,25	0,01	< 0,01	141
Pyrén	137	mg . kg ⁻¹	3,98	0,07	< 0,01	368
Polycyklické aromatické uhľovodíky spolu	136	mg . kg ⁻¹	22,33	0,41	0	1 817

Tab. 13. Základné štatistické parametre vybraných chemických ukazovateľov stanovených v riečnych/dnových sedimentoch.

Sediment	Počet	Jednotka	Priemer	Medián	Minimum	Maximum
As	167	mg . kg ⁻¹	52,07	12	< 2	743
Sb	167	mg . kg ⁻¹	55,44	3	< 2	1 090
Ba	162	mg . kg ⁻¹	520,35	451	24	2 356
Sn	163	mg . kg ⁻¹	8,77	3	< 2	216
Cr	167	mg . kg ⁻¹	222,81	87	14	6 124
Cd	167	mg . kg ⁻¹	2,53	2	< 0,1	59,5
Cu	167	mg . kg ⁻¹	110,01	27	< 5	5 743
Mo	159	mg . kg ⁻¹	2,66	3	< 3	47
Ni	167	mg . kg ⁻¹	420,75	31	< 4	17 380
Pb	167	mg . kg ⁻¹	124,32	30	< 5	4 229
Hg	164	mg . kg ⁻¹	2,52	2	< 2	159
Se	164	mg . kg ⁻¹	0,86	1	< 1	8
Sr	137	mg . kg ⁻¹	178,69	149	27	844
V	167	mg . kg ⁻¹	80,39	78	23	285
Zn	167	mg . kg ⁻¹	572,54	106	30	18 210
Zr	157	mg . kg ⁻¹	326,32	317	10	913
NELui	91	mg . kg ⁻¹	263,49	38	< 1	5 700
TOC	36	%	3,54	2,455	0,62	23,2
1,2-cis-dichlóretén	43	µg . kg ⁻¹	8,20	1	< 1	147
Tetrachlóretén	43	µg . kg ⁻¹	0,63	1	< 1	6
Trichlóretén	43	µg . kg ⁻¹	4,77	1	< 1	165
Benzén	53	µg . kg ⁻¹	0,56	1	< 1	2
Etylbenzén	53	µg . kg ⁻¹	0,54	1	< 1	2
Chlórbenzén	43	µg . kg ⁻¹	0,50	1	< 1	0,5
Toluén	53	µg . kg ⁻¹	245,17	1	< 1	3 060
Xylén	53	µg . kg ⁻¹	0,71	1	< 1	5
Antracén	48	mg . kg ⁻¹	2,98	0,03	< 0,01	58
Benzo(a)pyrén	48	mg . kg ⁻¹	18,97	0,08	< 0,01	281
Benzo(b)fluorantén	48	mg . kg ⁻¹	17,38	0,08	< 0,01	207
Benzo(g,h,i)perylén	48	mg . kg ⁻¹	19,09	0,045	< 0,01	224
Benzo(k)fluorantén	48	mg . kg ⁻¹	13,70	0,05	< 0,01	188
Benzo(a)antracén	47	mg . kg ⁻¹	15,98	0,09	< 0,01	194
Fenantrén	48	mg . kg ⁻¹	19,01	0,16	< 0,01	343
Fluorantén	48	mg . kg ⁻¹	46,33	0,25	< 0,01	562
Chryzén	48	mg . kg ⁻¹	18,45	0,115	< 0,01	240
Indeno(1,2,3-c,d)pyrén	48	mg . kg ⁻¹	16,77	0,06	< 0,01	206
Naftalén	48	mg . kg ⁻¹	3,49	0,03	< 0,01	37
Pyrén	48	mg . kg ⁻¹	39,73	0,205	< 0,01	516
Polycyklické aromatické uhľovodíky spolu	47	mg . kg ⁻¹	209,37	1,05	0	2 754

Zo stopových prvkov až na 19 lokalitách sa zistilo prekročenie hodnoty IT ($140 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) v prípade arzénu. Ide predovšetkým o banské lokality (Pernek – ID 86, ID 89, ID 92, Banská Štiavnica – ID 90, ID 152, Partizánska Ľupča – Magurka – ID 78, ID 79, Špania Dolina – ID 77, Ľubietová – ID 97), ale aj rôzne skládky odpadu (Dobšiná – ID 93, Chemosvit Svit – ID 56, Poša – ID 29, Medzibrodie nad Oravou – ID 51, Predajná – ID 58 a 59). Podobná situácia je aj v prípade antimónu, kde sa prekročenie hodnoty IT ($80 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) zistilo na 13 lokalitách – ide predovšetkým o banské lokality (Partizánska Ľupča – Magurka – ID 78 a 79, Liptovská Dúbrava – ID 13 a 14, Špania Dolina – ID 77, Pernek – ID 86, 89 a 92), menej skládky odpadu (Dobšiná – ID 93, Predajná – ID 58 a 59, Medzibrodie nad Oravou – ID 51, Podtureň – ID 57) a priemyselné oblasti (Košice – areál U.S. Steel Košice – ID 135). Potvrdilo sa, že odpad z banskej činnosti býva zdrojom aj ďalších kontaminantov, hlavne Cd, Cu, Pb a Zn. V odoberaných vzorkách v oblastiach s historickou banskou činnosťou (Banská Štiavnica, Ľubietová, Špania Dolina, Pernek) sa vo viacerých prípadoch zistila koncentrácia týchto prvkov vyššia ako príslušné kritérium ID, resp. IT.

Pre oblasť Serede (ID 24 a 25) je typický výskyt vysokého obsahu Ni a Cr z priemyselnej činnosti (bývalá Niklová huta), v mnohých prípadoch vyššieho ako príslušné kritériá ID, resp. IT. Vysoká koncentrácia viacerých kovov sa zistila v oblasti ZŤS Dubnica nad Váhom – ID 12 (Cr, Cu, Pb, As).

Až na 18 lokalitách sa zistilo prekročenie hodnoty ID ($2,5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) v prípade ortuti. Najvyšší obsah bol zdokumentovaný na lokalitách Košice – areál U.S. Steel Košice (ID 135), Svit – skládka Chemosvit (ID 56), Banská Bystrica – bývalá galvanizovňa LOBB (ID 96), Špania Dolina – flotačná úpravňa (ID 77) a Bystričany – dočasné odkalisko (ID 139).

Z organických látok sa až na 27 lokalitách zistilo prekročenie hodnoty IT ($500 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ sušiny) pri ukazovateli NELui. Najvýraznejšie sa toto znečistenie prejavilo na týchto lokalitách: Zvolen – Železničné opravovne a strojárne (ID 60), Medzev – Strojsmalt (ID 156), Bratislava – Chemika (ID 4), Bratislava – SPP (ID 46), Bratislava – Gumon (ID 5), Bratislava – Malý Dunaj – vtokový objekt (ID 138), Unín – zberné naftové stredisko Cunín (ID 95), Ružomberok – tehelňa (ID 113) a Kežmarok – OKTAN (ID 31).

Z ďalších organických látok bolo zdokumentované výraznejšie znečistenie prakticky už len v prípade polycyklických aromatických uhlíkovodíkov, ktoré sa najvýraznejšie prejavilo na lokalitách: Kalinovo – fenolová jama (ID 68), Rožňava – mrak chlórovaných uhlíkovodíkov pri kasárňach (ID 103), Hnúšťa – areál bývalých SLZ (ID 116), Stará Turá – areál Chirana (ID 145), Žakovce – skládka Úsvit (ID 155), Bardejov – areál Bardejovských strojární (ID 8), Stropkov – obalovačka (ID 16), Detva – PPS Group (ID 40).

Tab. 14. Lokality, na ktorých boli prekročené hodnoty ID a IT stanovených ukazovateľov – zeminy/horninové prostredie (H), pôdy (P), riečne/dnové sedimenty (S).

Ukazovateľ	Prekročenie ID – zoznam lokalít s uvedením identifikačného čísla lokality	Prekročenie IT – zoznam lokalít
As	1 (P), 12 (P), 13 (H, P, S), 45 (S), 51 (H, P, S), 56 (H, P), 58 (H), 59 (H), 89 (S), 89 (S), 90 (S), 92 (S), 97 (P, S), 106 (H), 116 (P, S), 137 (P), 139 (P), 142 (H), 144 (H, S), 152 (S), 161 (H)	13 (P, S), 29 (S), 41 (P), 51 (H, P, S), 56 (P, S), 58 (H), 67 (S), 71 (S), 77 (P, S), 78 (S), 79 (P), 90 (P), 92 (S), 93 (H, P), 97 (P), 111 (P), 116 (H), 135 (S), 139 (P)
Sb	30 (S), 51 (H), 58 (H, P), 59 (P), 67 (P, S), 89 (S), 90 (S), 93 (P), 96 (P), 97 (P, S), 103 (H, S), 104 (H), 113 (H), 142 (H, P)	13 (H, P, S), 51 (H), 57 (H), 58 (P), 59 (P), 77 (P, S), 78 (H, S), 79 (P), 90 (S), 92 (S), 93 (H), 117 (P), 135 (S)
Ba	10 (H), 13 (S), 56 (H), 61 (S), 71 (S), 76 (S), 77 (S), 78 (S), 90 (H, S), 93 (H, P), 101 (P), 103 (H), 113 (H), 116 (H), 123 (H), 143 (S), 146 (S), 156 (H), 161 (H)	51 (H), 90 (H), 93 (H), 116 (H)
Sn	135 (S)	
Cr	7 (H), 12 (P), 24 (P), 50 (P), 116 (P)	10 (H), 24 (P), 25 (S), 50 (P, S), 54 (H), 101 (P)
Cd	45 (S), 54 (H), 79 (P), 90 (H, P, S), 96 (P)	10 (H), 54 (H), 90 (H, P, S), 96 (P), 152 (S)
Cu	77 (P), 90 (H, S), 116 (P), 117 (P), 146 (S)	12 (P), 54 (H), 77 (S), 97 (P, S), 116 (P), 165 (P)
Ni	15 (S), 24 (P), 54 (H), 89 (S), 92 (S), 93 (P)	24 (P), 25 (S)
Pb	45 (S), 51 (H), 54 (H), 56 (P), 77 (S), 78 (S), 90 (H, S), 93 (H), 96 (P), 116 (P), 135 (S), 142 (H, P), 152 (S)	12 (P), 79 (P), 90 (H, P, S), 152 (S)
Hg	1 (P), 24 (P), 41 (P), 45 (S), 54 (H), 56 (S), 65 (S), 71 (S), 75 (S), 77 (P), 92 (S), 93 (P), 103 (S), 116 (P), 135 (S), 139 (P, S), 146 (S), 152 (S)	56 (P), 77 (S), 96 (P), 135 (S)
V		12 (P)

Tab. 14 – pokračovanie.

Ukazovateľ	Prekročenie ID – zoznam lokalít s uvedením identifikačného čísla lokality	Prekročenie IT – zoznam lokalít
Zn	56 (P), 51 (P), 90 (H, P, S), 116 (P), 152 (S)	12 (P), 15 (S), 54 (H), 90 (H, P, S), 96 (P), 152 (S)
NELui	4 (H), 5 (H), 7 (H), 8 (P), 31 (H, S), 40 (S), 41 (P), 46 (H), 48 (H), 52 (H, S), 56 (P), 59 (H), 61 (S), 65 (S), 84 (H), 113 (H), 114 (S), 116 (P), 135 (S), 144 (H)	5 (H), 4 (H), 5 (H), 6 (H), 16 (H), 25 (S), 30 (H), 31 (H), 36 (S), 42 (H), 46 (H), 48 (H), 54 (H), 56 (H, S), 59 (P), 60 (H), 61 (S), 67 (S), 68 (S), 91 (H), 95 (P), 113 (H), 116 (P), 134 (H), 135 (S), 138 (H), 156 (H)
Chlórbenzén	5 (H)	
Antracén	68 (S)	
Benzo(a)pyrén	4 (H), 5 (H), 16 (H), 38 (H), 40 (S), 46 (H), 71 (P, S), 98 (P), 113 (H)	8 (S), 16 (H), 68 (S), 103 (P, S), 116 (S), 145 (S), 155 (S)
Benzo(b)fluorantén	8 (S), 16 (H), 40 (S), 46 (H), 68 (S), 98 (P), 103 (S), 113 (H), 116 (S), 155 (S)	68 (S), 103 (P), 145 (S), 155 (S)
Benzo(g,h,i)perylén	16 (H), 103 (P), 116 (S), 145 (S), 155 (S)	68 (S), 103 (P)
Benzo(k)fluorantén	103 (S), 116 (S), 155 (S)	68 (S), 103 (P), 116 (S), 145 (S), 155 (S)
Benzo(a)antracén	4 (H), 8 (S), 36 (S), 40 (S), 46 (H), 68 (S), 71 (P, S), 98 (P), 103 (S), 113 (H), 116 (S), 145 (S), 155 (S)	68 (S), 103 (P), 145 (S), 116 (S)
Fenantrén	36 (S), 68 (S), 103 (P, S), 116 (S), 145 (S), 155 (S)	68 (S), 103 (P)
Fluorantén	8 (S), 36 (S), 68 (S), 103 (S), 116 (S), 155 (S)	68 (S), 103 (P), 116 (S), 145 (S)
Chryzén	103 (S), 116 (S), 145 (S), 155 (S)	68 (S), 103 (P), 145 (S)
Indeno(1,2,3-c,d)pyrén	8 (S), 16 (H), 46 (H), 68 (S), 103 (S), 116 (S), 145 (S), 155 (S)	68 (S), 103 (P), 145 (S)
Naftalén		103 (P)
Pyrén	36 (S), 103 (S), 116 (S), 155 (S)	68 (S), 103 (P, S), 116 (S), 145 (S), 155 (S)
Polycyklické aromatické uhl'ovodíky spolu	8 (S), 36 (S), 68 (S), 103 (S), 116 (S), 145 (S), 155 (S)	68 (S), 103 (P), 145 (S)

Poznámka: zoznam lokalít podľa identifikačného čísla lokality je uvedený v tab. 1

3.6. Využitie modelovania pri monitorovaní EZ – príklad z lokalít Sered' – Niklová huta a Sered' – skládka lúženca (ID 24 a 25)

3.6.1. Hydrogeologický model

Na základe podkladov Tupého a Chovanca (1998) bolo v prevádzke niklovej huty v Seredi vyrobených 3 000 t niklu a 60 t kobaltu. Počas prevádzky závodu sa na ich výrobu ročne spotrebovalo nasledujúce množstvo chemikálií: 2 800 t NH_3 , 1,26 t Na_2S , 144 t Na_2SO_4 , 611 t HCl , 1 013 t H_2SO_4 . Kontaminácia prostredia v skúmanej lokalite tvorí preto pestrú paletu znečistenia. Pozostáva hlavne z NH_4^+ , SO_4^{2-} , NO_3^- , Ni, Cr, ktoré majú svoje špecifické spôsoby transportu v podzemnej vode v závislosti od prírodných podmienok a podliehajú rôznym procesom tvorby komplexov, degradácie a sorpcie. V rámci transportného modelu bol zvolený konzervatívny stopovač, pri ktorom predpokladáme maximálny možný rozsah znečistenia bez účinkov degradácie alebo sorpcie (v rámci znečisťujúcich látok bol vybraný anión SO_4^{2-}).

Modelované územie má tvar nepravidelného polygónu s rozmermi zhruba 7 x 11 km, ktorý je zo západnej stra-

ny ohraničený kanálom Derňa a z východnej strany riekou Váh a vodným dielom Kráľová (obr. 19). Dôležitým prvkom z pohľadu definovania hraníc modelu je rieka Váh pretekajúca v smere sever – juh so systémom pochovaných mŕtvych ramien, ktorá predstavuje okrajovú podmienku. Väčšinu modelovej plochy zastupuje orná pôda s intenzívnou poľnohospodárskou činnosťou.

Model vo svojej podstate predstavuje zjednodušenú geologickú situáciu, kde spodná vrstva modelu je ohraničená nepriepustnými ílmi („bazálne“ íly) a zvodnenú vrstvu predstavujú piesčité a štrkopiesčité sedimenty s preplástkami a vložkami ílových šošoviek (obr. 20). Hrúbka štrkopiesčitých sedimentov v hodnotenom území sa pohybuje od 7 do 25 m, s minimálnou hodnotou v sv. časti modelovaného územia a so stúpajúcou hrúbkou v jz. smere.

Hydrogeologický model sa zostavoval s využitím softvérového balíka FEFLOW 6.0 (*Finite Element subsurface FLOW and transport system*) od spoločnosti DHI-WASY software. Modelovacie rozhranie vychádza z matematickej metódy koncových prvkov, pričom modelované územie chápe ako priestorovú sieť uzlov, medzi ktorými prebiehajú následné výpočty požadovaných para-

metrov. Pri príprave vstupných údajov bol zároveň využitý program MapInfo Professional, v. 10.5.2.

Modelovanie prúdenia podzemnej vody sa uskutočnilo na výpočtovej sieti, ktorá pozostáva z 3 163 elementov v jednej vrstve (*layer*) a 1 645 uzlov na každej ploche výpočtovej siete (*slice*).

Zostavenie modelu prúdenia podzemnej vody

Na základe meraní hladiny podzemnej vody z vrtov boli odvodené hydroizohypsy hladín podzemnej vody, ktorá je v režime s voľnou hladinou. Vzhľadom na priestorovú interpretáciu hydroizohýps môžeme povedať, že prúdenie podzemnej vody prebieha prevažne v smere S – J s vplyvom rieky Váh v oblasti mesta Sereď a priľahlého pohoria Tribeč na sv. strane (obr. 21). Predpokladáme vzostup hladiny podzemnej vody v jarňách mesiacoch a jej pokles v jesenných a zimných mesiacoch. V južnej časti modelu predpokladáme prúdenie podzemnej vody južným smerom paralelne s riekou Váh.

Pri definovaní okrajových podmienok hydraulického modelu bola v severnej a južnej časti územia definovaná okrajová podmienka prvého druhu (Dirichletova okrajová podmienka; v severnej časti bola definovaná na úrovni 134 m n. m. a v južnej časti bola na úrovni 113,5 m n. m.). Vplyv Váhu na východnej strane modelu bol definovaný ako okrajová podmienka tretieho druhu (Cauchyho okrajová podmienka).

Infiltrácia zo zrážok (*recharge*) na účely modelu vychádzala z hodnôt efektívnych zrážok (Švasta a Malík, 2006) a v danej lokalite predstavuje hodnotu 30 mm . rok⁻¹. V rámci výpočtovej metodiky sa pri vstupe vôd do modelu formou efektívnych zrážok zadáva len v prípade povrchového horizontu.

Celkovo bolo vyčlenených 5 zón filtračnej nehomogenity v intervale od 5 . 10⁻⁴ m . s⁻¹ do 4 . 10⁻³ m . s⁻¹. Vzhľadom na relatívne malý počet vstupných údajov bolo potrebné hydraulické parametre aproximovať, zanedbávajúc priestorovú anizotropiu koeficientu filtrácie ($k_{xx} = k_{yy} = k_{zz}$ pre jednotlivé vrstvy).

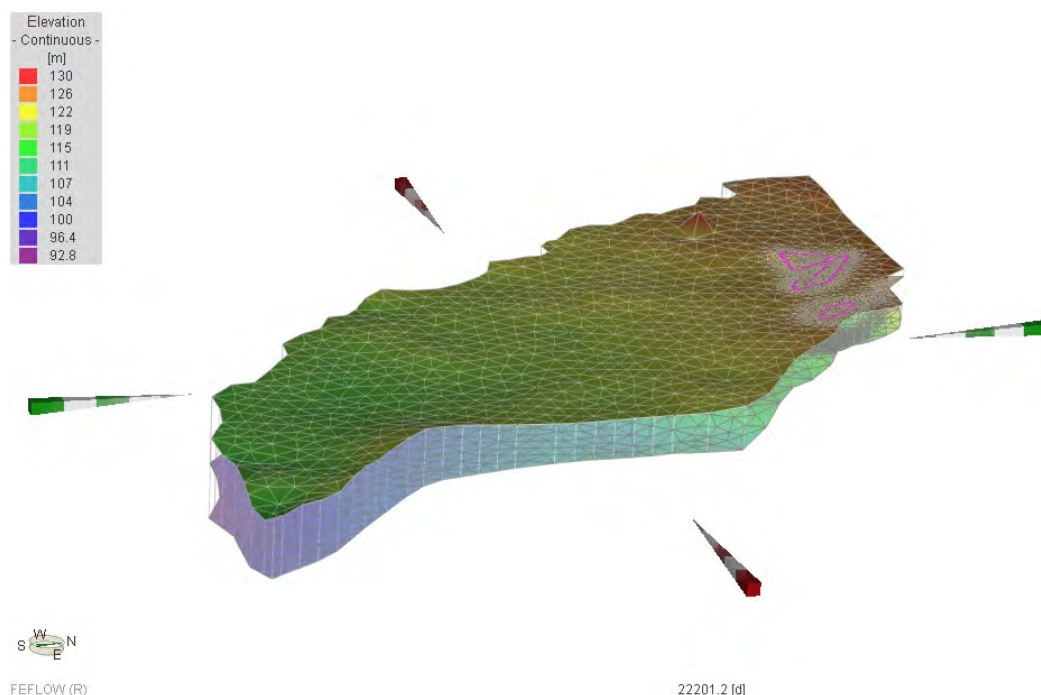
Keďže na skládku lúženca a odkaliska sa dopravovala „odpadová“ zmes formou hydrozmesi, do modelu bola implementovaná okrajová podmienka druhého druhu (Neumanova okrajová podmienka – *fluid flux*) s predpokladanou hodnotou 100 mm . rok⁻¹. Táto okrajová podmienka bola aplikovaná počas 30 rokov fungovania závodu. Tým, že do riešenia hydraulického modelu vstupovala časová premenná (vo vzťahu k umelej infiltrácii vody v odkalisku), bol zvolený prístup neustáleného prúdenia v časovom horizonte 100 rokov.

Zostavenie modelu transportu znečistenia

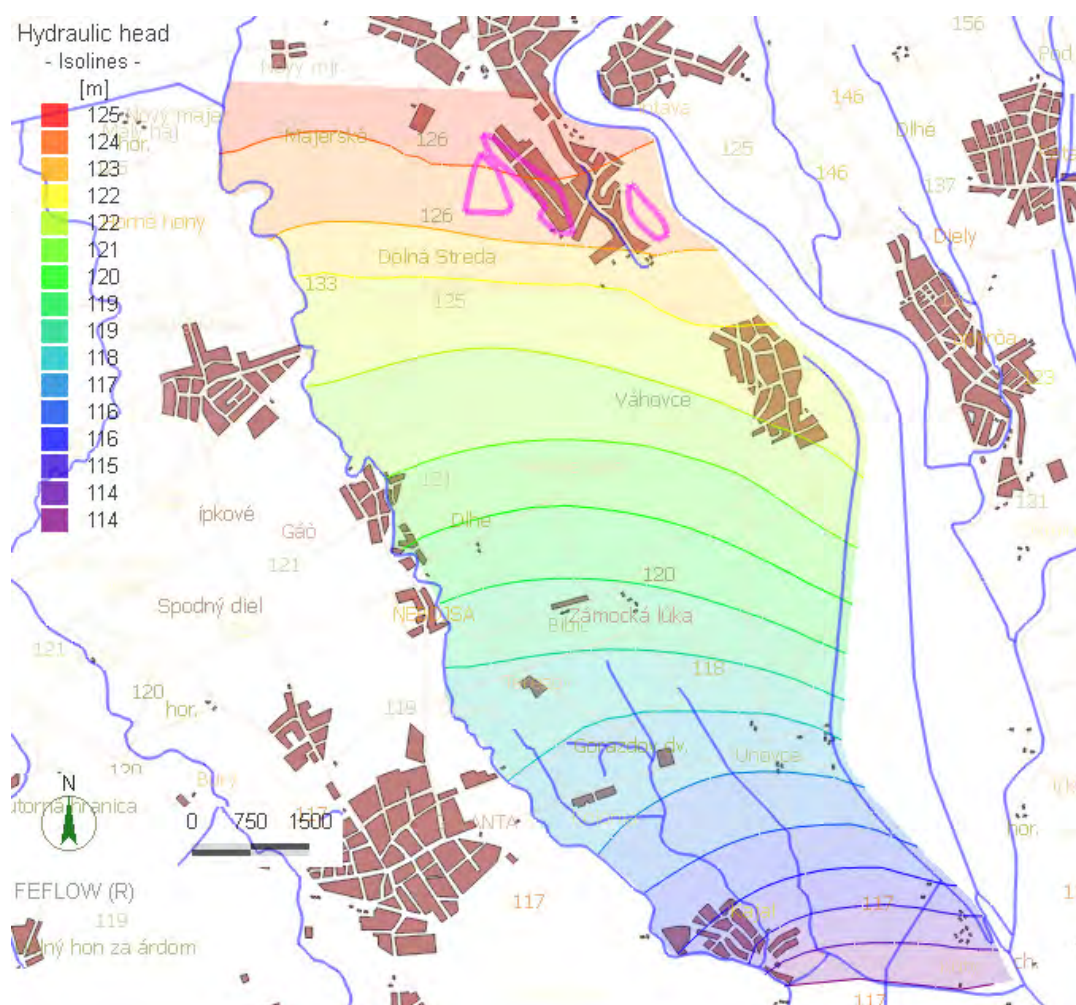
Vstupná koncentrácia kontaminantov je súčasťou transportného modelu. Ako iniciálna koncentrácia síranov, ktorá vstupuje do modelového výpočtu, bola na základe infor-



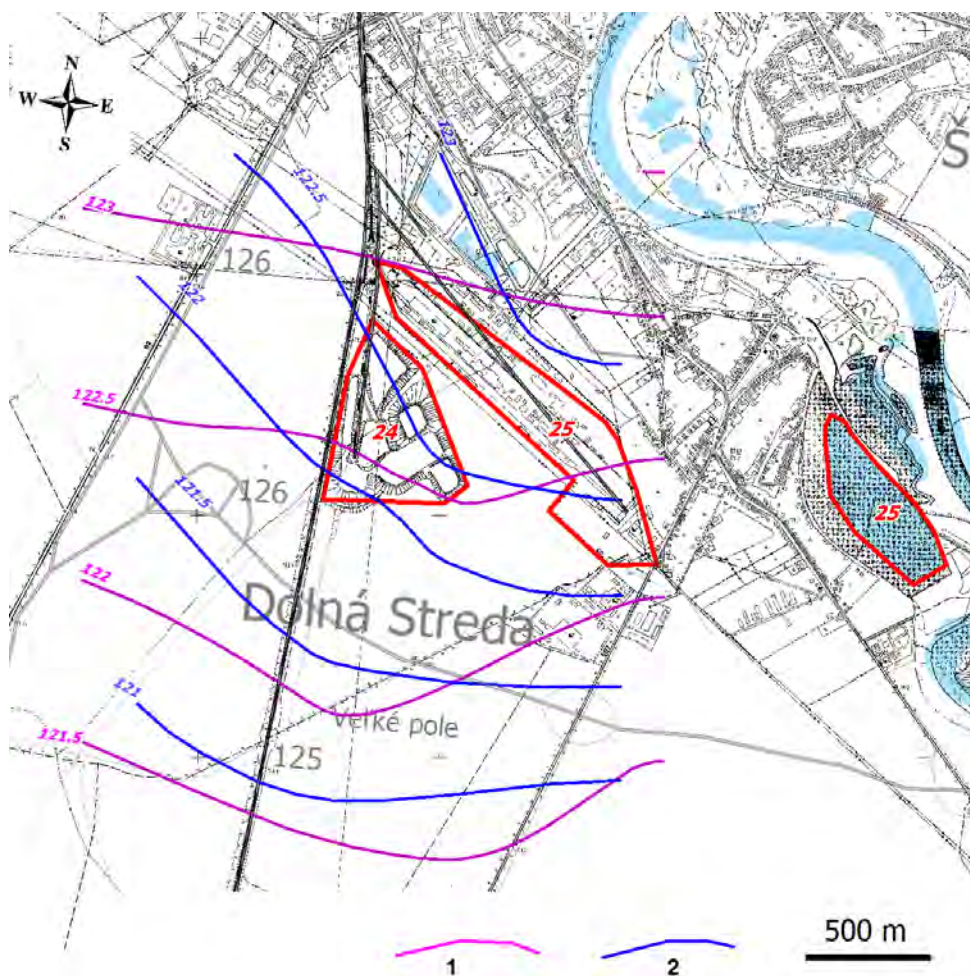
Obr. 19. Priestorové vymedzenie modelovacieho polygonu.



Obr. 20. Priestorové definovanie vrstiev modelu (báza nepriepustných ílov) a povrch terénu so zvýraznením hraníc environmentálnych záťaží.



Obr. 21. Priestorová interpretácia hydroizohýps: a) v blízkom okolí Niklovej huty Sered' (1 – hydroizohypsy k 1. 6. 2015, 2 – hydroizohypsy k 6. 11. 2014); b) ako výsledok modelu zo širšieho okolia.



Obr. 21. Priestorová interpretácia hydroizohýps: a) v blízkosti Niklovej huty Sered' (1 – hydroizohypsy k 1. 6. 2015, 2 – hydroizohypsy k 6. 11. 2014); b) ako výsledok modelu zo širšieho okolia.

mácií z *Geochemického atlasu Slovenska*, časť *Podzemné vody* (Rapant et al., 1996) zvolená koncentrácia $30 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Na základe prieskumu podzemnej vody v okolí skládky bola zvolená ako hypotetická iniciálna kontaminácia síranmi hodnota $800 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$.

Model transportu kontaminácie vychádza z prenosu konzervatívneho stopovača bez uvažovania vplyvu sorpcie, degradácie kontaminantu a interakcie s inými zložkami prírodného prostredia.

Základnú predstavu o pohybe vody v definovanej zvodni kvartérneho veku podáva obr. 22, ktorý ukazuje distribúciu prúdnic v modelovacej sieti FEM.

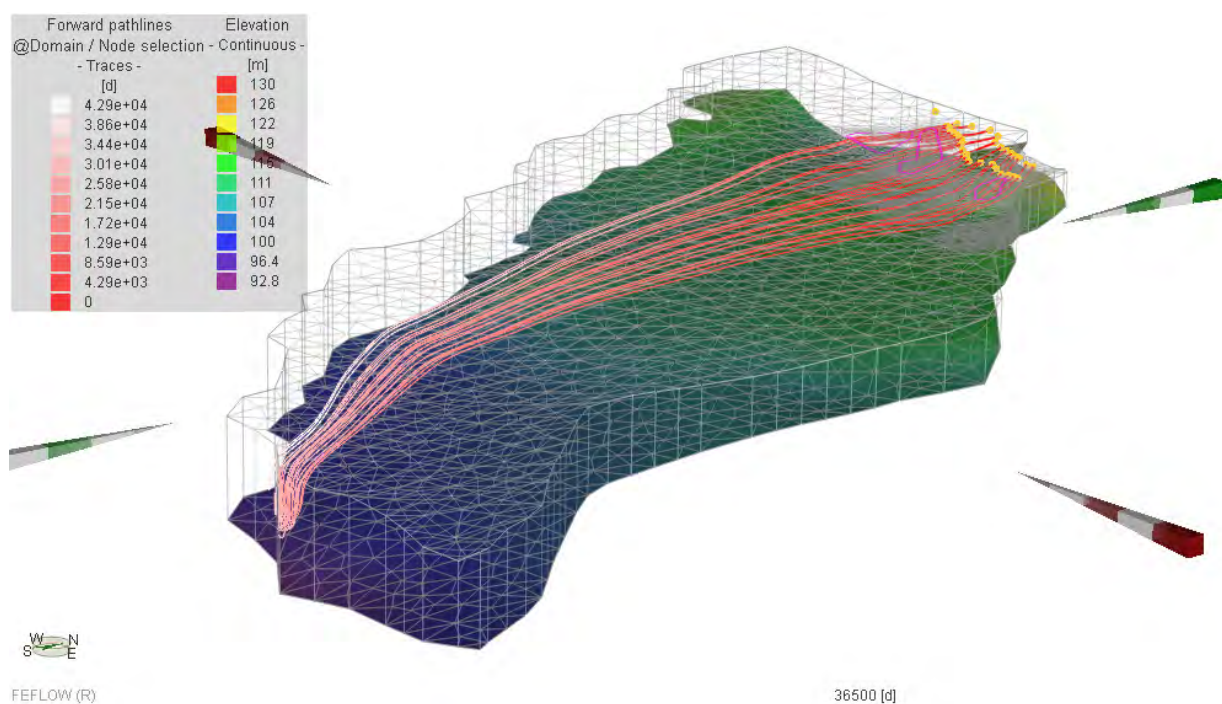
Transport kontaminácie je účelovo volený na maximálny predpokladaný dosah znečistenia síranmi. Výpočet transportu kontaminácie zároveň vychádza z neustáleného prúdenia *transient transport*. Zvýšená intenzita presakovania definovaná v hydraulickom modeli, ktorá vyplýva z dotácie hydrozmesi do odkaliska a skládky lúženca, je v prípade transportného modelu (*mass transport*) nastavená na okrajovú podmienku prvého druhu (Dirichletova okrajová podmienka) s hodnotou $800 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ počas prevádzky závodu. Po uplynutí 30 rokov bola okrajová podmienka vypnutá.

Na základe uvedených vstupných parametrov je možné predpokladať postupné rozširovanie kontaminantov v smere zodpovedajúcom priebehu prúdnic, t. j. v smere S – J (obr. 23). Vplyvom zriedňovania kontaminácie podzemnou

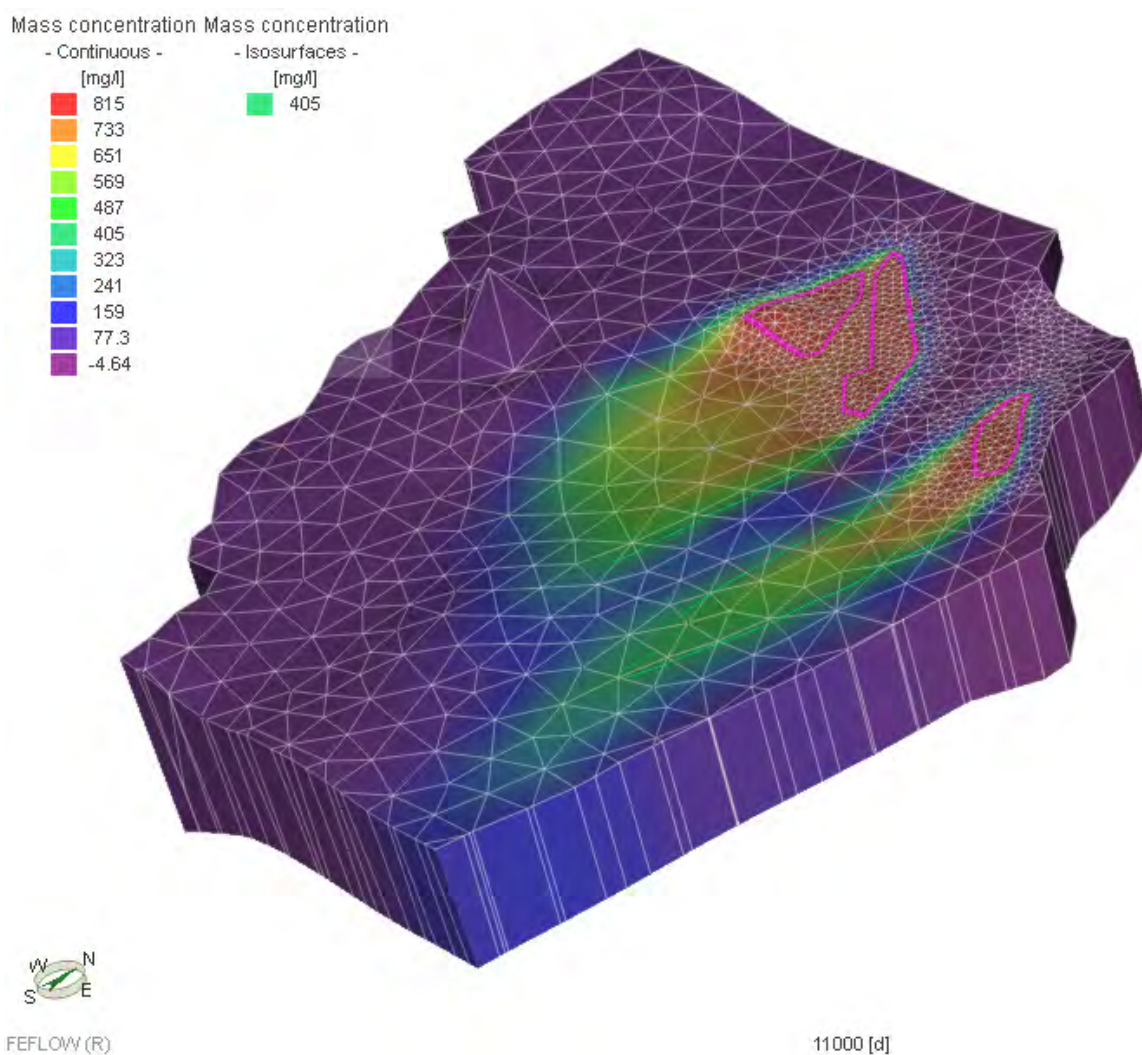
vodou zároveň model predpokladá postupné poklesávanie kontaminácie v smere prúdenia podzemnej vody. Na základe veľmi hrubého zjednodušenia priestorovej distribúcie geologického prostredia a prislúchajúcich filtračných a hydraulických charakteristík, ako aj predpokladov o iniciálnej koncentrácii znečistenia môžeme predpokladať dosah konzervatívneho stopovača v období 60 rokov po začatí prevádzky závodu do vzdialenosti zhruba 8 km v smere prúdenia (obr. 24).

Vzhľadom na prezentované aproximácie je model zaťažovaný viacerými neistotami vyplývajúcimi zo zadaných vstupných podmienok a zo zjednodušenia procesov, ktoré vplývajú na transport kontaminácie. Zaraďujeme k nim najmä:

- vplyv priestorovej anizotropie hydraulických a materiálových parametrov na výsledok modelu transportu kontaminácie bez ohľadu na hydrologické a klimatické obdobie,
- vplyv nepriepustných šošoviek ílov kvartérneho veku na vertikálne rozloženie kontaminovaného vodného stĺpca,
- časový priebeh variability na vstupe vôd do modelu z rieky Váh ako na vstupe vôd z modelu do rieky Váh v južnej časti modelového územia,
- priestorovú charakteristiku kontaminácie (laterálny dosah, koncentračné intervaly) pri zohľadnení súbežných procesov transportu (difúzia, rozpad, sorpcia),



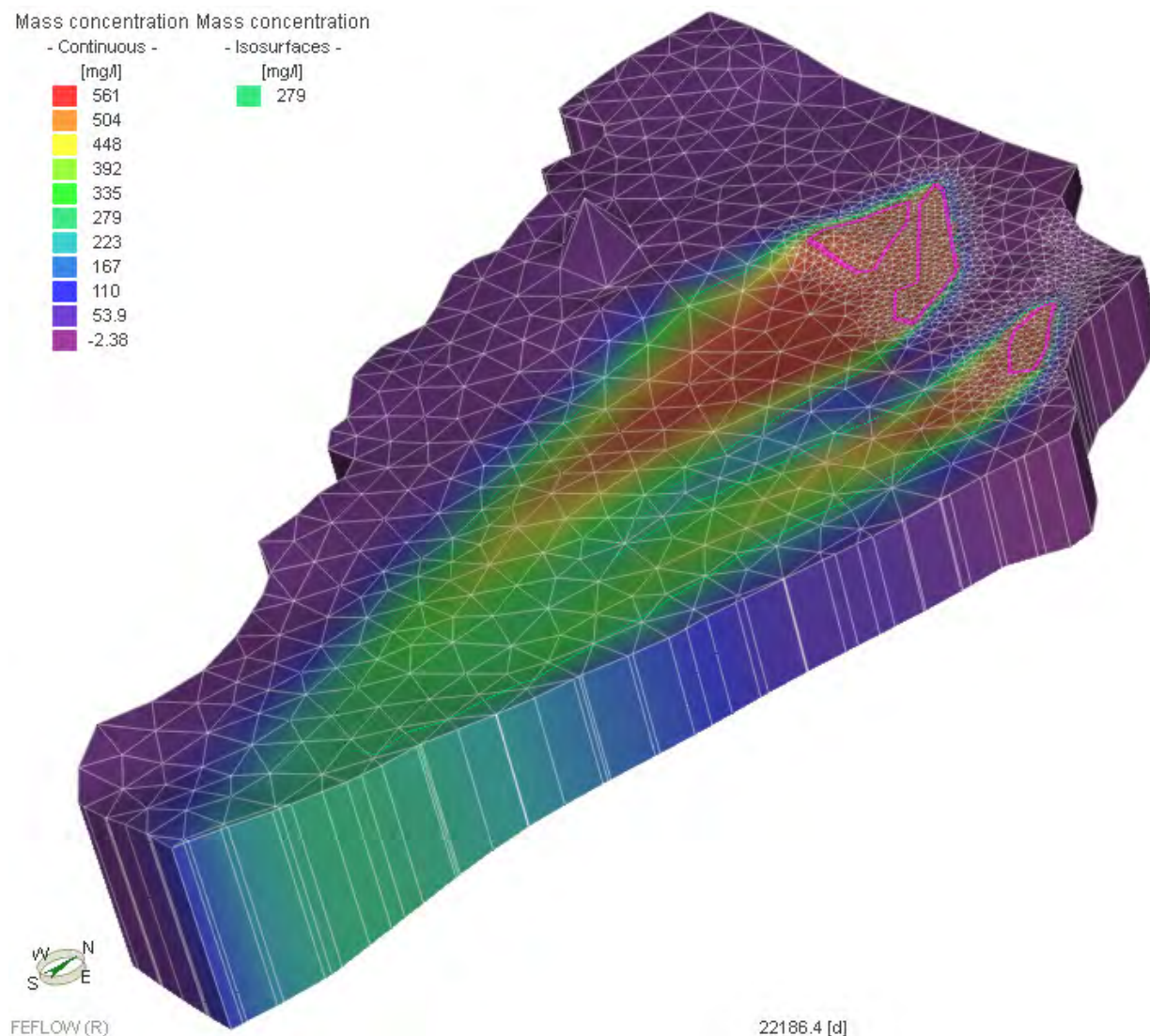
Obr. 22. Distribúcia prúdnic a času filtrácie v sieti FEM.



Obr. 23. Predpokladaný dosah kontaminácie po zhruba 30 rokoch od začiatku prevádzky závodu.

- vplyv iných zdrojov kontaminácie, ktoré nemajú pôvod v prevádzke Niklovej huty Sered' (cukrovar severne od Niklovej huty v smere proti prúdeniu podzemnej vody, poľnohospodárska aktivita, iné zdroje znečistenia).

Tento hydraulický model a model transportu kontaminácie reprezentuje hlavne vizualizáciu prúdenia podzemnej vody a transportu kontaminácie v podzemnej vode po jej prestupe z predpokladaných zdrojov znečistenia (skládky lúženca, areál závodu) do zvodnených štrkov kvartérneho veku vo forme kontaminovaného presakovania.



Obr. 24. Predpokladaný dosah kontaminácie po zhruba 60 rokoch od začiatku prevádzky závodu.

Zvolené nastavenia modelu na konfiguráciu neustálych podmienok prúdenia (*transient flow*) a transportu znečistenia (*transient transport*) podmieňujú v čase premenný prísun kontaminácie do zvodneného prostredia. Vzhľadom na to je možné predpokladať, že prúdenie konzervatívneho kontaminantu je kontrolované prúdením podzemnej vody v smere S – J a zatláčaním vody rieky Váh do štrkov kvartérneho veku. Výsledná koncentrácia kontaminantov vo väčšej vzdialenosti od zdrojov kontaminácie v smere prúdenia podzemnej vody dosiaľ nebola verifikovaná.

3.6.2. Hydrogeochemické pomery a geochemické modelovanie

Dlhodobým monitoringom environmentálnych záťaží v oblasti Serede sa potvrdilo, že aj napriek zrušeniu prevádzky podniku znečistenie pretrváva vo viacerých zložkách životného prostredia aj v súčasnosti. Špecifikom hodnotenia hydrogeochemických pomerov (znečistenia podzemnej vody) v oblasti Serede je fakt, že okrem samotného areálu závodu Niklovej huty, resp. skládky lúženca je potrebné brať do úvahy aj areál miestneho cukrovaru s celým radom neizolovaných rozsiahlych kalových polí,

početné divoké skládky komunálneho odpadu, nefunkčné poľné hnojiská či nadmerné aplikácie agrochemikálií a neodkanalizované obce. To všetko dnes už desiatky rokov zhoršuje kvalitu zložiek prírodného prostredia nielen v južnom okolí Serede a Dolnej Stredy, ale v celom širšom území až po Galantu (Klaučo et al., 1994; Kordík et al., 2015).

Pre hlavné dva zdroje znečistenia, skládku lúženca a trosky, je charakteristické, že ich tvorí prevažne málo rozpustný až inertný materiál. Ide pritom o materiál pelitickej povahy, ktorý dobre kolmatuje, a teda aj utesňuje podložie

skládok. Hlavnými zdrojmi znečistenia na oboch skládkach nebol samotný ukladací materiál, ale jeho dopravné médium – technologicky silne znečistená dopravná voda hydrotransportu. Jej voľné vsakovanie do podzemnej vody cez ešte neutesnené časti oboch skládok bolo v minulosti rozhodujúcou príčinou podstatného zhoršenia kvality podzemnej vody. Z hľadiska znečisťovania podzemnej vody v súčasnosti je potrebné zdôrazniť, že po skončení výroby niklu vo februári 1993 a kobaltu v júni 1993 sa používanie znečistenej vody definitívne skončilo, čím vlastne zanikol rozhodujúci zdroj znečistenia.

Obe skládky dnes predstavujú už len potenciálne zdroje znečistenia, ktorých kontaminantom je vyžrážaná minerálna časť z dopravnéj vody, a to sú amónne a sulfátové soli. Tieto soli vznikli vyparovaním dopravnéj vody pri vysychaní sedimentovaného materiálu a vyplňajú priestor medzi inertnými čiastočkami lúženca či popolčeka. Transport tohto znečistenia do podzemnej vody je do značnej miery blokovaný kolmatačnou vrstvou, ktorá sa vytvorila pod telesom oboch skládok v minulosti. Najväčší podiel na znečistení podzemnej vody majú amónne a síranové ióny. V oblasti Dolnej Stredy dosahuje obsah síranov 900 – 1 000 mg · l⁻¹, Ni 5 – 30 mg · l⁻¹, v oblasti pod skládkou lúženca až do vzdialenosti zhruba 1 000 m južne obsah síranov je 400 – 700 mg · l⁻¹, resp. NH₄⁺ 15 – 70 mg · l⁻¹ (Klaučo et al., 1994).

Koncentrácia anorganických zložiek vrátane stopových prvkov v podzemnej vode vykazuje v širšom okolí záťaží veľkú variabilitu. Je to možné dokumentovať na hodnotách celkovej mineralizácie, ktoré sa pohybujú v intervale 362 – 2 519 mg · l⁻¹ (Kordík et al., 2016). Porovnaním výsledkov chemických analýz podzemnej vody s indikačnými (ID) a intervenčnými (IT) kritériami v zmysle smernice MŽP SR 1/2015-7 na vypracovanie analýzy rizika znečisteného územia sa potvrdilo opakované prekročenie kritérií IT v prípade amónnych iónov, dusičnanov, niklu a pri vzorke VO25-26 kobaltu a zinku.

Koncentrácia NH₄⁺ v podzemnej vode v areáli bývalej Niklovej huty sa zistila v rozsahu 4,48 až 21,7 mg · l⁻¹ (Kordík et al., 2016). Nízky obsah NH₄⁺ sa zistil v okolí troskového poľa a inundačného kanála, a to v rozmedzí 0,05 mg · l⁻¹ až 1,1 mg · l⁻¹. Hodnoty NH₄⁺ presahujúce kritériá IT sa opakovane zistili aj pod areálom bývalej Niklovej huty predovšetkým vo vode z vrtov v tesnej blízkosti skládky lúženca (od 5,6 do 42,5 mg · l⁻¹). Obsah NH₄⁺ vyšší ako kritérium IT sa zistil aj vo vrtach vzdialených 1 až 2,5 km od skládky lúženca smerom na JJV v smere generálneho prúdenia podzemnej vody.

Koncentrácia dusičnanov v podzemnej vode sa pohybuje v rozsahu 0,5 až 267 mg · l⁻¹, pričom v okolí skládky lúženca sa zistili nízke hodnoty NO₃⁻ (1,1 až 9,4 mg · l⁻¹). Vrtv v okolí poľnohospodársky využívaných plôch majú zvýšený obsah NO₃⁻. V areáli bývalej Niklovej huty a v okolí troskového poľa a inundačného kanála sa obsah NO₃⁻ v podzemnej vode pohybuje v rozsahu 1,2 až 94,4 mg · l⁻¹.

Koncentrácia síranov v podzemnej vode sa zistila v rozsahu 8,8 až 3 237 mg · l⁻¹. Najnižšia hodnota bola nameraná vo vrte VR25-18 v areáli bývalej Niklovej huty, najvyššie hodnoty sa opakovane zistili vo vzorke vody z vrtu

VN25-26 (situovaný približne 320 m jv. smerom od vrtu VR25-15), a to v rozsahu od 864 až do 3 237 mg · l⁻¹. Vysoké hodnoty SO₄²⁻ sa prejavujú vo vode z vrtov v okolí skládky lúženca južne od vrtu VN25-26, a to v rozsahu od 240 do 1 145 mg · l⁻¹. Pri inundačnom kanáli a troskovom poli sa vo vode z vrtov VN25-5 a VN25-6 zistil relatívne nízky obsah SO₄²⁻, od 22,9 do 69,8 mg · l⁻¹ (Kordík et al., 2016).

Zvýšená koncentrácia niklu sa opakovane zistila vo viacerých vzorkách podzemnej vody, pričom v niektorých prípadoch obsah Ni mnohonásobne presiahol kritérium IT (0,2 mg · l⁻¹). Najvyššie hodnoty sa zistili vo vrte VN25-26, a to v rozsahu 29,6 až 80,5 mg · l⁻¹. V tomto vrte sa zistil aj vysoký obsah kobaltu v rozsahu 0,41 až 1,1 mg · l⁻¹ a zinku 14 až 38 mg · l⁻¹. Obsah Ni opakovane prevyšujúci hodnoty ID a IT sa zistil aj v podzemnej vode vrtov VR25-25 a VN25-4, a to v rozsahoch 197 až 772 µg · l⁻¹ (VR25-25), resp. 206 µg · l⁻¹ až 415 µg · l⁻¹ (VN25-4). Znečistenie podzemnej vody Ni je zvyčajne výrazne eliminované na pomerne krátkej vzdialenosti od zdroja kontaminácie (napríklad vo vode z vrtov južne od skládky lúženca VN24-5, VR24-5 až VR24-7 nebol Ni analyticky zistiteľný).

Na riešenie vzájomných vzťahov medzi analyzovanými ukazovateľmi bola využitá faktorová analýza (normalizácia a rotácia typu VARIMAX). Z tých ukazovateľov, ktoré vzájomne úzko súvisia, sú vytvorené tzv. faktory, čím sa redukuje počet premenných na menší počet faktorov. Výsledná faktorová štruktúra je zdokumentovaná v tab. 15. Faktorová štruktúra na základe *scree* testu obsahuje tri faktory. Tie zjednodušene združujú najtesnejšie vzťahy v skúmanom súbore údajov. Prvý faktor tvorí vysoká saturácia železa, mangánu, niklu a zinku. Predstavuje prakticky redukčné prostredie a spoločný výskyt týchto zložiek v podzemnej vode. Druhý faktor je zastúpený vysokou saturáciou hydrogenuhličitanov, celkového organického uhlíka a chemickej spotreby kyslíka. Vysokú saturáciu predstavujú aj formy dusíka – amónne ióny (0,539), resp. dusičnany (záporná saturácia -0,525) a draslík (0,679). Tento faktor pravdepodobne súvisí s prechodom medzi jednotlivými formami dusíka. Tretí faktor zastupuje vysoká saturácia vápnika a horčíka a naznačuje význam karbonátovej rovnováhy v danom systéme voda – hornina.

Tab. 15. Výsledná faktorová štruktúra.

	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3
pH	-0,135	-0,036	-0,236
NH ₄ ⁺	-0,053	0,539	0,256
Cl ⁻	-0,145	-0,330	0,682
NO ₂ ⁻	-0,163	-0,525	0,478
SO ₄ ²⁻	0,571	0,035	0,601
HCO ₃ ⁻	0,037	0,892	0,262
Na ⁺	0,554	0,326	0,530
K ⁺	0,162	0,679	-0,026
Ca ²⁺	0,320	0,205	0,730
Mg ²⁺	-0,048	0,215	0,800
Fe	0,655	0,440	-0,058
Mn ²⁺	0,964	0,117	0,053
SiO ₂	0,060	0,100	0,358
TOC	0,072	0,736	0,200
ChSK _{Mn}	0,295	0,757	-0,078
Ni	0,967	0,067	0,141
Zn	0,968	0,048	0,135

Ako už bolo uvedené, vysoká koncentrácia Ni, prípadne iných stopových prvkov (Zn, Co) bola sledovaná len v ohraničenom priestore (napr. bezprostredné okolie vrtov VN25-26, VR25-25 a VN25-4), na území v pomerne krátkej vzdialenosti od zdrojov kontaminácie. Pri analýze tohto zistenia bol použitý termodynamický model PHREEQC s databázou Ilnl. Výsledok modelovania preukázal, že podzemná voda z vrtu VN25-4 je presýtená Ni_2SiO_4 (SI = 1,64) a trevoritom (NiFe_2O_4 , SI = 14,62). To by znamenalo, že k migrácii niklu by za daných podmienok nemalo dochádzať. Po vyhlbení vrtu VN25-4 v roku 2014 sa v počiatočných fázach monitorovania zistil vyšší obsah niklu, ktorý sa postupne znižoval. Podobné zistenie urobili vo svojej práci aj Klaučo et al. (1994).

Zaujímavé výsledky prinieslo modelovanie hlavných geochemických procesov interakcie voda – hornina (tab. 16). V rámci modelovania sa preukázal vzťah medzi Fe a Ni a je pravdepodobné, že nikel je okrem pevnej fázy viazaný aj na hydroxidy železa pri oxidačných podmienkach. Dokumentuje to aj nasýtenie prakticky všetkých monitorovaných vrtov okrem vrtu VR24-2 minerálnou fázou böhmitom. S ohľadom na sadrovec je všetka podzemná voda aj napriek pomerne vysokému obsahu v niektorých častiach územia nedosýtená touto minerálnou fázou. Termodynamická analýza dokumentuje aj veľký význam karbonátovej rovnováhy. Už Klaučo et al. (1994) sa domnievali, že kolmatácia podložia lúženca je spôsobená vyzrážaním karbonátových fáz. V súčasnosti možno povedať, že prevažná väčšina vôd je v rovnováhe, resp. mierne presýtená kalcitom a dolomitom. Výnimku tvorí voda, ktorej hodnota pH je okolo 7 a nižšia. Tá je vo vzťahu k uvedeným fázam nedosýtená.

Geochemické procesy, ktoré prebiehajú v smere prúdenia podzemnej vody v skúmanej oblasti, boli modelované pomocou programu PHREEQC metódou inverzného modelovania. Vstupnými informáciami boli chemické analýzy podzemnej vody z vrtov VN25-3 a VN24-6. Úlohou bolo zistiť mineralizačné procesy prebiehajúce od vrtu VN25-3 k vrtu VN24-6. Miera neistoty bola stanovená na 0,05, čo znamená, že tieto procesy budú prebiehať s 95 % pravdepodobnosťou vzhľadom na stechiometriu reakcií a počiatočného a konečného chemického zloženia podzemnej vody.

Výsledok inverzného modelovania: Fázami, ktoré sa budú tvoriť, resp. uvoľňovať z vody, sú v mólových hodnotách plynný CO_2 (–0,031), tvorba manganitu (–0,027), väzba Ca na ílové minerály (–0,025) a únik NH_3 v plynnej forme (–0,002 7). Zároveň sa bude rozpúšťať kalcit (0,024) a goethit (0,001 2). Tento pomerne zložitý geochemický systém má svoje pravidlá a prebieha za daných zmien termodynamických podmienok. Organická hmota bola pri tom simulovaná pomocou zjednodušenej molekuly CH_2O . Pri daných reakciách nastáva ešte mólový transfer Fe^{3+} (0,001 2), N^{3-} (–0,001 3) a S^{2-} (–0,002 3).

3.7. Využitie doplnkových geologických postupov pri monitorovaní EZ – lokalita Sered' – skládka lúženca (ID 24)

Pevný materiál zo skládky lúženca predstavujúci zdroj znečistenia podzemnej vody a pôdy bol odobraný na mikroanalýzu. Vzorky PS24-13 a PS24-14 odobrané zo západnej a južnej steny skládky lúženca sa analyzovali v laboratóriu elektrónovo-optických metód ŠGÚDŠ pomocou analýzy BSE (*back-scattered electrons*), mikroanalýzy EDAX (*energy dispersive X-ray spectroscopy*) a chemickej

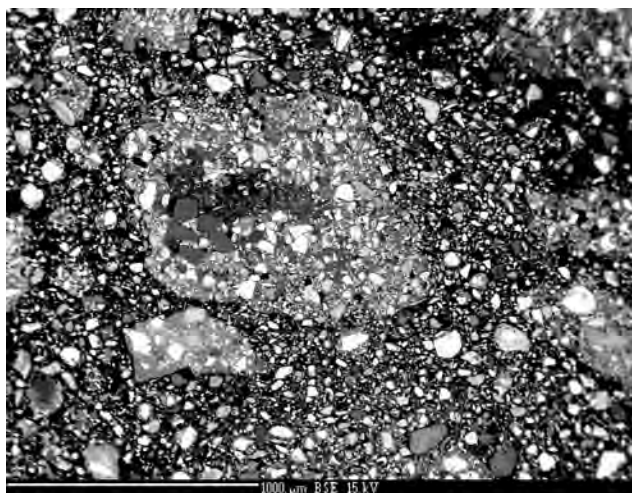
Tab. 16. Indexy nasýtenia vybraných minerálnych fáz.

Objekt	pH	Böhmit	Kalcit	Dolomit	Dolomit-dis	Dolomit-or	Sadrovec
PD25-1	7,43	2,318	–0,032	0,689	–0,917	0,698	–2,022
VN24-1	7,13	2,241	0,300	1,421	–0,215	1,430	–1,261
VN24-2	7,19	2,286	0,268	1,461	–0,172	1,469	–1,275
VN24-3	6,99	2,128	0,072	1,296	–0,340	1,305	–1,538
VN24-4	6,96	2,042	0,104	1,253	–0,382	1,261	–0,656
VN24-5	7,13	2,076	0,222	1,284	–0,356	1,293	–1,373
VN24-6	7,12	2,084	0,214	1,389	–0,245	1,398	–1,395
VN24-7	7,19	2,041	0,591	2,056	0,408	2,064	–1,792
VN25-1	6,91	2,042	0,022	0,927	–0,715	0,936	–1,301
VN25-3	7,2	2,196	0,333	1,501	–0,138	1,510	–1,218
VN25-4	6,96	2,044	0,018	0,899	–0,739	0,908	–1,353
VN25-5	7,37	2,227	0,381	1,670	0,022	1,679	–1,271
VN25-6	7,38	1,893	0,820	2,556	0,923	2,564	–1,648
VO25-2	7,24	2,266	0,359	1,901	0,269	1,910	–1,138
VO25-26	6,53	1,979	–0,517	–0,148	–1,772	–0,139	–1,767
VO25-27	7,13	2,084	0,155	1,102	–0,536	1,111	–1,264
VO25-28	7,7	1,627	0,555	2,696	1,062	2,704	–1,769
VO25-5	7,46	2,257	0,541	1,967	0,332	1,976	–1,338
VR24-2	6,91	–0,356	0,195	1,450	–0,191	1,459	–1,229

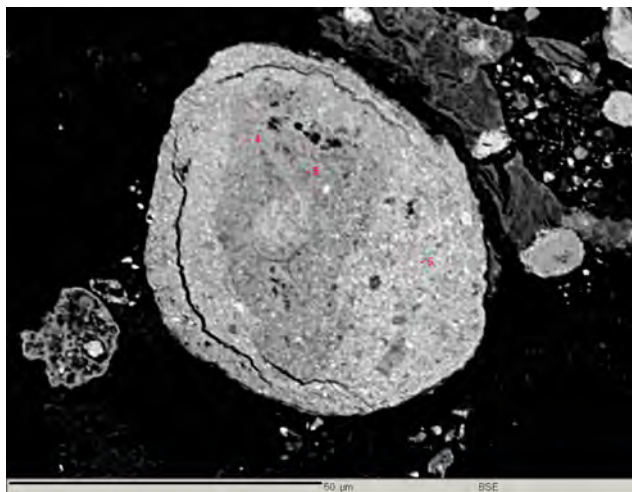
mikroanalýzy pomocou elektrónového mikroanalýzátora CAMECA SX 100 (EMP *electron microprobe*). Cieľom mikroanalýzy bolo zistiť:

- prítomnosť minerálnych fáz, ktoré odrážajú špecifické fyzikálno-chemické podmienky v odpadovom materiáli, ako karbonáty, sulfidy alebo sulfáty, Fe oxidy/hydroxidy, Al oxidy/hydroxidy, Mn oxidy/hydroxidy, resp. iné špecifické fázové systémy;
- prítomnosť a obsah ťažkých kovov vo vlastných fázach ako napr. sulfidoch alebo prítomnosť ťažkých kovov vo forme prímiesí v identifikovaných fázach;
- prítomnosť a charakter potenciálne nestabilných fáz, ktoré by v hypergenetickom prostredí dokázali nežiaduco ovplyvniť chemický systém a tým kontrolovať migráciu polutantov.

Výsledky mikroanalýzy EMP vzorky materiálu lúženca PS24-14 (lúženec-juh) sú uvedené v tab. 17. Analýzy sú prezentované vo forme hmot. % prvkov a hlavné kryštalochemické kationy sú zvýraznené hrubším písmom. Odchýlky sumy analyzovaných prvkov sú spôsobené nemožnosťou stanovenia „ľahkých“ molekúl OH^- , CO_3^{2-} alebo H_2O .



Obr. 25. Celkový pohľad na vzorku nábrusu lúženca z haldového materiálu Sereď-juh.



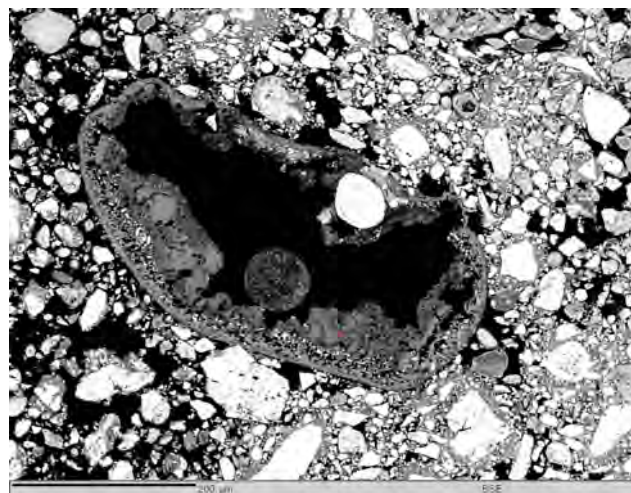
Obr. 27. Nodulárny útvar goethitu analyzovaný EMP (analýza 4, 5, 6).

Celkový pohľad na vzorku nábrusu lúženca z haldového materiálu Sereď-juh (fotografia v odrazených elektrónoch – BSE) je uvedený na obr. 25. Nespevnený materiál je tvorený kremenným pieskom, spinelmi, karbonátom a oxidmi/hydroxidmi Fe, ktoré tvoria časté autigénne nodulárne útvary.

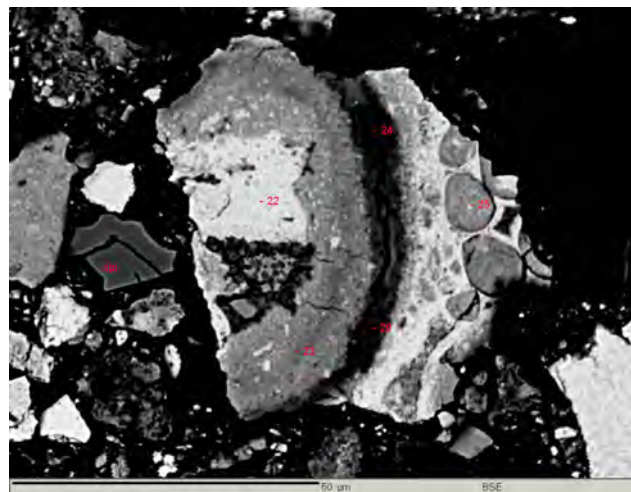
Na obrázku 26 je zobrazená cementácia pórového priestoru karbonátovou krustou vznikajúcou precipitáciou kalcitu alebo aragonitu z roztokov presýtených uhlíčanmi na kontakte s poréznym materiálom „lúžencového“ piesku. Na obrázku je znázornená pozícia analyzovaných bodov 1–, 2– a 3– (analýzy sú uvedené v tab. 17). Identifikovaná situácia dokladá Eh-pH- HCO_3^- podmienky vhodné na precipitáciu CaCO_3 .

Nodulárny útvar goethitu analyzovaný EMP (analýza 4, 5, 6) je prezentovaný na obr. 27. Fotografia je v odrazených elektrónoch (BSE), obsah Cr sa pohybuje v intervale 2,6 – 3,93 hmot. %.

Na obrázku 28 je zobrazený deformovaný, mechanicky rozpadnutý agregát goethitu a limonitu. Obsah Cr a Ni v analyzovaných bodoch (analýzy 22, 23, 25) sa pohybuje



Obr. 26. Cementácia pórového priestoru karbonátovou krustou vznikajúcou precipitáciou kalcitu alebo aragonitu z roztokov presýtených uhlíčanmi na kontakte s poréznym materiálom lúžencového piesku.



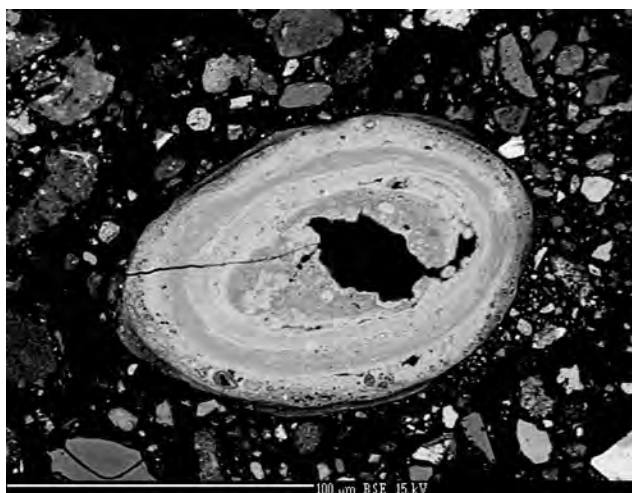
Obr. 28. Deformovaný, mechanicky rozpadnutý agregát goethitu a limonitu.

Tab. 17. Chemické mikrosondové EMP analýzy vzorky PS24-14 z haldového materiálu Sereď lúženec-juh (analýzy sú prezentované vo forme hmot. % prvkov, hlavné kryštalochemické kationy sú zvýraznené hrubším písmom).

číslo vzorky	Minerál	Si	Ca	Fe	Al	Sr	Mg	Mn	F	Na	Cl	K	Ti	Cr	Ni	As	S	Pb	Cu	Zn	O	Suma	Neanalyzované
1	kalcit/aragonit	0,033	38,439	0,562	0,022	0,016	0,104	0,1													15,663	54,94	CO ₃
2	kalcit/aragonit	0,044	35,086	0,534	0,012		0,164	0,178													14,38	50,40	CO ₃
3	kalcit/aragonit	0,147	37,724	1,551	0,106		0,089	0,038													15,835	55,49	CO ₃
4	goethit	1,425	1,422	52,256	3,875		0,285	0,102	0,073		0,248	0,02	0,075	3,929	0,093	0	0,039		0,026	0,042	22,796	86,71	H ₂ O/OH
5	goethit	1,794	0,707	50,42	3,84		0,267	0,101		0,028	0,201	0,017	0,075	3,832	0,157	0	0,021	0,032	0,02		22,307	83,83	H ₂ O/OH
6	goethit	1,054	0,78	57,818	2,691		0,169	0,361	0,164	0,032	0,217	0,015	0,085	2,6	0 150	0	0,016	0,016	0,001	0,025	22,03	88,22	H ₂ O/OH
7	goethit/hematit	1,398	0,141	67,451	0,458		0,118	0,049	0,221	0	0	0	0,018	0,841	0,523	0	0,012	0,012	0	0,027	22,04	93,31	H ₂ O/OH
8	goethit/hematit	0,587	0,079	66,736	1,723		0,047	0,23	0,258	0,022	0	0	0,031	1,099	0,095	0	0,011	0,021	0,024	0	22,035	93,0	H ₂ O/OH
9	chromit	0	0,037	14,847	5,099		3,512	0,407	0		0		0,019	44,848	0,045		0		0	0,237	32,023	101	
10	goethit/limonit	2,435	0,391	58,221	2,035		0,238	0,14	0,115	0	0,062	0	0,028	0,592	0,042	0	0,032	0,05	0,037	0	21,982	86,4	H ₂ O/OH
11	spinel	0,596	0,119	63,895	2,591		0,037	0,327	0,22			0	0,023	1,98	0,267	0		0,012		0	22,47	92,55	
12	goethit	2,084	0,361	59,673	1,838		0,161	0,155	0,176	0,022	0,064	0	0,038	1,406	0,015	0	0,029	0,048			22,137	88,22	H ₂ O/OH
13	goethit	1,808	0,3	53,689	3,015		0,323	0 234	0,052	0,018	0,117	0	0,266	4,357	0,1	0	0,042	0	0	0,019	22,812	87,15	H ₂ O/OH
14	goethit	1,654	0,312	51,745	1,933		0,286	0,292	0,09	0,026	0,182	0	0,081	2,064	0,099	0	0,041	0,036			19,936	78,79	H ₂ O/OH
15	kalcit/aragonit	0,009	41,144	0,633	0		0,001	0,005	0	0	0,055	0	0	0,015	0	0		0,024			16,631	58,53	CO ₃
17	goethit/hematit	0,596	0,098	65,158	1,495		0,05	0,409	0,246		0,014	0	0,026	1,983	0,183	0	0,012	0,013		0,027	21,88	92,20	H ₂ O/OH
18	goethit	2,205	0,381	57,922	1,534		0,162	0,197	0,143	0	0,213		0,029	2,311	0 008		0,034	0,042	0	0,013	21,935	87,13	H ₂ O/OH
19	goethit	1,428	0,306	49,559	1,4		0,468	0,178	0,023		0,161			2,169	0,066	0	0,019		0	0,023	18,608	74,42	H ₂ O/OH
20	goethit	2,342	0,37	48,38	2,25		0,239	0,106	0,038		0,182	0		1,808	0,029	0	0,027	0,026	0		19,756	75,57	H ₂ O/OH
21	olivín	22,57	0,208	5,811	0,037		26,776	0,044	0	0,022	0,026		0	0,062	0,392	0,391	0	0,024	0	0,019	45,496	101,9	
22	goethit	0,413	0,116	62,396	2,191		0,018	1,096	0,165	0	0,011	0	0,183	2,764	0,091	0	0,013	0		0	22,118	91,58	H ₂ O/OH
23	goethit/limonit	6,127	0,451	42,032	11,4		1,03	0,451	0	0,077	0,048	0,016	0,12	1,563	0,486	0	0,009		0	0	31,13	94,95	H ₂ O/OH
24	goethit/limonit/íl	12,143	0,529	22,497	12,635		6,906	0,236	0	0,121	0,118	0,026	0	0,623	1,458	0,035	0,021	0,016	0,049	0,044	37,152	94,61	H ₂ O/OH
25	goethit/limonit	4,52	0,257	48,401	7,569		0,85	0,922	0	0,055	0,042	0	0,196	2,091	0,557	0	0,021			0,013	27,982	93,49	H ₂ O/OH
26	goethit/limonit/íl	12,765	0,536	21,581	12,603		7,165	0,246	0	0,057	0,161	0,019	0	0,613	1,374	0,038		0,016	0,019	0,036	37,658	94,89	H ₂ O/OH
27	goethit	5,44	0,319	55,006	2,573		2,582	0,289	0	0,082	0,024	0	0,133	1,345	1,312	0	0,014	0,044		0,029	27,286	96,49	H ₂ O/OH
28	goethit	2,965	0,317	47,177	4,988		0,718	0,268	0,013		0,088	0	0,358	0,879	0,138	0	0,02	0		0,031	22,734	80,71	H ₂ O/OH
29	spinel	4,709	0,262	58,223	2,75		1,244	0,475	0	0	0,018	0	0,066	1,141	1,045	0	0,018	0,031	0	0,015	26,444	96,441	
30	goethit	0,666	0,666	62,634	1,852		0,533	0,341		0,112	0	0	0,047	1,187	1,29	0	0,012	0,036		0,033	22,066	91,482	

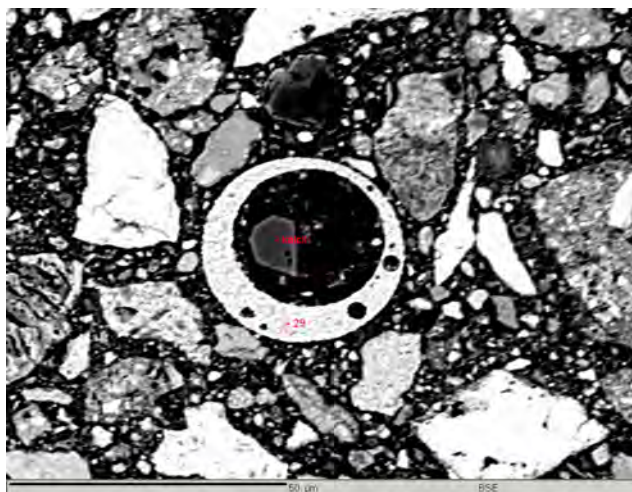
v rozsahu 1,56 – 2,76 hmot. % Cr, resp. 0,9 – 0,56 hmot. % Ni, zatiaľ čo analýzy 24 a 26 udávajú ~ 1,4 hmot. % Ni pri nízkom obsahu Cr (0,61, resp. 0,62 hmot. %). Analýzy 24 a 26 sú zmesové analýzy limonitu a ílu (fotografované v odrazených elektrónoch – BSE).

Pohľad na agregát goethitu, ktorý vzniká precipitáciou oxidov/hydroxidov Fe v pórovom priestore lúžencového piesku, je prezentovaný na obr. 29. Okraje agregátu sú staršie a precipitácia postupuje smerom do centra redukovaného pórového priestoru (fotografia v odrazených elektrónoch – BSE).



Obr. 29. Pohľad na agregát goethitu, ktorý vzniká precipitáciou oxidov/hydroxidov Fe v pórovom priestore lúžencového piesku.

Na obrázku 30 je zobrazený prázdny sférický útvar, ktorý je produktom kryštalizácie silikátovej taveniny a dokladá procesy tavenia kremičitanov pri intenzívnom horení. Analogické útvary sa nachádzajú v haldovom popolčeku zo spaľovni uhlia. Vykryštalizovaná svetlá časť sférického útvaru obsahuje hojné drobné kryštály spinelu s vysokým obsahom Cr a Ni (analýza 29). Prázdny pórový priestor reprezentuje stopy po unikani plynnej fázy z kryštalizujúcej kremičitanovej taveniny.



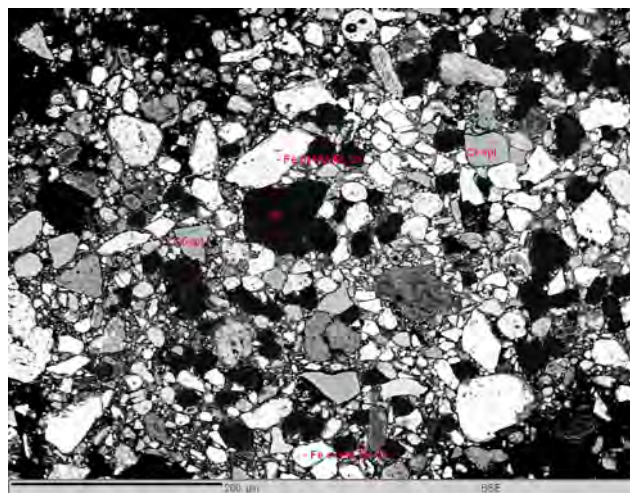
Obr. 30. Prázdny sférický útvar – produkt kryštalizácie silikátovej taveniny vznikajúcej tavením silikátového materiálu pri spaľovaní.

Dôležité zistenia mikroanalýzy vzorky PS24-13 zobrazujú obr. 31 až 34.

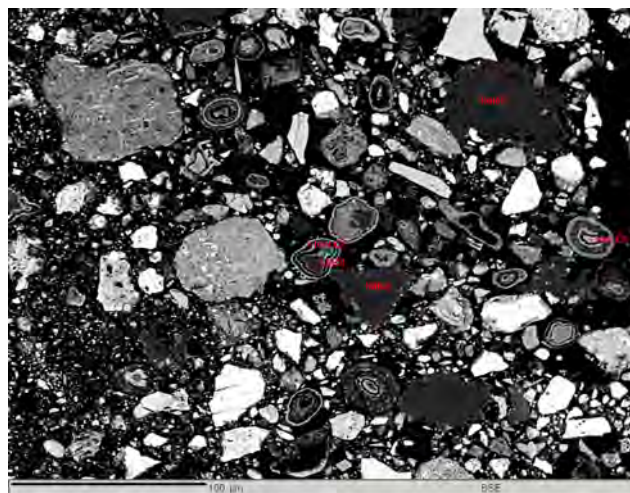
Pohľad na nábrusový preparát lúžencového materiálu z hľad západnej časti je prezentovaný na obr. 31 a 32. Nespevnený materiál je zaliaty v organickej živici. Na obrázku 31 hlavnú detritickú zložku lúžencového materiálu tvorí angulárny kremeň a hojný Cr-spinel. K detritickej zložke pristupuje autigénny goethit, ktorý kontroluje chemickú distribúciu voľného chrómu, t. j. Cr neviazaného kryštalochemicky na detritický Cr-spinel. Na obrázku 32 v lúžencovom materiáli pozorujeme hojné sférické zonálne agregáty autigénneho goethitu s karbonátovými CaCO_3 jadrami. CaCO_3 karbonát vystupuje aj samostatne mimo goethitových agregátov a dokladá stabilitu fyzikálnych Eh-pH- HCO_3^- hodnôt pre stabilitu Ca-karbonátu.

Detail sférického zonálneho autigénneho agregátu goethitu je zobrazený na obr. 33 a detail autigénneho agregátu goethitu s karbonátovým jadrom na obr. 34 (svedčí o posune rovnováhy smerom k podmienkam podporujúcim karbonátovú precipitáciu).

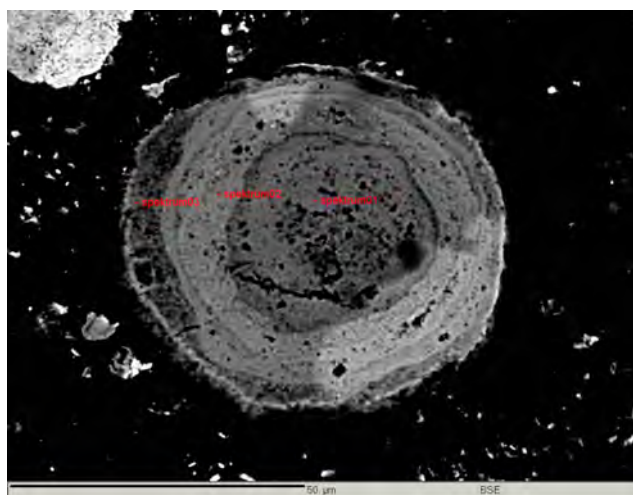
Zmenu chemického zloženia v jednotlivých vrstvách dokumentujú EDAX spektrá (obr. 35). Cr je principiálnou kryštalochemickou zložkou goethitu, t. j. potenciálna remobilizácia chrómu je kontrolovaná stabilitou goethitu.



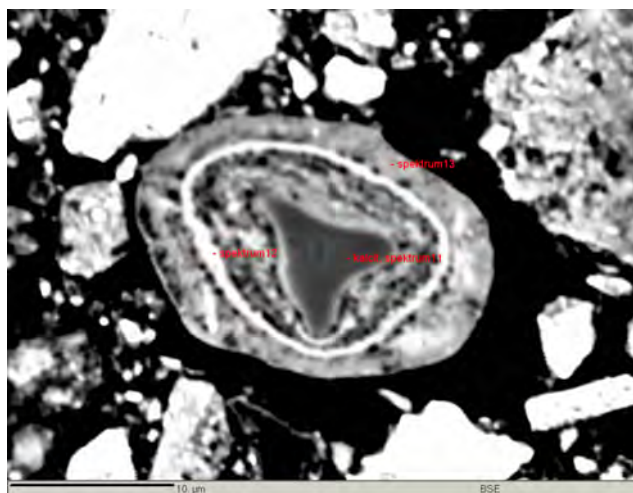
Obr. 31. Pohľad na nábrusový preparát lúžencového materiálu z hľad západnej časti.



Obr. 32. Pohľad na nábrusový preparát lúžencového materiálu z hľad západnej časti.



Obr. 33. Detail sférického zonálneho autigénneho agregátu goethitu.



Obr. 34. Detail autigénneho agregátu goethitu s karbonátovým jadrom.

Závery mikroanalýzy

Nespevnený materiál lúžencového piesku tvoria úlomky kremeňa, spinelu, autigénneho goethitu, limonitu a karbonátu. Autigénne minerálne fázy, resp. ich agregáty majú permanentne vyšší obsah Cr a Ni. Cr a Ni ako potenciálne toxické katióny predstavujú environmentálne riziko haldového materiálu. Cr a Ni sa viažu na minerály goethitu, resp. limonitové agregáty, čo dokladá sorpčnú a adsorpčnú úlohu goethitu ako fázy, ktorá kontroluje potenciálnu mobilizáciu Cr a Ni.

EMP analýzy dokumentujú systematickú prítomnosť halogénov F a Cl, ktoré sa kryštalochemicky viažu na autigénne agregáty goethitu. Zdrojom F a Cl je pravdepodobne samotná technická úprava haldového materiálu.

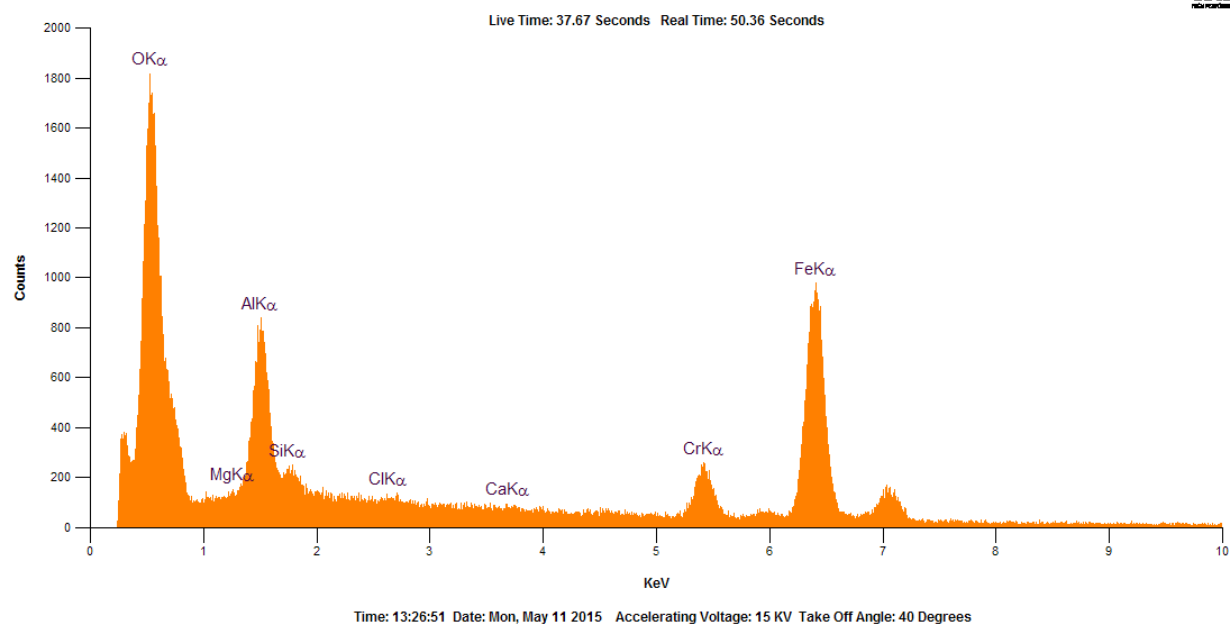
V nespevnenom materiáli lúženca boli identifikované nodulárne útvary karbonátu CaCO_3 , ktoré dokladajú Eh-pH- HCO_3^- podmienky priaznivé na karbonátovú precipitáciu. Asociácia $\text{FeO(OH)}-\text{CaCO}_3$ konkretizuje súčasné fyzikálno-chemické podmienky intergranulárnych roztokov, ktoré perkolujú materiál haldového lúženca.

4. ZÁVER

Hlavným cieľom úloh spojených s monitorovaním environmentálnych záťaží realizovaných ŠGÚDŠ je návrh a realizácia monitorovacích systémov vybraných EZ na Slovensku. V rámci monitorovania sa realizujú viaceré činnosti od spracovania archívnych materiálov a vytvorenia účelového geologického informačného systému monitorovania EZ, zostavenia a aktualizácie koncepčných modelov jednotlivých EZ cez návrh a aktualizáciu programov monitorovania a samotnú realizáciu monitorovania (odbery vzoriek, terénne merania a laboratórne práce) až po vyhodnocovanie výsledkov.

Pri monitorovaní environmentálnych záťaží má vo väčšine prípadov ako transportné médium najväčší význam

WINEDS
WINING & NEDS



Obr. 35. EDAX spektrum autigénneho goethitu.

podzemná voda, resp. v špecifických podmienkach (napr. skládky tzv. údolného typu) to môže byť aj povrchová voda. V rokoch 2012 až 2018 sa z podzemnej vody odobralo na chemickú analýzu viac ako 7 000 vzoriek, z toho z vrtov vybudovaných v rokoch 2014 – 2015 celkovo 5 159 vzoriek, z vrtov rekonštruovaných v rokoch 2014 – 2015 celkovo 1 045 vzoriek a z iných starších vrtov 897 vzoriek, resp. iných zdrojov podzemnej vody (studne, pramene atď.) 343 vzoriek. Z povrchovej vody bolo na chemickú analýzu v tomto období odobraných 1 206 vzoriek.

V chemickom zložení vôd prevláda pri katiónoch makroprvkov zastúpenie vápnika, sodíka, horčíka a draslíka. Pri aniónoch dominujú hydrogenuhličitan, nasledujú sírany, chloridy a dusičnany. Základné chemické zloženie vôd v oblastiach EZ je často zmenené a posúva sa zo štandardných typov (napr. Ca-Mg-HCO_3) k typom s výraznejším zastúpením látok sekundárneho pôvodu (Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-}). Prejavuje sa to na častom výskyte antropogénne zmenených typov vôd, ako sú napr. Ca-Na-Cl-HCO_3 , $\text{Ca-Mg-HCO}_3\text{-SO}_4$ atď. Znečistenie sa často prejavuje aj zvýšením celkového obsahu rozpustených látok (najvyššia koncentrácia rozpustených látok dosiahla až vyše 10 000 $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$).

So znečistením zo skládok, ako aj niektorých iných druhov kontaminácie súvisí častý výskyt zvýšeného obsahu B, Cl^- , NH_4^+ a ChSK_{Mn} , resp. zvýšených hodnôt vodivosti, a to aj viac ako kritériá IT alebo ID podľa smernice MŽP SR č.1/2015-7. Z organických látok sa na sledovaných lokalitách EZ (asi 25 %) javia ako najproblematickejšie chlórované alifatické uhľovodíky, najmä cis-1,2-dichlóretén, dichlórmethán, tetrachlóretén, trichlóretén a chlórétén. Menej často sa zistil rizikový obsah látok zo skupiny PAU, resp. ropných látok stanovovaných ako uhľovodíkový index C_{10-40} .

Pre Slovensko je typické prekročenie kvalitatívnych kritérií niektorých stopových anorganických prvkov. Arzén a antimón najmä v dôsledku zaradenia banských lokalít do monitorovania prekračujú indikačné alebo intervenčné kritériá na 15, resp. 14 lokalitách (As) a 10, resp. 12 lokalitách (Sb). Zvýšený obsah arzénu sa spája aj s priemyselnou činnosťou (napr. lokalita Nováky – NCHZ – ID 1).

Na vysokú mieru znečistenia poukázali aj výsledky účelových stanovení chemických látok v pevných materiáloch (zeminách/horninovom prostredí, pôdach, riečnych/dnových sedimentoch). Zo stopových prvkov až na 19 lokalitách sa zistilo prekročenie hodnoty IT ($140 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) arzénu. Ide predovšetkým o banské lokality (Pernek – ID 86, ID 89, ID 92, Banská Štiavnica – ID 90, ID 152, Partizánska Ľupča – Magurka – ID 78, ID 79, Špania Dolina – ID 77, Ľubietová – ID 97), ale aj rôzne skládky odpadu (Dobšiná – ID 93, Chemosvit Svit – ID 56, Poša – ID 29, Medzibrodie nad Oravou – ID 51, Predajná – ID 58 a 59). Podobná situácia je aj v prípade antimónu, kde sa prekročenie hodnoty IT ($80 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) zistilo na 13, predovšetkým banských lokalitách (Partizánska Ľupča – Magurka – ID 78 a 79, Liptovská Dúbrava – ID 13 a 14, Špania Dolina – ID 77, Pernek – ID 86, 89 a 92), menej na skládkach odpadu (Dobšiná – ID 93, Predajná – ID 58 a 59, Medzibrodie nad Oravou – ID 51, Podtureň – ID 57) a v priemyselných oblastiach (Košice – areál U.S. Steel Košice – ID 135). Potvrdilo sa, že odpad z banskej činnos-

ti býva zdrojom aj ďalších kontaminantov, hlavne Cd, Cu, Pb a Zn. Z organických látok sa až na 27 lokalitách zistilo prekročenie hodnoty IT ($500 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ sušiny) ukazovateľa NELui. Najvýraznejšie sa toto znečistenie prejavilo na lokalitách Zvolen – Železničné opravovne a strojárne (ID 60), Medzev – Strojsmalt (ID 156), Bratislava – Chemika (ID 4), Bratislava – SPP (ID 46), Bratislava – Gumon (ID 5), Bratislava – Malý Dunaj – vtokový objekt (ID 138), Unín – zberné naftové stredisko Cunín (ID 95), Ružomberok – tehelňa (ID 113) a Kežmarok – OKTAN (ID 31).

Využitie modelovania pri monitorovaní EZ je prezentované z oblasti Serede. Zostavený hydraulický model a model transportu kontaminantov reprezentuje hlavne vizualizáciu prúdenia podzemnej vody a transportu kontaminácie v podzemnej vode po jej prestupe z predpokladaných zdrojov znečistenia (skládka lúženca, areál závodu) do zvodnených štrkov kvartérneho veku vo forme kontaminovaného presakovania. Zvolené nastavenie modelu podmienuje v čase premenný prísun kontaminácie do zvodneného prostredia. Prúdenie konzervatívneho kontaminantu je kontrolované prúdením podzemnej vody v smere S – J a zatláčaním vody rieky Váh do štrkov kvartérneho veku. V rámci geochemického modelovania sa preukázal vzťah medzi Fe a Ni a je pravdepodobné, že nikel je okrem pevnej fázy viazaný pri oxidačných podmienkach aj na hydroxidy železa. Dokumentuje to aj nasýtenie prakticky všetkých monitorovaných vrtov okrem vrtu VR24-2 minerálnou fázou böhmitom. S ohľadom na sadrovec je všetka podzemná voda aj napriek pomerne vysokému obsahu v niektorých častiach územia nedosýtená touto minerálnou fázou.

Prítomnosť minerálnych fáz, obsah ťažkých kovov, resp. prítomnosť a charakter potenciálne nestabilných fáz v skládkovom materiáli lúženca v Seredi sa zisťovala pomocou analýzy BSE, mikroanalýzy EDAX a chemickej mikroanalýzy. Nespevnený materiál lúžencového piesku tvoria úlomky kremeňa, spinelu, autigénneho goethitu, limonitu a karbonátu. Autigénne minerálne fázy, resp. ich agregáty majú permanentne vyšší obsah Cr a Ni. Cr a Ni ako potenciálne toxické katióny predstavujú environmentálne riziko haldového materiálu. Cr a Ni sa viažu na minerály goethitu, resp. limonitové agregáty, čo dokladá sorpciu a adsorpciu úlohu goethitu ako fázy, ktorá kontroluje potenciálnu mobilizáciu Cr a Ni.

Pod'akovanie

Príspevok vznikol s podporou projektu Operačného programu životné prostredie *Monitorovanie environmentálnych záťaží na vybraných lokalitách Slovenskej republiky*, ktorý bol spolufinancovaný Európskou úniou/Kohéznym fondom (ITMS kód: 24140110231), a s podporou projektu financovaného zo zdrojov Operačného programu Kvalita životného prostredia s názvom *Zabezpečenie monitorovania environmentálnych záťaží Slovenska – 1. časť* (ITMS kód: 310011A874).



OPERAČNÝ PROGRAM
KVALITA ŽIVOTNÉHO PROSTREDIA



Európska únia
Spoločný fond regionálneho rozvoja



5. LITERATÚRA

- Akankpo, A. O. a Igboekwe, M. U., 2011: Monitoring Groundwater Contamination Using Surface Electrical Resistivity and Geochemical Methods. *J. Water Res. Protect.*, 3, 318 – 324.
- Auxt, A., Jurkovič, L., Šottník, P., Bačík, M., Sekula, P. (Ing.), Sekula, P. (Mgr.), Peťková, K., Brčeková, J., Komoň, J., Varga, M. a Voleková, B., 2015a: Prieskum environmentálnej záťaže KS (012)/Poproč – Petrova dolina, SK/EZ/KS/353, záverečná správa s analýzou rizika, podrobný GP ŽP. Názov geologickej úlohy: Prieskum environmentálnych záťaží na vybraných lokalitách Slovenskej republiky. Bratislava, Cenvis; Banská Bystrica, HES-COMGEO, 77 s.
- Auxt, A., Kotuč, J., Leššo, J., Bačík, M., Sekula, P. (Ing.), Sekula, P. (Mgr.), Komoň, J., Hojnoš, M., Varga, M., Bašista, J., Hrabčák, M. a Polčan, I., 2015b: Prieskum environmentálnej záťaže Smolník – ťažba pyritových rúd (SK/EZ/GL/237), záverečná správa geologickej úlohy s analýzou rizika, podrobný GP ŽP. Názov geologickej úlohy: Prieskum environmentálnych záťaží na vybraných lokalitách Slovenskej republiky. Bratislava, Cenvis; Banská Bystrica, HES-COMGEO, 140 s.
- Auxt, A., Kotuč, J., Bačík, M., Leššo, J., Šottník, P., Jurkovič, L., Peťková, K., Sekula, P. (Mgr.), Komoň, J., Polčan, I. a Sekula, P. (Ing.), 2015c: Prieskum environmentálnej záťaže VT (018)/Merník – ortuťové bane (SK/EZ/VT/1024), záverečná správa s analýzou rizika, podrobný GP ŽP. Názov geologickej úlohy: Prieskum environmentálnych záťaží na vybraných lokalitách Slovenskej republiky. Bratislava, Cenvis; Banská Bystrica, HES-COMGEO, 80 s.
- Auxt, A., Oroszlány, J., Ingár, K., Šuchová, M., Podhorská, M. a Červeňan, M., 2018: Sanácia areálu SLOVNAFT, a. s. – prevádzka Holíč, sanácia environmentálnej záťaže, monitorovanie GF ŽP (posanačný monitoring). Banská Bystrica, HES-COMGEO, 43 s.
- Bachňák, M., 2019: TESLA Stropkov a. s. – stará environmentálna záťaž, Monitoring za rok 2018, doplnkový GP ŽP. Rožňava, ENVEX – Ing. Marián Bachňák, 17 s.
- Brown, Jr., E. G., Rodriguez, M. a Ingenito, M. B., 2014: Well design and construction for monitoring groundwater at contaminated sites. *California Environment. Protection Agency*, 91 s.
- Cooper, H. H. a Jacob, C. E., 1946: A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well field history. *Amer. Geophys. Union Trans.*, 27, 526 – 534.
- Čopan, J., Sottner, K., Raschman, R., Polák, M., Chovanec, J., Kubricht, J. a Keklák, V., 2009: Bratislava – ISTROCHEM – prieskum znečistenia environmentálnych záťaží – Základný závod, podrobný GPŽP. Bratislava, DEKONTA, 233 s.
- Čurlík, J., Šefčík, P. a Šurina, B., 1998: Metodika pre zostavenie pôdnych a pedogeomorfických máp. Bratislava, VÚPÚ, 50 s.
- DSITI, 2017: Using monitoring data to assess groundwater quality and potential environmental impacts. Version 1. Department of Science, Information Technology and Innovation (DSITI), Queensland Government, Brisbane, 53 s.
- Fričovský, B., Fričovská, J., Fordinál, K., Kordík, J. a Slaninka, I., 2017: Conceptual Site Model of the Lubina – Palčokove Landfill Environmental Loading: A Synthesis and Outcomes of a Short-term Seasonal In-situ and Analytical Measurements. *Acta Fac. Ecol. J. Fac. Ecol. Environ. Sci. Tech. Univ. Zvolen*, 34, 15 – 30.
- Gálišová, M., Koranda, K., Valenta, J. a Výtisková, D., 2013: Odstránenie environmentálnej záťaže ES 110/22 kV Krompachy, monitorovanie geologických faktorov životného prostredia, posanačný monitoring za rok 2011 – 2012. Praha, A.S.A., 12 s.
- Golder Associates, 2010: Groundwater investigation in site assessment. 2nd edition. Technical guidance for contaminated sites, 63 s.
- Gregor, T., Pivovarci, M., Zlocha, M., Vybíral, V., Čapo, J., Lanc, J., Kováčik, M., Bednarik, M. a Hrabínová, J., 2008: Použitie diaľkového prieskumu Zeme pri sledovaní environmentálnych záťaží na geologické činitele vo vybraných regiónoch Slovenskej republiky. Bratislava, SENSOR, 171 s.
- Chovanec, J., Machlica, A., Keklák, V., Kubricht, J. a Jusková, E., 2011: Bratislava – Sanácia areálu Istrochem – 1. etapa – časť prieskum znečistenia, záverečná správa z prieskumu environmentálnej záťaže, podrobný geologický prieskum životného prostredia. Bratislava, DEKONTA, 142 s.
- Ingár, K. a Auxt, A., 2017: Nováky – sanácia environmentálnej záťaže v závode ENO v lokalite mazutové hospodárstvo ENO B, monitoring GF ŽP. Banská Bystrica, HES-COMGEO, 27 s.
- Jantáková, N., Ženišová, Z., Kordík, J. a Benková, K., 2018: Monitorovanie vplyvu environmentálnych záťaží v oblasti bývalej rafinérie Apollo v Bratislave. *Acta Geol. Slov.*, 10, 2, 73 – 87.
- Jusková, E., Tischler, O., Leššo, J. a Šmálec, P., 2009: Haniska – realizácia sanačných opatrení starých environmentálnych záťaží – posanačný monitoring. Košice, Environ Centrum, 40 s.
- Kandera, K. a Jezný, M., 2016: Čadca – Sanácia environmentálnej záťaže v bývalom areáli AVC a. s. Čadca po sanácii zemín a podzemných vôd, záverečná správa z posanačného monitoringu vôd za obdobie júl 2014 až august 2016. Bratislava, MŽP SR; Žilina, PROGEO, 48 s.
- Klaučo, S., Filová, J., Kovářík, K. a Pokorná, A., 1994: Súčasný stav a prognóza kvality podzemných vôd v širšom okolí skládky lúženca a popolčeka niklovej huty v Seredi. Bratislava, SKOV – služba pre kvalitu a ochranu vôd, 64 s.
- Kordík, J. a Slaninka, I. (eds.), 2015: Monitorovanie environmentálnych záťaží na vybraných lokalitách Slovenskej republiky. Záverečná správa. Manuskript. Bratislava, archív Št. Geol. Úst. D. Štúra, 252 s.
- Kordík, J., Šuranová, A., Jankulár, M., Klárisová, K., Ženišová, Z. a Jurkovič, L., 2016: Hodnotenie vplyvu environmentálnych záťaží na podzemné vody a sedimenty v oblasti Serede. *Podzemná voda*, 22, 2, 112 – 132.
- Kordík, J., Jankulár, M. a Zvarová, I., 2018a: Zhodnotenie vplyvu environmentálnej záťaže Banská Štiavnica – odkalisko Lintich na životné prostredie. *Podzemná voda*, 24, 1, 31 – 50.
- Kordík, J., Jankulár, M. a Zvarová, I., 2018b: Zhodnotenie vplyvu environmentálnej záťaže Banská Belá – odkalisko Sedem žien na životné prostredie. *Podzemná voda*, 24, 2, 132 – 152.
- Krásný, J., 1986: Klasifikace transmisivity a její použití. *Geol. Průzk.*, 6, 177 – 179.
- McLean, M. I., Evers, L., Bowman, A. W., Bonte, M. a Jones, W. R., 2019: Statistical modelling of groundwater contamination monitoring data: A comparison of spatial and spatio-temporal methods. *Sci. Total Environ.*, 652, 1 339 – 1 346.
- Moench, A. F., 1985: Transient flow to a large-diameter well in an aquifer with storative semiconfining layers. *Water. Resour. Res.*, 21, 8, 1 121 – 1 131.
- Narany, T. S., Ramli, M. F., Aris, A. Z., Sulaiman, W. N. A. a Fakharian, K., 2014: Spatial Assessment of Groundwater Quality Monitoring Wells Using Indicator Kriging and Risk Mapping. *Amol-Babol Plain. Iran. Water*, 6, 68 – 85.
- Paluchová, K., Auxt, A., Bruchánková, A., Helma, J., Schwarz, J. a Pacola, E., 2008: Systematická identifikácia environmentálnych záťaží Slovenskej republiky. Banská Bystrica, Slovenská agentúra životného prostredia, 154 s.
- Parkhurst, D. L. a Appelo, C. A. J., 1999: User's guide to Phreeq C (version 2) – A Computer program for speciation, batch-reaction, one dimensional transport, and inverse geochemical calculations. *Water-Resources Investigations Report 99-4259*. U.S. Geological Survey, U.S. Department of the interior, 236 s.
- Polák, M., Chovanec, J., Kubricht, J., Keklák, V., Čopan, J., Sottner, K. a Raschman, R., 2009: Bratislava – ISTROCHEM – prieskum znečistenia environmentálnych záťaží – Závod Mieru, podrobný GP ŽP. Bratislava, DEKONTA, 95 s.
- Pospiechová, O., Pospiech, Juraj, Pospiech, Ján, Auxt, A., Podhorská, M., Oroszlány, J., Ingár, K. a Kovács, T., 2014: Vy-

- hodnotenie stavu environmentálnej záťaže v areáli Bekaert Hlohovec, a. s., monitoring životného prostredia, vyhodnotenie stavu znečistenia na základe výsledkov dlhodobého monitoringu. Bratislava, AQUATEST P & R, 38 s.
- Pospiechová, O., Kozubek, P., Ostrolucký, J., Štyriaková, I., Putiška, R., Líška, L., Frániková, M., Truska, A., Jech, I., Ptáček, R., Jechová, Z., Gajdošík, J., Beránek, J., Kušnirák, D., Škvarčková, E., Kubušová, I., Jusková, E., Jusková, K., Ternila, V., Kesler, R., Fazekas, P. a Višňovský, P., 2015: Závěrečná správa z podrobného geologického prieskumu pravdepodobnej environmentálnej záťaže SN(004)/Krompachy – Kovohuty, SK/EZ/SN/897, podrobný GPŽP. Názov geologickej úlohy: Pravdepodobné environmentálne záťaže – prieskum na vybraných lokalitách Slovenskej republiky. Košice, EDGE INVESTMENT; Košice, ENVIRONCENTRUM, 123 s.
- Pramuk, V. a Matiová, Z., 2015: Prieskum pravdepodobnej environmentálnej záťaže SN(006)/Rudňany – ťažba a úprava rúd (SK/EZ/SN/899), záverečná správa s analýzou rizika, podrobný GP ŽP. Názov geologickej úlohy: Prieskum environmentálnych záťaží na vybraných lokalitách Slovenskej republiky. Košice, GEO Slovakia, 148 s.
- Pramuk, V., Tischler, O., Tischlerová, L., Bajo, I., Jezný, M., Kandra, K., Lukáč, P., Múdry, R., Smolka, M., Syčev, V., Štyriaková, I. a Takáč, M., 2015c: Prieskum environmentálnej záťaže Žilina – východné priemyselné pásmo (SK/EZ/ZA/1070), podrobný GP ŽP, záverečná správa s analýzou rizika. Názov geologickej úlohy: Prieskum environmentálnych záťaží na vybraných lokalitách Slovenskej republiky. Košice, GEO Slovakia, 194 s.
- Pramuk, V., Matiová, Z. a Čizmarová, M., 2015a: Prieskum pravdepodobnej environmentálnej záťaže SN(005)/Markušovce – okolie – ťažba rúd (SK/EZ/SN/898), záverečná správa s analýzou rizika, podrobný GP ŽP. Názov geologickej úlohy: Prieskum environmentálnych záťaží na vybraných lokalitách Slovenskej republiky. Košice, GEO Slovakia, 107 s.
- Pramuk, V., Bachňák, M., Bačík, M., Komoň, J., Hojnosť, M., Potančok, L., Jurkovič, L., Šottník, P., Kotuč, J., Hrabčák, M., Sekula, P. (Ing.) a Varga, M., 2015b: Prieskum pravdepodobnej environmentálnej záťaže Slovinky – ťažba a úprava rúd (SK/EZ/SN/900), záverečná správa s analýzou rizika, podrobný GP ŽP. Názov geologickej úlohy: Prieskum environmentálnych záťaží na vybraných lokalitách Slovenskej republiky. Košice, GEO Slovakia, 116 s.
- Rapant, S., Vrana, K., Bodiš, D., Doboš, V., Hanzel, V., Kordík, J., Repčoková, Z., Slaninka, I. a Zvara, I., 1996: Geochemický atlas Slovenskej republiky, časť I, Podzemné vody. Bratislava, GS SR, 127 s.
- SAŽP, 2010: Problematika environmentálnych záťaží na Slovensku. Banská Bystrica, Slovenská agentúra životného prostredia, 59 s.
- Smernica 2000/60/ES Európskeho parlamentu a Rady z 28. októbra 2000, ktorou sa stanovuje rámec pôsobnosti pre opatrenia spoločnosti v oblasti vodného hospodárstva.
- Smernica 2006/118/ES Európskeho parlamentu a Rady z 12. decembra 2006 o ochrane podzemných vôd pred znečistením a zhoršením kvality.
- STN 73 6614 Skúšky zdrojov podzemnej vody. Dátum vydania: 20. 4. 1984.
- STN ISO 5667-12 Kvalita vody. Odber vzoriek. Časť 12: Pokyny na odber vzoriek dnových sedimentov. Dátum vydania: 1. 7. 2001.
- STN ISO 5667-15 Kvalita vody. Odber vzoriek. Časť 15: Pokyny na konzerváciu vzoriek kalov a sedimentov a manipuláciu s nimi. Dátum vydania: 1. 9. 2002.
- STN EN ISO 22475-1 Geotechnický prieskum a skúšky. Metódy odberu vzoriek a meranie hladín podzemnej vody. Časť 1: Technické zásady vykonávania (ISO 22475-1: 2006). Dátum vydania: 1. 2. 2007.
- STN EN ISO 5667 Kvalita vody. Odber vzoriek.
- Štátny program sanácie environmentálnych záťaží (2010 – 2015). Bratislava, Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky, 124 s.
- Štátny program sanácie environmentálnych záťaží (2016 – 2021). Bratislava, Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky, 244 s.
- Šuchová, M., Auxt, A. a Máša, B., 2014: ČS SLOVNAFT Kežmarok – Nižná brána, sanácia hydrogeologického prostredia, posanačný monitoring, sanácia environmentálnej záťaže. Banská Bystrica, HES-COMGEO, 19 s.
- Tischler, O., Leško, J., Šmalec, P. a Jusková, E., 2010: Komárno – realizácia sanačných opatrení starých environmentálnych záťaží – posanačný monitoring. Košice, Environ Centrum, 36 s.
- Tischler, O., Leško, J., Šmalec, P. a Jusková, E., 2011: Bratislava – realizácia sanačných opatrení starých environmentálnych záťaží – posanačný monitoring. Košice, Environ Centrum, 51 s.
- Šottník, P., Jurkovič, L., Hiller, E., Kordík, J. a Slaninka, I., 2015: Environmentálne záťaže. Banská Bystrica, Slovenská agentúra životného prostredia, 301 s.
- Švasta, J. a Malík, P., 2006. Priestorové rozloženie priemerných efektívnych zrážok na území Slovenska. Podzemná voda, 12, 1, 65 – 77.
- Texas Groundwater Protection Committee, 2013: Joint Groundwater Monitoring and Contamination Report 2012. 277 s.
- Tupý, P. a Chovanec, M., 1998. Niklová huta Sered', š. p. v likvidácii – Ekologický audit areálu závodu. Banská Bystrica, EnviGeo.
- Tupý, P., Lichý, A., Tomasch, M., Meszárosová, Z. a Seko, M., 2015a: Prieskum pravdepodobnej environmentálnej záťaže Martin – kasárne SNP (SK/EZ/MT/512), záverečná správa s analýzou rizika znečisteného územia. Názov geologickej úlohy: Sanácia environmentálnych záťaží na vybraných lokalitách Slovenskej republiky. Banská Bystrica, EnviGeo, 148 s.
- Tupý, P., Hovorič, R., Filo, J., Gretsche, J. a Krajňák, M., 2015b: Prieskum environmentálnej záťaže Pezinok – oblasť rudných baní a starých banských diel, vrátane odkalísk (SK/EZ/PK/653, SK/EZ/PK/654, SK/EZ/PK/656), záverečná správa s analýzou rizika znečisteného územia, Názov geologickej úlohy: Prieskum environmentálnych záťaží na vybraných lokalitách Slovenskej republiky. Banská Bystrica, ENVIGEO, 99 s.
- Urban, O., Chovanec, J., Machlica, A., Keklák, V., Seres, Z., Soboňová, S., Štefánek, J., Binčík, T., Gregor, T., Zavadiak, R., Bednarik, M., Kolářová, J., Palúchová, K., Kozubek, P. a Raschman, R., 2015: Prieskum environmentálnej záťaže Vrakunská cesta – skládka CHZJD – SK/EZ/B2/136, podrobný GP ŽP. Názov geologickej úlohy: Prieskum environmentálnych záťaží na vybraných lokalitách Slovenskej republiky. Bratislava, MŽP SR; Bratislava, DEKONTA, 118 s.
- Vrana, K., Vojtaško, I., Žák, D., Piovarči, M., Kúšiková, S., Puchnerová, M., Lanc, J. a Naštický, J., 2005: Systém zisťovania a monitorovania škôd na životnom prostredí vznikajúcich banskou činnosťou. Orientačný IGP. Bratislava, Geocomplex, CD nosič.
- Vybíral, V., Hrabínová, J., Gajdoš, V., Matys, M. a Némethyová, M., 2005: Monitorovanie vplyvu environmentálnych záťaží na geologické činitele životného prostredia vo vybraných regiónoch Západných Karpát, záverečná správa úlohy. Bratislava, Ministerstvo životného prostredia SR; Bratislava, SEN-SOR, 109 s.
- Vyhláška MŽP SR č. 51/2008 Z. z., ktorou sa vykonáva geologický zákon.
- Zákon NR SR č. 569/2007 Z. z. o geologických prácach (geologický zákon) v znení neskorších predpisov.
- Zákon NR SR č. 364/2004 Z. z. o vodách v znení neskorších predpisov.
- Zvara, I., Pauk, J., Kočík, D., Babiš, P., Hudec, A., Chovan, J., Ivanič, B., Mareta, M., Špilárová, I., Švec, P., Turaček, D., Vazan, V. a Zigo, T., 2015: Geologický prieskum pravdepodobných environmentálnych záťaží metódami diaľkového prieskumu Zeme a modelovaním, podrobný GP ŽP (87 lokalít v SR). Bratislava, MŽP SR; Banská Štiavnica, ESPRIT, 110 s.

SUMMARY

The main objective of the tasks related to the monitoring of environmental loads realized by State geological institute of Dionýz Štúr is the design and implementation of monitoring systems for selected environmental loads in Slovakia (Kordík et al., 2015). As part of the monitoring, several activities are carried out: the processing of archive materials and the creation of a specific geological information system of monitoring, the design and updating of the conceptual models of the individual monitoring sites, the design and updating of the monitoring programs, the implementation of the monitoring (sampling, field measurements and laboratory work) and the evaluation of the results. Map and list of selected monitored environmental loads are given in Fig. 1 and Tab. 1.

When monitoring environmental loads, the most important medium of contamination transport seems to be groundwater or under specific conditions it may also be surface water. Between 2012 and 2018, more than 7,000 samples were collected for groundwater chemical analysis and more than 1,200 samples from surface water (Tab. 3).

In the chemical composition of water, the Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} and K^+ cations and HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- and NO_3^- anions prevail. Basic chemical composition of water is often changed in the areas of environmental loads and shifts from standard type of Ca-Mg-HCO_3 to types with a more pronounced presence of substances of secondary origin (Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^-) occur. Pollution is also often manifested by an increase in the total contents of the total dissolved solids (the highest concentrations of TDS reach more than 10,000 $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$) (Tab. 8).

Frequent occurrences of increased contents of B, Cl^- , NH_4^+ and COD-Mn (even above the IT or ID criteria according to the Directive of the MoE SR No. 1/2015) are related usually with landfills of municipal waste, as well as with some other types of contamination (Tab. 10). From monitored organic substances (approx. 25 % of sites) appear to be the most problematic chlorinated aliphatic hydrocarbons, in particular *cis*-1,2-dichloroethene, dichloromethane, tetrachloroethene, trichloroethylene, chlorotene (Tab. 9). High contents of substances from the group of PAHs and petroleum substances specified as the hydrocarbon index were observed in less extent.

With regard to inclusion of mining sites in monitoring, exceedance of quality criteria according to the Directive of the MoE SR No. 1/2015 for some trace inorganic elements, in particular As and Sb, were observed (Tab. 9). Increased arsenic content is also associated with industrial activity (e. g. Nováky – chemical plant).

The results of chemical analyses in solid materials (rock environment, soils, stream/bottom sediments) also showed a strong pollution (Tab. 11, 12, 13, 14). Among the trace elements, exceedances of IT value for As (140 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) were found in 19 monitored sites. These are mainly mining sites Pernek, Banská Štiavnica, Partizánska Ľupča – Magurka, Špania Dolina, Ľubietová, as well as various waste dumps close to the settlements Dobšiná, Svät, Poša, Medzibrodie nad Oravou, Dolný Kubín – Široká, Predajná, Nemecká.

A similar situation was also observed for Sb, where the IT value (80 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) was exceeded at 13 usually mining sites (Partizánska Ľupča – Magurka, Liptovská Dúbrava, Špania Dolina, Pernek). It has been confirmed that mining waste is also the source of other contaminants, mainly Cd, Cu, Pb and Zn. Among organic substances, exceedance of IT value (500 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ of dry matter) of the nonpolar extractable substances were found at 27 sites. This pollution is the most significant in Zvolen – railway repair and machinery, Medzev – Strojsmalt, Chemika Bratislava, Gumon Bratislava, Unín – Cunín, Ružomberok – tehelná and Kežmarok – OKTAN and others.

The use of modeling for monitoring of environmental loads (Fig. 19 to 24) is presented from the Sered' area. The constructed hydraulic model and model of the contaminants transport represent mainly the visualization of the groundwater flow and the transport of the contamination in the groundwater after their transfer from the pollution sources (dumps, tailings, site of the plant) to the Quaternary gravels by contaminated seepage. Selected model setting makes timely variable supply of contamination into the aquatic environment. The flow of the conservative contaminant is controlled by the flow of groundwater in the North-South direction and by pressing the waters of the Váh River into the Quaternary gravels. The relationship between Fe and Ni has been demonstrated in geochemical modeling (Tab. 16), and it is likely that nickel is bound to iron hydroxides under oxidative conditions in addition to the solid phase. It also documents the saturation of practically all monitored wells except the VR24-2 by boehmite. With regard to gypsum, all groundwaters, despite their relatively high contents in some parts of the territory, are under saturated towards this mineral phase.

The presence of mineral phases, the content of heavy metals, the presence and character of potentially unstable phases in the landfill material (Sered' nickel plant) were investigated by BSE and EDAX analysis and by chemical microanalysis (Table 17, Figures 25 to 35). Unconsolidated sandy tailings material is composed of fragments of quartz, spinel, authigenic goethite, limonite and carbonate. Authigenic mineral phases or their aggregates contain permanently higher levels of Cr and Ni. Chromium and nickel represent potentially toxic cations with risk to environment and human health. Chromium and nickel are bound to goethite minerals or limonite aggregates, demonstrating the sorption and adsorption role of goethite as a phase that controls the potential mobilization of Cr and Ni.

List of figures

Fig. 1. Map of selected monitored environmental loads.

Fig. 2. Procedure for monitoring of environmental burdens in relation to the Water Framework Directive (modified under the Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive, Guideline 17 to prevent or limit direct and indirect inputs).

Fig. 3. Relationship between the conceptual model and the proposal for monitoring (modified under the Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive, Guideline 7 Monitoring).

- Fig. 4. Results of CMD screening measurements, example from site ID 108 Zlaté Klasy – landfill of municipal waste.
- Fig. 5. Results of CMD screening measurements for effective depth ranges of 2.2; 4.2 and 6.7 m, example from site ID 122 Vráble – landfill of municipal waste.
- Fig. 6. Multicable measurement outputs – detection possibilities of unknown subsurfaces, example from site ID 33 Kysucké Nové Mesto – NN Slovakia, profile PF-3.
- Fig. 7. Results of georadar measurements, example from site ID 71 Lučenec – Washing and cleaning.
- Fig. 8. Measuring results of spontaneous polarization method, example from site ID 85 Bojná – landfill of municipal waste.
- Fig. 9. Radiometric survey results with the indicated direction of groundwater flow – natural radioactivity, example from site ID 21 Nové Mesto nad Váhom – landfill of municipal waste Mnešice – Tušková.
- Fig. 10. Outputs of atmogeochemistry: concentrations of CH₄, CO₂ and O₂ (vol. %), site ID 127 Zlaté – landfill of municipal waste.
- Fig. 11. Interpretable of different types of environmental loads.
- Fig. 12. Example of a borehole documentation on the site of Zlaté Moravce – Calex.
- Fig. 13. Example of a hydrodynamic test on the borehole VN35-1 (site Zlaté Moravce – Calex).
- Fig. 14. Absolute and relative distribution of transmissivity classes of Quaternary sediment according to the Krásny classification (1986).
- Fig. 15. Absolute and relative distribution of transmissivity classes of Neogene according to the Krásny classification (1986).
- Fig. 16. Absolute and relative distribution of transmissivity classes of Paleogene according to the Krásny classification (1986).
- Fig. 17. Absolute and relative distribution of transmissivity classes of Mesozoic according to the Krásny classification (1986).
- Fig. 18. Absolute and relative distribution of transmissivity classes of Paleozoic according to the Krásny classification (1986).
- Fig. 19. Spatial definition of modeling polygon.
- Fig. 20. Spatial definition of model strata (base of impermeable clay) and terrain surface with highlighting of boundaries of environmental loads.
- Fig. 21. Spatial interpretation of water table contours a) in the vicinity of the Sereď Nickel plant (1 – water table contours as of 1. 6. 2015, 2 – water table contours as of 6. 11. 2014); b) as a result of the model of wider area.
- Fig. 22. Distribution of flow lines and filtration time in the FEM network.
- Fig. 23. Expected extent of contamination after approx. 30 years after the plant start.
- Fig. 24. Expected extent of contamination after approx. 60 years after the plant start.
- Fig. 25. General view on polished section of the tailings material sample – Sereď–South.
- Fig. 26. Cementation of the pore space with carbonate crust resulting from the precipitation of calcite or aragonite from oversaturated carbonated solution in contact with porous sandy tailings material.
- Fig. 27. Goethite nodular unit analyzed by EMP (analysis 4, 5, 6).
- Fig. 28. Deformed mechanically disintegrated aggregate of goethite and limonite.
- Fig. 29. View of the goethite aggregate produced by the precipitation of Fe oxo/hydroxides in the pore space of the tailings sand.
- Fig. 30. Empty spherical formation – the product of crystallisation of silicate melt resulting from the melting of the silicate material during combustion.
- Fig. 31. View of the polished section prepare of the tailings material in the western part 1.
- Fig. 32. View of the polished section prepare of the tailings material in the western part 2.
- Fig. 33. Detail of a spherical zoning authigenic aggregate of goethite.
- Fig. 34. Detail of a authigenic aggregate of goethite with a carbonate core.
- Fig. 35. EDAX spectrum of authigenic goethite.

List of tables

- Tab. 1. List of selected monitored environmental loads.
- Tab. 2. Methodology of data processing of remote sensing.
- Tab. 3. Number of field measurements carried out in ground and surface waters for the period 2012 – 2018.
- Tab. 4. Suitability of satellite imagery for individual scale research of environmental loads.
- Tab. 5. Usability of remote sensing methods – interpretability and number by site types.
- Tab. 6. Usability of remote sensing methods – number and interpretability of individual sites (grouped by type).
- Tab. 7. Overview of distribution of transmissivity and filtration coefficients in individual stratigraphic units.
- Tab. 8. Basic statistical parameters of selected physico-chemical parameters analysed in waters.
- Tab. 9. Number of sites with the value of a given parameter (group of parameters) in groundwaters exceeding the IT and ID criterion according to the Directive of the MoE SR No. 1/2015-7 at least in one object.
- Tab. 10. Exceeding parameters (group of parameters indicated by abbreviations) in groundwater at individual sites according to the Directive of the MoE SR No. 1/2015-7.
- Tab. 11. Basic statistical parameters of selected chemical parameters determined in rock environment.
- Tab. 12. Basic statistical parameters of selected chemical parameters determined in soils.
- Tab. 13. Basic statistical parameters of selected chemical parameters determined in stream/bottom sediments.
- Tab. 14. Sites where the ID and IT values of analysed parameters have been exceeded – rock environment (H), soil (P), stream/bottom sediments (S).
- Tab. 15. Resulting factor structure.
- Tab. 16. Indices of saturation of selected mineral phases.

Tab. 17. Chemical microprobe EMP analyses of sample PS24-14 from the Sereď tailings material (analyses are presented as weight %, major crystallochemical cations are highlighted in bold font).

Zoznam skratiek

BTEX	–	benzén, toluén, etylbenzén, xylén
CIU	–	chlórované alifatické uhľovodíky
PHM	–	pohonné hmoty
DEMP	–	dipólové elektromagnetické profilovanie
ERT	–	elektrická rezistivná tomografia
EZ	–	environmentálna záťaž
ID	–	indikačné kritérium
IS EZ	–	informačný systém environmentálnych záťaží
IT	–	intervenčné kritérium
MEZ	–	monitorovanie environmentálnych záťaží

MŽP SR	–	Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky
NELui	–	nepolárne extrahovateľné látky stanovené ako uhľovodíkový index
OAR	–	objemová aktivita radónu
OCP	–	organochlórované pesticídy
PrAIU	–	prchavé alifatické uhľovodíky
PCB	–	polychlórované bifenyle
PrAU	–	prchavé aromatické uhľovodíky
PAU	–	polycyklické aromatické uhľovodíky
SAŽP	–	Slovenská agentúra životného prostredia
ŠGÚDŠ	–	Štátny geologický ústav Dionýza Štúra
TOC	–	celkový organický uhlík

Manuskript doručený:	6. 2. 2019
Revidovaná verzia doručená:	18. 4. 2019
Rukopis akceptovaný redakčnou radou:	9. 9. 2019