



## MONITORING PODZEMNÝCH VÔD PO ROPNEJ HAVÁRII

## MONITORING OF GROUND WATER AFTER OIL DISASTER

**Erika Škvareková<sup>1</sup>, Beáta Stehlíková<sup>2</sup>, Katarína Teplická<sup>3</sup>, Eliška Horniaková<sup>4</sup>**

**Kľúčové slová:** havária ropného potrubia, monitoring životného prostredia, fyzikálno-chemické ukazovatele kvality vôd

**Abstrakt:** Monitoring is an important tool for environmental protection and enables prevention of negative impacts of industry on the environment. Local monitoring of the environment is a suitable tool for limits measurement that are acceptable by the legislation for environmental protection. One part of the monitoring is focused on physical-chemical properties of ground water in contaminated areas.

The contribution deals with examples of measurement and evaluation of particular physical-chemical parameters of water (temperature, pH, conductivity EC, ORP, O<sub>2</sub>) from the samples from an area contaminated by oil.

### 1. Úvod

Po ekologickej havárii je monitoring dôležitým podporným nástrojom, ktorý umožňuje eliminovať negatívne dopady na životné prostredie.

Tento systém si vyžaduje neustále monitorovanie a vyhodnocovanie stavu životného prostredia a hľadanie možností neustáleho zlepšovania [1].

V roku 2002 bola v okolí Košíc havária ropného potrubia medzištátneho ropovodu DN 500 a následne sanácia postihnuteho územia (horninové prostredie - podzemná voda) s lokálnym monitoringom, ktorý neustále pokračuje.

Po kontaminácii ropných látok do pôdy môže ropa preniknúť až do podložných vrstiev, až po hladinu podzemnej vody, resp. nepriepustné podložie. Ak je infiltrované množstvo ropnej látky menšie, ako schopnosť pôdy zadržať ju v zóne presakovania, ropná látka ostáva zachytená, alebo množstvo infiltrovanej látky presahuje zadržiavaciu kapacitu pôdy v zóne priesaku a látka preniká až do spodnej vody.

<sup>1</sup> Ing. Erika Škvareková, PhD., Ústav montánných vied a ochrany životného prostredia, F BERG, TU v Košiciach, Park Komenského 19, 043 84 Košice, [erika.skvarekova@tuke.sk](mailto:erika.skvarekova@tuke.sk)

<sup>2</sup> Ing. Beáta Stehlíková, PhD., Ústav riadenia a informatizácie výrobného procesu, F BERG, TU v Košiciach, Park Komenského 19, 043 84 Košice

<sup>3</sup> doc. Ing. Katarína Teplická, PhD., Ústav podnikania a manažmentu, F BERG, TU v Košiciach, Park Komenského 19, 043 84 Košice

<sup>4</sup> Ing. Eliška Horniaková, PhD., F BERG, TU v Košiciach, Park Komenského 19, 043 84 Košice

## 2. Geologické a hydrogeologické pomery miesta úniku ropy

Z hľadiska regionálneho geologického členenia Západných Karpát, je hodnotené územie súčasťou Východoslovenskej panvy a Košickej kotliny.

Základom geologickej stavby je neogénna panva, ktorú tvoria molasové sedimenty s pokryvom kvartérnych usadenín. Neogén na hodnotenom území nevystupuje na povrch a územie je postihnuté zlomovou tektonikou. Staršie zlomy sú prítomné v S-J smere, ktoré križujú zlomy v SZ-JV smere a to v tesnej blízkosti záujmového územia. Na mieste havárie majú rozhodujúci význam kvartérne sedimenty, a to štrky a piesčité štrky. Vrchnú kryciu vrstvu tvoria hliny čiernohnedé a tmavohnedé, tvoriace ornici pozvoľna prechádzajúce do ílovito piesčitých hĺn. Mocnosť krycej vrstvy je cca do 1 m. Pod touto vrstvou sa nachádzajú štrky s variabilnou prímесou hlinitej a piesčitej zložky. Valúny štrku sú dobre opracované s  $\phi$  1-3-5 ojedinele až 10 cm, materiál tvoria prevažne kremene, fylity, kremence a pieskovce. Piesčité prímесe je jemno až strednozrná. Mocnosť vrstvy štrku sa pohybuje od cca 1,5 do 5 m. Táto vrstva tvorí na lokalite zvodnený kolektor. Vo vrtoch S-5 a S-7 bola pod vrstvou štrkov vrstva sivých pieskov. Nepriepustnou bázou sú žltohnedé tuhé íly, ktoré sú miestami slabo piesčité a prechádzajú do sivých sivozelených plastických ílov. Vrstva ílov sa nachádza v hĺbke od 3,0 do 6,9 m p.t. Hrúbka zvodneného kolektora v území je relatívne malá a zmenšuje sa JV smerom [3].

## 3. Kvalita a stupeň znečistenia pôd územia pred ropnou haváriou

V humusových horizontoch pôd daného územia [2] je zvýšený výskyt bária, molybdénu a niklu. Obsahy prvkov iba slabo prekračujú referenčné hodnoty stanovené Rozhodnutím Ministerstva pôdohospodárstva SR číslo 531/1994-540, preto nemožno považovať tieto pôdy za kontaminované. Vysoké hodnoty koncentrácie medi (až nad 1000 mg.kg<sup>-1</sup> pôdy) sa nachádzajú v humusových horizontoch pôd tejto oblasti. Príčinou sú pesticídy, spád priemyselných emisií z hutníckeho závodu, tepláreň Košice, a vo fluvizemných pôdach je sekundárne obohatenie meďou prostredníctvom migrujúcich podzemných vôd. Meď predstavuje prvok s veľmi vysokým stupňom potenciálneho ohrozenia pričom bariu, molybdén a nikel sú prvky s vysokým stupňom potenciálneho ohrozenia [9].

Pôda na tomto mieste je hodnotená ako pôda s defektným zložením, ktorá je ohrozovaná priemyselnými emisiami a kontaminovanou podzemnou vodou [2, 12].

## 4. Havária na ropovode Družba

K ropnej havárii došlo v obci Belža 25. 10. 2002 pri poškodení potrubí ropovodu Družba s DN 500.

Zo zasiahnutého povrchu bola uniknutá ropa odčerpaná ešte v ten večer. Odviezli 300 t kontaminovanej zeminy a ropa z potrubia bola odstránená hneď na druhý deň. Ropa vsiakla do dvoch hektárov ornej pôdy až do hĺbky 15-20 cm. Monitoring vody v Belžanskom potoku a odbery vzoriek zo studní nepreukázali znečistenie ropnými látkami. Vodné zdroje v blízkosti havárie sú nepretržite monitorované. Sanačné práce na postihnutom mieste spočívali v posypávaní vytečenej ropy absorpčnou látkou s následným vybagrovaním kontaminovanej ornice. Konečný odvoz kontaminovanej zeminy mal 3 460 t, ktorú vyviezli na špeciálnu skládku [10, 11].

Na sanáciu horninového prostredia pre nenasýtenú zónu boli použité metódy: dekontaminácia „ex situ“, premývanie nenasýtenej zóny, landfarming, biosparging

Na sanáciu podzemnej vody bolo použité sanačné čerpanie.



Obr. 1 Mapa územia havárie ropovodu a rozmiestnenia monitorovacích vrtov S1 až S8 v oblasti Košice – vidiek [3].

V rámci sanácie a následne realizovaného monitoringu boli zostrojené monitorovacie vrty S-1 až S-8, obr.1, s rôznou hrúbkou a priemerom v ktorých sú naďalej raz štvrťročne kontrolované parametre podzemnej vody. Výška hladiny vody vo vrtoch je ovplyvnená výškou spodných vôd. Pre ilustráciu v tabuľke uvádzame fyzikálne vlastnosti vrto.

**Tab. 1 Fyzikálne vlastnosti vrto.**

Označenie	Priemer [mm]	Hĺbka vrtu [m]	Priemerná hĺbka hladiny [m]	Priemerná teplota [°C]
S1	160	4,30	3,13	11,27
S2	160	5,15	2,52	13,68
S3	160	5,60	2,50	16,40
S4	110	3,00	2,07	20,99
S5	110	3,90	1,99	14,82
S6	110	3,90	2,20	11,03
S7	160	4,85	2,72	10,50
S8	110	4,55	3,35	10,46

Na základe tabuľky 1 je možné tvrdiť, že najvyššie sa v sledovanom období udržiavala hladina spodnej vody v mieste S5, naopak najviac pod povrchom v mieste S8.

Hydrogeologické pomery sú odrazom geologickej stavby územia. Kolektorom podzemných vôd je súvislá vrstva štrkov a štrkopieskov.

Koeficienty filtrácie charakteristické pre:

- ílovito-piesčité hliny sú  $10^{-5}$ - $10^{-6}$   $m \cdot s^{-1}$ ,
- piesčité štrky charakteristické pre zvodnený kolektor sú  $10^{-4}$ - $10^{-5}$   $m \cdot s^{-1}$ .

Hodnoty koeficientu filtrácie získané v rámci vrtných prác sú uvedené v tab. 2.

**Tab. 2 Hodnoty pre koeficient filtrácie [3].**

Číslo vzorky	2		5		12	
Hĺbka [m]	1,1		1,7		1,5	
Bayer [kf ( $m \cdot s^{-1}$ )]	1,65E-06		1,70E-05		1,22E-07	
Kozeny [kf ( $m \cdot s^{-1}$ )]	3,85E-06		3,72E-05		3,04E-07	
Carman-Kozeny [kf ( $m \cdot s^{-1}$ )]	5,10E-06		3,85E-05		5,01E-07	
Palagin [kf ( $m \cdot s^{-1}$ )]	3,92E-04		1,50E-03		1,09E-04	
Hazen [kf ( $m \cdot s^{-1}$ )]	4,64E-06	1,60E-05	4,18E-05	1,44E-04	4,18E-07	1,44E-06

Koeficienty filtrácie štrkov na terasách uvádzané v [2] v rozmedzí  $10^{-5}$  až  $10^{-4}$   $m \cdot s^{-1}$ , boli potvrdené prieskumnými prácami.

Podzemná voda fluviaálnych sedimentov má pôvod hlavne v presakujúcej zrážkovej a povrchovej vode. Hladina podzemnej vody je voľná až mierne napätá, pred začatím sanačných prác sa pohybovala v úrovni 1,2-2,6 m p.t. Podzemná voda prúdi JV smerom [3].

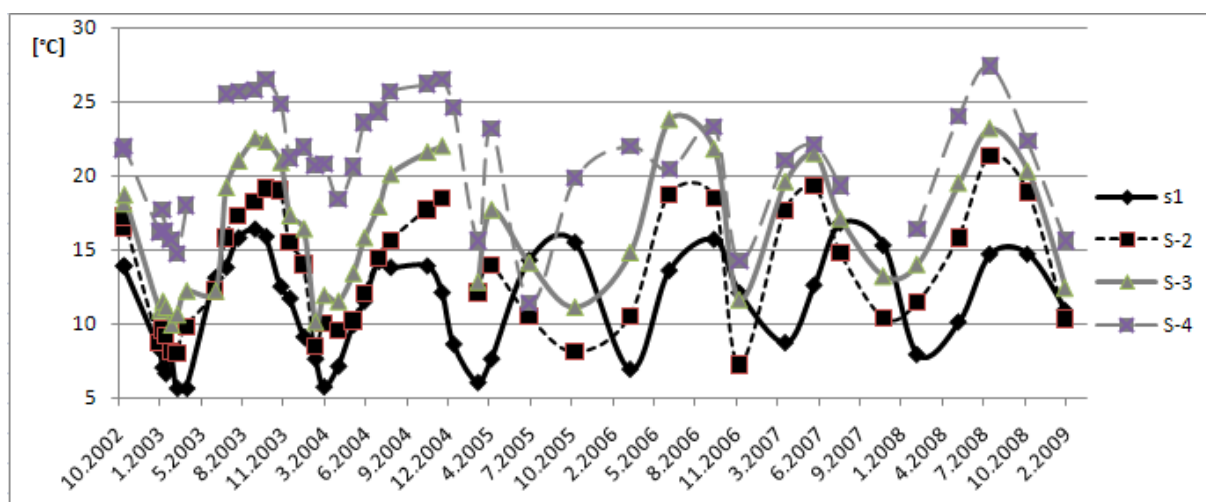
#### 4. Sledované fyzikálnochemické ukazovatele kvality vôd z monitorovacích vrto

Kvalita vody sa sleduje analyticky, v ukazovateľoch NEL, IR, TOC (kvartálne) raz za polrok v sumárnych ukazovateľoch BTEX a PAU. Pre každý uvádzaný ukazovateľ kvality vôd (teplota, pH, elektrická vodivosť ( $\kappa$ ), ORP, %  $O_2$ ) je graficky vyhodnotený príklad zo vzoriek vody odoberanej z monitorovacích vrto S-1 až S-8. Tieto vrty majú rôznu hĺbku a priemer. Výška hladiny vody vo vrtoch je ovplyvnená výškou spodných vôd.

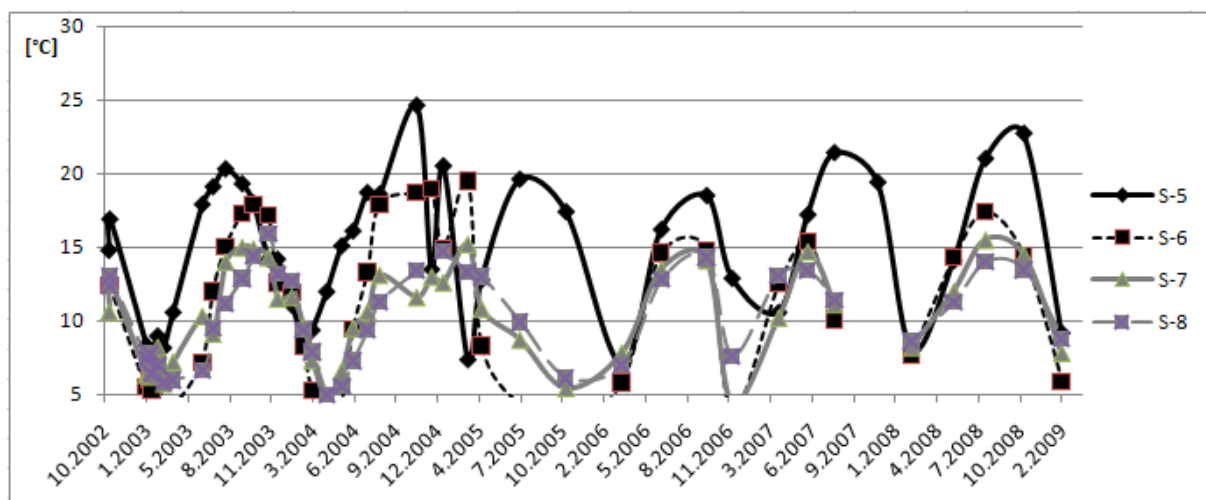
#### 4.1. Teplota vody

Biologické zloženie rastlín a živočíchov je viazané aj teplotou povrchových vôd. Podzemné vody majú všeobecne stálu teplotu okolo 10 °C. Termálne vody majú teplotu nad 20 - 25 °C. Najvyššiu priemernú teplotu dosahuje voda vo vrte S4. Priemerná teplota nad 13 °C bola zistená vo vrtoch S2, S3, S5.

Voda z vrtov S- 4 a S-5 dosiahla najvyššiu priemernú teplotu. Hodnota teploty bola ovplyvňovaná plynovodným potrubím distribúcia, SPP a.s., vedeným v blízkosti vrtov. Počas rokov 2002 až 2009 boli monitorované teploty vody v monitorovacích vrtoch S-1 až S-4 (obr. 2) a S-5 až S-8 (obr. 3). Najvyššie hodnoty sú dosahované v letných mesiacoch (júl).



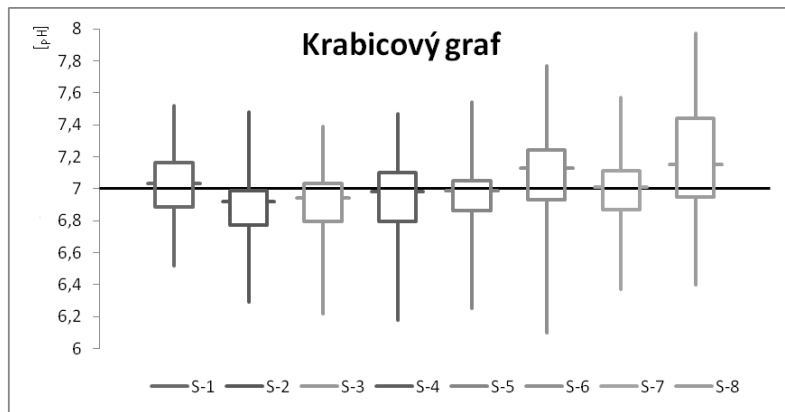
Obr. 2 Priebeh teplôt vo vrtoch S-1 až S-4.



Obr. 3 Priebeh teplôt vo vrtoch S-5 až S-8.

#### 4.2. pH

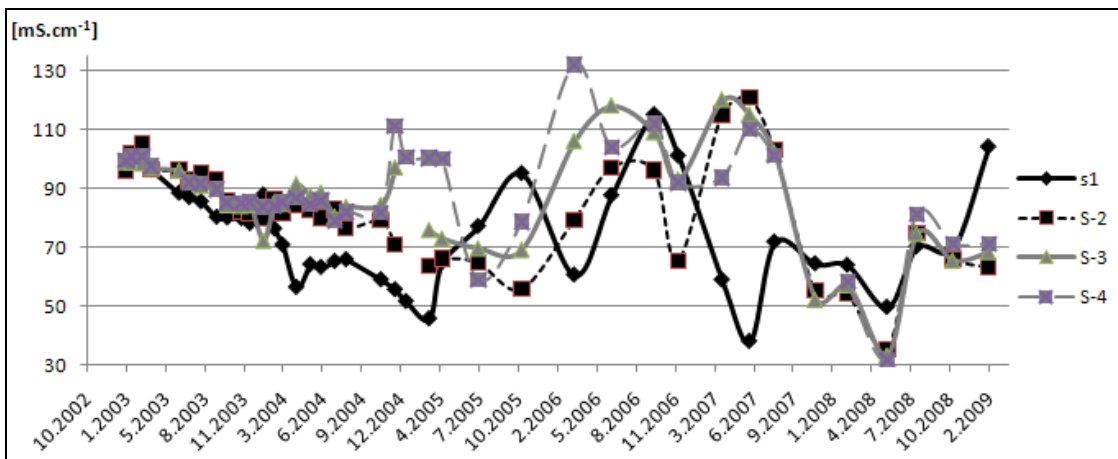
Počas prvých dvoch rokov pH kvapalín vo vrtoch S-1 až S-8 striedavo stúpala a klesala, jednotlivé monitorované vrty sú graficky zobrazené krabicovým grafom (obr. 4). Os hodnôt má zvýraznenú hodnotu 7 a potom je možné povedať, že vo vrte S8 je prostredie najviac zásadité, priesečník s hodnotou 7 má tretí kvartil, čiže takmer 75 % meraní malo zásaditý výsledok. Pre vrt S2 platí, že 75 % výsledkov meraní bolo s PH < 7, čiže prostredie malo kyslý charakter. Pri vrtoch S1, S4, S5 a S7 sa hranica PH=7 prekrýva s mediánom a teda 50 % výsledkov bolo kyslých a 50 % zásaditých.



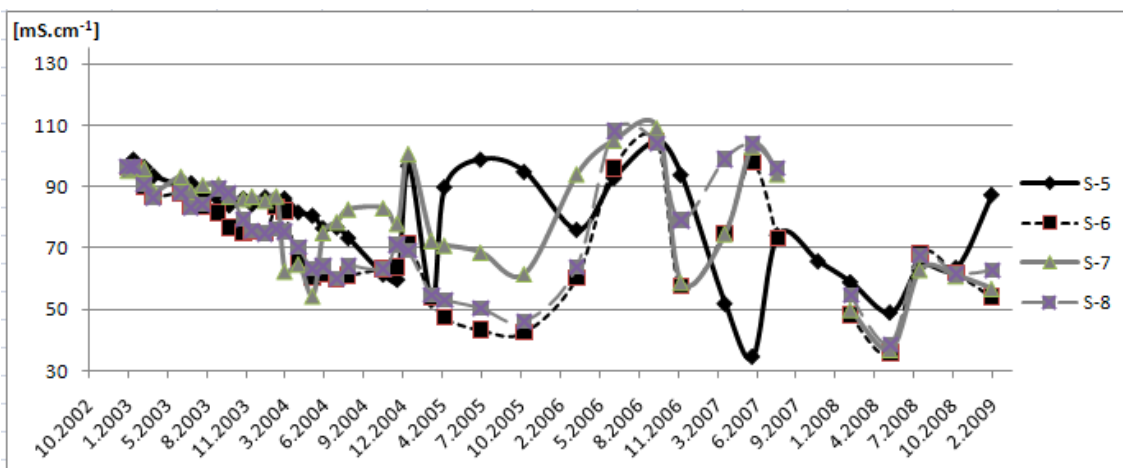
Obr. 4 Krabicový graf pH vo vrtoch S-1 až S-8 [3].

#### 4.3. Konduktivita EC (elektrická vodivosť) kvapalín a jej meranie

Elektrická vodivosť elektrolytov závisí od teploty roztoku, pohyblivosti iónov a od ich koncentrácie. Na obr. 5 a 6 sú znázornené priebehy konduktivity z jednotlivých vrtoch. Konduktivita do roku 2004 klesala, viditeľný skok je v roku 2002 (aj pri PH) a ďalší v roku 2007. Priemerná hodnota elektrickej vodivosti všetkých vrtoch je  $75,0 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$  ( $750 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ ). Ukazovateľ kvality vôd pre neznečistené podzemné vody pre elektrickú konduktivitu sa pohybuje v rozmedzí  $50 - 500 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Z toho je možné vyvodit', že jedine minimálne hodnoty elektrickej konduktivity potvrdzujú, že ide neznečistené podzemné vody.



Obr. 5 Priebeh konduktivity [ $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ ] vo vrtoch S-1 až S-4.



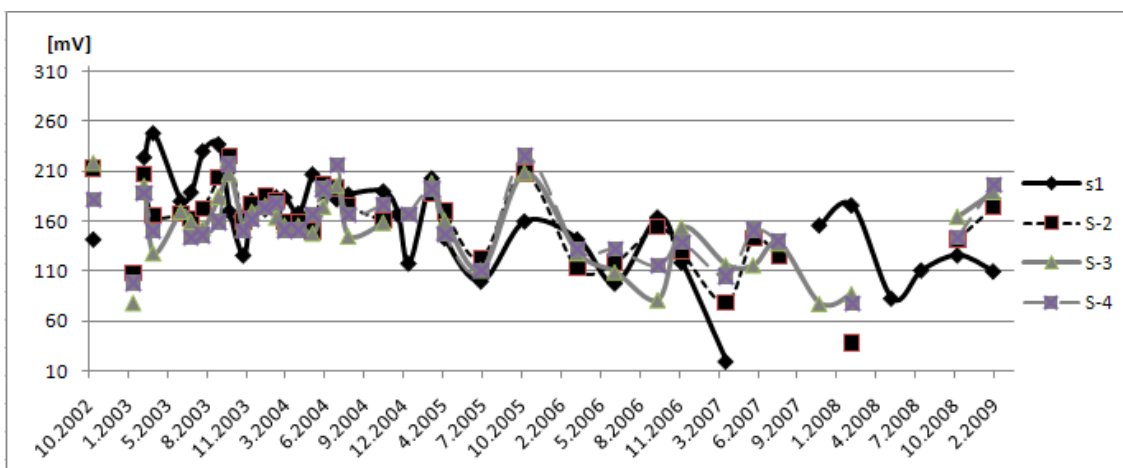
Obr. 6 Priebeh konduktivity [ $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ ] vo vrtoch S-5 až S-8.

#### 4.4. Oxidačno - redukčný potenciál

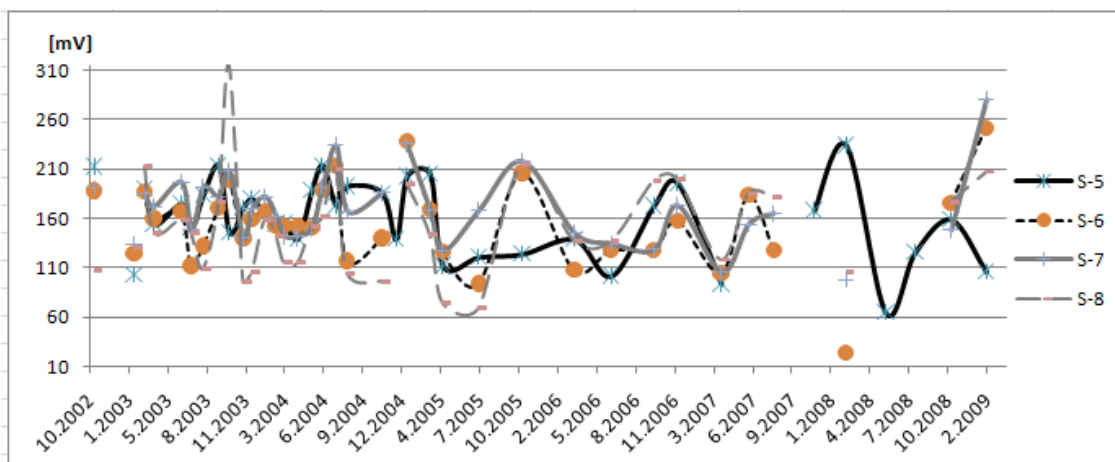
Popri pH je význačnou vlastnosťou prírodných vôd oxidačno - redukčný potenciál (redox potenciál) [4]. Na obr. 7 a 8 sú znázornené namerané hodnoty ORP.

Redox, teda oxidačno – redukčný potenciál, mal počas monitorovania iba v jednom prípade mínusovú hodnotu na vrte S-2 (20.2.2007), čo zároveň predstavuje aj spodnú hranicu v intervale min. parametrov: -21,0 mV – 97,0 mV. Údaje s max. hodnotou majú rozpätie 219,0 mV – 316,0 mV. Tieto priebehy hodnôt znázorňuje obr. 9.

Neznečistené podzemné vody majú hodnotu redox potenciálu v aeróbnych podmienkach do +400 a v anaeróbnych podmienkach do -500. Priemerná hodnota oxidačno- redukčného potenciálu všetkých vrtov je 149,1 mV. Monitorovanie preukázalo, že okrem jediného merania, ide o podmienky aeróbne.



Obr.79 Priebeh ORP vo vrtoch S-1 až S-4.



Obr. 8 Priebeh ORP vo vrtoch S-5 až S-8.

#### 4.5. Meranie rozpusteného kyslíka

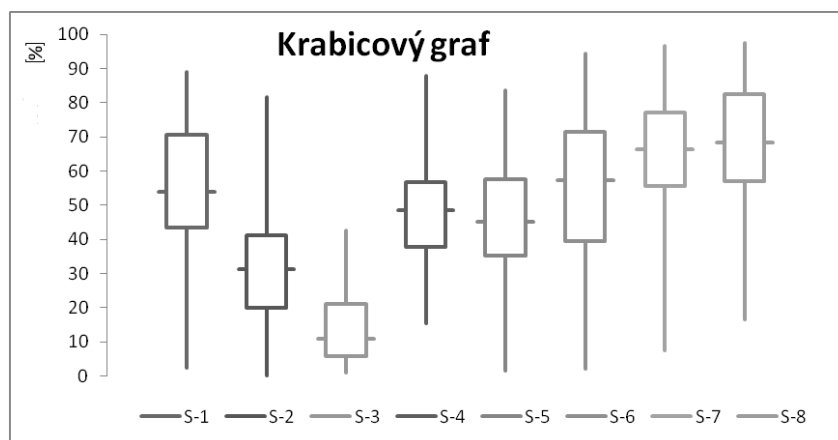
Meranie množstva rozpusteného kyslíka ovplyvňujú:

- *teplota vody*: v teplej vode je menej rozpusteného O<sub>2</sub> než v studenej, obr. 9,
- *tlak vzduchu*: voda testovaná za nižšieho tlaku obsahuje menšie množstvo kyslíka,
- *obsah solí vo vode*: salinita má vplyv na množstvo rozpusteného O<sub>2</sub>. S prírastkom 1 % salinity sa znižuje koncentrácia kyslíka o 6,3 %.

Koncentrácie kyslíka namerané na vrtoch S-1 až S-8 boli najmä v prvých dvoch rokoch po vzniku havárie dosť intenzívne. Táto intenzívnosť postupom času a sanačnými opatreniami naberala klesajúcu tendenciu.



Hodnoty nameraného O<sub>2</sub> v jednotlivých vrtoch poukazujú na pôsobenie rôznych vplyvov (obr. 11). Najnižšie namerané hodnoty sú vo vrte S3, maximálna nameraná hodnota tu dosahuje len 42,3 %. Všetky ostatné vrty mali maximum väčšie ako 80 %. Minimálna hodnota je vo vrte S8. Vo vnútri krabice sa nachádza 50 % meraní. S1 a S6 majú najväčšiu variabilitu.



**Obr. 9** Krabicový graf obsahu kyslíka (%) vo vrtoch S-1 až S-8.

## 5. Záver

V príspevku sú hodnotené jednotlivé fyzikálno - chemické parametre vody, ako teplota, pH, konduktivita, ORP, O<sub>2</sub> z kvartálne odoberaných vzoriek vody z monitorovacích vrtoch, z územia postihnutého ropnou haváriou v trvaní siedmich rokov.

Monitorovaním stavu podzemnej vody, jej analýzou a následným vyhodnotením nameraných údajov možno z hľadiska kontaminácie skonštatovať, že po ekologickej ropnej havárii boli jednotlivé hodnoty koncentrácie kyslíka, pH, redox potenciálu a elektrickej vodivosti vyššie ako u neznečistených vôd.

Tieto vyššie namerané údaje postupne klesali a ich hodnoty sa približovali sanačným ošetrením k pôvodným limitom vody.

Aj na základe lokálneho monitoringu životného prostredia môžeme sledovať a ovplyvňovať stav životného prostredia, ktoré bolo narušené ekologickou haváriou a spôsobilo negatívne dopady na podzemné vody. Vzhľadom k tomu, že takáto havária sa môže opakovať aj v budúcich obdobiach, vieme očakávať dopady na životné prostredie a konkrétne na jeho zložku- podzemné vody.

*Tento príspevok vznikol s podporou Odboru vedy a techniky  
MŠ SR pre aplikovaný výskum úlohy AV 4/2021/08  
a grantovej úlohy VEGA č.1/0370/10..*

## Literatúra:

- [1] <http://enviroportal.sk/ism/>, stiahnuté 12.8.2010.
- [2] Čurlík J., Šefčík, P.: *Geochemický atlas SR. Časť-V: Pôdy*, VÚPOP Bratislava 1999.
- [3] Tischler. O. a kol.: *Odstránenie následkov havárie Belža*, Záverečná správa, Environcentrum, s.r.o., Košice 2005.
- [4] <http://referaty-seminarky.sk/voda-1/>, stiahnuté 9.8.2010.
- [5] Ekotechnika spol. s.r.o.: *Praktický kurz vzorkování*, 2008.
- [6] <http://www.phmeter.sk/?meranie-vodivosti,26>, stiahnuté 10.8.2010.
- [7] D. Vass et al.: *Regionálne geologické členenie Slovenska*, M 1 : 500 000 1988.
- [8] Hanes, J. a kol.: *Pedológia*, SPU, Nitra 1997.
- [9] Henrieta Pavolová, Tomáš Bakalár, Katarína Kyseľová: Study on influence of selected producers of water pollution of Bodrog river basin in the area of Dolný Zemplín, In: Transactions of the Universities of Košice : research reports from the Universities of Košice. - ISSN 1335-2334. č. 4 (2006), s. 24-31.
- [10] [http://mesto.sk/prispevky\\_velke/moldava\\_nad\\_bodvou/ropaneznecistilapo1035632040.phtml](http://mesto.sk/prispevky_velke/moldava_nad_bodvou/ropaneznecistilapo1035632040.phtml)
- [11] [http://mesto.sk/prispevky\\_velke/kosicky/vbelzisaponedavn1037626320.phtml](http://mesto.sk/prispevky_velke/kosicky/vbelzisaponedavn1037626320.phtml)
- [12] Martina Zeleňáková: Process of environmental risk assessment in watershed, In: Transactions of the Universities of Košice : research reports from the Universities of Košice. - ISSN 1335-2334. - Č. 1 (2006), s. 18-26.