



MASARYKOVA UNIVERZITA
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA
ÚSTAV GEOLOGICKÝCH VĚD



GEOCHEMIE DŮLNÍCH VOD VYPOUŠTĚNÝCH Z VJŽ A JEJICH VLIV NA POVRCHOVÉ VODOTEČE

Bakalářská práce

Andrea Tipanová

Vedoucí práce: doc. RNDr. Josef Zeman, CSc.

Brno 2013

© 2013
Andrea Tipanová
Všechna práva vyhrazena

Bibliografický záznam

Autor: Andrea Tipanová
Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita
Ústav geologických věd

Název práce: Geochemie důlních vod vypouštěných z VJŽ a jejich vliv na povrchové vodoteče

Studijní program: Geologie

Studijní obor: Geologie

Vedoucí práce: doc. RNDr. Josef Zeman, CSc.

Akademický rok: 2012/2013

Počet stran: 33

Klíčová slova: Důlní vody; Hornoslezská pánev; Petřvaldská dílčí pánev; Vodní jáma Žofie; Petřvaldská stružka; Geochemie

Bibliographic Entry

Author Andrea Tipanová
Faculty of Science, Masaryk University
Department of Geology

Title of Thesis: Geochemistry of mine waters discharged from VJŽ
and their influence on surface stream

Degree programme: Geology

Field of Study: Geology

Supervisor: doc. RNDr. Josef Zeman, CSc.

Academic Year: 2012/2013

Number of Pages: 33

Keywords: Mine waters; The Hornoslezská basin; The
Petřvaldská basin; The Žofie Watershaft; The
Petřvaldská creek; Geochemistry

Abstrakt

Důlní vody vypouštěné z Vodní jámy Žofie ovlivňují svým složením nejen povrchové vodoteče v petřvaldské dílní pánvi, ale mají vliv i na složky životního prostředí. Důlní vody jsou vypouštěny do Petřvaldské stružky, která se vlévá do Orlovské stružky. Cílem práce bylo vyhodnocení vlivu důlních vod na vodoteče a doporučení pro omezení rizik pro zdraví. Bylo zjištěno, že důlní vody ovlivňují svým složením povrchové toky, ale jsou zde i jiné vlivy. Důlní vody by mohly mít vliv na zdraví člověka a okolní biotu.

Abstract

Mine waters discharged from The Žofie Watershaft affects not only surface watercourses in The Petřvaldská Basin but its structure also influences the environmental components. The mine waters is discharged into The Petřvaldská creek, which flows into The Orlovská creek. The aim of this paper is to evaluate the impact of mine waters on watercourses and to make recommendations for reducing health risks. It was found out, mine waters by its assemblage influence surface watercourses but there are even others influences. Mine waters could have an importance for a human health and surrounding biota.



Masarykova univerzita
Přírodovědecká fakulta



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student : Andrea Tipanová
Studijní program : Geologie
Studijní obor : Geologie

Ředitel Ústavu geologických věd PŘF MU Vám ve smyslu Studijního a zkušebního řádu MU určuje bakalářskou práci s tématem:

Geochemie důlních vod vypouštěných z VJŽ a jejich vliv na povrchové vodoteče
Geochemistry of mine waters discharged from VJŽ and their influence on surface streams

Zásady pro vypracování: Dobývání uhlí má v oblastech těžby značný vliv na životní prostředí. Po ukončení těžby, zatopení dolů a remediaci dotčených areálů zůstávají jako dlouhodobý problém kontaminované důlní, povrchové a průsakové vody. Dlouhodobě vypouštěné důlní vody z vodní jámy Žofie v Ostravě- ovlivňují povrchové toky nejen zvýšenými koncentracemi železa a manganu, ale také zvýšenou aktivitou radia 226Ra. Cílem bakalářské práce je zhodnotit stupeň tohoto ovlivnění povrchových toků.

Pokyny ke zpracování:

1. Zpracovat literární rešerši k dané problematice.
2. Vyhodnocení geochemického vývoje důlních vod VJŽ a vod v Rychvaldské stružce.
3. Na základě výsledků zhodnotit stupeň ovlivnění povrchového prostředí vypouštěnými důlními vodami.

Doporučená literatura:

Wolkersdorfer Ch. (2008): Water management at abandoned flooded underground mines. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 465 pp.

Younger P. L., Robins N. S. (eds.) (2002): Mine water hydrogeology and geochemistry. Geol. Soc. Spec. Publ. 198. – The Geological Society, London, 396 pp.

Archivní data DIAMO, s. p., o. z. ODRA.

Vedoucí bakalářské práce : doc. RNDr. Josef Zeman, CSc.

Datum zadání bakalářské práce : 31. října 2012

Datum odevzdání bakalářské práce : 3. května 2013

V Brně dne 9.11.2012

MASARYKOVA UNIVERZITA
Přírodovědecká fakulta
ÚSTAV GEOLGICKÝCH VĚD
Kotlářská 2, 602 00 Brno
doc. RNDr. Josef Zeman, CSc.
ředitel Ústavu geologických věd PŘF MU

Zadání bakalářské práce převzal dne: 27.2.2013

Podpis studenta

Andrea Tipanová

Poděkování

Na tomto místě bych chtěla poděkovat doc. RNDr. Josefu Zemanovi CSc. za odbornou pomoc, cenné rady, vstřícnost, trpělivost a konzultace během vypracovávání.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svoji bakalářskou práci vypracovala samostatně s využitím informačních zdrojů, které jsou v práci citovány.

V Brně 30. dubna 2013

.....
Andrea Tipanová

Obsah

1. Úvod.....	9
2. Přehled literárních údajů	10
2.1. Stručná historie	10
2.2. Zájmová lokalita	10
2.2.1. Geografické vymezení lokality	10
2.2.2. Geologické vymezení lokality	11
2.3. Geologie hornoslezské pánve.....	12
2.4. Hydrogeologie Petřvaldské dílčí pánve	13
2.4.1. Hydrogeologické poměry v ostravsko-karvinském revíru	13
2.4.2. Hydrogeologie vlastního ložiska.....	15
2.5. Charakteristika důlních vod	16
2.5.1. Podzemní vody.....	16
2.5.2. Důlní vody	17
2.6. Fyzikálně-chemické parametry	18
2.6.1. Teplota	18
2.6.2. pH.....	18
2.6.3. Konduktivita	18
2.6.4. Oxidačně-redukční potenciál	18
3. Metodika	19
4. Výsledky a jejich diskuse.....	20
4.1. Výsledky měření	20
4.1.1. Teplota	20
4.1.2. pH.....	20
4.1.3. Oxidačně-redukční potenciál	21
4.1.4. Konduktivita	22
4.1.5. Aktivita radia	23
5. Závěr	26
6. Použitá literatura	27
7. Přílohy.....	28
7.1. Příloha I.....	28
7.2. Příloha II	31

1. Úvod

Důlní voda ovlivňuje geochemické, hydrodynamické a celou řadu dalších dějů v zemské kůře. Dochází-li k jejímu odčerpávání nebo dokonce výtokům na zemský povrch, má vliv i na složky životního prostředí. Negativně mění chemické složení nejen povrchových vodotečí a dnových sedimentů, ale má vliv i na biotu a samotného člověka. Proto je nutné, aby se vypouštění důlních vod pravidelně kontrolovalo a sledovalo. Vodní jáma Žofie se již od roku 1999 používá k odčerpávání důlních vod. Tyto vody jsou vypouštěny do Petřvaldské a Rychvaldské stružky, které ústí do řeky Odry. Jelikož důlní vody obsahují vysoké koncentrace některých iontů, které mají negativní vliv na přilehlé okolí, probíhá každoroční monitoring situace. Cílem bakalářské práce je vyhodnocení vlivu důlních vod na povrchové vodoteče z poskytnutých dat a doporučení pro omezení rizik pro zdraví. Práce je rozdělena do dvou částí. V teoretické části je práce zaměřena na shrnutí geologie a hydrogeologie širšího okolí a také na obecnou charakteristiku důlních vod. V druhé části je popsána metodika práce, výsledky s diskusí a závěr. V práci jsou použity termíny a definice, které vyžadují základní znalost geologie, hydrogeologie, regionální geologie a geochemie.

2. Přehled literárních údajů

2.1. Stručná historie

Na lokalitě bylo dobýváno černé uhlí již v roce 1835. Hloubení těžní a větrní jámy bylo zahájeno v roce 1871 a postupně byly prohlubovány až na konečnou hloubku výdušné jámy 805 m. Těžba skončila v roce 1997. Lokalita Žofie zahrnuje pouze areál Žofie. Areál byl při zahájení útlumu v roce 1994 součástí bývalého Dolu Fučík v dobývacím prostoru Poruba (Diamo, s. p., 2012).

2.2. Zájmová lokalita

2.2.1. Geografické vymezení lokality

Areál vodní jámy Žofie (Příloha I, obr. 1) a území ovlivněné vypouštěním důlních vod (dále jen VJŽ) patří z geografického hlediska do Moravskoslezského kraje, okresu Karviná, do katastru obce Orlová, konkrétně do městské části Poruba. Lokalizace VJŽ je zobrazena na obr. 1.




Obr. 1 Lokalizace Vodní jámy Žofie (mapy.cz, 2012).

2.2.2. Geologické vymezení lokality

Z geologického hlediska leží VJŽ v Hornoslezské pánvi, konkrétně v části Petřvaldské dílčí pánve. Hornoslezská pánev leží na východní hranici Českého masivu a Karpat a její větší část zasahuje do karpatské předhlubně na území Polska. Hornoslezská pánev zaujímá plochu asi 7000 km², na území České republiky (dále jen ČR) však zaujímá pouze 1550 km² (Dopita et al., 1997). Hornoslezská pánev má přibližně tvar trojúhelníku, jehož jz. výběžek zasahuje z polské části Slezska na území našeho státu (Chlupáč et al., 2002).

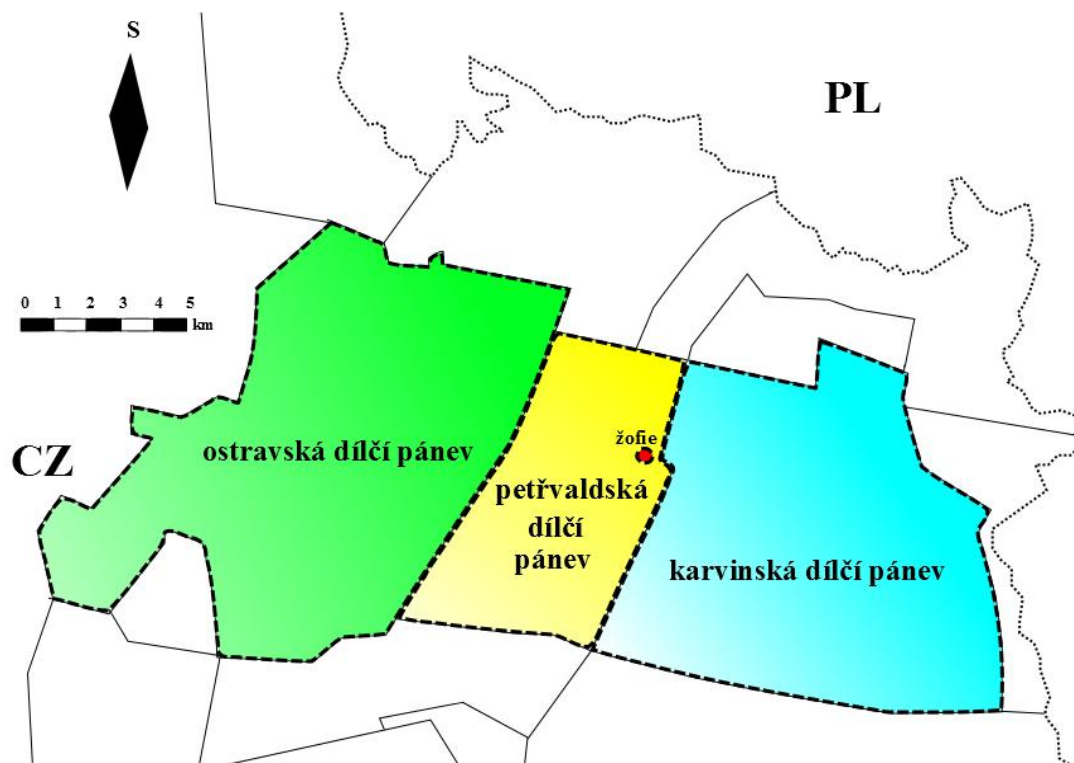
Část Hornoslezské pánve, která leží na území ČR, se provozně dělí do tří základních oblastí:

- ostravsko-karvinský revír
- podbeskydská část:  příborsko-těšínský revír
frenštátská oblast (Dopita et al., 1997).

Ostravsko-karvinský revír je geologicky i provozně členěn na další tři dílčí pánve:

- ostravská dílčí pánev
- petřvaldská dílčí pánev
- karvinská dílčí pánev (Grmela, 2004).

Rozdělení Hornoslezské pánve je zobrazeno na obr. 2.



Obr. 2 Rozdělení Hornoslezské pánve na tři dílčí pánve.

2.3. Geologie hornoslezské pánve

Podloží hornoslezské pánve tvoří hlavně brunovistulikum s devonským a spodnokarbonským pokryvem. Výplň pánve tvoří svrchnokarbonské uloženiny se slojemi černého uhlí.

Z geologického hlediska se dělí na západní a mobilnější předhlubeň variského horstva a východnější platformní část. Obě části se liší mocnostmi, výplní i intenzitou tektonického porušení, kterého od Z k V ubývá (Chlupáč et al., 2002). Stratigrafické schéma karbonu hornoslezské pánve je zobrazeno na obr. 3.

stephan	litostratigrafické jednotky		význačné uhelné sloje a horizonty
westphal	jen na polské straně		arkóza kwaczalská
			w. libiaskie
			w. laziskie
			w. orzeskie
namur	souvřství karvinské	vrstvy doubravské	sloj 962
		vrstvy sušské	sloj 804 sloj 747
		vrstvy sedlové	sloj 605
			sloj 504
	souvřství ostravské	vrstvy porubské	sloj 499
		vrstvy jaklovecké	sloj 403 sloj 385
		vrstvy hrušovské	sloj 301
		vrstvy petřkovické	sloj 255 sloj 102
			sloj 099
			sloj 009
visé	hradecko kyjovické souvřství	vrstvy kyjovické	— Štúr

Obr. 3 Stratigrafické schéma karbonu hornoslezské pánve (upraveno podle Dopity et al., 1997).

2.4. Hydrogeologie Petřvaldské dílčí pánve

2.4.1. Hydrogeologické poměry v ostravsko-karvinském revíru

V ostravsko-karvinském revíru (dále jen OKR) došlo kvůli důlním dílům a vlivu těžby, včetně hluboké hydraulické deprese vyvolané osušením horninového komplexu ke změně a místy k sekundárnímu propojení různých geohydrodynamických systémů v oblasti. Původní izolované hydraulické systémy byly propojeny uměle například vrty, jámami či důlními díly nebo došlo k propojení

zálomovými trhlinami nad poruby, závaly důlních děl apod. Vytvořil se zde nepravidelně rozvinutý hydraulický systém, který zahrnuje jak horniny karbonu, tak horniny jeho pokryvu a místy včetně kvartérních sedimentů. V místech, kde nedošlo k aktivní důlní činnosti, byly původní hydraulické poměry zachovány.

Svrchní karbon moravosilezika po jeho konsolidaci krušnohorskou fází variského vrásnění byl intenzivní hloubkovou erozí rozdělen z morfologického hlediska na ostravsko-karvinský severojižní hřbet, který probíhá Z-V směrem a jižnější příborsko-těšínský hřbet. Párový systém hlavních zlomů regionálního významu, široká a intenzivně porušená pásma vytvářející místa selektivní eroze predisponovaly morfologickou členitost paleoreliéfu karbonu. Deprese Moravské brány tvoří základní osu ve směru JZ-SV, k ní šikmo vznikl systém údolí-výmolů: bludovický Z-V směru a dětmarovický ZSZ-VJV směru. Bludovický výmol ústí do Moravské brány u Polanky nad Odrou a dětmarovický výmol se s bludovickým spojuje na území Polska. Na tyto výmoly navazují příčné erozivní zářezy druhého řádu, které se označují jako dílčí výmoly, zasahující do karbonského masivu.

Česká část hornoslezské pánve má hydraulický systém plošně odlišný. V oblasti beskydských příkrovů jsou hydraulicky propojeny zvodně ve spodnokřídových a paleogenních horninách příkrovů Západních Karpat, kdežto mimo území beskydských příkrovů jsou hydraulicky propojeny z velké části puklinové kolektory svrchního karbonu, průlinové kolektory spodnobádenského pokryvu a místy i průlinové kolektory kvartérních sedimentů.

Základním přírodním zdrojem důlních vod jsou vody kvartérních zvodní, vody zvodní spodnobádenského pokryvu karbonu z písčitých poloh tzv. svrchního zvodněného písčitého komplexu pelitické facie, z písčitých poloh tzv. spodního zvodněného písčitého komplexu pelitické facie a ze štěrkopísčitých a písčitých bazálních klastik spodního bádenu (tzv. detritový horizont). Dále jsou to vody převážně puklinových systémů zvětralinového karbonu, vody převážně puklinových a zlomových systémů svrchního karbonu a hlubšího podloží produktivních pánevních sedimentů.

Jiná situace je v oblasti beskydských příkrovů. Zde mohou být zdrojem důlních vod vody převážně puklinových systémů beskydských příkrovů podslezské jednotky,

vody písčité až pískovcových bazálních klastik autochtonního karpátu – především těšínská oblast (Grmela, 2004).

Umělými zdroji důlních vod mohou být vody různého původu zadržené ve starých důlních dílech, tedy vody, ze starých důlních děl, které mají značně pozměněný chemismus produkty zvětrávání a vody používané k provozním účelům při důlní činnosti, tedy vody, které byly do dolu přiváděny z povrchu (Grmela, 1997).

Do dolů v OKR jsou zdrojem přítoků čtyři zvodněné systémy a to fluviální a glacifluviální kvartérní sedimenty, vložky pískovců ve vyšší části pelitické facie badenu, bazální klastika badenu a vložky písků na bázi karpatienu, karbonské a devonské sedimenty. V jednotlivých dolech se uplatnění uvedených systémů liší.

2.4.2. Hydrogeologie vlastního ložiska

Dobývacími prostory bývalého dolu J. Fučík, který byl součástí areálu Žofie, neprotéká žádný významný povrchový tok. Jsou zde pouze malé rybníky Pánský a Hurtík. Dále Petřvaldský potok a Orlovská stružka tvořící v podstatě jeden tok, který ústí do dávkovací nádrže v Heřmanicích. Orlovskou stružkou byly odváděny důlní vody z dolu J. Fučík a dnes z vodní jámy Žofie. Dávkovací nádrž s manipulačním objemem 1,5 mil. m³ a ploše 1,04 km² jímala vody také z ostravské části OKR. Z nádrže jsou vody přes potok Stružka vypouštěny do řeky Odry.

Petřvaldská dílčí pánev leží mezi michálkovickou a orlovskou poruchou, na kterých se vytvořily předkarbonskou erozí hluboké zářezy, navazující na severu na dětmarovický výmol a na jihu na bludovický výmol.

V prostorech bývalého Dolu J. Fučík je 5 zvodněných, částečně plynonosných kolektorů, které se různou mírou podílely na přítocích vod do dolu:

1. kvartérní zvodněný kolektor
2. svrchní bádenský vodoplynonosný
3. spodní bádenský vodoplynonosný kolektor
4. bazální vodoplynonosný kolektor
5. karbonské průlinové vody

2.5. Charakteristika důlních vod

2.5.1. Podzemní vody

Podzemní voda je voda, která se přirozeně vyskytuje v horninovém prostředí a není vázána kapilárními silami. Jedná se o vodu v zemských dutinách a zvodnělých zemských vrstvách. Pojmem podpovrchová voda se rozumí voda v zemské kůře ve všech skupenstvích.

Chemické složení podzemních vod je výsledkem vzájemného působení srážkových a povrchových vod, podzemní atmosféry a horninového prostředí. Složení závisí hlavně na složení půd a hornin, kterými vody při svém podzemním oběhu protékají. Mimo to závisí také na složení srážkových a povrchových vod v dané oblasti.

Při formování složení podzemních vod se uplatňují tyto vlivy:

1. Přímé rozpouštění, kterým se podzemní vody obohacují o huminové látky obsažené v půdě.
2. Chemické působení. V případě důlních vod je pro dosažení vyšší mineralizace nutná přítomnost oxidu uhličitého (CO_2) nebo minerálních kyselin. Málo rozpustné uhličitany Ca, Mg, Fe a Mn se převádějí na rozpustné hydrogenuhličitany. Vliv oxidu uhličitého (CO_2) se uplatňuje při hydrolyze hlinitokřemičitanů. Voda se obohacuje především vápníkem (Ca), hořčíkem (Mg), sodíkem (Na), draslíkem (K), hydrogenuhličitany a křemíkem (Si).
3. Vliv srážkových a povrchových vod. Srážkové infiltrující vody a povrchové vody mají vliv především na složení mělkých podzemních vod ve svrchních zvodnělých vrstvách. Jde o běžné komponenty přírodních vod i o některé specifické anorganické nebo organické kontaminanty, jako jsou např. toxické kovy a uhlovodíky.

Modifikující přeměny. Primárně vzniklé komponenty podléhají druhotným modifikujícím přeměnám výměnou iontů, chemickou a biochemickou oxidací a redukcí. Oxidace a redukce ovlivňují formy výskytu, migraci jednotlivých složek a rozpustnost. Dochází k tzv. metamorfóze chemismu (Pitter, 1999).

2.5.2. Důlní vody

Důlními vodami jsou všechny podzemní, povrchové a srážkové vody, které vnikly do hlubinných nebo povrchových důlních prostorů a to až do spojení s jinými stálými povrchovými či podzemními vodami (Pitter, 1999).

Složení důlních vod je odlišné podle typu dolů, například uranové doly, uhelné doly, atd. Na složení důlních vod má vliv především chemické složení okolních hornin, složení srážkové i povrchové přitékající vody a její množství. Složení je ovlivněno i chemickými látkami používanými při těžební činnosti, těžebními a jinými zařízeními v dolech a blízko nich atd., tedy je ovlivněno antropogenní činností. Z předchozího vyplývá, že důlní vody nejsou typickou složkou životního prostředí.

Značná mineralizace u důlních vod je běžná, jelikož u nich dochází k vyluhování minerálů z okolních hornin. Obsah kyslíku v běžných podzemních vodách je přibližně stejný jako obsah kyslíku před zahájením těžby a odčerpáváním důlních vod. V důsledku čerpání důlních vod dochází k poklesu hladiny podzemní vody, tudíž se horniny, které byly dříve pod hladinou podzemní vody, dostávají nad hladinu a začínají reagovat s kyslíkem (O_2) a dochází k oxidačním procesům, např. k oxidaci železa či sulfidů. Vyšší obsah kyslíku je způsoben i ražbou tunelů a šachet nebo ventilací podzemních prostor, kdy se kyslík dostává snadněji k podzemním horninám. Po ukončení těžby hladina podzemní vody opět stoupá a dochází k znovuzaplavení hornin, které se předtím dostaly nad hladinu. Kvůli nepřístupu kyslíku k horninám, které jsou opět pod hladinou podzemní vody, dochází k redukčním reakcím (např. manganu a železa; Zeman, 2004).

V důlních vodách se vyskytují ve větším množství i mikroorganismy, které mají vliv na chod biochemických reakcí. Tyto organismy nejsou pro podzemní vody běžné. Za jejich zvýšené množství může opět vyšší obsah kyslíku. V okolí rudních ložisek se vyskytují chemolitotrofní bakterie, které získávají energii rozkladem anorganických látek.

Průtok podzemních vod je během roku v podstatě neměnný, jelikož není ovlivňován srážkami, jako průtok povrchových vodotečí a vliv atmosférických srážek se tedy projevuje až po určité době, která je závislá na rychlosti infiltrace. Složení vody se vlivem nepatrných změn v průtoku prakticky nemění a je stálejší než

u povrchových toků. Teplota je v průběhu roku poměrně stálá, tzn., že zde nejsou příliš velké výkyvy v teplotě vody mezi jednotlivými ročními obdobími. Dále se stanovuje pH, konduktivita, obsahy těžkých kovů, radioaktivních látek, některé vybrané ionty a organické látky.

2.6. Fyzikálně-chemické parametry

2.6.1. Teplota

Teplota je jedním z významných ukazatelů jakosti a vlastností vody. Výrazně ovlivňuje chemickou i biochemickou reaktivitu i v celkem úzkém teplotním intervalu přírodních a užitkových vod, a to v rozmezí 0°C až 30°C. Teplota podzemních vod roste s hloubkou formování jejich chemického složení (Pitter, 1999).

2.6.2. pH

Hodnota pH ovlivňuje většinu fyzikálně-chemických, chemických a biochemických procesů, které probíhají ve vodách. Hodnota pH je definována jako záporný dekadický logaritmus aktivity vodíkových iontů. Při hodnotě pH 7 jsou hmotnostní koncentrace iontů H_3O^+ a OH^- 1,9 $\mu\text{g l}^{-1}$ a 1,7 $\mu\text{g l}^{-1}$ (Pitter, 1999). Veličina pH určuje zásaditost, resp. kyselost vody.

2.6.3. Konduktivita

Konduktivita neboli elektrická vodivost je fyzikální veličina, která vyjadřuje schopnost látek vést elektrický proud. Konduktivita závisí na koncentraci iontů, jejich nábojovém čísle, pohyblivosti a teplotě. Pokud teplota vzroste nebo klesne o 1°C, změní se hodnota konduktivity nejméně o 2%. Proto má temperování velký význam při měření konduktivity. Konduktivita vody se obvykle přepočítává na teplotu 25°C. Důlní vody se vyznačují vysokou konduktivitou, která je způsobená vysokou mineralizací těchto vod (Pitter, 1999).

2.6.4. Oxidačně-redukční potenciál

Oxidačně-redukční potenciál je obvykle dán koncentrací rozpuštěného kyslíku. Pokud je koncentrace rozpuštěného kyslíku nízká, přestává být kyslík dominantním oxidačním činidlem a oxidačně-redukční potenciál je určován dalšími oxidačně-redukčními systémy. U splaškových odpadních vod je rozmezí asi od -200 mV do 500 mV a při anaerobní stabilizaci kalů asi od -200 mV do -300 mV (Pitter, 1999).

3. Metodika

Hodnoty fyzikálně-chemických parametrů a aktivity radia ^{226}Ra byly naměřeny společností DIAMO s. p. Postup prací byl ve všech letech totožný (Kalous et al., 2005). Lišil se pouze počet vzorkovacích míst, jelikož bylo v pozdějších letech dokázáno, že důlní vody nemají vliv na vzdálenější místa měření. V letech 2005 a 2006 probíhalo měření na všech 11 profilech, v roce 2007 měření neprobíhalo, v letech 2008 až 2010 se měřilo pouze na profilech 0 až 4 a v roce 2011 na profilech 0, 1, 3, 5 a 7 (Příloha I, obr. 2). Vzorky vod se odebíraly přímo z toku do tmavých litrových lahví, odběr sedimentu, do sáčků, ze dna stružky byl prováděn v klidnějších částech toku, kde je unášecí schopnost nižší a kde je tedy umožněna sedimentace jemnější frakce částic transportovaných vodou. V terénu byl použit multiparametrový měřič WTW Multi 340i, na němž bylo měřeno pH, Eh, teplota a konduktivita. Měření radioaktivity bylo prováděno spektrometrem GR-130G (Kalous et al., 2005).

Naměřené hodnoty (Příloha II, tab. 1) byly dále zpracovány pomocí programu MS Excel do grafů. Každá z fyzikálně-chemických veličin a aktivita radia ^{226}Ra je zastoupena dvěma grafy, které představují hodnoty naměřené v jarních a podzimních měsících. Na vodorovné ose je vždy vynesena vzdálenost jednotlivých vzorkovacích profilů podél toku od místa vypouštění důlních vod z vodní jámy Žofie. Na svislé ose jsou vyneseny dané veličiny. Svislá červená linie zobrazuje místo zaústění důlních vod do povrchového toku.

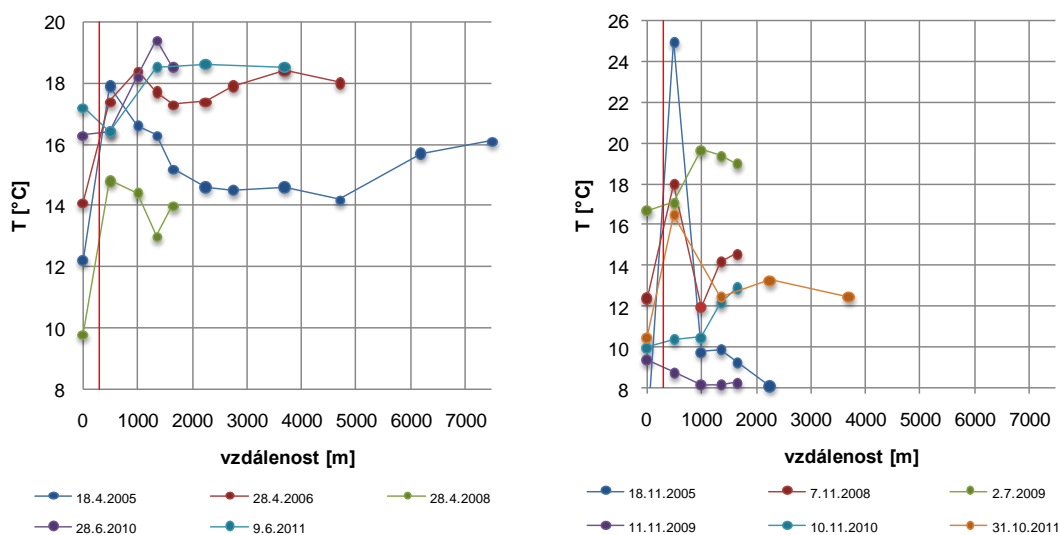
4. Výsledky a jejich diskuse

4.1. Výsledky měření

Měření vypouštěných důlních vod z VJŽ bylo zaměřeno na teplotu, pH, Eh, konduktivitu a aktivitu radia ^{226}Ra ve vodě i v příbřežních sedimentech. U některých parametrů docházelo k velkým změnám a v některých případech se jednalo i o mnohonásobné překročení limitní hodnoty.

4.1.1. Teplota

Jak dokazují grafy (obr. 4) teplot, které byly naměřeny podél toku v jarních i v podzimních měsících, teplota přirozeně kolísá v závislosti na ročním období. V jarních měsících se teplota pohybuje průměrně mezi 14°C a 19°C. Na jaře i na podzim pravděpodobně docházelo k vypouštění důlních vod, jelikož se teplota za zaústěním důlních vod zvýšila, tudíž lze vyvodit vliv důlních vod, které jsou teplé. V podzimních měsících se teplota průměrně pohybuje mezi 8°C a 20°C. Nízké hodnoty teplot na začátku měření jsou způsobeny i hustým porostem okolní bioty (Příloha I, obr. 3). Na jaře jsou nižší hodnoty teplot také důsledkem tání sněhu.

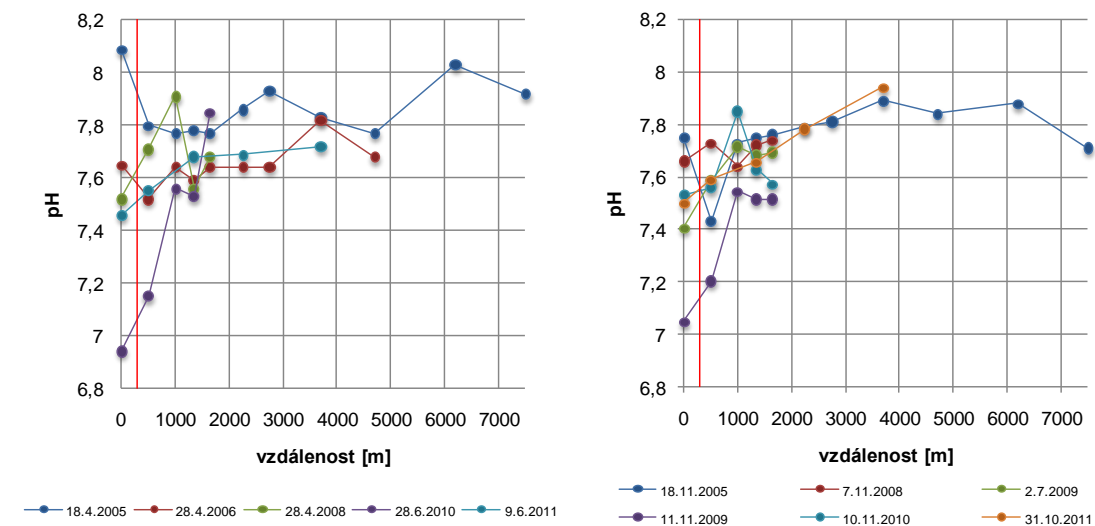


Obr. 4 Vývoj teplot podél toku v jarních a v podzimních měsících.

4.1.2. pH

Hodnota pH podél toku všeobecně systematicky roste. V jarních i v podzimních měsících (obr. 5) se pohybuje mezi hodnotami cca 7,0 až 8,1. Tato hodnota odpovídá

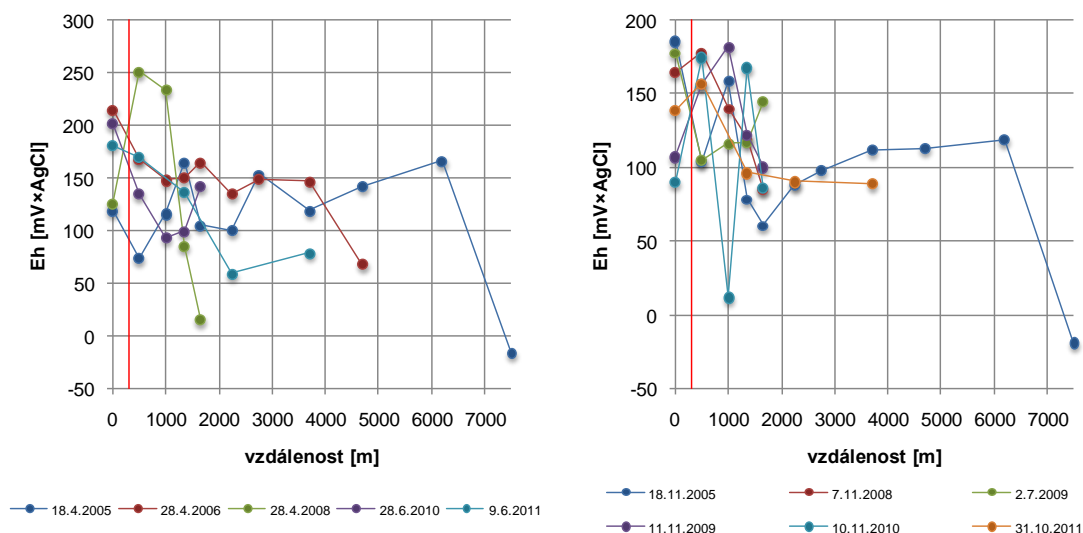
slabě zásadité vodě. Do cca 1 km se hodnota snižuje, tudíž lze vyvodit vliv důlních vod pouze do této vzdálenosti. Další zvýšení hodnot je zapříčiněno okolními vodními zdroji (Příloha I, obr. 2).



Obr. 5 Vývoj pH podél toku v jarních a v podzimních měsících.

4.1.3. Oxidačně-redukční potenciál

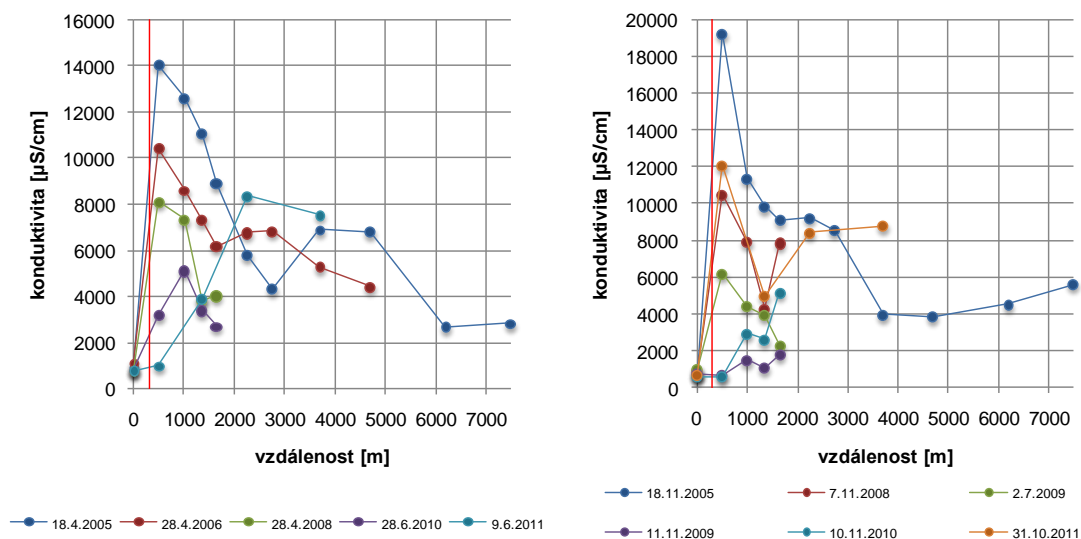
Oxidačně-redukční potenciál v jarních i v podzimních měsících (obr. 6) podél toku, systematicky klesá. Eh se pohybuje průměrně mezi hodnotami 100 až 150 mV. V podzimních měsících dochází i k dvojnásobnému zvýšení hodnoty. Snížení Eh je zapříčiněno přítomností organického detritu nebo uhelného prachu z okolí. Zvýšení Eh převádí ionty Fe^{2+} a Mn^{2+} na Fe^{3+} a Mn^{4+} , které se při zvýšení pH srážejí v podobě vlastních oxidů a hydroxidů a v těchto oxidech a hydroxidech jsou vázány i další složky vod.



Obr. 6 Vývoj oxidačně-redukčního potenciálu podél toku v jarních a v podzimních měsících.

4.1.4. Konduktivita

Konduktivita podél toku v jarních (obr. 7) měsících má většinou klesající tendenci. Největší vliv důlních vod lze pozorovat na měření z roku 2011, kdy se hodnota oproti původní hodnotě 738 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve vzdálenosti 500 m strmě zvýšila na 8360 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve vzdálenosti 2250 m. To znamená, že v době měření docházelo pravděpodobně k vypouštění důlních vod. Obecně lze říci, že dochází k 6 až 20 násobnému zvýšení hodnot. V podzimních měsících má konduktivita podobný trend (obr. 7), zde lze taky pozorovat prudké zvýšení v 500 m (12090 $\mu\text{S}/\text{cm}$), které je opět způsobeno vypouštěním důlních vod. Obecně lze říci, že dochází ke 2 až 32 násobnému zvýšení hodnot. Pravděpodobně jsou tato prudká zvýšení způsobena vlivem okolních vodních nádrží – Kališček I, Kališček II a Podkostelní rybník (Příloha I, obr. 2). V době, kdy se konduktivita snížila, docházelo nejspíše k minimálnímu vypouštění důlních vod do toku nebo k vysokému průtoku vod ve stružce.



Obr. 7 Vývoj konduktivity podél toku v jarních a v podzimních měsících.

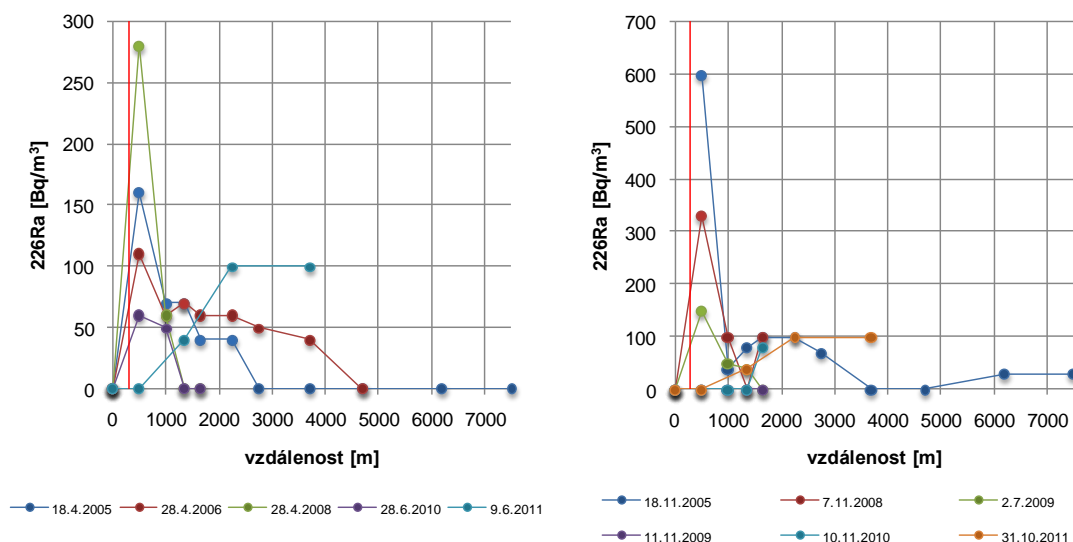
4.1.5. Aktivita radia

Aktivita radia ^{226}Ra ve vodě v jarních měsících (obr. 8) má podél toku klesající tendenci. V letech 2005 až 2010 docházelo pravděpodobně k vypouštění důlních vod v době měření, jelikož hodnoty, které byly původně na nulové hodnotě, prudce vzrostly cca v 500 m a následně cca po 1000 m opět klesají a vrací se na pozadřovou úroveň. Výjimku tvoří pouze měření z roku 2011, kdy se hodnoty zvýšily v cca 2250 m a 3700 m, stejně jako u konduktivity. Obecně lze říci, že dochází až k 9 násobnému zvýšení hodnot.

Aktivita radia ^{226}Ra ve vodě v podzimních měsících (obr. 8) má podél toku taktéž klesající tendenci. Pouze v letech 2005 a 2008 docházelo pravděpodobně k vypouštění důlních vod, tudíž se hodnoty v 500 m prudce zvýšily, podél toku dále hodnoty znovu klesají. Po 1000 m se vrací přibližně na původní hodnoty. V roce 2011 dochází k většímu nárůstu hodnot opět v cca 2250 m a 3700 m. Obecně lze říci, že dochází až k 20 násobnému zvýšení hodnot.

Zvýšená hodnota aktivity radia ^{226}Ra v roce 2011 v podzimních i jarních měsících (obr. 8) je pravděpodobně způsobena vlivem okolních vodních nádrží – Kališček I, Kališček II a Podkostelní rybník (Příloha I, obr. 2).

Ovlivnění důlními vodami se projevuje pouze při vypouštění důlních vod z VJŽ a to pouze do cca 1000 m od zaústění, dále už mají vliv na zvýšení hodnot okolní vodní nádrže.

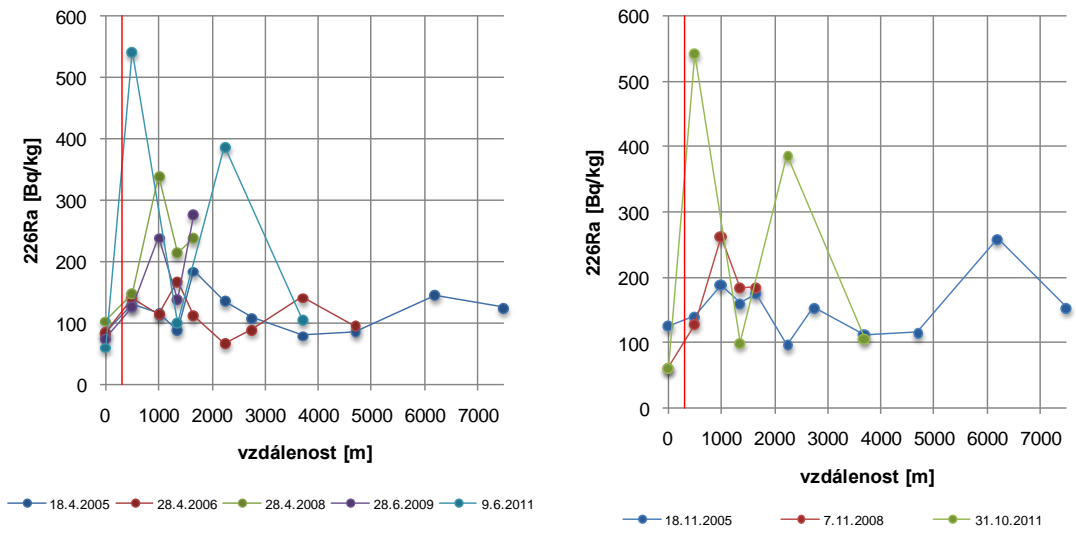


Obr. 8 Vývoj aktivity radia ^{226}Ra ve vodě podél toku v jarních a v podzimních měsících.

Naměřené hodnoty aktivity radia ^{226}Ra ze sedimentu v jarních měsících (obr. 9) mají přibližně klesající charakter. Pouze v letech 2008 a 2011 dochází k výkyvům. V roce 2008 dosahuje nejvyšší hodnoty cca v 1000 m ($340 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$) a v roce 2011 cca v 500 m ($543 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$) dále dochází k prudkému poklesu a v cca 2250 m narůstá hodnota až na $387 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$, což je v místě, kde leží jedna z vodních nádrží. Obecně lze říci, že dochází až k 9 násobnému zvýšení hodnot.

V podzimních měsících (obr. 9) má aktivita radia ^{226}Ra klesající charakter, k větším výkyvům dochází opět v roce 2011, a to v cca 500 m ($543 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$), což je důsledkem vypouštění důlních vod, a v cca 2250 m ($387 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$), kde je jedna z vodních nádrží. Obecně lze říci, že dochází až k 9 násobnému zvýšení hodnot.

U sedimentu je taktéž vliv důlních vod pouze cca 1000 m od zaústění, stejně jako u vody.



Obr. 9 Vývoj aktivity radia ^{226}Ra ve dnových sedimentech podél toku v jarních a v podzimních měsících.

5. Závěr

Grafickým vyhodnocením a interpretací poskytnutých dat z let 2005–2011 (teplota, pH, Eh, konduktivita, aktivita radia ^{226}Ra) bylo zjištěno, že důlní vody vypouštěné z VJŽ do Petřvaldské stružky, ovlivňují tyto vody pouze do vzdálenosti cca 1000 m od jejich zaústění.

V době vypouštění důlních vod jsou hodnoty mnohonásobně vyšší. Jedná se především o hodnoty konduktivity (elektrické vodivosti), dále o aktivitu radia ^{226}Ra ve vodě i ve dnových sedimentech. Vysoké hodnoty se však po zhruba 1000 m toku postupně vracejí na požadovanou hodnotu.

Dalšími zdroji, které ovlivňují vodoteče, jsou pravděpodobně vodní nádrže Kališček I a Kališček II a případně i Podkostelní rybník. Toto ovlivnění se projevuje především na hodnotách elektrické vodivosti a zvýšenou aktivitou radia ^{226}Ra .

Doporučením pro omezení rizik pro zdraví je zákaz konzumace vody, která by mohla být pro lidský organismus nežádoucí. Zároveň by daná voda neměla být používána jako užitková například pro zalévání zeleniny, stromů atd.

Dalším doporučením je pokračování v monitoringu stejně jako v roce 2011, především aktivity radia ^{226}Ra a zjištění vlivu okolních nádrží.

6. Použitá literatura

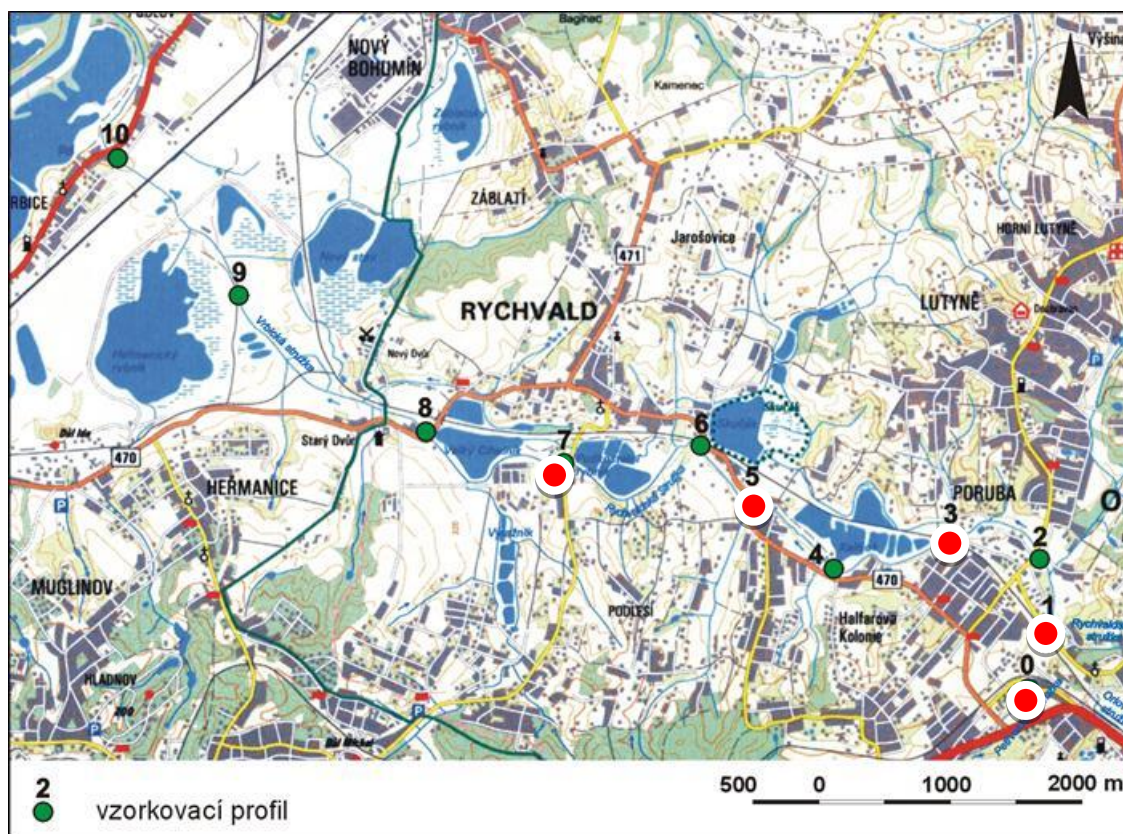
- Diamo, s. p. (2012): Žofie. Online, cit. 2012-14-10, 15:30. Dostupné z: <<http://www.diamo.cz/lokality-odra/zofie>>.
- Dopita M., Aust J et al. (1997): Geologie české části hornoslezské pánve. Ministerstvo životního prostředí České republiky, Praha. 278 s.
- Grmela A. (1997): Hydrogeologie. In Dopita M., Aust J. et al. (1997): Geologie české části hornoslezské pánve. Ministerstvo životního prostředí České republiky, Praha. 278 s.
- Grmela A. (2004): Studie zhodnocení dostupných informací o geologické a hydrogeologické situaci petřvaldské dílčí pánve OKR z hlediska prognózy vývoje kvality a kvantity zdrojů důlních vod. MS, Ostrava, 2004.
- Chlupáč I. (2002): Geologická minulost České republiky. 1. vydání. Praha: Academia, 2002.436 s.
- Kalous, J. et al. (2005): Návrh řešení hydrochemické situace a vypouštění důlních vod z vodní jámy Žofie II. Etapa. Hodnocení vlivu vod vytékajících z vodní jámy Žofie na vody a sedimenty Rychvaldské a Vrbické stružky. – Separa-Eko, spol. s.r.o. Brno.
- Pitter P. (1999): Hydrochemie. Nakladatelství VŠCHT. Praha. 568 s.
- Seznam.cz, Mapy.cz [online]. 2012 [cit. 2012-14-10] Dostupné z: <www.mapy.cz>
- Zeman J.,Kopřiva, A. - Jež, J. Vyhodnocení dlouhodobých a sezónních trendů na příkladech přirozeného vývoje chemického složení důlních vod po zatopení dolů. In Zpracování a interpretace dat z průzkumných a sanačních prací. 2004. vyd. Pelhřimov: Vodní zdroje Ekomonitor, 2004. s. 57–63.

7. Přílohy

7.1. Příloha I



Obr. 1 Pohled na areál Vodní jámy Žofie od Petřvaldské stružky.



Obr. 2 Mapa s vyznačenými vzorkovacími profily (červeně vyznačena vzorkovací místa v roce 2011).



Obr. 3 Biota kolem Petřvaldské stružky.

7.2. Příloha II

Tab. 1 Výsledky terénních měření fyzikálně-chemických parametrů a aktivity ²²⁶Ra na vzorkovacích profilech (archivní data DIAMO, s. p., o. z. ODRA).

vzorkovací profil	T	pH	Eh	vodivost	226Ra voda	226Ra sediment
	[°C]		[mV×AgCl]	[μS/cm]	[Bq/m ³]	[Bq/m ³]
	18.4.05	18.4.05	18.4.05	18.4.05	18.4.05	18.4.05
0	12,2	8,09	119	931	<30	84
1	17,9	7,8	74	14060	160,00	130
2	16,6	7,77	116	12630	70,00	115
3	16,3	7,78	165	11070	70,00	88
4	15,2	7,77	105	8910	40,00	185
5	14,6	7,86	100	5790	40,00	136
6	14,5	7,93	154	4320	<30	108
7	14,6	7,83	119	6910	<30	80
8	14,2	7,77	142	6800	<30	86
9	15,7	8,03	166	2670	<30	145
10	16,1	7,92	-16	2840	<30	125
vzorkovací profil	T	pH	Eh	vodivost	226Ra voda	226Ra sediment
	[°C]		[mV×AgCl]	[μS/cm]	[Bq/m ³]	[Bq/m ³]
	18.11.05	18.11.05	18.11.05	18.11.05	18.11.05	18.11.05
0	5,8	7,75	186	723		126
1	25	7,43	104	19260	600,00	140
2	9,8	7,73	159	11410	40,00	188
3	9,9	7,75	79	9860	80,00	160
4	9,3	7,76	61	9130	100,00	175
5	8,1	7,79	88	9260	100,00	96
6	7,1	7,81	98	8560	70,00	154
7	6	7,89	112	3980	<30	112
8	6,1	7,84	113	3880	<30	115
9	6,3	7,88	119	4550	30,00	259
10	6	7,71	-19	5620	30,00	154
vzorkovací profil	T	pH	Eh	vodivost	226Ra voda	226Ra sediment
	[°C]		[mV×AgCl]	[μS/cm]	[Bq/m ³]	[Bq/m ³]
	28.4.06	28.4.06	28.4.06	28.4.06	28.4.06	28.4.06
0	14,1	7,65	215	1113	<30	84
1	17,4	7,52	168	10420	110,00	140
2	18,4	7,64	148	8630	60,00	114
3	17,7	7,59	150	7300	70,00	168
4	17,3	7,64	165	6160	60,00	112
5	17,4	7,64	135	6760	60,00	66
6	17,9	7,64	149	6840	50,00	89
7	18,4	7,82	147	5280	40,00	142
8	18	7,68	68	4420	<30	95
9	?					
10						

vzorkovací profil	T	pH	Eh	vodivost	226Ra voda	226Ra sediment
	[°C]		[mV×AgCl]	[μS/cm]	[Bq/m3]	[Bq/m3]
	28.4.08	28.4.08	28.4.08	28.4.08	28.4.08	28.4.08
0	9,8	7,52	126	742	<30	104
1	14,8	7,71	251	8110	280,00	148
2	14,4	7,91	234	7350	60,00	340
3	13	7,56	85	3800	<30	214
4	14	7,68	15	4030	<30	238
vzorkovací profil	T	pH	Eh	vodivost	226Ra voda	226Ra sediment
	[°C]		[mV×AgCl]	[μS/cm]	[Bq/m3]	[Bq/m3]
	7.11.08	7.11.08	7.11.08	7.11.08	7.11.08	7.11.08
0	12,4	7,66	164,6	920	<30	62
1	18	7,73	178,2	10530	330,00	128
2	12	7,64	140,5	7940	100,00	262
3	14,2	7,72	119,6	4290	<30	184
4	14,6	7,74	85,2	7830	100,00	185
vzorkovací profil	T	pH	Eh	vodivost	226Ra voda	226Ra sediment
	[°C]		[mV×AgCl]	[μS/cm]	[Bq/m3]	[Bq/m3]
	2.7.09	2.7.09	2.7.09	2.7.09	2.7.09	28.6.09
0	16,7	7,406	178,3	1015	<30	75
1	17,1	7,586	105,2	6220	150,00	126
2	19,7	7,716	116,5	4440	50,00	240
3	19,4	7,681	116,9	3950	40,00	138
4	19	7,693	144,8	2300	<30	277
vzorkovací profil	T	pH	Eh	vodivost	226Ra voda	226Ra sediment
	[°C]		[mV×AgCl]	[μS/cm]	[Bq/m3]	[Bq/m3]
	11.11.09	11.11.09	11.11.09	11.11.09	11.11.09	11.11.09
0	9,4	7,05	107,4	764	<30	
1	8,8	7,202	156,9	699	<30	
2	8,2	7,545	182,2	1507	<30	
3	8,2	7,515	122,5	1077	<30	
4	8,3	7,515	100,4	1801	<30	
vzorkovací profil	T	pH	Eh	vodivost	226Ra voda	226Ra sediment
	[°C]		[mV×AgCl]	[μS/cm]	[Bq/m3]	[Bq/m3]
	28.6.10	28.6.10	28.6.10	28.6.10	28.6.10	28.6.10
0	16,3	6,94	202	797	<30	
1	16,4	7,15	135	3170	60,00	
2	18,2	7,56	93	5110	50,00	
3	19,4	7,53	99,5	3390	<30	
4	18,5	7,85	142	2710	<30	

vzorkovací profil	T	pH	Eh	vodivost	226Ra voda	226Ra sediment
	[°C]		[mV×AgCl]	[μS/cm]	[Bq/m3]	[Bq/m3]
	10.11.10	10.11.10	10.11.10	10.11.10	10.11.10	10.11.10
0	10	7,53	90	596	<30	
1	10,4	7,558	175	619	<30	
2	10,5	7,849	12	2970	<30	
3	12,2	7,628	168	2620	<30	
4	12,9	7,574	86	5190	80,00	
vzorkovací profil	T	pH	Eh	vodivost	226Ra voda	226Ra sediment
	[°C]		[mV×AgCl]	[μS/cm]	[Bq/m3]	[Bq/m3]
	9.6.11	9.6.11	9.6.11	9.6.11	9.6.11	9.6.11
0	17,2	7,457	180,6	743	< 30	61
1	16,4	7,552	169,9	995	< 30	543
3	18,5	7,681	136,4	3870	40	100
5	18,6	7,688	59,0	8360	100	387
7	18,5	7,718	78,7	7540	100	106
vzorkovací profil	T	pH	Eh	vodivost	226Ra voda	226Ra sediment
	[°C]		[mV×AgCl]	[μS/cm]	[Bq/m3]	[Bq/m3]
	31.10.11	31.10.11	31.10.11	31.10.11	31.10.11	31.10.11
0	10,5	7,501	138,9	738	< 30	
1	16,5	7,590	157,3	12090	540	
3	12,5	7,657	96,5	5000	50	
5	13,3	7,782	90,5	8450	130	
7	12,5	7,941	89,1	8810	130	