

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE



Fakulta životního
prostředí

Katedra geoenvironmentálních věd

Snížení koncentrace toxických kovů v toku Litavka - vyhodnocení účinnosti provedené sanace

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Pavel Šimek, Ph.D.

Bakalant: Alena Štíhová

2016

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Alena Štíhová

Územní technická a správní služba

Název práce

Snížení koncentrace toxických kovů v toku Litavka – vyhodnocení účinnosti provedené sanace

Název anglicky

Reducing the concentration of toxic metals in the Litavka stream – evaluation of the remediation effectivity

Cíle práce

1. Charakterizovat území, kterým protéká řeka Litavka a které bylo v minulosti zatíženo těžbou a úpravnicím rud.
2. Na základě provedených měření vyhodnotit kvalitu vody v toku Litavky.
3. Dle výsledků ověřit účinnost provedené sanace a prokázat, zda byly splněny její cílové parametry.
4. Na základě výsledků vyhodnotit vhodnost využití zájmového území v souladu s územním plánem.

Metodika

1. Na základě odborné literatury bakalantka vypracuje rešerši vztahující se k danému tématu.
2. Bakalantka se bude osobně podílet na kontrolních měřeních a odběrech vzorků. Z výsledných analýz vzorků vyhodnotí účinnost provedené sanace.
3. Vyhodnotí plánované využití zájmového území v souladu s výsledky analýz a územním plánem.

Doporučený rozsah práce

30

Klíčová slova

těžké kovy, monitoring, stará ekologická zátěž, kontaminace

Doporučené zdroje informací

ČERNÍK, M. – TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI, – VYSOKÁ ŠKOLA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ V PRAZE. *Chemicky podporované in situ sanační technologie*. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2010. ISBN 978-80-7080-767-5.

Databáze zahraničních vědeckých časopisů dostupných přes <http://infozdroje.sic.czu.cz/cs>
NATO ADVANCED RESEARCH WORKSHOP ON VIABLE METHODS OF SOIL AND WATER POLLUTION MONITORING, PROTECTION AND REMEDIATION (2005 : KRAKOV, POLSKO), – SEVEROATLANTICKÁ ALIANCE. PUBLIC DIPLOMACY DIVISION, – TWARDOWSKA, I. *Soil and water pollution monitoring, protection and remediation*. Dordrecht: Springer, 2006. ISBN 1-4020-4726-6.

Předběžný termín obhajoby

2015/16 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Pavel Šimek, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra geoenvironmentálních věd

Elektronicky schváleno dne 21. 3. 2016

prof. RNDr. Michael Komárek, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 21. 3. 2016

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 07. 04. 2016

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně, pod vedením Ing. Pavla Šimka, Ph.D. Další informace mi poskytl Ing. Vratislav Řehoř, Ph.D. Uvedla jsem veškeré publikace, články a informace, ze kterých jsem čerpala.

V Podlesí dne 7. 4. 2016

Poděkování

Chtěla bych tímto poděkovat panu Ing. Pavlu Šimkovi, Ph.D. za odborné vedení mé práce a za cenné informace a připomínky při jejím zpracování. Zároveň bych chtěla poděkovat panu Ing. Vratislavu Řehořovi, Ph.D. ze státního podniku DIAMO za jeho ochotu při poskytování potřebných informací a podkladů a za možnost podílet se na postsanačním monitoringu a dále panu Mgr. Miroslavu Holečkovi za spolupráci při prováděných odběrech a měření v průběhu monitoringu.

V Podlesí dne 7. 4. 2016

Abstrakt

Vysoká koncentrace toxických kovů v půdě a ve vodě je hrozbou pro každou oblast postiženou těžební činností. Negativně zasahuje do ekosystémů těchto území a ohrožuje zdraví a životy lidí.

Jednou z takových oblastí je území bývalého důlně-úpravárenského závodu na Březových Horách v Příbrami. Ke kontaminaci půdy, povrchové i podzemní vody zde došlo v důsledku dlouhodobé těžby polymetalických rud, která zde probíhala od středověku. Velký dopad měla i navazující úpravárenská činnost. Po ukončení těžby a souvisejících činností bylo nutné řešit její negativní dopad na krajinu.

Tato práce je zaměřena na vyhodnocení účinnosti nápravných opatření realizovaných v rámci rekultivace a sanace tohoto území. Cílem opatření bylo snížení ekologického rizika způsobeného v toku řeky Litavka, kdy hlavní příčinou znečištění je vyluhování toxických kovů z horninového prostředí infiltrací atmosférických srážek. Sanace a rekultivace zahrnovala odstranění objektů bývalé úpravní rud včetně sanace a rekultivace tohoto areálu a odvalového tělesa dolu Vojtěch včetně jeho předpolí. Po přetvarování odvalu byla na jeho povrch navezena nová zemina splňující takové fyzikální i chemické parametry, aby působila jako izolant s nižší propustností vody.

Ke zjištění kvality vody v toku Litavka a prokázání splnění cílových parametrů sanace byl prováděn v daném období postsanační monitoring. Zahrnoval odběry vzorků povrchových a podzemních vod, měření úrovně hladiny podzemní vody a měření propustnosti svrchní vrstvy horninového prostředí na stanovených kontrolních profilech.

Na základě vlastního pilotního pozorování daného území a účasti na prováděných měření včetně odběrů vzorků vody jsem mohla porovnat získané informace, zhodnotit výsledky postsanačního monitoringu a provést vyhodnocení účinnosti provedené sanace i vhodnosti využití území. Výsledky provedených měření prokázaly splnění nápravných opatření jak snížením koncentrace toxických kovů v toku Litavka, tak snížením infiltrace srážkových vod do vod podzemních. Využití zájmového území jako lesoparku je vhodné pro tuto oblast a je v souladu s územním plánem.

Klíčová slova: těžké kovy, monitoring, stará ekologická zátěž, kontaminace

Abstract

High concentration of toxic metal in soil and in water is threat for all areas that are affected in such a way. It negatively influence ecosystems of the areas and it is dangerous for health and lives of people.

A region of this characteristics is an area of former mining and smelting company in Březové Hory in Příbram. Contamination of soil, surface-water and underground water was caused by long-term mining of polymetallic ores that had been going since Medieval period. The smelting process also had significant influence. After the end of the mining and the related processes, it was necessary to deal with its negative impact to the region.

The goal of this paper is to evaluate the effectiveness of measures which was realized as part of a remediation and redevelopment of the area. The reparative measures was aimed to decrease ecological risk in river Litavka and its surroundings. Leaching of toxic metals from rock environment by infiltration of atmospheric precipitation is the main source of pollution. The remediation and recultivation consisted of removal of buildings which belonged to former factory for processing of ores, including remediation and recultivation of this grounds and pile with mining waste from mine called Vojtěch and his forefield. New earth with appropriate physical and chemical characteristics, serving as water isolant, was found after reshaping of the pile.

A postremediation monitoring was done to evaluate the quality of water in river Litavka and to prove accomplishment of targeted parameters and defined limits of the remediation. The monitoring included a collection of samples from surface-water and underground water, measurement of level of underground water and measurement of permeability of superficial layers of rock environment in defined monitoring points, so called control profiles.

Based on original observation of the region and my participation during measurements, including collection of water samples, I could compare obtained information, evaluate the results of postremediation monitoring and make evaluation of effectiveness of the remediation and suitability of usage of the area. The results of the performed measures show that corrective steps successfully lowered the concentration of toxic metals in river Litavka and also the infiltration of precipitation into the underground water. The usage of the area as park is appropriate and is consistent with zoning.

Keywords: heavy metals, monitoring, old ecological burden, contamination

Obsah

1	Úvod.....	9
2	Cíle.....	10
3	Metodika	11
4	Literární rešerše	12
4.1	Historie těžebního průmyslu v České republice a jeho následky	12
4.1.1	Ložiska v ČR.....	12
4.1.2	Polymetalické rudy – Březové Hory a Bohutín	12
4.1.3	Úpravny rud	13
4.1.4	Kovohutě	13
4.1.5	Konec těžby.....	14
4.2	Zatížení půdy a vody v těžebních oblastech.....	14
4.2.1	Nebezpečné látky - toxické kovy	15
4.2.2	Vlastnosti prioritních kontaminantů.....	17
4.3	Hornictví a životní prostředí.....	19
4.3.1	Posuzování vlivů hornické činnosti na životní prostředí	19
4.3.2	Voda ohrožená následky těžební činnosti	20
4.4	Metody obnovy zatížených oblastí.....	21
4.4.1	Přírodní procesy obnovy	21
4.4.2	Sanace a rekultivace území	22
4.4.3	Metody chemické sanace <i>in-situ</i>	24
5	Charakteristika sledovaného území, Analýza rizik, Projekt geologických prací	25
5.1	Zatížené území Příbram – Březové Hory	25
5.2	Ohrožení ekosystému Litavka	25
5.3	Analýza rizik	26
5.3.1	Cíle analýzy.....	26
5.3.2	Výsledky analýzy	27
5.3.3	Vyhodnocení ekologických rizik a přijatá opatření	28
5.4	Projekt geologických prací	29
5.4.1	Cíl úkolu.....	29
5.4.2	Etapy	30
6	Výsledky	31
6.1	Provedení sanace	31

6.2	Monitorovací profily a rozsah prací monitoringu	33
6.3	Výsledky měření – splnění cílových parametrů	34
6.3.1	Propustnost půdy	34
6.3.2	Podzemní voda	35
6.3.3	Průtoky vody v Litavce	38
6.3.4	Povrchová voda - Litavka	41
6.3.5	Hodnoty pH.....	44
6.4	Vyhodnocení nápravných opatření.....	45
6.4.1	Účinnost sanace.....	45
6.4.2	Využití zájmového území	46
7	Diskuse.....	47
8	Závěr	50
9	Přehled literatury a použitých zdrojů.....	51
10	Přílohy.....	54
10.1	Příloha č. 1.....	54
10.2	Příloha č. 2.....	56

1 Úvod

Tato bakalářská práce je vypracována z důvodu vyhodnocení účinnosti nápravných opatření realizovaných v rámci sanace území bývalého důlně-úpravárenského závodu na Březových Horách v Příbrami. Vlastníkem a provozovatelem tohoto areálu byl do roku 2001 státní podnik Rudné doly Příbram, od konce roku 2001 je vlastníkem společnost DIAMO, s.p.

Těžba a úpravnictví rud měly v této oblasti významné místo, ale staly se zároveň příčinou negativního dopadu na krajinu. Hlavním úkolem nápravných opatření byla nejen úprava tohoto území, ale především snížení ekologického rizika v toku Litavka potvrzeného Analýzou rizik v roce 2009, která byla spolufinancována Evropskou unií prostřednictvím operačního programu Ministerstva životního prostředí ČR.

Odval, který vznikl v oblasti Březových Hor mnoho let díky těžbě polymetalických rud, ohrožoval životní prostředí oblasti, která se nacházela bezprostředně pod touto haldou. Jedná se o okrajové části vesnice Podlesí a především o ekosystém řeky Litavka, kdy vyluhováním toxických kovů z půdy odvalu docházelo k znečištění povrchové vody toku. Hlavními kontaminanty byly určeny arsen, olovo, zinek a kadmium.

Na základě průzkumných prací a provedené analýzy byla navržena realizace nápravných opatření nezbytných k odstranění rizika ohrožení ekosystému Litavky. Bylo rozhodnuto o provedení technických opatření na tomto území dotčeném těžbou, a to v podobě sanace a rekultivace areálu bývalé úpravny rud, vojtěšského odvalu a jeho předpolí.

Sanaci a rekultivaci jsem měla možnost sledovat od prvních stavebních zásahů a úprav terénu. Tento zásah k odstranění následků antropogenní činnosti, jakou je například těžba, není rozhodně jednoduchým procesem jak po stránce technické, organizační, tak i finanční.

2 Cíle

Cílem této bakalářské práce je charakterizovat území Březové Hory v Příbrami, které bylo v minulosti zatížené těžbou a úpravnictvím rud a kterým protéká řeka Litavka. V práci se zaměřím na zhodnocení získaných dat a informací týkajících se negativního dopadu těžby na danou oblast, kde těžební činnost ovlivnila vzhled krajiny, ale především zapříčinila kontaminaci prostředí toxickými kovy s negativním dopadem na kvalitu vody toku Litavka, kdy Analýza rizik potvrdila riziko ohrožení ekosystému této řeky. Na základě kontrolních měření a provedených odběrů vzorků vody na stanovených monitorovacích bodech, na kterých jsem se podílela, a dále na základě provedených rozborů vzorků, je provedeno vyhodnocení kvality vody toku. Výsledky provedených měření jsou podkladem pro ověření účinnosti sanace a zároveň prokázání splnění jejích cílových parametrů. Součástí mojí práce je vyhodnocení vhodnosti využití zájmového území v souladu s územním plánem včetně vlastních doporučení dalšího využití.

3 Metodika

Pro vypracování této bakalářské práce jsem si zvolila lokalitu ve Středočeském kraji na severním okraji města Příbram v katastrálním území Březové Hory. Toto území bylo v minulosti zatíženo především těžbou a zpracováním olovnato-stříbrných rud ve flotační úpravně. Úpravna se před jejím odstraněním nacházela v areálu bývalého odvalu těžební jámy Vojtěch, který navazuje na přilehlé území toku Litavky u obce Podlesí. V důsledku těžby a úpravnictví rud došlo k zatížení této oblasti kontaminací půdy a vody toxickými kovy a k ohrožení ekosystému Litavky.

Metodické kroky k vypracování této bakalářské práce byly následující:

- na základě odborné literatury, článků a zdrojů týkajících se daného tématu jsem vypracovala literární rešerši, která je podkladem této práce. Tak jsem získala informace týkající se historie těžby v České republice, a to především se zaměřením na Příbram a zájmové území Březové Hory, dále informace a odborné rešeršní podklady pro posouzení negativního vlivu těžební činnosti na životní prostředí v takto zatížených lokalitách
- shromážděním dat z odborných zdrojů jsem poukázala na vliv toxických kovů na přírodu, na jejich vlastnosti a jejich negativní dopad na ekosystémy
- další odborné informace jsou v rešerši podkladem pro vyhodnocení možností různých metod obnovy zatížených oblastí
- důležitým zdrojem informací byly odborné konzultace na státním podniku DIAMO, o.z. SUL Příbram, v jehož správě je sledované území areálu bývalého důlně-úpravárenského závodu Březové Hory – Příbram. Tento podnik zahájil realizaci projektu Analýza rizik v roce 2009, kterou bylo prokázáno ohrožení ekosystému toku Litavka a na jejímž základě došlo k následnému provedení samotné sanace této oblasti
- vlastní pilotní pozorování dané lokality a moje účast a podílení se na odběrech vody z toku Litavka a podzemní vody v určených profilech prostřednictvím firmy EKOHYDROGE Žitný s.r.o., Praha s možností průběžného vyhodnocování vzorků, byly stěžejní pro zpracování této bakalářské práce
- nastudováním a srovnáním výsledků všech měření a posouzením současného stavu bývalého vojtěšského odvalu bylo možno tyto použít k provedení vyhodnocení účinnosti uskutečněné sanace a plánovaného využití zájmového území v souladu s územním plánem a možností navrhnout další způsoby využití.

4 Literární rešerše

4.1 Historie těžebního průmyslu v České republice a jeho následky

4.1.1 Ložiska v ČR

V České republice měl těžební průmysl vždy velký význam a rozsah. Rozhodující zde byla pestrá, zajímavá a zároveň komplikovaná geologická stavba tohoto území. Na světě je jen málo míst, kde na srovnatelně velkém prostoru můžeme vidět takovou škálu geologických jednotek, horninových typů a minerálů. Tato pestrost se projevuje i v množství typů nerostných surovin, vytvářejících na mnoha místech ložiska, která bylo možno s hospodářským efektem těžít. Území Čech, Moravy a Slezska bylo tedy vždy předmětem zájmu prospektorů a těžařů, ale zároveň i panovníků a držitelů moci (Kafka, 2003).

Pokud se zaměřím na rudní suroviny, které byly pro těžební průmysl v naší zemi důležité, je význam jejich ložisek ve Středočeském kraji s výjimkou zlata již historický. Centrem těžby stříbrných a polymetalických rud byl kutnohorský, příbramský a březohorský revír, těžby zlata jílovský revír, těžby železných rud Barrandien a uranu příbramský revír. Důležitá zde byla hydrotermální žilná ložiska polymetalických rud (Ag, Pb, Zn, Cu). Tato ložiska se nacházela především na Příbramsku a Kutnohorsku (Babka, 2007).

4.1.2 Polymetalické rudy – Březové Hory a Bohutín

Báňské práce na tomto území byly doloženy archeologickými nálezy již několik století před prvním písemným dokladem o těžbě a zpracování olovnato-stříbrných rud na Příbramsku, který pochází z roku 1311. Počátkem 16. století nastal určitý vzestup dolování, konec tohoto století však znamená úplný úpadek těžby stříbrných rud, který trval do konce 17. století. K obnovení těžby došlo opět začátkem 18. století a těžební činnost v březohorském rudním revíru nebyla pak již přerušována. V roce 1929 byla zřízena flotační úprava umožňující efektivnější zpracování chudších a jemnozrnnějších sfaleritových rud. Po druhé světové válce došlo k nárůstu těžby a zvýšenou produkcí zinku byl do jisté míry vyrovnáván pokles produkce olova a stříbra, způsobený postupným poklesem kovatosti těžených zásob. Značným ekonomickým ztrátám však nebylo možno zabránit a v r. 1971 bylo rozhodnuto o zastavení těžby a likvidaci obou ložisek. Na Březových Horách byla těžba ukončena v r. 1978 a v Bohutíně v r. 1979 (Kafka, 2003).

V 80. a v 90. letech vrcholil rozvoj báňského podnikání. Význam rudného ložiska Březové Hory přesahoval měřítko evropských a světových ložisek, a to s celkovou produkcí kovů za celou historii těžby s odhadem 453 tisíc tun olova a 3 378 tun stříbra. (Cech příbramských horníků a hutníků, 2014).

4.1.3 Úpravny rud

Úpravny v oblasti Březových Hor a toku Litavky byly zřizovány již od 16. století podle toho, jak se dařilo dobývání stříbrných rud. Nejen těžba, ale i tyto úpravny měly negativní dopad na životní prostředí blízkého okolí.

Úpravnictví těžených rud a užitkových nerostů bylo s těžbou spojeno. Úpravny byly nedílnou součástí těžebního podniku. Z důvodu technicko-ekonomických byly zřizovány většinou v centru těžebních lokalit. Menší těžební provozy zpravidla vlastní úpravny neměly, ruda se dopravovala do úpravně centrální. Úprava polymetalických rud má na Příbramsku kromě těžby rovněž dlouhou tradici. Flotační úpravně na Březových Horách vybudovaná v letech 1927-1928 byla později rozšířena o novou flotační sekci, jejímž cílem bylo zvýšení zpracovatelské kapacity a současně také výtěžnosti zinku (Kafka, 2003).

V úpravně se zpracovávaly a upravovaly rudniny, které obsahovaly olovo, zinek, stříbro, kadmium a arsen. Dále potom rudniny obsahující antimon a zlato. Byly drceny a upravovány za pomoci flotace, kdy byl získán koncentrát kovů a inertní fáze suspendovaná ve vodě. V souvislosti s úpravou docházelo rovněž k používání anorganických i organických chemikálií. V areálu úpravně byla také ukládána zem a navážky hlušiny z okolních dolů. Vzhledem k charakteru prováděné činnosti v areálu se staly prioritními kontaminanty půdy a vody v dotčeném území hlavně toxické kovy (Pb, Zn, Ag, As, Sb), ropné látky (ropné uhlovodíky, aromatické uhlovodíky, polyaromatické uhlovodíky, nepolární extrahovatelné látky), anorganické látky (zejména chloridy, sírany, vápník, uhličitany, mangan, železo, hodnota pH), polychlorované bifenyly, chlorované uhlovodíky, kyanidy a radioaktivita (Operační program životního prostředí, 2014).

4.1.4 Kovohutě

Dalším zdrojem zatížení půdy a vody toxickými kovy byly kromě samotné těžby a úpravnictví rud i hutě.

Součástí důlní činnosti bylo rovněž vybudování hutí v blízkém okolí těžebních oblastí. Tak tomu bylo i na Příbramsku. Z roku 1525 je první zpráva o nové stříbrné huti, která se nacházela pod nynějším Starým Podlesím v okolí Litavky, která se po ukončení činnosti rozpadla. Od poloviny 16. století téměř sto let pracovala další stříbrná huť u Lhoty u Příbrami, jejíž stavbu zahájil horní mistr a huťmistr Jan Antonín Alis na soutoku Litavky a Obecnického potoka. Stavba nové hutě byla dokončena v roce 1793. Podoba hutě se stále měnila. Dlouhé období byla práce v huti velmi obtížná, těžké pracovní podmínky a pracovní prostředí podlamovalo zdraví hutníků. Hutě vždy ovlivňovaly okolní životní prostředí. Největším ekologickým problémem jsou plynné emise. Při výrobě olova přechází část kovů do prachu, který uniká

s pecními plyny. Prach je nutno zachytit a znovu zpracovat, aby se snížily ztráty olova a omezil negativní vliv toxických sloučenin na životní prostředí.

V dnešní době stojí na tomto místě moderní hutnický závod - Kovohutě Příbram nástupnická a.s. V současné době disponuje huť v Evropě unikátním komplexem zařízení k ekologické recyklaci odpadů s obsahem olova, výrobě olova a jeho slitin, včetně zpracování odpadů elektrických a elektronických zařízení vyřazených z provozu (Kunický, Vurm, 2011).

K odstranění závadného stavu území areálu Kovohutě Příbram nástupnická a.s. a jeho okolí, který zapříčinilo v minulosti jeho využívání k hutnímu zpracování stříbrných a olovených rud, a tedy nakládání s nebezpečnými látkami, byla uložena Českou inspekcí životního prostředí nápravná opatření. Hlavním cílem těchto opatření bylo zabezpečení skládky sodné strusky, sanace hald hutního odpadu a monitoring toku Litavka (ČIŽP, 2011).

4.1.5 Konec těžby

Hornictví na Příbramsku má velký historický význam a tradici, která přetrvávala od středověku až po nedávnou minulost, kdy začalo docházet k postupnému útlumu těžby, uzavírání a likvidaci dolů a úpraven. Důvody zde byly nejen politické a ekonomické, ale velkou roli zde sehráli i důvody ekologické. V tomto směru byly stanoveny dva úkoly. Jedním byla likvidace uzavřených dolů a provedení sanace a rekultivace oblastí zatížených těžbou a druhým úkolem bylo zachování zásob nerostných surovin pro případné využití v budoucnu. Co se týká těžby v Příbrami, byla veškerá aktivita v podzemí u státního podniku Rudné doly Příbram ukončena 5. 10. 1995 (Kafka, 2003).

4.2 Zatížení půdy a vody v těžebních oblastech

Dlouholetou těžbou a úpravnictvím rud došlo na lokalitách, kde byla tato činnost provozována, ke kontaminaci půdy a vody toxickými kovy, kdy hlavní příčinou znečištění povrchových vod je vyluhování těžkých kovů z horninového prostředí infiltrací atmosférických srážek.

Jedna ze studií (Rieuwerts, Farago, 1996) zkoumala vzorky povrchové půdy (0–5 cm a 15–30 cm) v oblasti těžby, hutních oblastech, v centru města a okolních obydlených oblastech. Vzorky byly analyzovány na přítomnost olova, zinku, kadmia, mědi, arzenu a antimonu pomocí ICP-AES. Vysoké koncentrace všech těchto kovů byly naměřeny v hutních oblastech, tedy v okolí hutě. Menší koncentrace se vyskytovaly v těžební oblasti a dokonce v centru města Příbram. Koncentrace kovů klesala ve větší vzdálenosti od místa hutě. V některých obydlených oblastech byly

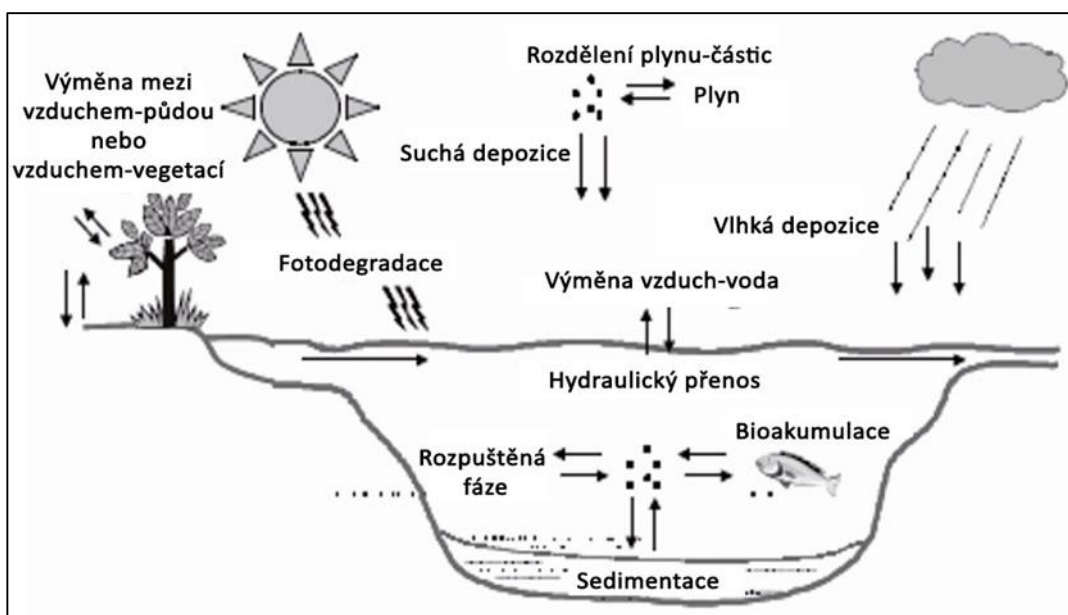
v době této studie naměřeny nadlimitní hodnoty koncentrací kovů. Zdrojem znečištění byl pravděpodobně komín hutě.

Další výzkum byl zaměřen na obsah a izotopové složení olova v rašelinovém nánosů v oblasti Hřebenů vrchoviny Brdy v blízkosti Příbrami. Vzorky z nánosů rašeliny byly datovány až do 18. století. Naměřená koncentrace olova v rašelině se měnila a její zvyšování je úměrné nárůstu produkce olovených rud v Příbrami. Nejvyšší hodnoty odpovídaly rokům maximální produkce, tedy v letech 1960 a 1970. Současná úroveň usazování olova se vztahuje k erozi kontaminované půdy a skládek zeminy, kterými jsou haldy (Mihaljevič a kol., 2006).

4.2.1 Nebezpečné látky - toxické kovy

Globální distribuce znečišťujících látek v geosféře je v současné době velice aktuálním tématem. Přesto, že na celém světě existuje mnoho způsobů měření, přesné mapování globální distribuce těchto látek v geosféře není možné. Je těžké ji určit, protože se stále mění, a to vzhledem k neustálé výměně znečišťujících látek mezi geosférou, biosférou, atmosférou a hydrosférou. Tyto látky podstupují biologické, chemické a fyzikální přeměny (Twardowska a kol., 2005).

Na obrázku č. 1 je znázorněna dynamika těchto procesů.



Obrázek č. 1 Hlavní procesy zprostředkující přenos znečišťujících látek na dlouhé vzdálenosti (Twardowska a kol., 2005)

(adapted from Fernandez and Grimalt, 2003)

Hlavní kontaminanty v geosféře můžeme rozdělit takto:

- stopové prvky – Hg, Cd, Pb,
- organohalogeny (např. trichlorethan, diowiny, polychlorované bifenyly, některé pesticidy - DDT),
- polyaromatické uhlovodíky, které jsou často karcinogenní a tvoří se při nedokonalém spalování (např. uhlí aj. organických sloučenin).

Osud znečišťujících látek v geosféře lze jen těžko kvantifikovat. Podstupují totiž různé procesy, kterými jsou sorbce, degradace, plant uptake (příjem rostlinami), vertikální transport a vypařování. Vzájemné působení těchto procesů je komplexní a nelineární. Jako hlavní nástroje k překonání těchto problémů slouží různé modely, které definují globální distribuci znečišťujících látek. Ukazují však pouze přibližný stav věci (Twardowska a kol., 2005).

Nebezpečnými látkami jsou tedy označovány takové látky, které jsou toxické, karcinogenní, mutagenní (vliv na potomstvo), teratogenní (zrůdný vývoj plodu) a s efektem kumulace v tělech živých organismů. Tyto látky se rozkládají pomalu nebo působí trvale a mají nepříznivý vliv na živé organismy. Toxickými kovy jsou měď, kobalt, zinek, kadmium, rtuť, nikl, olovo. Pocházejí především z těžebního a hutního průmyslu. Hromaděním se v potravním řetězci představují riziko pro vodní organismy, ale i pro lidský život. Ve vodě se mohou nacházet nebezpečné látky organické (polychlorované bifenyly, chlorované uhlovodíky aj) a anorganické (rtuť, kadmium, olovo, arzén aj.) (Němec, 2006).

Mezi cizorodé prvky, které jsou pro organismy nejnebezpečnější, jak se o nich zmiňuje Ing. Otakar Rop (2001) ve svém článku, patří arsen, měď, nikl, rtuť, olovo, kadmium, kobalt, stříbro, berylium a cín. Pokud je jejich obsah v půdách vysoký, může dojít k akumulaci těchto prvků v rostlinách a zároveň k negativnímu vlivu na růst rostlin. Je známo, že vyšší koncentrace cizorodých prvků obsahují potraviny rostlinného původu než potraviny živočišného původu. Důkazem je opravdu menší vzrůst rostlin v daných lokalitách nebo dokonce jejich vymizení. Hlavní příčinou znečištění vodních toků je půdní eroze, kdy je půda obsahující cizorodé prvky splachována atmosférickými srážkami do těchto toků.

Toxické kovy mají vysokou schopnost akumulovat se v sedimentech, ve vodní floře a fauně. Tuto negativní vlastnost vyjadřuje koncentrační koeficient. Poměr obohacení toxickými kovy mezi sedimentem a původní půdou je značně ovlivněn obsahem skeletu v původní půdě. Transport kovů probíhá především ve vazbě na sedimenty, důležité jsou však i jejich koncentrace ve vodě. Ke změnám v koncentraci toxickými kovy ve vodě dochází ihned po styku s půdou. Ze sledovaných 4 těžkých kovů (Cd, Ni, Pb, Zn) bylo zjištěno, že prakticky okamžitě bylo do půdy sorbováno olovo (téměř 100%), poté kadmium, nikl a zinek. Toto zjištění dokazuje, že rychlost sorpce ovlivňuje druh daného toxického kovu a ne typ půdy. Ve vodních zdrojích v přírodě

jsou tedy hlavními toxickými kovy olovo, kadmium, chrom a rtuť. Ohrožují nejen vodní organismy, ale i zdraví lidí (Janeček, 2008).

Pokud se zaměřím na oblast bývalé úpravný rud Příbram – Březové hory a toku řeky Litavka, byly v rámci provedených prací monitoringu účinnosti sanace sledovány jako prioritní kontaminanty toxické kovy: As, Cd, Pb, Sb a Zn.

4.2.2 Vlastnosti prioritních kontaminantů

Arsen přirozeně pochází ze zemské kůry, je zastoupen v mnoha minerálech. Zdrojem arsenu je též vulkanická činnost a lesní požáry. Antropogenní arsen se vyskytuje v průmyslu, především spalováním paliv, kdy se dostává do ovzduší. Rovněž vysoké koncentrace arsenu se vyskytují prostřednictvím prachu právě v okolí metalurgických závodů, které zpracovávají rudu. Spadem nebo vymytím deštěm se dostává do půdy nebo vody, kde může přetrvávat velice dlouho a může se zapojit do potravního řetězce. Sloučeniny arsenu jsou vysoce jedovaté a některé jsou prokázány mutageny, karcinogeny a teratogeny. Za netoxický bývá považován kovový arsen, který je však v organismu přeměněn ve své toxické sloučeniny. Ty sloučeniny, které jsou rozpustnější ve vodě, jsou většinou toxičtější. Arsen má značnou schopnost kumulovat se v sedimentech toků a nádrží a ve vodních organismech. Prokázány karcinogenní účinky arsenu (Suchna, 2009).

Antimon se používá se nejčastěji ve formě slitin s olovem a zinkem, v nichž zvyšuje tvrdost. Je nerozpustný ve vodě a patří mezi metaloidy (polokovy), a to z důvodů svých vlastností charakteristických pro kovy i pro nekovy. Prach a páry antimonu jsou hořlavé a výbušné, hořením vznikají jedovaté plyny. Podobně jako arsen se nachází často v olověných, měděných a stříbrných rudách. Antimon netvoří těkavé sloučeniny, ale pokud se nachází v ovzduší, je důsledkem lidské činnosti. Zdrojem jsou slévárny, spalovny, elektrárny a jiné provozy spalující uhlí, které produkují poléťavý prach nebo popel. Antimon vázaný na prachové částice může setrvávat v ovzduší po mnoho dní. Po spadu či vymytí do půdy se pevně váže na částice obsahující Fe, Mn nebo Al. Je-li však především ve formě výborně rozpustných chloridů či fluoridů dostává se do vodního prostředí. Sloučeniny antimonu jsou méně toxické než sloučeniny arsenu, princip toxicity je však podobný. Antimon je toxický pro vodní organismy. Antimon je řazen mezi neprokázané karcinogeny (Suchna, 2009).

Kadmium se vyskytuje v zemské kůře a tento měkký tažný kov, odolný proti korozi a podobný zinku byl objevený v roce 1817 jako nečistota v minerálu Smithsonitu. Je nerozložitelný, jen tvoří různé sloučeniny. Přirozeně se uvolňuje sopečnou činností. Jeho výskyt v prostředí však zapříčinila hlavně antropogenní činnost, do které můžeme zařadit metalurgii, nakládání s nebezpečnými odpady, spalování fosilních paliv, odpadů, používání hnojiv, významným zdroje kadmia v životním prostředí lidí je cigaretový kouř. Je vysoce bioakumulativní v potravních řetězcích, snadno proniká

do organismu a poškozuje ho. Pro člověka je tento toxický kov karcinogenní látkou s teratogenními účinky (poškození plodu). Může zapříčinit rovněž poškození ledvin, kostní tkáň, imunitní a kardiovaskulární systém. Do organismu se může dostat pozřením nebo vdechnutím. V lidském těle se hromadí hlavně v ledvinách a játrech. Může být tedy uložen jak v půdách a sedimentech, tak v podobě prachu v ovzduší, ovšem podstatná část ho zůstává ve vodě. Může se rovněž kumulovat v rostlinách. Ryby, rostliny a zvířata do svých organismů získávají kadmium z různých částí životního prostředí (Petrлік, Válek, 2013).

Olovo je nejrozšířenějším a nejdéle známým těžkým kovem, který se vyskytuje v půdě, vodách i biosféře. Jeho použití v průmyslu a v našem běžném životě je velice široké. Má však i negativní účinky na lidské zdraví a ekosystémy. Pokud dojde k intoxikaci olovem je nejčastější formou akutní otravy olovem postiženo trávicí ústrojí, krvetvorný systém a nervový systém. Postižení krvetvorného systému (anémie) je častá v případech profesionální expozice olovu. K postižení nervového systému, jak centrálního, tak i periferního může dojít při zvýšeném vstřebávání olova, kdy vysoce rizikovou skupinu představují malé děti. Toxicita Co se týká vodních organismů a ryb, je toxicita závislá na kvalitě vody. Toxické koncentrace olova pro jednotlivé druhy ryb v různých typech vod kolísají. Nejsou dostatečné důkazy o tom, že olovo je karcinogenní pro člověka (Suchna, 2009).

Zinek je prvek, který se běžně vyskytuje ve všech složkách životního prostředí. Největší má zastoupení v horninách (zinková ruda), ale i v rostlinném a organickém materiálu. Je důležitý pro růst organismů. V životním prostředí se nachází přirozeným způsobem výskytu a rovněž emisemi a kontaminovanými odpadními vodami při zpracování zinkové rudy. Patří mezi prvky, které jsou nezbytné pro živé organismy a jejich nedostatek je škodlivý, toxicky však může působit i jejich přebytek. Co se týká vodních živočichů, je na sloučeniny zinku velmi citlivý pstruh a jeho plůdek, s věkem ryb se odolnost vůči zinku zvyšuje. Zinek je také podezříván z ko-karcinogenity (Suchna, 2009).

Jedním z nejvíce sledovaných toxických kovů, jejichž zvýšená koncentrace v povrchových a podzemních vodách ohrožovala ekosystém toku Litavka a jeho přilehlého území jako následek těžební činnosti se stal právě zinek. Ve vodním prostředí se tato látka stává ve vyšších koncentracích vysoce toxická, a jak jsem již uvedla v předešlém odstavci, může ohrožovat některé vodní živočichy. Pozřením ryb, v jejichž těle je zinek nahromaděný, může být tedy ohrožen i člověk. Rovněž kontaminovaná voda ve studních s vysokým obsahem zinku může být nebezpečná pro zdraví lidí.

Zinek je pro organismus důležitou látkou. Je součástí mnoha enzymů lidského těla. Účastní se například reakcí syntézy a stabilizace proteinů, DNA a RNA. Je strukturální složkou v ribozomech a membránách buněk. Rovněž podporuje růst, hojení a má příznivý vliv na imunitní systém. Pokud jsou však dávky zinku vysoké, může dojít i k intoxikaci tímto těžkým kovem. Projevuje se nevolností, zvracením

a horečkou. Páry zinku mohou rovněž způsobit horečku a navíc respirační tíseň, pocení a bolest hlavy. Chronická intoxikace se projevuje sníženou funkcí imunitního systému a způsobuje chudokrevnost (Fauci, 2008).

4.3 Hornictví a životní prostředí

V mnoha oblastech těžba a zpracování nerostných surovin ovlivnila a změnila životní prostředí i život lidí. Zanechala stopy v krajině a poznamenala její celkový ráz, zapříčinila kontaminaci půdy a vody těchto lokalit.

O negativním dopadu těžby na půdu píše výstižně ve své práci Ing. Martin Neužil (1998), kde zmiňuje, že při každé těžbě vzniká zábor půdy snižující možnost jejího využívání. Dochází k narušení lesních porostů, záboru půdy, zabránění využití půdy pro lesní či zemědělskou produkci a rovněž volnému pohybu živočichů. Zásadním problémem hlubinné těžby je produkce pevných, kapalných a plyných důlních odpadů. Pevné důlní odpady jsou tvořeny hlušinou, která vzniká při ražbě podzemních šachet a štol. Vznikají tak haldy důlních odpadů, které mají rovněž vliv na místní klimatické podmínky, neboť mají vliv na proudění vzduchu v dané oblasti. Intenzivní deště mohou způsobit vodní erozi a odplavené bahno je důsledkem znečištění a kontaminace nejen půdy, ale i povrchových a podzemních vod. Podzemní voda může způsobit kontaminaci potravního řetězce. Rovněž Neužil (1998) poukazuje na další důležitou věc, a to, že haldy vytěžené hlušiny způsobují značné tlaky na podloží, které mohou negativně ovlivnit stávající geologické a samozřejmě hydrogeologické podmínky.

Chránit životní prostředí při trvale udržitelném rozvoji, který současným i budoucím generacím zachová možnost uspokojovat základní životní potřeby a přitom nesníží rozmanitost přírody a zachová přirozené funkce ekosystémů, je úkol, který na prahu nového tisíciletí formulovala Světová komise pro životní prostředí a rozvoj. Začátkem 21. století bylo v České republice rudné a uranové hornictví téměř utlumeno. Sanace oblastí postižených intenzivní těžbou ložisek uranu a ostatních rud je dnes problémem, který přesahuje i hranice naší republiky. V souladu se závazky České republiky vůči Evropské unii a v souladu se státní politikou postupného zlepšení kvality životního prostředí rozhodla vláda ČR o společném postupu, podpoře a finanční účasti státu na zahlazování následků vyhledávání, těžby a zpracování uranu a rud včetně tzv. starých zátěží a těžby v minulosti (Kafka, 2003).

4.3.1 Posuzování vlivů hornické činnosti na životní prostředí

Dnes je na základě vývoje a poznání technik tvorby a ochrany životního prostředí, hodnocení dopadů činností na životní prostředí, zjištění jeho stavu včetně zdraví dotčeného obyvatelstva a vývoje environmentálních právních předpisů, posuzování vlivu na životní prostředí dáno zákonem. Posuzovány jsou přímé i nepřímé vlivy

hornické činnosti a jejích důsledků na obyvatelstvo včetně vlivů sociálně-ekonomických a vlivy na životní prostředí, a to na živočichy a rostliny, ekosystém, půdu, horninové prostředí, vodu, ovzduší, klima a krajinu, přírodní zdroje, hmotný majetek a vymezené kulturní památky a na jejich vzájemné působení a souvislosti. Proces posuzování vlivů zákonem vyjmenovaných činností na životní prostředí (známý též jako EIA – Environmental Impact Assessment) se vztahuje jak na vlastní ryze těžbařské aktivity, tak i na vybrané aktivity závěrečné fáze těžby. Posuzování vlivů na životní prostředí je důležité pro získání objektivních a odborných podkladů potřebných pro vydání rozhodnutí, popřípadě opatření příslušných správních úřadů ke stanovení podmínek ochrany životního prostředí (Kafka, 2003).

4.3.2 Voda ohrožená následky těžební činnosti

Voda je zdrojem kyslíku a vodíku, ale tvoří hlavně velkou část živých organismů. Například tkáň člověka jsou tvořeny vodou z 60 %, průměrné rostliny z 95 %. Velký koloběh vody v přírodě je dobře známý a zároveň významný proces, který ovlivňuje ekosystémy, a to ve vztahu ke srážkám jako filtr v podobě fytoceenózy a v půdě. Voda, která prochází tímto filtrem prostřednictvím povrchového odtoku a vsakem, zásobuje vodní nádrže, povrchové toky a rezervoáry podzemní vody. Takto transpirovaná voda rozhoduje o primární produktivitě ekosystému a poté o produktivitě sekundární.

V podobě vodních nádrží a vodních toků je tedy voda důležitým prvkem a dalo by se říci páteří ekologické stability krajiny. Ovlivňuje jak biotickou složku krajiny, tak její složku abiotickou. Ty potom zpětně ovlivňují složku hydrickou (Kender, 2000).

Voda potoků a řek se pohybuje po zemském povrchu z míst s vyšší nadmořskou výškou do míst s nižší nadmořskou výškou. Z objemu povrchové sladké vody tvoří tekoucí voda pouze 2 %, je však velice důležitá jak pro hydrologický cyklus, tak pro existenci života. Mnoho rostlin i živočichů zvolilo své životní prostředí právě blízko těchto toků. Všechna významná města postavil člověk v blízkosti velkých řek, které využívá jako zdroj pitné vody, energie, pro dopravu, rekreaci, odvádění odpadních vod a další činnosti. Vodní toky se prostřednictvím fyzikálních, chemických a biologických procesů zbavují znečištění přírodního i antropogenního původu. Těmto procesům se říká samočištění. To je však omezené a v dnešní době je nutné, aby lidé pomohli přírodě a těmto tokům se zbavit znečištění, na které přírodní procesy nestačí (Komínková, 2014).

Oproti minulosti se ve druhé polovině 20. století na vodu začalo pohlížet jako na významnou krajinoformující složku, která je limitovaná jak kvantitativně, tak kvalitativně. Ke znečištění vod dochází přírodními procesy, ale i vlivem antropogenní činnosti. U povrchových vod dochází k trvalému znečišťování díky průmyslové a městské odpadní vodě. Také zhoršení v jakosti podzemních vod má

antropogenní původ. Například vsakování odpadních vod, výluhy ze skládek, úniky z odpadních jímek, průniky závadných látek z větších ploch. Specifickým zdrojem znečištění vod je důlní činnost (Němec, 2006).

V oblastech těžby jsou povrchové vody ovlivňovány vodami důlními. Má zde velký vliv účinnost čištění těchto vod před vypuštěním do recipientů. Většina rudných ložisek obsahuje velké množství těžkých kovů a dalších prvků, především arzenu. Uran a radium jsou typické kontaminanty z uranových ložisek. Znečištění způsobují i ropné látky, maziva či polychlorované bifenylly a souvisí s použitou technologií. Povrchové vody mohou být znečišťovány také spadem prachu v okolí odkališť a dopravních tras, případně splachovými vodami z rudných plat.

Podzemní vody jsou kontaminovány průsaky z odvalů a také z odkališť, které byly v minulosti vybudovány bez dostatečné izolace od propustného podloží. Průsakové technologické i atmosférické vody obsahují kovy, flotační činidla a další chemické a rozpuštěné látky. Důležité je zde složení těžných a upravovaných rud, které při spojení s podzemními vodami negativně ovlivní jejich kvalitu. Vyřešení tohoto problému je pak velice náročné, a to v podobě jímání a čištění průsakových vod před jejich vypuštěním do životního prostředí nebo provedením sanačních a rekultivačních opatření (Kafka, 2003).

4.4 Metody obnovy zatížených oblastí

4.4.1 Přírodní procesy obnovy

Ideální by bylo, kdyby jakýkoliv cizorodý zásah do přírodního prostředí byl krajinou přijat a stal se bez negativních následků její součástí. Rovnováha (homeostáze) krajiny je schopnost krajiny vstřebávat změny, udržovat stálé prostředí, vracet se do původního stavu po jejím narušení, najít nový stav vhodný k další existenci. Tato vlastnost je společná všem soustavám s živými prvky a během evoluce se vyvinula jako základní podmínka k přežití vzhledem k neustálým změnám ve světě. Procesy přírodní obnovy jsou různě dlouhé, a to od řádu hodin, dnů až po změny probíhající v úseku lidského života či délky historické. Příkladem může být vyšlapaná stezka v trávníku, kdy některé rostliny vyhynou a jiné odolnější této zátěži se rozšíří na úkor ostatních (Cílek a kol., 2011).

Některé oblasti však potřebují vzhledem ke svému zatížení antropologickou činností pomoci ve své obnově jinými metodami, než je metoda přírodních procesů. Přírodní procesy jsou v některých případech časově náročné a nutnost řešit problém v co nejkratší době je nevyhnutelný. Zvláště pokud se toto zatížení týká negativního vlivu na živé organismy a především na zdraví lidí.

4.4.2 Sanace a rekultivace území

Sanace a rekultivace jsou technická opatření, jejichž cílem je obnova přírodního prostředí. Co se týká České republiky, došlo v posledních letech ke značnému zkvalitnění životního prostředí. V souvislosti s velkými investicemi státu i dalších subjektů do této oblasti, nastává rovněž otázka efektivity, a to hlavně v oblasti sanačních procesů souvisejících s odstraňováním starých ekologických zátěží. Pokud jde o konkrétní lokality, které mají být sanovány, existuje většinou více variant technologických postupů. Rozdílná může být intenzita, použité technické prostředky, technologie a dosažený ekologický přínos. Důležitý je způsob výskytu kontaminantu v horninovém prostředí a interakce kontaminantu s přírodním prostředím. Potom je voleno místo sanace a konkrétní technologie, případně kombinace více sanačních metod (Černík, 2010).

Pokud se zaměříme na bývalou těžební oblast v Příbrami na Březových Horách, zahrnula provedená Analýza rizik ve svém hodnocení území bývalé úpravny rud, Vojtěšský odval a přilehlé území k vodnímu toku Litavka. Sanace a rekultivace jako řešení k odstranění ekologického rizika pro celé území byla rozdělena na I. etapu, která se týkala rekultivace odvalového tělesa mimo úpravnu a rekultivace předpolí odvalu a dále na II. etapu týkající se odstranění staveb bývalé úpravny včetně sanace a rekultivace území po demolicích těchto budov (Řehoř, 2012).

Po provedení sanace odvalu došlo k jeho následnému přetvarování. Po terénních úpravách následovalo navezení asi 54 tisíc tun zeminy pro plochy s následným zatravněním a zalesněním. Zemina byla navezena ve dvou vrstvách, a to spodní výplňové a svrchní vrstvy z biologicky oživitelných materiálů. Půda slouží zároveň jako izolant, proto je nutné velké množství navážky, aby do povrchových vod dále nepronikal zinek a kadmium. Musí splňovat fyzikální a chemické parametry, mezi které patří například nepropustnost, obsah toxických kovů včetně hodnocení ekotoxicity, obsah humózní složky, živin a fyzikální vlastnosti. Menší propustností půdy je dosaženo toho, že neprosákne dešťová voda do podloží a nemůže tak vymývat škodlivé látky z půdy do okolí a právě i do Litavky (Řehoř, 2013a).

Provedená sanace změnila ráz krajiny a celkový pohled na toto území především ze strany od obce Podlesí (Obrázek č. 2 a 3).



Před sanací, 4. 4. 2012



Průběh sanace, 8. 4. 2013

Obrázek č. 2 a 3 Sanace – I. etapa (DIAMO 5, 2013)

Nový pohled na území bývalé úpravny rud, kde můžeme již vidět systém odvodňovacích příkopů, cesty, zatravněné plochy a plochy osázené dřevinami (Obrázek č. 4 a 5).



Po provedení sanace duben 2014



Obrázek č. 4 a 5 Sanace – I. etapa (foto Alena Štichová)

Zahlazování následků hornické činnosti související s těžbou probíhá na mnoha místech naší republiky. Mohu zmínit například Moravskoslezský kraj, který byl v minulosti těžbou hodně zatížen a kde se sanačně- rekultivační práce týkaly hlavně okresů Ostrava, Karviná a Frýdek-Místek. Rekultivace je i zde podřízena budoucí funkci a využití území v součinnosti s územními plány a ekologickou stabilitou území. Cílem je ozdravení životního prostředí a obnovení biologického života v těchto oblastech. Významná sanačně-rekultivační stavba zde byla například sanace odvalu Václav (bývalý Důl Václav). Bylo zde zneškodněno celkem 2 517 tun kontaminovaných navážek a 10 tun kontaminovaných zemin na biodegradační ploše v Bohumíně. Revitalizace území jižního plata odvalu Heřmanice byla důležitá pro začlenění části odvalu o ploše 4,855 ha do okolní krajiny (Pastrňák, 2015).

4.4.3 Metody chemické sanace *in-situ*

Sanační technologie dnes běžně používané jsou většinou založeny na fyzikálních principech. Patří mezi ně například sanační čerpání, venting a odtěžba. Nevýhodou těchto metod je většinou časová a finanční náročnost a v některých případech malá účinnost. Proto se dostaly do popředí zájmu metody *in situ*, které nevyžadují dlouhodobé nadzemní instalace a technologie. Jsou to relativně rychlejší metody, jejichž podstatou je krátkodobý zásah činidel do půdy. Jsou to ovšem metody netradiční, a proto k nim veřejnost může přistupovat s nedůvěrou. Nevýhodou je nutnost podrobnějších znalostí principů a provádění laboratorních a pilotních testů v konkrétní oblasti. Přesto může dojít k nechtěným procesům (migrace chemických látek mimo sanovanou oblast, jiný průběh sanace), která však bývá způsobena malou znalostí o horninovém prostředí (Černík, 2010).

Přirozený stav horninového prostředí a podzemní vody je opodstatněn základními parametry, mezi které patří kromě acidity (pH) také oxidačně-redukční potenciál (E_H), který určuje chování látek, a to včetně kontaminantů. Pokud se tyto parametry změní, může dojít i ke změně chemického stavu kontaminantu, ke změně jeho rozpustnosti, formy či transformaci na jinou látku (Černík, 2010).

K základním chemickým metodám patří metody založené na změně oxidačně-redukčních podmínek prostředí, na změně acidobazických podmínek a dále jsou to metody solidifikace, stabilizace kontaminantů, biologické metody. Fyzikální a biologické metody mohou být kombinovány. Výhodou technologie využívající oxidačně-redukční procesy je rychlé snížení koncentrace cílových polutantů, vznik netoxických látek a snadné použití s nízkými náklady. V *in situ* chemická oxidace se využívá činidel, která obsahují prvky ve vysokém oxidačním stavu. Za normálních podmínek jsou nestabilní, ale pokud se vedle nich objeví látky se schopností ztratit elektrony, tato činidla jim je odnímají. V *in situ* chemická redukce se používá činidel, která snadno uvolňují elektrony a jejichž stabilita leží na spodní hranici stability vody nebo pod ní. V současné době je předmětem zájmu metoda, která se řadí mezi reduktivní abiotické sanační metody a která využívá aplikaci elementárního nanoželeza, které je aplikováno do horninového prostředí vtlačáním ve formě vodné suspenze s koncentracemi v řádech jednotek gramů na litr. Od vrtů je nanoželezo odváděno prouděním podzemní vody. Výhodou je reaktivita s velkým množstvím kontaminantů, šetrné působení na životní prostředí a nízké náklady (Černík, 2010).

5 Charakteristika sledovaného území, Analýza rizik, Projekt geologických prací

5.1 Zatížené území Příbram – Březové Hory

Zájmové území se nachází ve Středočeském kraji na severním okraji města Příbram, v katastrálním území Březové Hory. Jak jsem již uvedla, byla tato oblast v minulosti zatížená těžbou a následně úpravnictvím rudnin s obsahem olova, zinku, stříbra, kadmia, arsenu a v pozdějších letech antimonu a zlata. Flotační úpravná se před jejím odstraněním nacházela v areálu na ploše bývalého odvalu těžební jámy Vojtěch, který navazuje na přilehlé území toku Litavky ve směru k obci Podlesí. Když pominu kontaminaci půdy odvalu, bylo dalším závažným problémem vyluhování toxických kovů z půdy infiltrací atmosférických srážek. Vlivem svažitého terénu bylo snadné, aby se dostala kontaminovaná voda do toku Litavky. Kromě ekologického rizika této řeky, které bylo potvrzeno Analýzou rizik, bych chtěla poukázat na toto zatížené území jako celek. Před provedenou sanací a technickou rekultivací, kterou jsem měla možnost sledovat, byla tato oblast kamenitou haldou s řídkým porostem travin a stromů, bez možnosti dalšího využití. V současné době je výhled využití této oblasti mnohem širší. Zároveň snížení hodnot toxických kovů v toku Litavka, který byl potvrzený postsanačním monitoringem, je pozitivním ukazatelem pro přírodní podmínky tohoto území.

5.2 Ohrožení ekosystému Litavka

Litavka odvodňuje asi čtvrtinu srážkově nejbohatších poloh pohoří Brd. Pramení nedaleko obce Láz v nadmořské výšce 765 m a vlévá se v Berouně zprava do toku Berounky ve výšce 218 m. Jedním z významných přítoků Litavky je Příbramský potok. Celková délka jejího toku je 58,3 km. Prudký spád řeky umožňoval využití vodní síly pro podbrdskou metalurgii a později i důlní činnost. Před dotčenou oblastí Březové Hory se Litavka zužuje. Mezi touto částí a Lhotou u Příbramě to byl především člověk, který se podílel na rázu této krajiny. Těžební činnost v podobě odvalů a neupravených ploch lemovala zleva její údolí. Větší spád řeky a rozšíření údolí za Starým Podlesím dopomohl ke dvěma zásobním rybníkům k mlýnům a kovohutím na pravém břehu Litavky (Dejmal, 2000).

Povodí Litavky zahrnuje široké spektrum znečištění a zhoršení jakosti vody. Kromě jiných znečištění (lokality acidifikované, eutrofizované, organicky a bakteriologicky znečištěné) zde sehrála velkou roli kontaminace ropnými látkami a toxickými kovy, která byla způsobena těžbou a úpravnictvím rud. Určité množství toxických kovů se dostávalo do Litavky prostřednictvím Příbramského potoka, který přijímal důlní vody, velkou měrou přispěly i splachy a průsaky z výsypek vytěženého materiálu. Zvýšený obsah kovů byl zjištěn také v mase a vnitřnostech ryb v Litavce (Duras a kol., 2000).

Pokud má voda nepříznivé fyzikální, chemické, biologické a bakteriologické vlastnosti, může být příčinou poškození zdraví člověka, ale zároveň může negativně ovlivnit celou řadu živočichů. Ve vodě v nádrži nebo ve vodním toku jich žije mnoho. Například ryby, perloočky, řasy, sinice, bakterie (Němec, 2006).

V rámci znečištění vody v oblasti Příbramska byly zkoumány říční sedimenty toku Litavka a Příbramského potoku. Metodou analýzy izotopu olova se jako hlavní zdroje znečištění ukázala těžba a primární hutní průmysl olova. Sekundární hutní průmysl olova, kterým je zpracování autobaterií, je zanedbatelný (Ettler a kol., 2006).

Oblast Litavky se stala unikátní oblastí v České republice k provedení studie, která hodnotí metody používané k určení míry znečištění rizikovými prvky, a to především se zaměřením na Cu, Pb a Zn. Snaží se odhalit chování těchto prvků v souvislosti s životním prostředím a vlivu na člověka. Remediační experimenty s různými změnami půdy byly určeny ke snížení pohybu rizikových prvků a jejich biologické dostupnosti. Jako zdroje znečištění byly stanoveny záplavy znečištěnou vodou, specifické složení podloží a atmosférické usazování spadu z hutí. Sledované území Litavky bylo použito jako modelové k prezentaci používání metod určujících míru znečištění a možnosti jeho odstranění nebo snížení. Metody jsou různé a aplikovatelné v individuálních podmínkách (Borůvka, Vácha, 2006).

Analýzou rizik v roce 2009 bylo zjištěno riziko ohrožení ekosystému povrchové vodoteče řeky Litavky v důsledku dotace toxickými kovy, a to hlavně zinkem z oblasti bývalé úpravny rud. Vyluhování zinku a dalších kovů z horninového prostředí infiltrací atmosférických srážek bylo hlavní příčinou znečištění povrchové vodoteče Litavka. Kontaminované vody se zvýšeným obsahem zinku tak pronikaly do mělkého kvartérního kolektoru tvořeného fluvialními šterkopískovými sedimenty a následně znečišťovaly řeku (EDB-Evropská databanka, 2014).

5.3 Analýza rizik

5.3.1 Cíle analýzy

V roce 2009 byla zahájena realizace projektu Analýza rizik území ve správě DIAMO, s.p., o.z. SUL Příbram, bývalého důlně-úpravárenského závodu Březové Hory – Příbram. Tento projekt zpracovaný dle metodiky Ministerstva životního prostředí ČR patří mezi projekty spolufinancované Evropskou unií prostřednictvím Operačního programu Životního prostředí. Jeho předmětem bylo zpracování analýzy rizik dotčeného areálu. Průzkumné práce zahrnovaly realizaci 6 vystrojených hydrogeologických vrtů o hloubce 30 m pod terénem, 8 nevystrojených vrtů do hloubky 8m, dále 34 mělkých sond, odebrání 414 vzorků stavebních konstrukcí, 581 vzorků zemin, 32 vzorků kalů a dnových sedimentů a 142 vzorků podzemní, povrchové a odpadní vody (Řehoř, 2010).

Cílem průzkumu znečištění a analýzy rizika bylo zhodnocení stavu kontaminace horninového prostředí dané lokality. Ověřen byl rozsah kontaminace stavebních konstrukcí a zemin v areálu i na ploše odvalu a v okolí, dnových sedimentů toku Litavka, odpadních a povrchových vod v areálu včetně rozptylové studie pro ověření transportu kontaminace mimo areál (Suchna, 2009).

5.3.2 Výsledky analýzy

V areálu bývalé úpravny rud analýza prokázala kontaminaci zemin toxickými kovy v důsledku antropogenní navážky hornického původu – zeminy odvalu a kaly z flotace. Byla potvrzena kontaminace převážně těžkými kovy, a to As, Pb, Sb, Zn. Vzhledem ke skutečnosti, že úpravna byla postavena na odvalu dolu Vojtěch, došlo téměř na celé ploše ke zvýšení koncentrace kovů a vzhledem k heterogenitě navážek byly vymezeny plochy s vysokými koncentracemi. Souhrnné výpočty ukázaly, že v zeminách areálu jsou vázány stovky až tisíce tun těžkých kovů (148 t As, 679 t Pb, 59 t Sb a 1163 t Zn). Tyto kovy byly sledovány i v dnových sedimentech jak v areálu bývalé úpravny, tak i v toku Litavky, kdy z vyhodnocení analýz vzorků sedimentů byl zřejmý nárůst koncentrací ve směru toku podél sledovaného území. Dalšími látkami potenciálního zájmu v dotčeném areálu byly kromě uvedených toxických kovů včetně Ag, Au a Cd rovněž ropné látky, anorganické látky, polychlorované bifenyly, chlorované uhlovodíky, kyanidy a radioaktivita (Suchna, 2009).

Ekosystém povrchového toku Litavky byl vzhledem ke své poloze a přímému kontaktu s vodami, které vytékají z areálu bývalé úpravny, potvrzen jako příjemce možných rizik. Jako další skupiny příjemců rizik byly vytipovány a potvrzeny tyto skupiny: pracovníci v areálu bývalé úpravny a obyvatelstvo města Příbrami v blízkosti areálu bývalé úpravny. V povrchovém toku Litavky blízko areálu byly zjištěny vyšší koncentrace Pb a Zn, které převyšovaly limitní hodnoty znečištění. Obsahy Zn ve směru toku podél bývalé úpravny výrazně narůstaly a obsahy As a Pb narůstaly až mezi odběrnými místy pod areálem. Obsahy Sb byly pod mezí detekce. Nárůst těžkých kovů ve směru toku byl prokázán i u dnových sedimentů. Ekologické riziko vyplynulo nejen ze zvýšeného přirozeného pozadí toxických kovů, ale i díky drenáži povrchového toku pro podzemní vody vytékající z areálu a vyústění povrchových vod z areálu. U Pb a Zn bylo zjištěno překročení limitní hodnoty znečištění povrchových vod dle Nařízení vlády č. 61/2003 Sb. ve znění Nařízení vlády č. 229/2007 Sb. (Suchna, 2009).

5.3.3 Vyhodnocení ekologických rizik a přijatá opatření

Analýza rizik prokázala tedy svými výsledky ohrožení ekosystému povrchové vodoteče a příbřehových částí Litavky především v důsledku zvýšených obsahů Pb a Zn (Suchna, 2009).

Pokud porovnáme ekotoxikologické hodnoty vybraných kontaminantů s průměrnými a maximálními hodnotami ve vodě toku Litavky, je patrné jejich překročení u Pb a Zn, kdy prioritním kontaminantem byl určen zinek. Toto překročení je rizikem pro některé vodní organismy (Tabulka č. 1).

Kontaminant	Ekotoxikologické působení	Koncentrace v Litavce, mg.l ⁻¹	
		prům.	max.
As	LC50 koryši = 37 – 98 mg.l ⁻¹ . LD50 krysa = 13,39 mg/kg LD50 myš = 46,2 mg/kg	6,5	7,5
Pb	Toxické koncentrace pro ryby = 0,1 - 10 mg.l ⁻¹ NOAEL losos = 0,004 mg.l ⁻¹ LC prvoci = max0,5 mg.l ⁻¹ LC nitěnky = max0,1 mg.l ⁻¹ LC bentické organismy = 0,2 mg.l ⁻¹	0,02	0,02
Sb	EC50 fytoplankton = 4,15 ug.l ⁻¹ LC50 pstruh duhový, 24 hod = 15 ug.l ⁻¹ LC50 dafnie, 48 hod = 530 ug.l ⁻¹	0,01	0,01
Zn	LC zoobentos = 0,4 mg.l ⁻¹ LC larvy jepice = 0,3 mg.l ⁻¹ LC koryši = 0,2 mg.l ⁻¹ LC prvoci = max1 mg.l ⁻¹	0,28	0,54

Tabulka č. 1 Ekotoxikologické parametry vybraných prioritních kontaminantů, ve srovnání s koncentracemi v povrchové vodě Litavky (Suchna, 2009)

V uvedené tabulce je vyhodnocen vztah dávka – účinek. Ekotoxikologické účinky na organismy se určují pomocí různých parametrů, které vyjadřují vztah látky a jejím účinkem.

Tak může být stanovena např.:

- nejvyšší dávka nebo koncentrace, kdy nebyl zjištěn žádný škodlivý efekt (NOAEL)
- nejnižší koncentrace, při které je sledován výrazný vliv na organismus (LOEC)
- letální dávka nebo koncentrace, která způsobí úmrtí 50% jedinců sledovaných organismů (LC₅₀, LD₅₀)
- schopnost látky kumulovat se v organismech – biokoncentrační faktor.

Vzhledem ke zjištěnému riziku ohrožení ekosystému Litavky bylo jako opatření navrženo odstranění kontaminovaných stavebních konstrukcí, kterými byly především budovy bývalé úpravny rud, dále sanace území odtěžbou kontaminované zeminy s uložením na jiném, vhodně zabezpečeném místě a zamezení expozice zbytkové kontaminace na lokalitě. Součástí doporučených opatření byl navržen monitoring podzemních a povrchový vod. Možnost „nulové varianty“, která představuje ponechání stávajícího stavu bez zásahu, byla určena jako nevhodná (Suchna, 2009).

5.4 Projekt geologických prací

5.4.1 Cíl úkolu

Na základě realizační smlouvy bylo zadáno zpracování projektové dokumentace geologických prací stavby, jejímž cílem bylo provedení technických opatření určených k nápravě závadného stavu dotčeného území z hlediska životního prostředí. Jednalo se především o ohrožení ekosystému povrchového toku Litavka v důsledku dotace toxickými kovy, a to především zinku. Cílové parametry sanace byly dány závazným stanoviskem MŽP v tomto znění:

- Snížit dotaci Litavky – v I. etapě o 925 kg zinku a v součtu I. a II. etapy o 1250 kg zinku.
- Kontrola snížení dotace Litavky bude prováděna monitoringem v profilech DB-1 a DB-3. Dosažení cílového parametru bude prokázáno dosažením uvedených bilančních hodnot, což odpovídá koncentraci Zn v profilu DB-3 v I. etapě 0,58 mg/l, v I. a II. etapě 0,55 mg Zn/l proti stávajícímu dlouhodobému průměru 0,68 mg Zn/l.
- Cílový parametr bude považován za splněný, pokud průměr šesti následujících analýz vod měsíčních odběrů v profilu DB-3 bude vykazovat požadovanou hodnotu v období 2 let po ukončení sanačních prací.
- Snížit infiltraci srážkových vod do podzemních vod o 18 700 m³ ročně, což odpovídá 0,59 l.s⁻¹.
- Kontrola plnění tohoto cílového parametru bude prováděna měřením průtoku Litavky v profilu DB-1 a DB-2.

K prokázání postupu plnění tohoto cílového parametru bude rovněž využito a průběžně vyhodnocováno měření průtoku ve vyústění odvodňovacích příkopů.

Kontrola splnění těchto cílových parametrů sanace byla prováděna měřením propustnosti svrchní vrstvy půdy v dotčené oblasti. Měření bylo prováděno infiltrometrem in-situ a laboratorními zkouškami propustnosti navážené rekultivační vrstvy, kdy bylo cílem snížení infiltrace srážkových vod do podzemních vod (Klibáni, 2012).

5.4.2 Etapy

Projektované geologické práce byly rozděleny na tyto etapy:

- přípravné práce
- sanační monitoring
- monitoring účinnosti sanace
- řízení a vyhodnocení sanačních prací
- odstranění nepotřebných průzkumných vrtů a měrných objektů.

Do přípravných prací bylo mimo jiného zahrnuto zřízení monitorovacích profilů na toku Litavky za účelem sledování průtoků. Součástí dokumentace ke stavbám předmětné sanace byl plán monitoringu, který zahrnoval sledování kvality povrchových a podzemních vod, množství povrchových vod a měření propustnosti svrchní části půdy. Jeho součástí byl rovněž plán vzorkování (Klibáni, 2012).

První monitorovací profil vstupní profil (DB-1) byl umístěn v úseku, který není ovlivněn drenáží vod ze sanovaného prostoru a nacházel se pod mostem v ulici Pod Kovárnami. Výstupní profil (DB-2) byl zřízen na toku těsně pod sanovaným územím v prostoru pod mostem v ulici K Podlesí, tedy na výstupu ze zájmového území. Přípravné práce zahrnovaly rovněž předsanační monitoring, který byl důležitý pro vyhodnocení výsledků sanace. Úkolem zde bylo sledování úrovně kontaminace podzemních vod v průzkumných vrtech, povrchových vod v profilech na Litavce a v dalších přítocích, sledování průtoků na dvou zmíněných profilech, měření propustnosti horninového prostředí svrchní vrstvy území před provedením rekultivačních prací (Klibáni, 2012).

Cílem sanačního monitoringu bylo tedy sledování změn vybraných parametrů v průběhu sanačních prací s průběžným sledováním účinnosti sanace a monitoring účinnosti sanace probíhal po dokončení technických opatření a sloužil pro prokázání dosažení cílových parametrů sanace. Během sanačních prací byly odstraněny průzkumné vrty, které již nebyly zapotřebí pro sledování a monitoring. Po ukončení monitoringu byly odstraněny měrné objekty pro sledování množství povrchových vod a dle rozhodnutí aktualizované analýzy rizik v I. a II. etapě byly odstraněny i zbývající průzkumné vrty (Klibáni, 2012).

6 Výsledky

Jak jsem již uvedla, je řeka Litavka hranicí mezi sanovanou oblastí a obcí Podlesí (Obrázek č. 6 a 7). Náprava závadného stavu tohoto území se týkala nejen ekosystému tohoto toku, ale i přilehlých částí obce. Postsanační monitoring byl důležitý pro vyhodnocení účinnosti provedené sanace a možnosti zhodnocení cílových parametrů.



Obrázek č. 6 a 7 Obec Podlesí a Litavka pod sanovanou haldou (foto Alena Štichová)

6.1 Provedení sanace

Na základě Analýzy rizik území ve správě DIAMO, s.p., o.z. SUL Příbram, bývalého důlně-úpravárenského závodu Březové Hory – Příbram zpracované v roce 2009 bylo zjištěno, že v průtoku toku Litavky podél areálu bývalé úpravně dochází ke zvyšování koncentrací toxických kovů, a to zejména zinku a kadmia, s následným rizikem ohrožení ekosystému Litavky a jejího přilehlého území. K odstranění ekologického rizika byla jako nápravné opatření navržena sanace a rekultivace areálu úpravně a pozůstatků vojtěšského odvalu. Znovu připomínám, že I. etapa se týkala rekultivace odvalového tělesa a rekultivace předpolí odvalu a II. etapa odstranění staveb bývalé úpravně s následnou sanací a rekultivací území, kde byly tyto stavby odstraněny. Zachovány zůstaly některé objekty z důvodu nesouhlasu orgánů památkové péče s jejich odstraněním.

Po dokončení demolice objektů bylo Městským úřadem Příbram 26. září 2012 vydáno územní rozhodnutí o změně využití území pro účel sanace území bývalého důlně-úpravárenského závodu Příbram - Březové Hory a okolí - II. etapa a v říjnu 2012 byly na základě souhlasu MŽP zahájeny stavební práce, které zahrnovaly terénní úpravy, návozy krycích materiálů, budování obtokových příkopů a obslužných cest, pokládku protierozních geotextilií a jutových rohoží. Následovala výsadba více jak 1 600 ks rychle rostoucích dřevin. Stavba byla ukončena ve velice krátkém časovém období, a to závěrem roku 2012. Významná je zde i pěstební péče spojená s údržbou, ochranou a doplňováním vysazených dřevin. Rovněž byly zahájeny práce I. etapy týkající se sanace odvalu a přilehlých pozemků směrem k toku Litavky, které technicky navázaly na ukončenou II. etapu (Řehoř, 2013b).

Technická rekultivace vojtěšského odvalu zahrnovala hrubé terénní úpravy v podobě přetvarování stávajícího povrchu tak, aby svahy nepřesahovaly max. sklon 1:3 (Obrázek č. 8 a 9). Následovalo zúrodnění povrchu a omezení jeho propustnosti a zajištění vhodných půdních podmínek pro biologickou rekultivaci, kdy byly svažité plochy zalesněny, plochy s nižším spádem byly zatravněny a osázeny rozvolněnými skupinami dřevin (cca 32 000 ks stromků). Byly zde vybudovány cesty a stezky a pro odvodnění povrchových vod byl na tomto území vytvořen systém odvodňovacích prvků v podobě příkopů s odvodem do Litavky (Obrázek č. 10 a 11). Nápravná opatření provedená v tomto zájmovém území o rozloze více než 9 ha území byla ukončena 31. 10. 2013 s následným prováděním monitoringu účinnosti sanace povrchových a podzemních vod po dobu 2 let a pěstební péčí spojenou s údržbou, ochranou a doplňováním vysazených dřevin po dobu 3 let, která by měla trvat minimálně do října 2016. Na zalesněných plochách se provádí dosadba, vyžínání, okopávka, ochrana proti poškozováním zvěří a zároveň se lesní porosty přihnojují, pokud je třeba provádí se zálivka, obnova kůlů a úvazků (Holeček, 2015).



Obrázek č. 8 a 9 Hrubé terénní úpravy v prostoru odvalu a bývalé úpravny - listopad 2012 (bhsanace.správcestavby.cz)



Obrázek č. 10 a 11 Osázené svahy, odvodňovací prvky a vybudované cesty (foto Alena Štichová)

Na fotografiích přílohy č. 2 (Kovář, 2013) můžeme vidět rozsah budov bývalé úpravny rudnin a pohled na území po jejich odstranění v průběhu II. etapy sanace. V pozadí je vidět obec Podlesí, která je od zájmového území oddělená tokem Litavky.

6.2 Monitorovací profily a rozsah prací monitoringu

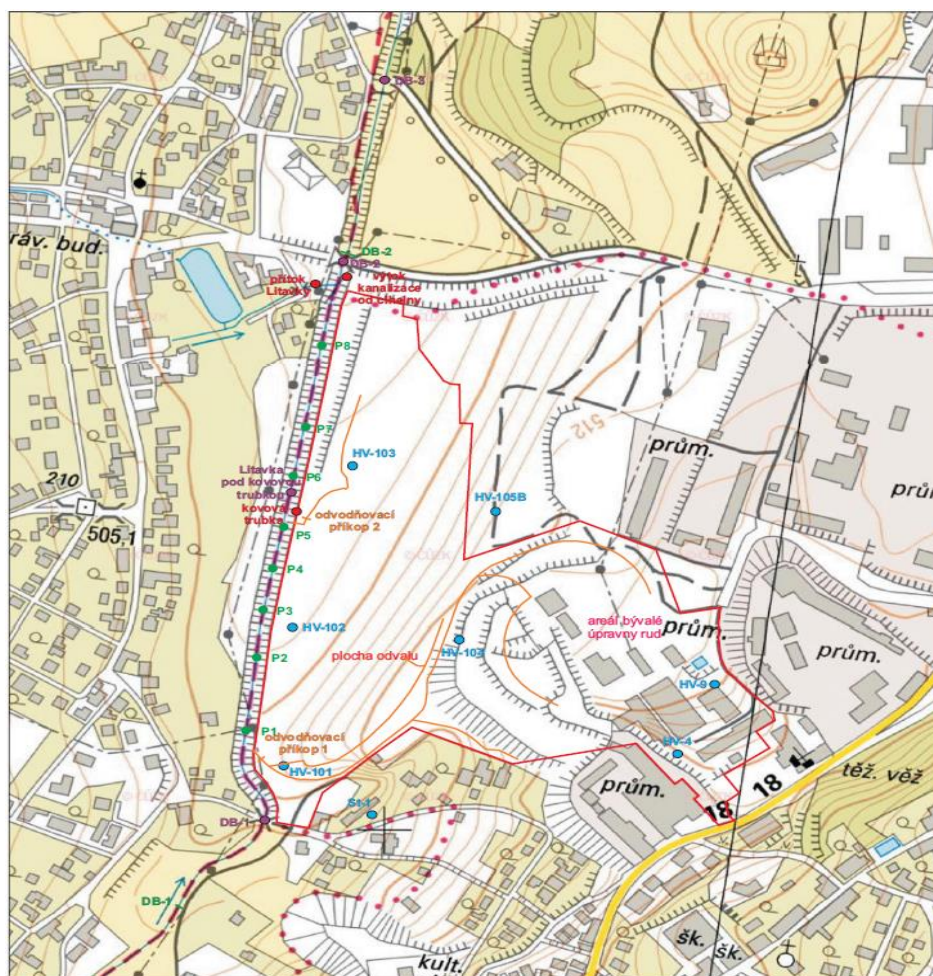
Rozsah provedených prací monitoringu vycházel ze zpracovaného projektu geologických prací. Proběhlo dvacet čtyři kol monitoringu podzemních a povrchových vod, a to v období listopad 2013 – říjen 2015. Cílem bylo sledování úrovně kontaminace těchto vod, měření úrovně hladiny podzemní vody a měření průtoku v Litavce a na zřízených měrných profilech. Byla prováděna terénní měření propustnosti zemin. Po ukončení monitoringu proběhla likvidace průzkumných vrtů (Klibáni 2015).

Do metodiky měřících, vzorkovacích a laboratorních prací bylo zahrnuto:

- měření propustnosti svrchní části horninového prostředí dvouválcový infiltrometrem
- měření průtoků v Litavce na měrných profilech geodeticky zaměřených s pravidelným zaznamenáváním úrovně hladiny vody pomocí automatických hladinoměrů
- měření úrovně hladiny podzemní vody v průzkumných vrtech a v domovní studni pomocí elektrického hladinoměru
- odběry vzorků zeminy odběrným válcem
- odběry vzorků povrchové vody prováděné teleskopickým odběrovým zařízením do označených vzorkovnic převážných v chladicích boxech do laboratoře
- odběry vzorků podzemní vody vzorkovacím čerpadlem a ze studny válcovým nerezovým odběrákem do vzorkovnic a odvážených do laboratoře
- provádění laboratorních analýz všech odebraných vzorků v akreditované laboratoři (Holeček, 2015).

Za účelem monitoringu podzemních vod byly zřízeny monitorovací profily v podobě vrtů s označením HV-4, HV-9 v prostoru bývalé úpravny rud a HV-101, HV-102, HV-103, 104 a HV-105 v prostoru Vojtěšského odvalu a jeho předpolí. Průzkumný vrt HV-105 byl v červnu 2013 zničen a místo něj byl zbudován nový náhradní vrt pod názvem HV-105B. Podzemní voda byla sledována rovněž ze vzorků odebíraných z domovní studny s označením S-1, která se nachází mimo zájmové území, ale je v oblasti pod bývalým těžebním odvalem. Ke sledování kvality povrchové vody byly zřízeny již zmíněné monitorovací profily DB-1, DB-2 a DB-3. Profily DB-1 na vstupu do zájmového území a DB-2 na výstupu z tohoto území ve směru toku Litavky byly navíc určeny ke sledování průtoku vody v toku, teploty vody a sledování úrovně hladiny. Dalšími profilem byl výtok kanalizace od cihelny,

odvodňovací příkopy 1 a 2, Litavka pod kovovou trubkou a přítok Litavky (Obrázek č. 12).



Obrázek č. 12 Situace zájmového území s vyznačením monitorovacích objektů, odběrných a měrných profilů (Klibání, 2015)

6.3 Výsledky měření – splnění cílových parametrů

6.3.1 Propustnost půdy

Propustnost půdy sanovaného území měla velký vliv na kontaminaci vody v Litavce, a proto byla důležitým ukazatelem. Horninové prostředí svrchní vrstvy tohoto území bylo před provedením sanace dobře propustné. Snížení propustnosti půdy mělo zabránit tomu, aby dešťová voda infiltrovaná do podloží netransportovala toxické kovy do řeky a jejího okolí.

Měření v rámci monitoringu účinnosti sanace bylo provedeno na deseti místech v prostoru travních porostů, a to na stejných místech jako v rámci předsanačního a sanačního monitoringu. Prováděno bylo dvouválcovým infiltrometrem. Hodnota koeficientu filtrace, tedy hydraulické vodivosti, byla před provedením terénních

úprav $6,0 \cdot 10^{-5} \text{ m.s}^{-1}$. Po jejich provedení byla ve všech měřených místech menší než $5,6 \cdot 10^{-6} \text{ m.s}^{-1}$. Požadavek koeficientu byl na hodnotě menší než $1 \cdot 10^{-6} \text{ m.s}^{-1}$. Tyto hodnoty ukazují, že horninové prostředí svrchní vrstvy míst s travním porostem je po provedení sanace méně propustné. Snížením infiltrace srážkových vod do podzemních vod o $18\,700 \text{ m}^3$ za rok, což je $0,59 \text{ l.s}^{-1}$ byl splněn jeden z cílových parametrů sanace (Klibáni, 2015).

Měření propustnosti dvouválcovým infiltrometrem je založeno na sledování potřebného času k poklesu hladiny ve vnitřním válci, kdy vnější válec je určený pro zachování svislosti proudnic pod válcem vnitřním. V mezikruží je během měření udržována stejná minimální výška hladiny vody (Holeček, 2015).

Laboratorní zkoušky propustnosti zemin určují, zda zemina propouští vodu dobře nebo obtížně a dále určují její vsakovací schopnosti (koeficient filtrace v m/s). Jsou důležité pro určení vhodnosti použití zeminy. V průběhu zkoušky je vzorek zeminy zkonsolidován vrchní deskou, poté je na něj vyvinut tlak vodního sloupce. Měřeno je množství vody, které proteče vzorkem za daný časový interval (Nemeton 2015).

6.3.2 Podzemní voda

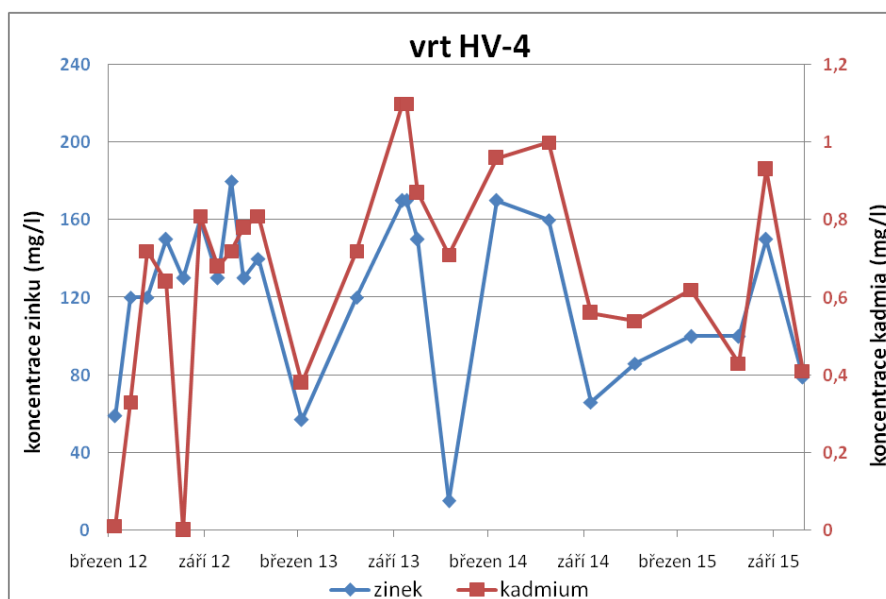
Kvalita podzemních vod, tedy úroveň kontaminace podzemních vod toxickými kovy, byla rovněž sledována prostřednictvím odběrů vzorků (Obrázek č. 13 a 14) ve třech etapách monitoringu (předsanačního, sanačního a účinnosti sanace).



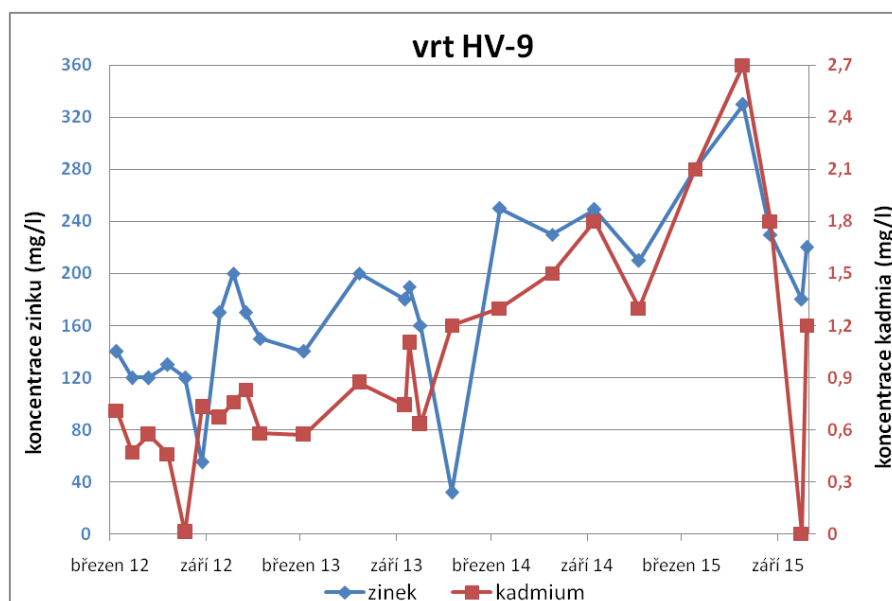
Obrázek č. 13 a 14 Odběry podzemní vody (foto Alena Štichová)

V monitorovacích objektech bylo prováděno měření 1x za 3 měsíce formou odběru vzorků a jejich laboratorní analýzou. Kromě kvality podzemních vod bylo prováděno 1x měsíčně i měření úrovně hladiny podzemní vody. U většiny hydrogeologických objektů bylo zjištěno jen mírné kolísání úrovně hladiny podzemní vody, které ovlivňovaly srážkové poměry v území. V obdobích nízkých srážkových úhrnů nemohly být v průběhu monitoringu provedeny některé projektované odběry z domovní studny S-1 z důvodu chybějící vody v této studni (Holeček, 2015).

V podzemní vodě zájmového území byly na základě výsledků provedených dlouhodobých měření stanoveny velmi vysoké obsahy zinku, a to především ve vrtech HV-4 a HV-9, které jsou „na vstupu“ do zájmového území ve směru proudění podzemní vody (Obrázek č.15a 16). Koncentrace kolísaly v poměrně širokém rozpětí od 15 do 280 mg.l⁻¹. Ve vrtu HV-105B (HV-105) byla koncentrace zinku zvýšená hlavně v řádu prvních jednotek mg.l⁻¹ a ve sledovaných vrtech HV-101, HV-102 a HV-103 „na výstupu“ ze zájmového území kolísala a byly naměřeny rozdíly v obsahu zinku v jednotlivých vrtech. Ve vrtu HV-101 mírně zvýšené převážně v řádu desetin mg.l⁻¹, ve vrtu HV-103 zvýšené řádově v nižších jednotkách mg.l⁻¹ a ve vrtu HV-102 v řádu nižších desítek mg.l⁻¹. V domovní studni S-1 situované jižně od zájmového území byly obsahy zinku zvýšené a dosahovaly řádově jednotek mg.l⁻¹. Obsahy ostatních sledovaných kovů (As, Cd, Pb) jsou většinou nízké nebo mírně zvýšené s výjimkou vrtu HV-105B, kde byly naměřeny vysoké obsahy arsenu (v řádu jednotek mg.l⁻¹) a vrtů HV-4 (v řádu desetin mg.l⁻¹) a HV-9 (v řádu prvních jednotek mg.l⁻¹) s vysokými obsahy kadmia (Holeček, 2015).



Obrázek č. 15 Výsledky monitoringu podzemní vody ve vrtu HV-4 z hlediska obsahu Cd a Zn (Klibáni, 2015)



Obrázek č. 16 Výsledky monitoringu podzemní vody ve vrtu HV-9 z hlediska obsahu Cd a Zn (Klibáni, 2015)

Na obrázku č. 17 a 18 můžeme vidět průběh odběru vzorků podzemní vody z profilu HV-103 a HV-101.

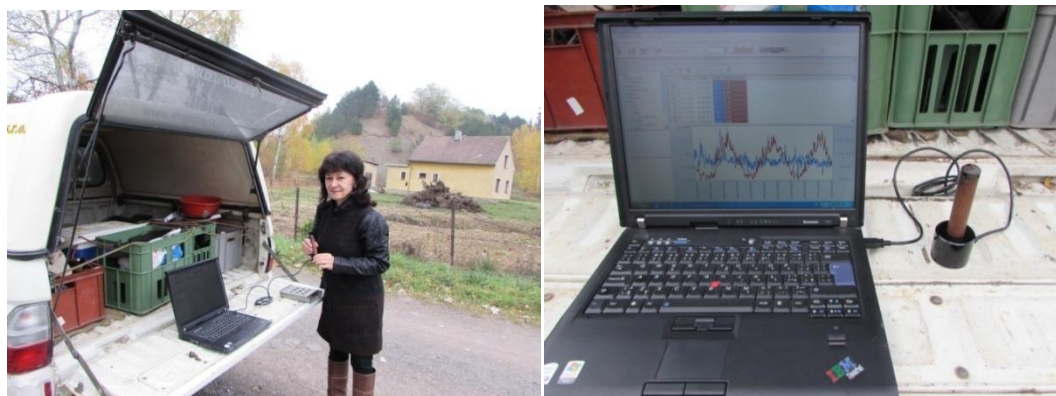


Obrázek č. 17 a 18 Odběr vzorků podzemní vody z profilu HV-103 a HV-101 (foto Pavel Šimek)

Na základě provedeného monitoringu účinnosti sanace uskutečněného v období měsíce listopadu 2013 až října 2015, lze konstatovat, že po provedení nápravných opatření nebyla v podzemní vodě zaznamenána výraznější změna obsahu sledovaných těžkých kovů, a to vzhledem k tomu, že podzemní vody se nacházejí i mimo zájmové území, kdy dalšími zdroji znečištění mohou být jiné další bývalé provozy v okolí tohoto území.

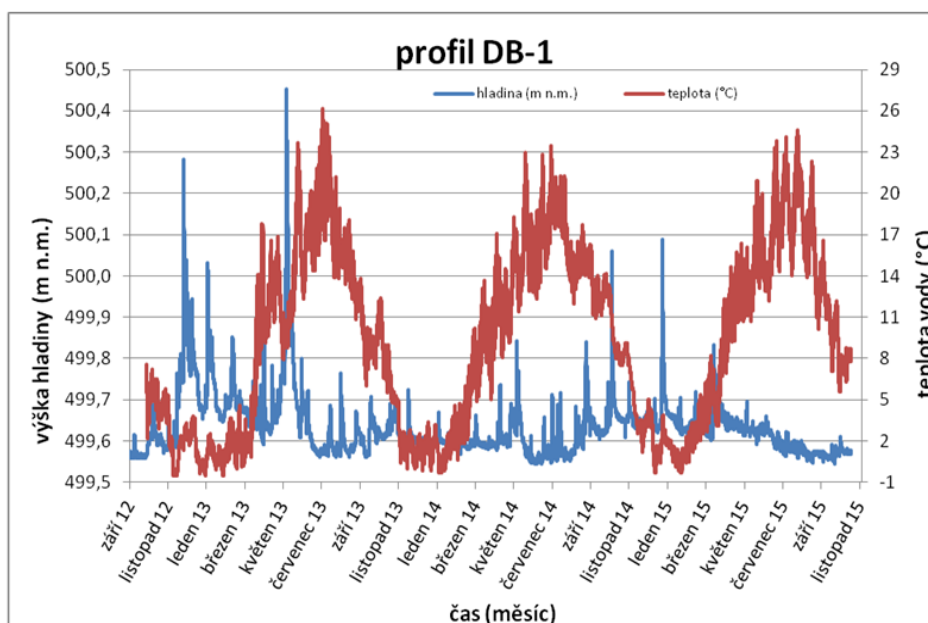
6.3.3 Průtoky vody v Litavce

Dále bylo v rámci monitoringu účinnosti sanace prováděno měření průtoku v Litavce. Toto měření bylo prováděno na profilech DB-1 a DB-2 denně a na odvodňovacích příkopech 1 a 2 to bylo 1x za 3 dny, při deštích častěji. Měření průtoků s pravidelným zaznamenáváním úrovně hladiny vody bylo prováděno pomocí automatických hladinměřů (Obrázek č. 19 a 20).

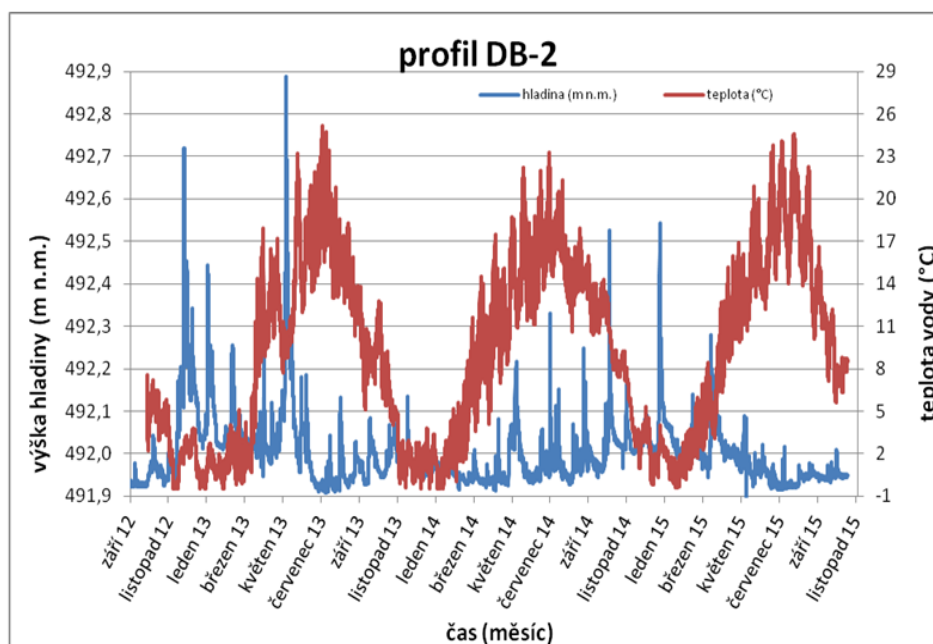


Obrázek č. 19 a 20 Práce s automatickým hladinoměrem (foto Miroslav Holeček)

V následujících obrázcích č. 21 a 22 jsou graficky zachyceny sledované výšky hladiny Litavky a její teploty na měrných profilech DB-1 a DB-2.

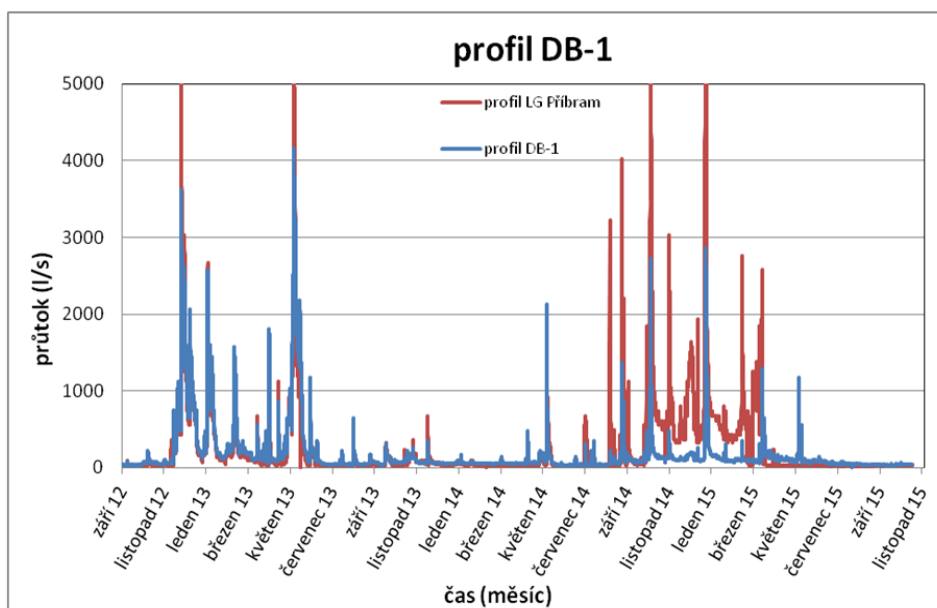


Obrázek č. 21 Výsledky sledování výšky hladiny a teploty vody v Litavce na profilu DB-1 (Klibáni, 2015)

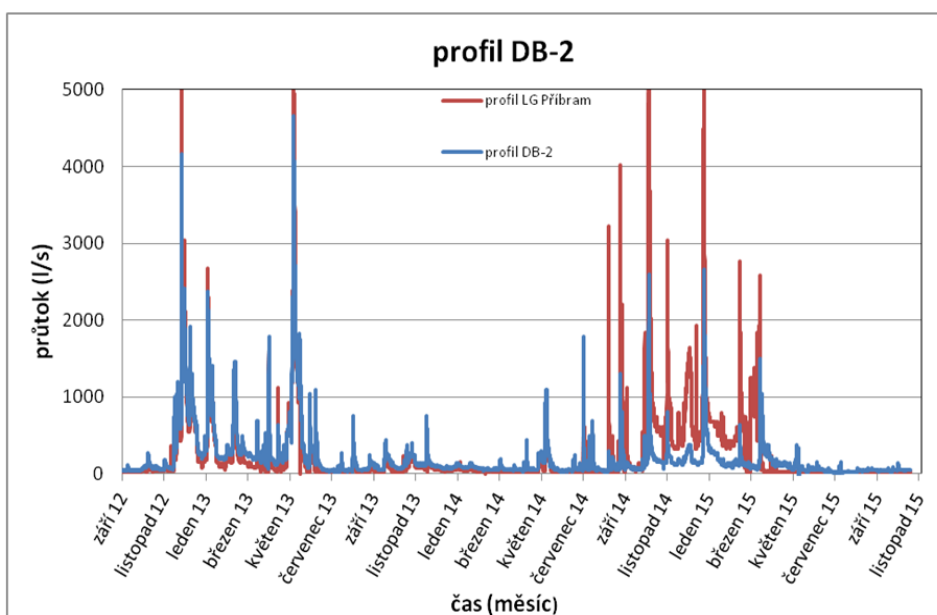


Obrázek č. 22 Výsledky sledování výšky hladiny a teploty vody v Litavce na profilu DB-2 (Klibáni, 2015)

Na obrázcích č. 23 a 24 můžeme vidět graficky znázorněné výsledky sledování průtoků v profilech DB-1 a DB-2 v porovnání s výsledky sledování prováděného Povodím Vltavy n.p. na profilu LG Příbram nacházejícím se asi 1 km od profilu DB-1 proti proudu toku Litavky. Průtoky v profilech DB-1 a DB-2 výrazně kolísaly vzhledem k různým srážkovým úhrnům v daných časových obdobích. Nejnižší hodnoty průtoků byly zachyceny v létě 2015, a to v profilu DB-1 okolo $25 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ a v profilu DB-2 pouze $14 - 21 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$. Tyto hodnoty byly nižší než hodnota průtoků $Q_{35535} \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ v profilu LG Příbram. Nejvyšší průtoky v Litavce byly zaznamenány v červnu 2013. Dosahovaly hodnot okolo $4,2 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ (DB-1) a $4,7 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ (DB-2). Na profilu LG Příbram byly vyhodnoceny jako stavy překračující druhý stupeň povodňové aktivity. Nesoulad mezi hodnotami průtoků na profilech DB-1 a DB-2 a průtoků na profilu Povodí Vltavy n.p. LG Příbram od léta 2014 do června 2015 byl způsoben poškozením profilu LG Příbram. Z porovnání průměrných ročních průtoků bylo prokázáno, že po provedení sanace byly průměrné roční průtoky v Litavce oproti dlouhodobému průměru nízké (Holeček, 2015).



Obrázek č. 23 Graf průtoků vody v toku Litavka v profilech DB-1 (Holeček, 2015)



Obrázek č. 24 Graf průtoků vody v toku Litavka v profilech DB-2 (Holeček, 2015)

Součástí monitoringu bylo rovněž měření průtoků v odvodňovacích příkopech označených čísly 1 a 2 vybudovaných v rámci nápravných opatření. Tyto příkopy odvádějí srážkové vody ze sanovaného území do toku Litavky.

Porovnáním a vyhodnocením výsledků postsanačního monitoringu týkajícího se měření průtoků v Litavce v návaznosti na propustnost svrchní vrstvy horninového prostředí bylo prokázáno splnění cílových parametrů sanace.

6.3.4 Povrchová voda - Litavka

Jedním z hlavních cílů sanace bylo snížení toxických kovů v toku Litavka. Výsledky účinnosti sanace, které byly zjištěny prostřednictvím průběžných měření v zájmovém území bývalé úpravný rud na Březových Horách, byly hlavním podkladem pro tuto práci. Analýzou rizik bylo zjištěno ohrožení ekosystému řeky zvýšenou koncentrací toxických kovů a úprava terénu a navezení nové vhodné zeminy měly zabránit velkému průsaku dešťové vody do kontaminovaného podloží a jejího odtoku do řeky.

V součinnosti s monitoringem podzemních vod tedy probíhalo sledování kvality povrchové vody jejím odběrem ve zřízených profilech (DB-1, DB-2, DB-3) v toku Litavky, v bezejmenném přítoku a v dalších definovaných přítocích v prostoru zájmového území. Co se týká monitoringu účinnosti sanace u povrchových vod, četnost odběrů byla 1x měsíčně v profilech, ve výtoku kanalizace od cihelny a odvodňovacích příkopech 1 a 2 a dále 1x za 3 měsíce u levostranného přítoku Litavky u mostu v ulici K Podlesí. Byly prováděny odběry vzorků povrchových vod, příp. odpadních vod ústících do vod povrchových, a jejich následné laboratorní analýzy (Obrázek č. 25 a 26). Vzorky z odvodňovacích příkopů byly odebírány pouze po jejich vybudování od srpna 2013 do května 2014, a to vzhledem k tomu, že hodnoty obsahu sledovaných toxických kovů byly nižší než hodnoty normy environmentální kvality (NEK) dle Nařízení vlády 61/2013 Sb. (Holeček, 2015).

Tak jako při odběrech vzorků vody z domovní studny S-1, nemohly být provedeny některé plánované odběry z výtoku kanalizace od cihelny z důvodu chybějící vody v obdobích s nízkými dešťovými srážkami.

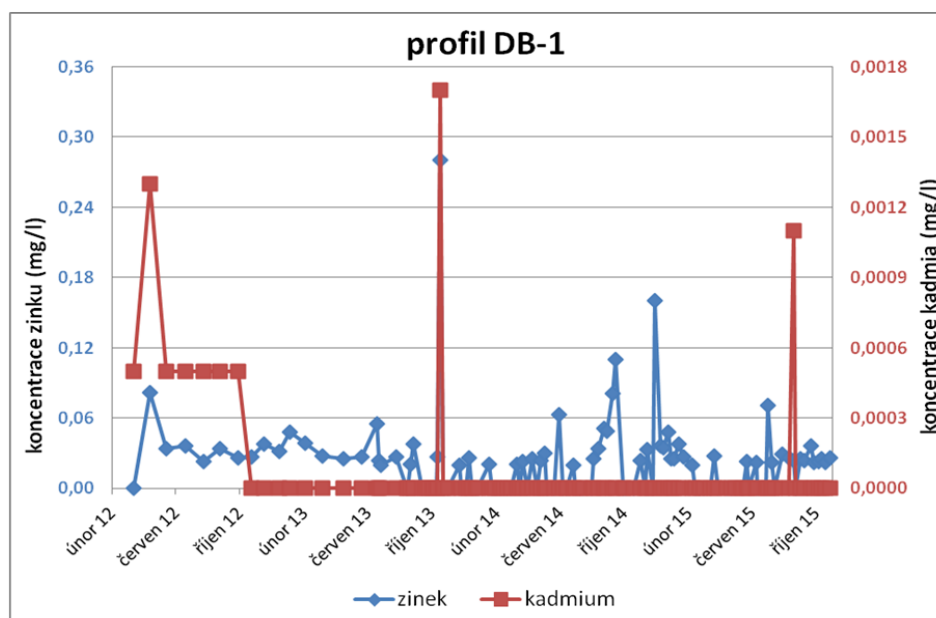


Obrázek č. 25 a 26 Odběry povrchové vody (foto Alena Štichová)

Ze sledovaných toxických kovů As, Cd, Pb a Zn, byly jako hlavní kontaminanty určeny Zn a Cd, jejichž hodnoty byly na základě provedených měření určeny jako vysoké a překračovaly normy environmentální kvality. Jejich vyluhování z horninového prostředí infiltrací atmosférických srážek bylo hlavní příčinou

znečištění povrchové vodoteče Litavka. Některé měrné profily byly zřízeny na místech, kde docházelo k hlavní kontaminaci povrchové vody.

Co se týká obsahů toxických kovů zjištěných ze vzorků vody z profilu „výtoků kanalizace od cihelny“ a „kovová trubka“ před provedením nápravných opatření, byly naměřeny velmi vysoké hodnoty zinku a kadmia. Voda z výtoků kanalizace teče přímo do Litavky a kovová trubka byla určena pro odvod podzemní vody z prostoru bývalého odkaliště v předpolí vojtěšského odvalu. V průběhu nápravných opatření byla kovová trubka částečně odstraněna a byla tak omezena dotace toxickými kovy v tomto místě. Vysoké obsahy zinku byly rovněž zjištěny v bezejmenném přítoku Litavky (odběrný profil „přítok Litavka“) a z toku Litavky pod kovovou trubkou. Na vstupním profilu DB-1, který je ve směru toku před vstupem do zájmového území, byly obsahy sledovaných kovů minimální či nízké, a to z hlediska obsahu Zn a Cd (Obrázek č. 27) (Holeček, 2015).



Obrázek č. 27 Výsledky monitoringu povrchové vody v profilu DB-1 z hlediska obsahu Cd a Zn (Holeček, 2015)

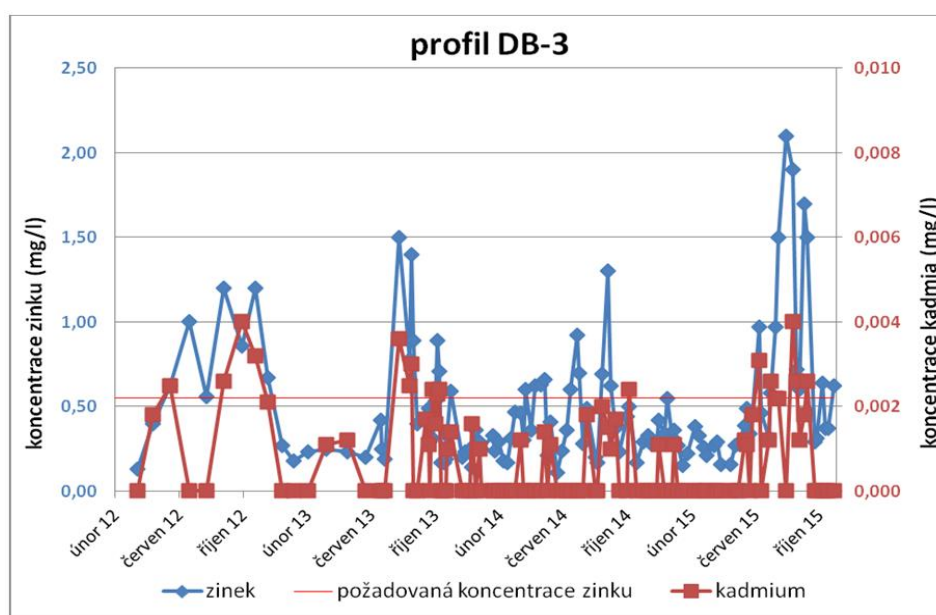
Na výstupních profilech DB-2 a DB-3 byly v průběhu monitoringu zjišťovány hlavně zvýšené obsahy zinku v různých úrovních, a to od 0,1 až po cca 4 mg.l⁻¹, které výrazně kolísaly v závislosti na průtoku vody. Ve všech vzorcích vody z profilu DB-2 a DB-3 překročil obsah zinku hodnotu NEK. Obsahy ostatních toxických kovů v těchto profilech byly nízké až mírně zvýšené (Holeček, 2015).

Naměřené hodnoty sledovaných kontaminantů byly závislé na průtoku vody. Jejich koncentrace kolísaly v závislosti na okamžitém průtoku. Vyšší koncentrace byly zjišťovány při podprůměrných až extrémně nízkých průtocích. Na konci monitoringu

účinnosti sanace bylo tedy důležité k docílení požadovaných konečných hodnot posoudit výsledky v závislosti na celkovém průtoku povrchové vody. Nejvíce sledovaným kontaminantem se stal zinek v hlavním hodnoceném profilu DB-3.

Hodnocení dosažení požadované koncentrace Zn bylo tedy závislé na průměrném průtoku profilu DB-3. V tomto sledovaném profilu v průběhu celého monitoringu kolísaly obsahy zinku v rozpětí od cca 0,2 do 2,1 mg.l⁻¹. Obsahy kadmia byly většinou nízké, příp. jen mírně zvýšené a jen mírně kolísaly.

Monitoringem účinnosti sanace bylo zjištěno, že obsah zinku v povrchové vodě v profilech DB-2 a DB-3 byl po provedení nápravných opatření v podobě provedení sanace dotčeného území, nižší. Nízké obsahy zinku v těchto profilech se ukázaly nižší než „požadovaná koncentrace“ 0,55 mg.l⁻¹ v profilu DB-3 v obdobích s průměrnými a nadprůměrnými průtoky a byly zjištěny i přes dlouhodobě výrazně podprůměrné průtoky v Litavce ve sledovaném období účinnosti sanace. K překročení „požadované koncentrace“ 0,55 mg.l⁻¹ v profilu DB-3, které je patrné na grafickém znázornění, došlo pouze ke konci monitoringu v období s velmi nízkými průtoky (Obrázek č. 28) (Holeček, 2015).



Obrázek č. 28 Výsledky monitoringu povrchové vody v profilu DB-3 z hlediska obsahu Cd a Zn (Holeček, 2015)

Průměrná koncentrace zinku v Litavce naměřená v profilu DB-3 před zahájením nápravných opatření byla 0,68 mg.l⁻¹ a po dokončení těchto opatření činila 0,28 mg.l⁻¹ (průměr 63 analýz bez údajů při mimořádných průtocích). Jak bylo již zmíněno, jeden z cílových parametrů sanace dle závazného stanoviska MŽP bylo snížení dotace zinku v součtu I. a II. etapy o 1250 kg. To odpovídá bilanční hodnotě

koncentrace zinku v profilu DB-3 ve výši $0,55 \text{ mg.l}^{-1}$ oproti dlouhodobému průměru $0,68 \text{ mg.l}^{-1}$. Z bilančního výpočtu při ověřené průměrné koncentraci zinku $0,28 \text{ mg.l}^{-1}$ v tomto profilu a při zachovaném průměrném průtoku vyplývá, že dotace zinku do Litavky byla po provedení sanace snížena o cca 3 500 kg za rok, tedy byla oproti požadavku snížena téměř trojnásobně.

Pro splnění parametru bylo nutné dále prokázat požadovanou koncentraci Zn $0,55 \text{ mg.l}^{-1}$, kdy byly porovnávány průměrné šestiměsíční koncentrace obsahu zinku s požadovanou koncentrací, a to po dobu dvou let po ukončení sanace. Hodnoty se pohybovaly v rozmezí od $0,22$ do $0,43 \text{ mg.l}^{-1}$, tedy nižší než požadovaná koncentrace. Cílový parametr sanace byl tedy v tomto případě splněn (Tabulka č. 2) (Holeček, 2015).

Období	Průměrná koncentrace Zn (mg.l^{-1})	Období	Průměrná koncentrace Zn (mg.l^{-1})
„Požadovaná koncentrace“ Zn (mg.l^{-1})	0,55	„Požadovaná koncentrace“ Zn (mg.l^{-1})	0,55
11.2013 – 04.2014	0,24	09.2014 – 02.2015	0,31
12.2013 – 05.2014	0,23	10.2014 – 03.2015	0,30
01.2014 – 06.2014	0,23	11.2015 – 04.2015	0,30
02.2014 – 07.2014	0,22	12.2015 – 05.2015	0,32
03.2014 – 08.2014	0,22	01.2015 – 06.2015	0,30
04.2014 – 09.2014	0,23	02.2015 – 07.2015	0,31
05.2014 – 10.2014	0,23	03.2015 – 08.2015	0,31
06.2014 – 11.2014	0,27	04.2015 – 09.2015	0,34
07.2014 – 12.2014	0,30	05.2015 – 10.2015	0,43
08.2014 – 01.2015	0,30		

Tabulka č. 2 Průměrné koncentrace Zn v profilu DB-3 za období 6 měsíců v průběhu monitoringu účinnosti sanace (Holeček, 2015)

6.3.5 Hodnoty pH

Monitoring zahrnoval rovněž měření pH (Obrázek č. 29 a 30). Naměřené hodnoty pH v podzemní vodě sledovaných hydrogeologických objektů se pohybovaly převážně okolo hodnoty 7 a výrazněji nekolísaly. Výjimkou byla pouze mírně kyselá voda podzemní vody v domovní studni S-1 a ke konci monitoringu i ve vrtu HV-9. V povrchové vodě Litavky kolísaly hodnoty pH naměřené v profilech DB-1 až DB-3 převážně v rozpětí 7-8. Tedy hodnota pH ve směru toku Litavky mezi těmito profilem mírně vzrůstala.

V příloze č. 1 (Holeček, 2015) jsou shrnuty výsledky laboratorních analýz vzorků povrchových vod toku Litavka v profilu DB-3, které byly zaznamenávány v průběhu celého monitoringu. Kromě obsahů sledovaných toxických kovů jsou zde uvedeny i hodnoty pH.



Obrázek č. 29 a 30 Měření pH odebrané vody v terénu (foto Alena Štichová)

6.4 Vyhodnocení nápravných opatření

6.4.1 Účinnost sanace

Analýzou rizik v roce 2009 bylo zjištěno riziko ohrožení ekosystému povrchové vodoteče řeky Litavky v důsledku dotace toxickými kovy, a to hlavně zinku. Cílem projektu sanace a rekultivace území bývalého důlně-úpravárenského závodu a okolí – Příbram, Březové Hory bylo snížení dotace zinku ve stanovených profilech a snížení infiltrace srážkových vod do vod podzemních. Vyluhování a transport toxických kovů z horninového prostředí do podzemních vod prostřednictvím průsaku srážek mělo za následek znečištění toku Litavky včetně přilehlého okolí.

Nápravná opatření zahrnovala aplikaci svrchní omezeně propustné vrstvy zemin za účelem snížení propustnosti a infiltrace srážkových vod. Tomu předcházelo provedení terénních úprav v podobě spádování terénu (odstranění strmých svahů) a vybudování odvodňovacích příkopů ke zvýšení povrchového odtoku vod z území. Provedení biologické rekultivace mělo vliv na zvýšenou evapotranspiraci v tomto území. Rekultivační zásahy měly výrazný vliv na propustnost svrchní vrstvy horninového prostředí, a tedy i na snížení infiltrace srážkových vod, která byla hlavním mechanismem šíření znečišťujících toxických kovů. Účinnost sanace se tedy projevila velmi pozitivně ve výrazném omezení transportu toxických kovů z horninového prostředí nesaturované zóny do zóny saturované. Důsledkem je i snížení hmotnostního toku zinku minimálně o jeden řád (Holeček, 2015).

Lze konstatovat, že cílové parametry sanace byly po realizaci nápravných opatření splněny, a to jak snížením infiltrace srážkových vod do vod podzemních, tak snížením dotace zinku v Litavce. Došlo k podstatnému nížení vymývání zinku z nesaturované zóny do podzemní vody v zájmovém území. Jak bylo již v této práci uvedeno, průměrná koncentrace zinku v povrchové vodě Litavky v profilu DB-3 se snížila na $0,28 \text{ mg.l}^{-1}$, tedy pokles činí o $0,40 \text{ mg.l}^{-1}$ méně oproti průměrné koncentraci před provedením sanace, kdy tento činil $0,68 \text{ mg.l}^{-1}$. Tedy dotace zinku

byla snížena téměř trojnásobně oproti požadavku, a to o cca 3 500 kg za rok (Holeček, 2015).

Je důležité zmínit, že i po provedení nápravných opatření nebylo riziko ohrožení ekosystému řeky Litavka v důsledku zvýšených obsahů zinku a kadmia zcela odstraněno. Bylo však významně sníženo a cíle nápravných opatření byly v souladu se Závazným stanoviskem MŽP dosaženy. Úplnému odstranění rizika brání reálně dostupné finanční a technické prostředky. Příčinou je například transport znečištěné podzemní vody z okolních zdrojů, kterými jsou jiné bývalé důlní a zpracovatelské provozy, dále reziduální kontaminace dnových sedimentů Litavky těžkými kovy a reziduální znečištění podzemní vody s pomalým odtokem do povrchového toku a další zdroje. Vzhledem ke splnění cílových parametrů, tedy významným snížením rizika ohrožení ekosystému Litavky nebyla navržena žádná další nápravná opatření.

6.4.2 Využití zájmového území

Areál úpravny rud a dolu Vojtěch na Březových Horách sloužil v minulosti ke zpracování a úpravě rudnin. Dlouholetá těžba a úpravnictví rud měly negativní dopad na toto území v podobě kontaminace a vody toxickými kovy. Po ukončení těžby a činnosti úpravny byly některé objekty pronajímány, stav nevyužitých budov se zhoršoval a pozemky mimo areál úpravny v podobě těžebního odvalu dolu Vojtěch a části přilehlého území k vodnímu toku Litavka byly nevyužité.

Před dalším využitím zájmového území bylo nutné provést průzkum znečištění této oblasti, jehož cílem bylo zhodnocení stavu kontaminace horninového prostředí v lokalitě zatížené v minulosti těžební a úpravárenskou činností. Na základě tohoto průzkumu a jeho výsledků byla navržena nápravná opatření, a to v podobě provedení sanace a rekultivace území s předpokladem jeho následného využití pro rekreační účely.

Po provedení sanace a rekultivace následovala výsadba nových dřevin a některé plochy byly zatravněny. Zůstala zde zachovaná místa, která byla povrchově rekultivována již v minulosti, což dokazují skupiny borovic a některých porostů ve svahu, které zde byly ponechány a byly u nich provedeny probírky a prořezávky.

V současné době probíhá na tomto území 3. rokem pěstební péče a údržba osázeného území. Už samotná úprava terénu zahrnující zatravnění ploch, skupinová výsadba stromů a zalesnění svahů napovídá možnému využití tohoto území. Podle stávajícího územního plánu města Příbram byly tyto pozemky navrženy jako plochy pro rekreaci s využitím jako lesopark. Po ukončení pěstební péče bude areál předán městu Příbram, které by ho měly doplnit vybudováním laviček, odpadních košů, informačních tabulí a dalšího vybavení vhodného pro účely využívání území jako lesoparku. Využití zájmového území pro tyto účely v souladu s územním plánem lze vyhodnotit jako vhodné.

7 Diskuse

V posledních letech je v České republice věnována velká pozornost zlepšení životního prostředí, a to hlavně v oblastech, které byly zatížené průmyslovou činností. Jedná se hlavně o oblasti, kde byla prováděna těžba nerostných surovin. Realizace nápravných opatření a odstranění rizik ohrožujících ekosystémy může zabránit dalším negativním dopadům.

Pokud mohu zhodnotit provedenou sanaci a rekultivaci území bývalého důlně-úpravárenského závodu a jejího přilehlého okolí v Příbrami na Březových Horách, je použitá metoda obnovy této zatížené oblasti vhodná. Její realizace se stala řešením pro ohrožený ekosystém povrchové vodoteče Litavky v důsledku dotace toxickými kovy, kdy nejvíce sledovaným kontaminantem se stal zinek, jehož obsahy byly na základě provedených odběrů a analýz vzorků stanoveny jako vysoké. Zkrácení doby negativního vlivu toxických kovů na ekosystém této oblasti byl řešením, jak snížit riziko ohrožení některých živých organismů a zamezit ohrožení jejich potomků. V tomto případě se negativní vliv odráží i na zdraví lidí. Význam sanace a rekultivace je jistě důležitý z hlediska ochrany přírody, ale i z estetického pohledu na krajinu. Provedené úpravy terénu a rozvržení osázených ploch a odvodňovacích prvků do krajiny zapadají a nebudou tak rušit její celkový ráz.

Můžeme si položit otázku, zda by nebylo vhodnější ponechat toto území přírodním procesům obnovy, které jsou šetrnější a neposlední řadě i levnější. Příroda by si musela s tímto následkem lidské činnosti poradit. Za určitých okolností si krajina dokáže poradit a vstřebat některé změny a její narušení, které na ni provedl člověk. Ale možnost přírodní obnovy zatíženého území bez zásahu člověka byla v této oblasti zavrhnuta vzhledem k jejímu dlouhodobému procesu, kdy tuto oblast ohrožovala neustálá kontaminace toku Litavky a přilehlého území toxickými kovy infiltrací srážkových vod do půdy v bývalém odvalu dolu Vojtěch s následným znečištěním řeky.

A co použití sanačních metod *in situ* v podobě chemické oxidace či redukce? O těchto metodách jsem se zmínila již v kapitole „Metody chemické sanace in-situ“ (str. 22). Základním principem je zde průběh oxidačně-redukčních reakcí v horninovém prostředí pomocí činidel aplikovaných do kontaminovaného prostředí. Chemická oxidace se používá především k sanaci kontaminovaných podzemních vod s vyšší koncentrací organických látek a tam, kde je použití ostatních sanačních technik vyloučené. Rovněž chemická redukce je vhodná spíše pro sanaci malých zdrojových oblastí. Redukční činidlo se aplikuje pomocí vrtů nebo pod tlakem přímo do pásma nasycení. Používá se u kontaminantů citlivých na změnu redukčních podmínek a rovněž při znečištění některými organickými látkami. Vyšší propustnost půdy může způsobit špatný průnik kontaminantu přes redukční bariéru, a tedy nižší účinnost metody. U těchto metod je důležitá velká znalost geochemických podmínek, aby nedošlo k nežádoucím účinkům při reakci s prostředím (Frankovská a kol., 2010).

Na základě analýzy rizik bylo proto rozhodnuto využít k odstranění ekologického rizika zájmového území provedení nápravných opatření v podobě technické sanace a rekultivace.

Byla tedy sanace a rekultivace zájmového území na Březových Horách opravdu účinná? Důležité je zmínit, že naměřené obsahy toxických kovů v průběhu monitoringu byly závislé na změnách průtoků vody v Litavce. Z grafu na str. 42 (Obrázek č. 28) můžeme názorně vidět koncentrace zinku a kadmia ve sledovaném profilu DB-3 umístěném na výstupu z území. Pokud porovnáme výsledky monitoringu před provedením nápravných opatření, kdy průměrná koncentrace zinku v Litavce naměřená v tomto profilu DB-3 činila $0,68 \text{ mg.l}^{-1}$ a po jejich dokončení, vidíme, že obsahy zinku i kadmia se v průběhu monitoringu snížily. V úsecích od listopadu 2013 až do června 2015 byl jejich obsah v tomto profilu setrval nižší než „požadovaná koncentrace“ $0,55 \text{ mg.l}^{-1}$. Nic méně z grafu je patrný velmi vysoký nárůst koncentrace na konci monitoringu účinnosti sanace, ovšem tato skutečnost byla způsobena velmi suchým létem a extrémně nízkými průtoky v Litavce. Průměrná koncentrace zinku však po dokončení nápravných opatření činila $0,28 \text{ mg.l}^{-1}$, tedy ještě nižší než byla požadovaná a tím bylo dosaženo cílového parametru.

Pokud si položíme otázku, zda neměl být monitoring prováděn delší dobu, je důležité zmínit, že provedenými nápravnými opatřeními byly cílové parametry sanace po ukončení dvouletého postsanačního monitoringu nejen splněny, ale s poměrně velkou rezervou překročeny. Proto bylo doporučeno ukončit provádění monitoringu a provést odbornou likvidaci průzkumných monitorovacích vrtů a měrných profilů na Litavce.

Zaměříme-li se na využití zájmového území jako lesoparku, je toto řešení určitě vhodné pro tuto oblast. Městu Příbram bude lesopark předán po ukončení pěstební činnosti vysázených stromků a poté bude zpřístupněn veřejnosti. Tato oblast může být nejen cílem vycházek, ale i místem k provozování sportovních aktivit. Obyvatelé obce Podlesí ocení jistě pohled na zalesněný svah, oproti původní kamenité těžební haldě. Z vlastní zkušenosti mohu říci, že oblast na mě působila příjemně už po dokončení terénních úprav, kdy byly vytyčeny plochy určené k zatravnění a plochy určené k osázení stromy. Zajímavým prvkem jsou i odvodňovací příkopy obložené kameny, vybudované cesty a stezky na svahu, jehož sklon byl za účelem snížení eroze zmírněn. Rušivým elementem zde může být snad jen autovrakoviště v severní části areálu na sousedícím pozemku.

Zajímavou součástí sportovních aktivit v tomto areálu by mohl být fitness park s možností využití i pro seniory. Na mnoha místech naší republiky jsou již takové parky s oblibou využívány. Svými prvky z přírodních materiálů rozhodně nenarušují celkový dojem prostoru a jsou příjemnou záležitostí pro návštěvníky. Bude nutné vybudování vhodných přístupů do lesoparku, které zde v současné době chybějí

a navrhovala bych v některých částech umístit tabule s uvedením historických a přírodních údajů specifických pro tuto oblast.

Chtěla bych zmínit i skutečnost, že z toku Litavka je níže po proudu za obcí Podlesí napájena vodní nádrž Kašův rybník, která je územním plánem rovněž určena k rekreačnímu využití.

8 Závěr

V literární rešerši této práce jsem poukázala na historii těžby a zpracování nerostných surovin, které byly jistě v naší zemi po staletí významnou činností ovlivňující nejen hospodářskou, ale i společenskou a kulturní sféru. Hornictví má u nás velký historický význam, bylo zdrojem obživy a surovin důležitých pro rozvoj dalších odvětví průmyslu. Dlouhodobá těžební činnost měla však negativní dopad na životní prostředí zatížených oblastí.

Takto zatíženou oblastí se stalo i území nacházející se v katastrálním území Březové Hory v Příbrami. Těžba a následné úpravnictví rud mělo za následek zatížení půdy v oblasti odvalu bývalého dolu Vojtěch toxickými kovy. Infiltrací srážkových vod do kontaminované půdy docházelo k vyluhování těchto kovů a k jejich transportu do řeky. Analýza rizik v roce 2009 potvrdila kontaminaci zemin toxickými kovy a riziko ohrožení ekosystému toku Litavka. Jako nápravné opatření bylo přijato provedení sanace a rekultivace tohoto území zahrnující odstranění stavebních konstrukcí bývalé opravny rud, provedení terénních úprav odvalu a navezení nové zeminy s vhodnými fyzikálními a chemickými parametry, mezi které patří například malá propustnost.

K prokázání účinnosti provedené sanace a splnění jejích cílových parametrů, kterými bylo snížení koncentrace toxických kovů v toku Litavka a snížení infiltrace srážkových vod do vod podzemních, proběhl po dokončení nápravných opatření monitoring účinnosti sanace, na kterém jsem se podílela a měla možnost průběžně sledovat a hodnotit získané údaje provedených měření. Úkolem bylo sledování úrovně kontaminace podzemních a povrchových vod, měření úrovně hladiny podzemní vody a průtoků v Litavce.

Na základě vyhodnocení výsledků provedených měření bylo možné prokázat splnění cílových parametrů sanace a konstatovat, že byla úspěšná a splnila očekávané výsledky. Přeměna těžební haldy je v této oblasti významná a motivující pro další takové lokality jak pozitivními výsledky postsanačního monitoringu, tak obnovou přírodního rázu. Podle stávajícího územního plánu města Příbrami jsou vojtěšský odval a jeho předpolí podél Litavky navrženy jako plochy pro rekreaci. Záměr plánovaného využití k vybudování lesoparku je tedy vhodný.

9 Přehled literatury a použitých zdrojů

- Babka J., 2007: Středočeský kraj životní prostředí. Středočeský kraj, Praha: 253 s.
- Borůvka L. a Vácha R., 2006: Litavka river alluvium as a model area heavily polluted with potentially risk elements. In: Morel J. - L. a kol. (eds.): Phytoremediation of metal- contaminated soils. Springer, Dordrecht: 267-298.
- Cílek V., Ložek V., Mudra P., Kubíková J., Špryňar P., Čtverák V., Schmelzová R., Obermajer J., Žák V., Kubík M., Gremlica T., Daněček V., 2011: Obraz krajiny Pohled ze středních Čech. Dokořán s.r.o., Praha: 310 s.
- Černík M., 2010: Chemicky podporované in situ sanační technologie. 1. vydání. VŠCHT, Praha: 356 s.
- ČIŽP, 2011: Rozhodnutí ČIŽP/41/OOV/SR02/0913474. Česká inspekce životního prostředí, Praha: 9 s.
- Dejmal I., 2000: Údolí Litavky jako jedinečný přírodní fenomén. In: Němec J. (ed.): Modelové území povodí Litavky. 43. ZO ČSOP, Praha: 5 s.
- Duras J., Koželuh M., Hess J., Senftová L., 2000: Údolí Litavky jako jedinečný přírodní fenomén. In: Němec J. (ed.): Jakost vody v tocích a nádržích v povodí Litavky. 43. ZO ČSOP, Praha: 13 s.
- Ettler V., Mihaljevič M., Šebek O., Molek M., Grygar T., Zeman J., 2006: Geochemical and Pb isotopic evidence for sources and dispersal of metal contamination in stream sediments from the mining and smelting district of Příbram, Czech Republic. Environmental Pollution 142: 409-417.
- Fauci A. (ed.), 2008: Harrison's principles of internal medicine. McGraw-Hill Medical, New York: 2754 s.
- Frankovská J., Kordík J., Slaninka I., Jurkovič E., Greif V., Šottník P., Dananaj I., Mikita S., Dercová K., Jánová V., 2010: Atlas sanačných metod enviromentálních zátaží. Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, Bratislava: 360 s.
- Holeček M., 2015: Aktualizovaná analýza rizik území ve správě s.p. DIAMO – o.z. SUL Příbram, bývalého důlně-úpravárenského závodu Březové Hory – Příbram. EKOHYDROGEO Žitný s.r.o., Praha: 79s.
- Janeček M., 2008: Základy erodologie. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha: 180 s.
- Kafka J., 2003: Rudné a uranové hornictví České republiky. Nakladatelství Anagram s.r.o., Ostrava: 647 s.
- Kender J. (ed.), 2000: Teoretické a praktické aspekty ekologie krajiny. Ministerstvo životního prostředí: Enigma, Praha: 220 s.

Klibáni L., 2012: Sanace území bývalého důlně-úpravárenského závodu Příbram – Březové Hory a okolí – I. etapa. Projekt geologických prací. Energie stavební a báňská a.s., Praha: 34 s.

Klibáni L., 2015: Sanace území bývalého důlně-úpravárenského závodu Příbram – Březové Hory a okolí – I. etapa. Závěrečná zpráva monitoringu účinnosti sanace. Energie stavební a báňská a.s., Praha: 38 s.

Komínková D, Šťastná G., Stránský D., Nábělková J., Doležalová L., Benešová L., Horecký J., 2014: Nesmrtelnost vody. České vysoké učení technické v Praze, Praha: 100 s.

Kunický Z. a Vurm K., 2011: 700 let hutnictví stříbra a olova na Příbramsku, 700 years anniversary of Příbram's metalurgy (1311-2011), 225 let Stříbrné hutě – Kovohutí Příbram, 225 years anniversary of Silver smelting works – Kovohutě Příbram (1786-2011). Kovohutě Příbram nástupnická, a.s., Příbram: 213 s.

Mihaljevič M., Zuna M., Ettler V., Šebek O., Strnad L., Goliáš V., 2006: Lead fluxes, isotopic and concentration profiles in a peat deposit near a lead smelter (Příbram, Czech Republic). *Science of the Total Environment* 372: 334-344.

Němec J., 2006: Voda v České republice. Consult, Praha: 253 s.

Pastrňák J., 2015: Přehled významných sanačních prací prováděných odštěpnými závody v roce 2014 – 4. Díl. DIAMO 6: 2, 8.

Rieuwerts J. a Farago M., 1996: Heavy metal pollution in the vicinity of a secondary lead smelter in the Czech Republic. *Applied Geochemistry* 11: 17-23.

Řehoř V., 2010: Analýzy rizik – Kaňk a Březové Hory. DIAMO 2: 1-2.

Řehoř V., 2012: Konec historie březohorské úpravny. DIAMO 2: 2.

Řehoř V., 2013a: Březové Hory Příbram – I. etapa. DIAMO 5: 2.

Řehoř V., 2013b: Březové Hory Příbram – I. etapa. DIAMO 3: 2.

Suchna M., 2009: Analýza rizik území ve správě s.p. DIAMO – o.z. SUL Příbram, bývalého úpravárenského závodu Březové Hory – Příbram. EKOM CZ a.s., Praha: 101 s.

Twardowska I., Allen H. E., Häggblom M. M., Stefaniak S., 2005: Soil and Water Pollution, Monitoring, Protection and Remediation. Spring, Dordrecht: 629 s.

Internetové zdroje:

Cech příbramských horníků a hutníků, 2014: Stručná historie měst Příbrami a Březových Hor, online: <http://www.cechphh.cz/cz/ohlednuti/strucna-historie-mest-pribrami-a-brezozych-hor>, staženo 10. 10. 2015.

EDP-Evropská databanka, CZ Veřejná zakázka, Sanace území bývalého důlně úpravárenského závodu a okolí – Příbram, Březové Hory - 1.etapa, online: <http://www.poptavka.net/Poptavka-87738-Sanace-uzemi-byvaleho-dulne-upravarenskeho-zavodu-a-okoli-Pribram-Brezove-Hory-1-etapa>, staženo 10.10.2015.

Kovář J., 2013: Historie a současný stav úpravny rudnin na Březových Horách, online: <http://www.rimbaba.cz/index.php/aktuality/156-historie-a-soucasny-stav-upravny-rudnin-na-brezozych-horach>, staženo 16. 2. 2016.

Nemeton 2015: Zemní sesuvy - katalogový list - Laboratorní stanovení propustnosti, online: <http://www.zemnisesuvy.cz/katalog.php?13>, staženo 10. 3. 2016.

Neužil M., 1998: Vliv těžby uranové rudy na životní prostředí, online: [http://www.mzp.cz/osv/edice.nsf/50F08392ADB9DC2EC1256FC0004125BD/\\$file/E-01.htm](http://www.mzp.cz/osv/edice.nsf/50F08392ADB9DC2EC1256FC0004125BD/$file/E-01.htm), staženo 28. 11. 2015.

Operační program životního prostředí: Úplný přehled podpořených projektů, online: <http://www.opzp.cz/sekce/526/0/422322/analyza-rizik-uzemi---pribram/>, staženo 8. 6. 2014.

Petrлік J., Válek P., 2013: Arnika – chemické látky, online: <http://arnika.org/kadmium>, staženo 28. 11. 2015.

Rop O., 2001: Výskyt cizorodých prvků v půdách České republiky a možnosti jejich imobilizace. Profi Press – Úroda, Praha, online: <http://uroda.cz/vyskyt-cizorodych-prvku-v-pudach-ceske-republiky-a-moznosti-jejich-imobilizace/>, staženo 10.10.2015.

10 Přílohy

10.1 Příloha č. 1

Výsledky laboratorních analýz vzorků povrchových vod toku Litavka v profilu DB-3 (Holeček, 2015) – 1. část

datum odběru	pH	As mg.l ⁻¹	Cd mg.l ⁻¹	Pb mg.l ⁻¹	Zn mg.l ⁻¹	datum odběru	pH	As mg.l ⁻¹	Cd mg.l ⁻¹	Pb mg.l ⁻¹	Zn mg.l ⁻¹
NEK	-	0,011	0,0003	0,0072	0,092	NEK	-	0,011	0,0003	0,0072	0,092
"požadovaná koncentrace zinku"					0,55*	"požadovaná koncentrace zinku"					0,55*
3.11.2009	7,85	0,0062		0,0137	0,426	20.5.2014	7,3	<0,002	<0,001	<0,005	0,11
9.7.2010		0,0079		<0,005	1,10	29.5.2014	7,2	<0,002	<0,001	<0,005	0,24
22.7.2010		0,0059		<0,005	0,98	7.6.2014	7,1	0,0022	<0,001	<0,005	0,36
23.7.2010						13.6.2014	7,1	<0,002	<0,001	<0,005	0,60
13.3.2012		0,0050	<0,001	<0,005	0,13	26.6.2014	7,3	0,0059	<0,001	<0,005	0,92
12.4.2012		<0,002	0,0018	0,0056	0,40	30.6.2014	7,5	0,0040	<0,001	<0,005	0,70
14.5.2012		<0,002	0,0025	<0,005	0,62	8.7.2014	7,4	0,0085	<0,001	<0,005	0,28
19.6.2012		0,0038	<0,001	<0,005	1,0	14.7.2014	7,5	<0,002	0,0018	<0,005	0,49
23.7.2012		0,0043	<0,001	<0,005	0,56	31.7.2014	7,4	<0,002	<0,001	0,015	0,20
24.8.2012		<0,002	0,0026	<0,005	1,2	4.8.2014	7,4	<0,002	<0,001	0,012	0,17
27.9.2012	7,3	0,0050	0,0040	<0,005	0,86	13.8.2014	7,5	0,011	0,0020	<0,005	0,69
23.10.2012	7,8	<0,002	0,0032	<0,005	1,2	23.8.2014	7,8	0,0024	0,0015	<0,005	1,3
16.11.2012	7,5	<0,002	0,0021	<0,005	0,67	29.8.2014	7,5	<0,002	0,0010	<0,005	0,62
14.12.2012	7,3	0,003	<0,001	0,0052	0,27	8.9.2014	7	0,0083	0,0017	0,0076	0,37
4.1.2013	6,8	<0,002	<0,001	<0,005	0,18	15.9.2014	6,8	<0,002	<0,001	<0,005	0,23
1.2.2013	7,2	<0,002	<0,001	<0,005	0,23	29.9.2014	7,4	0,0039	<0,001	<0,005	0,44
7.3.2013	7,7	<0,002	0,0011	<0,005	0,25	3.10.2014	7,6	0,0021	0,0024	<0,005	0,50
16.4.2013	8,8	<0,002	0,0012	<0,005	0,23	18.10.2014	7,3	0,0038	<0,001	<0,005	0,17
20.5.2013	7,5	<0,002	<0,001	<0,005	0,20	31.10.2014	7,3	0,0030	<0,001	<0,005	0,29
18.6.2013	7,3	<0,002	<0,001	<0,005	0,42	9.11.2014	7,2	<0,002	<0,001	<0,005	0,33
21.6.2013	6,7	<0,002	<0,001	<0,005	0,25	14.11.2014	7,3	0,0020	<0,001	<0,005	0,28
26.6.2013	7,3	0,003	<0,001	<0,005	0,19	24.11.2014	7,3	<0,002	<0,001	<0,005	0,28
24.7.2013	7,5	<0,002	0,0036	<0,005	1,5	28.11.2014	7,3	0,0024	0,0011	<0,005	0,42
13.8.2013	7,2	<0,002	0,0025	<0,005	0,78	9.12.2014	7,5	<0,002	<0,001	<0,005	0,34
16.8.2013	7,1	<0,002	0,0030	<0,005	1,4	15.12.2014	7,3	<0,002	<0,001	<0,005	0,55
20.8.2013	7,5	0,0029	<0,001	<0,005	0,89	23.12.2014	6,9	<0,002	<0,001	<0,005	0,32
26.8.2013	6,9	0,0050	<0,001	<0,005	0,4	28.12.2014	7,5	<0,002	0,0011	<0,005	0,36
12.9.2013	8,4	<0,002	0,0017	<0,005	0,44	4.1.2015	7,6	<0,002	<0,001	<0,005	0,27
17.9.2013	7,6	<0,002	0,0011	<0,005	0,49	12.1.2015	7	<0,002	<0,001	<0,005	0,15
20.9.2013	7,3	0,0044	<0,001	<0,005	0,29	22.1.2015	7,1	<0,002	<0,001	<0,005	0,22
25.9.2013	6,9	0,0021	0,0024	<0,005	0,31	6.2.2015	7,2	<0,002	<0,001	<0,005	0,38
1.10.2013	7,7	<0,002	0,0016	<0,005	0,53	13.2.2015	7,2	<0,002	<0,001	<0,005	0,33
4.10.2013	7,3	<0,002	0,0023	<0,005	0,89	21.2.2015	7,5	<0,002	<0,001	<0,005	0,26
8.10.2013	7,7	0,0030	0,0024	<0,005	0,71	28.2.2015	7,5	<0,002	<0,001	<0,005	0,21
11.10.2013	7,3	<0,002	<0,001	0,011	0,17	13.3.2015	7,3	<0,002	<0,001	<0,005	0,27
16.10.2013	7,1	<0,002	<0,001	<0,005	0,17	20.3.2015	7,1	<0,002	<0,001	<0,005	0,29
21.10.2013	7	<0,002	<0,001	<0,005	0,19	27.3.2015	7,6	<0,002	<0,001	<0,005	0,16
23.10.2013	7,7	<0,002	0,0010	<0,005	0,33	13.4.2015	7,3	<0,002	<0,001	<0,005	0,16
30.10.2013	7,3	<0,002	0,0014	<0,005	0,59	22.4.2015	7,4	<0,002	<0,001	<0,005	0,27
21.11.2013	7,5	<0,002	<0,001	<0,005	0,20	29.4.2015	7,4	<0,002	<0,001	<0,005	0,28
25.11.2013	7,4	<0,002	<0,001	<0,005	0,23	11.5.2015	7,2	<0,002	0,0012	<0,005	0,39
5.12.2013	7,1	<0,002	<0,001	<0,005	0,25	15.5.2015	7,1	<0,002	0,0011	<0,005	0,49
9.12.2013	7	0,0044	0,0016	0,016	0,14	21.5.2015	7,4	0,0053	<0,001	<0,005	0,34
16.12.2013	7,5	<0,002	<0,001	<0,005	0,36	26.5.2015	7,3	<0,002	0,0018	<0,005	0,46
23.12.2013	7	<0,002	0,0010	<0,005	0,29	8.6.2015	7,3	0,0084	0,0031	<0,005	0,97
26.12.2013	7,2	<0,002	<0,001	<0,005	0,25	11.6.2015	7,3	0,0021	<0,001	<0,005	0,46

*)koncentrace odpovídající dosažení požadovaných bilančních hodnot

Výsledky laboratorních analýz vzorků povrchových vod toku Litavka v profilu DB-3 (Holeček, 2015) – 2. část (pokračování tabulky)

17.1.2014	7	<0,002	<0,001	<0,005	0,33	26.6.2015	7,7	0,003	0,0012	<0,005	0,32
22.1.2014	7,4	<0,002	<0,001	<0,005	0,24	30.6.2015	7,5	0,004	0,0026	<0,005	0,58
28.1.2014	7,6	<0,002	<0,001	<0,005	0,29	8.7.2015	7,4	0,0043	0,0022	<0,005	0,97
7.2.2014	7,6	<0,002	<0,0003	<0,003	0,18	13.7.2015	7,4	<0,002	0,0022	<0,005	1,5
13.2.2014	8,4	<0,002	<0,0003	0,007	0,17	28.7.2015	7,6	<0,002	<0,001	<0,005	2,1
21.2.2014	7,7	<0,002	<0,003	<0,003	0,31	10.8.2015	7,6	0,0021	0,0040	<0,005	1,9
28.2.2014	7,8	<0,002	<0,001	<0,005	0,47	18.8.2015	7,6	0,0043	0,0026	<0,005	0,72
11.3.2014	7,9	<0,002	0,0012	<0,005	0,46	23.8.2015	7,4	<0,002	0,0012	<0,005	0,60
17.3.2014	7,9	<0,002	<0,001	<0,005	0,30	31.8.2015	7,6	<0,002	0,0018	<0,005	1,7
21.3.2014	7,5	<0,002	<0,001	<0,005	0,60	7.9.2015	7,6	<0,002	0,0026	<0,005	1,5
31.3.2014	7,8	<0,002	<0,001	<0,005	0,36	21.9.2015	7,7	0,0048	<0,001	<0,005	0,29
8.4.2014	7,7	<0,002	<0,001	<0,005	0,62	25.9.2015	7,4	0,0034	<0,001	<0,005	0,31
18.4.2014	7,4	<0,002	<0,001	<0,005	0,63	5.10.2015	7,7	<0,002	<0,001	<0,005	0,64
25.4.2014	7,4	<0,002	0,0014	<0,005	0,66	11.10.2015	7,7	<0,002	<0,001	<0,005	0,37
2.5.2014	7,1	<0,002	<0,001	<0,005	0,21	17.10.2015	7,5	<0,002	<0,001	<0,005	0,37
6.5.2014	7,6	<0,002	0,0011	<0,005	0,41	27.10.2015	7,5	<0,002	<0,001	<0,005	0,62

***)**koncentrace odpovídající dosažení požadovaných bilančních hodnot

10.2 Příloha č. 2

Historie a současný stav úpravny rudnin na Březových Horách (Kovář, 2013, www.rimbaba.cz)



4. 7. 2010



18. 4. 2013