

2019

Stručné shrnutí výsledků
dílčího projektu v rámci
projektu Vita-Min

Čistící postupy a ekonomické vyhodnocení a selekce postupů dobré praxe pro drenující kyselé důlní vody (dílčí projekt 1.8)



LANDESAMT FÜR UMWELT,
LANDWIRTSCHAFT
UND GEOLOGIE



Europäische Union. Europäischer
Fonds für regionale Entwicklung.
Evropská unie. Evropský fond pro
regionální rozvoj.



Ahoj sousede. Hallo Nachbar.
Interreg V A / 2014–2020



Úvod, kontext a vytčený cíl

Drenující kyselé důlní vody (angl.: Acid mine drainage AMD) v saských těžebních revírech stále představují problém. Výskyt AMD zapříčiňuje zvětrávání pyritu, markazitu nebo sfaleritu v souvislosti s provzdušněním sedimentů ve výsypkách po těžbě hnědého uhlí resp. v odvalech po těžbě rud a černého uhlí a snížení hladiny spodní vody.

Acid mine drainage, acid and metalliferous drainage (AMD) nebo také **acid rock drainage (ARD)**: jsou kyselé důlní vody s vysokým obsahem iontů kovů, polokovů a síranů vytékající z rudných a uhelných ložisek, důlních děl (štol) a odvalů po těžební činnosti, obsahující minerály sulfidů, zvláště disulfidů.

Při zvětrávání pyritu se mimo jiné uvolňují železo, sírany a také vodíkové ionty. Postupně, se snižováním hodnoty pH dochází k mobilizaci jinak stabilně vázaných, zčásti toxických iontů kovů. Následky postihují stejnou měrou spodní i povrchovou vodu. Ionty železa (II), síranů a kovů jsou transportovány proudem vody. Železo ve vodních tocích a útvech nejprve oxiduje, poté za opakovaného vzniku kyseliny hydrolizuje na hydroxid železa (III) a ve formě kalu dochází k jeho viditelnému vysrážení. Voda ve vodních útvech se zakalí a kaly železa se usazují na vodních rostlinách. Kaly železa mají negativní vliv na osídlení bentosem (např. na raky, mušle, šneky, hmyz). Pro ryby je nebezpečná především tvorba oxidů železa z rozpuštěného železa (II) v žábrách. Těžké kovy ve vodě v závislosti na hodnotě pH mají značný vliv na živé organismy, například negativně ovlivňují výskyt druhů citlivých na těžké kovy. Kyselá voda způsobuje poškození stavebních děl a nástrojů korozí a silně omezuje využití jezer vzniklých zatopením povrchových dolů.

Pomocí rozsáhlé a daným podmínkám přizpůsobené sanaci kyselých důlních vod by bylo možné životní prostředí před popsány negativními vlivy co možná nejlépe chránit.

Cílem dílčího projektu bylo vybrat ze značného počtu sanačních metod ty pro konkrétní podmínky regionu nejvhodnější a posoudit je z ekonomického hlediska. Pozornost byla věnována úspěšně použitým metodám na národní a mezinárodní úrovni, ale také novým vědeckým přístupům.

Metodika

Rešerše a hodnocení čistících metod v případě AMD spočívá na výsledcích zpráv v projektu VODAMIN (dílčí projekty 04, 09 a 14). Tyto metody, se spektrem použití v případě zbytkových jam po povrchové těžbě uhlí, ve vodních tocích a pro spodní vodu, byly porovnány s aktuální mezinárodní literaturou s ohledem na úplnost a aktuálnost a bylo ověřeno, zda je třeba zohlednit další metody.

V první fázi jsou přehledně představeny (nebiologické) čistící metody na úpravu kyselé vody vytékající z důlních děl, posuzuje se také, zda se jedná o metody aktivní, pasivní a in-situ. Pro stanovení vhodné metody pro čištění vody vytékající z důlních děl, vody ve vodních tocích a v jezerech byly v závislosti na vlastnostech dané lokality vytvořeny rozhodovací stromy. O čištění vody vytékající z důlních děl pomocí (mikro-)biologických metod pojednává samostatná studie (dílčí projekt 1.9) v rámci projektu Vita Min.

Kromě toho byly definovány modelové spodní vody, které se liší koncentracemi iontů železa a síranů. Tyto sloužily jako základ výpočtů při stanovení investičních a provozních nákladů pro čtyři postupy, které by bylo možné použít v saských podmínkách, především pro značný transport železa a síranů.

Na základě poznatků získaných rešerší literatury byly shromážděny a detailně popsány všechny postupy dobré praxe proti AMD. Pro každý postup bylo vytvořeno shrnutí obsahující základní poznatky např. ohledně oblasti použití, rámcových podmínek, aktuálních technických poznatků vědy a techniky, technologického principu a způsobu účinku, stupně účinnosti a doby trvání a ohledně trvalé udržitelnosti úspěchu postupu sanace, ekonomičnosti, nákladů, možnosti získat povolení a příklady v celosvětovém měřítku a v Sasku.

Souhrnné porovnání a hodnocení ekonomické efektivity metod bylo provedeno formou tabulek diferencovaně podle použití pro kyselou a také neutrální až alkalickou vodu. Pozornost byla věnována především metodám použitým v Sasku a tyto byly zaznamenány do mapy.

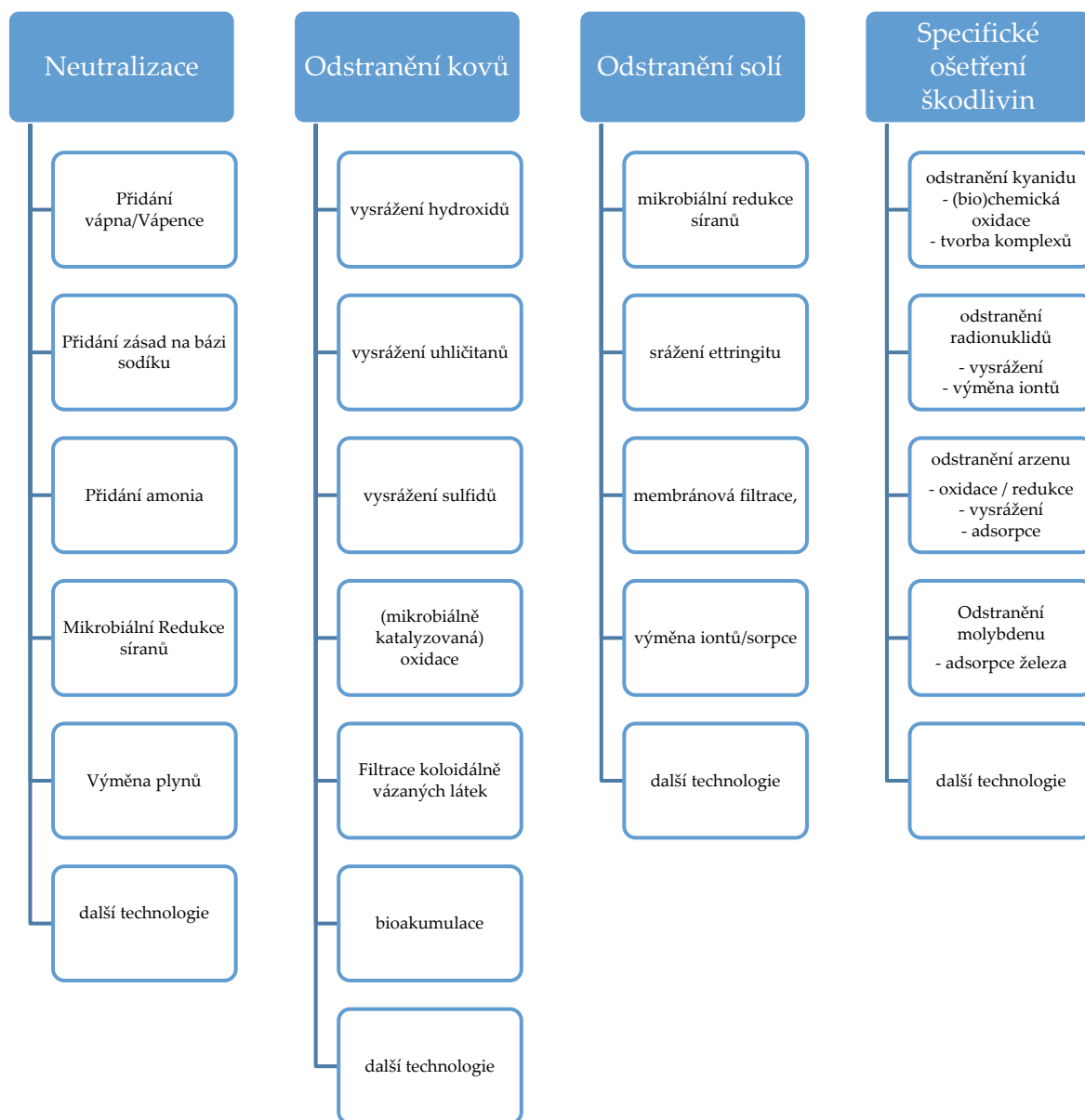
Jedna kapitola ve zprávě se věnuje postupům určeným pro ošetření kyselých vod vytékajících ze saských povrchových dolů. Porovnávají se zde různé čistící metody s variantou ponechání vody v jezerech přirozenému procesu zakyselení.

V rámci této zprávy se také uskutečnila laboratorní studie ohledně reakční kinetiky oxidace železa, jejíž výsledky jsou významné pro ošetření kyselých vod.

Výsledky čistících metod zkoumaných v rámci tohoto i dalších dílčích projektů v projektu Vita-Min budou široké veřejnosti zpřístupněny pomocí webové aplikace. Za tím účelem byla vytvořena koncepce pro integraci čistících metod do existující databáze ATRIUM organizace LfULG (Saský úřad ŽP, zemědělství a ekologii) v souvislosti s její modernizací.

Výsledky a diskuse

Celosvětově byla popsána celá řada metod na úpravu vod znečištěných důlní činností (viz obrázek 1). V praxi se ale používá jen několik málo z nich. Odedávna se využívají například neutralizační metody přizpůsobené speciálně pro konkrétní použití.



Obrázek 1: Kategorie technologií na úpravu vody – výběr postupů (INAP, 2014)

Podle specifických regionálních podmínek jsou na úpravu vody kladeny různé požadavky. Např. v uhelných regionech v jihozápadní Anglii se upravuje voda jen v množství několika málo m³/h, zatímco v uhelném revíru Lužice a ve Středním Německu nachází uplatnění především aktivní metody k ošetření velkého množství vody v objemu m³/s.

Zohlednit je potřeba také to, jaký význam má zpětné získání cenných látek, např. využití kalů hydroxidu železa. Zvlášť úprava vody vytékající z důlních děl po ukončené těžbě rud v Krušných horách vyžaduje speciálně přizpůsobené technologie, neboť tato obsahuje široké spektrum těžkých kovů.

Čistící metody pro ošetření důlní vody je možné rozdělit do tří základních kategorií na – aktivní, pasivní a in-situ.

Výsledek čištění dosažený využitím pouze pasivních metod se hodnotí jako nedostatečný. Uspokojivého výsledku čištění je možné dosáhnout kombinací několika pasivních metod (Wieber & Streb, 2010). Také kombinace s aktivními metodami je možná.

Ve světě i v Německu nachází uplatnění především optimalizované aktivní postupy, které je s ohledem na rozsah, čistící schopnosti, efektivitu a náklady možné plánovat. Sestavit žebříček těchto postupů na základě prostého propočtu nákladů a dosaženého efektu prakticky není možné, neboť hlavní úlohu ve výběru metod vždy hrají podmínky v konkrétní lokalitě. Hodnocení se tedy uskutečnilo s vazbou na konkrétní lokalitu a pro výběr jednotlivých metod byly vytvořeny různé rozhodovací stromy. Principiálně při ošetření kyselé důlní vody (AMD) dochází v první fázi k vytvoření alkalinity doprovázené neutralizací kyseliny a zvýšením hodnoty pH. Poté dochází k odloučení kovů. V případě důlních vod v Sasku spočívá hlavní cíl odloučení kovů v přeměně železa(II) na železo(III) s cílem usnadnit odstranění železa ve formě hydroxidu železitého (Fe(OH)₃).

Byly vytvořeny rozhodovací stromy pro čtyři různé oblasti použití proti AMD:

- aktivní ošetření vody vytékající z důlních děl
- pasivní ošetření vody vytékající z důlních děl
- ošetření vody ve vodních tocích ovlivněných důlní činností
- ošetření vody ve vodních útvech (jezerech) ovlivněných důlní činností

Pasivní ošetření pro zlepšení kvality vody používá výhradně „přírodní“ energii jako polohovou energii (výškový rozdíl), sluneční energii (teplo, fotosyntézu) nebo biologickou energii (baktérie) (Wolkersdorfer, 2017).

Příkladem je rozhodovací strom pro výběr čistících metody pro aktivní ošetření vody vytékající z důlních děl na obrázku 2, přičemž obdélníky znázorňují jednotlivé komponenty ošetření. Algoritmus obsahuje také odkazy na kapitoly (červenou barvou) pro detailní popis metody ve zprávě. Čím víc komponentů ošetření obsahuje, tím je finančně nákladnější. Modrou barvou je označena metoda nejčastěji používaná v hnědouhelných regionech v Sasku.

Ošetření in-situ je technický zásah, který zamezuje vznik znečištění, snižuje je nebo znečištěnou vodu čistí v místě vzniku znečištění (PIRAMID Consortium, 2003).

Aktivní ošetření v souvislosti s čištěním důlní vody znamená, že ošetření vyžaduje vynaložení energie, chemikálií a kontinuální kontrolu čistícího procesu (Wolkersdorfer, 2017).

1. *Journal of the American Medical Association*, 2000; 284: 2689-2694.

1113 3 1 1 1

3) Pasivní odlučování železa prostřednictvím ALD (anoxický uhličitánový kanál) a sedimentační žlab

- Objemový průtok: 10 l/s
- Náklady podle vody v modelu se pohybují mezi 0,013 a 0,015 €/m³ resp. včetně uložení kalu na skládku mezi 0,038 a 0,046 €/m³
- Koncentrace železa v místě odtoku není < 2 mg/l

4) Pasivní odlučování železa prostřednictvím vertikálního průtokového reaktoru (velký povrchový filtr)

- Objemový průtok: 10 l/min (velmi nízký v porovnání s 1) - 3))
- Náklady podle vody v modelu se pohybují mezi 0,013 a 0,015 €/m³ resp. včetně uložení kalu na skládku mezi 0,038 a 0,046 €/m³
- Koncentrace železa v místě odtoku není < 2 mg/l

Postupy na úpravu řídkého a zahuštěného kalu jsou konvenční aktivní metody na čištění vody vytékající z důlních děl prostřednictvím procesu neutralizace a oxidace a následné sedimentace. V případě úpravy zahuštěného kalu se z hlediska techniky procesů jedná o optimalizaci, při které dochází ke zpětnému přivádění části kalu do reakčního koryta, kde dochází k opětovnému využití nespotřebovaného na kaly navázaného neutralizačního prostředku.

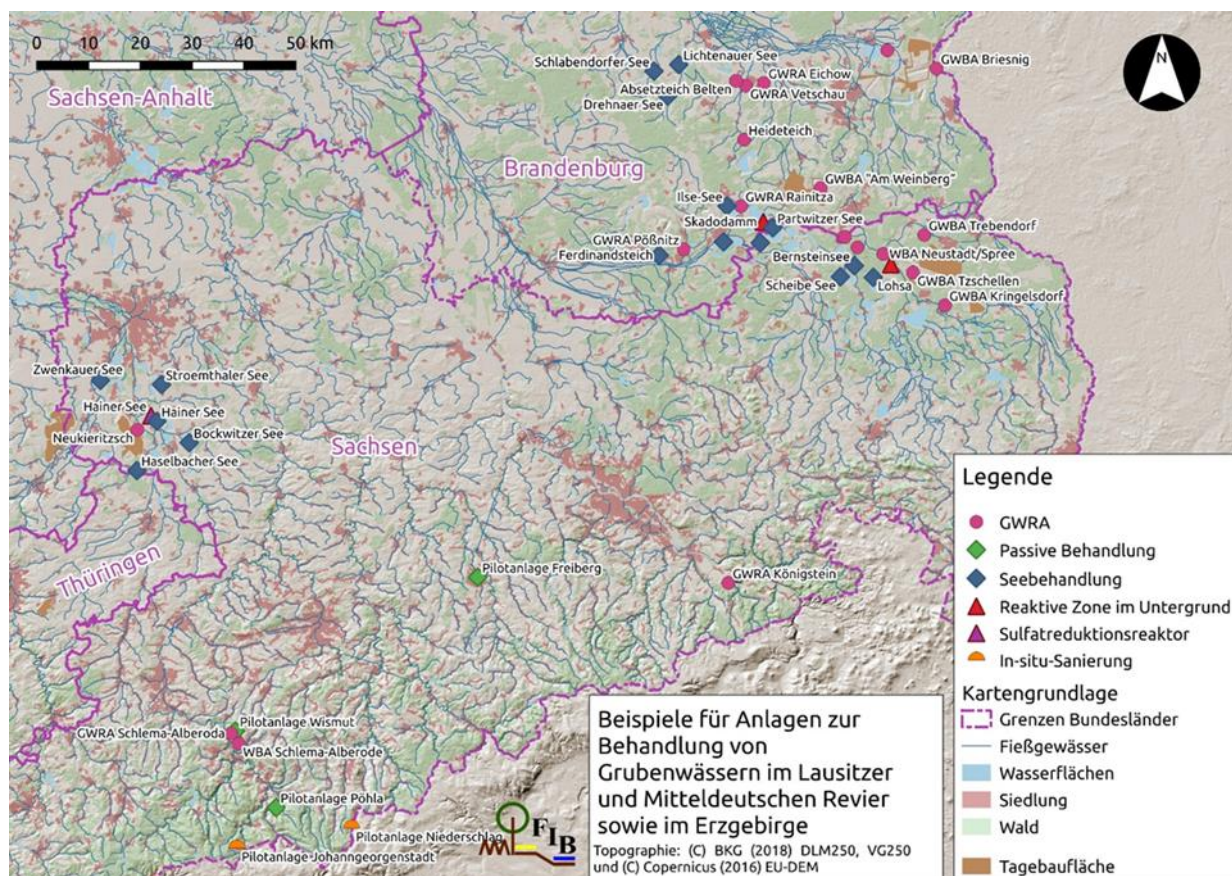
V současné době se v Sasku pro úpravu kyselých důlních vod používají především zařízení v oblasti úpravy řídkého a zahuštěného kalu, zčásti také dodatečně s využitím filtrace (např. AAF Königstein, WBA Pöhla). Tyto metody odpovídají současným technickým poznatkům a mají schopnost úspěšně ošetřit (upravit) vyskytující se velký objem vody. Příklady zařízení na úpravu vody vytékající z důlních děl jsou zakresleny v mapě na obrázku 3.

Sedimentační nádrže, případně s přídavkem vápence pro zvýšení hodnoty pH, představují vhodnou metodu pro potřeby snižování transportu železa v malých vodních tocích. Používají se ale také pro usazování látek vysrážených v rámci malých říčních čistíren vod a zakládají se v blízkosti vodních toků. Kromě toho se využívají pro optimalizaci metod úpravy zahuštěného kalu nebo pro stupňovitou neutralizaci a nachází se na konci řetězce úpravy vody za účelem odloučení pevných částic vzniklých v reakční jímce.

Sanace vodních útvarů vzniklých po těžbě hnědého uhlí v Sasku se provádí přidáváním neutralizačních prostředků a/nebo CO₂ (pro vytvoření hydrogenuhličitanového pufru) pomocí metod přizpůsobených dané lokalitě. Principiálně se používají postupy nazývané neutralizace In-Lake s pomocí vhodného plavidla nebo stacionárního zařízení a také ošetření vody na odtoku. I zde ovlivňují výběr vhodné metody podmínky v konkrétní lokalitě a nařízení ze strany příslušných úředních institucí. Na příkladu čtyř jezer v hnědouhelném revíru Lužice byly porovnány náklady za neutralizaci vody v jezerech s náklady za ošetření na odtoku. Z porovnání vyplynulo, že náklady se zvyšujícím se objemem vody ošetřené na odtoku měřeno podle celkového objemu vody v jezerech rychle pozitivně posouvají ve prospěch úpravy In-Lake. Je ale nutné brát v úvahu, že se hodnocení nákladů vztahuje pouze na období jednoho roku a například investiční náklady nebyly zohledněny vůbec.

Nejčastějším kritériem pro vyloučení pasivních metod na odstraňování kovů je velké množství transportovaného železa ve vodách z důlních děl v Sasku. Kromě toho se pasivní metody pro úpravu velkých objemových průtoků (> 10 l/s) hodí jen těžko a proto se v Sasku aktuálně nepoužívají. Ale v případě malých objemových průtoků vykazují pasivní metody pro úpravu vody s obsahem těžkých kovů a arzenu, především v Krušnohoří, potenciál. Dočasně byla v provozu jen pilotní zařízení. V létě roku 2019 bylo zprovozněno mokřadní zařízení (Wetland) pro potřeby čištění spodní vody, které upravuje kontaminovanou spodní vodu z bývalého švelovacího závodu (karbonizace uhlí). Škodliviny nebyly jmenovitě uvedeny).

Čistící postupy a ekonomické vyhodnocení a selekce postupů dobré praxe pro drenující kyselé důlní vody (dílčí projekt 1.8)



Obrázek 3: Mapa s vyznačenými zařízeními na úpravu vody v Lužici a v hnědouhelném revíru ve Středním Německu a také po těžbě rud a černého uhlí

Shrnutí a výhled

V rámci tohoto dílčího projektu byla provedena rešerše celé řady čistících postupů proti kyselé vodě vytékající z důlních děl (Acid-Mine-Drainage), která se ve světě používají resp. testují. Tyto metody byly rozděleny podle toho, zda se jedná o metody aktivní, pasivní a In-situ a byly detailně popsány. Podle možností při tom byly popsány výhody a nevýhody jednotlivých součástí těchto zařízení a také jejich finanční náročnost. Formou přehledu jsou znázorněny všechny metody z hlediska spektra jejich použití, předpokladů/náročnosti, efektivity neutralizace a snížení koncentrace látek a také ekonomických aspektů. 14 nejrelevantnějších čistících metod je znázorněno také formou stručných popisů.

Favorita mezi různými možnostmi úpravy kyselých vod z důlních děl (AMD) není možné odvodit, neboť pro konkrétní lokalitu přichází v úvahu vždy jedna metoda. V nejlepším případě je možné přizpůsobit stupně čištění resp. optimalizovat technické detaily. Potenciál pro využití jednotlivých metod v saských hnědouhelných regionech v první řadě vyplývá z parametrů objemu vody, který je třeba ošetřit, a z koncentrace železa. Na základě mezinárodní rešerše dat ale byly pro výběr postupů na saském území vytvořeny rozhodovací stromy.

Také v oblasti posouzení ekonomické efektivnosti se podařilo odvodit orientační hodnoty (v € za upravený m³ důlních vod) pro čtyři v Sasku použitelné postupy.

Studie také ukázala, že obzvláště aktivní postupy na úpravu AMD je možné s úspěchem použít, v oblasti použití pasivních čistících postupů je potřeba dosáhnout optimalizaci jejich efektivity.

Literatura

INAP. (2014). *Global Acid Rock Drainage Guide (GARD Guide)*. The International Network for Acid Prevention. Von <http://www.gardguide.com> abgerufen

PIRAMID Consortium. (2003). *Engineering guidelines for the passive remediation of acidic and/or metalliferous mine drainage and similar wastewaters*. European Commission 5th Framework RTD Project no. EVK1-CT-1999-000021 "Passive in-situ remediation of acidic mine / industrial drainage" (PIRAMID), University of Newcastle Upon Tyne, Newcastle Upon Tyne, UK.

Wieber, G., & Streb, C. (2010). *Geowärme Bad Ems - Minimierung des Schadstoffaustrages*. Institut für geothermisches Ressourcenmanagement; ITB - Institut für Innovation, Transfer und Beratung gemeinnützige GmbH. Bingen am Rhein: Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz.

Wolkersdorfer, C. (2017). *Reinigungsverfahren für Grubenwässer - Bewertung und Beschreibung von Verfahren*. South African Research Chair for Acid Mine Drainage Treatment, Tshwane University of Technology, Pretoria, SA; Finnish Distinguished Professor for Mine Water Management, Lappeenranta University of Technology, Mikkeli, Finland.

Impressum

Vydavatel:

Tento dokument byl vytvořen v rámci realizace projektu Vita-Min. Projekt Vita-Min byl podpořen z prostředků evropského Fondu pro regionální rozvoj v rámci Programu spolupráce SN-CZ 2014-2020. Partnery projektu jsou Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie / Saský úřad ŽP, zemědělství a ekologii (Leadpartner), město Oelsnitz/Erzgeb. a Ústecký kraj.

Všechny dílčí projekty LfULG jsou přínosem projektu „Pro čistou vodu v Sasku“ (Für saubere Gewässer in Sachsen).

V případě otázek a informací k tomuto dílčímu projektu kontaktujte:

Kontaktní osoba

Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Kontaktní osoba: Kathleen Lünich
Telefon: + 49 351 89284420
E-Mail: kathleen.luenich@smul.sachsen.de

Zpracovatel:

Výsledky tohoto dílčího projektu zpracovali v rámci zakázky LfULG subjekty FIB Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften e. V.; GFI Grundwasser-Consulting-Institut GmbH Dresden; VisDat geodatentechnologie GmbH.

Fotografie na titulní straně:

LfULG (2019): Vincenzgraben (Oßling), hnědouhelný revír Lužice (střední naměřené hodnoty 2018: pH 3,2; železo 18,8 mg/l; sírany 905 mg/l)

Redakční uzávěrka:

20.12.2019

Další informace najdete na
www.vitamin-projekt.eu