

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE**  
**FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ**  
**KATEDRA PLÁNOVÁNÍ KRAJINY A SÍDEL**



**Důlní vody jako následek ukončení hornické činnosti a možnosti jejich  
dalšího využití s ohledem na životní prostředí**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Vedoucí práce: Ing. Jan Gregar, Ph.D.**

**Diplomant: Bc. Václav Kurtík, DiS.**

**2024**

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Václav Kurtík, DiS.

Regionální environmentální správa

Název práce

Důlní vody jako následek ukončení hornické činnosti a možnosti jejich dalšího využití s ohledem na životní prostředí

Název anglicky

Mine waters as a result of the termination of mining activities and the possibility of their further use with respect to the environment

---

Cíle práce

Cílem diplomové práce je prokázat nebo vyvrátit možnost využití produktů čistírny důlních vod Horní Slavkov. Zhodnocení vypouštěných důlních vod, zda mohou být potenciálně vhodné pro úpravu na vodu pitnou, doplňkovou závlahu nebo pro zadržení vody v krajině a dotaci podzemních vod. Důležité parametry ovlivňující využitelnost vod budou ve většině případů záviset na kvalitativních parametrech, tj. na chemismu, fyzikálních a biologických vlastnostech vody. Hodnoty těchto parametrů, které musí voda splňovat pro jednotlivé způsoby využití, zejména pro potřeby úpravy na vodu pitnou, pro koupání osob, závlahu, jsou pak dány legislativně či normativně stejně, jak postup jejich analyzování a vyhodnocování. Diplomová práce se také zabývá možností využití odpadních kalů, které mohou být využívány jako sanační materiál, i jako potenciální zdroj kritických surovin.

Metodika

Ke splnění cíle bude využita veškerá dostupná literatura a další odborné materiály, studie, a legislativa. Bude proveden odběr vzorku důlní vody, která je přiváděna na ČDV Horní Slavkova a vzorku vyčištěné vody před vypuštěním do recipientu, výsledné hodnoty vzorků důlních vod budou sloužit pro porovnání parametrů které musí důlní vody splňovat před vypouštěním do potok Dlouhá Stoka. Je zřejmé, že nejperspektivnější důlní díla pro případné využití jejich důlních vod budou reprezentovat ta, která budou zatopena a jejichž voda je čerpána, nebo samovolně gravitačně vytéká na povrch. Dále bude proveden odběr směsných vzorků odvodněného kalu. Vzorky budou vysušeny, vykvartovány, a připraveny 25 g vzorky, které budou měřeny na přístroji XRF v akreditované laboratoři. Na podkladě výsledků budou diskutovány možnosti využití produktů ČDV Horní Slavkov se závěrečným doporučením.

**Doporučený rozsah práce**

dle Nařízení děkana č.02/2020 – Metodické pokyny pro zpracování diplomové práce na FŽP

**Klíčová slova**

důlní vody, kaly, využití, úprava důlních vod

---

**Doporučené zdroje informací**

- Beran P., 2001: Královské město Horní Slavkov. Vydavatelství město Horní Slavkov ve spolupráci s Okresním muzeem Sokolov, 194 s.
- Bratrych V., 2005: Živel voda, příroda, technika, životní prostředí. Vydavatelství Koniklec, Praha, 239 s. ISBN 80-902606-6-7.
- FIGOLI, Alberto.; CRISCUOLI, Alessandra.; SPRINGERLINK (ONLINE SERVICE). *Sustainable Membrane Technology for Water and Wastewater Treatment [electronic resource]*. Singapore: Imprint: Springer, 2017. ISBN 9789811056239.
- Grmela a kol. 2012: Důlní vody uranových ložisek předplatformních formací České republiky, MONTANEX, a.s., 312 s. ISBN 978-80-7225-372-2.
- Klikorka J., Hájek B., Votinský J., 1989: Obecná a anorganická chemie. SNTL – Nakladatelství technické literatury, Praha, 591 s.
- Krásný J., 2012: Podzemní vody České republiky. Vydavatelství Česká geologická služba, Praha, 1144 s. ISBN 978-80-7075-797-0.
- Pitter P., 2009: Hydrochemie. Vydavatelství VŠCHT, Praha, ISBN 978-80-7080-701-9.
- RIFFAT, Rumana. *Fundamentals of wastewater treatment and engineering*. Boca Raton, Fla. ; London: CRC Press/Taylor & Francis, 2013. ISBN 9780415669580.
- Tomiček R., 2000: Těžba uranu v Horním Slavkově. Vydavatelství Okresní muzeum Sokolov, Sokolov, 294 s.
- WOLKERSDORFER, C.; INTERNATIONAL MINE WATER ASSOCIATION. *Water management at abandoned flooded underground mines : fundamentals, tracer tests, modelling, water treatment*. Berlin: Springer, 2008. ISBN 9783540773306.
- 

**Předběžný termín obhajoby**

2023/24 LS – FŽP

**Vedoucí práce**

Ing. Jan Gregar

**Garantující pracoviště**

Katedra plánování krajiny a sídel

Elektronicky schváleno dne 30. 10. 2023

prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 30. 10. 2023

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 09. 11. 2023

---

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem Důlní vody jako následek ukončení hornické činnosti a možnosti jejich dalšího využití s ohledem na životní prostředí vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědom, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledky obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Horním Slavkově dne 28. 3. 2024

.....

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Janu Gregorovi, Ph.D. za jeho vstřícný přístup, ochotu, odborné rady a především trpělivost. Dále bych chtěl poděkovat společnosti DIAMO, státní podnik, odštěpný závod Správa uranových ložisek, Příbram za povolení a ochotu potřebnou k vypracování diplomové práce. Dále děkuji ČDV Horní Slavkov, vedoucímu panu Pavelkovi a jeho kolektivu za ochotu a vstřícnost a rady při psaní diplomové práce. Dále děkuji paní Ing. Emílii Křenkové laboratory manager a kolektivu za ochotu a odborné rady při provádění potřebných analýz a také firmě KMK GRANIT, a. s., Krásno, Ing. Janu Šmidrkalovi – Fa – Inženýring – Projekce – Realizace (IPR) Aqua, Praha.

## **Abstrakt**

Úkolem předložené diplomové práce bylo prokázat nebo vyvrátit možnosti využití produktů čistírny důlních vod na ČDV Horní Slavkov, odštěpného závodu Správa uranových ložisek Příbram, konkrétní využití důlních vod pro zálivku v zemědělství a zeleně, vylepšení bilance rybníků a mokřadů, užitkovou a průmyslovou vodu, geotermální energii a v budoucnu i jako možný zdroj pitné vody. Teoretická část je zaměřena na charakteristiku důlních vod, historii, vznik a možnosti její úpravy na ČDV Horní Slavkov před vypuštěním do recipientu (potok Stoka). Praktická část je zaměřena na důlní vody, u kterých bude proveden odběr vzorků. Výsledky z laboratoře budou sloužit pro porovnání hodnot, které musí důlní voda splňovat před vypuštěním do vodoteče. U důlního kalu bude proveden odběr vzorku, u kterého bude provedena analýza XRF a rozdělení v magnetickém poli, a poté změřen magnetický a nemagnetický podíl. V současné době se odpadní kaly mohou využívat nejen jako sanační materiál, ale i jako potenciální zdroj kritických surovin.

## **Klíčová slova**

Důlní vody, kaly, využití, úpravna důlních vod

## **Abstract**

The task of the presented diploma thesis was to prove or disprove the possibilities of using the products of the mine water treatment plant at the ČDV Horní Slavkov, the spin-off plant of the Správa uranium deposits Příbram, the specific use of mine water for irrigation in agriculture and greenery, improving the balance of ponds and wetlands, utility and industrial water, geothermal energy, but also a source of drinking water in the future. The theoretical part is focused on the characteristics of mine water, its history, origin, and the possibilities of its treatment at ČDV Horní Slavkov before it is released into the recipient (the Dlouhá Stoka stream). The practical part is focused on mine water, where sampling will be carried out, I will compile the results from the laboratory to compare the values that mine water must meet before being released into the watercourse. a sample will be taken for the mine sludge, which will be analyzed by XRF and dissociation in a magnetic field, and then the magnetic and non-magnetic fraction will be measured. Currently, waste sludge can be used as remedial material but also as a potential source of critical raw materials.

## **Key words**

Mine water, sludge, use, mine water treatment plant

# Obsah

1	Úvod .....	12
2	Cíle práce .....	14
3	Metodika .....	15
4	Literární rešerše.....	16
4.1	Důlní vody a jejich specifika .....	16
4.1.1	Zdroje důlních vod a jejich změny .....	17
4.1.2	Geochemický vývoj důlních vod .....	20
4.1.3	Geochemie důlních vod při aktivní těžbě.....	21
4.1.4	Geochemie důlních vod po uzavření dolu .....	22
4.2	Dopady důlní činnosti na životní prostředí.....	25
4.2.1	Dopady na krajinu .....	26
4.2.2	Dopady na ovzduší .....	27
4.2.3	Dopady na faunu, flóru a ekosystémy .....	28
4.2.4	Dopady na půdu.....	29
4.2.5	Dopady na povrchové a podzemní vody .....	30
4.3	Metody čištění kyselých důlních vod a odkalištních vod .....	32
4.3.1	Charakteristika kalů z důlních vod.....	33
4.3.2	Nakládání s kyselým důlním odvodňovacím kalem .....	34
4.3.3	Likvidace a společná likvidace kyselých důlních kalů .....	35
5	Charakteristika zájmového území .....	36
5.1	Počátky historie města Horní Slavkov .....	37
5.1.1	Uran v Horním Slavkově .....	38
5.1.2	Schnödův peň.....	40
5.1.3	Huberův peň .....	41
5.1.4	Rozvoj moderní těžby v Horním Slavkově.....	42
5.1.5	Konec těžby cínových rud v revíru Horní Slavkov .....	45
5.1.6	Způsoby likvidace hlavních otvirkových vertikálních děl .....	47



5.1.7	Hodnocení dopadu důlní činnosti na životní prostředí .....	48
5.2	Odvádění důlních vod z revíru Horní Slavkov .....	51
5.2.1	Dědičná štola Kašpara Pluha .....	52
5.2.2	Odkaliště důlního závodu Stannum – Horní Slavkov .....	54
5.2.3	Odkaliště Horní Slavkov a jeho soustava .....	56
5.2.4	Odvodňovací štola Barbora – Horní Slavkov .....	56
5.3	ČDV – Horní Slavkov .....	59
5.3.1	Nátok důlních vod na ČDV – Horní Slavkov .....	60
5.3.2	Technologie čištění důlních vod .....	61
6	Výsledky práce .....	64
7	Diskuse .....	86
8	Závěr .....	88
9	Přehled literatury a použitých zdrojů .....	89
10	Legislativní zdroje .....	99
11	Seznam obrázků .....	100
12	Seznam tabulek .....	102
13	Přílohy .....	103

## Seznam použitých zkratek

$^{226}\text{Ra}$	radium
$^{238}\text{U}$	uran
AMD	kyselá důlní drenáž
AN	aerační nádrž
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	hydroxid vápenatý
$\text{CaO}$	oxid vápenatý
Cd	kadmium
Cu	měď
ČDV	čistírna důlních vod
ČSAV	Československá akademie věd
ČSR	Československá republika
DIAMO	státní podnik
DN	jmenovitá světlost potrubí (dříve JS)
Eh	oxidačně redukční potenciál
EVL	Evropsky významné lokality
Fe	železo
$\text{Fe}(\text{OH})_2$	hydroxid železnatý
$\text{FeS}_2$	pyrit
CHKO	Chráněná krajinná oblast
CHOPAV	Chráněná oblast přirozené akumulace vod
ID	zkratka pro identifikaci (položky, systém, zařízení)
INAP	International Network for Acid Prevention
IPR	inženýring projekce realizace
JD	Jáchymovské doly
Mn	mangan
MVE	malá vodní elektrárna
n. p.	národní podnik

NL	nerozpuštěné látky
OBÚ	obvodní báňský úřad
ORP	obec s rozšířenou působností
Pb	olovo
pH	vodíkový exponent <sup>1</sup>
POE	organický polyelektrolyt
RL	rozpuštěné látky
RTG	rentgen
s. p.	státní podnik
s. r. o.	společnost s ručením omezeným
S/S	stabilizace/solidifikace
Sn	cín
SO <sub>4</sub>	síran
SSSR	Svaz sovětských socialistických republik
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
SUL	Správa uranových ložisek Příbram
TDS	celkové rozpuštěné pevné látky v roztoku
UN	usazovací nádrž
UQ	semikvantitativní metoda
UV	ultrafialové záření
W	wolfram
XRF	rentgen-fluorescenční spektrometrie
ZN	zahušťovací nádrž

---

<sup>1</sup> Míra kyselosti vodného roztoku: záporně vzatý dekadický logaritmus aktivity oxoniových iontů.

# 1 Úvod

Uranový průmysl z titulu svých politických privilegií hrál v 50. letech v oblasti Horního Slavkova a Krásna dominantní roli. Těžba uranových rud, probíhala od roku 1948 a skončila v letech 1961–1963. Doly byly následně zlikvidovány a důlní díla neřízeně zatopena v roce 1965. Extrakce nerostných surovin, zejména uhlí a kovů, významně ovlivňuje životní prostředí na dotčených místech. Tento dopad se projevoval jak během samotné těžby, tak i po jejím ukončení a nelze ho považovat za zanedbatelný (Beran et al. 2001).

Po dokončení těžební činnosti setrvávají za rekultivovanými povrchovými jámami rozlehlá jezera a zalesněné rekultivované odvaly. Mezi nejdůležitější dopady těžby patří negativní vliv na kvalitu podzemních a povrchových vod, což vyžaduje časté a nákladné čištění. Srážkové, podzemní a důlní vody, které se dostávají do kontaktu s horninou narušenou oxidačními procesy v zatopených podzemních oblastech či v povrchových lomech, nebo které prosakují přes odvaly, haldy hlušiny a usazený rmut v odkalištích, jsou kontaminovány různými toxickými látkami, především častými doprovázejícími prvky, jako jsou mangan a železo (Černík et al. 2008).

Podobně jako u podzemních vod je kvalita důlních vod závislá hlavně na geologických, hydrologických a těžebních podmínkách, takže často vykazuje velké rozdíly v různých oblastech těžby (Zhang et al. 2021b, Qu et al. 2021b). Obecně platí, že hydrochemické charakteristiky mohou přímo odrážet kvalitu vody, takže změny kvality podzemních vod mohou sloužit jako cenné výzkumné pole prostřednictvím hydrochemické analýzy (Teng et al. 2019, Xiao et al. 2021, Liu et al. 2021).

Dolování cínu v revíru na Hornoslavkovsku definitivně skončilo v lednu 1991. Ke zrušení těžby cíno-wolframových rud na závodě Stannum Rudných dolů Příbram, s. p. došlo v podstatě na základě postupné ztráty státní subvence, nízké světové ceny cínu a wolframu a také z toho důvodu, že ani ložiskové parametry nejbohatšího ložiska oblasti Slavkovského lesa ložiska Krásno nedosahovaly dostatečně vysokých obsahů cínu a wolframu v požadované tonáži. Po ukončení činnosti rudných dolů se musel vyřešit problém odvedení důlních vod z celého revíru a začala se razit nová odvodňovací štola, která dostala jméno Barbora, a která měla zajistit bezpečný odtok důlních vod jak jáchymovského uranového, tak i slavkovského cíno-wolframového ložiska. Potrubím vedená voda měla být dále odkalována a vyčištěna v nově vybudované ČDV Horní Slavkov, která se nachází v katastrálním území Nadlesí nad soutokem vodotečí Stříbrného potoka s potokem Stoka (Tomíček, 2000).

Problematika geochemických změn složení důlních vod by měla být řešena společně s problematikou geochemických změn v ostatních odpadních vodách, které vznikají v důsledku důlní činnosti. Jedná se o vody průsakové z hald, odkališť a odvalů. Tyto relikty důlní činnosti významně ovlivňují kvalitu povrchových i podzemních vod. Sulfidy železa, konkrétně pyrit a chalkopyrit, které doprovázejí kovové nerosty v horninovém prostředí, mohou být v průběhu těžby vnímány jako nežádoucí příměsi. Tyto sulfidy jsou spolu s okolními horninami vytěženy a následně umístěny na odvalech nebo skončí ve zbytkovém materiálu na odkalištích (Beran et al. 2000).

Těžení a zpracování minerálních surovin znamenají činnosti, jež výrazně ovlivňují životní prostředí a nepřímo i lidský život. Bez ohledu na to, zda byla důlní činnost v minulosti prováděna prostými prostředky či moderními dobývacími technologiemi, má a měla vždy své důsledky pro okolní prostředí. Vlivy hornické činnosti na krajinu patří mezi ty, které jsou nejvíce zřetelné. Sem patří nové tvarové prvky v krajině, jako jsou kuželovité hlušínové odvaly, či naopak vodorovné vrstvy výsypek na svazích kopců. Následujícím škodlivým důsledkem je ovlivnění flory a fauny a existujících ekosystémů. Stávající ekosystémy jsou postupně vytlačovány novými, které mohou představovat vhodné prostředí pro rozvoj flory a fauny. Tím vzniká paradox, kdy je obtížné najít řešení pro skloubení potřeby rekultivace následků hornické činnosti, jako jsou odkaliště a odvaly, s patrnými vlivy a riziky pro životní prostředí. Současně je však nutné brát v úvahu ochranu nově vznikajících společenstev, která často zahrnují chráněné a vzácné živočichy a rostliny (Černík et al. 2008).

Vzhledem ke změně klimatu a růstu populace je nezbytné prozkoumat alternativní zdroje zásobování vodou (da Silva et Blanco, 2023, Fonjong et Zama, 2023, Salehi, 2022). Mezi jinými vodními zdroji již byla důlní voda využívána v některých regionech, které se potýkají s dlouhodobým nedostatkem vody, zejména pro domácí účely a pro účely zavlažování (Anjali et al. 2023, Chen et al. 2020, Gao et al. 2020). Česká republika také zažívá dlouhotrvající sucha (Debiec, 2021) a má několik těžebních lokalit se značnými zásobami vody (Włosok et Vostárek, 2023).

Pochopení složení těchto důlních vod je zásadní, protože se velmi liší v závislosti na lokalitě. Může sahat od čisté vody vhodné pro vodní infrastrukturu až po kontaminované důlní vody, které představují environmentální výzvy. Složení důlních vod bylo rozsáhle diskutováno různými autory po celá desetiletí (Arefieva et al. 2016, Banwart et Malmström, 2021, Kennedy et al. 2023, Lottermoser, 2010, Opitz et al. 2023, Tomiyama et Igara, 2022).

## 2 Cíle práce

Cílem diplomové práce je prokázat nebo vyvrátit možnost využití produktů čistírny důlních vod Horní Slavkov. Přináší zhodnocení vypouštěných důlních vod, zda mohou být potenciálně vhodné pro úpravu na vodu pitnou, doplňkovou závlahu nebo pro zadržení vody v krajině a dotaci podzemních vod. Důležité parametry ovlivňující využitelnost vod budou ve většině případů záviset na kvalitativních parametrech, tj. na chemismu, fyzikálních a biologických vlastnostech vody. Hodnoty těchto parametrů, které musí voda splňovat pro jednotlivé způsoby využití, zejména pro potřeby úpravy na vodu pitnou, pro koupání osob, závlahu, jsou pak dány legislativně či normativně stejně jako postup jejich analyzování a vyhodnocování. Diplomová práce se také zabývá možností využití odpadních kalů, které mohou být a jsou zatím využívány jako sanační materiál. Zároveň se na ně může nahlížet i jako na potenciální zdroj kritických surovin.

### 3 Metodika

Pro sepsání této diplomové práce byly použity podklady a materiály, které poskytla společnost DIAMO, s.p., odštěpný závod Správa uranových ložisek Příbram. Zájmové území provozu čistících stanic západní Čechy - ČDV Horní Slavkov se nachází v Karlovarském kraji, okres Sokolov.

Pro první část této práce byl v laboratoři provozu čistící stanice ČDV Horní Slavkov proveden rozbor důlní vody na vstupu a výstupu v rozsahu ročního provozu, sběr dat, jejich zhodnocení a porovnání dle emisních limitů stanovených vodoprávním úřadem a konečné zanesení výsledných hodnot do tabulek, které byly dále součástí dalšího výzkumu. Vzorky vyčištěné důlní vody odebrané na výstupu do recipientu byly společně s výslednými hodnotami zanesenými do tabulek odeslány na Krajskou hygienickou stanici v Karlových Varech. Zde bylo na základě výsledných protokolů o zkoušce posouzeno, zda jsou vzorky vhodné pro pitné účely.

V konečné fázi byly osloveny firmy zabývající se problematikou úpravy důlní vody na vodu pitnou. Po zhodnocení předložených konečných výsledků byla společností Inženýring Projekce Realizace (IPR) Aqua, s.r.o., Praha navržena potřebná technologie na úpravu této důlní vody na pitnou.

Ve druhé části této práce byly odebrány vzorky důlního kalu na ČDV Horní Slavkov, které byly podrobeny analýze ve vlnově disperzním XRF spektrometru v laboratoři společnosti KMK GRANIT, a.s. Krásno. Na základě této analýzy byl zpracován protokol výsledných hodnot kalu, kde bylo stanoveno, které prvky a v jakém množství jsou obsaženy v odebraném důlním kalu. Na závěr bylo zhodnoceno, zda se na tyto prvky může nahlížet jako na zdroje kritických surovin.

## 4 Literární rešerše

Kapitola vychází z odborných knih, monografií, internetových zdrojů, legislativních materiálů, závěrečných zpráv a zpracovaných analýz.

### 4.1 Důlní vody a jejich specifika

Důlní vody představují specifickou právní kategorii vod v podzemí i na povrchu označovanou takto v kontextu těžby nerostných surovin či jiných hornických činností prováděných v podzemí. Dle definice zákona č. 44/1988 Sb., o ochraně a využití nerostného bohatství (horní zákon), v platném znění, jsou podle § 40: **(1)** důlními vodami všechny podzemní, povrchové a srážkové vody, které vnikly do hlubinných nebo povrchových důlních prostorů bez ohledu na to, zda se tak stalo průsakem nebo gravitací z nadloží, podloží nebo boku nebo prostým vtékáním srážkové vody, a to až do jejich spojení s jinými stálými povrchovými nebo podzemními vodami.

**(2)** Organizace je při hornické činnosti<sup>1)</sup> oprávněna:

**a)** *bezúplatně užívat důlní vody pro vlastní potřebu,*

**b)** *bezúplatně užívat na základě povolení vodohospodářského orgánu důlní vodu jako náhradní zdroj pro potřebu těch, kteří byli poškozeni ztrátou vody vyvolanou činností organizace,*

**c)** *vypouštět důlní vodu, kterou nepotřebuje pro vlastní činnost, do povrchových, popřípadě do podzemních vod a odvádět ji, pokud je to třeba, i přes cizí pozemky způsobem a za podmínek stanovených vodohospodářským orgánem a orgánem ochrany veřejného zdraví.*

**(3)** *Při použití důlních vod podle písmena (a, b) je organizace povinna pečovat o důlní vody a hospodárně je využívat. Použití důlních vod k jiným účelům upravují zvláštní předpisy.*

**(4)** *K vypouštění jiných vod do důlních vod je třeba povolení vodohospodářského orgánu vydaného po dohodě s obvodním báňským úřadem.*

Dle zákona č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), v platné znění, dle § 4 bodu 2): „Důlní vody se pro účely tohoto zákona považují za vody povrchové, popřípadě podzemní a tento zákon se na ně vztahuje, pokud zvláštní zákon nestanoví jinak.“ (zákon č. 44/1988 Sb., o ochraně a využití nerostného bohatství, ve znění pozdějších předpisů)



Důlní vody lze v podstatě definovat jako vody, které zahrnují jak podzemní, tak povrchové vody a byly ovlivněny lidskou aktivitou, zejména v souvislosti s průzkumem a těžbou nerostných surovin v důlních jámách. Tato specifika mají významný dopad na právní rámec týkající se jejich hodnocení a správy. Tento aspekt ovlivňuje nejen horní zákon, ale i vodní zákon a s nimi související legislativu (Grmela et al. 2012).

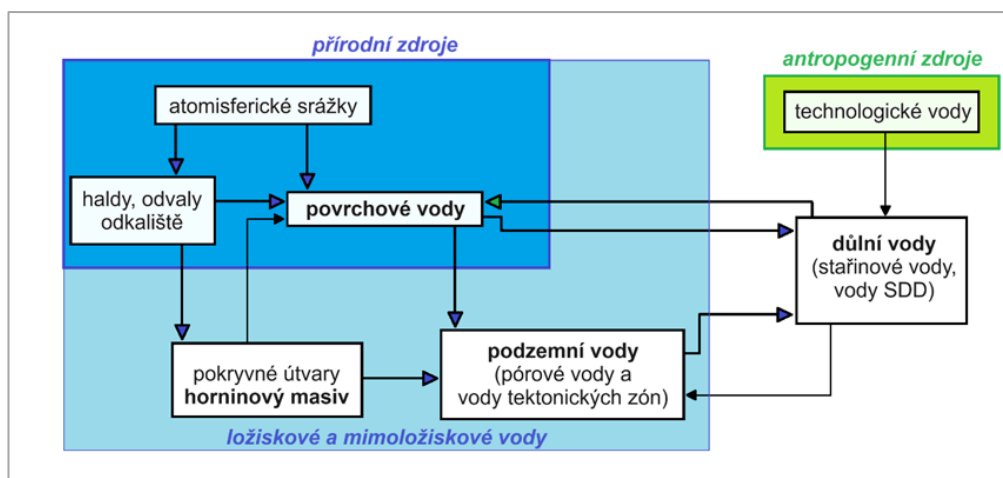
Legislativní vymezení této zvláštní kategorie vod je dáno několika důvody. Především je to fakt, že jakákoliv hornická činnost probíhající pod povrchem v horninovém prostředí se vždy dotkne podzemních vod volně se v horninových strukturách vyskytujících. Vždy je tedy nutné počítat s jistým stupněm ovlivnění podzemních vod, vlivy na podzemní vody nelze plně eliminovat. V této souvislosti je nezbytné účinně chránit vody a současně nalézt vyvážený přístup, který propojí ochranu vod s ekonomickými zájmy spojenými s dobýváním nerostných surovin z podzemí pro potřeby lidstva. Kategorie důlních vod tedy vznikla v reakci na potřebu umožnit a zároveň regulovat hornickou činnost, a to s ohledem na nakládání s podzemními vodami a jejich ochranu. Proto příslušné ustanovení zákona a další jeho odstavce definují, za jakých podmínek je to možné. Jsou tak nastavena pravidla koexistence hornické činnosti a ochrany podzemních a povrchových vod (Černík et al. 2008).

Druhým důležitým momentem pro vznik legislativní kategorie důlní vody byla historicky nabytá zkušenost, že při práci v podzemí nelze nikdy vyloučit vznik mimořádné události například havárie, kdy dochází z nejrůznějších důvodů přírodních i vlivem okolní lidské činnosti k prudkému, nenadálému zaplavování podzemních prostor. Organizace pak musí vytvořit podmínky k účinné likvidaci takovéto havárie, k záchraně nebo ochraně jak majetku, tak především lidských životů pracovníků nacházejících se v podzemí. Při těchto haváriích je třeba umožnit čerpání velkého objemu vod a jeho vypouštění. Zákon vymezením pojmu důlních vod a způsobu nakládání s nimi toto umožňuje. Není přitom dotčena nebo omezena zodpovědnost organizace za případně vzniklé škody na životním prostředí v souvislosti s likvidací takovýchto havárií (Černík et al. 2008).

#### **4.1.1 Zdroje důlních vod a jejich změny**

Důlní vody vznikají v důsledku různých procesů (obr. 1) spojených s přirozenými i lidskými (antropogenními) vlivy. Vody, které pronikají horninovým masivem do dolů (tzv. důlní vody), jsou většinou již vodami smíšenými, což znamená, že jejich chemické složení se mění v důsledku proudění, snížení původního tlaku, odplynění nebo působení prostředí ve starých důlních dílech a podobně (Homola et Klír, 1975). Poměr jednotlivých zdrojů vody v důlních vodách závisí na několika faktorech, mezi

něž patří především intenzita hornických a dalších prací, poloha důlních děl vzhledem k hlavním vodním horizontům v dané oblasti, mocnost pokryvů a úroveň jejich schopnosti zadržovat vodu (Grmela et Rapantová, 1999).



**Obrázek 1:** Schéma interakcí (Grmela et al. 2012).

Důlní vody jsou vody, které se hromadí v dolech po těžbě nerostných surovin, jako jsou uhlí, železná ruda nebo nerosty. Tyto vody mohou obsahovat různé látky a chemikálie, což může představovat potenciální riziko pro životní prostředí a lidské zdraví. Zdroje důlních vod mohou být rozděleny do několika kategorií:

- Infiltrace srážkových vod: srážkové vody pronikají do hornin a půdy, kde mohou přicházet do kontaktu s těženými surovinami, což může způsobit rozpuštění nebo odvalování různých látek.
- Podzemní vody: voda, která je přítomna v podzemí, může být ovlivněna těžebními činnostmi. Při těžbě může dojít k narušení hydrogeologických podmínek a ke změnám průtoků podzemních vod.
- Voda z odkališť: vodní nádrže, které jsou vytvářeny při těžbě surovin, mohou obsahovat důlní vody. Tyto vody mohou být znečištěny různými látkami, včetně těžkých kovů a chemikálií používaných při těžebních procesech (Krásný, 2008).
- Odtoky z opuštěných dolů: opuštěné doly mohou nadále generovat důlní vody, zejména pokud jsou zaplavovány srážkovými nebo povrchovými vodami. Tyto vody mohou obsahovat látky uvolněné z hornin a odvalů.
- Odtoky z odvalů: materiál odvalů může obsahovat látky, které mohou reagovat s vodou a tvořit znečišťující látky.

- Ložiskové vody: jedná se o vody, které jsou přítomny v samotném ložisku nerostné suroviny. Tyto vody mohou být přítomny v pórech, štěrbinách nebo dutinách horniny, která obsahuje ložisko.
- Mimoložiskové vody: jedná se o vody, které nejsou přímo spojeny s ložisky nerostných surovin nebo s těžebními činnostmi. Jedná se o vody, které se vyskytují v okolní krajině mimo oblast přímé těžby. Mimoložiskové vody zahrnují podzemní vody, které nejsou ovlivněny těžbou v dané lokalitě, a také srážkové vody a další vody, které nemají přímý vztah k ložiskům nerostných surovin.
- Provozní vody: obvykle zahrnují všechny vody, které jsou potřebné nebo jsou vytvářeny při provozu průmyslového zařízení. Tyto vody mohou zahrnovat vodu používanou při různých procesech, chlazení zařízení, čištění a dalších operacích. Provozní vody nemusí být nutně spojeny s ložisky nerostných surovin, ale jsou specifické pro provoz daného průmyslového zařízení.
- Technologické vody: obvykle se jedná o vody, které jsou používány nebo vytvářeny v rámci konkrétních technologických procesů. V těžbě může být tento termín používán k označení vod, které jsou používány při separačních procesech, odbourávání hornin nebo při zpracovávání nerostných surovin.
- Stařinové vody: jsou vody, které proudí nebo jsou přítomny v opuštěných dolech nebo těžebních jámách, které byly zatopeny po ukončení těžební činnosti. Tyto vody mohou být označovány také jako staré důlní vody. Stařinové vody mohou být ovlivněny geologickými podmínkami v opuštěných dolech a mohou obsahovat látky uvolněné z hornin.

Řízení a kontrola důlních vod jsou důležité pro minimalizaci environmentálních dopadů těžebních činností. To zahrnuje monitorování kvality vody, návrhy a implementaci vhodných odvodňovacích systémů a správu opuštěných dolů. Regulace a právní předpisy mohou také stanovit povinnosti těžebních společností v oblasti ochrany životního prostředí (Krásný, 2008).

Voda je nejvýznamnějším přírodním zdrojem a je primárním zdrojem pro lidskou spotřebu, například pro zemědělství a průmyslové účely (Krishna Kumar et al. 2014, Rugel et al. 2016). Kvalitu vody v rozvojových zemích během několika posledních desetiletí zhoršovalo přelidnění, rychlá urbanizace a industrializace. Kromě toho kvalita vody závisí na charakteristikách zvodnělé vrstvy, době setrvání vody ve zvodnělé vrstvě, hydrologických podmínkách a přítomnosti rozpuštěných iontů atd. (Jeevanandam et al. 2007, Zhang et al. 2021). Na znečišťujících látkách ve vodních zdrojích se významně podílejí i výluhy ze skládek a skládek odpadů

v těžebních oblastech a jejich okolí. Těžební výluhy a jejich deriváty nepříznivě ovlivňují místní prostředí včetně vegetace, způsobují rozsáhlou erozi půdy, mění mikrobiální společenstva a na mnoha místech způsobují vyčerpání podzemních vod (Jayaprakash et al. 2008).

Obecně pochází důlní voda z podzemních vod, které se běžně používají pro domácí, zemědělské a ekologické nebo rekreační potřeby (Pyankov et al. 2021, Qu et al. 2021). Jej široké použití je však omezeno kvůli přítomnosti kontaminantů, jako jsou těžké kovy, hlavní ionty a vysoká salinita TDS (Fleming et al. 2021). Kromě toho je důlní voda klasifikována na základě svého pH jako kyselá, cirkumneutrální a zásaditá, která je spojena s jinými kontaminanty a degraduje sladkovodní zdroje (Johnston et al. 2008, Nordstrom, 2017). Vzhledem k tomu, že důlní voda ovlivňuje veřejné zdraví a ekosystém, je důležité sledovat kvalitu důlních vod v důlních oblastech a jejich okolí (Drobniewski et Witthaus, 2017).

Je podstatné se zmínit, že kvalitativní a kvantitativní informace o důlních vodách mají omezenou účinnost, která je ovlivněna časovým průběhem a prostorovým rozsahem těžby. Zejména po ukončení těžební činnosti dochází k zásadním změnám v režimu důlních vod. V takových případech přestává hrát významnou roli jeden z hlavních zdrojů, provozní a technologická voda, a důlní vody začínají získávat charakter starých, stařinových vod (Gmela et al. 2012).

#### **4.1.2 Geochemický vývoj důlních vod**

Geochemický vývoj důlních vod se zabývá studiem chemických procesů, které se vyskytují v podzemních vodách v důsledku interakce s geologickými materiály a horninami. Důlní vody jsou vody, které pronikají do důlních prostor pod zemí v důsledku těžby nebo jiných lidských činností. Tyto vody mohou procházet různými chemickými transformacemi a reakcemi během svého pobytu v horninách. Zde jsou některé klíčové aspekty geochemického vývoje důlních vod (Zeman, 1999):

- Rozpuštění minerálů: voda může reagovat s minerály v horninách a rozpouštět je. To vede k uvolňování různých chemických prvků do vody, což může ovlivnit chemické složení důlních vod.
- Oxidace a redukce: v některých případech může docházet k chemickým reakcím, které zahrnují přenos elektronů mezi látkami. Například oxidace železa může vést k vytváření železitých iontů, což může ovlivnit barvu a další vlastnosti důlní vody.

- Interakce s organickými látkami: organické látky, které jsou přítomny v horninách, mohou interagovat s důlními vodami a ovlivňovat jejich chemické vlastnosti.
- Vliv bakterií: v některých případech mohou bakterie přítomné v důlních vodách hrát roli v geochemických procesech, zejména pokud jsou schopny katalyzovat určité chemické reakce.
- Nakládání s kontaminanty: důlní vody mohou obsahovat různé kontaminanty, které mohou být přítomny v horninách nebo které vstupují z povrchu – tyto kontaminanty mohou zahrnovat těžké kovy, soli a další látky, které mohou mít negativní dopad na kvalitu vody.
- Stabilita horninové matrice: může ovlivnit rozpouštění minerálů a uvolňování látek do důlních vod. Procesy, jako je eroze hornin, mohou ovlivnit dlouhodobý geochemický vývoj (Zeman, 1999).

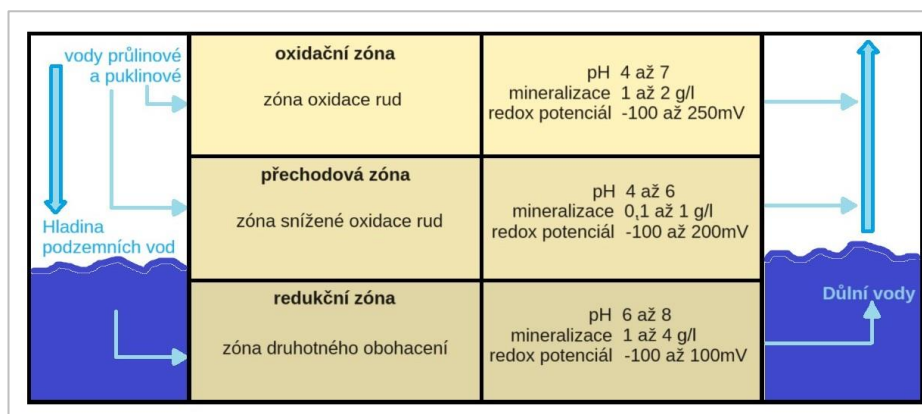
Geochemický vývoj důlních vod je důležitý pro ochranu životního prostředí a lidské zdraví, protože může ovlivňovat jak kvalitu důlních vod samotných, tak i okolních vodních systémů. Monitoring a správa geochemického vývoje jsou klíčové pro minimalizaci negativních dopadů těžby a dalších lidských činností na podzemní vody (Zeman, 1999).

#### **4.1.3 Geochemie důlních vod při aktivní těžbě**

Během interakce podzemní vody s rudnými horninami, tedy vodou na rozhraní minerálních zrn horniny nebo geochemicky alterovaných minerálů v drcených zónách tektonických poruch, dochází k nasycení a kvazi rovnováze jednotlivých složek v systému voda-hornina za daných podmínek. Vzhledem k nedostatku kyslíku v antropogenně nenarušeném redukčním prostředí a neutrálnímu alkalickému pH v rozmezí 8,0 až 8,5 kvůli nasycení karbonáty je mineralizace těchto vod obvykle nízká a nemá výrazný vliv na zhoršení kvality podzemních vod. Intenzivnější procesy zvětrávání, rozpuštění a oxidace se vyskytují pouze v úzkém povrchovém horizontu. V případě, že existuje asociace minerálů sulfidů, zejména pyritu a minerálů radioaktivních prvků, může dojít k lokálnímu ovlivnění kvality povrchových vod. Toto ovlivnění je obvykle silně eliminováno přirozenými atenuačními reakcemi (Zeman et al. 2004).

Během rozfárání ložiska dochází k radikálním změnám, zejména co se týče zlepšeného přístupu kyslíku do hlubších horizontů a změny hydrogeologického režimu. Tyto faktory výrazně urychlují interakce v systému voda-hornina-atmosféra a vedou k markantnímu zvýšení mineralizace smíšených vod. Tato zvýšená mineralizace se následně projevuje na kvalitě důlních vod, které jsou čerpány z dolu,

podléhají čištění a poté jsou vypouštěny do povrchových vod. Standardní podmínky jsou znázorněny v následujícím obrázku (obr. 2). V průběhu těžby vytváří těžené ložisko charakteristický profil zvětrávání. Oxidační zóna tohoto profilu se nachází blízko povrchu, zatímco redukční zóna se rozkládá na úrovni okamžité hladiny podzemních vod a mírně pod ní (Zeman et al. 2004).



**Obrázek 2:** Schéma vývoje, těžené ložisko (Zeman, 1997).

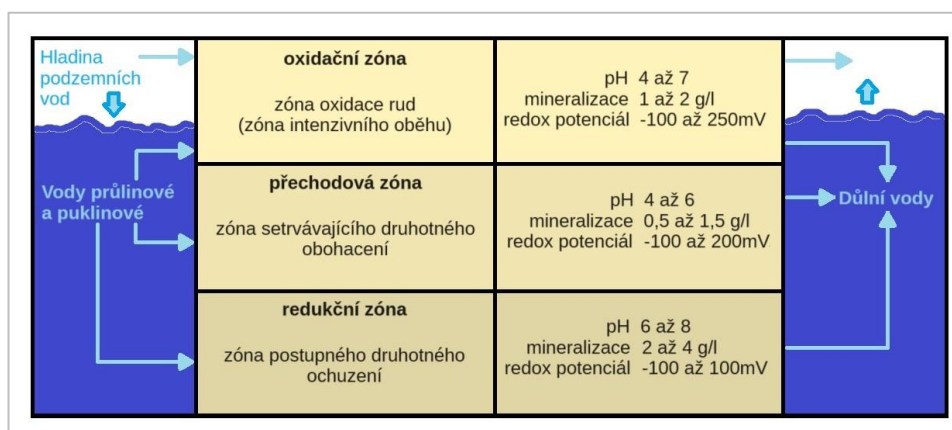
Podzemní vody pomalu prostupují horninami směrem k nejnižšímu patru a často bývají výrazně ředěny takzvanými oplachovými vodami, což jsou vody rychlejšího oběhu proudící po tektonických poruchách a poruchách vytvořených hornickou činností. Tyto oplachové vody jsou následně čerpány jako důlní vody a mohou projít procesem čištění, aby splňovaly požadované parametry, než jsou vypouštěny do vodoteče (Zeman, 1997).

#### 4.1.4 Geochemie důlních vod po uzavření dolu

Po ukončení těžby v dole a po provedení likvidace dolu dochází k významným změnám v kvalitě důlních vod vlivem změny hydrogeologického režimu a podílu jednotlivých zdrojů ve vodní bilanční rovnici dolu. Postupný nástup hladiny v zatápěných důlních dílech má za následek zalití dlouhodobě suchých důlních děl na vyšších patrech, což zahrnuje zoxidované povrchy důlních prostor a rozvolněné partie horninového masivu známé také jako oxidační zóna. Dříve suchá díla se navíc začínají napouštět roztokem naakumulovaných evaporitů a antropogenně dodaných rozpustných látek. Tato pozorovaná dynamika je charakteristická pro téměř všechna ložiska nerostných surovin dobývaná hloubkově a má obecnou platnost. Tyto jevy jsou podrobně zdokumentovány a jsou součástí post těžebního vývoje na mnoha těžebních lokalitách (Grmela et al. 2004).

V krátkodobém horizontu má proces likvidace dolu a jeho zatopení negativní vliv na hydrosféru životního prostředí, zejména bezprostředně po zatopení starých

důlních děl. Tento dopad spočívá v přerušení vzdušné oxidace a postupném doznívání oxidačních procesů ve vodním prostředí. Dále se projevuje v období, kdy dochází k redukčnímu rozpuštění vysrážených oxidů a hydroxidů železa, manganu, uranu a radia v důlních dílech. Tím dochází k významnému zvýšení obsahu těchto prvků v důlních vodách a celkové mineralizaci. Podzemní vody s vysokou mineralizací z oxidační zóny ložiska jsou aktivně vymývány do důlních vod. Tato situace má za následek mnohonásobné zvýšení obsahu rozpustných složek. Následující schéma (obr. 3) ilustruje proces likvidace ložiska po jeho zatopení (Zeman, 1997).



**Obrázek 3:** Schéma vývoje, zatopené ložisko (Zeman, 1997).

V průběhu času dochází k postupné změně charakteru prostředí z oxidačního do redukčního, což vede ke graduální imobilizaci rozpuštěných složek a k návratu ke stavu kvazi přirozeného pozadí. Tato transformace má v zásadě pozitivní dopady. Složení podzemních vod se během desítek let stabilizuje, přičemž v redukčním prostředí dochází k vysrážení části druhotně rozpuštěných minerálů do podoby nerozpustných sloučenin. I přes tuto stabilizaci zůstává směs původních pórových vod a vod zatopených důlních děl geochemicky ovlivněná. Nadále existuje hydraulicky nově vytvořený systém antropogenního pseudokrasu, který vzniká propojením dříve izolovaných zvodní. Tato propojení v důlních dílech vytvářejí prioritní cesty proudění a podobně, což zůstává charakteristickým rysem i po uplynutí času (Grmela et al. 2004).

Vody v zatopených důlních dílech vykazují typicky výraznou hydrogeochemickou zonálnost v důsledku hustotní stratifikace v kvazi stagnujícím hydrodynamickém systému. Vrchní část zvodně o mocnosti několika metrů obvykle projevuje výrazně nižší mineralizaci a představuje srážkové vody s rozpuštěnými látkami z historických důlních prací v části ložiska nad okamžitou hladinou těchto důlních vod. Spodní zóna,

charakterizovaná výrazně mineralizovanými vodami, odpovídá vysoce koncentrovaným pórovým vodám ložiskových hornin. Tyto vody obsahují zpětně rozpuštěné soli u sedimentů v důlních dílech a také antropogenní složky, které do důlních děl pronikly v průběhu dobývání. Tato diferenciací v chemickém složení je výsledkem složité interakce mezi různými faktory v hydrodynamickém systému podzemních vod v důlních prostorách (Grmela et al. 2004).



## 4.2 Dopady důlní činnosti na životní prostředí

Na celém světě bylo provedeno mnoho studií o kvalitě důlních vod a jejich dopadu na životní prostředí. Například koncentrace rozpuštěných kovů a síranů v důlní vodě v uhelném dole Donghae v Koreji závisela na místním klimatu a vykazovala časovou variabilitu (Kim et Kim, 2004). Nordstrom (2007) studoval vliv kyselých drenáží hornin na sezónní proměnlivost kvality vody v západních Spojených státech, kde srážkové události určují koncentraci kontaminantů. V povodí Ankobry v Ghaně byla zkoumána kvalita důlních vod z hlediska jejich sezónních změn a jejího vlivu na prostorovou variabilitu hlavních kontaminantů (Akabzaa et al. 2009).

Těžba má jak krátkodobý, tak trvalejší dopad na životní prostředí, což se odráží v nových tvarech geomorfologické krajiny. Tato lidská činnost představuje vlivný zásah do přírodního prostředí, především v oblasti hydrologických a hydrogeologických podmínek dotčené lokality. Je důležité zdůraznit, že tento zásah nemusí být vždy zcela negativní a často je následně nahrazen pomocí citlivých rekultivačních prací. Některé těžební lokality se naopak stávají pozitivními příklady, kde dochází k obnově a využití původně ovlivněných prostor pro nové účely. Tyto oblasti mohou sloužit jako ukázky přírodní krásy nebo se stát místy s mimořádným ekologickým či kulturním významem. Významným aspektem je tedy správná a citlivá rekonstrukce a revitalizace těžebních lokalit, aby se minimalizovaly dlouhodobé dopady na životní prostředí (Zeman et Kopřiva, 2002).

Důlní a těžební činnost člověka skutečně hraje klíčovou roli v jeho historii a rozvoji. Od pravěku bylo těžení surovin nezbytné pro uspokojení základních potřeb, ať už šlo o potraviny, stavební materiály nebo nástroje. S postupujícím vývojem společnosti se rozšiřovala škála těžených surovin a zvyšovaly se technologické požadavky na důlní a těžební činnost. V průběhu dějin však byly i negativní dopady této činnosti na životní prostředí. Nejintenzivnější změny a zátěž přírodním poměrům nastávají v době aktivní těžby. Těžba může způsobit odlesňování, degradaci půdy, znečišťování vody a vzduchu a mnoho dalších problémů. Rovněž doprovodné důlní provozy, jako jsou úpravny a třídírny, přinášejí další environmentální výzvy. V současné době je však rostoucí důraz na udržitelnost a environmentální odpovědnost. Moderní důlní technologie a postupy se snaží minimalizovat negativní dopady na životní prostředí. Dochází k rozvoji ekologičtějších postupů těžby, recyklace surovin a snižování emisí (Gmela et al. 2012).

Kontaminace životního prostředí kyselou důlní drenáží (AMD) z opuštěných podzemních uhelných dolů zůstává hlavním a přetrvávajícím problémem na celém světě. Po ukončení těžební činnosti a uzavření dolu se vypnou odvodňovací čerpadla

a dojde k odrazu podzemní vody, který postupně zaplavuje otevřená důlní díla (Gandy et Younger, 2007, Álvarez et al. 2018). Stoupající důlní voda a kyslík v prázdném prostoru interagují s exponovanými sulfidy kovů (často pyrit,  $\text{FeS}_2$ ) což způsobuje složitou sekvenci oxidačně-redukčních reakcí, které generují výluh AMD (Johnson et Hallberg, 2005, Nordstrom et al. 2015). AMD, které se vyznačuje nízkým pH a vysokými koncentracemi kyselosti, síranů, těžkých kovů a dalších toxických prvků (International Network for Acid Prevention, INAP, 2014), může mít vážný dopad na receptory v životním prostředí, jako jsou potoky, řeky a vodonosné vrstvy (Luís et al. 2011, Galvan et al. 2021, Ojonimi et al. 2019).

AMD se uvolňuje do životního prostředí, když nadmořská výška důlní vody uvnitř důlních děl stoupne na úroveň možných vypouštěcích bodů (Adams et Younger, 2001). Proto je utěsnění otevřených děl je jedním z nejžádanějších přístupů k prevenci a nebo kontrole uvolňování AMD (Soroko et al. 2020). Je to ale velmi náročné, protože může existovat velké množství přírodních a umělých propojení mezi dobývacími prostory a povrchem, včetně výchozů a vzduchových šachet (MacLeod, 2010, Polak et al. 2019). Alternativním přístupem je udržovat nadmořské výšky důlních vod pod úrovní vypouštěcích míst nepřetržitým čerpáním důlních vod z důlních děl a do čistíren vybudovaných nad důlními díly (Cravotta, 2010, Skousen et al. 2019).

#### **4.2.1 Dopady na krajinu**

Těžební aktivity mohou způsobit výrazné změny v krajině v důsledku odstranění půdy, skalních formací a lesního porostu. Velké díry po těžbě mohou vytvářet nové prvky v krajině, které mohou být trvalejší než doba samotné těžby (obr. 4). Těžební činnost může ovlivnit hydrologický cyklus v regionu. Odstranění vegetace a změny v povrchové topografii mohou způsobit změny v podobě odtoku vody, povodní a ztrátě vody do podzemních vrstev. Odvaly, které vznikají jako odpadní produkt těžby, mohou být rozsáhlé a mohou ovlivňovat vizuální vzhled krajiny, mohou také představovat riziko eroze a ovlivňovat kvalitu půdy. Je důležité zdůraznit, že moderní přístupy k těžbě se snaží minimalizovat tyto dopady a provádět remediaci, aby se obnovila a chránila postižená krajina. V souladu s principy udržitelného rozvoje se klade důraz na odpovědné a šetrné postupy vůči životnímu prostředí (Černík et al. 2008).



**Obrázek 4:** Ukázka následků těžby, Huberův peň (Kurtík, 2023).

Při povrchové těžbě se pro přístup ke zdroji fyzicky odstraňuje půda a horniny, které překrývají nebo hostí mělké ložisko rudy. Povrchová těžba zahrnuje různé postupy – pásovou těžbu, povrchovou těžbu a těžbu z vrcholků hor – a představuje více než 80 % ročně vytěžené rudy (Ramani, 2012). Povrchová těžba narušuje krajinu a ovlivňuje integritu stanovišť, environmentální toky a funkce ekosystémů; vyvolává obavy o vodu (Miller et Zégre, 2014), kvalitu ovzduší a půdy (Mummey et al. 2002) a často také o veřejné zdraví. Dědictví povrchové těžby může zahrnovat ztrátu struktury a úrodnosti půdy, změněnou hydrologii a dlouhodobé vyplavování kontaminantů z hlušiny a koncových jeze (Isosaari et Sillanpää, 2010, Li, 2006, Ramani, 2012). Velmi rozsáhlé aktivity povrchové těžby mohou způsobit fragmentaci ekosystému a ovlivnit regionální biodiverzitu (Rooney et al. 2012a, Rooney et al. 2012b).

#### **4.2.2 Dopady na ovzduší**

Zvýšená prašnost v průběhu těžby má negativní dopad na kvalitu ovzduší. Tento jev je spojen jak s manipulací s rudou na dolech, tak s transportem rudných materiálů a hlušiny. Projevem provozu odkališť je také vznik prašných podmínek. Suché plochy odkališť (obr. 5) patří mezi hlavní zdroje, při kterých vzniká prach a částice, které mohou být unášeny větrem a šířit se do okolí. Tyto částice mohou obsahovat různé látky, včetně kovů a minerálů, což může mít negativní dopad na kvalitu ovzduší. Důlní činnost může mít významný vliv na kvalitu ovzduší, přičemž toto ovlivnění závisí na několika faktorech, včetně typu dolování, používaných technologií a úrovně ochranných opatření. Používaná technologie v dolech, jako jsou těžební stroje a dopravní prostředky, může vyvolávat emise různých plynů, včetně oxidů dusíků, oxidů síry a uhlíkových emisí. Tyto látky mohou přispět k ovzduší škodlivým způsobem (Černík et al. 2008).



**Obrázek 5:** Odkaliště Stannum (Kurtík, 2023).

Zpracování a odstranění hornin a minerálů může způsobit akumulaci odpadních látek, které mohou obsahovat toxické chemikálie nebo těžké kovy. Tyto látky mohou uniknout do půdy a vody, což může ovlivnit kvalitu okolního prostředí. Některé druhy dolování, zejména uhlí, mohou být spojeny s podzemními požáry, které mohou vyvolat emise toxických látek a znečištění ovzduší. Aby se minimalizoval vliv důlní činnosti na ovzduší, jsou důležitá opatření, jako jsou moderní technologie s nízkými emisemi, efektivní systémy odsávání prachu, odpovídající skladování odpadů a přísné environmentální normy a regulace. Celkový vliv prašnosti na kvalitu ovzduší je zejména spojen zejména s obdobím těžby. Po ukončení těchto aktivit a po provedení rekultivace a revitalizace jsou tyto vlivy eliminovány (Černík et al. 2008).

#### **4.2.3 Dopady na faunu, flóru a ekosystémy**

Hornická činnost má negativní dopad na floru a faunu a existující ekosystémy i přes snahu šetrného zacházení k životnímu prostředí. Těžba má za následek likvidaci původních ekosystémů, a to jak přímo prostřednictvím záboru ploch a průmyslového využití, tak i nepřímo kvůli změnám v podzemním vodním režimu, zvýšené prašnosti a celkové aktivitě v daném území, včetně pohybu techniky a lidí. Tyto faktory vedou ke komplexnímu narušení přírodních podmínek dané oblasti. Nové ekosystémy, které vznikají po těžbě, často nahrazují původní a mohou být odlišné nejen v druhovém složení, ale i v ekologických funkcích. Likvidace původních ekosystémů představuje ztrátu biodiverzity a může mít dlouhodobé dopady na ekologickou rovnováhu v daném regionu. Správné plánování rekultivace a péče o obnovu původních ekosystémů je klíčové pro minimalizaci negativních dopadů těžby a obnovení biologické rozmanitosti v post těžebních oblastech. Zároveň je důležité sledovat a vyhodnocovat dlouhodobé účinky lidské činnosti na přírodní prostředí (Černík et al. 2008).



Takovýmto problémem je například stanoviště (obr. 6), které bylo tvořeno zajímavými pískovými útvary s hnízdištěm břehule říční, dnes však najdeme jen opuštěné nory ve svazích oranžového písku. Břehule z oblasti zmizely pravděpodobně po roce 1991, kdy důl Stannum ukončil svou činnost. Ze vzácnějších rostlin zde byly také nalezeny prstnatec májový, hruštička menší a orchidej korálice trojklanná. Dnes je plocha odkaliště tvořena převážně rozvolněnou i zapojenou vegetací náletových dřevin (Beran et al. 2001).



**Obrázek 6:** Odkaliště s hnízdištěm břehulí (Beran, 1997).

#### 4.2.4 Dopady na půdu

Ovlivnění půdy v důsledku hornické činnosti představuje především zábor zemědělské a lesní půdy spojený se zpřístupněním ložiska a následně se zajištěním provozu těžebních areálů. Kromě vlastního záboru, který po ukončení činnosti, po vytěžení ložiska, může být plně odstraněn rekultivací, je důležitým vlivem většinou trvalého charakteru kontaminace půd v důsledku manipulace s rudou, úpravou rudy, a to jak v provozních areálech, tak i mimo ně (Černík et al. 2008).

Půda znečištěná těžkými kovy v důsledku rychlé industrializace a urbanizace se celosvětově stává stále závažnější hrozbou pro veřejné zdraví a životní prostředí (He et al. 2022b, Xiang et al. 2012). Obecně mohou kovy získat přístup do půdy prostřednictvím přírodních procesů, včetně rozkladu hornin, sopečných erupcí a antropogenních činností, jako je těžba rud, aplikace odpadních vod a nadměrné používání pesticidů a hnojiv (Irshad et al. 2022, Ran et al. 2021). Za hlavní zdroj kovy kontaminované půdy v okolí dolů jsou považovány operace těžby rud, včetně zhodnocování rudy a likvidace hlušiny (Ran et al. 2021, Yang et al. 2021). Když se těžké kovy dostanou do půdy, jsou absorbovány rostlinami, což může nakonec

poškodit lidské zdraví prostřednictvím potravního řetězce, pokud jsou kontaminované rostliny konzumovány lidmi. Zejména vysoká hladina mědi (Cu) může poškodit lidský mozek, ledviny a střevní systém (Qin et al. 2021). Nadměrná expozice olova (Pb) způsobuje paralýzu a anémii a poškozuje reprodukční a imunitní systém. Hromadění kadmia (Cd) způsobuje zedmu plic, selhání ledvin v konečném stádiu, osteoporózu a rakovinu (Albert et al. 2021, Qin et al. 2021). Proto je sanace důlních půd kontaminovaných těžkými kovy životně důležitá a naléhavá pro snížení environmentálního rizika spojeného s kontaminací.

Dekontaminací s použitím různých dekontaminačních a degradačních technologií lze obnovit ty oblasti půd, které byly provozní činností nebo v důsledku mimořádných událostí kontaminovány. Navrácení půd na odvaly a odkaliště není ve většině případů možné. Jsou proto hledány jiné možnosti jejich využití nebo jsou použity rekultivační postupy vedoucí k vhodnému začlenění do okolního životního prostředí (Černík et al. 2008).

#### 4.2.5 Dopady na povrchové a podzemní vody

Voda, jako klíčový strategický zdroj pro život, obecně patří mezi nejzranitelnější složky životního prostředí. Tato zranitelnost je zvláště patrná při těžbě nerostných surovin. Vlivem těžebních prací dochází ke kontaminaci vody, která je nedílnou součástí horninového prostředí, a současně se mění hydrogeologický režim podzemních vod. Důlní vody jsou poté čerpány z těchto podzemních oblastí a mohou být podrobeny čištění v čistírnách důlních vod (obr. 7). Tento proces je důležitý zejména z hlediska ochrany vodního prostředí, protože důlní vody mohou obsahovat různé látky, včetně minerálů a chemikálií, které mohou být nežádoucí, nebo dokonce škodlivé pro okolní ekosystémy a lidské zdraví (Zeman, 1997).



**Obrázek 7:** ČDV Horní Slavkov (Kurtík, 2023).

Po dokončení těžby a postupném zalití těžebních prostor vodami z dolů vzniká odlišná situace. V důsledku oxidačních procesů v dole dochází k rozkladu především sulfidických minerálů, což vede k uvolnění obsažených kovů. Tyto kovy jsou následně extrahovány zaplavenou vodou. Důlní vody výrazně modifikují chemické složení prostředí. Převážně se stávají síranovými, kyselými, silně mineralizovanými a obsahují vysoké koncentrace železa a manganu. Nejvýraznější vlivy na kvalitu podzemních a důlních vod se projevují v souvislosti s rozpuštěním užitečných minerálních složek přímo v horninové vrstvě nebo horninovém prostředí. Použití vysoce agresivních loužicích médií jako například kyseliny sírové vede k rozsáhlým kontaminacím podzemních vod. K dalším dopadům důlní činnosti na povrchové a podzemní vody jistě patří kontaminace podzemních a povrchových vod, průsaky z hlušinových a rudných odvalů a z odkališť. Všechny tyto stavby byly v minulosti budovány bez dostatečné izolace od propustného podloží. S těmito dopady se setkáváme na všech větších odvalech a odkalištích v České republice (Černík et al. 2008).

### 4.3 Metody čištění kyselých důlních vod a odkalištních vod

Čištění kyselých důlních vod a odkalištních vod je klíčové pro prevenci negativních dopadů těžební činnosti na životní prostředí. Tyto vody mohou obsahovat vysoké koncentrace těžkých kovů a kyselin, což je způsobeno interakcí s horninami a minerály během těžby (Černík et al. 2008). Níže jsou uvedeny některé metody čištění těchto vod:

- Neutralizace: přidání alkalických látek, přidání látek s vysokým pH, jako jsou vápno (CaO) nebo vápenatá hornina, může neutralizovat kyselost vody a snížit její agresivitu. Tím se zabrání korozím a snižuje se toxicita pro životní prostředí.
- Sedimentace a Filtrace: mechanické odstranění tuhých částic – voda může projít procesem sedimentace, kdy jsou tuhé částice, jako jsou jíly a kovy, odstraněny z vody sedimentací nebo filtrací.
- Fytočištění: použití rostlin – některé rostliny mají schopnost akumulovat těžké kovy. Fytočištění využívá tuto vlastnost k odstranění kovů z půdy. Tyto rostliny se pak mohou sklízet a odstraňovat spolu s kovy.
- Biologická Čištění: aktivní čištění pomocí mikroorganismů – bakterie nebo jiné mikroorganismy mohou být využity k přeměně kyselých a kontaminovaných látek na méně toxické formy.
- Adsorpce a Sorpce: použití adsorpčních materiálů – materiály s vysokou schopností adsorpce, jako jsou různé typy jílu nebo aktivovaného uhlí, mohou být použity k odstranění těžkých kovů z vody.
- Chemická Precipitace: přidání chemikálií – chemické látky mohou být přidány k vodě k vytvoření nerozpustných sloučenin, což vede k tvorbě sraženin, které lze odstranit mechanickým způsobem.

Většinou je účinnější kombinovat několik metod čištění, aby bylo dosaženo optimálního výsledku. Výběr metody závisí na konkrétních charakteristikách kontaminované vody a místních podmínkách. Je také důležité, aby tyto procesy byly prováděny s ohledem na udržitelnost a minimalizaci vedlejších environmentálních dopadů (Černík et al. 2008).



### 4.3.1 Charakteristika kalů z důlních vod

Kal vzniká během procesu čištění důlních vod (obr. 8), představuje často problém z hlediska jeho chemického složení. Může být výrazně variabilní a závisí na mnoha faktorech. Klíčovým faktorem ovlivňujícím složení kalu je povaha znečištění důlní vody a také technologie, která se využívá k čištění těchto vod. Množství vzniklého kalu při čištění závisí na objemu vody, která je podrobena čištění, na stupni znečištění a na použité technologii. Kal z důlních vod, často označovaný jako důlní kal nebo důlní odpad, je odpadní materiál vytvořený jako důsledek těžby a úpravy hornin. Charakteristika tohoto kalu závisí na mnoha faktorech, včetně typu hornin těžených v dané oblasti, používaných chemikáliích během těžby a úpravy a procesech, kterými voda prochází během své interakce s horninami. Kal z důlních vod vyžaduje odpovídající zpracování a nakládání, aby byly minimalizovány jeho potenciální negativní dopady. Moderní technologie a postupy se snaží zpracovávat tyto kaly tak, aby bylo dosaženo co nejlepší účinnosti a zároveň aby byla minimalizována environmentální rizika (Píša, 1987).



**Obrázek 8:** Kal z vyčištěných důlních vod (Kurtík, 2023).

Kyselý důlní odvodňování je jednou z hlavních znečišťujících látek v těžebním průmyslu. Tato generace kyselosti může být nepřetržitá, i když je důl opuštěný stovky let. Neutralizace vápnem a jeho zdokonalené procesy jsou nejrozšířenějšími metodami pro úpravu kyselého odvodňování dolů (Zinck et Griffith, 2013). Výsledkem je, že během procesu úpravy vzniká velké množství hydroxidového kalu bohatého na kovy (Macías et al. 2017). Vysoké náklady na likvidaci a riziko migrace toxických kovů z kalu vyžadují nové techniky pro recyklaci kalu (Rakotonimaro et al. 2017).

### 4.3.2 Nakládání s kyselým důlním odvodňovacím kalem

Výběr nejvhodnějšího přístupu ke správě kalů z úpravy AMD pocházejících buď z pasivních, nebo aktivních systémů závisí na několika klíčových faktorech, jako je množství, hustota, odvodňovací kapacita, minerální složení, chemická stabilita a náklady (Benzaazoua et al. 2004a, Rakotonimaro et al. 2017, Zinck, 2005, Zinck et Griffith, 2013). Hlavní způsoby nakládání s kaly AMD, se kterými se setkáváme v literatuře, lze rozdělit do tří kategorií:

- Likvidace
- Přepřacování
- Opětovné použití

Hospodaření s kalem je eskalující problém, protože zásoby kalu (obr. 9) se neustále zvyšují a stabilita kalu za různých podmínek zneškodňování není dobře pochopena. Řízení a likvidace těchto těžebních odpadů jako takové vyžaduje zvážení a plánování. Pro navržení nejvhodnější strategie nakládání z kaly pro dané místo je třeba vzít v úvahu několik faktorů. Základními hledisky jsou hmotnost produkovaného kalu, zda je důl v provozu, nebo je uzavřen, odvodňovací schopnost kalu, hustota kalu, (zvláště obsah vlhkosti), objem kalu, chemická a fyzikální stabilita, složení kalu, dostupnost uložení a ekonomika (Zinck, 2005).



**Obrázek 9:** Směs kalu ve štolce Barbora (Kurtík, 2023).

Nakládání s kyselým důlním odvodňovacím kalem, který obsahuje vysoké koncentrace kyselin, těžkých kovů a dalších potenciálně nebezpečných látek, vyžaduje pečlivé plánování, monitorování a přijetí opatření k minimalizaci vlivu na životní prostředí a lidské zdraví (Černík et al. 2008).

### 4.3.3 Likvidace a společná likvidace kyselých důlních kalů

Kal předaný k likvidaci často vyžaduje úpravu, včetně odvodnění, předúpravy anebo úpravy pomocí stabilizace a solidifikace. Proces odvodnění má za cíl snížit objem kalu, aby se minimalizovaly náklady na řízení, například přeprava a likvidace. Pro lepší správu oblasti ukládání lze zvážit techniky S/S pro stabilizaci nebo chemickou fixaci kontaminantů a pro zpevnění nebo pro fyzické zapouzdření kalu, aby se omezilo uvolňování kontaminantů do životního prostředí rozpouštěním a transportem. Kal AMD lze eliminovat nebo skladovat v rybnících, těžebních jámách (obr. 10), podzemních dolech, podvodních krytech, na skládkách nebo ho lze smísit či společně likvidovat s důlním odpadem (Rakotonimaro et al. 2017, Zinck et al. 1997, Zinck, 2005, Zinck et Griffith, 2013).

Schopnost kalu odvodňovat může omezit dostupné možnosti. Kal, který se dokáže odvodnit bez mechanické pomoci nejen zmenší plochu potřebnou k likvidaci, ale také jej ztraktivní pro možnosti opětovného použití. Schopnost kalu odvodnit se závisí na velikosti jeho částic, morfologii a povrchovém náboji. Jak se částice odchyluje od kulovitého tvaru, zvětšuje se povrch na jednotku objemu, což má za následek sníženou usazovatelnost a sníženou rychlost odvodňování (Vachon et al. 1987). Tyto vlastnosti jsou přímo spojeny s procesem úpravy vody, který upravuje kal, a s chemií surové vody (Zinck, 2005).

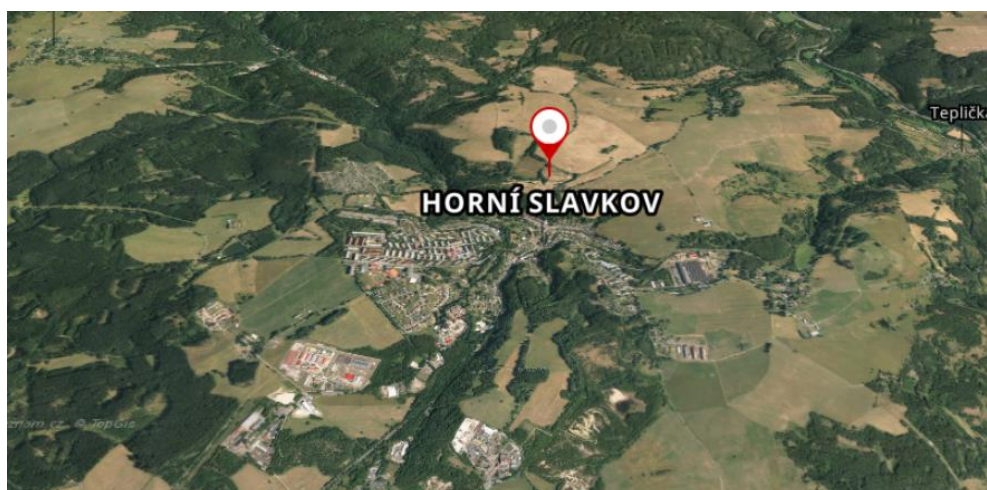


**Obrázek 10:** Ukládání kalu, Schnödův peň (Kurtík, 2023).



## 5 Charakteristika zájmového území

Město Horní Slavkov (obr. 11) se nachází v Karlovarském kraji v okrese Sokolov a je součástí ORP Sokolov. V současné době zde žije přibližně 5400 obyvatel. Správní území města tvoří katastrální území: Bošřany, Horní Slavkov, Kfely u Horního Slavkov, Ležnice, Ležnička a Třidomí. Na severu sousedí s městem Loket nad Ohří, na jihu s městem Krásno. Horní Slavkov je významným horním královským městem ležícím v malebném pohoří Slavkovský les, dříve Císařský les, prakticky uprostřed takzvaného lázeňského trojúhelníku, mezi lázeňskými městy Karlovy Vary, Mariánské Lázně a Františkovy Lázně. Město Horní Slavkov dalo pravděpodobně jako jedno z prvních lidských sídlišť ve střední Evropě lidstvu bronz, a to díky svým bohatým ložiskům cínu s významným obsahem mědi (Beran et al. 2001, Kurtík, 2021).



**Obrázek 11:** Zájmové území Horní Slavkov (Kurtík, 2023).

Správní území města leží v CHKO Slavkovský les ve IV. zóně ochrany a v CHOPAV Chebská pánev, Slavkovský les. Část správního území města je součástí NATURA 2000 EVL – Nadlesí a II. pásma ochrany přírodních léčivých zdrojů Karlovy Vary. Ve správním území města Horní Slavkov nalezneme 2. a 3. stupeň radonového indexu geologického podloží. Nejvyšší, 3. stupeň souvisí s výskytem intruzivních metamorfovaných hornin, jako jsou granit a greisen. Ve správním území města se nachází značné množství pamětihodností, například odvodňovací dědičná štola Kašpara Pluha, městské popraviště, kostel sv. Anny a kostel sv. Jiří. Oba kostely jsou od roku 1958 chráněny jako kulturní památka ČR (Wiesser et Wieserová, 2006, Kurtík, 2021).

## 5.1 Počátky historie města Horní Slavkov

Slavkovský les je místem výskytu ložisek řady kovů a užitkových nerostů, jako jsou cín, stříbro, měď, zinek, olovo, uran, živec, wolfram, stavební kámen či drahokamy – například jaspis, ametyst a hadec. Toto nerostné bohatství lákalo k využití nepochybně již v době bronzové a později i v dobách keltského osídlení našeho území, tedy v posledních staletích před Kristem. Město Horní Slavkov vzniklo na místě hornické osady, která byla osazena saskými horníky na počátku 14. století. V září roku 1547 Horní Slavkov povýšil na královské horní město. Byla mu potvrzena stará práva a svobody, zlepšilo se jeho postavení mezi ostatními městy a zdokonalen byl také znak města (obr. 12), v období 15. a 16. století se město stalo největším světovým producentem cínu a svým významem a velikostí patřilo k největším městům Českého království (Prokop et Smola, 2014).



**Obrázek 12:** Znak města Horní Slavkov (Prokop et Smola, 2014).

Předpokladem pro výrobu bronzu v Horním Slavkově byla existence obou základních kovů, mědi a cínu, nezbytných pro jeho produkci, které se nacházely v jednom ložisku a v jedné dobývané rudnině. Právě přípovrchové části cínových ložisek v naší oblasti jsou na obsahy mědi velmi bohaté. Nejdůležitějšími a pro osud Horního Slavkova určujícími kovy byly stříbro, cín a uran. Od roku 1946 do roku 1962 byl život Horního Slavkova určován strategickým významem těžby uranu, jehož ložiska zde byla objevena cíleným geologickým průzkumem. Zatímco první dva jmenované kovy přispěly k rozvoji města, uran mu přinesl spíše jen zkázu. Ostatní výše uváděné těžené nerostné suroviny se obvykle získávaly jako vedlejší produkt těžby některého ze tří kovů, jež byly v historii těžby na Hornoslavkovsku dominantní (Beran et al. 2001).

### 5.1.1 Uran v Horním Slavkově

Uranové hornictví je z historického hlediska v Horním Slavkově nejmladším oborem těžby surovin v okolí města, těžba stříbra založila slávu hornictví v hornoslavkovsko-krásenském revíru. Po něm pak zcela dominantně ve světovém měřítku zaujal jeho místo cín a později spolu s ním i wolfram. Těžba uranu však byla nejmohutnější, co se týká intenzity, rozsahu rozfárání, strategického významu a nasazení lidských sil. Paradoxně však také byla nejkratší. Množstvím vytěženého kovu se stal Horní Slavkov nejmenším uranovým revírem Českého masivu, jehož exploatace však poznamenala obyvatele a zanechala ve městě a jeho okolí nesmazatelné, bohužel častokrát negativní stopy (Beran, 1999).

O přítomnosti uranové rudy v oblasti Slavkovského lesa se vědělo již v minulosti v souvislosti s těžbou stříbra na žilách pětiprvkové formace, tehdy se jí využívalo k výrobě barev. Možnost využití uranu pro vojenské účely zcela změnila přístup k této surovině. Bezprostředně po ukončení 2. světové války byl v roce 1946 zahájen v oblasti Horního Slavkova a Krásna geologický průzkum a již v roce 1948 za pomoci sovětských poradců, aby byl zajištěn dostatek pracovních sil pro budované uranové doly, byly zřízeny čtyři pracovní tábory (tab. 1). Nasazení pracovních sil, intenzita prací a velikost investic však absolutně neodpovídaly velikosti ložiska a stavu jeho zásob (Tomíček, 2000).

MÍSTO	TÁBOR	OZNAČENÍ	ZŘÍZEN	ZRUŠEN
Horní Slavkov	<b>Prokop</b>	T	2.7.1949	14.5.1955
	<b>Ležnice</b>	O	26.1.1950	22.8.1955
	<b>Svatopluk</b>	V	2.4.1951	9.8.1954
	<b>XII</b>	X	8.9.1951	14.5.1955

**Tabulka 1:** Vězeňské tábory v Horním Slavkově (Kurtík, 2023).

Uranová těžba a průzkum neprobíhal pouze v samotném Horním Slavkově a jeho nejbližším okolí, ale prakticky v celém Slavkovském lese, okolí bývalého Smrkovce, Milířů, Třidomí, Hruškové, Lazů, Krásné Lípy, Bystřiny, Pramenů, bývalého hornického města Čistá. Zájmy uranového průmyslu se zde přitom střetávaly se zájmem armády, neboť většina Slavkovského lesa sloužila od roku 1946 jako vojenský prostor. Kvůli probíhajícímu průzkumu musela být přerušována a omezována vojenská cvičení, a proto bylo počátkem roku 1953 rozhodnuto o zřízení nového výcvikového prostoru v okolí Doupova. Vojáci opustili Slavkovský

les v létě 1954. Brzy poté se ukázalo, že další uranový průzkum již nemá smysl a Slavkovský les opustili i zaměstnanci Jáchymovských dolů (Majer, 1970).

V padesátých letech sehrál uranový průmysl v oblasti Horního Slavkova a Krásna výraznou roli díky svým politickým výhodám. Těžba uranových rud postupně končila v letech 1961 až 1963 a poté byla zcela ukončena. Během tohoto období bylo z této oblasti vytěženo pouhých 2 668 tun uranu. Opatření k minimalizaci vlivu na životní prostředí a lidské zdraví byla významnou součástí opatření a regulací, které byly přijaty v reakci na tento průmysl. Celková roční produkce československého uranu byla největší v 60. letech 20. století, kdy na počátku dosahovala až 3000 tun (Velfl et Cílek, 2022). Vyrubaná hornina musela být roztříděna na jalovinu a uranovou rudu. Dělo se tak ručním výběrem (větší kusy rudy) nebo využitím fyzikálních vlastností rudy. Při gravitačním třídění se využívalo větší hmotnosti rudy oproti hlušině. Hornina byla rozdrčena a poté proplachována, ruda usedla na dno nádoby a hlušinu odplavila voda, při radiometrickém třídění se využívalo radioaktivity rudy. Další možností bylo získání rudy pomocí chemikálií. Na principu získávání uranu prostřednictvím loužení v kyselině sírové pracovala od srpna 1952 úpravna Vlčí. Důsledky této činnosti přetrvávají doposud, došlo k poměrně značným změnám reliéfu původního povrchu, došlo ke vzniku četných hald a propadlin. Současně zanikly historické báňské rybníky a podstatně se změnila hladina spodních vod v oblasti. Značné škody, i když nepřímo, způsobil uranový průmysl devastací unikátních historických památek a děl v historickém jádru města (například štola Kašpara Pluha). Hornictví cínu tak přineslo městu rozkvět a slávu. Těžba uranu pak kvůli politické situaci v 50. letech 20. století znamenala pro staré město úpadek a zkázu (Veselý, 1988).

O nahlížení starých horníků na uranovou rudu svědčí jejich původní pojmenování na smolinec. Tento název odrážel letitou zkušenost, že pokud se při těžbě stříbrné rudy narazí na tento nerost, znamená to, že stříbrná žíla skončila a těžba musí začít jinde. Až do 20. století byla uranová ruda surovinou celkem nezajímavou, která se používala k barvení skla či k výrobě oranžové barvy k malování porcelánu a keramiky. Přelom přinesl objev Marie Curie-Sklodovské, která v roce 1902 ve zbytcích jáchymovského smolince objevila nový prvek, a sice radium. Ten byl nejdříve využíván pro lázeňské potřeby, brzy se ale vyskytly nové oblasti využití uranové rudy zbrojní průmysl (jaderná bomba) a energetika. Boom těžby nastal v ČSR po skončení 2. světové války, v červnu 1945 byla obnovena těžba na dolech Rovnost a Bratrství v Jáchymově a již v listopadu téhož roku byla uzavřena dohoda se SSSR o těžbě a dodávkách uranové rudy výhradně pro SSSR. Sovětský svaz se na těžbě také podílel nejen finančně, ale i organizačně a odborně (Zeman, 1998).

### 5.1.2 Schnödův peň

Na začátku druhé světové války se opakovala podobná situace té z první světové války. Německo bylo opět v pozici, kdy potřebovalo suroviny pro průběh války. Protože však nemohlo získat dostatek surovin jiným způsobem, znovu obnovilo těžbu na několika dosud uzavřených lokalitách. Práce byly zahájeny i ve slavkovsko-krásenském revíru, tentokrát v oblasti Schnödova pně (obr. 13), který představuje menší z obou hlavních elevací ložiska Krásno, která nevycházela na povrch, ale byla přikryta cca 70 m mocným pláštěm tvořeným rulami a migmatity slavkovské rulové kry, kde byly průzkumem zjištěny požadované zásoby rudy. V roce 1938 byla vymáhána stará jáma Vilém, po 2. světové válce přejmenována na šachtu Krásno, později Ďuriš, dnes opět Vilém. Uvolnil se tak částečně přístup do důlních partií na žilném systému Gellnauer-Schnödova pně (Tvrdý et Beran, 2008).



**Obrázek 13:** Pinka Schnödova pně (Tauchmanová, 1988).

Po zpřístupnění Schnödova pně severním překopem po 6. patře jámy Vilém byla poměrně rychle zahájena těžba a během války bylo ze pně vytěženo cca 65 000 tun cíno-wolframové rudniny. Celkové zásoby na ložisku Schnödův peň byly odhadnuty na 2,4 milionu tun. Báňské práce probíhaly na Schnödově pni velmi systematicky a během války byla vybudována na svou dobu vysoce moderní úpravna cíno-wolframových rud, která zahájila provoz v roce 1944. Vzhledem k postupnému snižování zásob jediného těženého cíno-wolframového ložiska ve Slavkovském lese bylo po důkladném studiu archivních materiálů v roce 1955 rozhodnuto o otevření Huberova pně. Cílem průzkumných prací bylo ověřit rozsah a kvalitu zrudnění ve vrchní části ložiska, tj. nad úrovní dědičné štoly Kašpara Pluha. Práce pod tímto horizontem by však představovaly riziko průvalu důlních vod ze zatopených historických důlních štol (Tomíček, 2018).



### 5.1.3 Huberův peň

Vzhledem k postupnému úbytku zásob jediného těženého ložiska cínu a wolframu ve Slavkovském lese, konkrétně v Schnödově pni, bylo po pečlivém studiu archivních materiálů v roce 1955 rozhodnuto o otevření Huberova pně (obr. 14). Cílem průzkumných prací bylo ověření rozsahu a kvality zrudnění cínu a wolframu ve vrchní části ložiska, tedy nad úrovní dědičné štoly Kašpara Pluha. Práce v této hloubce by však byly ohroženy konkrétním nebezpečím průvalu důlních vod ze zatopených historických důlních štol. Z těchto důvodů byl v letech 1955 až 1956 vyražen na úrovni 552 m n. m. překop P-16 ze Schnödova do Huberova pně (Sejkora et Beran, 2009).

Překop procházel prakticky celým závalovým územím a menší greizenové úseky byly objeveny pouze v okolí historické šachty Kaiser. Toto opatření mělo zabránit přelivu vody z průtočné dědičné štoly odbočkami do Huberova pně a současně mělo umožnit čerpání a snížení statické hladiny v historických důlních dílech Huberova pně (Sejkora et Beran, 2009).



**Obrázek 14:** Huberův peň (Kurtík, 2023).

Ložisko Krásno je tvořeno několika dílčími elevacemi rozsáhlého tělesa krušnohorské autometamorfované žuly ležící v podloží slavkovské rulové kry a jejich žilným doprovodem. Prostorově největší z těchto dílčích elevací je Huberův peň, jehož apikální část vycházela na povrch. Během dobývání v minulosti došlo k zaboření svrchní části elevace, ke vzniku pinky a později k částečnému překrytí výchozu rozsáhlými odvaly a haldami. Tato dílčí elevace je pravděpodobně největší a také nejintenzivnější těženou akumulací cínu v oblasti Slavkovského lesa. Realizovaným průzkumem se tak podařilo najít plnohodnotnou náhradu za těžbou ubývajících zásoby Schnödova pně a byla nalezena nová důležitá surovina báze cínových a wolframových rud ve Slavkovském lese (Rojík, 2015).

### 5.1.4 Rozvoj moderní těžby v Horním Slavkově

Na konci šedesátých let byl schválen investiční projekt s názvem Otvírka Huberova pně. Usnesením vlády Československé republiky a na základě pozitivního stanoviska generálního ředitelství rudných dolů a magnezitových závodů v Bratislavě byla tato výstavba v roce 1970 schválena. Již v roce 1971 začala první fáze výstavby, během které byla hloubena hlavní jáma revíru, tj. jáma Huber. Tato fáze byla dokončena v roce 1973. Následovaly druhá a třetí fáze, které zahrnovaly výstavbu nové úpravní s kapacitou dvou set tun a rekonstrukci původní úpravní s kapacitou sto tun. Třetí fáze prací byla dokončena koncem roku 1982. Díky provedení této investiční akce, otevření potřebné otvírky a přípravě vybraných bloků v Huberově pni, byla dosažena teoretická konečná kapacita nového závodu, tj. těžba a zpracování 300 kilotun cíno-wolframové rudniny za rok. Po dokončení této investiční akce byl závod přejmenován z Krásna na závod Stannum, viz obr. 15 (Beran, 1992).



**Obrázek 15:** Výstavba nového závodu Stannum (Petřík, 1975).

Proklamovaná roční těžba 300 kilotun rudniny nebyla však v průběhu dalších let nikdy dosažena, ani v době, kdy se těžilo z nejmocnějších a neproduktivnějších částí

ložiska. Maximální těžba z dolu byla dosažena pouze v období let 1988 až 1989, a to pouze 200 kilotun. Jedním z důvodů, proč nebyl splněn plánovaný objem těžby, byla nedostatečná ocenění a relativně složitá geologická stavba ložiska a také určité podcenění přípravných prací v dole ještě před plným spuštěním těžby. Bloky zásob pod čtvrtým patrem ložiska Krásno byly především v endokontaktu pně, měly nepříznivý úklon a – s několika výjimkami – menší mocnost. Z těchto důvodů se zdálo nerealistické dosáhnout vyšších těžebních výkonů a naplnit plánovanou těžbu, navzdory významnému množství zásob v ložisku (Jiskra, 2010).

Huberův peň představoval spolu s jeho periferními částmi dominantní ložisko cíno-wolframových rud v oblasti Slavkovského lesa, a to jak z hlediska kvantity, tak kvality zásob. Investiční záměr směřoval výhradně k využití zásob z ložiska Huberův peň. Proto jakékoliv problémy při zajišťování těžby na tomto ložisku se okamžitě a zcela zásadním způsobem promítly do ekonomiky závodu Stannum. Základní podmínky investičního záměru, otvírka Huberova pně nebyly nikdy splněny. Objevilo se mnoho příčin, proč se vůbec nespĺnila plánovaná těžba. Vyvíjené úsilí o řešení se prolínalo těžebním obdobím, tj. od zahájení investiční akce až po ukončení těžby v lednu 1991 (Tomíček, 2018).

Za objektivní příčiny problémů ve vztahu k využití ložiska Huberův peň a následně ložiska Krásno jako celku lze považovat existenci zatopeného revíru bývalých Jáchymovských dolů, n. p., v sousedství dobývaného prostoru Rudných dolů Příbram, značný rozsah historických báňských prací, existující závalové zásoby a jejich řešení a rovněž složitá geologicko-ložisková stavba Huberova pně. Ostatní vzniklé komplikace v souvislosti s využitím ložiska měly z podstatné části subjektivní charakter a pramenily většinou z neuvážených politických rozhodnutí a z nesprávných technických řešení. V důsledku potíží se zajištěním potřebného množství těžby z Huberova pně se Rudné doly Příbram operativně orientovaly na jiná ložiska, která existovala v dobývacím prostoru Krásno (Mach et Korbel, 1990).

Z oblasti severozápadního předpolí Huberova a Schnödova pně bylo v letech 1979 až 1990 vydolováno více než 256 kilotun rudniny s významnými obsahy cínu a wolframu. Za období let 1969 až 1991 muselo být pro naplnění kapacity úpravny nadále využíváno Schnödova pně a vyrubalo se zde celkem 625 kilotun rudniny. Starosti se zajištěním rudniny z Huberova pně nadále přetrvávaly, a proto Rudné doly Příbram začaly zpracovávat staré rudné odvaly z ložiska Přebuz a snažily se o úpravárenské znovuzpracování odkalištních písků. Slavkovská ložiska poskytovala ještě další, donedávna bezcenný kov, a to wolfram, který se od počátku 20. století používal na legování kvalitních ocelí a záhy se stal například pro výrobu tanků úplně

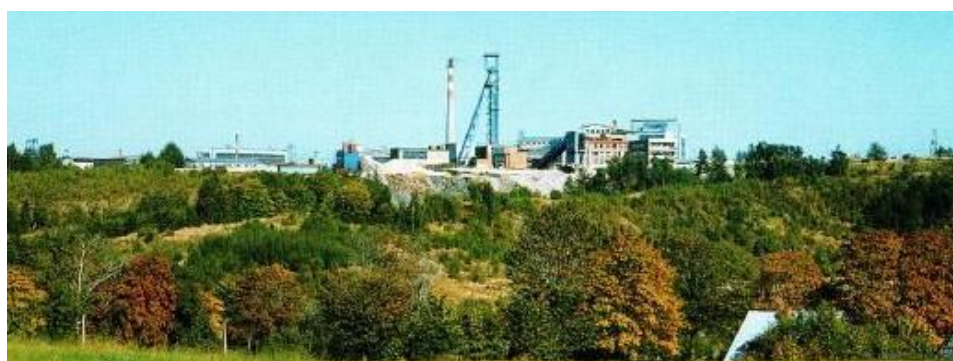
nezbytný. Wolfram se spékal s cínem, doslova jej požíral a vytvářel při tom nepoužitelnou slitinu, tzv. vlčí pěnu neboli wolfram. Staří horníci jej proto nazývali Zinnvernichter neboli cínokaz. Hlavní ruda wolframu – wolframit – doprovázela ložiska cínu ve Slavkově a na Cínovci. Wolframit byl na Cínovci těžen již za první světové války, a to dokonce povrchově na výchozech plochých žil (Tvrdý, 2009).

Zejména na Cínovci bylo relativně nedávno, v roce 1982, zjištěno cíno-wolframové zrudnění, které mělo být otevřeno 6,5 km dlouhou štolou. Doly na Cínovci byly zavřeny v roce 1990 a na Slavkově o rok později, protože cena získané rudy byla několika násobně vyšší než světové ceny. Cínovec nicméně zůstává jednou z lokalit, kam se těžba cínu, wolframu, lithia, rubidia a možná i dalších prvků nejspíš vrátí, a to v první fázi na odvaly starých dolů a ve druhé pod zem. Většina obchodu s cínem je dnes v čínských rukách, ale klasická ložiska budou v dalším desetiletí značně vyčerpána. Očekává se proto další růst cen cínu, a tím nové těžby. Ložisek cínu bylo na rozdíl od zlata či stříbra celou historií lidstva mnohonásobně méně a bez výjimky byla vždy spjata s dálkovým transportem (Rojík, 2015).

Závod Stannum v Horním Slavkově provozoval hlubinnou těžbu cíno-wolframových rud a následně je zpracovával v gravitační úpravně na koncentráty. Hlavním výrobkem byl koncentrát cínu, přičemž dalším výrobkem byl wolframový koncentrát. Wolframový koncentrát obsahoval užitkovou složku ve formě wolframitu a na rozdíl od cínového koncentrátu se vyznačoval nižším obsahem hlušinových minerálů a prvků přítomných ve formě sirníku. Závod Stannum se také zabýval těžbou živců, a to povrchovým dobýváním s roční produkcí asi 20 000 tun. Intenzivní geologický průzkum svědčil o zájmu o surovinové bohatství a jeho využití. Perspektiva těžby byla podporována dalšími cíno-wolframovými lokalitami, přičemž největším zájmem bylo ložisko Čistá s třemi a půl miliony tun zásob. Předpokládalo se, že těžba by mohla pokračovat minimálně třicet let, nicméně hlavní báňská činnost závodu Stannum, orientovaná na hlubinnou těžbu cíno-wolframových rud, byla ukončena již v roce 1991 (Beran, 1999).

### 5.1.5 Konec těžby cínových rud v revíru Horní Slavkov

Důlní i úpravárenské náklady se nedaly snížit vzhledem ke zhoršujícím se báňským podmínkám. Ceny energií a materiálu naopak měly stoupající trend. V roce 1991 byla výroba jedné tuny cínu vysoce ztrátová a bylo logické, že po ukončení státní dotace nebylo možné dále provozovat těžbu na závodu Stannum. Dolování cínu v revíru tudíž definitivně skončilo v lednu 1991. Ke zrušení těžby cíno-wolframových rud na závodu Stannum (obr. 16), Rudných dolů Příbram, s. p., došlo v podstatě na základě postupné ztráty státní subvence, nízké světové ceny cínu a wolframu a také z toho důvodu, že ani ložiskové parametry nejbohatšího ložiska oblasti Slavkovského lesa, ložiska Krásno, nedosahovaly dostatečně vysokých obsahů cínu a wolframu v požadované tonáži (Beran et al. 2001).



**Obrázek 16:** Areál dolu Stannum (Petřík, 1993).

Přesto všechno je význam slavkovských ložisek cínu nepopíratelný, neboť v průběhu období od 10. do 20. století se tu vytěžilo celkem asi 75 000 až 80 000 tun cínu. Nesporná výjimečnost ložiska Krásno v historii a nutnost komplexního řešení nedávné báňsko-ložiskové problematiky vedly zákonitě k tomu, že mu byla věnována mimořádná pozornost. O této skutečnosti svědčí značný počet vědeckých a odborných publikací zpracovaných v letech 1945 až 1991. V tomto období zažilo ložisko i geologický průzkum nebývalého rozsahu a mimořádný nárůst těžby. V roce 1945 měla oblast Slavkovského lesa k dispozici jen několik set kilotun zásob rudy, a to pouze na jediném otevřeném ložisku, tj. na Schnödově pni (Souček, 1994).

Po těžbě více než 4 milionů tun od roku 1945 do roku 1991 zanechala stávající generace na ložisku krásno a v jeho bezprostředním okolí ještě více než 25 milionů tun zásob cíno-wolframové rudy. Provedeným výzkumem a průzkumem byly v poválečném období získány mimo zásoby rud také podrobné poznatky o geologicko-ložiskové stavbě ložiska, o hydrogeologických poměrech a také byly nabyty zkušenosti technicko-provozního charakteru. Za období 1945 až 1991 byla oblast cínových ložisek Slavkovského lesa dostatečně prozkoumána a detailně je



známa geologická stavba centra Slavkovského lesa, včetně ložiska Krásno a jeho periférií. Oblast má dostatek bilancovaných zásob rud. Přestože hornická činnost byla dosti intenzivní, tvoří region Slavkovského lesa nadále historické zázemí pro celoevropsky významná lázeňská města Karlova Vary, Mariánské lázně, Františkovy Lázně – a přitom nedošlo ve velké míře k nežádoucímu narušení okolní přírody (Souček, 1994).

Na začátku roku 1991 byla těžba na ložisku skončena a následně byl společností Rudné doly Příbram, s. p. vypracován plán na likvidaci dolu závodu Stannum. Kromě likvidace budov a zařízení některých báňských objektů z investiční výstavby akce Otvírka Huberova pně z období 1971 až 1983 vznikly dodatečně další objekty, které byly také zahrnuty do likvidačních prací. Například v důsledku některých nově vzniklých technických problémů, jako byl nedostatek vzduchu v dole, potřeba ohřevu větrů, nasazení bezkolejových mechanismů a dalších, byla postupně potřeba nových otvirkových děl na ložisku, včetně stavby s nimi souvisejících objektů. Pro plánované zajištění těžby 300 kilotun cíno-wolframové rudniny za rok a respektování podmínek státní báňské správy bylo dodatečně vybudováno základkové hospodářství pro deponii materiálu a jeho dopravu pomocí vrtu do podzemí, spolu s řadou dalších objektů. Likvidační práce byly tedy rozsáhlé a zahrnovaly otvirková děla, areál závodu, odkaliště (obr. 17), základkové hospodářství, následky lomové těžby na Vysokém kameni a v Huberově pni včetně povrchové těžby cíno-wolframových náplavů, odvalové hospodářství závodu, propadliny, poklesové kotliny, vodní cesty a mnoho dalších aspektů spojených s důlní činností (Beran et al. 2001).



**Obrázek 17:** Odkaliště Horní Slavkov (Kurtík, 2023).

### 5.1.6 Způsoby likvidace hlavních otvirkových vertikálních děl

Při rozhodování o postupu zabezpečení vertikálních děl bylo cílem snížit negativní důsledky důlní činnosti na povrchu, zabránit neoprávněnému vstupu a zároveň zajistit sledování pohybu důlních vod v opuštěném revíru. Jáma Huber (obr. 18) byla uzavřena železobetonovou deskou, v níž je umístěna pažnice o průměru 300 mm pro monitorování výšky hladiny důlních vod. Tato opatření zároveň umožňují průchodné větrání odvodňovací štoly. Jáma Huber: profil vrtu v průměru – 4 m, hloubka – 274,07 m, rok zahájení hloubení – 1968, rok ukončení likvidace – 1996, způsob likvidace – částečný zásyp, ohlubeň zakryta železobetonovou deskou na povrchu (Beran et al. 1996).



**Obrázek 18:** Jáma Huber, uzavřena železobetonovou deskou (Kurtík, 2023).

Důlní dílo Jáma č. 2 (obr. 19): profil jámy – průměr 3 m, hloubka – 202,96 m, rok zahájení hloubení – 1950, rok ukončení likvidace – 1995, způsob likvidace – ohlubeň zakryta železobetonovou deskou na povrchu (Tomíček, 2000).



**Obrázek 19:** Důl Krásno (Kurtík, 2023).



Důlní dílo Nová větrací jáma (obr. 20): profil jámy – průměr 5 m, hloubka – 222,88 m, rok zahájení hloubení – 1989, rok ukončení likvidace – 1995, způsob likvidace – zásyp, ohlubeň zakryta železobetonovou deskou na povrchu (Tomíček, 2000).



**Obrázek 20:** Nová větrací jáma, důl Krásno (Kurtík, 2023).

Jáma č. 3 Barbora (obr. 21): profil jámy – 6 × 2,8 m, hloubka jámy – 439,50 m, rok zahájení hloubení – 1948, rok ukončení činnosti – 1995, likvidována v roce 2005, zásyp, haldovina. Byla provedena rekonstrukce jámového stvolu pro možnost kontroly důlních vod a odvodňovacích štol (Beran et al. 1996).



**Obrázek 21:** Nová větrací jáma, důl Krásno (Kurtík, 2023).

### 5.1.7 Hodnocení dopadu důlní činnosti na životní prostředí

Hodnocení dopadu důlní činnosti na životní prostředí za období let 1945 až 1991 nelze vytrhnout z celkové historie báňské činnosti v oblasti Slavkovského lesa. Životní prostředí se v důsledku báňské činnosti vytvářelo a měnilo v průběhu několika staletí. První morfologické změny krajiny v podobě rozsáhlých rýžovnických prací jsou



staré cca 1000 let. K zásadnímu odlesnění krajiny a ke změnám původní vodní sítě došlo zhruba před pěti stoletími. Při těžbě uranové rudy v období let 1948 až 1961 vzniklo množství novotvarů v podobě četných odvalů, hald a propadlin. V oblasti dobývání cínových a wolframových rud ve Slavkovském lese v období 1945 až 1991 vznikla hluboká propadlina na Schnödově pni a vnikl nový jámový lom na Huberově pni ( Beran et al. 2001).

V důsledku důlní činnosti lze v oblasti Huberova a Schnödova pně a oblasti Gellnauer očekávat dlouhodobě pohyby skalního masívu. Negativní dopad jak na krajinu, tak i na životní prostředí má vznik odkališť a přerušení původního koryta Slavkovského potoka, včetně potoka Stoka. V oblasti atmosféry, biosféry, litosféry a hydrosféry lze v principu hodnotit dopad hornické činnosti následovně (Beran et al. 1996):

- **Atmosféra.** Byla při těžebních pracích ovlivněna výdušnými větry a prašností z haldového hospodářství. Prašnost výdušných větrů byla vzhledem k protisilikózním opatřením velmi nízká. Změny mikroklimatu měly pouze lokální význam. Po ukončení báňské činnosti došlo záhy k obnovení původního stavu.
- **Biosféra.** Při kvantifikaci dopadu těžby na biosféru byla použita technická varianta indexové metody (Geografický ústav ČSAV Brno). Při využití indexové metody dostávají úseky území, které se nejvíce blíží nepoškozeným biocenózám, index 1. Lomy, odkaliště, čerstvé nekultivované haldy, betonové či asfaltové plochy pak hodnotu 0,1. Ostatní biocenózy pak hodnoty mezi těmito extrémy. Výsledný index (0,54) ukázal výrazný vliv antropogenního využívání krajiny na porušení původních biocenóz. Nové biocenózy se postupně přizpůsobovaly změněné geologické situaci a nový rovnovážný stav může být dosažen během cca 100 let.
- **Litosféra.** Nové důlní práce po 2. světové válce byly rozsáhlé a zanechaly po sobě v případě těžby uranu v sousedství dobývacího prostoru Krásno četné nenaplánované haldy, často s obsahem rud těžkých kovů. Výrazné projevy poddolování, mimo oblasti již zmíněných pňů, v případě dobývání cínové rudy nejsou závažné. Propadliny v okolí pňů a jámový lom na Huberově pni však budou morfologii krajiny ovlivňovat dlouhodobě.
- **Hydrosféra.** Důlní vody byly vypouštěny do veřejných vodotečí a odtékaly potokem Stoka k Lokti do Ohře. Po zatopení uranových dobovek se depresivní kužel hladiny spodní vody vyrovnal na úroveň udržovanou Rudnými doly Příbram, s. p. pro bezpečnou těžbu Huberova pně. Po zatopení prostoru dolu

Huber se hladiny spodních vod vyrovnaly a vybudovaná odvodňovací štola (obr. 22) podchytila většinu důlních vod v dostatečné úrovni pod obytnou zástavbou, odvedla je pod Horní Slavkov a snížila riziko výskytu radonu v oblasti této zástavby. Voda je před vypouštěním do veřejné vodoteče chemicky čištěna. Rozsáhlá a několik století trvající hornická činnost však zásadním způsobem změnila původní režim povrchových a podzemních vod. Lze jen doufat, že péstební zásahy v lesích a kulturní využívání krajiny budou respektovat změněnou hydrogeologickou situaci, neboť vodní režim v daném případě nelze navrátit do původního stavu (Beran et al. 1996).



**Obrázek 22:** Odvodňovací štola Barbora (Kurtík, 2023).

## 5.2 Odvádění důlních vod z revíru Horní Slavkov

Dokud nebyla ukončena činnost Rudných dolů Příbram závod Stannum, povinnost zajistit výši hladiny byla na nich, neboť od spuštění nové úpravny na 200 kilotun v roce 1986 potřeboval provoz stále více provozní vody. Tato voda byla právě čerpána z jámy Barbora potrubím o světlosti 300 mm přímo do tzv. sdružené čerpací stanice. V nádržích této stanice došlo k čeření a odvětrání radonu. Při ukončení činnosti rudných dolů však i ony musely řešit tento problém. Dle nařízení OBÚ musely zajistit odvedení důlní vody z celého svého revíru (Tomíček, 2000).

Po zatopení báňských prostor dolu Huber byly vzduté důlní vody odvedeny odvodňovacím překopem P-2000000 z jámy Huber do jámy č. 3 Barbora bývalých Jáchymovských dolů. Zaústění odvodňovacího překopu do jámy Barbora je v úrovni cca 545 m n. m. Z této jámy byly vody spolu s přitékajícími vodami z revíru bývalých Jáchymovských dolů odvedeny nově vyraženou odvodňovací štolou. Ústí štoly je několik set metrů pod Horním Slavkovem směrem k městu Loket. Takto provedeným způsobem odvodnění dolu Huber bylo zajištěno že:

- Výše hladiny důlních vod v revíru bývalých Jáchymovských dolů, stanovená OBÚ Sokolov na maximální kótu 545 m n. m., zůstala zachována.
- Vzduté hladiny zatopených prostor bývalých Jáchymovských dolů a Rudných dolů Příbram s. p., důl Huber, jsou ve stejné úrovni, nevznikl rozdíl hladin, a tedy ani potřeba řešit tento problém.
- Napojením odtékajících vod z obou revírů na společnou odvodňovací štolu (obr. 23) nedošlo k nekontrolovatelným výronům vod na povrch (Beran et al. 1996).



**Obrázek 23:** Společná odvodňovací štola Barbora (Kurtík, 2023).

## 5.2.1 Dědičná štola Kašpara Pluha

V polovině 16. století doly v okolí Slavkova dosáhly hloubek skoro dvou set metrů, což kladlo velké nároky na čerpání vody a větrání velkých cínových dobývek. Centrum dolování leželo nedaleko Krásna, kde se nacházejí dva cínonosné pně – Huberova a Schnödova. Pod pojmem peň v tomto případě rozumíme zhruba oválné žulové těleso o průměru kolem 200 metrů, které je celé impregnováno rudami, ale navíc jej proráží křemenné žíly s cínem a wolframem (Podracký, 2010).

Pracovalo zde několik těžařů, kteří společně koordinovali těžbu, větrání a dopravu rudy. Pokračovaly práce i na stříbrném zrudnění menšího rozsahu. Protože dosavadní štoly nestačily odvodnit revír, bylo rozhodnuto vyrazit novou, šestikilometrovou dědičnou štolu (obr. 24), nazvanou podle těžaře Kašpara Pluha. Štoly měly dopravní, odvodňovací i prospekční význam. Odkryly bohaté partie ložiska. Štola se dále dobývala pomocí rozlehlých komor, u kterých neustále hrozilo zavalení, a tím ohrožení okolních dolů a štol (Zelenka et Živor, 2019).



**Obrázek 24:** Ústí dědičné štoly Kašpara Pluha (Kurtík, 2023).

V místech, kde to dovozoval reliéf terénu, byla rudní ložiska ve Slavkovském lese otevírána a dobývána štolami. V počátcích sloužily štoly ke geologickému průzkumu ložiska. Zvláštní význam měly dědičné štoly, které odvodňovaly hlavní doly. O jejich významu svědčí výnosy všech slavkovských báňských úřadů vydávaných do roku 1507. Písemné doklady o starých štolách chybí a objevují se teprve na počátku 16. století. Vzhledem k postupnému vyčerpání povrchových partií ložisek bylo nutné těžit ze stále větších hloubek. Na cínových ložiskách v oblasti Horního Slavkova a Krásna probíhala od 13. století stále intenzivnější hlubinná těžba rud. V těžbě se v té době objevovalo několik problémů, z nichž jedním z nejvýznamnějších bylo odvodňování dolů. V třicátých letech 16. století se ukázalo, že stávající štoly nestačí efektivně odvodnit zejména nejdůležitější ložiska v oblasti Huberova pně do větší

hloubky. Na většině štol byla nutná instalace čerpadel na vodní pohon k odvodnění dolů pod jejich úrovní. Norimberské těžařstvo se proto rozhodlo, s finančním příspěvkem od Hanse Schnöda, Kašpara Pluha a dalších investorů, vyrazit dědičnou štolu v údolí pod Horním Slavkovem. Cílem štoly bylo odvodnit doly v oblasti stříbrných žil, zejména hlavní cínová ložiska Huberův a Schnödův peň, v hloubce kolem 110 metrů. Práce na této štole byly zahájeny v roce 1539 (Beran et al. 2001).

Zprvu byla štola ražena v rule k pásmu stříbrných žil Barbora a Jiří. Odtud byla ražena směrem na Tříkrálovou žílu a později na Josefskou, jejíž jámu Dreikönig podsedla v hloubce 62 metrů. V tomto úseku došlo k jejímu propojení s povrchem starou jámou Slazacker. Odtud již byla hlavní větev nasměrována přímo k Hubskému pni. Po 48 letech nepřetržitých prací dosáhla čelba štoly dne 22. srpna 1587 Hubského pně a štola měla délku 3393 metrů. V ražbě se pokračovalo a na konci osmdesátých let 16. století byla délka štoly již 5800 metrů, čímž se zařadila mezi nejdelší česká i evropská důlní díla. Následovala ražba směrem k Schnödovu pni, kterého dosáhla roku 1591, a roku 1592 byla propojena se starší Schnödovou štolou. Práce na štole probíhaly dále a v polovině 17. století se ještě prodloužila o 700 metrů dlouhou odbočku, takže v roce 1655 byla celková délka štoly 5920 metrů, včetně odboček, prorážek a sledných chodeb. Její hlavní čelba se nacházela v hloubce 117 metrů pod povrchem. Stará díla podsedla v hloubce 50 metrů (Beran et al. 1996).

Odvodňovací štola sloužila ještě ve 20. století pro potřeby odvodnění části dobývaného uranového revíru. Ještě v roce 1954 z ní vytékalo 3000 l/min a v roce 1964 však již jen 5 až 6 l/min, což bylo způsobeno nepropustnými závaly na její trase. V šedesátých letech 20. století byla zcela opuštěna a prakticky ponechána osudu. Bez pravidelné údržby se štola postupně samovolně zavalovala. Ústí štoly je zpevněno kamenným portálem, který pochází z 19. století. Dědičná štola Kašpara Pluha je historická odvodňovací štola v bývalém důlním revíru v Horním Slavkově a Krásně. Štola odvodňovala především krásenské cínové doly ve Slavkovském lese. Pluhova štola sloužila několik století jako hlavní odvodňovací dílo slavkovského a krásenského revíru a jako hlavní revírní dílo byla udržována v provozuschopném stavu. Zejména byla stále kontrolována a měněna výdřeva. Od roku 1990 je štola chráněna jako technická kulturní památka České republiky (Majer, 1970).



## 5.2.2 Odkaliště důlního závodu Stannum – Horní Slavkov

Novodobá těžba ovlivnila hydrologické poměry území přeložkou Stoky a zejména vybudováním těžkých vodních děl odkališť v údolí Slavkovského potoka. Závod Stannum je situován na morfologicky výrazném hřbetu mezi údolím Stoky a údolím Slavkovského potoka. Slavkovský potok je pravostranným přítokem Stoky. Pramení východně od Lánského dvora, protéká podél závodu Stannum, podtéká haldu bývalého uranového dolu č. 6. Svatopluk a ve staré části města Horní Slavkov se vlévá do potoka Stoka, náleží k dílčímu povodí Stoky. Zatím co údolí Stoky bylo již od počátku exploatace cínových ložisek přetvářeno intenzivním dobýváním a budováním vodních staveb nezbytných pro hornické činnosti, zůstalo údolí Slavkovského potoka poměrně nedotčeno (Beran et Beranová, 1995).

Ve 40. letech, během 2. světové války, bylo vybudováno první odkaliště pro úpravu cínových rud dobývaných Němci ve Schnödově pni. Tato část dnešního komplexu je označována jako odkaliště I. (obr. 25) a je významná zajímavými písčovitými útvary s hnízdištěm břehule říční.



**Obrázek 25:** Odkaliště Horní Slavkov (Kurtík, 2023).

Žlutý písek, který zde zůstal po úpravě cínových rud, vytváří zajímavé morfologické útvary. Po naplavení odkaliště bylo postaveno odkaliště II. V souvislosti s rozšiřováním závodu a se zvýšením kapacity úpravny bylo přijato rozhodnutí o vybudování odkaliště III. Nejnižší situované odkaliště III. bylo v provozu jako poslední. Projektovalo se na kótu 647 m n. m. s výhledem na možné zvýšení na 680 m n. m. Podle knihy R. Tomíčka (2018) v jeho knize o historii dolu Vilém v Krásnu v letech 1920 až 1945 byly po zahuštění v zahušťovači Dorr úpravenské kaly vynášeny pomocí pásového dopravníku mimo budovu odpadového hospodářství na volnou plochu. Zde byly dočasně skladovány a následně v pravidelných cyklech

převáženy vozy na odkaliště. Část těchto uložených úpravenských kalů byla částečně využívána při stavbách a pro výsypky cest. Kaly deponie odkališť I. a II. měly být postupem času přeplaveny a zahrnuty jako součást odkaliště III. Odstavením odkaliště v roce 1991 se zrušil přítok technologických vod do odkaliště. Tělesa deponií jsou infiltrována pouze srážkami, které vyvěrají na patě svahu deponie III. z původního drenážního systému. V devadesátých letech 20. století proběhla rekultivace celého odkaliště. Pod odkalištěm III. se nachází dočišťovací nádrž (obr. 26) a pod ní se nachází kanálový vstup (obr. 27), kterým jsou odvedeny odkalištní vody za pomoci nově vyražené odvodňovací štoly Barbora, které dále pokračují až do ČDV Horní Slavkov (Novák, 1992).



**Obrázek 26:** Dočišťovací nádrž (Kurtík, 2023).

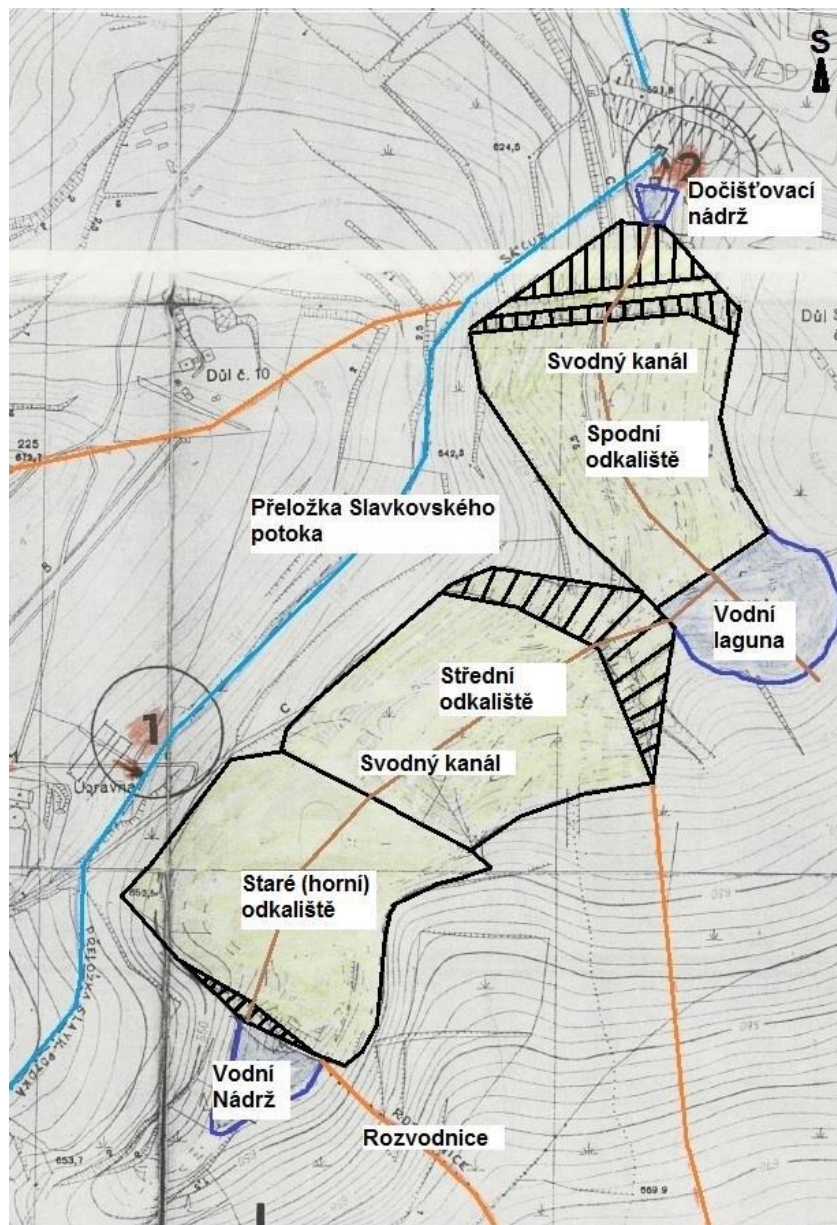


**Obrázek 27:** Odkalištní vody z dočišťovací nádrže (Kurtík, 2023).



### 5.2.3 Odkaliště Horní Slavkov a jeho soustava

Každé z odkališť (obr. 28) je tvarově dáno svojí genesí – plavením kalů s odběrným kolektorem v nejnižší části mísovité vytvarované pláně (Novák, 1992, Štefka, 2020).



**Obrázek 28:** Odkaliště Horní Slavkov a jeho soustava (Novák, 1992).

### 5.2.4 Odvodňovací štola Barbora – Horní Slavkov

Po ukončení tisícileté těžby cínu v krásensko-hornoslavkovském revíru v roce 1991 se rozhodlo, že bude zajištěno odvodnění celé oblasti postižené těžbou rud řady barevných kovů a uranu. Odvodnění důlního pole se řešilo vyražením odvodňovacího překopu, který propojuje jámu Barbora uranových dolů (obr. 29) a jámu Huber rudných dolů v úrovni 538 m n. m. tak, aby se zajistilo spolehlivé odvodnění celé



oblasti, které by zamezilo nekontrolovatelným výtokům a nevyžadovalo by stálé čerpání důlních vod (Beran et al. 2001).



**Obrázek 29:** Jáma Barbora (Pavelka, 2019).

Ražba překopu mezi jámou Huber a jámou Barbora byla zahájena v roce 1992. Pro odvádění vod z jámy Barbora v plánované úrovni zátopy důlních prostor, tj. v 535 m n. m., byla vyražena odvodňovací štola, která ústí pod městem Horní Slavkov. V roce 1994 byla dokončena štola pod městem Horní Slavkov, kde narazila na jámu č. 3 Barbora v úrovni 535 m n. m. Profil štoly má rozměry 12 m<sup>2</sup> a délka první části od ústí k jámě Barbora dosahuje 1050 m. Délka spojovacího překopu mezi jámou Barbora a jámou Huber činí dalších cca 1200 m. Odvodňovací štola byla uvedena do provozu v roce 1997 (Beran et al. 2001).

Ražba této štoly probíhala ze dvou stran současně. Rudné doly razily a upravily pro provoz štolu vedoucí z jámy Huber na 3. patro jámy Barbora, a to překopem v délce 1056 m. Byl ražen v profilu 12 m<sup>2</sup> ve zpevněné ocelové výztuži vykládané betonovými deskami a stříknuté betonem. Diamo SUL pak financovalo vyražení štoly prakticky paralelně s dědičnou štolou Kašpara Pluha z jámy Barbora do údolí Slavkovského potoka. Razila ji firma Průzkum Příbram, která začala ražbu před Vánoci 1993. Štola má délku 1198 m. Její profil se zmenšuje ze 12 m<sup>2</sup> na 8 m<sup>2</sup> a blíže k jámě Barbora až na 5,6 m<sup>2</sup>. V pevné části je štola ponechána bez výztuže. Tímto způsobem jsou oba revíry odvodňovány. Nově vybudovaná štola Barbora zajistila bezpečný odtok důlních vod jáchymovského uranového i slavkovsko-krásenského

cíno-wolframového ložiska. Potrubím vedená voda je dále odkalována a čištěna v ČDV Horní Slavkov pod osadou Údolí. Tím bylo definitivně ukončeno zajištění těchto následků poddolování (Tomíček, 2000).

ČDV Horní Slavkov zpracovává důlní vody z jámy Barbora, Stannum, Kašpara Pluha a štoly č. 13 Nadlesí (obr. 30). Těžba uranové rudy na lokalitě Nadlesí probíhala od roku 1951 až do roku 1955. Hlavní důlní díla, štoly č. 8, 11 a 15, se nacházely asi 500 m jihovýchodně od Nadlesí ve svahu Kozího vrchu 620 m. Starý důlní revír odvodňuje štola č. 13 Nadlesí, odkud je do čistírny důlních vod v Horním Slavkově přiváděno přibližně 13 litrů důlní vody za sekundu (Beran et al. 2001).



**Obrázek 30:** Štola č. 13, Nadlesí (Kurtík, 2023).

### 5.3 ČDV – Horní Slavkov

Čištění důlních vod na ČDV Horní Slavkov zahrnuje vody, které zpracovává z důlních děl štola Barbora, Stannum, štola Kašpara Pluha a štola č. 13 Nadlesí. Důlní voda je kontaminována především obsahem  $^{226}\text{Ra}$ , Fe, Mn a dalších těžkých kovů. Obsah uranu je zanedbatelný a pohybuje se na velmi nízké úrovni. Důlní voda je na ČDV Horní Slavkov (obr. 31) přiváděna gravitačně a pro její čištění se využívá vápenné mléko a přídavek chloridu barnatého. Pro zvýšení účinnosti sedimentace vytvořeného kalu se používá flokulant typu Sokoflok. Průměrné množství čištěných důlních vod činilo  $101 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ , během ročního období se toto množství pohybuje od  $64 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$  do  $159 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$  (Soukup, 2012).

Kal, který vzniká při čištění důlních vod, je zahušťován v lamelových usazovacích a je pravidelně odčerpáván do dvou zahušťovacích nádrží. Následně je kal čerpán do homogenizační nádrže a odtud putuje na kalolis. Odfiltrovaný kal je umisťován do kontejneru a pravidelně se odváží do propadlin Schnödova pně v Krásně jako sanační materiál. Vyčištěné vody, včetně vod z odkaliště Stannum, jsou vypouštěny. V roce 2022 bylo přes hydrovrt do důlních vod bývalého revíru uranových dolů odvedeno  $64\,964 \text{ m}^3$  vod (Soukup, 2021).



**Obrázek 31:** ČDV Horní Slavkov (Kurtík, 2023).

ČDV v Horním Slavkově je vybudována dle schválené projektové dokumentace stavby „Odvedení a čištění důlních vod Horní Slavkov“ za účelem čištění důlních vod od Fe, Mn,  $^{226}\text{Ra}$  a nerozpuštěných látek vytékajících z bývalých Jáchymovských dolů a rudných dolů Stannum na hodnoty stanovené vodohospodářským rozhodnutím a rozhodnutím SÚJB (Soukup, 2021).



### 5.3.1 Nátok důlních vod na ČDV – Horní Slavkov

Nátok vody z odkaliště Stannum do důlních vod je dle provozně-manipulačního řádu pro vypouštění vod z odkaliště provozu Stannum v Horním Slavkově do důlních vod DIAMO, s. p., o. z. SUL Příbram z června 1998. Zapouštěcí vrt do podzemí je proveden jako kolmý vrt. Celková hloubka vrtu je 55 metrů. Zapouštěcí vrt je ukončen na 2. patře bývalého uranového revíru v chodbě Br – 15–21. Systém navazujících důlních chodeb přivádí zapouštěnou odpadní vodu k jámě č. 3, Barbora, kde se spojuje s důlními vodami revíru Rudných dolů Příbram bývalého uranového revíru. Odtud důlní vody odtékají odvodňovací štolou (obr. 32) k ČDV Horní Slavkov (Soukup, 2021).



**Obrázek 32:** Odvodňovací štola Barbora (Kurtík, 2023).

Důlní vody z dolu Barbora odtékají odvodňovací štolou a potrubím JS 600 do betonové jímky umístěné před štolou. Ta je rozdělena na dvě části, z první části je voda odváděna samospádem potrubím JS 350 a délka na ČDV je 4,2 km, druhá část jímky slouží jako bezpečnostní přeliv potrubím JS 500. Obě potrubí jsou osazena šoupaty, která slouží ke směrování toku vody. V polovině délky potrubního řádu je další betonová šachtice, která slouží k napojení potrubí JS 150 odvádějícího důlní vody z jámy Kašpara Pluha. Těsně před objektem ČDV je třetí betonová šachtice, která rovněž umožňuje regulaci toku vody na ČDV nebo přímo do potoka Dlouhá Stoka. Konec přívodního potrubí je zaústěn do přítokové jímky. Do této jímky je rovněž zaústěna důlní voda z jámy č. 13, která je přiváděna potrubím JS 150 z jímacího objektu. Potrubí je těsně před vstupem do jímky opatřeno uzavíracím šoupětem. Na potrubí JS 350 z dolu Barbora jsou zhotoveny tři odvzdušňovací šachtice (Soukup, 2021).

### 5.3.2 Technologie čištění důlních vod

Technologie čistící stanice slouží k odstranění radia, železa, NL a manganu z důlních vod. Kontaminanty, které se odstraňují z důlních vod jsou zadrženy v kalu, který je po jeho separaci a následném zahuštění umísťován do kontejneru a pravidelně odvážen k uložení do propadlin Schnödova pně. Důlní voda z důlních prostor bývalé těžby uranu a dolu Stannum je přiváděna na ČDV. Zde pokračuje do přítokové jímky, kde je k důlní vodě přidávána suspenze  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , která je připravena ve vápenném hospodářství. Důlní voda nadávkovaná s  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  dále pokračuje do dvou aeračních nádrží AN 1 a AN 2, viz obr. 33 (Soukup, 2021).



**Obrázek 33:** Aerační nádrže (Kurtík, 2023).

V aeračních nádržích dochází působením vzdušného kyslíku a vyššího pH k:

- Oxidaci zbytkového  $\text{Fe}^{2+}$  na  $\text{Fe}^{3+}$  a vysrážení zůstatkového železa jako  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ,
- Oxidaci  $\text{Mn}^{2+}$  na  $\text{Mn}^{4+}$  a vysrážení zůstatkového manganu v podobě hydratovaného kysličníku manganičitého.

Tento proces využívá schopnosti hydroxidů Fe a Mn vázat a zachytit některé radionuklidy, což přispívá k účinnějšímu odstraňování těchto kontaminantů z důlních vod. Pohonem vzduchu jsou tři rotační dmychadla osazená ve dmychárně v suterénu provozní budovy. Dmychadla jsou ve dvouotáčkovém provedení, které umožňuje skokovou regulaci. Se dvěma provozními dmychadly lze činnost regulovat v rozsahu od 25% do 100% výkonu (od  $396 \text{ m}^3/\text{hod}$  do  $1800 \text{ m}^3/\text{hod}$ ). Z aeračních nádrží AN 1 a AN 2 postupuje důlní voda se suspenzí vysrážených hydroxidů do nádrže rychlého míchání. Nádrž je rozdělena na tři sekce, v každé sekci je umístěno vrtulové rychloběžné míchadlo. Do první sekce nádrže jsou zaústěna potrubí pro dávkování roztoku chloridu barnatého a flokulačního činidla (POE – Sokoflok).

Nadávkováná voda přitéká do nádrží pomalého míchání. Nádrže jsou konstrukčně i technologicky spojeny s usazovacími nádržemi do sedimentačních jednotek. Jsou vybudovány čtyři paralelní sedimentační jednotky. Voda z nádrží pomalého míchání odtéká přes nornou stěnu do usazovacích nádrží. Mimo hlavního nátoky z rychlého míchání je do nádrže pomalého míchání, která je spojena s usazovací nádrží, přiváděna kalová voda ze zahušťovacích nádrží. Voda z přepadu nádrží pomalého míchání je v usazovacích nádržích (UN 1 – UN 4) vedena přes nornou stěnu směrem ke dnu usazovací nádrže.

Zde dochází k usazování vloček kalu. Voda postupuje vzhůru přes lamelové vestavby, na kterých dochází k sedimentaci jemnějších vloček. Při vytvoření dostatečné vrstvy kalu na lamelách dochází k uvolnění a sklouznutí kalu a kal se shromažďuje v kalovém prostoru usazovacích nádrží. Voda bez kalu přepadá do žlábků jednotlivých usazovacích nádrží a sběrným odtokovým žlabem odtéká vyčištěná voda potrubím DN 600 z ČDV přes měrný Parshallův žlab do vodoteče Stoka. Na Parshallově žlabu (obr. 34) je osazena ultrazvuková sonda pro měření průtoku (Soukup, 2021).



**Obrázek 34:** Parshallův žlab (Kurtík, 2023).

Odčerpávání kalů z usazovacích nádrží do zahušťovacích nádrží je prováděno ponorným čerpadlem. Zahušťovací nádrže (ZN 1 – ZN 2) slouží ke zvýšení koncentrace kalu. Jsou to kruhové betonové nádrže osazené čtyřramenným shrabovacím zařízením kalu (obr. 35), čtyřramenné shrabovací zařízení při otáčení posunuje zahuštěný kal po kuželovém dnu nádrže do nejnižší části kuželu, odkud je kal odčerpáván čerpadly do homogenizačních nádrží. Odsazená kalová voda je bezpečnostním přepadem umístěným na obvodě ZN odváděna zpět potrubím DN 150 do nádrže pomalého míchání UN 1 – UN 2 (Soukup, 2021).





**Obrázek 35:** Zahušťovací nádrže (Kurtík, 2023).

Kal, který je usazen v zahušťovací nádrži, je čerpán do dvou homogenizačních nádrží, které slouží k homogenizaci kalu a jako předloha pro plnicí čerpadlo kalolisu. Kal je v homogenizačních nádržích pomalu promícháván. Přepady z homogenizačních nádrží jsou přiváděny do jímky kalového hospodářství. K odvodnění kalu se používá komorový filtrační kalolis KK 800/80, viz obr. 36 (Soukup, 2021).



**Obrázek 36:** Komorový filtrační kalolis KK 800/80 (Kurtík, 2023).

Komorový filtrační kalolis je usazen na speciální nosné a obslužné plošině. Odvodněný kal po otevření kalolisu k vyprázdnění propadává přímo z kalolisu do speciálního kontejneru, který je umístěn pod plošinou a kalolisé. Filtrát z kalolisu odtéká do jímky kalového hospodářství. Před transportem musí být provedeno radiometrické proměření kontejneru (povrchová kontaminace) s četností 1 za 14 dní. Úkapy a oplachy z pracoviště kalového hospodářství (kalolis) jsou svedeny do bezodtokové jímky v prostoru suterénu, odkud jsou přečerpávány do jímky kalového hospodářství (Soukup, 2021).

## 6 Výsledky práce

Cílem diplomové práce je prokázat nebo vyvrátit možnosti využití produktů čistírny důlních vod v Horním Slavkově. První část výsledků práce je zaměřena na důlní vodu a na její hodnoty, které důlní voda musí splňovat před jejím vypuštěním do recipientu potoka Stoka, a její další využití. Druhá část výsledků práce se také zabývá možnostmi využití odpadních kalů, které mohou být a jsou zatím využívány jako sanační materiál a může se na ně nahlížet i jako na potenciální zdroj kritických surovin. Všechna informační data, která byla využita k posouzení vývoje emisí a čištění důlních vod a data pro úpravu důlních kalů, byla získána z ČDV Horní Slavkov a jsou použita výhradně v rámci diplomové práce.

Způsob vypouštění důlních vod do vod povrchových z čistírny důlních vod Horní Slavkov (dále jen „ČDV“) do vodního toku Stoka byl stanoven na základě rozhodnutím Krajského úřadu Karlovarského kraje (tab. 2), odboru životního prostředí a zemědělství, číslo jednací KK/6496/ZZ/22–5, jako věcně příslušného vodoprávního úřadu (dále jen „vodoprávní úřad“). Jde o rozhodnutí SÚJB, čj. SÚJB/RCKA/18575/2010, ze dne 29. září. 2010, s neomezenou platností, které stanovuje nerovnost a referenční úrovně pro výpust. Toto rozhodnutí stanovuje vypouštění následně:

### V místě

Název kraje	Karlovarský kraj
Okres	Sokolov
Název obce	Loket
Katastrální území místa vypouštění	Nadlesí
Místo vypouštění, pozemek p. č.:	466/4
Souřadnice místa vypouštění v S JTSK:	$x = 1017657, y = 857892$
Druh vypouštěných vod:	důlní vody
Druh recipientu:	vodní tok
Název recipientu:	Stoka
Číselný identifikátor vodního toku:	10100695
Říční km:	3,5
Hydrologické pořadí:	1-13-01-1350
Vodní útvar povrchových vod:	Stoka od pramene po ústí do Ohře, ID OHL _ 0330
Hydrogeologický rajon:	Krystalinikum západní části Krušných hor a Slavkovského lesa, ID 61120



Způsob měření množství vypouštěné vody: vodoměrem na odtoku z ČDV

### Množství

$$Q_{\text{prům}} = 173 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$Q_{\text{max}} = 203 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$Q_{\text{max d}} = 15\,000 \text{ m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$$

$$Q_{\text{max r}} = 5\,500\,000 \text{ m}^3 \cdot \text{rok}^{-1}$$

### Emisní limity v tomto rozsahu

Ukazatel	Koncentrační limit „p“ (mg·l <sup>-1</sup> )	Koncentrační limit „m“ (mg·l <sup>-1</sup> )	Bilanční limit (t·rok <sup>-1</sup> )
NL <sub>105</sub>	20	60	115
RL	600	800	3275
Fe <sub>celk</sub>	1,2	5	6,6
Mn	2,5	3,5	14
So <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	400	600	2300
pH	6 - 9		

**Tabulka 2:** Emisní limity stanovené vodoprávním úřadem (Kurtík, 2023).

Kde „p“ znamená přípustné hodnoty koncentrací.

Kde „m“ znamená maximální nepřekročitelné hodnoty koncentrací.

Důlní voda se přivádí na ČDV Horní Slavkov gravitačně a pro její čištění se využívá vápenné mléko a přídavek chloridu barnatého. Za účelem zvýšení účinnosti sedimentace vytvořeného kalu se do procesu přidává flokulant typu Sokoflok. Pro přípravu chemických roztoků vápenného mléka a chloridu barnatého je používána vyčištěná důlní voda. Dávkování chemikálií závisí na průtoku, ročním období a množství důlní vody, které je nutné vyčistit (Soukup, 2021).

Cílem praktické části diplomové práce bylo sledování ročního provozu (jaro, léto, podzim, zima, rok 2023) v ČDV (tab. 3, 4, 5, 6) a zanesení výsledných hodnot do tabulek viz níže. Z výsledků zhodnocení ročního provozu, je patrné, že nedošlo k závažným rozporům z hlediska výsledných hodnot pro vypouštění vyčištěných důlních vod do recipientu potoka Stoka, které stanovil příslušný vodoprávní úřad.

## Protokol o zkoušce – laboratoř – Horní Slavkov (od 1. 3. do 31. 3. 2023)

Protokol o zkoušce - Laboratoř Horní Slavkov - období - od: 01. 03. 2023 do: 31. 03. 2023										
ISO: Z - 01 - SI - SUL - 22 - 01 - 01 - 02										
Datum analýzy	U <sub>nat.</sub> (mg/l)	Ra <sup>226</sup> (mBq/l)	Ph	RL 105 (mg/l)	NL 105 (mg/l)	Teplota (°C)	Q (l/s)	Fe (mg/l)	Mn (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)
1.3.2023	< 0,0300	96				13,8	87			
3.3.2023	< 0,0300	415	6,47	334	10,96	12,4	86	16,4	1,7	83,72
3.3.2023	< 0,0300	119	7,79	355	2,62	11	86	0,69	1,5	79,07
6.3.2023	< 0,0300	< 40				11,2	87			
8.3.2023	< 0,0300	605	6,51	327	13,82	11,2	86	12,17	1,81	83,72
8.8.2023	< 0,0300	136	7,8	372	3,68	10,8	86	0,74	1,53	79,07
10.3.2023	< 0,0300	146				11,9	87			
13.3.2023	< 0,0300	61				10,7	90			
15.3.2023	< 0,0300	801	6,69	230	43,1	9,9	93	9,55	1,78	83,72
15.3.2023	< 0,0300	132	8,28	265	5,86	9,6	93	0,58	1,2	79,07
17.3.2023	< 0,0300	156				9,1	97			
20.3.2023	< 0,0300	71				10,5	96			
21.3.2023	< 0,0300	508	6,58	326	11,8	12,3	94	12,51	1,74	83,72
22.3.2023	< 0,0300	115	8,19	400	2	11,8	94	0,63	1,27	79,07
24.3.2023	< 0,0300	120				12,2	94			
27.3.2023	< 0,0300	90				11,5	93			
29.3.2023	< 0,0300	571		307	9,72	12,5	102	10,87	1,73	83,72
29.3.2023	< 0,0300	59	6,75	381	3,44	11,8	102	0,74	1,38	74,42
3.4.2023	< 0,0300	137	8,12			11,6	103			

**Tabulka 3:** Hodnoty na ČDV, vstup a výstup (Kurtík, 2023).

Místa a označení odběru vzorků: Vstup na ČDV – ID-055 (v objektu MVE – odběrný kohout), obr. 37, v tabulce hodnoty vstupu vyznačeny zelenou barvou (tab. 3) a hodnoty výstupu vyznačeny světle žlutou barvou (tab. 3).



**Obrázek 37:** Vstup na ČDV, ID-055, odběrný kohout (Kurtík, 2023).

## Protokol o zkoušce – laboratoř – Horní Slavkov (od 1. 7. do 29. 7. 2023)

Protokol o zkoušce - Laboratoř Horní Slavkov - období - od: 1. 7. 2023 do: 29. 7. 2023										
ISO: Z - 01 - SI - 22 - 01 - 01 - 02										
Datum analýzy	U <sub>nat.</sub> (mg/l)	Ra <sup>226</sup> (mBq/l)	Ph	RL 105 (mg/l)	NL 105 (mg/l)	Teplota (°C)	Q (l/s)	Fe (mg/l)	Mn (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)
1.7.2023	< 0,0300	77				15,2	99			
11.7.2023	< 0,0300	567	6,49	332	13,26	15,4	98	11,24	1,65	93,03
11.7.2023	< 0,0300	61	7,59	385	3,54	15,7	98	0,68	1,34	83,72
11.7.2023	< 0,0300	42				15,9	97			
11.7.2023	< 0,0300	89				13,8	94			
11.7.2023	< 0,0300	< 40				13,9	96			
13.7.2023	< 0,0300	645	6,42	335	12,82	13,5	95	12,31	1,63	93,03
13.7.2023	< 0,0300	< 40	7,62	379	3,64	13,3	95	0,72	1,3	83,72
18.7.2023	< 0,0300	85				13,5	96			
18.7.2023	< 0,0300	< 40				14,3	93			
20.7.2023	< 0,0300	377	6,53	328	14,49	13,5	91	12,9	1,42	93,03
20.7.2023	< 0,0300	41	7,84	383	3,38	14,3	91	0,65	1,28	83,72
22.7.2023	< 0,0300	44				14,3	90			
26.7.2023	< 0,0300	48				13,9	89			
27.7.2023	< 0,0300	516	6,61	347	10,56	13,8	86	8,94	1,69	93,03
27.7.2023	< 0,0300	56	7,88	389	3,56	14,1	86	0,62	1,24	93,03
27.7.2023	< 0,0300	216				13,5				
29.7.2023	< 0,0300	80				13,5	85			
29.7.2023	< 0,0300	310				13,4				

**Tabulka 4:** Hodnoty na ČDV, vstup a výstup (Kurtík, 2023).

Místa a označení odběru vzorků: Výstup z ČDV – ID-017 (Parshallův žlab) obr. 38, v tabulce hodnoty vstupu vyznačeny zelenou barvou (tab. 4) a hodnoty výstupu vyznačeny světle žlutou barvou (tab. 4).



**Obrázek 38:** Výstup z ČDV, ID-017, Parshallův žlab (Kurtík, 2023).

## Protokol o zkoušce – laboratoř – Horní Slavkov (od 1. 10. do 31. 10. 2023)

Protokol o zkoušce - Laboratoř Horní Slavkov - období - od: 1. 10. 2023 do: 31. 10. 2023										
ISO: Z - 01 - SI - SUL - 22 - 01 - 01 - 02										
Datum analýzy	U <sub>nat.</sub> (mg/l)	Ra <sup>226</sup> (mBq/l)	pH	RL 105 (mg/l)	NL 105 (mg/l)	Teplota (°C)	Q (l/s)	Fe (mg/l)	Mn (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)
3.10.2023	< 0,0300	43				14,5	73			
3.10.2023	< 0,0300	< 40				12,3	72			
5.10.2023	< 0,0300	707	6,58	327	10,18	11,9	74	11,19	1,66	83,72
5.10.2023	< 0,0300	< 40	7,94	382	3,44	13,1	74	0,7	1,35	83,72
10.10.2023	< 0,0300	48				12,6	74			
10.10.2023	< 0,0300	< 40				13,8	73			
12.10.2023	< 0,0300	655	6,68	294	8,62	11,9	73	14,55	1,68	83,72
12.10.2023	< 0,0300	< 40	8,03	387	2,42	11,8	73	0,65	1,33	79,07
14.10.2023	< 0,0300	52				12,2	72			
17.10.2023	< 0,0300	< 40				12,9	71			
19.10.2023	< 0,0300	571	6,64	312	10,18	12,3	73	16,16	1,62	83,72
19.10.2023	< 0,0300	60	7,94	373	3,96	12,2	73	0,65	1,38	79,07
21.10.2023	< 0,0300	57				12,6	72			
24.10.2023	< 0,0300	< 40				12,9	71			
26.10.2023	< 0,0300	505	6,5	327	12,82	13,3	70	17,06	1,59	83,72
26.10.2023	< 0,0300	< 40	7,96	390	5,38	13,2	70	0,64	1,36	83,72
31.10.2023	< 0,0300	45				11,5	70			
31.10.2023	< 0,0300	50				11,6	70			

**Tabulka 5:** Hodnoty na ČDV, vstup a výstup (Kurtík, 2023).

Místa a označení odběru vzorků: Vstup na ČDV – ID-055 (v objektu MVE – odběrný kohout) obr. 39, v tabulce hodnoty vstupu vyznačeny zelenou barvou (tab. 5) a hodnoty výstupu vyznačeny světle žlutou barvou (tab. 5).



**Obrázek 39:** Vstup na ČDV, ID-055, odběrný kohout (Kurtík, 2023).

## Protokol o zkoušce – laboratoř – Horní Slavkov (od 2. 12. 2023 do 31. 12. 2023)

Protokol o zkoušce - Laboratoř Horní Slavkov - období - od: 2. 12. 2023 do: 31. 12. 2023										
ISO: Z - 01 - SI - SUL - 22 - 01 - 01 - 02										
Datum analýzy	U <sub>nat</sub> (mg/l)	Ra <sup>226</sup> (mBq/l)	Ph	RL 105 (mg/l)	NL 105 (mg/l)	Teplota (°C)	Q (l/s)	Fe (mg/l)	Mn (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)
6.12.2023	< 0,0300	< 40				11,3	66			
6.12.2023	< 0,0300	< 40				11,2	67			
7.12.2023	< 0,0300	494	6,79	375	9,42	10,2	65	11,77	1,47	83,77
7.12.2023	< 0,0300	53	8,02	394	2,14	10	65	0,6	1,22	74,42
9.12.2023	< 0,0300	48				10	67			
12.12.2023	< 0,0300	< 40				9,6	65			
14.12.2023	< 0,0300	419	6,8	297	13,9	11,4	65	10,11	1,55	83,72
14.12.2023	< 0,0300	< 40	8,01	337	2,2	9,6	65	0,52	1,27	74,42
16.12.2023	< 0,0300	50				9,4	65			
19.12.2023	< 0,0300	370	6,71	317	11,06	10,7	64	10,65	1,57	83,72
19.12.2023	< 0,0300	< 40	7,89	427	2,18	9,1	64	0,55	1,07	79,07
22.12.2023	< 0,0300	415	6,62	310	12,36	13,9	66	11,47	1,43	83,72
22.12.2023	< 0,0300	< 40	8,05	375	3,24	13,7	66	0,57	1,26	74,42
2.1.2024	< 0,0300	< 40				11	67			
2.1.2024	< 0,0300	47				13,7	68			
2.1.2024	< 0,0300	69				12,1	73			
2.1.2024	< 0,0300	61				12,3	74			

**Tabulka 6:** Hodnoty na ČDV, vstup a výstup (Kurtík, 2023).

Místa a označení odběru vzorků: Výstup z ČDV – ID-017 (Parshallův žlab) obr. 40, v tabulce hodnoty vstupu vyznačeny zelenou barvou (tab. 6) a hodnoty výstupu vyznačeny světle žlutou barvou (tab. 6).



**Obrázek 40:** Výstup z ČDV, ID-017, Parshallův žlab (Kurtík, 2023).

Odběr vzorku provádí příslušný zaměstnanec, odebere do čisté lahve vzorek a tím láhev 2× vypláchne. Zároveň opláchne víčko láhve. Teprve potom odebere vzorek. Vzorky odesílané do laboratoře označí datem, druhem vzorku a popisem

odebírajícího, viz „Průvodní list odběru vzorku – voda – Z-05-SI-SUL-22-01-01-01“ (Soukup, 2021).

Místa a označení odběru vzorků:

- vstup ČDV – ID-55 (v objektu MVE – odběrný kohout),
- výstup z ČDV – ID-17 (Parshallův žlab).

Druhy vzorků a četnost odběrů:

- vstup ČDV – bodový vzorek – 1× týdně – na ranní směně (stanovuje se U, <sup>226</sup>Ra), NL, RL, pH, Mn, Fe, SO<sub>4</sub>,
- výstup z ČDV – prostý vzorek, stanovení 1× týdně a porovnání s „m“ hodnotami, mimo radionuklidů (Soukup, 2021).

Druhy vzorků s jejich stanovení:

- Stanovení nerozpuštěných látek gravimetricky (**NL<sub>105</sub>**) – princip stanovení spočívá v zachycení nerozpuštěných látek z určitého objemu homogenního vzorku na filtru a zajištění jejich hmotnosti po vysušení při 105°C do konstantní hmotnosti (Bican, 2021).
- Stanovení rozpuštěných látek gravimetricky (**RL<sub>105</sub>**) – princip stanovení spočívá v odpaření známého množství z filtrovaného vzorku, vysušení při 105°C a zvážení. Jde o skupinové uzanční stanovení.
- Stanovení koncentrace železa (**Fe**) fotometricky – princip stanovení spočívá v tom, že železo ve vzorku se redukuje na dvojmocnou formu hydroxylaminem v kyselém prostředí. Po přidavku tlumivého roztoku se vzorek vybarví pomocí roztoku 1,10-fenantrolinu. Vznikne červenooranžový komplex. Zabarvení je stálé několik hodin a lze ho využít ke spektrofotometrickému stanovení.
- Stanovení koncentrace síranů (**SO<sub>4</sub>**) – odměrné stanovení je založeno na reakci síranových a olovnatých iontů, při níž vzniká málo rozpustná sraženina síranu olovnatého. Rozpustnost této sraženiny je snížena přidávkem ethanolu nebo acetonu. Konec titrace, což je okamžik, kdy jsou všechny síranové ionty vázány na olovnaté ionty, je indikována barevnou změnou indikátoru dithizonu. Barevná změna indikátoru nastává do vymizení zeleného zbarvení, přechází v šedé, až šedofialové zbarvení, což signalizuje ukončení reakce a ukazuje na nadbytek olovnatých iontů.
- Stanovení (**pH**) – princip stanovení spočívá v měření pH skleněnou elektrodou, využívá vlastností skleněné membrány, na které se vytváří potenciál, jehož velikost závisí na aktivitě vodíkových iontů v roztoku. Potenciál skleněné elektrody se měří proti referenční kalomelové nebo



argentchloridové elektrodě. Rozsah použití: hodnotu pH je možno měřit v rozsahu 4 až 14.

- Stanovení koncentrace manganu (**Mn**) fotometricky – princip stanovení spočívá v oxidaci sloučenin manganu v kyselém prostředí za zvýšené teploty a za přítomnosti katalyzátoru, což vede k vytvoření manganistanu. K tomuto procesu se používá peroxosíran amonný a reakce je katalyzována ionty  $\text{Ag}^+$ . Intenzita zbarvení, která vznikne v důsledku této reakce, je úměrná koncentraci Mn (II) ve vzorku (Bican, 2021).

Stanovení objemové aktivity ( **$^{226}\text{Ra}$** ) – princip metody spočívá v tom, že radium se odděluje spolu srážením se síranem barnatým a olovnatým. Směs síranů se rozpouští v roztoku chelatonu 3 a síran barnatoradnatý se sráží ledovou kyselinou octovou. Oddělená sraženina se promíchá se scintilátorem ZnS (Ag) detekujícím částice alfa a měří se aktivita vysušené směsi. Účinnost měření se stanovuje měřením vzorku o známé aktivitě  $^{226}\text{Ra}$ . Celý postup stanovení je rozdělen do tří dnů.

### První den

Odměrným válcem se odměří zkoušený objem vzorku, nejčastěji 500 ml vzorku do kádinky (800–1000 ml), viz obr. 41. S každou sérií vzorků se zpracovává slepý pokus s destilovanou vodou (pozadí) a kontrolní vzorek. Do práce se bere 50 ml pracovního kontrolního roztoku a zpracuje se jako vzorek. Výsledek se porovná s mezemi. Papírkem se orientačně zjistí pH a upraví se hydroxidem amonným na neutrální nebo mírně alkalickou reakci, pH 7–9. Dávkovači se přidá postupně v tomto pořadí: 3 ml kyseliny citronové, 3 ml hydroxidu amonného, 1 ml srážecího roztoku (směsného nosiče), mezi přídavky se vzorky promíchají. Přidá se několik kapek indikátorového roztoku metyloranže. Po kapkách se přidá kyselina sírová do přechodu ze žluté na růžovou barvu a přidá se přebytek 0,25 ml. Kádinky se překryjí filtračním papírem a sraženina se nechá usadit do vyčištění, to nejméně tři hodiny, nejlépe do druhého dne (Bican, 2021).



**Obrázek 41:** Příprava vzorku (Kurtík, 2023).

## Druhý den

Princip stanovení  $^{226}\text{Ra}$ . Čirá kapalina nad sraženinou se opatrně odsaje pomocí vodní vývěvy. Zbytek (roztok se sraženinou) se kvantitativně převede do centrifugační kyvety (obr. 42).



**Obrázek 42:** Příprava vzorku (Kurtík, 2023).

Dále se odstředí (10 minut při  $1100 \text{ ot}/\text{min}^{-1}$ ), čirá kapalina nad sraženinou se postupně slije. Ke sraženině se postupně dávkovači přidá: 10 ml destilované vody, 10 ml chelatonu 3 a 3 ml hydroxidu amonného. Vzorky v kyvetě se umístí do pískové lázně a zahřejí se do prvních výparů. Poté se vzorky vyjmou z pískové lázně a dělenou pipetou se přidají opatrně 3 ml ledové kyseliny octové a obsah kyvety se zamíchá skleněnou tyčinkou. V tomto okamžiku se zaznamená čas srážení vzorku. Vzniklá sraženina se odstředí, promyje 10 ml destilované vody a opět se odstředí. Většina čiré kapaliny nad sraženinou se patrně slije a do kyvety se přidá asi 0,15 g scintilátoru laboratorní lžičkou. Obsah kyvety se rozmíchá tyčinkou a kvantitativně se pomocí stříčky převede do označené měřicí misky. Po 30 minutách se misky vloží do sušárny (obr. 43) a suší se ve vodorovné poloze při  $105 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $\pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ ), za občasné kontroly, do sucha. Poté se vzorky vyndají a nechají vychladnout (Bican, 2021).



**Obrázek 43:** Příprava vzorku, sušení (Kurtík, 2023).

### **Třetí den**

Stanovení vzorku  $^{226}\text{Ra}$ . Aktivita vysušeného vzorku se měří na aparatuře. Zaznamenává se doba začátku měření vzorku a počet naměřených impulsů. Měřicí misky se nedříve vloží do světlotěsného měřiče pro dva vzorky, kde musí před vlastním měřením dojít k vyhasnutí opožděných luminiscencí (minimálně 10 minut). Po této době se za nepřístupu světla přesune miska pod sondu a zahájí se vlastní měření. Provede se výpočet (Bican, 2021).

### **Obecné způsoby využití důlních vod**

Podzemní vody, které jsou akumulovány uvnitř a v okolí důlních děl, mají několik charakteristických vlastností, které více či méně určují možnosti jejich budoucího využití. Předpokladem ke kvalifikovanému rozhodování o možném využití podzemních vod je provedení řady chemických rozborů, navržení vhodných a hospodárných metod k úpravě vody a průběžný monitoring zaměřený na sledování vstupních a výstupních parametrů úpravní vody. Je zřejmé, že na výsledné parametry jsou kladeny různé nároky v závislosti na předpokládaném využití, úprava pro zemědělskou výrobu je technologicky méně náročná a nákladná než úprava pro získávání pitné vody.

Obecně lze realizovaná řešení rozdělit do následujících oblastí:

#### **Energetické využití**

Obvyklá teplota podzemních vod se obvykle pohybuje v rozmezí mezi 10 a 20°C, což odpovídá rozsahu pro využití běžných technologií tepelných čerpadel. Základní princip spočívá v čerpání důlní vody, úpravě, demineralizaci jako prevenci před zanášením technologických zařízení, v přivedení do tepelného výměníku a vrácení zpět do místa čerpání. Níže uvedené příklady realizací představují systémy, které svým výkonem pokrývají tepelnou spotřebu komplexu obytných budov, průmyslových objektů nebo objektů občanské vybavenosti.

#### **Průmyslové a užitkové vody**

V průmyslových odvětvích, jako je výroba nebo chlazení, se často využívají podzemní vody, které jsou akumulovány v opuštěných důlních šachtách, které se nacházejí přímo uvnitř či v těsné blízkosti průmyslových areálů. Pro tyto účely jsou používány například bývalé větrné jámy. Možnosti využití důlních vod jsou odvislé od kvality vod, chemismu.

## **Využití pro zemědělskou výrobu**

Používání vody pro zemědělské účely je patrné jak v oblasti živočišné výroby, jako je chov a zpracování ryb, tak i v oblasti rostlinné výroby. Zde se jedná zejména o závlahy zemědělských ploch s obilím, pěstování zeleniny, závlahy sadů a vinogradů či dotace pro travnaté plochy a biokoridory. Čerpaná voda na povrch určená pro zemědělské účely může být kromě přímého zavlažování pěstebních pozemků či objektů, například skleníků, sekundárně využita pro zvýšení teploty při vytápění.

## **Využití pro turistiku, rekreaci a volnočasové aktivity**

Po ukončení těžby v oblastech zatopených povrchovou vodou byla realizována řada projektů zaměřených na vytvoření různých vodních děl pro různé účely. Obvykle se jedná o rekreační vodní plochy přístupné široké veřejnosti. Součástí projektových řešení bývá vytvoření sítě objektů pro různé volnočasové aktivity, jako jsou například cyklostezky, vodní sporty, rybolov a podobně, a sítě služeb, ubytovací a stravovací kapacity, půjčovny sportovního vybavení, školy sportu a podobně. V rámci těchto projektů tak byly vytvořeny zcela nové turisticky atraktivní oblasti, které kromě kultivace krajiny znamenají nemalý přínos pro zajištění příjmů podnikatelské sféry.

## **Zvýšení ekologické diverzity v krajině, podpora vodních ploch**

Častým způsobem využití důlních vod je vytvoření mokřadů jako přirozeného prostředí pro mnoho volně žijících živočichů a rostlin vyžadujících prostředí se zvýšenou vlhkostí, respektive s vodními plochami. Takto vytvořené oblasti přispívají k obnovení ekologické rovnováhy v krajině, protože zadržují vodu, která by jinak volně odtékala do vodoteče nebo by se odpařovala. Některé z těchto realizovaných mokřadů byly od samého začátku budovány jako chráněné územní celky, které poskytují přirozené prostředí pro vzácné a chráněné živočichy.

## **Využití jako zdroje pitné vody**

Tento způsob využití je technologicky náročnější, neboť vyžaduje intenzivní a důkladné čištění vody tak, aby splňovala přísné hygienické normy. Ovšem současný klimatický vývoj a s ním spojený růst cen pitné vody může vést k růstu rentability projektů zaměřených tímto směrem. K aktuálně využívaným metodám patří demineralizace, působení ozonu nebo UV záření, aplikace iontoměničů nebo aktivních osmotických membrán nebo filtrace pomocí směsí aktivních organických jíílů a dalších.

## Návrh technologie úpravy důlní vody na vodu pitnou

Voda představuje nejčastěji se vyskytující látku v přírodě, a to jak v jak v trvalém oběhu zemské atmosféře, tak na povrchu i pod povrchem. Je nedílnou součástí půdy a zastává klíčovou roli v mnoha technologických procesech. Dále je obsažena v tělech živočichů a rostlin a považuje se za nezbytnou podmínku pro existenci života. Pro lidskou společnost má voda zásadní význam, ať už jako základní prvek bytí, či jako faktor ovlivňující existenci. Historicky byly všechny dávné civilizace budovány v blízkosti řek, které pro lidi představovaly zdroj života. I když je voda dobrým spojencem, může se stát také nebezpečným nepřítelem. Je nezbytná pro život a není ji možné nahradit. Člověk potřebuje denně přijmout kolem 2,5 až 3 litrů kvalitní pitné vody, včetně té obsažené v potravinách. Účelem této vody není pouze nahradit ztrátu v organizmu, ale také zajišťovat dodávku stopových prvků, které jsou nezbytnou součástí správné výživy.

Jedním z cílů diplomové práce bylo zjistit, zda důlní voda z ČDV Horní Slavkov může být použita k pitným účelům pro zásobování obyvatelstva. Jak uvádí zákon o vodách v § 29: „Zdroje podzemních vod jsou přednostně vyhrazeny pro zásobování obyvatelstva pitnou vodou a pro účely, pro které je použití pitné vody stanoveno zvláštním předpisem, k jiným účelům může vodoprávní úřad povolit použití podzemní vody, jen není-li to na úkor uspokojování uvedených potřeb.“

Zjištění, zda může být důlní voda z ČDV Horní Slavkov využita jako zdroj pitné vody pro zásobování obyvatelstva, zahrnovalo následující kroky:

- Získané hodnoty vstupních a výstupních dat důlní vody na ČDV zpracovat do tabulek podle ročního období, které také hraje důležitou roli v rámci čištění důlních vod;
- Odebrat vzorky vody na výstupu z ČDV do vodoteče, do předem připravené odběrné sady vzorky vody (obr. 44) sadu poskytla Krajská hygienická stanice Karlovarského kraje se sídlem v Karlových Varech, která zároveň předala poučení, jak vzorek správně odebrat a jak ho přepravit.
- Odebraný vzorek byl odvezen na Krajskou hygienickou stanici v Karlových Varech na příjem vzorků, kde proběhla ústní domluva, jakým způsobem bude probíhat testování vzorku a na co bude testování zaměřeno.
- Výsledkem testovaného vzorku je přiložený „Protokol o zkoušce č. 129219/2023 – Technologická voda“ (kapitola č. 19, příloha č. 1). Výsledek vzorku prokázal, že důlní voda z ČDV Horní Slavkov může být použita jako zdroj pitné vody po další úpravě, kterou pitná voda potřebuje, aby splňovala potřebné parametry. I zaměstnanci hygieny ústním zhodnocením potvrdili to,



co prokázal protokol a že si dovedou představit důlní vodu z ČDV jako pitnou vodu.

- Na základě tohoto rozhodnutí bylo zkoumáno, která města využívají důlní vodu jako zdroj pitné vody a jakou technologii k tomu využívají a které firmy v České republice se touto problematikou zabývají.



**Obrázek 44:** Odběr vzorku vody (Kurtík, 2023).

V rámci praktické části diplomové práce bylo navštíveno město Krásno v okrese Sokolov, které se nachází v Karlovarském kraji a žije zde 700 obyvatel. Právě město Krásno využívá důlní vodu jako svůj zdroj pitné vody pro zásobování obyvatel a okolí. Prohlídku vodárny Krásno (obr. 45) zajistil vodohospodář města který v rámci exkurze podal odborný výklad ohledně úpravy vody, začátku předmětu plnění a účelu plnění vodárny Krásno.



**Obrázek 45:** Technologie na úpravu důlní vody (Kutík, 2023).

Navrhnutí technologie na zlepšení dostupnosti pitné vody je úkol, který vyžaduje komplexní přístup a zohlednění mnoha faktorů, jako je dostupnost zdrojů, infrastruktura, finanční prostředky a environmentální dopady. Tento proces je pouze základní rámec, který lze použít při návrhu technologie na pitnou vodu. Každá situace může vyžadovat individuální přístup a úpravy podle konkrétních potřeb a podmínek

dané oblasti. Po provedené exkurzi na vodárně ve městě Krásno byla oslovena firma, která se specializuje na úpravu vody obecně, ale má i dlouhodobé zkušenosti i s důlní vodou a technologií na její úpravu na vodu pitnou. Firmě IPR Aqua, s. r. o., Praha (Inženýring – Projekce – Realizace) byl na domluvené konzultaci představen záměr této diplomové práce. Výsledek práce, tj. protokol o zkoušce odběru vody, je přiložen v kapitole č. 19 v příloze č. 1, na výstupu do vodoteče a dle výsledků vstupu a výstupu důlní vody na ČDV do recipientu byla firmou po zhodnocení obdržných výsledků navržena technologie, která by dokázala upravit důlní vodu na vodu pitnou. Technologické neboli blokové schéma je přiloženo v kapitole č. 19 v příloze č. 2. Součástí blokového schématu je i popis neboli legenda technologie, která je přiložena v kapitole č. 19 v příloze č. 2. Technický výkres – technologie na úpravu důlní vody na vodu pitnou – je ve formátu A 2 a je přiložena jako součást předkládané diplomové práce.

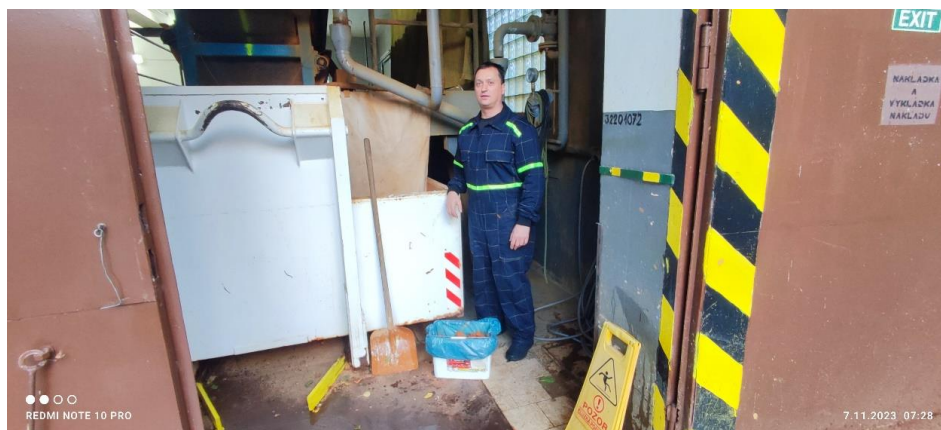
Pokud v ceně není stavba vodojemu, tak se bavíme o realizační ceně 10 000 000 Kč bez DPH. Ještě detailnější projekt, dodávka a montáž a výkon vodárny by byl bez problémů 12 m<sup>3</sup>/h, spíše by šlo i 15 m<sup>3</sup>/h – vše záleží na kvalitě vstupní vody. Předkládaná technologie na úpravu pitné vody je založena na pískové filtraci, jinak dle tohoto předloženého projektu to jde bez problémů již postavit.

### **Druhá část výsledků práce – důlní kal**

ČDV Horní Slavkov využívá odvodněné kaly jako sanační materiál v úpravě propadliny Schnödova pně v katastrálním území Krásno. Kaly jsou přepravovány v kontejnerech podle schválené trasy, která zahrnuje cestu z ČDV do města Horní Slavkov a dále do města Krásna a dále k propadlinám Schnödova pně. Za rok 2022 bylo použito 350 tun nízkoaktivních kalů a 670,10 tun magnetického separátu jako sanačního materiálu od firmy Czech Silicat s. r. o. Kaly v propadlině Schnödova pně jsou pokryty inertním materiálem (magnetickým separátem). Pro sledování bezpečnosti ukládání nízkoaktivních kalů se provádí monitoring přepravní trasy a monitorování kvality ovzduší v okolí propadlin Schnödova pně. Výsledky monitoringu jsou pravidelně prezentovány Okresnímu muzeu Sokolov a městu Krásno. Zjištěné výsledky hmotnostních aktivit radionuklidů (<sup>226</sup>Ra a <sup>238</sup>U) v ukládaných kalech odpovídají projektovaným parametrům a výsledky monitoringu kvality ovzduší nepotvrzují nežádoucí vliv ukládání na nejbližší okolí a obyvatele města Krásna (Bican, 2022).

Druhá část výsledků diplomové práce se zabývá možností využití odpadních kalů, které mohou být, a zatím jsou využívány jako sanační materiál a může se na ně nahlížet i jako na potenciální zdroj kritických surovin.

Odběr vzorků důlních odpadních kalů na ČDV Horní Slavkov: důlní kal byl odebrán z přepravního kontejneru (obr. 46), který se nachází v části kalového hospodářství, do pytle o objemu 120 l za pomoci velké hliníkové lopaty a poté byl vložen do plastové nádoby pro lepší přepravu (obr. 47). Hmotnost odebraného kalu byla cca 15 kg. Analýza XRF byla provedena v laboratoři firmy KMK GRANIT, a. s., Krásno.



**Obrázek 46:** Odebírání vzorku kalu (Kurtík, 2023).



**Obrázek 47:** Vzorek odebraného kalu (Kurtík, 2023).

Po odebrání potřebného množství kalu na ČDV Horní Slavkov proběhla praktická část v laboratoři firmy KMK GRANIT, a. s., kde proběhla praktická část mé práce pod vedením vedoucí laboratoře a jejího kolektivu byla osobně stanovena analýza kalu.

#### **Příprava lisované tablety na chemickou analýzu**

Z odebraného kalu byl odebrán konkrétní vzorek v požadovaném množství cca 50 g, který byl vložen do připravené keramické misky (obr. 48) a byl vysušen v sušičce při teplotě 110 °C. Době sušení vzorku zhruba 1,5 – 2 hodiny (obr. 49).



**Obrázek 48:** Vzorek kalu před sušením (Kurtík, 2023).



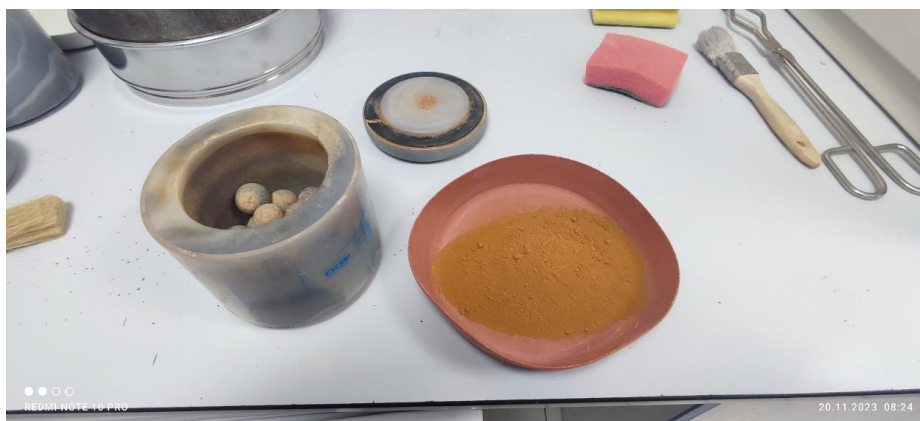
**Obrázek 49:** Sušení vzorku kalu (Kurtík, 2023).

Vysušený vzorek kalu (obr. 50) byl namlet na analytickou jemnost 63  $\mu\text{m}$  za pomoci jedno miskového mlýnku. Aby se zabránilo znečištění, byly k tomuto účelu použity achátové misky (obr. 51). Navážený vzorek o hmotnosti cca 25 g byl na analytickou jemnost mlet po dobu cca 150 vteřin při 650 otáčkách za minutu.



**Obrázek 50:** Vysušený vzorek kalu (Kurtík, 2023).





**Obrázek 51:** Achátová miska se vzorkem kalu (Kurtík, 2023).

Umletý vzorek na analytickou jemnost byl použit na ztrátu žiháním a na výrobu lisované tablety.

### **Odebraný vzorek na ztrátu žiháním**

Vzorek umletý na analytickou jemnost byl sušen po dobu minimálně 2 hodiny. Vzorek byl navážen do předem vyžíhaného a následně zváženého porcelánového kelímku, navážka vzorku minimálně 3–4 g. Kelímek se vzorkem byl vložen do laboratorní pece (obr. 52) a žihán při teplotě 1100 °C (+/- 20 °C) s hodinovou výdrží. Po vypálení byl kelímek se vzorkem nechán vychladnout v exsikátoru, po dosažení laboratorní teploty byl vzorek zvážen.



**Obrázek 52:** Laboratorní pec, první zleva (Kurtík, 2023).



**Výpočet ztráty žiháním** (pro výpočet ztráty žiháním se používá tento vzorec)

Vzorec pro výpočet:  $Z\check{Z} = m_s - m_z / m_s \times 100$

$Z\check{Z}$  = ztráta žiháním (%)

$m_s$  = hmotnost navážky vzorku (g)

$m_z$  = hmotnost vyžihaného vzorku (g)

$m_s$  = hmotnost vysušeného vzorku (g)

### Výroba lisované tablety

Z umletého materiálu na analytickou jemnost bylo naváženo 7 g vzorku (obr. 53) a 2 g pojiva (celulózy), zhomogenizováno a vysypáno do předem připravené matrice a vloženo do lisu. Hotová tableta viz (obr. 54).



**Obrázek 53:** Vážení vzorku (Kurtík, 2023).



**Obrázek 54:** Vylisovaná tableta (Kurtík, 2023).

## Změření vylisované tablety

Tableta byla vložena do kazety (obr. 55), která byla vložena do RTG (obr. 56), na pozici 101 a v programu byla zadána metoda UQ – semikvantitativní metoda a byla spuštěna analýza.



**Obrázek 55:** Tableta připravená na měření (Kurtík, 2023).



**Obrázek 56:** Měření vzorku, XRF spektrometr (Kurtík, 2023).

## Vyhodnocení analýzy v softwaru

Hotový protokol (obr. 58), výsledek ukázal, jaké prvky, které byly předmětem analýzy, obsahuje kal. protokol bude vložen i do kapitoly č. 19, příloha č. 2. Vlnově disperzní XRF spektrometr (obr. 57) představuje efektivní zařízení pro provádění polo-quantitativních analýz prvků. Princip jeho fungování spočívá v interakci mezi

vysokou energetickou rentgenovou radiací a zkoumaným materiálem. V průběhu této interakce dochází k emisi sekundárního (fluorescenčního) rentgenového záření, které následně podléhá analýze detektory. Informace o vlnové délce poskytují údaje o kvalitativním složení materiálu, přičemž intenzita záření slouží k vyhodnocení množství zkoumaného prvku.



**Obrázek 57:** Vlnově disperzní XRF spektrometr (Kurtík, 2023).

Laboratory KMK GRANIT			14.11.2023 6:15:11		
Živcový lom Krasno			Calculated by UniQuant		
357 47 KRASNO			Thermo Fisher Scientific		
KAL -					
ARL PFX-108 Rh 60KV LIF200 LIF220 Ge111			Measured on : 10.11.2023 13:06:16		
Method : UQ-I			X-ray Path: : Vacuum		
Kappa List : AnySample			Film Type : None		
Shapes & ImpFc : Teflon			Collimator Mask : ø 29 mm		
Calculated as : Oxides			Viewed Diameter = 23.00 mm		
Case Number : 0 - All known			Viewed Area = 415.48 mm2		
			Viewed Mass = 7273.75 mg		
			Sample Height = 4.00 mm		
Reporting Level	= 10 ppm and wt% = 3 Est.Err.				
Compound	Wt%	Est.Error	Element	Wt%	Est.Error
Fe2O3	46.25	0.25	Fe	32.95	0.17
CaO	16.74	0.19	Ca	11.97	0.13
SiO2	8.00	0.14	Si	2.74	0.06
BaO	1.71	0.06	Ba	1.54	0.06
MnO	1.25	0.06	Mn	0.969	0.04
MgO	0.888	0.029	Mg	0.354	0.018
Al2O3	0.479	0.024	Al	0.253	0.013
P2O5	0.342	0.017	P	0.149	0.0074
ZnO	0.321	0.016	Zn	0.258	0.013
Na2O	0.211	0.028	Na	0.157	0.021
As2O3	0.211	0.011	As	0.160	0.0080
S	0.152	0.0076	S	0.152	0.0076
Co2O4	0.0469	0.0023	Co	0.0344	0.0017
SeO	0.0408	0.0020	Se	0.0345	0.0017
K2O	0.0346	0.0017	K	0.0287	0.0014
Cl	0.0243	0.0015	Cl	0.0243	0.0015
NiO	0.0078	0.0013	Ni	0.0061	0.0010
TiO2	0.0076	0.0008	Ti	0.0045	0.0005
U3O8	0.0061	0.0014	U	0.0051	0.0012
CuO	0.0043	0.0012	Cu	0.0034	0.0009
			Rest = 23.57 LOI		
			DIS = 0.285 Cellulose (1)		
Sum Weight% before normalization to 100% = 99.3%					
Total Weight% Oxygen = 24.24					

**Obrázek 58:** Protokol – výsledné hodnoty důlního kalu (Kurtík, 2023).

## Zhodnocení výsledných hodnot důlního kalu

XRF analýza kalového vzorku prokázala ve vzorku výskyt strategických surovin uvedených v Nařízení Evropského parlamentu a rady ze dne 16.3. 2023 (COM(2023) 160 final\_ 2023/0079 (COD)), kterým se stanoví rámec pro zajištění bezpečných a udržitelných dodávek kritických surovin a mění nařízení (EU) č. 168/2013, (EU) 2018/858, (EU) 2018/1724 a (EU) 2019/1020 („European Critical Raw Materials Act“).

Lze tedy konstatovat, že při použití vhodných metod a technologický postupů je možnost strategické suroviny z odpadního kalu získávat.

Ve vzorku byl rovněž prokázán zvýšený obsah hliníku.  $Al_2O_3$  je hlavní složkou mnoha vyvěřelých minerálů včetně živce a slíd. Tyto minerály v mírném podnebí postupně zvětrávají a poskytují jílovité minerály. Při použití vhodných hydrometalurgických metod je možnost získávat  $Al_2O_3$  z odpadního kalu.

Hydrometalurgickými metodami se rozumí působení chemických roztoků, ve kterých se zájmový kov rozpouští a z něhož se nakonec vyloučí. K vyluhování se užívá voda případně roztoky vhodných činidel.

## Obecné způsoby využití důlních kalů

Důlní kal, také nazývaný jako důlní odpad, je odpadní materiál vytvořený během těžby nerostných surovin jako uhlí, kovy nebo nerosty. Tento odpad může obsahovat různé látky a materiály, včetně hornin, prachu, chemikálií a jiných nečistot. Hlavní využití důlního kalu závisí na jeho složení, množství a místních podmínkách. Následuje představení některých z možných způsobů, jak lze využít důlní kal:

- **Stavební materiál:** důlní kal může být použit jako přísada při výrobě stavebních materiálů, jako jsou cihly, dlaždice nebo betonové bloky. Tímto způsobem můžeme snížit náklady na výrobu stavebního materiálu a zároveň snížit množství skládkovaného odpadu.
- **Výzkum a vývoj:** důlní kal může být použit v různých výzkumných projektech, které zkoumají jeho potenciál v různých oblastech, jako je stavebnictví, zemědělství nebo životní prostředí.
- **Sanace starých důlních prostor:** důlní kal může být využit pro zasypávání a zpevnění opuštěných důlních prostorů, což může snížit rizika spojená s propadem půdy.
- **Čištění vody:** některé druhy důlního kalu mají schopnost absorbovat škodlivé látky z vody. Mohou být využity při čištění vody z jiných znečišťujících látek.

- **Zpracování na průmyslové chemikálie:** pokud má důlní kal vhodné složení, může být využit k výrobě průmyslových chemikálií.
- **Výroba energie:** některé druhy důlního kalu mohou být spalovány pro výrobu energie.
- **Výroba hnojiv:** určité složky důlních kalů mohou být využity v zemědělství jako hnojiva nebo pro úpravu půdy.
- **Deponování a likvidace:** pokud není možné důlní kal využít, je třeba ho bezpečně deponovat nebo zlikvidovat tak, aby nedocházelo k negativnímu vlivu na životní prostředí.

Je důležité, aby byly důlní kalové frakce správně zpracovány a likvidovány tak, aby minimalizovaly negativní vlivy na životní prostředí a lidské zdraví. To často vyžaduje odborné technologie a postupy. Před použitím by měly být provedeny nezbytné analýzy a testy, aby byla zajištěna bezpečnost a udržitelnost procesu. Je důležité správně separovat důlní kal a zohledňovat environmentální a zdravotní ohrožení spojená s jeho využitím. Regulace a normy týkající se nakládání s důlními kaly se liší podle země a druhu těžby.



## 7 Diskuse

Pro těžařský průmysl představují důlní vody závažný problém, protože jejich odstranění není snadné. Tyto vody představují nepřírozenou zátěž pro životní prostředí v oblastech postižených těžbou a vytvářejí komplikace a finanční náklady jak při samotné dobývací činnosti, tak i během fáze uzavírání dolů. Během průběhu těžby způsobují obtíže a náklady spojené s čerpáním a vyčištěním. Tento problém přetrvává i po ukončení těžby, kdy náklady na manipulaci s odvodněnými doly přesahují příjmy z původní těžby surovin. Situace v případě uranových dolů je poněkud příznivější, protože koncentrace uranu v důlních vodách některých lokalit může umožnit jejich průmyslové využití v rámci postupu čištění důlních vod za účelem získání uranu. Důlní vody, které se hromadí v hlubších částech prázdných dolů, mají vysoký potenciál stát se významným zdrojem uranu díky velkým koncentracím rozpuštěného uranu a velkým objemům vody.

Nicméně jejich využití je omezeno převážně ekonomickými faktory a částečně technickou náročností těžebních operací, a to včetně potřeb vybudování infrastruktury pro technická a technologická zařízení. Důlní vody nabízejí potenciální možnosti využití pro různé účely, jako je využití důlních vod jako zdroje pitné vody nebo užitkové vody pro balneologické účely, využití jako energetický zdroj, pro dodatečnou závlahu nebo zadržení vody v krajině a dotaci podzemních vod. Některé z těchto zdrojů mohou být užitečné například při zasněžování lyžařských areálů nebo při řešení požární ochrany. Dokonce i samotné vypouštění vyčištěné důlní vody do vodního toku může mít svůj účel, protože zvyšuje minimální průtoky a dopomáhá ke snížení jejich rozkolísanosti. Vhodnost konkrétního zdroje pro specifické využití závisí na různých kvalitativních a kvantitativních parametrech. Tyto parametry jsou často stanoveny legislativními předpisy a normami.

Hlavním faktorem je poloha a dostupnost zamýšleného zdroje. Hlavním vlivem na základě záměru bude skutečnost, zda zdroj přístupný pomocí komunikací, jaké jsou terénní podmínky a zda existuje přístup k energetické síti. Také poptávka po vodě souvisí s umístěním. Mnoho spravovaných lokalit se nachází v oblastech s nízkou hustotou obyvatelstva. V případech, kdy jsou důlní vody odčerpávány z ložiska, je důležité brát v úvahu omezení čerpání v čase. Po zatopení důlních prostor a průběžném odvodňování dochází k postupnému snižování koncentrace kontaminantů. Jakmile dosáhnou důlní vody přijatelné kvality, přestává být čerpání a následné čištění nezbytné. Důležité je také vlastnictví pozemků v dané lokalitě a možné střety zájmů. Všechny uvedené faktory sdílejí společný jmenovatel, a tím je ekonomika, tj. náklady s realizací konkrétních záměrů využití důlních vod.

Využívání důlních vod by nemělo být vnímáno pouze jako možný negativní vliv na životní prostředí, ale také jako opatření ke zmírnění negativních dopadů sucha. Při hledání a zkoumání nových zdrojů vody je možné již ve fázi průzkumu zvážit existenci potenciálně využitelných objemů důlních vod. To znamená, že vnímání problematiky nakládání s důlními vodami nelze jednoznačně považovat pouze za negativní, ale spíše ho lze považovat za zdroj, který má potenciál k pozitivnímu využití v rámci udržitelného hospodaření s vodními zdroji.

Důlní kal, který je vedlejším produktem těžby nerostných surovin, může být využit několika způsoby. Hlavní využití důlního kalu závisí na jeho složení, množství a místních podmínkách. Je důležité poznamenat, že využití důlního kalu závisí na jeho konkrétních vlastnostech a na regulacích a normách platných v dané oblasti. Důlní kal může obsahovat různé látky, včetně těžkých kovů a chemických látek, které mohou mít negativní dopady na životní prostředí a lidské zdraví, a proto je důležité zajistit jeho bezpečné a ekologické využití. Jedním z cílů diplomové práce bylo zaměřit se na důlní kal ne jenom jako na důlní odpad, který je vyvážen jako sanační materiál do propadlin Schnödova pně, ale podrobit ho chemické analýze, zda bude, či nebude obsahovat zdroj kritických surovin.

## 8 Závěr

Hornoslavkovský region je známý svou hornickou tradicí a rozsáhlými důlními oblastmi, které formovaly krajinu už v minulosti a které stále ovlivňují její současný charakter. Různorodost geologických útvarů má přímý dopad na hydrogeologické podmínky. Složení hornin přispívá k neustálému obohacování důlních vod, což vede k vysoké koncentraci minerálních látek a zejména těžkých kovů. V současné době je zvětrávání hornin převládajícím zdrojem lokální kontaminace arsenem. Během éry rozsáhlé těžby uranu a vzácných kovů v České republice se výrazně zanedbávala ochrana životního prostředí a zajištění bezpečnosti obyvatelstva. Nicméně došlo k významnému posunu v charakteru uranových aktivit. I přes mnoho kritických pohledů na těžbu a přidružené činnosti, které v minulosti hrály klíčovou roli v naší zemi, je nutno podotknout, že tato oblast dosáhla vysokého standardu ochrany životního prostředí a udržitelného života. V dnešní době jsou dopady na životní prostředí prioritou nejen v České republice, ale i po celém světě. Lze předpokládat, že i v budoucnosti budou kladeny přísné požadavky na udržitelnost životního prostředí a existence na Zemi a že tyto požadavky budou dodržovány a přísně monitorovány. Cílem diplomové práce bylo analyzovat historii uranového hornictví, proces těžby uranu a cíno-wolframových rud, a problematiku spojenou s důlními vodami na základě dostupných literárních pramenů. Práce obsahuje detailní popis současného stavu Čistírny důlních vod Horní Slavkov, která spadá pod správu státního podniku DIAMO. Zvláštní pozornost byla věnována technologiím čištění. Během osobní návštěvy provozu byly získány poznatky, ohledně jeho fungování a náročnými procesy čištění, přičemž byla pořízena fotodokumentace, která je začleněna do textu diplomové práce. Ve výsledné evaluaci provozu ČDV bylo prokázáno, že tato čistírna splňuje přísná kritéria v oblasti ochrany životního prostředí. Práce je dále zaměřena na to, jak využít důlní vodu, jejíž využití má široké spektrum, které bylo popsáno v této diplomové práci. Prioritou bylo zaměření na využití, na to, zda tento zdroj vody bude vhodný jako voda pitná a v konečné fázi navržení vhodné technologie na úpravu důlní vody na vodu pitnou. Toto blokové schéma je součástí diplomové práce v příloze č. 2 a 3. Práce byla zaměřena i na důlní kaly, který vznikají jako vedlejší produkt při těžbě nerostných surovin, a mohou být využity různými způsoby. Hlavní forma využití důlního kalu je podmíněna jeho složením, objemem a specifickými lokálními podmínkami a tím, zda obsahuje zdroj kriticky ohrožených surovin. Výsledné hodnoty kalu jsou zpracovány v protokolu v příloze č. 4. To, zda a jak důlní voda a důlní kal najde svoje uplatnění, závisí na mnoha faktorech, ale teď lze s jistotou říci, že své uplatnění má.

## 9 Přehled literatury a použitých zdrojů

- Adams, R., Younger, P. L., 2001. A strategy for modeling ground water rebound in abandoned deep mine systems. *Ground Water* 39 (2), 249–261.
- Akazabaa T. M., Jamieson H. E., Jorgenson N., Nyame K., 2009: The combined impact of mine drainage in the Ankobra River Basin, SW Ghana. *Mine Water Environ.* 28, 50–64.
- Albert, H. A., Li, X., Jeyakumar, P., Wei, L., Huang, L., Huang, Q., Kamran, M., Shaheen, S. M., Hou, D., Rinklebe, J., Liu, Z., Wang, H., 2021. Influence of biochar and soil properties on soil and plant tissue concentrations of Cd and Pb: a meta-analysis. *Sci. Total Environ.* 755, 142582.
- Álvarez, R., Ordóñez, A., García, R., Loredo, J., 2018. An estimation of water resources in flooded, connected underground mines. *Eng. Geol.* 232 (November 2017), 114–122.
- Anjali, R., Krishnakumar, S., Thivya, C., Kasilingam, K., Suresh Gandhi, M., Selvakumar, S., Satheesh Herbert Singh, D., Magesh, N. S., 2023. Assessment of mine water quality for domestic and irrigation purposes, Neyveli coal mine region, Southern India. *Total Environ. Res. Themes* 6, 100047.
- Arefieva, O., Shapkin, N., Gruschakova, N., Prokuda, N., 2016. Mine water: chemical composition and treatment. *Water Pract. Technol.* 11, 540–546.
- Banwart, S. A., Malmstrom, M. E., 2001. Hydrochemical modelling for preliminary assessment of minewater pollution. *J. Geochem. Explor.* 74, 73–97.
- Beran P., 1992: Mineralogie ložiska Vysoký kámen u Krásna, Okresní muzeum v Sokolově.
- Beran P., 1999: Mineralogie cíno-wolframových ložisek Slavkovského lesa, Okresní muzeum a knihovna Sokolov.
- Beran P., 1999: Nerosty cíno-wolframových ložisek Slavkovského lesa. Sokolov: Okresní muzeum a knihovna Sokolov, 286 s.
- Beran P., Beranová V., 1995: Geologie vlastního ložiska Krásna a ložisek Sn-W rud v oblasti, in Závěrečná likvidační zpráva závodu Stannum, Rudné doly, s. p., Příbram, Geofond Praha.
- Beran P., et al., 2001: Královské město Horní Slavkov. Vydavatelství město Horní Slavkov ve spolupráci s Okresním muzeem Sokolov, 415 s.

- Beran P., Jangl L., Majer J., Souček P., Otfried W., 1996: 1000 let hornictví cínu ve Slavkovském lese. Ilustroval Prokop V., Okresní muzeum Sokolov, 194 s.
- Bican R., 2022: DIAMO, státní podnik, odštěpný závod, Správa uranových ložisek, Příbram. Zpráva o výsledcích monitoringu a stavu životního prostředí, o. z. SUL za rok 2022, 151 s.
- Bican, R., 2021: DIAMO, státní podnik, odštěpný závod, Správa uranových ložisek, Dokument systému managementu organizace, provádění služeb k zajištění monitorování podle programu monitorování, A) monitorování veličin, parametrů a skutečností důležitých z hlediska radiační ochrany, vydání č. 10., 76 s. SI-SUL-22-01-01-01.
- Bratrych V., 2005: Živel voda: člověk, příroda, technika, životní prostředí. Vydavatelství Koniklec, Praha, 239 s. ISBN 80-90-2606-5-7.
- Cílek V., Korba M., Majer M., 2015: Podzemní Čechy, vydalo nakladatelství Eminent, Praha, 343 s., ISBN 978-80-7281-497-8.
- Cravotta, C. A., 2010. Abandoned mine drainage in the Swatara Creek Basin, Southern Anthracite Coalfield, Pennsylvania, USA: 2. performance of treatment systems. *Mine Water Environ.* 29 (3), 200–216.
- Černík M. et al., 2008: Geochemie a remediací důlních vod. Vydavatelství Aquatest, Praha, 252 s. ISBN: 978-80-254-2921-1.
- da Silva, F. S., Blanco, C. J. C., 2023. Influence of climate change and population growth on Amazon Metropolis water supply. *Urban Clim.* 49, 101538.
- Debiec, K., 2021. Drought in the Czech Republic: The Political, Economic and Social Consequences. OSW Report 2021-07-09.
- Doušová B., Bůžek F., 2016: Chemie životního prostředí. Vydavatelství VŠCHT, Praha, 95 s. ISBN 978-80-7080-989-2.
- Drobniewski M., Witthaus H., 2017: Monitoring of mine water. In: *Mine Water and Circular Economy. IMWA Report*, pp. 88–93.
- Fleming C., Morrison K., Robbs L., Reynolds J., Wright I. A., 2021: 14. month water quality investigation of coal mine discharge on two rivers in NSW, Australia: implications for environmental regulation. *Water Air Soil Pollut.* 232, 90.
- Fonjong, L., Zama, R. N., 2023. Climate change, water availability, and the burden of rural women's triple role in Muyuka, Cameroon. *Glob. Environ. Change* 82, 102709.



- Galvan, L., Olias, M., Ceron, J. C., Fernandez de Villaran, R., 2021. Inputs and fate of contaminants in a reservoir with circumneutral water affected by acid mine drainage. *Sci. Total Environ.* 762, 143614.
- Gandy, C. J., Younger, P. L., 2007. Predicting groundwater rebound in the South Yorkshire Coalfield, UK. *Mine Water Environ.* 26 (2), 70–78.
- Gao, P., Wang, Y., Zhang, Z., Cao, Y., Liu, Z., Zhang, D., 2020. The general methods of mine water treatment in China. *Desalination Water Treat.* 201, 183–205.
- Grmela A. et al., 2012: Důlní vody uranových ložisek předplatformních formací České republiky. Nakladatelství Montanex, a. s., Ostrava, 312 s. ISBN: 978-80-7225-372-2.
- Grmela A., Blažko A., 2004: Důlní vody a jejich začlenění v legislativě České republiky. 43. ročník symposia Hornická Příbram ve vědě a technice. DIAMO, s. p., Stráž p. Ralskem, Příbram.
- Grmela A., Rapantová N., 1999: Kvantitativní a kvalitativní údaje o důlních vodách v České republice – možnosti využití důlních vod a jejich ochrana. Výzkumná zpráva CEZ J 17/98: 273500007, dílčí záměr CEZ č. 4: „Posouzení změn geologických faktorů v oblastech s hornickou činností za rok 1999“. IGS, SS. 1–31. Ostrava.
- He, N., Hu, L., Jiang, C., M, Li., 2022b. Remediation of chromium, zinc, arsenic, lead and antimony contaminated acidic mine soil based on *Phanerochaete chrysosporium* induced phosphate precipitation. *Sci. Total Environ.* 850, 157995.
- Hladný J., Němec J., 2006: Voda v České republice. Vydavatelství Consult, Praha, 280 s. ISBN 978-80-903482-1-1.
- Homola V., Klír S., 1975: Hydrogeologie ČSSR III. Hydrogeologie ložisek nerostných surovin. Vydavatel, Academia Praha, 426 s.
- Hübner P., Mištová E., Parschová H., Matějka Z., 2006: Úprava vody pro průmyslové účely. Vydavatelství VŠCHT, Praha, 132 s. ISBN 80-7080-624-9.
- Chen, B., Yang, S., Cao, Q., Qian, Y., 2020. Life cycle economic assessment of coal chemical wastewater treatment facing the „Zero liquid discharge“ industrial water policies in China: discharge or reuse? *Energy Policy* 137, 111107.
- International Network for Acid Prevention (INAP), 2014. The International Network for Acid Prevention: Global Acid Rock Drainage guide.
- Irshad, M. K., Ibrahim, M., Noman, A., Shang, J., Mahmood, A., Mubashir, M., Khoo, K. S., Ng, H. S., Show, P. L., 2022. Elucidating the impact of

- goethitemodified biochar on arsenic mobility, bioaccumulation in paddy rice (*Oryza sativa* L.) along with soil enzyme activities. *Process Saf. Environ. Prot.* 160, 958–967.
- Isosaari, P., Sillanpää, M., 2010. Electromigration of arsenic and co-existing metals in mine tailings. *Chemosphere* 81, 1155–1158.
  - Jayaprakash M., Giridharan L., Venugopal T., Krishna Kumar S. P., 2008: Characterization and evaluation on the factors affecting the geochemistry of groundwater in Neyveli, Tamil Nadu, India. *Environ. Geol.* 54 (4), 855–867.
  - Jeevanandam M., Kannan R., Srinivasalu S., Rammohan V., 2007: Hydrogeochemistry and groundwater quality assessment of lower the Ponnaiyar River Basin, Cuddalore District, South India. *Environ. Monit. Assess.* 132 (1–3), 263–274.
  - Jiskra J., 2010: *Velká kniha hornictví Karlovarského kraje*, Svatava: Jan Bodrov, Tiskárna a studio OKO, 351 s.
  - Jiskra, J., 1996: *Odvodňování dolů dědičnými štolami s ohledem na horní práva na Sokolovsku i jinde*. Vyd. 2., Sokolov: Historia, 154 s. ISBN 80-238-2643-3.
  - Johnson, D. B., Hallberg, K. B., 2005. Acid mine drainage remediation options: a review. *Sci. Total Environ.* 338 (1–2), 3–14.
  - Johnston D., Potter H., Jones C., Rolley S., Watson Lan P. J., 2008: *Abandoned Mines and the Water Environment*. Environment Agency, the Scottish Environment Protection Agency (SEPA) and the Coal Authority. Science Report, England.
  - Kennedy, J., Dean, J., Okeme, I., Sapsford, D., 2023. An assessment of the efficacy of sodium carbonate for semi-passive treatment of circumneutral zinc-bearing mine waters. *J. Water Process Eng.* 53, 103764.
  - Kim J., Kim S., 2004: Seasonal factors controlling mineral precipitation in the acid mine drainage at Donghae coal mine. Korea. *Sci. Total Environ.* 325 (1–3), 181–191.
  - Krásný J., 2008: *Podzemní vody hydrogeologického masivu: jejich význam ve vodním hospodářství a v dalších aplikovaných oborech*. *Vodní hospodářství*, ISSN 1211-0760, Roč. 58, č. 7, s. 232 a 235–240.
  - Krishna Kumar S., Bharani R., Magesh N. S., Godson P. S., Chandrasekar N., 2014: Hydrogeochemistry and groundwater quality appraisal of part of south

Chennai coastal aquifers, Tamil Nadu, India using WQI and fuzzy logic method. *Appl. Water Sci.* 4 (4), 341–350.

- Kukul Z., Reichmann F., 2000: Horninové prostředí České republiky, jeho stav a ochrana, vydal: Český geologický ústav, Praha, 192 s., ISBN 80-7075-413-00.
- Li M. S., 2006: Ecological restoration of mineland with particular reference to the metalliferous mine wasteland in China: a review of research and practice. *Sci. Total Environ.* 357, 38–53.
- Liu, J., Peng, Y., Li, C., Gao, Z., Chen, S., 2021. Characterization of the hydrochemistry of water resources of the Weibei plain, northern China, as well as an assessment of the risk of high groundwater nitrate levels to human health. *Environ. Pollut.* 268, 115947.
- Lottermoser, B. G., 2010. Mine wastes: characterization, Treatment and Environmental Impacts, 3rd ed. Springer, Heidelberg; New York.
- Luís, A. T., Teixeira, P., Almeida, S. F. P., Matos, J. X., Da Silva, E. F., 2011. Environmental impact of mining activities in the Lousal area (Portugal): chemical and diatom characterization of metal-contaminated stream sediments and surface water of Corona stream. *Sci. Total Environ.* 409 (20), 4312–4325.
- Macías, F., Perez-Lopez, R., Caraballo, M. A., Canovas, C. R., Nieto, J. M., 2017. Management strategies and valorization for waste sludge from active treatment of extremely metal-polluted acid mine drainage: a contribution for sustainable mining. *J. Clean. Prod.* 141, 1057, 1066.
- MacLeod, G., 2010. Innovative Uses of Lidar Technology to Assist in the Remediation of Former Coal Mine Sites. International Mine Water Association, pp. 433–436.
- Mach Z., Korbek P., 1990: Sekundární minerály z Huberova pně u Krásna. In: Příroda Karlovarska I., Karlova Vary: Karlovarské Muzeum, 43 s.
- Majer J., 1970: Dějiny dolování cínu ve Slavkovském lese. Praha: Národní technické muzeum, Praha, s. 82–91.
- Miller A., Zégré N., 2014: Mountaintop removal mining and catchment hydrology. *Water* 6, 472–499.
- Mummey D. L., Stahl P. D., Buyer J. S., 2002: Soil microbiological properties 20 years after surface mine reclamation: spatial analysis of reclaimed and undisturbed sites. *Soil Biol. Biochem.* 34, 1717–1725.

- Nordstrom D. K., 2007: Effects of seasonal and climatic change on water quality from acid rock drainage in the western United States. In: IMWA Symposium 2007: Water in Mining Environments, pp. 11–16. Cagliari, Italy.
- Nordstrom D. K., 2011: Mine waters acidic to circumneutral. *Elements* 7 (6), 393–398.
- Nordstrom, D. K., Blowes, D. W., Ptacek, C. J., 2015. Hydrogeochemistry and microbiology of mine drainage: an update. *Appl. Geochem.* 57, 3–16.
- Novák I., 1992: Sanace ploch odkališť – Souhrnná zpráva o vodohospodářských poměrech, PIN projekce Praha, Praha 31 s. („nepublikováno“). Dep.: Podnikový archiv DIAMO, 14 RD, 600, KV 130–4.
- Ojonimi, T. I., Asuke, F., Onimisi, M. A., Onuh, C. Y., 2019. Acid mine drainage (AMD): an environmental concern generated by coal mining. *J. Degrad. Min. Lands Manag.* 6 (4), 1875–1881.
- Opitz, J., Bauer, M., Alte, M., Peiffer, S., 2023. Development of a novel sizing approach for passive mine water treatment systems based on ferric iron sedimentation kinetics. *Water Res.* 233, 119770.
- Pan, Y., Gao, S. H., Ge, C., Gao, Q., Huang, S., Kang, Y., Luo, G., Zhang, Z., Fan, L., Zhu, Y., Wang, A. J., 2023. Removing microplastics from aquatic environments: a critical review. *Environ. Sci. Ecotechnol.* 13, 100222.
- Podracký V., 2010: Horní Slavkov, váš původce městem, 1. vydání., Horní Slavkov: Město Horní Slavkov, 71 s.
- Polak, K., Rózkowski, K., Czaja, P., 2016. Causes and effects of uncontrolled water inrush into a decommissioned mine shaft. *Mine Water Environ.* 35, 128–135.
- Prokop V., Smola L., 2014: Sokolovsko. Vydavatelství Národní památkový ústav odborné pracoviště Loket, Sokolov, 469 s. ISBN 978-80-904960-1.
- Přibil, M. a kol., 2017: Vodní kanály a přivaděče pro montánní účely v České republice. IN: Význam historických hornických kanálů pro vodní hospodářství, přírodu a turistiku na příkladu měst Horní Slavkov a Ehrenfriedersdorf. Eds: Pavel Beran, František Titl., Horní Slavkov: Město Horní Slavkov, 2017. Str. 80–107. ISBN 978-80-906965-0-1.
- Pyankov S. V., Maximovich N. G., Khayrulina E. A., Berezina O. A., Shikhov A. N., Abdullin R. K., 2021: Monitoring acid mine Drainages effects on surface water in the Kizel coal basin with Sentinel – 2 satellite images Monitoreode los efectos del drenaje ácido de las satélite Sentinel – 2Monitoring der Auswirkung saurer Grubenwasser auf Oberflächengewasser im Kizel

Kohlerevier mittels Sentinel-2 Satellitenbildern, *Aznalcollar. Mine Water Environ.* 40 (3), 606–621.

- Qin, G., Niu, Z., Yu, J., Li, Z., Ma, J., Xiang, P., 2021. Soil heavy metal pollution and food safety in China: Effects, sources and removing technology. *Chemosphere* 267, 129205.
- Qu S., Shi Z. M., Liang X. Y., Wang G. C., Jin X. M., 2021: Origin and controlling factors of groundwater chemistry and quality in the Zhiluo aquifer system of northern Ordos Basin China. *Environ. Earth Sci.* 80, 439.
- Qu, S., Shi, Z. M., Liang, X. Y., Wang, G. C., Jin, X. M., 2021b. Origin and controlling factors of groundwater chemistry and quality in the Zhiluo aquifer system of northern Ordos Basin China. *Environ. Earth Sci.* 80, 439.
- Rakotonimaro, T. V., Neculita, C. M., Bussiere, B., Benzaazoua, M., Zagury, G. J., 2017. Recovery and reuse of sludge from active and passive treatment of mine drainage-impacted waters: a review. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 24, 73e91.
- Ramani R. V., 2012: Surface mining technology. *Progress and Prospects. Procedia Eng.* 46, 9–21.
- Ramani R. V., 2012: Surface mining technology. *Progress and Prospects. Procedia Eng.* 46, 9–21.
- Ran, H., Guo, Z., Yi, L., Xiao, X., Zhang, L., Hu, Z., Li, C., Zhang, Y., 2021. Pollution characteristics and source identification of soil metal(loid)s at an abandoned arsenic-containing mine, China. *J. Hazard. Mater.* 413, 125382.
- Reddy, B. S., Maurya, A. K., Ve, S., Narayana, P. L., Reddy, M. H., Baazeem, A., Cho, K. K., Reddy, N. S., 2021. Prediction of batch sorption of barium and strontium from saline water. *Environ. Res.* 197, 111107.
- Rojík P., 2000: Historie cínového hornictví v západním Krušnohoří, Sokolov: Muzeum Sokolov, s. 57–58.
- Rojík P., 2015: Geologie a nerostné zdroje Karlovarského kraje. Karlovy Vary: Karlovarský kraj, 195 s.
- Rooney R. C., Bayley S. E., Schindler D. W., 2012a: Oil sands mining and reclamation cause massive loss of peatland and stored carbon. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 109, 4933–4937.
- Rooney R. C., Bayley S. E., Schindler D. W., 2012b: Oil sands mining and reclamation cause massive loss of peatland and stored carbon. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 109, 4933–4937.



- Rugel K., Golladay S. W., Jackson R., Rasmussen T. C., 2016: Delineating groundwater/surface Water interaction in a karrst watershed: Lower Flint River Basin, southwestern Georgia, USA. *J. Hydrol: Regional Stud.* 5, 1–19.
- Salehi, M., 2022. Global water shortage and potable water safety; Today's concern and tomorrow's crisis. *Environ. Int.* 158, 106936.
- Sejkora J., Beran P., 2009: Minerály Sn-W revíru Krásno u Horního Slavkova. In: *Minerál Speciál 2008*. České Budějovice: Jihočeský mineralogický klub, 2009. s. 21–59.
- Skousen, J. G., Ziemkiewicz, P. F., McDonald, L. M., 2019. Acid mine drainage formation, control and treatment: approaches and strategies. *Extr. Ind. Soc.* 6 (1), 241–249.
- Soroko, K., Zgrzebski, P., Stach, R., Gola, S., 2020. Improving underground mine climate conditions using ventilation dams to seal abandoned areas in Polish copper mines. *CIM J.* 11 (3).
- Souček P., 1994: Historická báňská díla vzniklá po těžbě cínové rudy v oblasti Čistá u Krásna nad Teplou a jejich hornicko-geologický význam, Okresní muzeum Sokolov.
- Soukup, R., 2021: DIAMO, státní podnik, odštěpný závod, Správa uranových ložisek, Dokument systému managementu organizace, manipulační a provozní řád pro čistírnu důlních vod, Horní Slavkov, vydání č. 4., 28 s. SI-SUL-09-02-01-12.
- Štefka, M., 2020: Potenciální ekologické, rekultivační a technologické vlastnosti těžebních odpadů po těžbě Li rud z odkališť v Horním Slavkově. Česká zemědělská univerzita, Fakulta životního prostředí, Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování, Praha 145 s. (diplomová práce). „nepublikováno“. Dep. SIC ČZU v Praze.
- Teng, Y., Zuo, R., Xiong, Y., Wu, J., Zhai, Y., Su, J., 2019. Risk assessment framework for nitrate contamination in groundwater for regional management. *Sci. Total Environ.* 697, 134102.
- Tomíček R., 2000: Těžba uranu v Horním Slavkově. Vydavatelství Okresní muzeum Sokolov, 294 s.
- Tomíček R., 2018: Historie dolu Vilém v Krásnu 1916–1921., 3. vydání Sokolov: Muzeum Sokolov, 30 s.
- Tomíček R., 2018: Historie dolu Vilém v Krásnu 1920–1945., 1. vydání, Sokolov: Muzeum Sokolov, 58 s., ISBN 978-80-86630-38-0.
- Tomiyama, S., Igarashi, T., 2022. The potential threat of mine drainage to groundwater resources. *Curr. Opin. Environ. Sci. Health* 27, 100347.

- Tvrdý J., 2009: Současný stav a sběratelské možnosti v oblasti Horního Slavkova – Krásna. In: Minerál Speciál 2008. České Budějovice: Jihočeský mineralogický klub, 76 s.
- Tvrdý J., Beran P., 2009: Geologické a ložiskové poměry oblasti Krásno – Horní Slavkov. In: Minerál Speciál 2008. České Budějovice: Jihočeský mineralogický klub, 2009. s. 3–4.
- Velfl J., Cílek V., Doležalová P., Fischer D., Hlaváček R., Karda M., Keřka J., Malíček J., Muláček R., Rohovec J., Sedláček O., Staněk V., Škácha P., Škvor K., Trantina V., Trunečková L., 2022: Uranová Příbram, nakladatelství Dokořán, Praha, 382 s., ISBN 978-80-7675-067-8.
- Veselý J., 1988: Stavba a význam jednotlivých žilných uzlů uranového ložiska Horní Slavkov, Sbor. Geol. Věd, Ložisk. Geol., Mineral., sv. 28, Praha.
- Wieser S., Wieserová L., 2006: Průvodce po České republice, Slavkovský les. Vydavatelství Olympia, Praha, 122 s. ISBN 80-860-2022-2.
- Wlosok, J., Vostarek, P., 2020. Využitelnost důlních vod ve správě státního podniku DIAMO pro účely snižování negativních následků sucha. Uhlí, Rudy, Geologický Průzkum, 2–6.
- Wolkersdorfer, Ch., 2008: Water Management at Abandoned Flooded Underground Mines Fundamentals, Tracer Tests, Modelling, Water Treatment. Berlin, Heidelberg: Springer, 2008. 465 stran. ISBN: 978-3-642-43074-9.
- Xiang, M., Li, Y., Yang, J., Lei, K., Li, Y., Li, F., Zheng, D., Fang, X., Cao, Y., 2021. Heavy metal contamination risk assessment and correlation analysis of heavy metal contents in soil and crops. Environ. Pollut. 278, 116911.
- Xiao, Y., Hao, Q., Zhang, Y., Zhu, Y., Yin, S., Qin, L., Li, X., 2021. Investigating sources, driving forces and potential health risks of nitrate and fluoride in groundwater of a typical alluvial fan plain. Sci. Total Environ. 802, 149909.
- Yang, L., Wei, T., Li, S., Lv, Y., Miki, T., Yang, L., Nagasaka, T., 2021. Immobilization persistence of Cu, Cr, Pb, Zn ions by the addition of steel slag in acidic contaminated mine soil. J. Hazard, Mater. 412, 125176.
- Younger P. L., Banwart S.A., Hedin R. S., 2002: Mine Water: Hydrology, Pollution, Remediation. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 464 pp.
- Zelenka J., Živor R., 2019: Hornické památky České republiky, 1. vydání., Praha: Nakladatelství Academia, 659 s.
- Zeman J., 1997: Zhodnocení trendů změn složení vod vytékajících ze zatopeného dolu Olší a následných změn v napájených vodotečích. MS.

Ústav geologických věd, Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita, Brno. 65. stran. MS.

- Zeman J., Kopřiva A., 2002: Geochemický vývoj vod po uzavření a zatopení dolů. *Geochémia* 2002, Bratislava, s. 79–83.
- Zeman J., Kopřiva A., Jež J., 2004: Vyhodnocení dlouhodobých a sezónních trendů na příkladech přirozeného vývoje chemického složení důlních vod po zatopení dolů. In: *Zpracování a interpretace dat z průzkumných a sanačních prací*. Chrudim: Vodní zdroje Ekomonitor spol. s r. o., ISBN 80-86832-06-6.
- Zeman Z., 1998: Československý uran a únor 1948, *Soudobé dějiny* 5, Praha 1998.
- Zhang Z., Li G., Su X., Zhuang X., Wang L., Fu H., Li L., 2021: Geochemical controls on the enrichment of fluoride in the mine Water of the shendong mining area China. *Chemosphere* 284, 131–388.
- Zhang, Z., Li, G., Su, X., Zhuang, X., Wang, L., Fu, H., Li, L., 2021b: Geochemical controls on the enrichment of fluoride in the mine water of the shendong mining area China. *Chemosphere* 284, 131388.
- Zinck, J., Griffith, W., 2013: Review of Mine Drainage Treatment and Sludge Management Operations. MEND Report 3.43.1. Mining Association of Canada, Ottawa.

## 10 Legislativní zdroje

- Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), v platném znění.
- Zákon č. 44/1988 Sb., o ochraně a využití nerostného bohatství (horní zákon), v platném znění.
- Zákon ČNR č. 61/1988., o hornické činnosti, výbušninách a o státní báňské správě, ve znění zákona ČNR č. 542/1991 Sb.

## 11 Seznam obrázků

<b>Obrázek 1:</b> Schéma interakcí (Grmela et al. 2012).....	18
<b>Obrázek 2:</b> Schéma vývoje, těžené ložisko (Zeman, 1997).....	22
<b>Obrázek 3:</b> Schéma vývoje, zatopené ložisko (Zeman, 1997).....	23
<b>Obrázek 4:</b> Ukázka následků těžby, Huberův peň (Kurtík, 2023). ....	27
<b>Obrázek 5:</b> Odkaliště Stannum (Kurtík, 2023).....	28
<b>Obrázek 6:</b> Odkaliště s hnízdištěm břehulí (Beran, 1997). ....	29
<b>Obrázek 7:</b> ČDV Horní Slavkov (Kurtík, 2023). ....	30
<b>Obrázek 8:</b> Kal z vyčištěných důlních vod (Kurtík, 2023).....	33
<b>Obrázek 9:</b> Směs kalu ve štolě Barbora (Kurtík, 2023).....	34
<b>Obrázek 10:</b> Ukládání kalu, Schnödův peň (Kurtík, 2023). ....	35
<b>Obrázek 11:</b> Zájmové území Horní Slavkov (Kurtík, 2023).....	36
<b>Obrázek 12:</b> Znak města Horní Slavkov (Prokop et Smola, 2014).....	37
<b>Obrázek 13:</b> Pinka Schnödova pně (Tauchmanová, 1988). ....	40
<b>Obrázek 14:</b> Huberův peň (Kurtík, 2023).....	41
<b>Obrázek 15:</b> Výstavba nového závodu Stannum (Petřík, 1975). ....	42
<b>Obrázek 16:</b> Areál dolu Stannum (Petřík, 1993).....	45
<b>Obrázek 17:</b> Odkaliště Horní Slavkov (Kurtík, 2023). ....	46
<b>Obrázek 18:</b> Jáma Huber, uzavřena železobetonovou deskou (Kurtík, 2023). ....	47
<b>Obrázek 19:</b> Důl Krásno (Kurtík, 2023). ....	47
<b>Obrázek 20:</b> Nová větrací jáma, důl Krásno (Kurtík, 2023).....	48
<b>Obrázek 21:</b> Nová větrací jáma, důl Krásno (Kurtík, 2023).....	48
<b>Obrázek 22:</b> Odvodňovací štola Barbora (Kurtík, 2023). ....	50
<b>Obrázek 23:</b> Společná odvodňovací štola Barbora (Kurtík, 2023). ....	51
<b>Obrázek 24:</b> Ústí dědičné štoly Kašpara Pluha (Kurtík, 2023). ....	52
<b>Obrázek 25:</b> Odkaliště Horní Slavkov (Kurtík, 2023). ....	54
<b>Obrázek 26:</b> Dočišťovací nádrž (Kurtík, 2023).....	55
<b>Obrázek 27:</b> Odkalištní vody z dočišťovací nádrže (Kurtík, 2023). ....	55
<b>Obrázek 28:</b> Odkaliště Horní Slavkov a jeho soustava (Novák, 1992).....	56
<b>Obrázek 29:</b> Jáma Barbora (Pavelka, 2019). ....	57
<b>Obrázek 30:</b> Štola č. 13, Nadlesí (Kurtík, 2023). ....	58
<b>Obrázek 31:</b> ČDV Horní Slavkov (Kurtík, 2023).....	59
<b>Obrázek 32:</b> Odvodňovací štola Barbora (Kurtík, 2023). ....	60
<b>Obrázek 33:</b> Aerační nádrže (Kurtík, 2023).....	61
<b>Obrázek 34:</b> Parshallův žlab (Kurtík, 2023). ....	62
<b>Obrázek 35:</b> Zahušťovací nádrže (Kurtík, 2023).....	63

<b>Obrázek 36:</b> Komorový filtrační kalolis KK 800/80 (Kurtík, 2023). .....	63
<b>Obrázek 37:</b> Vstup na ČDV, ID-055, odběrný kohout (Kurtík, 2023).....	66
<b>Obrázek 38:</b> Výstup z ČDV, ID-017, Parshallův žlab (Kurtík, 2023).....	67
<b>Obrázek 39:</b> Vstup na ČDV, ID-055, odběrný kohout (Kurtík, 2023).....	68
<b>Obrázek 40:</b> Výstup z ČDV, ID-017, Parshallův žlab (Kurtík, 2023).....	69
<b>Obrázek 41:</b> Příprava vzorku (Kurtík, 2023). .....	71
<b>Obrázek 42:</b> Příprava vzorku (Kurtík, 2023). .....	72
<b>Obrázek 43:</b> Příprava vzorku, sušení (Kurtík, 2023).....	72
<b>Obrázek 44:</b> Odběr vzorku vody (Kurtík, 2023). .....	76
<b>Obrázek 45:</b> Technologie na úpravu důlní vody (Kurtík, 2023). .....	76
<b>Obrázek 46:</b> Odebírání vzorku kalu (Kurtík, 2023). .....	78
<b>Obrázek 47:</b> Vzorek odebraného kalu (Kurtík, 2023).....	78
<b>Obrázek 48:</b> Vzorek kalu před sušením (Kurtík, 2023). .....	79
<b>Obrázek 49:</b> Sušení vzorku kalu (Kurtík, 2023). .....	79
<b>Obrázek 50:</b> Vysušený vzorek kalu (Kurtík, 2023).....	79
<b>Obrázek 51:</b> Achátová miska se vzorkem kalu (Kurtík, 2023).....	80
<b>Obrázek 52:</b> Laboratorní pec, první zleva (Kurtík, 2023). .....	80
<b>Obrázek 53:</b> Vážení vzorku (Kurtík, 2023).....	81
<b>Obrázek 54:</b> Vylisovaná tableta (Kurtík, 2023). .....	81
<b>Obrázek 55:</b> Tableta připravená na měření (Kurtík, 2023).....	82
<b>Obrázek 56:</b> Měření vzorku, XRF spektrometr (Kurtík, 2023).....	82
<b>Obrázek 57:</b> Vlnově disperzní XRF spektrometr (Kurtík, 2023). .....	83
<b>Obrázek 58:</b> Protokol – výsledné hodnoty důlního kalu (Kurtík, 2023).....	83






## 12 Seznam tabulek

<b>Tabulka 1:</b> Vězeňské tábory v Horním Slavkově.....	38
<b>Tabulka 2:</b> Emisní limity stanovené vodoprávním úřadem .....	65
<b>Tabulka 3:</b> Hodnoty na ČDV, vstup a výstup.....	66
<b>Tabulka 4:</b> Hodnoty na ČDV, vstup a výstup.....	67
<b>Tabulka 5:</b> Hodnoty na ČDV, vstup a výstup.....	68
<b>Tabulka 6:</b> Hodnoty na ČDV, vstup a výstup.....	69

## 13 Přílohy

<b>Příloha 1:</b> Protokol o zkoušce – 129219/2023 – Technologická voda.....	104
<b>Příloha 2:</b> Technologické schéma na pitnou vodu .....	107
<b>Příloha 3 :</b> Legenda k technologii, popis schématu .....	108
<b>Příloha 4:</b> Protokol – výsledné hodnoty kalu .....	109

**Příloha 1: Protokol o zkoušce – 129219/2023 – Technologická voda**

	<b>Zdravotní ústav se sídlem v Ústí nad Labem</b> Moskevská 1531/15, 400 01 Ústí nad Labem Centrum hygienických laboratoří Jana Čermého 361, 503 41 Hradec Králové Zkušební laboratoř č. 1388 akreditovaná ČIA dle ČSN EN ISO/IEC 17025:2018		
---	--	---	---

**Protokol o zkoušce č. 129219/2023**  
Technologická voda

**Zákazník: Václav Kurtík**  
Dlouhá 650/18  
357 31 Horní Slavkov

Vzorek číslo	: 129219
Objednávka číslo	: 2023/12/07
Termín odběru od- do	: 14.12.2023 8:45 -
Místo odběru	: Horní Slavkov
Upřesnění místa odběru	: ČDV - Horní Slavkov
Matrice	: Technologická voda
Upřesnění matrice	: voda oúlní
Odběr	: zákazník neuvedl
Způsob odběru	: zákazník neuvedl
Datum příjmu	: 7.12.2023 9:20
Analýzy zahájeny dne	: 7.12.2023
Analýzy ukončeny dne	: 19.12.2023

**Rozsah udělené akreditace:**

Chemické, fyzikální, mikrobiologické analýzy vod, potravin, lihovin, peloidů, biologických materiálů, odpadů, azbestu, ovzduší. Senzorické analýzy vod a potravin. Odběry vzorků. Analýzy vyluhů pevných materiálů, stěrů. Testy toxicity. Měření faktorů prostředí, kontrola sterilizátorů a dezinfekčních prostředků. Píňý rozsah je uveden v příloze platného osvědčení o akreditaci vydaného ČIA pro zkušební laboratoř č.1388.

**Prohlášení laboratoře:**

Bez písemného souhlasu laboratoře se nesmí protokol reprodukovat jinak než celý. Výsledky se týkají pouze vzorků, které byly předmětem zkoušení. Jestliže laboratoř není odpovědná za fázi odběru vzorků, výsledky se vztahují ke vzorku, jak byl přijat. Laboratoř nese odpovědnost za správnost údajů dodaných zákazníkem a vztahujících se ke vzorku (identifikace vzorku a objednávky, údaje vztahující se k odběru vzorku). V případě příjmu zkušební položky vykazující odchylky od stanovených podmínek nebo dodání dat zákazníkem mohou být některé výsledky analýz ovlivněny, za což laboratoř nese odpovědnost. Laboratoř na požádání poskytne údaje o použitých metodách a souvisejících předpisech.



Schválil: **Mareš Luděk**  
zástupce vedoucího odd. zákaznického servisu pracoviště Karlovy Vary  
Karlovy Vary, Závodní 94 E-mail: ludek.mares@zuusti.cz tel.: 353 301 340 mobil: 608 536 992



Datum vystavení protokolu: 19.12.2023  
Protokol vyhotovil: Mareš Luděk E-mail: ludek.mares@zuusti.cz tel.: 353 301 340 mobil: 608 536 992

Protokol-P1h-V2-29.6.2023

Strana 1/3

Výsledky zkoušek - chemická vyšetření						
Ukazatel	Hodnota	Jednotka	Nejistota	Limit	Ident. zkoušky	Prac. Ozn.
amonné ionty	<0,05	mg/l	—	max. 0,50 mg/l MH	SOP 071 část B	P12 A
Sb (antimon)	<0,3	µg/l	—	max. 5,0 µg/l NMH	SOP 201	P12 A
As (arzen)	23,2 !	µg/l	15 %	max. 10 µg/l NMH	SOP 201	P12 A
barva	<5	mg/l Pt	—	max. 20 mg/l Pt MH	SOP 071 část F	P12 A
B (bor)	0,023	mg/l	15 %	max. 1,0 mg/l NMH	SOP 201	P12 A
celkový organický uhlík (TOC)	1,2	mg/l	15 %	max. 5,0 mg/l MH	SOP 307	P12 A
dusičnany	<4,0	mg/l	—	max. 50 mg/l NMH	SOP 071 část A	P12 A
dusitany	<0,02	mg/l	—	max. 0,50 mg/l NMH	SOP 071 část A	P12 A
fluoridy	1,19	mg/l	10 %	max. 1,5 mg/l NMH	SOP 003 část A	P12 A
Al (hliník)	<0,005	mg/l	—	max. 0,20 mg/l MH	SOP 201.01 část A	P12 A
Mg (hořčík)	15,7	mg/l	15 %	20 - 30 mg/l DH	SOP 201.01 část A	P12 A
chloridy	30	mg/l	10 %	max. 100 mg/l MH	SOP 071 část E	P12 A
Cr (chrom)	2,4	µg/l	20 %	max. 50 µg/l NMH	SOP 201	P12 A
Cd (kadmium)	<0,20	µg/l	—	max. 5,0 µg/l NMH	SOP 201	P12 A
konduktivita	50,2	mS/m	10 %	max. 125 mS/m MH	SOP 071 část G	P12 A
kyanidy celkové	<0,005	mg/l	—	max. 0,050 mg/l NMH	SOP 022	P12 A
Mn (mangan)	1,26 !	mg/l	15 %	max. 0,050 mg/l MH	SOP 201.01 část A	P12 A
Cu (měď)	32,8	µg/l	15 %	max. 1000 µg/l NMH	SOP 201	P12 A
Ni (nikl)	12,0	µg/l	15 %	max. 20 µg/l NMH	SOP 201	P12 A
Pb (olovo)	2,5	µg/l	20 %	max. 10 µg/l NMH	SOP 201	P12 A
pH	7,9	—	0,2	6,5 - 9,5 MH	SOP 071 část H	P12 A
Hg (rtuť)	<0,2	µg/l	—	max. 1,0 µg/l NMH	SOP 200.03 část A	P12 A
Se (selen)	<2,5	µg/l	—	max. 10 µg/l NMH	SOP 201	P12 A
sírany	79	mg/l	15 %	max. 250 mg/l MH	SOP 071 část D	P12 A
Na (sodík)	14,1	mg/l	15 %	max. 200 mg/l MH	SOP 201.01 část A	P12 A
Ca (vápník)	60,1	mg/l	15 %	40 - 80 mg/l DH	SOP 201.01 část A	P12 A
Ca + Mg (tvrdost) *	2,14	mmol/l	15 %	2,0 - 3,5 mmol/l DH	SOP 201.01 část A	P12 A
žákal	1,15	ZF(n)	10 %	max. 5 ZF(n) MH	SOP 044	P12 A
Fe (železo)	0,88 !	mg/l	15 %	max. 0,20 mg/l MH	SOP 201.01 část A	P12 A

\* Pro přepočítání na "dH (stupeň německý) je potřeba hodnotu tvrdosti vody v mmol/l vynásobit číslem 5,6.

#### Výrok o shodě:

Vzorek v limitovaných ukazatelích vyhovuje příslušné legislativě (zdroj pro vydání výroku o shodě) kromě ukazatelů s hodnotou označenou symbolem „!“

Doporučené hodnoty (typ DH) a mezní hodnoty (typ MH\*) nejsou předmětem výroku o shodě.

Hodnoty označené symbolem „!“ jsou mimo limit stanovený platnou legislativou v těchto ukazatelích:

As (arzen), Fe (železo), Mn (mangan)

Limit (zdroj pro vydání výroku o shodě): Vyhláška č. 252/2004 Sb. ve znění pozdějších předpisů, příloha č. 1

Vyhláška, kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody (výrok o shodě proveden bez zohlednění uvedené nejistoty).

#### Vysvětlivky a zkratky:

A - metoda v rozsahu akreditace

< - pod mezí stanovitelnosti použité metody, SOP - standardní operační postup,

Ozn. - informace o zkoušce, označení zkoušky z hlediska rozsahu akreditace použité metody,

ZÚ - Zdrav.ústav se sídlem v Ústí nad Labem, S - externí dodavatel, Z - uveď zakazník,

Prac. - místo provedení zkoušky nebo pracoviště vzorkaře u zkoušky provedené na místě odběru

NMH - nejvyšší mezní hodnota, MH - hodnocená mezní hodnota,

DH - doporučená hodnota (minimální žádoucí, optimální rozmezí), MH\* - nehodnocená mezní hodnota

ZF(n) - nefelometrická jednotka zákalu

! - hodnoty ukazatelů označené vykřičníkem jsou mimo limit stanovený platnou legislativou.

**Nejistota:** Uvedená nejistota nezahnuje příspěvek nejistoty vyplývající z odběru vzorků a nevztahuje se na výsledky pod mezí stanovitelnosti. Uvedená rozšířená nejistota je součinem standardní nejistoty a koeficientu rozšíření  $k=2$ , což pro normální rozdělení odpovídá pravděpodobnosti pokrytí přibližně 95 %. Pro mikrobiologické ukazatele je nejistota měření vyjádřena jako přibližně 95% konfidenční mez (interval spolehlivosti) vyjadřující variabilitu Poissonova rozdělení.



**Oprávnění laboratoře:** Laboratoř má přiznan flexibilní rozsah akreditace (laboratoř může modifikovat své metody zkoušení, rozšiřovat rozsah zkoušených parametrů a/nebo aplikovat zkoušku na jiný předmět akreditace za předpokladu, že princip měření zůstává zachován).

**Přehled zkušebních metod:**

SOP 003 část A	(ČSN EN ISO 10304-1, ČSN EN ISO 10304-4, ČSN EN ISO 15061)
SOP 022	(ČSN 75 7415)
SOP 044	(ČSN EN ISO 7027-1)
SOP 071 část A	(návod firmy Thermo Fisher Scientific, ČSN ISO 15923-1)
SOP 071 část B	(návod firmy Thermo Fisher Scientific, ČSN ISO 15923-1)
SOP 071 část D	(návod firmy Thermo Fisher Scientific, ČSN ISO 15923-1)
SOP 071 část E	(návod firmy Thermo Fisher Scientific, ČSN ISO 15923-1)
SOP 071 část F	(návod firmy Thermo Fisher Scientific, ČSN ISO 15923-1)
SOP 071 část G	(návod firmy Thermo Fisher Scientific, ČSN ISO 15923-1)
SOP 071 část H	(návod firmy Thermo Fisher Scientific, ČSN ISO 15923-1)
SOP 200.03 část A	(ČSN 75 7440)
SOP 201.01 část A	(ČSN EN ISO 11885, ČSN EN ISO 15587-1, ČSN EN ISO 15587-2, ČSN EN 12457-4)
SOP 201	(ČSN EN ISO 22125-2, EPA Method 200.8, ČSN EN ISO 17294-2)
SOP 307	(ČSN EN 1484; Pitter P.: Hydrochemie. SNTL, Praha 1990. Str. 336.; ČL včetně doplnků: kap. 6.0.2.2.44)

**Místo provedení zkoušky (P, Prac. - pracoviště) :**

P12 - Pracoviště P12 Františka Kloze 2316, 272 01 Kladno










































**Upozornění:** Výrok o shodě v protokolu o zkoušce nenahrazuje rozhodnutí nebo schválení orgánem ochrany veřejného zdraví.

\_\_\_\_\_ Konec výsledkové části protokolu o zkoušce \_\_\_\_\_





### Příloha 3: Legenda k technologii, popis schématu

<b>Čerpadla</b>																										
 Membranové čerpadlo	 Odstředivé čerpadlo	 Vřetenové čerpadlo																								
<b>Nádrže/zásobníky</b>																										
 Zemní jáma	 Nádrž	 IBC kontejner																								
 Nádrž s konkrym dnem																										
<b>Filtry/separátory</b>																										
 Filtr	 Filtr s aktivním uhlím	 Ionexový filtr																								
 Kalcis	 Usazovací nádrž	 Mikrofiltr																								
 Membranová separace																										
<b>Ostatní zařízení a technolog. prvky</b>																										
 Dmychadlo	 Kompresor	 Ochlazicí věž																								
 Provozovatel's zařízení	 Tepelný výměník	 Štatický směšovač																								
 Míchadlo	 Multiplikátor vzduchu	 Redukce																								
 Záslepka	 Přiručkový spoj	 Závrtový spoj																								
 Injektor	 Kompenzátor	 Odpad																								
<b>Armatury</b>																										
 Dvojcestný kulový ventil	 Klapka	 Trojcestný kulový ventil																								
 Zpětná klapka	 Pojčňovací ventil																									
<b>Ovládané armatury</b>																										
 Servo ventil/klapka																										
 Tlakový membránový																										
 Solenoventil/klapka																										
 Pneumatický ventil/klapka																										
<table border="1"> <tbody> <tr> <td colspan="2">  <b>IPR Aqua</b>                      Inženýring - Projekt - Realizace                 </td> <td>Vypracoval: <b>Ing. Jan Štěrhal</b></td> </tr> <tr> <td colspan="2">                     IPR Aqua, s.r.o.,                      Volantová 2523/14, Praha 13, CZ                      info@ipraqua.cz                 </td> <td>Odpovědný projektant: <b>Ing. Jan Štěrhal</b></td> </tr> <tr> <td colspan="2">                     Č. zakázky: <b>dra02c</b> </td> <td>Odpovědný řešitel: <b>Václav Kuršák</b></td> </tr> <tr> <td colspan="2">                     Datum: <b>04.01.2024</b> </td> <td>Zákazník: <b>ÚV Horní Slavkov</b></td> </tr> <tr> <td colspan="2">                     Verze: <b>1</b> </td> <td>Místo: <b>ÚV Horní Slavkov</b></td> </tr> <tr> <td colspan="2">                     Formát: <b>ISO A4 (B2100 X 297) 00 N00</b> </td> <td>Projekt: <b>ÚV Horní Slavkov</b></td> </tr> <tr> <td colspan="2">                     Měřítko: <b>1:1</b> </td> <td>Číslo studie: <b>technologie</b></td> </tr> <tr> <td colspan="2">                     Stupeň dok.: <b>100%</b> </td> <td>Příloha: <b>01 PID</b></td> </tr> </tbody> </table>			 <b>IPR Aqua</b> Inženýring - Projekt - Realizace		Vypracoval: <b>Ing. Jan Štěrhal</b>	IPR Aqua, s.r.o., Volantová 2523/14, Praha 13, CZ info@ipraqua.cz		Odpovědný projektant: <b>Ing. Jan Štěrhal</b>	Č. zakázky: <b>dra02c</b>		Odpovědný řešitel: <b>Václav Kuršák</b>	Datum: <b>04.01.2024</b>		Zákazník: <b>ÚV Horní Slavkov</b>	Verze: <b>1</b>		Místo: <b>ÚV Horní Slavkov</b>	Formát: <b>ISO A4 (B2100 X 297) 00 N00</b>		Projekt: <b>ÚV Horní Slavkov</b>	Měřítko: <b>1:1</b>		Číslo studie: <b>technologie</b>	Stupeň dok.: <b>100%</b>		Příloha: <b>01 PID</b>
 <b>IPR Aqua</b> Inženýring - Projekt - Realizace		Vypracoval: <b>Ing. Jan Štěrhal</b>																								
IPR Aqua, s.r.o., Volantová 2523/14, Praha 13, CZ info@ipraqua.cz		Odpovědný projektant: <b>Ing. Jan Štěrhal</b>																								
Č. zakázky: <b>dra02c</b>		Odpovědný řešitel: <b>Václav Kuršák</b>																								
Datum: <b>04.01.2024</b>		Zákazník: <b>ÚV Horní Slavkov</b>																								
Verze: <b>1</b>		Místo: <b>ÚV Horní Slavkov</b>																								
Formát: <b>ISO A4 (B2100 X 297) 00 N00</b>		Projekt: <b>ÚV Horní Slavkov</b>																								
Měřítko: <b>1:1</b>		Číslo studie: <b>technologie</b>																								
Stupeň dok.: <b>100%</b>		Příloha: <b>01 PID</b>																								
<small>010 je sdělován výhradně společnosti IPR Aqua, s.r.o. a je zakázáno jeho další šíření, reprodukce či jiná forma využití bez souhlasu společnosti.</small>																										

**Příloha 4: Protokol – výsledné hodnoty kalu**

Laboratory KMK GRANIT  
 Živcový lom Krasno  
 357 47 KRASNO

14.11.2023 6:15:11  
 Calculated by UniQuant  
 Thermo Fisher Scientific

**KAL -**

ARL PFX-108 Rh 60kV LIF200 LIF220 Ge111  
 Method : UQ-I  
 Kappa List : AnySample  
 Shapes & ImpFc : Teflon  
 Calculated as : Oxides  
 Case Number : 0 - All known

Measured on : 10.11.2023 13:06:16  
 X-ray Path: : Vacuum  
 Film Type : None  
 Collimator Mask : ø 29 mm  
 Viewed Diameter = 23.00 mm  
 Viewed Area = 415.48 mm<sup>2</sup>  
 Viewed Mass = 7273.75 mg  
 Sample Height = 4.00 mm

Reporting Level > 10 ppm and wt% > 3 Est.Err.

Compound	Wt%	Est.Error	Element	Wt%	Est.Error
Fe2O3	46.25	0.25	Fe	32.35	0.17
CaO	16.74	0.19	Ca	11.97	0.13
SiO2	8.00	0.14	Si	3.74	0.06
BaO	1.71	0.06	Ba	1.54	0.06
MnO	1.25	0.06	Mn	0.969	0.04
MgO	0.588	0.029	Mg	0.354	0.018
Al2O3	0.479	0.024	Al	0.253	0.013
P2O5	0.342	0.017	Px	0.149	0.0074
ZnO	0.321	0.016	Zn	0.258	0.013
Na2O	0.211	0.028	Na	0.157	0.021
As2O3	0.211	0.011	As	0.160	0.0080
S	0.152	0.0076	S	0.152	0.0076
Co3O4	0.0469	0.0023	Co	0.0344	0.0017
SrO	0.0408	0.0020	Sr	0.0345	0.0017
K2O	0.0346	0.0017	K	0.0287	0.0014
Cl	0.0243	0.0015	Cl	0.0243	0.0015
NiO	0.0078	0.0013	Ni	0.0061	0.0010
TiO2	0.0076	0.0008	Ti	0.0045	0.0005
U3O8	0.0061	0.0014	U	0.0051	0.0012
CuO	0.0043	0.0012	Cu	0.0034	0.0009

Rest = 23.57 LOI

D/S = 0.286 Cellulose (1)

Sum Weight% before normalization to 100% = 99.3 %

Total Weight% Oxygen = 24.24