

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE**

**FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ**

**KATEDRA APLIKOVANÉ EKOLOGIE**



**Česká  
zemědělská  
univerzita  
v Praze**

**KVALITA DŮLNÍCH VOD NA JÁCHYMOVSKU**

**QUALITY OF MINE DRAINAGE WATERS AT  
JÁCHYMOV REGION**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Vedoucí práce: prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.**

**Bakalant: Soňa Nejedlá**

**2020**

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Soňa Nejedlá

Krajinářství  
Územní technická a správní služba

Název práce

**Kvalita důlních vod na Jáchymovsku**

Název anglicky

**Quality of mine drainage waters at Jáchymov region**

---

### **Cíle práce**

Cílem práce je zhodnotit chemismus vody ve vybraných důlních štolách na Jáchymovsku.

### **Metodika**

Bude proveden terénní průzkum vybraných štol – Vavřínek (Horní Blatná), Eduard a Nová Svornost (Jáchymov) a Popov (Horní Žďár u Ostrova).

V průběhu roku 2019 budou odebrány vzorky důlních vod z jednotlivých šachet a bude provedena chemická analýza vzorků.

V další fázi budou výsledky rozborů vyhodnoceny a bude sepsána bakalářská práce.

**Doporučený rozsah práce**

40 stran včetně příloh

**Klíčová slova**

důlní vody, Jáchymov, kvalita vody, těžké kovy

---

**Doporučené zdroje informací**

HORÁKOVÁ, M. *Analytika vody*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2003. ISBN 80-7080-520-.

Kafka, J. (2003). Rudné a uranové hornictví České republiky, Anagram

KRÁSNÝ, J. *Podzemní vody České republiky : regionální hydrogeologie prostých a minerálních vod*. Praha: Česká geologická služba, 2012. ISBN 978-80-7075-797-0.

Majer, J. (2004). Rudné hornictví v Čechách, na Moravě a ve Slezku, Praha: Libri

PAČES, T. *Základy geochemie vod*. PRAHA: ACADEMIA, 1982.

PITTER, P. – VYSOKÁ ŠKOLA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ V PRAZE. *Hydrochemie*. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2009. ISBN 978-80-7080-701-9.

PYTL, V. – BRONCOVÁ, D. *Podzemní vody České republiky*. Praha: Milpo media, 2012. ISBN 978-80-87040-24-9.

Škvor, V. (1975) *Geologie české části Krušných hor a smrčín*, Praha: Academia

---

**Předběžný termín obhajoby**

2019/20 LS – FŽP

**Vedoucí práce**

prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.

**Garantující pracoviště**

Katedra aplikované ekologie

---

Elektronicky schváleno dne 6. 2. 2020

prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 11. 2. 2020

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 26. 03. 2020

## Č E S T N É P R O H L Á Š E N Í

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Kvalita důlních vod na Jáchymovsku vypracovala samostatně pod vedením prof. Ing. Jana Vymazala, CSc. Citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědoma, že na moji bakalářskou 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 vědoma, že odevzdáním bakalářské 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 výsledek její 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 Ostrově dne 26.3.2020

.....

(podpis autora práce)

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce prof. Ing. Janu Vymazalovi, CSc. za odborné vedení, cenné rady, které mi poskytl a trpělivost. Dále děkuji za realizaci rozborů Adamovi Sochackému, Ph.D. (základní chemie) a Ing. Adéle Šípkové, Ph.D. (analýza ICP). Především bych také ráda poděkovala své rodině za podporu při studiu a při psaní bakalářské práce. Své dceři bych ráda poděkovala za asistenci při sběru vzorků a synovi za překlady, manželovi za trpělivost.

## **Abstrakt**

Cílem práce je zhodnotit chemismus vod z převážně opuštěných důlních děl na Jáchymovsku. Teoretická část je zaměřena na popis dané lokality v souvislosti s hornickou činností, která se zde provozovala po několik století. Výsledky rozborů z jednotlivých lokalit budou porovnány mezi sebou a na jejich základě bude stanovena kvalita vody dle ČSN 75 7221. Současně bude analyzována přítomnost těžkých kovů ve vodách a jejich vliv na životní prostředí.

## **Abstract**

The main goal of my work is to evaluate the chemical properties of water found mostly in mines and mine shafts in the region of Jáchymov. The theoretical part is focused on delivering a description of this locality in effect of the mining activities that had taken place in said locality for centuries. Results of testings from certain localities are going to be compared with each other and we will decide the quality of these samples of water using the ČSN 75 7221 guidelines. The presence of heavy metals in said samples and their effect on the surroundings and ecosystem is going to be analysed at the same time.

## **Klíčová slova**

Důlní vody, Jáchymov, kvalita vody, těžké kovy

## **Keywords**

Underground mine water, Jáchymov, water quality, heavy metals

## OBSAH

<b>1. Úvod .....</b>	<b>7</b>
<b>2. Cíle práce .....</b>	<b>8</b>
<b>3. Legislativní zakotvení .....</b>	<b>9</b>
<b>4. Důlní vody.....</b>	<b>10</b>
4.1 Zvodnění ložisek .....	10
4.2 Zdroje důlních vod.....	11
4.3 Mapování důlních děl .....	13
4.4 Hydrogeologie důlního díla .....	13
4.5 Odvodnění důlních děl.....	13
4.6 Důlní voda jako zdroj energie.....	14
<b>5. Chemismus důlních vod .....</b>	<b>16</b>
5.1 Charakteristika měřených veličin.....	16
5.1.1 pH (kyselost/zásaditost) .....	16
5.1.2 Konduktivita .....	17
5.1.3 Rozpuštěné látky .....	17
5.1.4 Organoleptické vlastnosti vody.....	18
5.1.5 Kovy a polokovy ve vodách.....	20
5.1.6 Amoniakální dusík .....	26
5.1.7 Dusitany .....	26
5.1.8 Dusičnany .....	26
5.1.9 Fosforečnany.....	26
5.1.10 Sírany .....	27
5.1.11 Chloridy .....	27
5.1.12 Fluoridy.....	27
5.2 Hornická oblast Jáchymovsko .....	28
5.2.1 Geologie oblasti .....	28
5.2.2 Supergenní obohacení .....	28
5.2.3 Hydrogeologie oblasti .....	30
5.2.4 Chemismus vod jáchymovské oblasti.....	30
5.2.5 Historie, lázeňství a těžba uranu .....	30
<b>6. Metodika .....</b>	<b>32</b>
6.1 Odběr vzorků .....	32
6.2 Místa odběrů vzorků .....	32

6.2.1 Štola Vavřinec, Horní Blatná, Karlovarský kraj .....	33
6.2.2 Štola Eduard, Jáchymov, Karlovarský kraj .....	34
6.2.3 Štola Nová Svornost, Jáchymov, Karlovarský kraj .....	35
6.2.4 Štola Popov, Horní Žďár, Karlovarský kraj .....	36
6.3 Obecné, fyzikální a chemické ukazatele, kovy a metaloidy .....	37
6.4 Vápník a sodík .....	40
<b>7. Výsledky a hodnocení .....</b>	<b>41</b>
7.1 Organoleptické vlastnosti.....	41
7.2 Základní chemický rozbor .....	41
7.2.1 Štola Vavřinec.....	41
7.2.2 Štola Eduard.....	42
7.2.3 Štola Nová Svornost.....	43
7.2.4 Štola Popov .....	44
7.3 Kovy a metaloidy.....	45
7.3.1 Štola Vavřinec.....	45
7.3.2 Štola Eduard.....	46
7.3.3 Štola Nová Svornost.....	47
7.3.4 Štola Popov .....	48
7.4 Vápník a sodík .....	49
<b>8. Diskuse .....</b>	<b>50</b>
<b>9. Závěr .....</b>	<b>54</b>



## 1. Úvod

Pro svou bakalářskou práci jsem si vybrala téma „Kvalita důlních vod na Jáchymovsku“. Zájmová důlní díla jsou součástí Hornického regionu Erzgebirge-Krušnohoří, který je od 6. července 2019 památkou zapsanou na Seznam světového dědictví UNESCO. Celý region je dnes z velké části jen pozůstatkem důlní činnosti z období počátku hornické horečky v Krušnohoří. Teoretická část definuje pojem důlní vody a popisuje všeobecnou příčinu jejich výskytu, význam přítomnosti důlních vod při dobývání rud, systém odvodňování dolů a fyzikálně chemické vlastnosti vody. Z literárních zdrojů byly čerpány informace o látkách vyskytujících se v přírodních vodách a také schopnost těchto látek ovlivnit kvalitu vod. Existuje předpoklad, že geomorfologický vývoj a horninové složení Krušných hor, které byly původcem vzniku hornické činnosti v oblasti, by se nejpravděpodobněji mohly významně podílet na chemismu těchto důlních vod.

V praktická část popíše realizaci výzkumného šetření, založeného na rozborech odebraných vzorků a stanovení jakosti důlních vod. Vyhodnocení jednotlivých parametrů určujících třídu jakosti vod, bude posouzeno v souladu s platnou legislativou. Teoretická část práce byla započata v únoru 2019. Během její realizace a samotného zkoumání došlo k aktualizaci České technické normy ČSN 75 7221 Kvalita vod - Klasifikace kvality povrchových vod, která vešla v platnost 1.12.2019. Dostupné zdroje informací budou porovnány s vlastním šetřením v terénu. Bude využito velmi dobré znalosti místního regionu a zejména dlouhodobého zájmu o hornickou činnost a environmentální stav v okolí bydliště autora. Faktická zjištění a výsledky rozborů budou pravděpodobně potvrzovat dosavadní bádání v dané oblasti. Rozbory možná naleznou i nové poznatky o ovlivnění dlouhodobou důlní činností a objasní rizikovost pro životního prostředí na Jáchymovsku.

## **2. Cíle práce**

Bakalářská práce má stanoveny následující cíle:

1. Všeobecně charakterizovat důlní vody
2. Popsat zájmovou oblast
3. Zhodnotit kvalitu důlních vod
4. Zhodnotit přírodní nebo antropogenní původ znečištění
5. Zhodnotit možné ovlivnění budoucího vývoje

### 3. Legislativní zakotvení

Česká republika upravuje nakládání s důlními vodami mnoha legislativními předpisy. Bakalářská práce byla vyhotovena v souladu s platným zněním v době sepsání této práce a nejdůležitější z nich jsou uvedeny zde:

- **Zákon č. 44/1988 Sb.** Zákon o ochraně a využití nerostného bohatství (horní zákon)
- **Zákon č. 254/2001 Sb.** Zákon o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)
- **Vyhláška č. 22/1989 Sb.** Vyhláška Českého báňského úřadu o bezpečnosti a ochraně zdraví při práci a bezpečnosti provozu při hornické činnosti a při činnosti prováděné hornickým způsobem
- **Vyhláška č. 435/1992 Sb.** Vyhláška Českého báňského úřadu o důlně měřické dokumentaci při hornické činnosti a některých činnostech prováděných hornickým způsobem
- **Vyhláška č. 431/2001 Sb.** Vyhláška ministerstva zemědělství o obsahu vodní bilance, způsobu jejího sestavení a o údajích pro vodní bilanci
- **Vyhláška č. 252/2004 Sb.** Vyhláška, kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody
- **Vyhláška č. 252/2013 Sb.** Vyhláška o rozsahu údajů v evidencích stavu povrchových a podzemních vod a o způsobu zpracování, ukládání a předávání těchto údajů do informačních systémů veřejné správy
- **Nářízení vlády č. 401/2015 Sb.** Nářízení vlády o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a kanalizací a o citlivých oblastech
- **Česká technická norma ČSN 75 7221** Kvalita vod - Klasifikace kvality povrchových vod (aktualizovaná a platná od 1.12.2019)
- **Česká technická norma ČSN EN ISO 5667-14** Kvalita vod - Návod pro prokazování a řízení kvality odběru vzorků vod a manipulace s nimi
- **Česká technická norma ČSN ISO 5667-20** Kvalita vod - Odběr vzorků - Část 20: Návod pro použití údajů získaných při odběru vzorků k rozhodování - Shoda s limity a systémy klasifikace

## 4. Důlní vody

Vymezení pojmu je poměrně široké a legislativní zakotvení je složité. Podle horního zákona lze důlní vody charakterizovat důlním prostorem, kterým jsou všechna důlní díla a dále vyrubané, zavalené nebo založené prostory v hlubinných dolech, prostory po vytěženém ložisku v lomu, hliništi nebo po těžbě štěrků a písků z vody (tj. u ložisek nerostných surovin těžených pod hladinou spodních vod, v aluviálních nivách nebo ze dna vodního recipientu). Jsou to vody povrchové i podzemní a důsledkem uváděné specifické tvorby důlních vod, vzniká problém v jejich hodnocení. Kvalita a množství důlních vod je v době aktivní těžby ložiska výrazně jiná, než po ukončení těžby (GRMELA a BLAŽKO, 2004).

### 4.1 Zvodnění ložisek

Při dobývání ložiska vniká voda do důlních děl z vrstev nasycených vodou nebo z puklin a větších dutin, na něž se naráží podzemními nebo povrchovými důlními díly. Zvodnění ložisek nerostů závisí na všeobecných přírodních faktorech a na umělých zásazích při dobývání nerostů (KAMENSKIJ a kol., 1957).

Mezi přírodní faktory patří:

- atmosférické srážky
- reliéf krajiny
- infiltrace vody z povrchových vodotečí a nádrží
- složení pokryvných slabě propustných hornin
- rozsah obnažení skalního podkladu
- změna propustnosti vody hornin s hloubkou
- tektonika oblasti a další.

Jednou z hlavních příčin a někdy jedinou je vsakování *atmosférických srážek*. Z těchto důvodů je zvodnění vyšší v oblastech s větším výskytem dešťů, zejména v období jarního tání a v důlních dílech dosahujících menších hloubek (KAMENSKIJ a kol., 1957).

*Reliéf krajiny*, tvar zemského povrchu má velmi podstatný vliv na stupeň zvodnění ložisek. Zvětšení přítoků vody do důlních děl je více pozorováno v důlních polích, která jsou pod terénem výrazně rozčleněna soustavou údolí a roklí (KAMENSKIJ a kol., 1957).

***Infiltrace vody z povrchových vodotečí a nádrží*** ležících v blízkosti důlních děl, mohou být velmi nebezpečné. Zejména v době povodní hodnoty průtoků řek a nádrží dosahují i trojnásobku běžných průtoků a může dojít k průvalu říční vody do dolu (KAMENSKIJ a kol., 1957).

Významné je ***složení pokryvných slabě propustných hornin***, zejména hlinitopísčitých a jílu v případě, kdy dosahují stálé mocnosti alespoň 5 m. Propustnými se stávají, pokud jsou kypřené nebo obsahují větší procento písčitých částic a dále při mnohaletém dobývání, kdy nepropustné usazeniny mění svou strukturu a začínají vodu propouštět (KAMENSKIJ a kol., 1957).

***Rozsah obnažení skalního podkladu*** je velmi rozličný a kolísá od zlomku procenta, až po několik desítek procent celkové plochy ložiska a dělí se na obnažená a překrytá ložiska. Obnažená jsou taková ložiska, jejichž nadloží-strop nebo vlastní užitkový nerost vychází na povrch. Patří k nim často ložiska polymetalická, jež jsou zdrojem dvou a více kovů. Obnaženými úseky ložiskové plochy, jsou-li z hornin propouštějících vodu, mohou vsakovat povrchové vody (KAMENSKIJ a kol., 1957).

***Změna propustnosti hornin s hloubkou*** je vnikání vody do důlních děl způsobem, kdy se intenzita vnikání zmenšuje s přibývajícím hloubkou, a to dále přímo souvisí s rozpukáním zvodnělých hornin, které se s přibývajícím hloubkou též zmenšuje. Do žilných ložisek mohou vnikat i vzestupné vody o vysoké teplotě (KAMENSKIJ a kol., 1957).

***Tektonika oblasti***, kdy tektonické pukliny pronikají několika zvodnělými horizonty a mohou vydávat po dlouhou dobu velké množství vody. Pásmo tektonických poruch hromadí podzemní vody a mohou být i podzemními nepropustnými bariérami. Náhlé průvaly velkých vodních mas mohou být způsobeny výronem vody z tektonických puklin nebo poruchových pásem v horninách (KAMENSKIJ a kol., 1957). K průvalu termálních vod došlo v Jáchymově 12. 3. 1864 v jámě Svornost pod 12. patrem o vydatnosti 705 m<sup>3</sup>/den, s obrovskými náklady na čerpání a obnovu (KAFKA, 2003).

#### **4.2 Zdroje důlních vod**

Zdroje důlních vod se dělí na přírodní a antropogenní:

- přírodní-ložiskové a neložiskové (mimoložiskové)
- antropogenní-provozní, technologické a stařinové

**Ložiskové** jsou podzemní vody ložisek nerostných surovin, které jsou akumulovány přímo v ložiskové výplni (HOMOLA a KLÍR, 1975).

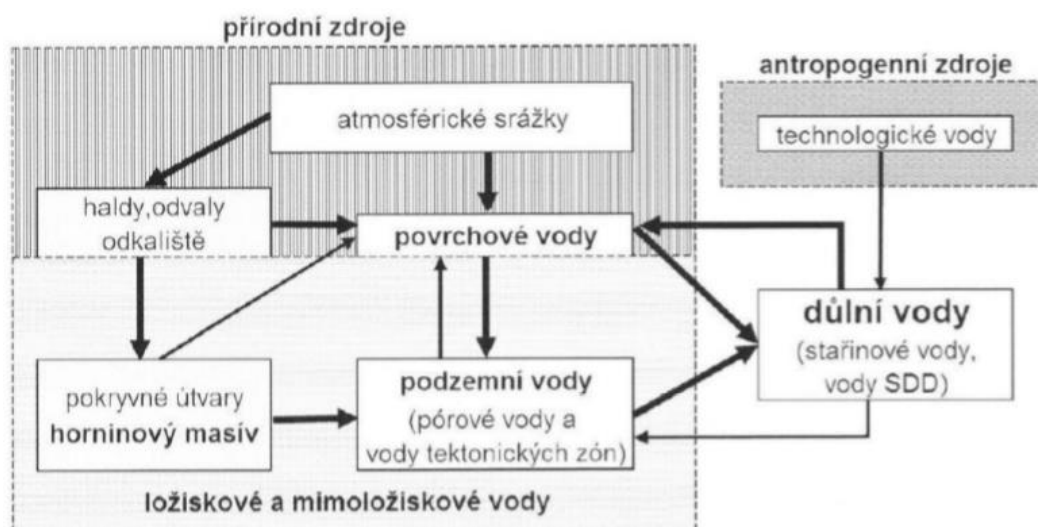
**Neložiskové (mimoložiskové)** jsou vody přírodních zvodní v horninách a přírodní vody infiltrující se do důlních děl z povrchu (atmosférické srážky, povrchové toky a nádrže). Jejich přítok do důlních děl je způsoben antropogenním ovlivněním, důlní činností. Tyto zdroje vod v horninovém prostředí jsou izolovány od ložiskových vod hydraulickými bariérami (GRMELA a kol., 2012).

**Provozní** slouží v hornictví například pro pohon čerpadel a strojů a **technologické**, které se používají při dobývání a při úpravě rud. Tyto vody jsou do důlního prostředí sváděny uměle, nejčastěji potrubím. Jedná o vody již vyčerpané a vyčištěné (GRMELA a kol., 2012).

**Stařinové** jsou zvláštním druhem antropogenního zdroje důlních vod. Jedná se o směsné vody ložiskové, mimoložiskové i provozní, které protékají nebo jsou akumulovány v opuštěných důlních prostorech (GRMELA a RAPANTOVÁ, 1999).

Mezi ložiskovými horninami a vodami dochází k míšení a vzájemným interakcím (Obr. 1), které mají vliv na kvalitu podzemních a povrchových vod v oblasti ložiska (GRMELA a kol., 2012). Vodní útvar důlního díla vykazuje z velké části akumulovaný vodní režim, kterému se věnuje kapitola 4.4.

**Obrázek 1:** Schéma vzájemné interakce mezi ložiskovými horninami a vodami, které mají vliv na kvalitu podzemních a povrchových vod v oblasti ložiska (GRMELA a kol., 2012)



### 4.3 Mapování důlních děl

Provozování hornické činnosti zakládá povinnost zabezpečit úplnost dokumentace a odborný výkon důlně měřičských prací. Za správnost a úplnost vyhotovené dokumentace odpovídá hlavní důlní měřič. **Grafická část mapy** musí obsahovat: náčrty, základní důlní mapu, profily a řezy, mapu povrchu a účelové důlní mapy. **Základní důlní mapa** musí obsahovat zákresy všech základních hornických, geologických a technických údajů i správních objektů a údajů, které jsou nutné pro vedení prací. Při činnosti v podzemí se vyhotovuje pro horizonty (patra), sloje nebo lávky mocných slojí, pro žíly nebo žilové uzly. Mapa by měla dále obsahovat těžený nerost, dobývací metodu, použitou technologii, název ložiska, název dobývacího prostoru, název základní důlní mapy, měřítko, technická zařízení a další (Vyhláška 435/1992 Sb.).

### 4.4 Hydrogeologie důlního díla

Důlní **hydrogeolog sleduje vodní bilanci**. Obsahem hydrologické bilance je porovnání přírůstků a úbytků vody s vyhodnocením změn vodních zásob **v hydrogeologickém útvaru** za daný časový interval z hlediska množství a jakosti vody (Vyhláška 431/2001 Sb.).

**Vodním útvarem** je vymezené významné soustředění povrchových nebo podzemních vod v určitém prostředí, charakterizované společnou formou jejich výskytu nebo společnými vlastnostmi vod a znaky hydrologického režimu. **Útvarem podzemní vody** je vymezené soustředění podzemní vody v příslušném kolektoru nebo kolektorech. Kolektorem se rozumí horninová vrstva nebo souvrství hornin s dostatečnou propustností, umožňující významnou spojitou akumulaci podzemní vody nebo její proudění či odběr (Zákon č. 254/2001 Sb.).

Jedná-li se o rozsáhlá důlní díla, je nutné vypracovat **hydrogeologickou mapu**. Mapa by měla být sestavena pro jednotlivé vrstvy a zpřesňovat obraz o mocnosti ložiska, složení podloží i nadloží, linie tektonických poruch a směrech přítoků důlních vod (KAMENSKIJ a kol., 1957).

### 4.5 Odvodnění důlních děl

**Na základě geologické stavby a hydrogeologických poměrů ložiska** je nutné budovat **systém odvodnění**. Koncentrovat vody do určitého prostoru s jejich následným čerpáním na povrch. Zvládnutí přítoků vody do dolu, čerpání důlních vod a výstavba

komplexu čerpání vod je záležitost, která se dotýká bezpečnosti důlního provozu. S rozvojem hornictví v poválečném období a zvyšujícími se počty pracovníků v podzemí, si systémy odvodnění vyžádaly novou výkonnější techniku (KAFKA, 2003). Značné rozdíly najdeme v technologiích odvodnění v historii a dnes.

*V historii* byly obecně hlubinné doly odvodňovány dvěma způsoby.

- samospádem
- vybudováním systému odvodňovacích štol

*Odvodnění samospádem* se používalo zejména v případech, kdy štola podfárala důl a samospádem odváděla důlní vody do povrchových vodotečí.

*Vybudování systému odvodnění* se aplikovalo v důlních dílech, ve kterých nebylo možno využít samospádu. Díla musela mít od počátku průzkumných prací, po celou dobu těžby, až po samotné ukončení těžby vybudovaný systém odvodnění pomocí čerpadel. Hlubinné doly provozované v období mezi roky 1945-1990 měly vybudován systém čerpání vod na osvědčeném principu. Vody se sváděly organizovaně do míst kumulace do žumpových chodeb, které plnily též funkci vyčeřovacích (čisticích) a sedimentačních (usazovacích) nádrží. V jejich bezprostřední blízkosti se nacházely čerpací stanice s čerpadly a ve většině případů, se systémem kaskád voda čerpala na povrch. Ve vertikálních důlních dílech se voda jímala v jámových tůních a pro její zachycování byly budovány vodní objekty (KAFKA, 2003).

Systém odvodnění měl za úkol odvádět vody na povrch včas a pravidelně a dostatečně daleko od důlního díla. Někdy se vody odváděly současně s dobýváním užitkového nerostu. V tomto případě se odvodňovací systém zřizoval pod povrchem (KAMENSKIJ a kol., 1957).

*V současnosti* mívají důlní díla propracovaný odvodňovací systém s několika čerpacími stanicemi, elektrorozvodnami, včetně centrálního dispečinku. Ten disponuje moderními technologiemi, jako jsou automatický a nepřetržitý monitoring provozu a vzdálené ovládání přes webové rozhraní.

#### **4.6 Důlní voda jako zdroj energie**

Před elektrifikací důlních děl, dominovala *voda* převážně jako *zdroj energie* pro pohon různých strojů a zařízení. Na Jáchymovsku se od 16. století používaly velkoprátky



s vratným vodním kolem pro obousměrný pohyb o průměru až 12 m. Tento pohyb se použitím vodní energie ztrojnásobil oproti žentourům na koňský pohon. Voda se ve džberech dopravovala přímo z hloubky až 200 m. V Jáchymově byla poprvé roku 1522 užitá zařízení rourového typu zvaná Heinzova. Byla to nekonečná smyčka řetězu s koženými váčky, procházejícími rourou nepřetržitě ponořenou do žumpy, ta vyťahovala vodu na úroveň dědičné štoly. Byla poháněna vodními koly o průměru 6-8 m. Dalšími pomocníky pro čerpání vody byly na Jáchymovsku pístové pumpy, umístěné kaskádovitě nad sebou. Vodu postupně přečerpávaly až na úroveň dědičné štoly či na povrch. Důlní vody sloužily i při úpravě vyrubaných rud. Nejčastěji jako pohon mlýnů, drtičů, rozvolňovačů a dále v hamrech, kde se buchary kovaly výrobky z rud.

**Důlní vody** dále slouží k řízenému částečnému nebo úplnému zatopení dolů po ukončení těžby. Tento způsob ukončení těžby se označuje jako *mokrý konzervace* (KAFKA, 2003).

## 5. Chemismus důlních vod

V přírodním systému, jímž protéká voda a reaguje s minerály a plyny, se mění koncentrace rozpuštěných látek. Protéká-li voda půdou nebo horninou dostatečně pomalu, může s tímto okolím dosáhnout parciální chemické rovnováhy s ohledem na některé rozpuštěné složky. Podzemní vody vždy obsahují stopová množství kovů. Kovy se do vod dostávají zejména rozpuštěním sulfidů. Koncentrace stopových prvků nejsou v chemické rovnováze ani s minerály a sulfidy (PAČES, 1983).

*Veškeré důlní vody* jsou vždy ovlivněny antropogenní činností. Při dobývání rud dochází k narušení přirozeného horninového prostředí. Hornická činnost má podstatný vliv na množství rozpuštěných látek a jejich složení.

Vznikají většinou jako výsledek *míšení přírodních vod s vodami antropogenními* nebo s vodami, které jsou součástí těžené suroviny. Tyto vody jsou převážně vodami směsnými, resp. vodami se *změněným chemismem*, ať již v důsledku vyvolaného proudění, vlivem snížení původního tlaku, odplynění, vlivem zdržení ve starých důlních dílech apod. (GRMELA a BLAŽKO, 2004).

*Důlní vody*, které se dostávají do povrchových vodotečí se klasifikují podle ČSN 75 7221. Klasifikace spočívá v zařazení vody do pěti tříd podle její kvality s použitím soustavy mezních hodnot tříd kvality vody. Metodice hodnocení je věnována kapitola 6.3. Tekoucí povrchové vody jsou vodní toky, ve kterých nedochází k teplotní stratifikaci a k jarní a podzimní cirkulaci vody. Povrchové vody jsou jedním ze základních surovinových zdrojů a včetně podzemních vod, tvoří důležitou složku přírodního prostředí a slouží k zabezpečování hospodářských a ostatních celospolečenských potřeb (AMBROŽOVÁ, 2003). Látky obsažené ve vodách, které již pronikly na povrch mohou významně ovlivnit prostředí s nímž jsou kontaktu. Znečištění vody můžeme definovat jako takovou změnu fyzikálních, chemických a biologických vlastností vody, která omezuje nebo znemožňuje její použití k danému účelu (ŠVEHLA a kol., 2007).

### 5.1 Charakteristika měřených veličin

#### 5.1.1 pH (kyselost/zásaditost)

*Pojmem pH* rozumíme zápornou hodnotu logaritmu koncentrace vodíkových iontů, vyjádřené v molech na litr. V důsledku působení iontů je aktivita vodíkových iontů

menší než jejich koncentrace. Naměřená hodnota pH (potenciálu vodíku) ukazuje, zda je roztok kyselý nebo zásaditý. V případě, že roztok má stejné množství kyselých a alkalických molekul, hodnota pH se považuje za neutrální. Velmi měkká voda je běžně kyselá, zatímco velmi tvrdá bývá zásaditá. Měření pH se provádí u všech druhů vod a má často klíčový význam pro posuzování dalších vlastností. Hodnota se stanovuje různými metodami. Použitím indikátorových papírků, barevných indikátorů nebo elektrometrickými metodami, např. potenciometry. Potenciometrickou metodu měření pH lze použít u všech druhů vod v rozsahu měření hodnot 3-10. Hodnota pH vzorku vody se rychle mění v důsledku chemických, fyzikálních nebo biologických pochodů. Zásadně je výsledek měření ovlivněn teplotou vzorku. Vzorky by proto měly být zpracovány přímo na místě odběru. Výsledná hodnota se obecně uvádí na 2 desetinná místa (HORÁKOVÁ, 2003).

### 5.1.2 Konduktivita

*Elektrolytická konduktivita* je míra koncentrace ionizovatelných anorganických a organických součástí vody. Je převrácenou hodnotou odporu roztoku v  $\Omega$ , obsaženého mezi dvěma elektrodami o ploše  $1 \text{ m}^2$ , které jsou od sebe vzdáleny 1 m. Jednotkou je siemens na metr (S/m). V hydrochemii se používá mS/m. Konduktivita závisí na koncentraci iontů, jejich nábojovém čísle, pohyblivosti a teplotě. Vzrůst nebo pokles teploty o  $1 \text{ }^\circ\text{C}$  způsobuje změnu konduktivity nejméně o 2 %. Konduktivita se obvykle měří nebo přepočítává na teplotu  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  (PITTER, 1999). Stanovení konduktivity je běžnou součástí chemického rozboru vody. Umožňuje odhad koncentrace iontově rozpuštěných látek a celkové mineralizace ve vodách. Metodu lze použít u vzorků všech druhů vod, nejlépe bezprostředně po odběru. Neměří-li se přímo při teplotě  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ , musí být u vzorku mimo aktuální teploty uveden i způsob korekce použitý k převodu na teplotu  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  (HORÁKOVÁ, 2003).

### 5.1.3 Rozpuštěné látky

Celkovou mineralizací  $\sum\rho$  se rozumí součet hmotnostních koncentrací všech rozpuštěných anorganických tuhých látek přítomných ve vodě, vyjádřených v m/l. Vypočte se z výsledků chemického rozboru vody, který musí obsahovat všechny makrokomponenty, jejichž hmotnostní koncentrace převyšuje 1 %. *Voda vyskytující se v přírodě není chemicky čistá*. Látky obsažené ve vodách se z chemického hlediska dělí na anorganické a organické. Z fyzikálního hlediska se dělí na iontově rozpuštěné, nebo neiontově rozpuštěné a nerozpuštěné látky (KOLLEROVÁ, 2000).

- **Iontově rozpuštěné kationty:** vápník, hořčík, sodík a draslík
- **Iontově rozpuštěné anionty:** hydrogenuhličitan, sírany, chloridy a dusičnany

Všechny tyto látky patří do základního složení přírodních a užitkových vod a při celkových mineralizacích se s nimi musí počítat.

- **Neiontově rozpuštěné látky** jsou sloučeniny křemíku, bor, rozpuštěné plyny, kyslík a oxid uhličitý
- **Dalšími složkami** jsou v malých koncentracích formy amoniakálního dusíku, některé kovy (železo, mangan, hliník, měď, zinek), dusitany, fosforečnany, fluoridy a formy sulfidické síry

Na základě zjištěné celkové mineralizace v mg/l se **přírodní a užitkové vody dělí do pěti kategorií:**

1. vody s velmi malou mineralizací	( $\Sigma\rho$ )	do 100
2. vody s malou mineralizací	( $\Sigma\rho$ )	100 - 200
3. vody se střední mineralizací	( $\Sigma\rho$ )	200 - 500
4. vody se zvýšenou mineralizací	( $\Sigma\rho$ )	500 - 1000
5. vody s velkou mineralizací	( $\Sigma\rho$ )	nad 1000

Celková mineralizace jako míra skutečného obsahu látek ve vodách se uplatňuje zejména v hydrogeologii a balneologii (PITTER, 1999).

Za optimální je považováno množství od 200-500 mg rozpuštěných látek v jednom litru vody. Jako minimální mez je stanoven obsah 50 mg/l, jako maximální mez pak 1000 mg/l. Pokud obsahuje hodnoty vyšší, mluvíme už o vodách minerálních (NAŠE VODA, 2020).

#### 5.1.4 Organoleptické vlastnosti vody

Jsou vlastnosti, které se dají zjistit smyslovými orgány, tzv. senzorickou analýzou. Mezi tyto vlastnosti patří barva, chuť a pach, zákal a teplota.

**Barva** vody je optická vlastnost vyvolávající změnu spektrálního složení procházejícího viditelného světla. Při hodnocení barvy se rozlišuje barva:

- **zdánlivá** je barva vyvolaná rozpuštěnými a nerozpuštěnými suspendovanými látkami, stanovená v původním nefiltrovaném vzorku

- **skutečná** je barva způsobená jen rozpuštěnými látkami, stanovená ve vzorku vody zfiltrovaném filtrem s průměrnou velikostí pórů 0,45 μm (mikrometrů)

Pro stanovení barvy vody se využívá několik metod:

- **vizuální stanovení**, slovní hodnocení posuzovaného vzorku, nebo srovnání odstínu s umělými standardy. Vzorek se vyhodnocuje ihned slovním hodnocením podle intenzity barvy (žádná, slabá, světlá, tmavá)
- **stanovení skutečné barvy optickými přístroji**, provádí se měření absorpance v průběhu celého spektra ve viditelné oblasti. Barva vzorku často závisí na hodnotě pH a teplotě, proto se tyto hodnoty uvádějí v protokolu výsledků stanovení skutečné barvy (HORÁKOVÁ, 2003).

**Chuť a pach** jsou vlastnosti vody, které mohou nepříznivě ovlivnit hodnocení jakosti vody. Většina látek způsobujících pach vody, ovlivňuje také chuť. Chuťové vlastnosti jednotlivých složek závisí na jejich koncentraci a vzájemné kombinaci složek přítomných ve vodě. Významný vliv na chuť má hodnota pH. Stanovení pachu a chuti patří mezi **subjektivní stanovení**, a proto je závislé na vnímavosti hodnotitele. Hodnotit lze pouze vzorky vody zdravotně nezávadné.

Mezi hlavní anorganické látky s chuťovými účinky patří sloučeniny železa a manganu, hořčík, zinek, měď, chloridy, hydrogenuhličitan, volný oxid uhličitý a další.

Při hodnocení pachu se užívají slovní vyjádření:

- **stupně pachu 0-5** (žádný, velmi slabý, slabý, znatelný, zřetelný, velmi silný)
- **druhy pachu 0-5** (zemitý, fekální, hnilobný, plísňový, rašelinový, po jednotlivých chemikáliích)

Prahová koncentrace pachotvorné látky rozpuštěné ve vodě je taková koncentrace, která vyvolává právě postižitelný pach (PITTER, 1999).

Při hodnocení chuti se užívají slovní vyjádření:

- **stupně chuti 0-5** (žádná intenzita, sotva znatelná intenzita na jazyce po vyprázdnění úst, znatelná intenzita bez doznívání po vyprázdnění úst, dobře znatelná intenzita s krátkým i dlouhým dozníváním po vyprázdnění úst, silná intenzita v celé ústní dutině se silným a dlouhým dozníváním po vyprázdnění

úst, extrémní intenzita v celé ústní dutině s velmi silným až bolestivým vjemem, který okamžitě otupí schopnost receptorů)

- **druhy chuti, 4 hlavní druhy** (slaná, sladká, hořká, kyselá) a **převládající chuť** (mýdelná, louhovitá, kovová, svíravá, mdlá, železitá, zatuchlá, zemitá apod.) (HORÁKOVÁ, 2003).

**Zákal** u podzemních vod je způsoben nerozpuštěnými anorganickými látkami a lze ho definovat jako snížení průhlednosti. Podzemní vody jsou zakalené jen zřídka. Nerozpuštěné látky snižují intenzitu procházejícího záření a rozptylují záření nerovnoměrně všemi směry (PITTER, 1999).

Zákal lze stanovit objektivními metodami:

- **měřením útlumu zářivého toku procházejícího kapalinou** (turbidimetrem) – vhodné pro velmi zakalené vody, měření koeficientu spektrálního útlumu záření
- **měřením intenzity rozptýleného záření** (nefelometrem) – vhodné pro vody s nízkým zákalem (HORÁKOVÁ, 2003)

**Teplota** je jedním z významných ukazatelů jakosti a vlastností vody. Výrazně ovlivňuje chemickou a biochemickou reaktivitu v poměrně úzkém teplotním rozmezí 0 °C až 30 °C. Podzemní vody mívají konstantní teplotu jen málo závislou na ročním období. Průměrná roční teplota ve střední Evropě v hloubce 10 m pod povrchem je 9,5 °C. Větší kolísání teploty svědčí o rychlém pronikání povrchových či atmosférických vod do podzemí (PITTER, 1999).

Teplota patří mezi nejdůležitější organoleptické ukazatele. Měření se provádí současně s odběrem vzorku ve vzorkovnici. Výsledky se vyjadřují ve °C a zaokrouhlují se na jedno desetinné místo (HORÁKOVÁ, 2003).

### 5.1.5 Kovy a polokovy ve vodách

**Kovy** patří mezi hygienicky i vodohospodářsky **významné ukazatele**. Stále se zpřísňují kritéria vymezující jejich obsahy v pitných, povrchových i odpadních vodách, kalech a půdě. **Toxicita** kovů je závislá na teplotě, hodnotě pH a na celkovém složení vody. Toxicky většinou působí především jednoduché iontové formy. Anorganické a organické komplexy (s huminovými látkami, aminokyselinami a iontové asociáty s ionty uhličitanovými, hydrogenuhličitanovými, síranovými a fosforečnanovými)

jsou zpravidla méně toxické (CHEN, 1972), (ALLEN a kol., 1980). Kovy se ve vodě vyskytují z cca 90 % v rozpuštěné a zbytek je v koloidní či částicové formě (AMBROŽOVÁ, 2003). O formě výskytu kovů ve vodě rozhodují fyzikálně chemické vlastnosti vody (SVOBODOVÁ a kol., 1996). Významnou vlastností těžkých kovů je jejich **akumulační schopnost** v sedimentech a v biomase některých vodních organismů (HORÁKOVÁ, 2003). Značná část kovů (desítky procent) je ve vodách vázána na nerozpuštěné látky adsorpcí (WEIL a kol., 1975).

Kovy lze rozdělit z hlediska hygienické závadnosti:

- toxické kovy a polokovy (Hg, Cd, Pb, As, Se, Be, V, Ni, Ba, Ag, Zn)
- s karcinogenními a teratogenními účinky (As, Cd, Cr, Ni, Be)
- s chronickou toxicitou (Hg, Cd, Pb, As)
- ovlivňující organoleptické vlastnosti vody (Mn, Fe, Sn, Zn)

Některé směsi kovů mají vyšší toxicitu, protože toxické účinky se mohou sčítat. U kombinací například Cd+Zn, Ni+Zn nebo Hg+Cu se účinky projevují toxičtěji (PITTER, 1999).

**Hliník (Al)** se ve vodě vyskytuje převážně v rozpuštěné formě. Do vod se dostává výluhem z půd, hornin i kyselými dešti. Přírodní vody obsahují hliník ve formě rozpuštěné i koloidní, ve spojení s nerozpuštěnými látkami a vysokomolekulárními organickými komplexy (HORÁKOVÁ, 2003). Vysoké množství hliníku obsahují kyselé vody z okolí nalezišť sulfidických rud. Voda obsahující hliník byla dlouho považována za zdravotně nezávadnou. V současnosti je možnost neurotoxických účinků. Prokázána je toxicita na vodní organismy a ryby (PITTER, 1999).

**Beryllium (Be)** se vyskytuje v životním prostředí stále více. To souvisí s vyšším uplatněním v průmyslových odvětvích, spalováním paliv s vysokým obsahem beryllium a jeho uvolňování z podloží v blízkosti vodních zdrojů (kyselé deště). Výskyt je ovlivněn hodnotou pH a přítomností fluoridů a huminových látek. Je zařazeno mezi pravděpodobné karcinogeny v toxikologických studiích (HORÁKOVÁ, 2003). Koncentrace v jednotkách  $\mu\text{g/l}$  se výjimečně nacházejí i v pitné vodě zásobující některé obce na Sokolovsku a Karlovarsku, kde beryllium pochází z geologického podloží (PITTER, 1999). U pitných vod v ČR byla v roce 1996 vypočtena průměrná koncentrace beryllia asi  $0,08 \mu\text{g/l}$ . Ve výjimečném případě byla

nalezena koncentrace až 4,6 µg/l (KRATZER a KOŽÍŠEK, 1997). Vdechování prachových částic způsobuje onemocnění plic zvané berylliosa, která vede k poškození intersticia (vaziva) plic, které zajišťuje dostatečnou elasticitu (ČEŠKA, 2010). U povrchových vod by muselo dojít k orálnímu příjmu, které je méně škodlivé. Dosud neexistují dostatečné podklady pro určení přípustné koncentrace ve vodách a názory vědeckých pracovníků se značně liší. Zdravotní problematikou týkající se škodlivosti se zabývali ve vodárenské biologii (KRATZER a kol., 2001).

**Kadmium (Cd)** v přírodě doprovází zinek v ruzích, ale i ve vodách, kde je zastoupeno v nižších koncentracích pouze v desítkách µg/l. Za přírodní pozadí v podzemních vodách lze považovat koncentrace kadmia asi do 1,5 µg/l (0,0015 mg/l) (KRATZER a KOŽÍŠEK, 1997). Je to nebezpečný jed, který se akumuluje v biomase organismů. Má karcinogenní účinky a odstranění z těla je obtížné. Kadmium zesiluje toxické účinky jiných kovů zinku a mědi (HORÁKOVÁ, 2003). Není esenciálním prvkem a patří mezi velmi nebezpečné jedy. Je velmi nebezpečné pro vodní organismy v koncentracích v jednotkách µg/l. Je druhé v pořadí toxicity za rtutí (PITTER, 1999). V povrchových vodách je jednoduchého ionu Cd<sup>2+</sup> přítomno asi 29-44 hmotnostního % veškerého kadmia. Je závislý na hodnotě pH, čím nižší je hodnota pH, tím je výskyt jednoduchého ionu Cd<sup>2+</sup> vyšší. Adsorpce a desorpce v přírodních vodách mohou mít rozhodující vliv na regulaci koncentrace kadmia (GARDINER, 1974b). Adsorbce je proces hromadění částic plynu, kapaliny nebo pevné látky na povrchu účinkem mezipovrchových přitažlivých sil. Jedná se například hromadění rozpuštěné látky v kapalině (adsorbátu) na povrchu pevné látky (adsorbentu).

**Chrom (Cr)** může být ve vodách přítomen v oxidačním stupni III a VI. Toxicita je závislá na oxidačním stupni. Toxický je zejména Cr<sup>IV</sup>. Ve vodách se velmi dobře sorbuje na hydratované oxidy převážně železa, hliníku a manganu (HORÁKOVÁ, 2003). Je vázán na nerozpuštěné látky a sedimenty. Patří mezi esenciální mikroprvky, avšak ve vyšších koncentracích je toxický pro živočichy, rostliny a bakterie. Přípustná koncentrace pro chov ryb je (<0,05 mg/l) (PITTER, 1999).

**Měď (Cu)** se v přírodě nejčastěji vyskytuje ve formě sulfidů, ze kterých se může do podzemních vod dostat značné množství mědi v důsledku rozkladu sulfidických rud. Patří mezi kovy, které se snadno komplexují (zejména v oxidačním stupni II) a jejich formy výskytu ve vodách mohou být velmi rozmanité v závislosti na jejich složení.



S celkovým složením vod souvisí i celková koncentrace mědi ve vodách. Patří mezi esenciální prvky pro lidský organismus. Není tak jedovatá, jak se původně předpokládalo, ale negativně ovlivňuje organoleptické vlastnosti vody (chuť v koncentracích 1 mg/l) a je podezření, že může mít embryotoxické účinky. Značně toxická je pro vodní organismy a ryby, a to již při koncentraci ( $>0,05$  mg/l). To však závisí na formě výskytu, např. jednoduchý ion  $\text{Cu}^{2+}$  (PITTER, 1999).

**Železo (Fe)** se ve vodách vyskytuje ve formě rozpuštěné i nerozpuštěné a závisí na hodnotě pH, oxidačně-redukčním potenciálu (ORP) a komplexovaných látkách přítomných. Zejména u podzemních vod v oxidačním stupni II v bezkyslíkatém redukčním prostředí, obecně ve vodách v oxidačním stupni II a III. Rozpustnosti pomáhá přítomnost oxidu uhličitého ( $\text{CO}_2$ ) a huminových látek. Vysoké koncentrace lze najít ve vodách obsahujících kyselinu sírovou ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), která vznikla oxidací sulfidických rud. Vyšší rozpustnost má v kyselém prostředí při hodnotách pH nad 9. Přítomnost železa ve vodách ovlivňuje organoleptické vlastnosti vody (barvu, chuť a zákal). Železo přítomné ve vodách způsobuje jednak technické závady a materiály při styku zbarvuje žlutě až hnědě. Pro chov kaprovitých ryb je stanovena koncentrace ( $<0,2$  mg/l) a lososovitých ryb ( $<0,1$  mg/l), jelikož železo reaguje v žábrách ryb a může tak dojít k jejich udušení (PITTER, 1999).

**Mangan (Mn)** doprovází zejména výskyt železných rud. Manganu bývá obvykle méně než železa. Ve vodách se objevuje z půd a sedimentů, a to formě rozpuštěné i nerozpuštěné v oxidačním stupni II, III, IV a v závislosti na hodnotě pH a složení vod. Ve vodách obsahujících rozpuštěný kyslík je nestabilní a zejména v alkalickém prostředí rychle oxiduje a hydrolyzuje. Je nezbytný pro rostliny i živočichy. V koncentracích vyskytujících se v přírodních vodách je zdravotně nezávadný. V koncentracích vyšších než ( $>0,3$  mg/l) může ovlivnit organoleptické vlastnosti vody (barvu, chuť). Rozvojem manganových bakterií způsobuje zarůstání potrubí více než železo (PITTER, 1999).

**Zinek (Zn)** se do podzemních vod dostává v důsledku rozkladu sulfidických rud. V prostých podzemních a povrchových vodách bývá přítomen v koncentracích (5-200  $\mu\text{g/l}$ ). Za přirozené lze u podzemních vod považovat koncentraci do ( $<50$   $\mu\text{g/l}$ ). Hodnota závisí na celkovém chemickém složení vody, které ovlivňuje jeho rozpustnost. Kyselé vody z rudných dolů mohou obsahovat koncentrace až

v jednotkách g/l. Zinek patří mezi esenciální stopové prvky pro lidi, zvířata i rostliny s doporučeným denním příjmem (10-20 mg/l). Má řadu biologických a biochemických funkcí a jeho deficit může být příčinou zdravotních problémů. Proto je ve vodách z hygienických hledisek málo závadný. Pro člověka se považuje toxická koncentrace nad (>30 mg/l). V koncentracích (5-10 mg/l) se projevuje svíravou chutí vody. Avšak je značně toxický pro ryby již v koncentracích (<1 µg/l), to ale závisí na koncentraci dalších kovů ve vodě a složení vody (SVOBODOVÁ, 1987). Ovlivněny mohou být chovy pstruha duhového a obecného, jelikož mají vysokou citlivost na otravu zinkem. Klinické příznaky a patologickoanatomické změny jsou obdobné jako při působení mědi (NAVRÁTIL a kol., 2000).

**Olovo (Pb)**, nejrozšířenější olověnou rudou je galenit, který na rozdíl od jiných sulfidických rud nepodléhá chemické a biochemické oxidaci, a proto se olovo poměrně málo hromadí v důlních vodách, pokud nejsou přítomné jiné sulfidické rudy. Má vysoký akumulací koeficient, a proto se hromadí nejen v sedimentech a kalech, ale i v biomase mikroorganismů a rostlin. Toxicita spočívá v negativním působení na červené krvinky a nervový systém. V lidském organismu se hromadí zejména v kostech a považuje se za karcinogen. Závisí na koncentraci dalších kovů ve vodě a složení vody (PITTER, 1999). Ve vodním prostředí se olovo hromadí především v sedimentech dna, kde je jeho obsah zhruba o 4 řády vyšší ve srovnání s koncentrací ve vodě (SVOBODOVÁ, 1987).

**Nikl (Ni)** se vyskytuje v minerálech obvykle společně se sírou, arsenem a případně antimonem. Rozpustnost ve vodách je limitována přítomností uhličitanu nikelnatého (NiCO<sub>3</sub>) nebo hydroxidu nikelnatého (NiOH<sub>2</sub>) a sulfidu nikelnatého (NiS). Není pro člověka příliš toxický, ale patří mezi potenciální karcinogeny (PITTER, 1999).

**Arsen (As)** se v přírodě nejčastěji vyskytuje ve formě sulfidů. V malé množství doprovází téměř všechny sulfidické rudy a je častou součástí hornin a půd jejichž zvětráváním se dostává do podzemních i povrchových vod. Koncentrace se pohybují v jednotkách až desítkách µg/l. Má značnou schopnost kumulace v říčních sedimentech (ČELECHOVSKÁ a kol., 2007). Nehromadí se příliš v rybách, takže nebezpečí otrav při jejich konzumaci nehrozí. Arsen je jedovatý a dlouhodobé používání vod s malými koncentracemi způsobuje chronická onemocnění. Patří mezi nervové jedy kumulativního charakteru a bývá kumulovaný například ve vlasech

(PITTER, 1999). Nahromadění v organismu se projevuje kožními příznaky, jako jsou otoky, ekzémy a keratózou kůže. Mohou se objevit i hematologické a neurologické změny (motorická obrna prstů, spavost, ztráta paměti, zmatenost a zhoršení sluchu). Arsen má také karcinogenní, mutagenní a teratogenní účinky (VELÍŠEK, 1999).

**Bor (B)** běžným zdrojem boru ve podzemních vodách je hydrolyza různých borokřemičitanů. Je obsažen ve vulkanických exhalacích a ve vodách sopečných jezer. Není běžnou součástí chemického rozboru vod. V podzemních vodách Českého masívu se vyskytuje v průměrných koncentracích 0,05 mg/l. Jeho toxicita je velmi malá. Prokazatelné negativní vlivy byly pozorovány při koncentraci nad (>4 mg/l) (PITTER, 1999).

**Vápník (Ca) a hořčík (Mg)** jsou v přírodě dost rozšířeny, v zemské kůře jsou zastoupeny 0,035 hmotnostních % vápníku a 0,02 hořčíku. Do vody se dostávají rozkladem hlinitokřemičitanů vápenatých a hořečnatých a ve větších koncentracích rozpouštěním vápence, dolomitu, magnezitu a sádrovce. Větší rozpustnost vápníku a hořčíku do podzemních vod způsobuje přítomnost oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>), který podporuje zvětvávání. V málo a středně mineralizovaných vodách se vyskytují v jednoduchých iontech Ca<sup>2+</sup> a Mg<sup>2+</sup>. Větší koncentrace se vyskytují v minerálních vodách hydrogenuhličitano-vápenatých nebo sírano-vápenatých. Hořčík je obvykle zastoupen méně než vápník. Oba prvky mají spojitost s tvrdostí vody. Působí zanášení potrubí a mají schopnost srážet mýdelné roztoky. Z hlediska chuti jsou nejlepší vody obsahující převážně vápník a hydrogenuhličitan. Vody s vysokou koncentrací hořčíku a síranů mají laxativní účinky. Patří mezi ukazatele přípustného znečištění vod (PITTER, 1999). Pro jakost pitné vody je stanovena mezní hodnota vápníku ve výši 30 mg/l (Vyhláška 252, 2004).

**Sodík (Na) a draslík (K)** jsou v zemské kůře rozšířeny přibližně stejně, asi 2,5 hmotnostních %. Do vody se uvolňují zvětváváním albitu, ortoklasu a slíd. Ve větším množství se sodík vyluhuje ze solných ložisek a draslík draselných solí (karnalitu, kainitu a polyhalitu), které převrstvují ložiska kamenné soli. Dalším přírodním zdrojem je výměna iontů při styku vody s některými jílovými minerály. V důlních vodách se vyskytují s vysokou koncentrací síranů nebo alkalických vod s vyšší koncentrací uhličitanů. V podzemních a povrchových vodách je vždy více sodíku než draslíku (PITTER, 1999). Asi od roku 1960 se sleduje možnost škodlivého vlivu

sodíku v pitné vodě, protože se koncentrace díky lidské činnosti zvyšuje a může působit na zdraví osob trpících srdečními chorobami, hypertenzí a cirhózou jater (RUSSELL a kol., 1970). Pro jakost pitné vody je stanovena mezní hodnota sodíku ve výši 200 mg/l (Vyhláška 252, 2004).

### 5.1.6 Amoniakální dusík

Disociovaný iont  $\text{NH}_4^+$  a nedisociovaný  $\text{NH}_3$  *se vyskytuje téměř ve všech druzích vod*. Na podílu obou forem výskytu má vliv pH a teplota vody. Jeho stanovení patří mezi nejběžnější u všech typů vod. Je produktem *rozkladu organických dusíkatých látek* živočišného a rostlinného původu. Je pouze antropogenním zdrojem původu ve vodách. Díky výskytu amonných látek v ovzduší jsou velkým zdrojem srážkové vody. V koncentracích, ve kterých se vyskytuje v pitných vodách nemůže mít přímý vliv na zdraví člověka (PITTER, 1999).

### 5.1.7 Dusitany

Jako minerály se dusitany nevyskytují. *Vznikají především biochemickou oxidací* amoniakálního dusíku (nitrifikací). Bývají zpravidla doprovázeny dusičnany. Jsou ve vodách velmi nestálé. Vyskytují se ve velmi malých koncentracích (PITTER, 1999).

### 5.1.8 Dusičnany

*Vznikají hlavně sekundárně* při nitrifikaci amoniakálního dusíku. Dalšími zdroji jsou dusíkatá hnojiva a atmosférické srážky. V minerální formě se vyskytují pouze jako dusičnan sodný (chilský ledek) v mimoevropských lokalitách. Vyskytují se téměř ve všech vodách a patří mezi 4 hlavní anionty. V přírodních vodách se koncentrace mění s ročním obdobím, kdy ve vegetačním období jsou z vody odčerpány vegetací a v mimovegetačním období jsou vyluhovány z půdy do vody. Dusičnany se v zaživacím traktu redukují na dusitany a nitroso skupina  $\text{NO}_2^-$  potom reaguje s hemoglobinem a vytlačuje kyslík. Škodlivost spočívá ve ztrátě schopnosti přenášet kyslík (PITTER, 1999).

### 5.1.9 Fosforečnany

V porovnání s dusíkem je hlavním limitujícím biogenním prvkem fosfor, ukládající se ve větší míře do sedimentu (AMBROŽOVÁ, 2003). *Přírodním zdrojem* ve vodách je rozpouštění a vyluhování některých minerálů a zvětráváním vyvřelých i metamorfovaných hornin. *Antropogenním zdrojem* je především aplikace hnojiv. Odpadní vody obsahující prací prostředky, které mohou obsahovat až 5 % fosforu.

Sloučeniny fosforu mají významnou úlohu v přírodním koloběhu látek. Po uhynutí a rozkladu organismů se opět uvolňují do prostředí. Mají vliv na růst zelených organismů ve vodě. V podzemních vodách mají fosforečnany indikační význam a jejich výskyt svědčí o znečištění (PITTER, 1999).

#### **5.1.10 Sírany**

Hlavními minerály jsou sádrovec a anhydrit. Dále vznikají *oxidací sulfidických rud*, což je hlavní příčinou vysokých koncentrací v důlních vodách. V koncentracích vyskytujících se v povrchových a prostých podzemních vodách nemají hygienický význam. Při vysoké koncentraci ovlivňují chuť vody a za přítomnosti hořčíku a sodíku mají laxativní účinky (PITTER, 1999).

#### **5.1.11 Chloridy**

Základní druhy hornin a půd obsahují průměrně 10–500 mg chloridů v 1 kg. Do vody přecházejí jejich *zvětráváním a vyluhováním*. Větší koncentrace pocházejí z ložisek kamenné soli a draselných solí. Mohou být také vulkanického původu. Rozpustnost závisí na pH. Spolu s hydrogenuhličitanem, sírany a dusičnany patří mezi základní anionty v přírodních vodách. Jsou chemicky i biologicky stabilní, hygienicky nezávadné, avšak ve vyšších koncentracích ovlivňují chuť vody. Používají se k hygienickému zabezpečení pitné vody jako oxidační činidlo, kdy je nezbytná zbytková koncentrace aktivního chloru ve vodě (PITTER, 1999).

#### **5.1.12 Fluoridy**

Přírodním zdrojem fluoru ve vodách jsou některé minerály fluorit, kryolit, apatit a v menším množství je obsažen v žulách a slídách a jejich zvětráváním se dostává do podzemních vod. Fluor patří mezi esenciální látky a doporučená denní dávka 1-2 mg/l. Fluor má zvláštní hygienický význam ze stomatologického hlediska, což bylo prokázáno ve čtyřicátých letech v USA a nedostatečné množství fluoru (<0,5 mg/l) se může projevit zvýšenou kazivostí zubů (PITTER, 1999). Existují ale i opačné názory, které fluoridaci nedoporučují z důvodu možné karcinogenity, která způsobuje cirhózu jater (ZIEGELBECKER, 1981).

## 5.2 Hornická oblast Jáchymovsko

### 5.2.1 Geologie oblasti

Území Karlovarského kraje je geologicky mimořádně pestré. Obsahuje ložiska rud (Jáchymov, Krásno, Horní Slavkov), nerudní suroviny (kaolíny a jíly), energetické suroviny (uran a uhlí) a léčivá minerální zřídla. Rozmanitost, četnost a unikátnost geologických jevů jsou ojedinělé ve srovnání s daleko většími regiony. Povrch Karlovarského kraje se skládá převážně z metamorfovaných hornin všech druhů, a to mnohokrát přeměněných. Horninové podloží kraje je výsledkem posledních tří vrásnění:

- *Kadomského*, před 575-540 miliony let
- *Hercynského*, před 390-330 miliony let
- *Alpinského*, před 65 miliony let a stále doznívá

Nejdůležitější geologickou událostí v celé historii kraje bylo hercynské vrásnění (ROJÍK, 2015).

*Jáchymovské ložisko* (rudní pole) se rozkládá na ploše cca 45 km<sup>2</sup> v jihozápadní části Krušných hor, vzdálené 20 km severně od Karlových Varů. Jedná se o tektonicky omezené *hydrotermální žilné ložisko* tzv. pětiprvkové asociace Ag-Co-Ni-Bi-U, vyvinuté v místech křížení dvou významných hlubinných struktur. Severozápadního jáchymovského a severovýchodního krušnohorského zlomu (VESELÝ, 1986).

*Krušnohorské žuly* jsou autometamorfované a často dvojslídne žuly s cínovou mineralizací, které ovlivňují veškeré důlní vody oblasti. Revír je součástí metalogenetické zóny sasko-durynské. Je to oblast s charakteristickými prvky U, Sn, W, Li, Ni, Co, Bi, Ag, Fe. Typická jsou i rudní spojení Sn-W-Li-Mo a tzv. pětiprvková formace Ag-Bi-Co-Ni-U s arsenem (ŠVOR, 1975).

### 5.2.2 Supergenní obohacení

Na Jáchymovsku dochází k supergennímu obohacení ložisek, které zahrnuje:

- *povrchové ochuzení rudního ložiska* vyluhováním a oxidací
- *odnos rozpuštěných nerostných látek směrem dolů*
- *vysrážení v zóně obohacení* tj. v blízkosti hladiny podzemní vody

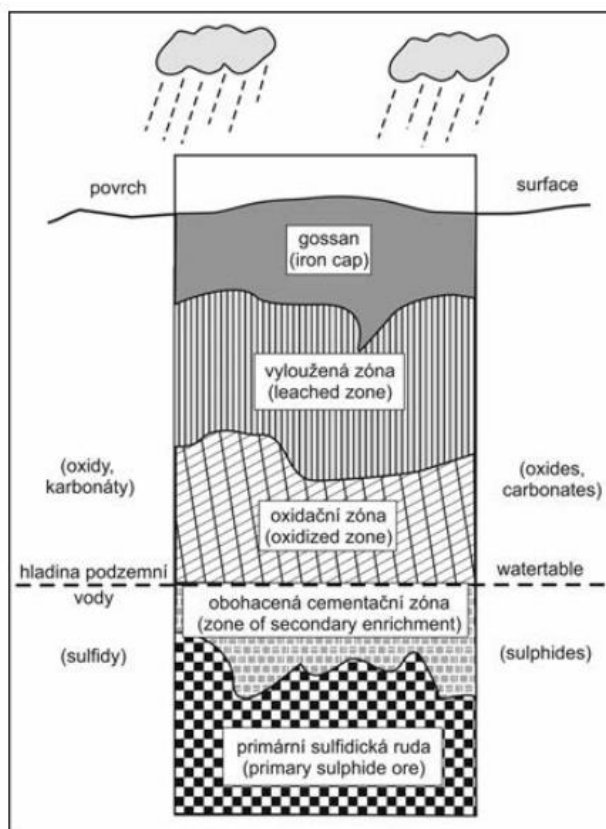
Výsledkem tohoto procesu je obohacení například Ag, Pb, Zn, Cu. Tyto procesy zásadně mění charakter primární mineralizace z chemického i prostorového hlediska.

**Zvětrávání sulfidických minerálů** produkuje asociace různých, chemicky variabilních minerálů (SMIRNOV, 1956). Části ložisek na styku vod bohatých kyslíkem s redukčními podmínkami panujícími hlavně pod hladinou podzemní vody, tak byly obohaceny o stříbro; jde o tzv. cementační zónu. Faktory ovlivňující charakter **supergenní zóny** se rozdělují na **regionální** a **lokální**. Regionální faktory ovlivňují stejnou měrou všechny rudní akumulace dané oblasti, zatímco lokální ovlivňují pouze jednu konkrétní rudní akumulaci (WILLIAMS, 1990).

**Minerální fáze** se v jednotlivých částech supergenní zóny liší. V nadložním „železném klobouku“ (gossanu) dochází k výrazné akumulaci železa, a to se uplatnilo při vzniku oxohydroxidů železa, zejména **žlutohnědého zemitého goethitu** („limonitu“) (BATEMAN, 1950). Limonit způsobuje rezavé zbarvení bahna v okolí výchozů ložisek většiny rud drahých i barevných kovů. Kvůli velkému obsahu železa byl „železný klobouk“ na mnoha místech v historii těžen (HLOUŠEK, 2017).

**Proces supergenního obohacení** a popis jednotlivých zón je znázorněn na obrázku 2.

Obrázek 2: Schéma supergenní zóny podle (BATEMANA 1950 a WILLIAMSE 1990)



### 5.2.3 Hydrogeologie oblasti

*Hydrogeologické poměry na Jáchymovsku* jsou dány morfologií území, charakterem zvětralinového pláště a hornin krystalinika. Celková mineralizace se pohybuje mezi 80–300 mg/l. Vodní režim je ovlivněn uměle důlní činností. Značná zřídlost převážné části území způsobuje umělé odvodnění povrchových a podzemní vod sestupného pásma oběhu a snižuje erozivní bázi krajiny až na nejnižší úroveň důlního díla. Významným zásahem do oběhu podzemních vod sestupné větve došlo likvidací a zatopením šachet západní části jáchymovského revíru. **Zlomová oblast** s četnými puklinami a výrony radioaktivních term vzestupného charakteru, také významně ovlivňují vodní režim území, bývá nazývána „*Jáchymovská terma*“ (ŠVOR, 1975).

### 5.2.4 Chemismus vod jáchymovské oblasti

V jáchymovské oblasti se vyskytují **3 chemické typy vod**, které se od sebe liší svým charakterem, pravděpodobně ovlivněným prostředím tvorby chemismu.

- **vody natrium-bikarbonátové** - vznikají v podložních granitoidech a mají stálou celkovou mineralizaci 0,56-0,7 g/l
- **vody kalcium-sulfátové** - vznikají v metamorfním plášti a mají stálou celkovou mineralizaci 0,2-3,0 g/l
- **vody povrchových pramenů** - vznikají, jak ve výchozích granitoidech, tak z metamorfního pláště a mají stálou celkovou mineralizaci pod 0,2 g/l

*Ve všech typech* místních vod, se mohou v různých koncentracích vyskytovat tyto látky, jako **vápník, hořčík, sodík, chlór, zinek, sírany, kyselé uhličitany, kyselina křemičitá. Uran s nejvyššími koncentracemi v metamorfním plášti. Skupina prvků olovo, beryllium a barium**, se koncentracemi pohybují na hranicích určitelnosti (ŠVOR, 1975).

### 5.2.5 Historie, lázeňství a těžba uranu

*Zásluhou rozvoje báňských prací v 16. století* se krušnohorský masív, do té doby jen místy na úpatích či v údolích slabě osídlený, stal hospodářsky významnou oblastí. Vzniklo tu 10 hornických měst, z nichž Jáchymov již v roce 1516 a Horní Blatná v roce 1533. **Celá oblast se významně podílela na ekonomické růstu země** (MAJER, 2004). Jáchymov byl v té době díky počtu obyvatel druhým největším městem v Českých zemích hned po Praze. Voda se v jáchymovském podloží samovolně sytí radonem, což je vzácný plyn vznikající při rozpadu rádia. Nelze pominout důležitost



**objev rádia** roku 1898 **Marií Curie-Sklodowskou**. Léčivé účinky radonové vody byly prokázány a nejsou předmětem této práce, ale za zmínku stojí informace, že první „lázněčky“ byly zřízeny v domě místního pekaře. Radioaktivitu pramenů potvrdil roku 1905 Dr. H. Mach a Dr. S. Mayer. Za zrození lázní je pak považován rok 1906. První hotel Radiumpalace byl postaven pod vedením architekta Buriana z Vídně a otevřen roku 1912. Dalšími osobnostmi, které byly přímo spjaty s Jáchymovem byly **Dr. František Běhounek** (český fyzik) a Georg Bauer (**Georgius Agricola**), který se v roce 1527 stal městským lékařem a lékárníkem. Jeho dílem je **Dvanáct knih o hornictví** (De re metallica libri XII). Knihy popisují doly, větrání, odvodňování, ražbu a staly se nejvyužívanější příručkou pro dobývání rud a jejich zpracování (JEŽEK, 2009).

**Po roce 1945** došlo k odsunu německého obyvatelstva a tím snížení počtu dělníků pracujících v dolech. Roky, které přinesly Jáchymovu slávu, byly zastíněny poválečným obdobím. Na základě vysokých nároků plnění Československo-sovětské smlouvy o uranu, byli do Jáchymova z politických důvodů umístováni vězni. Nejprve němečtí váleční zajatci a českoslovenští občané odsouzení k nuceným pracím v jáchymovských lágrech. Období jáchymovských lágrů trvalo od roku 1949 do roku 1961 (PLUSKAL, 1998). V následujících letech došlo k úplnému zastavení těžby uranových rud a postupným sanacím důlních děl v okolí Jáchymova i v Jáchymově samotném.

## 6. Metodika

### 6.1 Odběr vzorků

Odběr vzorků probíhal ve *čtyřech štolách* Jáchymovského rudního revíru a v Horní Blatné, v *období 8.9.2019, 26.10.2019, 14.12.2019 a 24.1.2020*, a to v souladu s ČSN EN ISO 5667-14 (757051). Lokalitami odběrů byla ústí odvodňovacích štol.

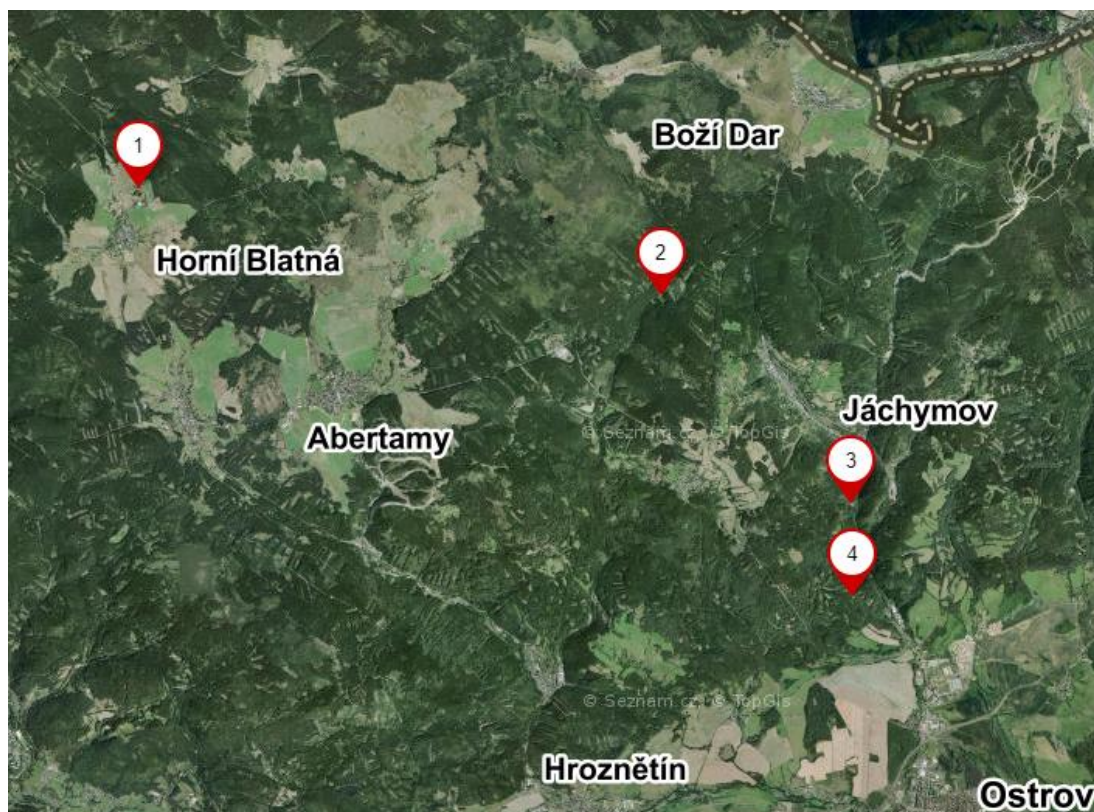
V místech odběrů byla provedena měření teploty, elektrické konduktivity, pH, rozpuštěných látek přenosným přístrojem HI 98129 Combo od HANNA Instruments Inc., USA a stanovení organoleptických vlastností vzorků. Veškerá měření byla zaznamenána do protokolů o odběru vzorků. Použity byly plastové vzorkovnice o obsahu 250 ml. Všechny vzorky byly zmrazeny a v den analýzy byly doručeny v chladícím boxu do laboratoře aplikované ekologie ČZU v Praze a předány vedoucímu práce prof. Ing. Janu Vymazalovi, CSc.

Vzorky byly analyzovány postupy dle pracovního textu Katedry aplikované ekologie Dvořáková, Březinová, Vymazal (2017) Analytické metody v Hydrochemické laboratoři a dle vybraných norem ČSN ISO. Chloridy, sírany, dusičnany, dusitany a fosforečnany a fluoridy, byly měřeny iontovém chromatografu Metrohm 883 Basic plus (Švýcarsko). Celkový dusík a jednotlivé formy uhlíku byly měřeny na přístroji FORMACS (Skalar, Breda, Nizozemí). Amoniakální dusík byl stanoven spektrofotometricky na přístroji Cary 60 UV-VIS (Agilent Technologies, Walbronn, 27 Německo) indofenolovou metodou podle ČSN EN ISO 7150-1.

### 6.2 Místa odběrů vzorků

Odběrní místa se nacházejí v Karlovarském kraji. Štoly Vavřinec, Eduard, Nová Svornost a Popov byly vytipovány pro bakalářskou práci zejména z důvodu celoroční dobré přístupnosti odvodňovacích štol. Fotografie ústí štol byly pořizovány autorkou bakalářské práce průběžně, a to v období mezi prvním a posledním odběrem. K mapovému znázornění jednotlivých lokalit bylo využito webového portálu mapy.cz (Obr. 3).

Obrázek 3: Mapové znázornění sledovaných lokalit (MAPY.CZ, 2020). 1. štola Vavřinec, 2. štola Eduard, 3. štola Nová Svornost, 4. štola Popov



### 6.2.1 Štola Vavřinec, Horní Blatná, Karlovarský kraj

**Souřadnice: 50°23'51.777"N, 12°46'22.474"E; 50.3977156N, 12.7729100E**

Odvodňovací štola byla znovuobjevena teprve v roce 2015 partou nadšenců a ve spolupráci s městem Horní Blatná, bylo obnoveno ústí štoly. Je první zastávkou naučné stezky Hornoblatenského cínového revíru. Byla součástí obecního dolu Vavřinec. Její ražba byla zahájena v roce 1749 s cílem odvodnit všechny tehdejší doly Wolfgang a Vavřinec na Blatenském vrchu. Délka štoly dosahovala 1600 m a byla osazena velkým vodotěžným strojem, poháněným vodou z nedalekého Blatenského příkopu. V dole Vavřinec bylo těženo celkem 14 rudných žil a z vytěžené rudy vyrobeno 226 tun cínu. Ve válečných letech 1938-1945 byla štola i důl Vavřinec uzavřeny (KRUŠNOHORSKY, 2018).

Na Obrázku 4 je vidět ústí štoly Vavřinec. Dřevěná výstuž, která podepírá nezpevněný otvor odvodňovací štoly. Důlní voda vytéká kamenitou stokou.

**Obrázek 4: Vavřinec odvodňovací štola (AUTOR, 2019).**



### **6.2.2 Štola Eduard, Jáchymov, Karlovarský kraj**

**Souřadnice: 50°22'57.109"N, 12°53'18.636"E; 50.3825303N, 12.8885106E**

Tato odvodňovací štola se nachází v místě zvaném Eliášské údolí, kde se jedinečným způsobem kombinují pozůstatky po těžbě stříbrných a kobaltových rud z 16-19. století, s rozsáhlými pozůstatky po těžbě rud uranu ve druhé polovině 20. století. Jáma Eduard se nachází nad Heinzovým rybníkem poblíž někdejší jámy Eliáš. V okolí dolu probíhala hornická činnost již od 16. století. Tehdy šlo o řadu kratších štol a mělkých průzkumných šachtic. V 18. století byla oblast zpřístupněna i na hlubších patrech, a to chodbami vedoucími z dolů Eliáš a později Werner (dnes Rovnost), situovaných jižně od dolu Eduard. Hloubení vlastní jámy Eduard začalo až v roce 1948 a je spjato výhradně s poválečnou těžbou uranu. Jáma Eduard dosáhla hloubky 365 m a měla šest pater, kterými byla propojena se všemi výše jmenovanými doly. Na povrchu vznikl areál se šachetní budovou, strojovnou, trafostanicí, rozsáhlou administrativní budovou a dalšími pomocnými objekty. V sousedství areálu byl postupně navršen mohutný odval hlušiny, který bývá typickým znakem hornické činnosti na Jáchymovsku. Počátkem 60. let těžba uranu v celém revíru končila a také důl Eduard byl likvidován. Jáma je dnes pravděpodobně zasypána, ale povrchový areál je na Jáchymovsku jedním

z posledních, který je částečně zachován. Odvodňovací štola (Obr. 5) se nachází pod nedávno revitalizovanou hrází Heinzova rybníka (MONTANREGION, 2018).

**Obrázek 5: Ústí štoly Eduard pod hrází Heinzova rybníka (AUTOR, 2019).**



### **6.2.3 Štola Nová Svornost, Jáchymov, Karlovarský kraj**

**Souřadnice: 50°21'11.561"N, 12°55'50.471"E; 50.3532111N, 12.9306869E**

Je odvodňovací štolou nejstaršího dosud využívaného hlubinného dolu v Čechách i Evropě. Důl Svornost je v současnosti využívám pro jímání radonové vody, seismologickému monitoringu a je velmi oblíbený mineralogy. Roku 1896 v hloubce 514 m vytryskl silný pramen vody, který zatopil důl až po dědičnou štolu Daniel na šestém patře. Dne 1.1.1961 začala ražba štoly Nová Svornost, která měla nevyhovující štolu Daniel nahradit. Potrubí v nové štole dopravuje radonovou vodu do lázeňských provozů Léčebných lázní Jáchymov, které jsou vlastníkem dolu Svornost od roku 1964 (KRUŠNOHORCI, 2010). Jedná se o štolu s nejvyšší vydatností. Potrubí je současně betonovou šachtou, která slouží k bezpečnému odvádění vod v době jarního tání a pro případ přívalových dešťů, které by zapříčinily zatopení dolu (Obr. 6). Druhotně slouží pro potřeby odvádění důlních plynů, zejména radonu. Vchod je opatřen mřížemi a odvodňovací kanál na povrchu slouží jako náhon pro malou vodní elektrárnu.

Obrázek 6: Ústí štoly Nová Svornost s betonovou odvodňovací stokou (AUTOR, 2019).



#### 6.2.4 Štola Popov, Horní Žďár, Karlovarský kraj

Souřadnice: 50°20'23.8527"N, 12°55'51.1764"E; 50.3399589N, 12.9308828E

Štola bývala součástí jáchymovského rudního pole. Z geologického hlediska má jáchymovský revír, zejména se zřetelem ke strukturním poměrům, rozlohu cca 45 km<sup>2</sup>. Je ohraničen mocnými zlomovými strukturami, jejichž vznik a vývoj ovlivnil i rozšíření rudních žil. Předmětem hornické činnosti byly tzv. půlnoční a jitřní žíly, které se navzájem liší relativním stářím, směrnou délkou i úložnými poměry. Žíly půlnoční, vycházející na sever, se seskupují do rudních uzlů, které vždy souvisejí s některým zlomem severozápadního směru. Půlnoční žíly s uranovým zrudněním byly rozčleněny do sedmi žilných uzlů – Abertamy, Barbora-Eva, Rovnost, Svornost, Panorama, Bratrství a Plavno. Samostatně, v jižní části oblasti, bylo situováno ložisko Popov. Celý tento komplex byl uváděn jako ložisko Jáchymov. Žilné uzly Svornost, Plavno, Panorama a Popov lze zařadit mezi malá uranová ložiska. Jejich podíl na celkové těžbě uranu byl nižší než 15 % (JÁCHYMOV-JOACHIMSTHAL, 2017). Ústí odvodňovací štoly se nachází v lesním porostu v bezprostřední blízkosti ruin dvou budov bývalých úpraven rud. Pravděpodobně v důsledku nestabilní horniny a silného podmáčení, byl původní kamenný klenbový vstup do štoly uměle zavalen a sanován. Dnes se na tomto místě nachází pouze kovové potrubí vyčnívající z půdního povrchu

a značně zarostlé křovinami (Obr. 7). Důkazem, že se jedná o ústí odvodňovací štoly je koryto odvodňovací stoky pokryté sedimentací limonitu.

**Obrázek 7: Ústí odvodňovací štoly Popov, ze které se zachovalo pouze kovové potrubí (AUTOR, 2019).**



### **6.3 Obecné, fyzikální a chemické ukazatele, kovy a metaloidy**

Vzorky byly hodnoceny dle ukazatelů **ČSN ISO 5667-20** Kvalita vod - Odběr vzorků - Část 20: Návod pro použití údajů získaných při odběru vzorků k rozhodování - Shoda s limity a systémy klasifikace a **ČSN 75 7221** Kvalita vod - Klasifikace kvality povrchových vod, které jsou účinné od 1.12.2019. Normy nahradily předchozí znění a byly upraveny v souladu s požadavky na kvalitu povrchových vod v členských státech Evropské unie. Normy platí pro jednotné určování tříd kvality tekoucích povrchových vod, na různých místech v různém čase, a pro orientační posouzení kvality vody. Mezní hodnoty tříd kvality vody jsou uvedeny v Tabulce 1 a 2.

**Tabulka 1: Třída kvality vod pro obecné, fyzikální a chemické ukazatele (mimo živiny) a chemické ukazatele (živiny) podle ČSN 75 7221**

ukazatel	jednotka	Tabulka 1 - Mezní hodnoty tříd kvality vod				
		I	II	III	IV	V
teplota	°C	×	×	×	×	×
pH		×	×	×	×	×
konduktivita	mS/m	<40	<70	<110	<160	≥160
rozp. látky	mg/l	×	×	×	×	×
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/l	<0,2	<0,4	<0,8	<1,6	≥1,6
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mg/l	<0,05	<0,15	<0,25	<0,4	≥0,04
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	<2,5	<5	<8	<12	≥12
N celk.	mg/l	<3	<6	<10	<14	≥14
TOC	mg/l	<7	<10	<16	<20	≥20
P celk.	mg/l	<0,05	<0,15	<0,3	<0,6	≥0,6
Cl <sup>-</sup>	mg/l	<100	<200	<300	<450	≥450
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/l	<80	<150	<250	<400	≥400
F <sup>-</sup>	mg/l	<0,3	<0,6	<1,3	<2	≥2

**Tabulka 2: Třída kvality vod pro kovy a metaloidy podle ČSN 75 7221**

ukazatel	jednotka	Tabulka 1 - Mezní hodnoty tříd kvality vod				
		I	II	III	IV	V
Arsen (As)	μg/l	<1	<10	<20	<50	≥50
Berylium (Be)	μg/l	<0,2	<0,5	<1	<2	≥2
Bor (B)	μg/l	<100	<250	<500	<1000	≥1000
Hliník (Al)	μg/l	<600	<1200	<2500	<5000	≥5000
Chrom (Cr)	μg/l	<5	<15	<35	<70	≥70
Kadmium (Cd)	μg/l	<0,1	<0,5	<1	<2	≥2
Mangan (Mn)	μg/l	<100	<300	<500	<800	≥800
Měď (Cu)	μg/l	<5	<15	<30	<60	≥60
Nikl (Ni)	μg/l	<3	<6	<12	<40	≥40
Olovo (Pb)	μg/l	<3	<8	<15	<30	≥30
Zinek (Zn)	μg/l	<15	<50	<100	<200	≥200
Železo (Fe)	μg/l	<500	<1000	<2000	<3000	≥3000
Sodík (Na)	μg/l	x	x	x	x	x
Vápník (Ca)	μg/l	x	x	x	x	x

**Kvalitu vody byla posouzena pomocí limitů.** S nimi jsou porovnány výsledky analýz vzorků, aby byla posouzena shoda. Pokud je limit stanoven jako průměr za nějaké



období, bude porovnán s hodnotou průměru, která je předepsána jako limit. Je-li průměrná hodnota **vyšší než limit**, lze prohlásit, že kontrolované **místo nevyhovělo**. Je-li průměrná hodnota **nižší než limit**, lze prohlásit, že kontrolované **místo vyhovělo**. Tento typ hodnocení se nazývá hodnocení nominální hodnoty a nebere v úvahu chyby. **Rozbory důlních vod** byly sledovány jako **účelová klasifikace** pro studijní účely, konkrétně pro tuto bakalářskou práci. Výsledky vybraných parametrů byly hodnoceny jako **orientační určení kvality vod** a výsledná třída byla určena **podle nejnepříznivějšího výsledku** sledovaných parametrů.

Ukazatele stanoví zařazení do tříd a vyjadřují fyzikální stav, chemické složení a biologické oživení vody.

**I neznečištěná voda**, kvalita povrchové vody, která téměř nebyla ovlivněna lidskou činností a při které ukazatele kvality vody nepřesahují hodnoty odpovídající běžnému přirozenému pozadí ve vodních tocích.

**II mírně znečištěná voda**, kvalita povrchové vody, která byla ovlivněna lidskou činností tak, že ukazatele kvality vody dosahují hodnot, které umožňují existenci bohatého, vyváženého a udržitelného ekosystému.

**III znečištěná voda**, kvalita povrchové vody, která byla ovlivněna lidskou činností tak, že ukazatele kvality vody dosahují hodnot, u kterých je předpoklad, že nemusí vytvořit podmínky pro existenci bohatého, vyváženého a udržitelného ekosystému. Znečištění může znamenat počínající riziko možných chronických účinků na vodní organismy a potencionální zdravotní riziko pro člověka.

**IV silně znečištěná voda**, kvalita povrchové vody, která byla ovlivněna lidskou činností tak, že ukazatele kvality vody dosahují hodnot, které nevytváří podmínky umožňující existenci původního přirozeného ekosystému. Míra znečištění je taková, že při delší expozici existuje pravděpodobnost chronických ekotoxických účinků látek na vodní organismy. Voda může představovat zdravotní riziko pro člověka.

**V velmi silně znečištěná voda**, kvalita povrchové vody, která byla extrémně ovlivněna lidskou činností tak, že ukazatele kvality vody dosahují hodnot, které neumožňují existenci původního přirozeného ekosystému. Míra znečištění je taková, že při delší expozici existuje vysoká pravděpodobnost chronických ekotoxických účinků a popřípadě i akutní ekotoxicity. Voda může představovat zdravotní riziko pro člověka.

#### **6.4 Vápník a sodík**

Česká technická norma ČSN 75 7221 pro kvalitu povrchových vod množství vápníku a sodíků nesleduje. Z tohoto důvodu bude naměřené množství těchto dvou parametrů hodnoceno v souladu s *Vyhláškou č. 252/2004 Sb.* Vyhláška, kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody, kde je *limitní množství pro sodík 200 mg/l a vápník 30 mg/l.*

## 7. Výsledky a hodnocení

### 7.1 Organoleptické vlastnosti

Vizuální hodnocení vzorků u všech sledovaných lokalit:

**Barva** - žádná, **zápach** - žádný, **chut'** - nebyla stanovena z důvodu možné kontaminace důlní vody, **zákal** - žádný

Dnový sediment odvodňovacích stok byl viditelně zbarvený oranžově až červeně pouze u štol Eduard a Popov.

### 7.2 Základní chemický rozbor

#### 7.2.1 Štola Vavřinec

V tabulce 3 jsou uvedeny naměřené hodnoty základního chemického rozboru na lokalitě štola Vavřinec.

Tabulka 3: Štola Vavřinec - základní chemický rozbor

ukazatel	jednotka	Štola Vavřinec					
		08.09.2019	26.10.2019	14.12.2019	24.01.2020	průměr	třída
teplota	°C	6,8	5,8	6,8	7,0	6,60	
pH		5,52	5,55	5,49	5,2	5,44	
konduktivita	mS/m	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	I
rozp. látky	mg/l	40	40	30	40	37,50	
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/l	0,00	0,30	0,00	0,00	0,08	I
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mg/l	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	I
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	3,04	1,59	0,79	0,23	1,41	I
N celk.	mg/l	0,83	0,56	0,39	0,13	0,48	I
TOC	mg/l	4,48	7,31	4,52	4,19	5,13	I
P celk.	mg/l	0,15	0,12	0,00	0,00	0,07	II
Cl <sup>-</sup>	mg/l	1,61	1,55	13,44	3,17	4,94	I
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/l	12,59	37,54	66,17	24,18	35,12	I
F <sup>-</sup>	mg/l	0,37	0,42	0,62	0,36	0,44	II

**Teplota** se pohybovala mezi 5,8-7 °C, což je hodnota *nižší než průměrná* roční teplota ve střední Evropě v hloubce 10 m pod povrchem, která je 9,5 °C. **pH** má hodnotu mezi 5,2-5,55. To svědčí o kyselosti vodního prostředí. **Konduktivita** se pohybuje mezi 0,11-0,12 mS/m. Hodnoty jsou poměrně nízké a s těmito hodnotami přímo souvisí i nižší množství **rozpuštěných látek** v rozmezí 30-40 mg/l. Obsah **dusíkatých látek**,

*celkového organického uhlíku, chloridů a síranů* dosahuje zanedbatelných hodnot. *Fosfor celkový* s hodnotou 0,07 mg/l a *fluoridy* s hodnotou 0,44 mg/l mírně překročily nejnižší limitní hodnotu pro I. třídu, a proto limitní třídě I nevyhověly.

### 7.2.2 Štola Eduard

V tabulce 4 jsou uvedeny naměřené hodnoty základního chemického rozboru na lokalitě štola Eduard.

Tabulka 4: Štola Eduard - základní chemický rozbor

ukazatel	jednotka	Štola Eduard					
		08.09.2019	26.10.2019	14.12.2019	24.01.2020	průměr	třída
teplota	°C	8,7	5,8	6,3	6,9	6,9	
pH		7,36	8,05	7,34	7,37	7,53	
konduktivita	mS/m	0,28	0,21	0,36	0,37	0,31	I
rozp. látky	mg/l	100	60	110	120	97,50	
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/l	0,00	0,10	0,00	0,00	0,03	I
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mg/l	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01	I
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	2,83	0,69	0,69	0,18	1,10	I
Ncelk.	mg/l	0,78	0,64	0,27	0,13	0,46	I
TOC	mg/l	4,89	7,35	4,43	4,22	5,22	I
P celk.	mg/l	0,13	0,00	0,00	0,00	0,03	I
Cl <sup>-</sup>	mg/l	2,29	6,58	11,04	3,05	5,74	I
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/l	11,74	23,80	68,40	20,54	31,12	I
F <sup>-</sup>	mg/l	0,35	0,26	0,51	0,36	0,37	II

*Teplota* se pohybovala mezi 5,8 -8,7 °C, což je hodnota *nižší než průměrná* roční teplota ve střední Evropě v hloubce 10 m pod povrchem, která je 9,5 °C. *pH* má hodnotu mezi 7,34-8,05. Hodnota vyšší než 7, svědčí o alkalitě vodního prostředí. *Konduktivita* se pohybuje mezi 0,21-0,37 mS/m. Hodnoty jsou nižší, a proto má nižší množství *rozpuštěných látek* v rozmezí 60-120 mg/l. Obsah *dusíkatých látek, celkového organického uhlíku, fosforu celkového, chloridů a síranů* dosahuje zanedbatelných hodnot. *Fluoridy* s hodnotou 0,37 mg/l mírně překročily nejnižší limitní hodnotu pro I. třídu, a proto limitní třídě I nevyhověly.

### 7.2.3 Štola Nová Svornost

V tabulce 5 jsou uvedeny naměřené hodnoty základního chemického rozboru na lokalitě štola Nová Svornost.

Tabulka 5: Štola Nová Svornost - základní chemický rozbor

ukazatel	jednotka	Štola Nová Svornost					
		08.09.2019	26.10.2019	14.12.2019	24.01.2020	průměr	třída
teplota	°C	12,4	12,9	12,5	12,2	12,5	
pH		8,13	8,12	8,18	8,19	8,16	
konduktivita	mS/m	0,58	0,59	0,62	0,58	0,59	I
rozp. látky	mg/l	220	220	230	230	225,00	
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/l	0,00	0,10	0,00	0,00	0,03	I
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mg/l	0,00	0,11	0,00	0,00	0,03	I
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	2,32	0,97	2,18	0,83	1,58	I
Ncelk.	mg/l	0,60	0,46	0,52	0,23	0,46	I
TOC	mg/l	4,05	5,07	5,11	4,07	4,58	I
P celk.	mg/l	0,11	0,00	0,00	0,00	0,03	I
Cl <sup>-</sup>	mg/l	1,53	0,74	24,12	3,11	7,38	I
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/l	10,54	2,10	81,09	24,13	29,47	I
F <sup>-</sup>	mg/l	0,33	0,16	0,53	0,33	0,34	II

**Teplota** se pohybovala mezi 12,2-12,5 °C, což je hodnota **vyšší než průměrná** roční teplota ve střední Evropě v hloubce 10 m pod povrchem, která je 9,5 °C. Tyto důlní vody jsou teplotně stabilní ve vyšších hodnotách. Jedná se částečně o vody ze zlomových míst, ovlivněných výrony radioaktivních term vzestupného charakteru. **pH** má hodnotu mezi 8,12-8,19. Hodnota vyšší než 7, svědčí o alkalitě vodního prostředí. **Konduktivita** se pohybuje mezi 0,58-0,62 mS/m. Hodnoty jsou nejvyšší ze všech sledovaných štol, ale stále velmi málo mineralizované. Množství **rozpuštěných látek** v rozmezí 220-230 mg/l. Obsah **dusíkatých látek, celkového organického uhlíku, fosforu celkového, chloridů a síranů** dosahuje velmi nízkých hodnot. **Fluoridy** s hodnotou 0,34 mg/l mírně překročily nejnižší limitní hodnotu pro I. třídu, a proto limitní třídě I nevyhověly. Štola má nejvyšší mineralizaci ze všech analyzovaných štol.

## 7.2.4 Štola Popov

V tabulce 6 jsou uvedeny naměřené hodnoty základního chemického rozboru na lokalitě štola Popov.

Tabulka 6: Štola Popov - základní chemický rozbor

ukazatel	jednotka	Štola Popov					
		08.09.2019	26.10.2019	14.12.2019	24.01.2020	průměr	třída
teplota	°C	11,0	10,1	9,6	9,8	10,1	
pH		6,87	7,00	7,01	7,03	6,98	
konduktivita	mS/m	0,44	0,47	0,45	0,46	0,46	I
rozp. látky	mg/l	160	100	150	160	142,50	
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/l	0,00	0,10	0,00	0,00	0,03	I
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mg/l	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	I
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	3,09	0,34	1,33	0,75	1,38	I
Ncelk.	mg/l	0,78	0,34	0,33	0,17	0,41	I
TOC	mg/l	5,32	5,92	4,31	5,64	5,30	I
P celk.	mg/l	0,08	0,00	0,00	0,00	0,02	I
Cl <sup>-</sup>	mg/l	2,23	6,10	20,04	6,25	8,66	I
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/l	12,03	42,24	79,92	24,59	39,70	I
F <sup>-</sup>	mg/l	0,37	0,21	0,55	0,34	0,37	II

*Teplota* se pohybovala mezi 9,6-11,4 °C, což je hodnota **vyšší než průměrná** roční teplota ve střední Evropě v hloubce 10 m pod povrchem, která je 9,5 °C. *pH* má hodnotu mezi 6,87-7,03. Hodnota kolem 7, je na hranici mezi kyselou a alkalickou, tedy převážně neutrální. *Konduktivita* se pohybuje mezi 0,44-0,47 mS/m. Množství *rozpuštěných látek* v rozmezí 100-160 mg/l. Obsah *dusíkatých látek, celkového organického uhlíku, fosforu celkového, chloridů a síranů* dosahuje velmi nízkých hodnot. *Fluoridy* s hodnotou 0,37 mg/l mírně překročily nejnižší limitní hodnotu pro I. třídu, a proto limitní třídě I nevyhověly.

## 7.3 Kovy a metaloidy

### 7.3.1 Štola Vavřinec

V tabulce 7 jsou uvedeny naměřené hodnoty kovů a metaloidů na lokalitě štola Vavřinec.

Tabulka 7: Štola Vavřinec - kovy a metaloidy

ukazatel	jednotka	Štola Vavřinec					
		08.09.2019	26.10.2019	14.12.2019	24.01.2020	průměr	třída
Arsen (As)	µg/l	9,40	0,80	72,00	0,40	20,65	III
Beryllium (Be)	µg/l	1,63	0,09	0,08	0,20	0,50	II
Bor (B)	µg/l	0,13	0,26	0,46	0,19	0,26	I
Hliník (Al)	µg/l	84,98	0,66	0,01	0,01	21,42	I
Chrom (Cr)	µg/l	0,01	0,01	0,03	0,03	0,02	I
Kadmium (Cd)	µg/l	0,38	0,07	0,10	0,00	0,14	II
Mangan (Mn)	µg/l	15,98	395,90	21,00	179,79	153,17	II
Měď (Cu)	µg/l	22,15	4,63	5,55	0,01	8,09	II
Nikl (Ni)	µg/l	0,01	5,61	1,06	0,01	1,67	I
Olovo (Pb)	µg/l	3,67	5,36	6,05	4,49	4,89	II
Zinek (Zn)	µg/l	33,60	9,34	23,80	11,87	19,65	II
Železo (Fe)	µg/l	8,03	3,38	0,01	0,01	2,86	I

**Obsah kovů a polokovů** v důlní vodě Štoly Vavřinec překročil I. limitní třídu u sedmi sledovaných parametrů, a to u arsenu, beryllia, kadmia, manganu, mědi, olova a zinku. Velmi vysoký je výsledek měření u Arsenu s průměrnou hodnotou 20,65 µg/l, která klasifikuje lokalitu do limitní třídy III.

### 7.3.2 Štola Eduard

V tabulce 8 jsou uvedeny naměřené hodnoty kovů a metaloidů na lokalitě štola Eduard.

Tabulka 8: Štola Eduard - kovy a metaloidy

ukazatel	jednotka	Štola Eduard					
		08.09.2019	26.10.2019	14.12.2019	24.01.2020	průměr	třída
Arsen (As)	µg/l	4,11	3,96	0,00	3,28	2,84	II
Beryllium (Be)	µg/l	0,52	0,90	0,07	0,27	0,44	II
Bor (B)	µg/l	0,17	0,16	0,08	0,17	0,15	I
Hliník (Al)	µg/l	30,61	44,56	0,56	0,01	18,94	I
Chrom (Cr)	µg/l	0,00	0,00	1,48	0,03	0,38	I
Kadmium (Cd)	µg/l	0,04	0,23	0,21	0,04	0,13	II
Mangan (Mn)	µg/l	156,66	129,43	72,50	240,50	149,77	II
Měď (Cu)	µg/l	8,14	11,78	0,46	6,34	6,68	II
Níkl (Ni)	µg/l	2,99	2,33	1,06	0,00	1,60	I
Olovo (Pb)	µg/l	3,12	0,83	1,82	1,67	1,86	I
Zinek (Zn)	µg/l	14,90	18,08	8,80	9,41	12,80	I
Železo (Fe)	µg/l	5,36	9,03	19,85	0,00	8,56	I

**Obsah kovů a polokovů** v důlní vodě Štoly Popov překročil I. limitní třídu u pěti sledovaných parametrů, a to u arsenu, beryllia, kadmia, manganu a mědi. Přestože překročení nejsou nijak vysoká, průměrné hodnoty klasifikují do limitní třídy II. Vzhledem k dřívějšímu využití tohoto dolu se tyto výsledky daly předpokládat.



### 7.3.3 Štola Nová Svornost

V tabulce 9 jsou uvedeny naměřené hodnoty kovů a metaloidů na lokalitě štola Nová Svornost.

Tabulka 9: Štola Nová Svornost - kovy a metaloidy

ukazatel	jednotka	Štola Nová Svornost					
		08.09.2019	26.10.2019	14.12.2019	24.01.2020	průměr	třída
Arsen (As)	µg/l	1,58	57,42	136,35	2,94	49,57	III
Berylium (Be)	µg/l	0,24	0,01	0,01	0,34	0,15	I
Bor (B)	µg/l	0,19	0,45	0,53	0,19	0,34	I
Hliník (Al)	µg/l	1,13	0,32	0,10	0,10	0,41	I
Chrom (Cr)	µg/l	0,01	0,02	0,03	0,03	0,02	I
Kadmium (Cd)	µg/l	0,04	0,15	0,03	0,01	0,06	I
Mangan (Mn)	µg/l	227,00	20,16	20,49	192,77	115,11	II
Měď (Cu)	µg/l	2,55	4,87	2,97	4,21	3,65	I
Nikl (Ni)	µg/l	4,40	0,01	5,87	0,01	2,57	I
Olovo (Pb)	µg/l	2,22	2,72	3,75	2,88	2,89	I
Zinek (Zn)	µg/l	5,27	12,49	13,22	9,89	10,22	I
Železo (Fe)	µg/l	5,30	0,01	0,01	0,82	1,54	I

**Obsah kovů a polokovů** v důlní vodě Štoly Nová Svornost překročil I. limitní třídu pouze u dvou sledovaných parametrů, a to u arsenu a manganu. Průměrná hodnota 115,11 µg/l bude pro důlní vody běžná. Alarmující výsledek měření u Arsenu s průměrnou hodnotou 49,57 µg/l, která klasifikuje lokalitu do limitní třídy III, je pouze o 0,43 µg/l pod limitní hodnotou pro třídu jakosti IV.

### 7.3.4 Štola Popov

V tabulce 10 jsou uvedeny naměřené hodnoty kovů a metaloidů na lokalitě štola Popov.

Tabulka 10: Štola Popov - kovy a metaloidy

ukazatel	jednotka	Štola Popov					
		08.09.2019	26.10.2019	14.12.2019	24.01.2020	průměr	třída
Arsen (As)	µg/l	14,58	0,13	64,65	0,30	19,92	II
Beryllium (Be)	µg/l	1,48	0,13	0,28	0,33	0,56	III
Bor (B)	µg/l	0,13	0,31	0,53	0,19	0,29	I
Hliník (Al)	µg/l	123,51	1,10	0,01	0,01	31,16	I
Chrom (Cr)	µg/l	0,01	0,01	0,03	0,03	0,02	I
Kadmium (Cd)	µg/l	0,39	0,02	0,37	0,01	0,20	II
Mangan (Mn)	µg/l	20,92	812,27	23,35	185,26	260,45	II
Měď (Cu)	µg/l	29,75	2,66	3,08	1,39	9,22	II
Nikl (Ni)	µg/l	0,57	5,30	6,16	0,01	3,01	II
Olovo (Pb)	µg/l	3,88	3,32	4,92	6,06	4,55	II
Zinek (Zn)	µg/l	35,69	15,99	43,23	9,20	26,03	II
Železo (Fe)	µg/l	13,62	15,02	0,01	1,15	7,45	I

**Obsah kovů a polokovů** v důlní vodě Štoly Popov překročil I. limitní třídu u osmi sledovaných parametrů, a to u arsenu, beryllia, kadmia, manganu, mědi, niklu, olova a zinku. Beryllium překročilo limitní hodnotu třídy II o 0,06 µg/l. U arsenu je naměřená průměrná hodnota 19,92 µg/l pouze o 0,08 µg/l pod limitní hodnotou pro třídu III. Obsah ostatních složek je pro důlní vody běžný a jeho pestrá škála potvrzuje výskyt sulfidických rud v tomto revíru.

## 7.4 Vápník a sodík

Výsledné hodnoty obsahu vápníku a sodíku jsou uvedeny v tabulce

**Tabulka 11: Vápník a sodík výsledky**

ukazatel	jednotka	Štola Vavřinec					
		08.09.2019	26.10.2019	14.12.2019	24.01.2020	průměr	limit
Vápník (Ca)	mg/l	3,73	11,82	31,65	21,53	17,18	30
Sodík (Na)	mg/l	3,03	3,52	8,84	5,10	5,12	200
ukazatel	jednotka	Štola Eduard					
		08.09.2019	26.10.2019	14.12.2019	24.01.2020	průměr	limit
Vápník (Ca)	mg/l	7,08	6,06	0,88	23,75	9,44	30
Sodík (Na)	mg/l	3,65	3,05	1,47	5,23	3,35	200
ukazatel	jednotka	Štola Nová Svornost					
		08.09.2019	26.10.2019	14.12.2019	24.01.2020	průměr	limit
Vápník (Ca)	mg/l	8,62	32,73	33,35	22,62	24,33	30
Sodík (Na)	mg/l	4,37	6,76	14,92	6,12	8,04	200
ukazatel	jednotka	Štola Popov					
		08.09.2019	26.10.2019	14.12.2019	24.01.2020	průměr	limit
Vápník (Ca)	mg/l	3,36	12,31	35,57	22,26	18,38	30
Sodík (Na)	mg/l	3,01	3,71	10,41	5,76	5,72	200

### Hodnocení

Výsledné hodnoty vápníku a sodíku u všech sledovaných důlních vod jsou velmi příznivé. Vody nepřekračují hygienické limity pro pitnou vodu u **sodíku 200 mg/l a vápníku 30 mg/l**.

## 8. Diskuse

*Naměřené hodnoty v důlních vodách jsou velmi ovlivněny prostředím* pod povrchem a cestami, kterými se důlní vody na povrch dostávají. Mezi ložiskovými horninami a vodami dochází k míšení a vzájemným interakcím, které mají vliv na kvalitu podzemních a povrchových v oblasti ložiska (GRMELA a kol., 2012).

*Nejteplejší* důlní voda je ve štole Nová Svornost. Ve vyšších naměřených stupních celsia se promítá vodní režim ovlivněný „Jáchymovskou termou“. K tomuto ovlivnění došlo v přímé souvislosti se zatopením nevyužívaných štol v části Jáchymovského revíru (ŠVOR, 1975).

*Kyselejší vodní prostředí* má jen důlní voda ve štole Vavřinec (pH Ø 5,44). Okolí odvodňovací štoly a převážná část důlního díla pokrývají rašeliniště. Do důlní vody se touto cestou vsakují atmosférické srážky, které sebou nesou organické látky, jež radikálně snižují pH. Srážkové vody pocházející z neznečištěných oblastí, mívají hodnotu pH v rozmezí 5-6. Povrchové vody s výjimkou vod rašelinišť mívají hodnoty pH v rozmezí 6-8,5 (PITTER, 1999). Nejvyšší pH má štola Nová Svornost (Ø 8,16). *Alkalické vodní prostředí* nasvědčuje ovlivnění sulfidy, které doprovázejí nerosty rudných ložisek.

Schopnost roztoku vést elektrický proud, tedy nejvyšší *konduktivitu* má voda ze štoly Nová Svornost (Ø 0,59 mS/m), s tím souvisí i nejvyšší množství rozpuštěných látek (Ø 225 mg/l). Ostatní vody jsou málo mineralizované. Štola Vavřinec dokonce velmi málo mineralizovaná s (Ø 37,5 mg/l), je pod minimální mezí (<50 mg/l). *Mineralizace se v oblasti pohybuje v rozmezí 30-230 mg/l*. Naměřené hodnoty se výrazně neliší od 80-300 mg/l, které uvádí ŠKVOR (1975) (viz. kapitola 5.2.3).

*Dusík a dusíkaté látky* v důlních vodách u sledovaných štol, jsou zastoupeny ve velmi malých dávkách. Jedná se přirozený výskyt. Z tohoto hlediska se jedná o čisté vodní prostředí, velmi málo ovlivněné antropogenní činností, protože v horské oblasti nedochází k aplikaci dusíkatých hnojiv.

Obsažené *chloridy a sírany* řadí všechny důlní vody do limitní třídy I. *Fosfor celkový* štolu Vavřinec do třídy II a zbylé štol do třídy I. Fluoridy odpovídají třídě II u všech štol. Hodnoty odpovídají běžnému přirozenému pozadí v tocích a organismy při styku s těmito důlními vodami nebudou nijak ovlivněny.

Výskyt *těžkých kovů* v důlních vodách je důvodem, proč nemohou být používány jako pitná voda nebo voda pro chov ryb. Limity pro kovy byly překročeny u více parametrů, zejména u kadmia, manganu, mědi, olova a zinku. Některé organismy jsou tolerantnější než jiné a dokáží přežít v koncentracích těžkých kovů, které by byly pro jiný organismus nepřekonatelnou překážkou. Organismy žijící ve znečištěném prostředí delší čas, postupně nahradí citlivé druhy méně citlivými (KLERKS a WEIS, 1987). Existuje zde pravděpodobnost, že v případě vystavení jedince stejné koncentraci kovu, avšak po delší dobu, mohou být následky smrtící (BLAXTER a HALLERS-TJABBES, 1992). Přes toto tvrzení rostlinná společenstva pokrývající dna a břehy v odtokových stokách, nebyla nijak viditelně poškozena. Druhové složení bylo chudší, ale pravděpodobně v dobré kondici. Minimální změny v ekosystému nasvědčují o ekologické stabilitě, protože ekosystém existuje i za působení rušivého vlivu s minimální změnou. Stav nasvědčuje situaci, kdy v prostředí chudém na živiny, prosperují druhy se speciálními adaptacemi, umožňujícími přežít i ve znečištěném prostředí. To lze srovnat s tvrzením, že méně úrodné půdy mají více druhů než půdy úrodné (YODA a kol., 1963).

Naměřené hodnoty *beryllia* z důlních vod Vavřince a Eduarda, řadí štol do třídy II a štolu Popov do třídy III. Za výskytem beryllia v životním prostředí je především těžba, která vede k uvolňování některých kovů do prostředí. Ovlivněna je následně hlavně orná půda a na ní rostoucí plodiny. Zrno, ale i jiné části rostlin a také ovoce, mohou být hlavním zdrojem beryllia v potravinovém řetězci (TANVEER a WANG, 2019). Beryllium je relativně imobilní v přírodních vodách při neutrálním pH. Bohužel za kyselých podmínek se stává environmentálním problémem. Mobilizuje se v potocích a bývá toxický pro ryby a vodní organismy. Přirozeně se vyskytuje v nízkých koncentracích, ale zvýšených hladin dosahuje v granitických horninách, kde vytváří ložiska a nejčastěji jako beryl a bertrandit (EDMUNDS W. M., 2011). Granitické horniny jsou v České republice velmi rozšířené a vyskytují se i v Krušných horách.

*Alarmující jsou zjištěné výsledky u Arzenu* u štol Vavřinec a Nová Svornost. Tyto důlní vody byly díky překročení zařazeny do *jakostní třídy III*, kdy ukazatele kvality vody dosahují hodnot, u kterých je předpoklad, že nemusí vytvořit podmínky pro existenci bohatého, vyváženého a udržitelného ekosystému. Znečištění může znamenat počínající riziko možných chronických účinků na vodní organismy a potenciaální zdravotní riziko pro člověka. Arsen není v půdě příliš mobilní a nekontaminuje širší okolí, ale jeho rozpustné formy mohou pronikat do podzemní vody. Výskyt arzenu, který doprovází pětiprvkovou kombinaci v oblasti Krušnohoří zmiňuje (ŠVOR, 1975). Oblastí se zvýšenou koncentrací arzenu v podzemní vodě je nespočet, ať už přirozeně nebo vlivem těžby (SINGH a kol., 2015). Jáchymovský revír rozhodně patří, k právě takovým lokalitám. Dokazují to i příklady v literatuře, které zahrnují půdu v okolí historické důlní haldy arsenového dolu Giftkies v severní části rudního revíru Jáchymov, mezi oblastí se zvýšenou koncentrací (DRAHOTA a kol., 2012). Výsledné hodnoty rozborů důlních vod na Jáchymovsku prokazují dosavadní tvrzení, že arsen (arsenopyrit) bývá běžnou součástí směsi obecných sulfidů, tedy komplexních sulfidických rud. Běžně se vyskytuje spolu se stříbrem v Jáchymově i v dole Svornost. Staré ryzí stříbro, které vzniklo během sulfoarsenového mineralizačního stádia, se časem rozpustilo a bylo odstraněno, aby bylo nejspíš opět použito na tvorbu nových stříbrných minerálů v dalším mineralizačním stádiu. Obdobné procesy probíhají i na povrchu odvalů za spoluúčasti dešťové vody. Na nezarostlých haldách v okolí Jáchymova nebylo vzácností, nalézt v 70. letech 20. století silně korodovaný arsen porostlý keříčky novotvořeného stříbra (HLOUŠEK, 2016). U lidí, žijících v okolí opuštěných dolů byla prokázána zvýšená koncentrace anorganického arzenu v moči (CHUNG a kol., 2016). Toxické účinky na lidský organismus jsou známe již velmi dlouho. Projevy akutní otravy byly obtížně odlišitelné od dříve běžných nemocí, například cholery. Do poloviny 19. století neexistoval způsob, jak otravu arsenem prokázat (HUGHES a kol., 2011). Naměřené hodnoty nejsou tak vysoké, aby zde mohlo docházet k akutním otravám. Je potřeba zmínit i opačné vlastnosti arzenu, který byl v historii využíván i v lékařství. Například při léčbě popálenin, vředů, malárie, cholery, astmatu a syfilis. V současnosti pomáhá jako chemoterapeutikum při léčbě akutní leukemie a uvažuje se o jeho využití i při léčbě jiných druhů rakoviny (HUGHES a kol., 2011). Arzen je v životním prostředí značně obsažen ve vodních sedimentech. Délka přítomnosti arzenu v atmosféře nebo ve vodním sloupci, závisí na velikosti částic, na které je navázán. Je prokázáno, že

arsen má schopnost bioakumulace (hromadění) potravních řetězcích a vyšší dávky vedou k poškození organismu. Je klasifikován jako prokázaný lidský karcinogen, tedy látka z tohoto hlediska s bezprahovým účinkem. To znamená, že je toxický již při prvním styku s organismem, a to i při malých koncentracích. Ohlašovací práh pro vody je 5 kg za rok (MŽP, 2019).

## 9. Závěr

Jáchymovsko je hornickou krajinou s rozsáhlými poddolovanými oblastmi, které utvářely krajinný ráz již v historii, ale mají významný vliv i na současnost regionu. Rozmanitost geologických jevů ovlivňuje přirozeně hydrogeologické poměry. Jáchymov se nacházel v předrevolučním období na těsné hranici tzv. „Černého trojúhelníku“ (BLAŽKOVÁ, 1996). Na vyšších hodnotách arsenu se v minulosti výrazně podílela i těžební činnost a poměrně hustá koncentrace tepelných elektráren v sousední mostecké a chomutovské oblasti. V současnosti po útlumu těžby a celkovém přechodu k alternativním zdrojům energie došlo k výraznému snížení ekologických dopadů na Krušnohoří.

Od 11. století docházelo k osídlování horských oblastí v Českých zemích a likvidaci lesních porostů na úkor lidských obydlí a částečně i zemědělské půdy. Na Jáchymovsku tento trend pokračoval s rozvojem hornické činnosti v 15. století, kdy docházelo k nadměrnému odlesňování pro energetické potřeby při hornické činnosti i zpracování vytěžených rud. Odlesněná horská krajina se stala náchylnou k erozi a zvětrávání. Horninové složení způsobuje nepřetržité obohacování důlních vod. Výsledkem jsou vody bohatší na minerální látky, ale zejména na těžké kovy. Na přírodní lokální kontaminaci arsenem se v současnosti podílí zejména zvětrávání.

Nabízí se hypotéza, že dlouhodobá těžební činnost významně ovlivnila kvalitu důlních vod. Analýzy rozborů prokazují, že zhodnocené třídy jakosti vod, nejsou horší než v jiných regionech České republiky. Ryze horské oblasti jsou dnes již bohatě zalesněny a mění se i druhová skladba lesů. Od 90. let došlo i k výrazným sanacím starých důlních děl. Odvaly a haldy v okolí jsou poměrně hustě zarostlé jehličnany a nálety listnáčů z okolních lesů. Z výše uvedeného dokazování lze přijmout hypotézu, že výsledky rozborů důlních vod nijak výrazně nevybočují z již dříve provedených zkoumání. Jáchymovská oblast jde prokazatelně cestou k ozdravení v mnoha enviromentálních směrech. Bakalářská práce prokázala, že mírně zhoršená kvalita důlních vod, tento příznivý vývoj nezmění. Lze předpokládat, že za zvýšeným výskytem těžkých kovů a polokovů (arsenu a beryllia), jsou v současnosti jen vzájemné interakce přírodního původu. Pokud nedojde v budoucnu k obnovení hornické činnosti, nedojde ani k nadměrné kontaminaci oblastí důlními vodami, jejichž chemismus byl předmětem zkoumání v této bakalářské práci.



## Seznam použitých informačních zdrojů

ALLEN H. E., HALL R. H., BRISBIN T. D., 1980: Metal speciation. Effects on aquatic toxicity. *Environmental Science & Technology* 14(4), 441-443.

AMBROŽOVÁ J., 2003: Aplikovaná a technická hydrobiologie. 2. vydání, Vysoká škola chemicko-technologická, Praha, 226 s.

BATEMAN A. M., 1950: *Economic Mineral Deposits* (2nd ed.), Wiley and Sons, New York.

BERNARD J. H., 1991: Empirical type of ore mineralization in the Bohemian Massif, *Geol surv Prag*, P. 1-181.

BLAXTER, J. H. S., HALLERS-TJABBES C. C. T., 1992: The Effect of Pollutants on Sensory Systems and Behaviour of Aquatic Animals. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology* 26(1), 43-58.

BLAŽKOVÁ M., 1996: Black Triangle - Most Polluted Part of Central Europe. *Regional Approaches to Water Pollution in the Environment. NATO ASI Series, 2. Environment* 20, 227-249.

ČELECHOVSKÁ O., SVOBODOVA Z., ŽLÁBEK V., MACHARÁČKOVÁ B., 2007: Distribuce kovů v tkáních kapra obecného (*Cyprinus carpio* L.). *Acta Veterinaria Brno* 76 (8.), 93-100.

ČEŠKA R., TESAŘ V., LUKÁŠ M., ŠTULC T., 2010: *Interna*. 1. vydání. Triton. Praha, 855 s.

DRAHOTA P., FILIPPI M., ETTLER V., ROHOVEC J., MIHALJEVIČ M., ŠEBEK O., 2012: Natural Attenuation of Arsenic in Soils Near a Highly Contaminated Historical Mine Waste Dump. *Science of the Total Environment* 414, 546-555.

EDMUNDS W. M., 2011: Environmental Geochemistry and Health Effects, *Encyclopedia of Environmental Health*, 262-271.

GARDINER J., 1974b: The chemistry of cadmium in natural water-II. The adsorption of cadmium on river muds and naturally occurring solids. *Water Research* 8(3), 157-164.

GRMELA A., BLAŽKO A., 2004: Důlní vody a jejich začlenění v legislativě České republiky. Hornická Příbram ve vědě a technice, 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. Dílčí záměr CEZ č. 4 Posouzení změn geologických faktorů v oblastech s hornickou činností za rok 1999. VŠB-TU, Ostrava.

HOMOLA V., KLÍR S., 1975: Hydrogeologie ČSSR III 1. vydání. Academia. Praha, 428 s.

HORÁKOVÁ M., LISCHKE P., GRÜNWALD A., 1986: Chemické a fyzikální metody analýzy vod, Praha, 389 s.

HORÁKOVÁ M. a kol., 2003: Analytika vody, VŠCHT Praha, 335 s.

HUGHES M. F., BECK B. D., CHEN Y., LEWIS A. S., THOMAS D. J., 2011: Arsenic Exposure and Toxicology. A Historical Perspective. Toxicological Sciences 123(2), 305-332.

CHEN K. Y., MORRIS J. C., 1972: Kinetics of oxidation of aqueous sulfide by oxygen. Environmental Science & Technology 6(6), 529-537.

CHUNG J., KIM B., LEE B., MOON J., SAKONG J., JEON M., PARK J., CHOI B., KIM N., YU S., SEO J., YE B., LIM H., HONG Y., 2016: Urinary arsenic species concentration in residents living near abandoned metal mines in South Korea. Annals of Occupational and Environmental Medicine (online) [cit. 2016.11.22], dostupné z <https://link.springer.com/article/10.1186/s40557-016-0150-z>

JEŽEK O., 2009: Jáchymov Od stříbrných dolů k radonovým lázním, ATYPO, Praha, 87 s.

KAFKA J. a kol., 2003: Rudné a uranové hornictví České republiky, DIAMO, státní podnik, Ostrava, 648 s.

KAMENSKIJ G. N., KLIMENTOV P. P., OVČINNIKOV A. M., 1957: Hydrogeologie ložisek užitečných nerostů, Praha, 298 s.

KLERKS, P. L., WEIS J. S., 1987: Genetic Adaptation to Heavy Metals in Aquatic Organisms: A Review. *Environmental Pollution* 45(3), 173-205.

KOLLEROVÁ L'., LÁNSKÝ M., 2000: Rozpuštěné anorganické soli. Celková mineralizace nebo RAS, Sborník *Hydrochémia '00*, ZSVTS VÚVH, Bratislava

KRATZER K., KOŽÍŠEK F., 1997: Zdravotní důsledky a rizika znečištění pitné vody. Odborná zpráva za rok 1996, Státní zdravotní ústav, Praha

KRATZER K., KOŽÍŠEK F., BŘÍZOVÁ E., 2001: Zdravotní důsledky a rizika znečištění pitné vody. Odborná zpráva za rok 2000. Státní zdravotní ústav, Praha.

MAJER J., 2004: Rudné hornictví v Čechách, na Moravě a ve Slezsku: Obrazy z dějin těžby a zpracování. Libri, Praha, 255 s.

NAVRÁTIL S., SVOBODOVÁ Z., LUCKÝ Z., 2000: Choroby ryb. Veterinární a farmaceutická univerzita, Fakulta veterinární hygieny a ekologie, Brno, 155 s.

PAČES T., 1982: Základy geochemie vod, Československá akademie věd, Praha, 300 s.

PITTER P., 1990: *Hydrochemie*. SNTL. Praha. PITTER P., 1999: *Hydrochemie*, Vysoká škola chemicko-technologická, Praha, 553 s.

PITTER P., 2009: *Hydrochemie*. 4. Vydání Vysoká škola chemicko-technologická, Praha, 568 s.

PLUSKAL O., 1998: Poválečná historie jáchymovského uranu, Český geologický ústav, Praha, 48 s.

ROJÍK P., 2015: *Geologie a nerostné zdroje Karlovarského kraje*, Karlovarský kraj, 195 s.

RUSSELL E. L., EDWARD M. D., 1970: Sodium imbalance in drinking water. *Journal of the American Water Works Association* 62(2), 102-105.

SINGH R., SINGH S., PARIHAR P., SINGH V. P., PRASAD S. M., 2015: Arsenic contamination, consequences and remediation techniques. A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 112, 247-270.

SMIRNOV, S. S., 1956: Oxydační pásmo sulfidických ložisek, Nakladatelství ČSAV, Praha, 304 s.

SVOBODOVÁ Z., 1987: Toxikologie vodních živočichů. Nakladatelství SZN, Praha, 231 s.

SVOBODOVÁ M., VOLF, P., KILLICK-KENDRICK, R., 1996: Agglutination of *Leishmania promastigotes* by midgut lectins from various species of phlebotomine sandflies. *Annals of Tropical Medicine and Parasitology* 90(3), 329-336.

ŠKVOR V., 1975: Geologie české části Krušných hor a smrčín. Academia, Praha. 120 s.

ŠVEHLA P., TLUSTOŘ P., BALÍK J., 2007: Odpadní vody. ČZU v Praze, Praha

TANVEER M., WANG L., 2019: Potential targets to reduce beryllium toxicity in plants: A review, *Plant Physiology and Biochemistry* 139, 691-696.

VELÍŠEK J., 1999: Chemie potravin I. 1. vydání. Osis, Tábor, 352 s.

VESELÝ J., 1986: Stavba a význam jednotlivých žilných uzlů uranového ložiska Jáchymov. Sborník geologických věd, Praha.

VOLAUFOVA L., LANGHAMMER J., 2007: Specific pollution of surface water and sediments in the Klabava River Basin. *Journal of Hydrology and Hydromechanics* 55(2), 122-134.

WEIL L., TORKZADEH N., QUENTIN K. E., 1975: Bestimmung von Iodid im Wasser. *Z. Wasser Abwasser Forsch* 8, 3-5.

WILLIAMS, P., A., 1990: Oxide Zone Geochemistry. Ellis Horwood Limited, England, P. 286

ZIEGELBECKER R., 1981: Fluoridated water and teeth, *Fluoride* 14, 123-128.

YODA K., KIRA T., OGAWA H., HOZUMI H., 1963: Self-Thinning in Overcrowded Pure Stands under Cultivated and Natural Conditions. *Journal of Biology* 14, 107-129.

JÁCHYMOV-JOACHIMSTHAL, 2017: Jáchymovské rudní pole (online) [cit. 2017.03.12], dostupné z <https://jachymov-joachimsthal.cz/files/200000203-b7ad0b8a60/009%20Ja%CC%81chymovske%CC%81%20rudni%CC%81%20pole.pdf>

KRUŠNOHORCI, 2010: Důl Svornost (online) [cit. 2010.10.25], dostupné z <https://www.krusnohorci.cz/vylet/304-dul-svornost>

KRUŠNOHORSKY, 2018: Dědičná štola Vavřinec (online) [cit. 2018.03.13], dostupné z <http://www.krusnohorsky.cz/2018/03/13/dedicna-stola-vavrinec/>

MAPY, 2020: Štoly (online) [cit 2020.01.28], dostupné z

<https://mapy.cz/letecka?vlastni-body&x=12.8518964&y=50.3714651&z=12&dim=5e23414156b7692ca52eaa12>

MONTANREGION, 2018: Eliášské údolí (online) [cit. 2018.11.30], dostupné z <http://www.montanregion.cz/cs/montanregion/eliasske-udoli.html>

MŽP, 2019: Arsen a sloučeniny (online) [cit. 2019.03.25], dostupné z [https://www.irz.cz/sites/default/files/latky/Arsen\\_a\\_jeho\\_slouceniny\\_Karta\\_latky\\_110120\\_18.pdf](https://www.irz.cz/sites/default/files/latky/Arsen_a_jeho_slouceniny_Karta_latky_110120_18.pdf)

NAŠE VODA, 2012: Jaká mineralizace vody je optimální (online) [cit. 2012.06.26], dostupné z <https://www.nase-voda.cz/jaka-mineralizace-vody-je-optimalni/>

## Seznam obrázků

Obr. 1: Schéma vzájemné interakce mezi ložiskovými horninami (GRMELA a kol., 2012).....	12
Obr. 2: Schéma supergenní zóny (BATEMAN, 1950 a WILLIAMS, 1990).....	29
Obr. 3: Mapové znázornění sledovaných lokalit (MAPY.CZ, 2020) .....	33
Obr. 4: Vavřínec odvodňovací štola (AUTOR, 2020).....	34
Obr. 5: Eduard odvodňovací štola (AUTOR, 2020).....	35
Obr. 6: Nová Svornost odvodňovací štola (AUTOR, 2020).....	36
Obr. 7: Popov odvodňovací štola (AUTOR, 2020).....	37

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Pro obecné, fyzikální a chemické ukazatele (AUTOR, 2020).....	37
Tabulka 2: Pro kovy a metaloidy (AUTOR, 2020).....	37
Tabulka 3: Štola Vavřínec - základní chemický rozbor (AUTOR, 2020).....	40
Tabulka 4: Štola Eduard - základní chemický rozbor (AUTOR, 2020).....	41
Tabulka 5: Štola Nová Svornost - základní chemický rozbor (AUTOR, 2020).....	42
Tabulka 6: Štola Popov - základní chemický rozbor (AUTOR, 2020).....	43
Tabulka 7: Štola Vavřínec - kovy a metaloidy (AUTOR, 2020).....	44
Tabulka 8: Štola Eduard - kovy a metaloidy (AUTOR, 2020).....	45
Tabulka 9: Štola Nová Svornost - kovy a metaloidy (AUTOR, 2020) .....	46
Tabulka 10: Štola Popov - kovy a metaloidy (AUTOR, 2020) .....	47
Tabulka 11: Vápník a sodík (AUTOR, 2020) .....	48