



Fakulta životního  
prostředí

KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ A  
ENVIRONMENTÁLNÍHO MODELOVÁNÍ

**CHEMICKÉ SLOŽENÍ LÉČIVÝCH PRAMENŮ  
LÉČEBNÝCH LÁZNÍ JÁCHYMOV, A. S., A JEHO  
VLIV NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: doc. Mgr. Marek Vach, Ph.D.

Bakalant: Lucie Kvapilová, DiS.

2015

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Lucie Kvapilová, DiS.

Územní technická a správní služba

Název práce

**Chemické složení léčivých pramenů Léčebných lázní Jáchymov, a.s. a jeho vliv na životní prostředí**

Název anglicky

**The Chemical Composition of Healing Springs in Healing Spa Jáchymov and Its Impact on the Environment**

---

### Cíle práce

Cílem práce je zjistit a porovnat chemické složení pramenů Léčebných lázní Jáchymov, a.s., které jsou využívány k lázeňským procedurám. Vzhledem k tomu, že se jedná o jednu z mála radioaktivních lázní v Evropě, dalším cílem bude ověření vlivu složení pramenů na životní prostředí po jejich vypuštění z lázeňských budov po použití při radonových koupelích.

### Metodika

Na základě dostupných zdrojů zpracuji chemické složení jednotlivých pramenů včetně jejich porovnání a vyhodnotím jeho vliv na životní prostředí Jáchymovska po vypuštění radonové vody do kanalizace.

**Doporučený rozsah práce**

30 – 40 stran

**Klíčová slova**

chemický rozbor, lázeňství, radioaktivní prvky, lázně Jáchymov, výpusti vody, léčivé prameny

---

**Doporučené zdroje informací**

Ing Burian I. CSc a kolektiv, 1998: Vliv výpustí Léčebných lázní Jáchymov a.s. na životní prostředí práce.

Ústav pro expertízy a řešení mimořádných situací Příbram-Kamenná, 25

Ing Krejdllová H., 2013: Laboratorní protokol č. RL 123-13 Komplexní analýza Curie Jáchymov.

Referenční laboratoře přírodních léčivých zdrojů Karlovy Vary, 11

Ing Tůma J. a kolektiv, 1998: Vliv výpustí Léčebných lázní Jáchymov a.s. na životní prostředí příloha.

Ústav pro expertízy a řešení mimořádných situací Příbram-Kamenná, pobočka Mariánské Lázně, 37

---

**Předběžný termín obhajoby**

2015/06 (červen)

**Vedoucí práce**

doc. Mgr. Marek Vach, Ph.D.

---

Elektronicky schváleno dne 4. 3. 2015

**prof. Ing. Pavel Pech, CSc.**

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 5. 3. 2015

**prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.**

Děkan

V Praze dne 30. 03. 2015

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením doc. Mgr. Marka Vacha, Ph.D., a že jsem uvedla všechny literární prameny, ze kterých jsem čerpala. Další informace mi poskytli pan Karel Šmíd a pan ing Jiří Pihera z Léčebných lázní Jáchymov, a. s.

Praha 17. 3. 2015

Lucie Kvapilová

## **Poděkování**

Dovoluji si poděkovat doc. Mgr. Marku Vachovi, Ph.D., vedoucímu mé bakalářské práce, za ochotu, rady a připomínky. Dále bych chtěla poděkovat ing Jiřímu Piherovi za to, že mě provedl jáchymovským Dolem Svornost, a panu Karlu Šmídovi za poskytnutí cenných informací o provozu lázní. V neposlední řadě děkuji všem svým blízkým za trpělivost a podporu.

## **Abstrakt**

Možné škodlivé účinky radonu a produktů jeho rozpadu na životní prostředí včetně zdraví člověka jsou dlouhodobě předmětem zájmu odborníků i veřejnosti. V této souvislosti může radioaktivita obsažená v termálních a minerálních pramenech obecně vyvolávat obavy u osob uvažujících o tomto typu léčení, stejně jako u lidí v místě takových lázní trvale žijících či pracujících.

Bakalářská práce „Chemické složení léčivých pramenů Léčebných lázní Jáchymov, a. s., a jeho vliv na životní prostředí“ se zaměřuje na přírodní léčebný zdroj jáchymovských lázní – unikátní prameny radonové vody. Popisuje lokalitu, ve které se prameny nachází, způsob jejich využití, způsob a popis odběru vzorků radonové vody. Předkládá jejich chemické složení a srovnáním s doporučenými hodnotami zjišťuje, jestli mohou mít jáchymovské prameny svým složením negativní vliv na okolní životní prostředí a následně i na zdraví člověka, anebo zda se možné absorbované radiační dávky pohybují pouze v nízkých hladinách s pozitivními biologickými účinky.

Cílem práce je vyhodnocením nashromážděných informací zjistit, zda v okamžiku, kdy použitá radonová voda opouští lázeňská potrubí a odchází do povrchových vod, má, či nemá negativní vliv na životní prostředí ve svém okolí.

### **Klíčová slova:**

Jáchymov, lázně, lázeňství, léčivé prameny, chemický rozbor, radioaktivní prvky, radon

## **Abstract**

Possible harmful impact of radon and products of its decay on the environment including a man health has been the subject of public and scientific interest for a long time. In this context radioactivity present in thermal and mineral springs can generally raise the spectre at people who consider this kind of therapy as well as the spa residents and workers.

The bachelor's thesis "Chemical composition of healing springs of Healing Spa Jáchymov, a. s., and its impact on the environment" focuses on natural healing source of Jáchymov Spa – the unique springs of radon water. It describes the locality where the springs are, the way of their utilization, the way and description of taking radon water samples. It presents their chemical composition and finds out by its comparison with recommended values whether composition of Jáchymov springs can have negative impact on the environment and a man health. Or whether possible absorbed radiation doses are only in low levels with positive biological impact.

The aim of this work is to find through evaluation of collected information if at the moment when used radon water leaves spa pipes and flows into surface waters it has or doesn't have negative impact on the environment of its vicinity.

### **Key words:**

Jáchymov, spa, healing springs, chemical analysis, radioactive elements, radon

## Obsah

<b>1. Úvod.....</b>	<b>10</b>
<b>2. Cíle práce.....</b>	<b>11</b>
<b>3. Metodika.....</b>	<b>12</b>
<b>4. Základní údaje o místě.....</b>	<b>13</b>
4.1 Historie.....	13
4.2 Současnost.....	14
<b>5. Léčebné lázně Jáchymov, a. s. ....</b>	<b>15</b>
5.1 Historie.....	15
5.2 Současnost.....	16
5.3 Léčebné postupy.....	16
5.3.1 Léčba radiem.....	16
5.3.2 Léčba radiovými emanacemi.....	17
5.3.3 Léčba radiem – současnost.....	17
<b>6. Jáchymovské radioaktivní prameny.....</b>	<b>19</b>
<b>7. Radioaktivní lázně ve světě.....</b>	<b>21</b>
<b>8. Analýza léčebných pramenů.....</b>	<b>22</b>
8.1 Pramen C-1.....	22
8.1.1 Základní údaje o zdroji.....	22
8.1.2 Technický popis zdroje.....	22
8.1.3 Podmínky odběru vzorku.....	22
8.1.4 Fyzikální a fyzikálně-chemické parametry zdroje.....	23
8.1.5 Organoleptické a senzorické parametry zdroje.....	23
8.1.6 Mikrobiologické parametry zdroje.....	23
8.1.7 Celkové hodnocení.....	23
8.2 Pramen Curie.....	24
8.2.1 Základní údaje o zdroji.....	24
8.2.2 Technický popis zdroje.....	24
8.2.3 Podmínky odběru vzorku.....	24
8.2.4 Fyzikální a fyzikálně-chemické parametry zdroje.....	24
8.2.5 Organoleptické a senzorické parametry zdroje.....	25
8.2.6 Mikrobiologické parametry zdroje.....	25
8.2.7 Celkové hodnocení.....	25
8.3 Pramen Běhounek.....	26



8.3.1	Základní údaje o zdroji.....	26
8.3.2	Technický popis zdroje.....	26
8.3.3	Podmínky odběru vzorku.....	26
8.3.4	Fyzikální a fyzikálně-chemické parametry zdroje.....	26
8.3.5	Organoleptické a sensorické parametry zdroje.....	27
8.3.6	Mikrobiologické parametry zdroje.....	27
8.3.7	Celkové hodnocení.....	27
8.4	Pramen Agricola (HJ-14).....	28
8.4.1	Základní údaje o zdroji.....	28
8.4.2	Technický popis zdroje.....	28
8.4.3	Podmínky odběru vzorku.....	28
8.4.4	Fyzikální a fyzikálně-chemické parametry zdroje.....	29
8.4.5	Organoleptické a sensorické parametry zdroje.....	29
8.4.6	Mikrobiologické parametry zdroje.....	29
8.4.7	Celkové hodnocení.....	29
<b>9.</b>	<b>Chemické složení léčebných pramenů.....</b>	<b>30</b>
9.1	Kationty.....	30
9.2	Anionty.....	32
9.3	Těkavé organické látky.....	32
9.4	Radioaktivní součásti.....	33
<b>10.</b>	<b>Radon a jeho vliv na životní prostředí.....</b>	<b>35</b>
10.1	Přírodní radioaktivita a její rozdělení.....	35
10.2	Radon a jeho charakteristika.....	35
10.2.1	Vliv radonu na zdraví člověka.....	36
<b>11.</b>	<b>Provozní předpisy a vyhlášky pro Léčebné lázně Jáchymov, a. s.....</b>	<b>39</b>
11.1	Povolení k využívání léčebných zdrojů pro lázně Jáchymov.....	39
11.2	Vyhláška SÚJB č. 184/1997 Sb. ....	40
11.3	Povolení k nakládání s vodami.....	40
<b>12.</b>	<b>Diskuse - vliv výpustí Léčebných lázní Jáchymov, a. s., na životní prostředí.....</b>	<b>42</b>
12.1	Voda.....	42
12.2	Vzduch.....	43
12.3	Půda.....	43
12.4	Živočiškové a rostliny.....	44
<b>13.</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>45</b>

## 1. Úvod

Od chvíle, kdy jsem se před dvaceti lety přestěhovala z jižních Čech do Jáchymova, jsem od svých blízkých slýchala, že moje rozhodnutí nebylo dobré. Vzhledem k dlouholeté předchozí těžbě uranu a s tím souvisejícímu výskytu radonu není prý Jáchymov zrovna nejzdravější místo, kam přestěhovat celou rodinu, zvláště s ohledem na vývoj a zdraví dětí.

Při výběru tématu bakalářské práce na Fakultě životního prostředí České zemědělské univerzity v Praze-Suchdole proto měla zásadní váhu přirozená potřeba zabývat se environmentálními aspekty prostředí, ve kterém žiji. Shromažďování a vyhodnocení poznatků o jednom ze základních pilířů zdejší léčby, radonových pramenech, byly vedeny s cílem ověřit jejich skutečný lokální vliv na životní prostředí.

## **2. Cíle práce**

Cílem bakalářské práce je pohled na radonové prameny coby zdroj nejen léčivých účinků, ale i možných negativních vlivů na jejich okolí.

Práci jsem rozdělila do několika částí. Úvodem se zabývám lokalitou, ve které se léčebné prameny nachází, a její historií. Dále přidávám informace o Léčebných lázních Jáchymov, a. s., a o tom, jak byly prameny využívány v minulosti a jak je tomu dnes.

Jako srovnávací kritérium pro porovnání chemického složení léčebných pramenů jsem si vybrala pitnou vodu, a to z toho důvodu, že je zdravotně nezávadná, a tedy životní prostředí negativně neovlivňuje.

V další části práce jsem se zabývala vlivem radonu na životní prostředí, především na zdraví člověka.

Posledním bodem mé práce je zjištění informací ohledně výpustí radonové vody a oprávnění k jejímu vypouštění do povrchových vod. Následuje zhodnocení, zda dochází, či nedochází k dodržování státem stanovených limitů, a tedy i k možnému negativnímu vlivu na životní prostředí.

### 3. Metodika

Předkládaná bakalářská práce na téma chemické složení léčebných pramenů v Jáchymově je spíše rešeršního charakteru. Vycházela jsem z metody sběru dat, jejímž základem bylo vyhledávání informací prostřednictvím knihovních databází a internetových prohlížečů.

Použitá klíčová slova byla vybrána na základě jednotlivých témat práce.

V teoretické části se zabývám výsledky sběru informací, a to nejen z literatury, ale i odborných článků, právních předpisů a také webových portálů, které se touto problematikou zabývají. Další materiál mi byl poskytnut z Léčebných lázní Jáchymov, a. s. Výsledné informace ohledně místa výskytu a použití radonové vody předkládám v úvodu práce.

Ve výzkumné části se zabývám porovnáním hodnot chemického složení čtyř léčivých pramenů a pitné vody. Porovnání těchto hodnot jsem zpracovala do tabulek a grafů.

Absolvovala jsem také sestup do Dolu Svornost a prohlédla si vývěry pramenů, jejichž parametry v práci blíže popisuji.

## 4. Základní údaje o místě

### 4.1 Historie

Jáchymov leží v nadmořské výšce 650 m na úpatí Krušných hor. Proslavil se nejen svými bohatými stříbrnými ložisky, ale především jako královské hornické město s právem razit mince (jáchymovský tolar) v polovině 16. století. V tehdejší době byl druhým největším městem v Čechách a nejvýznamnějším stříbrným revírem v Evropě. (Klír, 1982)

Roku 1524 zde fárili horníci do 613 dolů a štol, přičemž výnosy dosahovaly tehdy 166 023 tolarů. Ze stříbra se pak přímo v Jáchymově razily mince a to v mincovně hrabat Šliků. Tady také začíná historie mince označované podle místa původu – města Joachimsthal – thal, thaler, talero a tolar. Právě tato šlikovská mince dala jméno i dnešní americké měně - dolaru.

Bohaté město se stalo atraktivním i pro celou řadu umělců, medailérů a význačných učenců. V letech 1527 až 1531 působil v Jáchymově Georgius Agricola, zakladatel moderní mineralogie a montánní vědy. Dodnes má Město Jáchymov ve své péči knihovnu latinské školy z 16. století s řadou cenných tisků, chráněných renesančními vazbami. Na slávu jáchymovských dolů navázala báňská škola v Jáchymově, zřízená císařským dekretem na přelomu let 1716/1717. V té době se kromě stříbra těžilo olovo, arzen, kobalt, nikl a v okolí města i cín. (Karlovarský kraj, [b.r.] )

Velký vliv na osud Jáchymova měla další surovina - smolinec, ze kterého se připravoval uranit. Ten barvil sklo nažluto a nazeleno. Výroba uranových barev ve státní továrně vedla k novému rozkvětu města. (Karlovarský kraj, [b.r.] )

V roce 1896 prokázal Henri Becquerel radioaktivitu a tím začala další, bohužel méně slavná etapa Jáchymova jako důlního městečka.

Roku 1898 manželé Curieovi objevili ve smolné cloně nový prvek s chemickým označením Ra – radium.

Nález radioaktivních pramenů v dolech a prokázání jejich léčivých účinků na zdravotní stav člověka daly podnět k založení lázní. Od roku 1906 zde byli léčeni první pacienti v radioaktivních koupelích. (Klír, 1982)

Od roku 1948 zde byly zřízeny pracovní tábory, označené jako L – likvidační. V prvních dvaceti letech komunistického režimu bylo v lágrech vězněno na Jáchymovsku a Příbramsku kolem 35 000 lidí, převážně politických vězňů,

nucených pracovat v nebezpečných a zdraví škodlivých podmínkách. V padesátých letech se těžilo stejnou technikou jako v letech dvacátých a vězňové těžili radioaktivní materiál holýma rukama. Když se k tomu připočte vdechování radonu a radioaktivního prachu v podzemí, dlouhá doba fárání, vysoce nasazené pracovní tempo a přítomnost neznámých plísní, není divu, že úmrtnost vězňů byla velmi vysoká. Po sametové revoluci byla kolem šachet a pracovních táborů zřízena historická naučná stezka „Jáchymovské peklo“, někdy označovaná i jako „Jáchymovské uranové peklo“. (Karlovarský kraj, [b.r.] )

## **4.2 Současnost**

Dnes je Jáchymov lázeňské město s necelými třemi tisíci obyvatel. I přes nepřízeň osudu se v něm zachovalo mnoho vzácných historických památek, jako např. renesanční radnice, budova bývalé královské mincovny z roku 1536, goticko-renesanční kostel sv. Jáchyma a kaple sv. Anny, ruina pozdně gotického hradu Freudenstein a komplex pozdně gotických a renesančních měšťanských domů. Díky svým unikátním pramenům je Jáchymov celoročně hojně navštěvován turisty z celého světa. (Karlovarský kraj, [b.r.] )

Krom toho Jáchymov nabízí mnoho možností pro letní i zimní turistiku a díky své příhodné poloze na úpatí Klínovce je vhodný pro lyžování, horské túry a cykloturistiku. Mezi jáchymovské kulturní akce patří Jáchymovské hudební léto, Jáchymovský hudební podzim, zahájení lázeňské sezony či každoroční vzpomínkové setkání bývalých politických vězňů nasazených na nucené práce v jáchymovských uranových dolech. (Burachovič, 2007)

## 5. Léčebné lázně Jáchymov, a. s.

### 5.1 Historie

V roce 1864 při pokusu o prohloubení uranového Dolu Svornost vytryskl termální pramen, který zatopil část šachty. (Burachovič, 2007) Protože radioaktivita tehdy nebyla známa a odčerpávání vody by příliš zdržovalo důlní provoz, byl pramen v letech 1864 až 1870 uzavřen silnou betonovou hrází. Po uvolnění pramene jeho vydatnost nápadně poklesla. Po prokázání radonu ve Štěpových pramenech, vyvěrajících z Dolu Rovnost, v roce 1905 se vědci začali intenzivně věnovat pokusům s léčivými účinky radiových emanací. (MNV Jáchymov, 1957)

Pokusy dopadly výborně, a tak byly již roku 1906 otevřeny první soukromé radonové lázně v č. p. 282 jáchymovského pekaře Adolfa Josefa Kuhna, které sestávaly ze dvou dřevěných kádí, v nichž se léčilo pomocí koupelí v radioaktivní vodě. Nevedlo sem žádné potrubí, voda se nosila ze Štěpova pramene v dřevěné putně o objemu 35 až 40 litrů, později se dopravovala koňským povozem. (Fidlerová, 1997)

Zájem o radiovou léčbu se stále zvyšoval. Za oficiální datum založení lázní v Jáchymově se považuje 22. říjen 1911, kdy byl slavnostně otevřen nově vybudovaný Lázeňský ústav pro léčbu radiem (dnešní Lázeňské centrum Agricola), do něhož již byla voda přiváděna potrubím. V červnu 1912 byla dokončena stavba moderního neoklasicistního lázeňského hotelu Radium Palace. V brzké době kolem něj vznikla celá lázeňská čtvrť s mnoha hotely a penziony. Po vzniku Československa byly lázně zestátněny. Kvůli poválečnému stavu došlo napřed k útlumu a poté k prudkému růstu roční návštěvnosti. Kolem roku 1930 navštívilo lázně cca 9 167 hostů za sezonu. Po druhé světové válce došlo k velkému úpadu lázní. Ten byl způsoben jednak špatným technickým stavem lázeňského zařízení, jednak orientací města na těžbu uranu a obnovením těžby rašeliny. (Řeháčková, 2013)

Po znárodnění se jáchymovské lázně staly součástí organizace působící pod názvem Československé státní lázně Karlovy Vary s lázeňskými léčebnami v Kyselce a Jáchymově. Pomalý nárůst přílivu pacientů nastal až s ukončením těžby uranu v šedesátých letech minulého století. Dne 5. listopadu 1963 byl Jáchymov prohlášen za lázeňské město a dne 18. října 1975 byl do provozu uveden nový lázeňský ústav akademika Františka Běhounka, což znamenalo značné navýšení kapacity lázní. (Řeháčková, 2013)

## 5.2 Současnost

V říjnu 1991 podalo vedení podniku privatizační projekt a 1. května 1992 byla založena akciová společnost Léčebné lázně Jáchymov. Došlo k rekonstrukci hotelu Radium Palace a dalších lázeňských budov. V prosinci 2010 koupil lázně Jáchymov od investiční společnosti Penta jediný akcionář lázní, Luhačovice. Vznikl tak největší lázeňský komplex v České republice, jehož kapacita je celkem 2000 lůžek pro dospělé a 200 lůžek pro děti. Jeho generálním ředitelem je v současné době MUDr. Eduard Bláha. (Řeháčková, 2013)

## 5.3 Léčebné postupy

V jáchymovských lázních se historicky prováděly dvě různé metody radioaktivní léčby. Jednak se používalo samotné radium jako radiová sůl, jednak účinky radiových emanací. V případě, že se jednalo o lokální onemocnění určité části těla, využívaly se účinky samotného radia. Radiových emanací se užívalo tehdy, když choroba prostupovala celým organismem. Mohlo také docházet ke kombinaci obou metod.

Mezi hlavní léčebné formy v Jáchymově v minulosti patřily koupele, inhalace a pitná kúra. Později se léčba rozšířila o použití radiových zářičů a dalších moderních metod. (Heiner, 1926)

### 5.3.1 Léčba radiem

Léčba radiem probíhala několika způsoby. Prozařování bylo jedním z nich a užívalo se při něm záření radia v podobě působení vysoce koncentrovaných preparátů na živou tkáň. Biologický účinek závisel na jeho síle, vzdálenosti od působiště, použití filtrů, aplikační době a citlivosti tkáně. Délka prozařování byla stanovena individuálně, od pár minut až po hodiny nebo dny. (Heiner, 1926)

Dalším způsobem léčby bylo použití radiových kapslí neboli Dominiciho rourkových zářičů. Byly to kapsle různých velikostí a tvarů, které byly naplněny radiovou solí. Tato procedura se užívala především pro prozařování hlubších vrstev tkáně. (Heiner, 1926)

Speciálním typem prozařování radiem byly tzv. radiové kompresory. Byla to metoda, která využívala sáčky naplněné radioaktivními zbytky, přikládané na bolestivá místa. Kompresory se používaly při revmatických a dnavých bolestech kloubů. Léčba



mohla probíhat i následně v domácím prostředí, nicméně bylo potřeba sáčky aplikovat nepřetržitě několik dnů až týdnů. (Heiner, 1926)

Metoda radiumpunktury zahrnovala použití jehel s radiem nebo koncentrované radiové emanace. Obojí se zavádělo přímo do nádorů. (Pirchan, 1930)

V neposlední řadě měly význam i radiové injekce. Pomocí nich se množství rozpuštěné radiové soli vstříkovalo na určitém místě přímo do těla a dostalo se tak do krevního oběhu. Vycházelo se z úvahy, že radium působí přímo lokálně na nemocném místě a zároveň se jeho emanace dostane do celého těla. Tato metoda byla ovšem velmi nákladná kvůli využití radiové soli. (Heiner, 1926)

### **5.3.2 Léčba radiovými emanacemi**

Při této léčbě se využívala především důlní voda bohatá na radon a radioaktivní plyn bez barvy, zápachu a chuti, který vznikl jako produkt rozpadu radia a uranu. Léčivé prameny v Jáchymově vykazují velmi silnou radioaktivitu v důsledku přítomnosti radiové emanace. Radon byl absorbován do vody protékající horninami, jež jsou prahorními útvary, které vždy obsahují stopy radia. Z radia se rozpadem tvoří emanace, jež pak trhlinami v horninách přichází do styku s vodou. (Pirchan, 1930)

Používala se rovněž radioaktivní lázeň, kdy se celý povrch těla dostal do styku s radiovou emanací a byl v důsledku jejího rozpadu vystaven působení záření alfa. Alfa částice nepronikly hluboko, působily na kožní nervová zakončení a spouštěly řetězec fyziologických reakcí. Absorbovaná energie z radonových alfa částic podněcovala regeneraci tkání a likvidaci škodlivých oxidativních stresorů, což byly většinou volné radikály z chemikálií z průmyslově zpracovaných potravin a životního prostředí. Zvyšovala se tvorba hormonů včetně těch protibolestivých či protizánětlivých a aktivovaly se složky imunitního systému. Nejpozději čtyři až šest týdnů po poslední radonové koupeli pak došlo k fázi zklidnění bolestivých a zánětlivých potíží a ke zlepšení funkce všech složek pohybového aparátu. (Léčebné lázně Jáchymov, © 2013–2015)

### **5.3.3 Léčba radiem – současnost**

Unikátní radonové koupele patří k základním pilířům současné jáchymovské léčby. Speciální vodoléčebné vany jsou napouštěny minerální vodou s obsahem radonu v jejich spodní části a postupně se naplňují. Takto je léčebný radon využit nejefektivněji, protože v případě, že by se napouštěl klasickou cestou (tedy ze shora umístěných kohoutků), by vyprchal daleko dříve, než by dopadl na volný povrch

hladiny. Ve vodě, která má teplotu 35–37 °C a ideální koncentraci radonu 4–5 kBq/litr, odpočívá klient lázní 15–20 minut. Po koupeli je třeba ještě cca 10 minut ležet zabalený v teplé dece nebo prostěradle. Aby lidský organismus mohl na léčení radonovou vodou zareagovat a započít regenerační procesy, je třeba absolvovat nejméně deset koupelí. Během těchto procedur dochází ke stimulaci žláz s vnitřní sekrecí. Regenerace však pokračuje ještě další čtyři až šest týdnů po ukončení aplikací radonových koupelí. Ve většině případů v tomto období také poklesne spotřeba analgetik či jiných léků s obdobnými účinky.

Procedury jsou předepisovány pouze po předchozím vyšetření lékařem. Jednu koupel je možno realizovat i bez vyšetření. Rozhodně se nedoporučuje aplikovat radonové koupele klientům s nedávnou onkologickou anamnézou. (Léčebné lázně Jáchymov, © 2013–2015)

## 6. Jáchymovské radioaktivní prameny

Jáchymovské radioaktivní termy jsou významnou geotermální strukturou západočeského oslabeného pásma. Neprokázaly se u nich žádné vývěry na povrch. První jáchymovská terma byla naražena v roce 1864 při hloubení jámy Svornost v hloubce 500 m pod povrchem na XII. patře dolu, kde se dobývaly Ag-Co-As rudy. Pramen měl teplotu 28,7 °C a vydatnost cca 30 m<sup>3</sup>/h. Byl pojmenován po Marii Curie Skłodowské – pramen Curie. Později byl Důl Svornost zatopen. Od roku 1924 do dnešní doby je Důl Svornost využíván jako hlavní přístupová cesta ke zdrojům radioaktivní termální vody. (Klír, 1982)

Na začátku šedesátých let minulého století bylo rozhodnuto, že Důl Svornost bude i po ukončení těžby uranu nadále používán k čerpání radonové vody. K tomuto účelu zde byly v letech 1962 až 1964 provedeny zajišťovací práce včetně výstavby tlakových hrází, oddělujících Důl Svornost od ostatních částí ložiska, které byly určeny k zatopení. (Řeháčková, 2013)

Foto č. 1: Důl Svornost v Jáchymově (Léčebné lázně Jáchymov, a.s., 2013)



Při dalších důlních činnostech byl na jiném místě XII. patra objeven pramen Becquerel a pod úroveň téhož patra další zdroje radioaktivní vody, a to prameny Prokop, Evangelist, HG-1 (nyní Běhounek), HG-2 a C-1. (Klír, 1982) Významný je také pramen HJ-14 (nyní Agricola).

V současné době jsou pro potřeby léčivých procedur Léčebných lázní Jáchymov, a. s., využívány prameny Běhounek, Curie, Agricola a C-1. Prameny jsou právě,

prosté – termální, radon – radiové vody se stopami iontů Fe, Mn, Li, Zn, Na, Ca a K s obsahem  $\text{SO}_4$  a  $\text{HCO}_3$  a dalších izotopů  $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$  a  $^{226}\text{Ra}$ . Teplota pramenů při jímání je 26–34 °C, celková kapacita jímaných pramenů je 24 m<sup>3</sup>/h. Prameny jsou jímány do základního bazénu a odtud jsou vedeny potrubím do jednotlivých léčebných ústavů. (Léčebné lázně Jáchymov, 1997–2014)

## 7. Radioaktivní prameny a lázně ve světě

Přestože radioaktivní prameny existují na celém světě ve značném počtu, státy nemají stanovenou jednotnou hranici, od které považují pramen za radioaktivní, přičemž rozdíly jsou skutečně velké.

Tab. č. 1: Příklady hraničních hodnot pro vybrané státy v Bq/l  $^{222}\text{Rn}$  (Lazzerini, 2013)

Stát	Bq/l $^{222}\text{Rn}$
Itálie	48
Kuba	67,3
Polsko	74
Japonsko	110,7
Brazílie	134,2
Rusko	185
Francie	370
ČR	1 192
Německo	6 885

Lázně využívajících radioaktivní prameny je pochopitelně méně než evidovaných radioaktivních pramenů. Namátkově lze uvést:

- Polsko – Świeradów-Zdrój, Kowary
- Německo – Baden-Baden, Bad Brambach
- Rakousko – Bad Gastein
- Itálie – Ischia, Merano, Abano Terme
- Maďarsko – Eger, Hévíz, Zalakaros
- Rumunsko – Băile Herculane
- Srbsko – Niška Banja
- Ukrajina – Vinnica
- Japonsko – Misasa
- USA – Boulder

Léčebné kúry se liší, jde o koupele (např. Jáchymov), pitné kúry (Bad Brambach) a inhalace (Bad Gastein, Kowary, Boulder). (Wikipedie, [b.r.]

## 8. Analýza léčebných pramenů

### 8.1 Pramen C-1

Foto č. 2: Pramen C-1 (Léčebné lázně Jáchymov, a.s. 2014)



#### 8.1.1 Základní údaje o zdroji

*Lokalizace zdroje:* x = 995846,58; y = 844743,37; z = 259,35

*Katastrální území:* Jáchymov

*Číslo parcely:* 3203/1

*Typ záchyty zdroje:* vrt

*Hloubka vrtu:* 242 m

*Úroveň odměrného bodu:* 260,7 m n. m.

#### 8.1.2 Technický popis zdroje

Vrtná trubka DN 60 mm v celé délce vrtu vedená v ocelové pažnici DN 80 na zhlaví vrtu pažnice DN 200 o délce 2 m, prostor mezi pažnicemi je vyplněn betonem.

#### 8.1.3 Podmínky odběru vzorku

*Datum odběru vzorku:* 17. 7. 2013

*Způsob odběru vzorku:* bodový

*Teplota vzduchu:* 18,9 °C

*Atmosférický tlak:* 994,1 hPa

#### **8.1.4 Fyzikální a fyzikálně-chemické parametry zdroje**

*Vydatnost v okamžiku odběru:* 28,6 l/min

*Teplota zdroje v době odběru:* 30 °C

*Hustota:* 0,9987 kg/l

*Konduktivita při 25 °C:* 0,630 mS/cm

*pH:* 7,03

#### **8.1.5 Organoleptické a senzorické parametry zdroje**

*Barva:* čirá

*Pach:* bez výrazného zápachu

*Sedimentace:* při odběru bez sedimentu a ani při skladování se žádný sediment neusazuje

*Celková mineralizace – obsah:* 639 mg/l

#### **8.1.6 Mikrobiologické parametry zdroje**

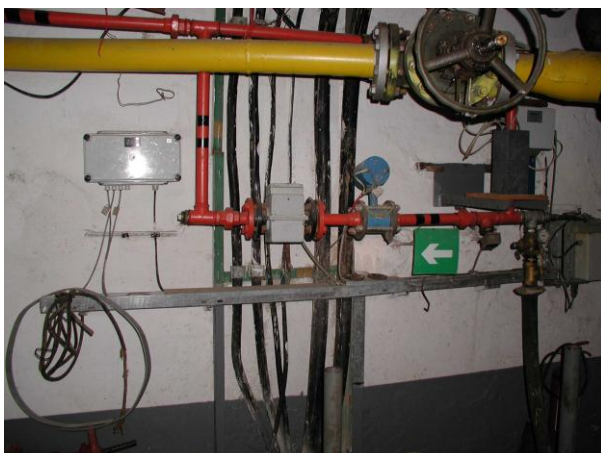
Escherichia coli, koliformní bakterie, enterokoky, živé a mrtvé organismy a další parametry – všude byla hodnota 0.

#### **8.1.7 Celkové hodnocení**

Vzorek v době odběru odpovídal požadavkům vyhlášky č. 423/2001 Sb. Přírodní podzemní voda z pramene C-1 je využívána pro zevní balneaci. (Krejdllová, 2013a)

## 8.2 Pramen Curie

Foto č. 3: Pramen Curie (Léčebné lázně Jáchymov, a.s. 2014)



### 8.2.1 Základní údaje o zdroji

*Lokalizace zdroje:* x = 995895; y = 844702; z = 235,7

*Katastrální území:* Jáchymov

*Číslo parcely:* 164/1

*Typ záchyty zdroje:* pramenní jímka

*Hloubka vrtu:* 32 m

*Úroveň odměrného bodu:* 260 m n. m.

### 8.2.2 Technický popis zdroje

Vývěr ze dna jámy Svornost do ocelového potrubí DN 150, potrubí je uloženo v betonové výplni jámy.

### 8.2.3 Podmínky odběru vzorku

*Datum odběru vzorku:* 17. 7. 2013

*Způsob odběru vzorku:* bodový

*Teplota vzduchu:* 19 °C

*Atmosférický tlak:* 994,2 hPa

### 8.2.4 Fyzikální a fyzikálně-chemické parametry zdroje

*Vydatnost v okamžiku odběru:* 25,6 l/min



*Teplota zdroje v době odběru:* 28,6 °C

*Hustota:* 0,9987 kg/l

*Konduktivita při 25 °C:* 0,669 mS/cm

*pH:* 7,24

#### **8.2.5 Organoleptické a senzorické parametry zdroje**

*Barva:* čirá

*Pach:* bez výrazného zápachu

*Sedimentace:* při odběru bez sedimentu a ani při skladování se žádný sediment neusazuje

*Celková mineralizace – obsah:* 685 mg/l

#### **8.2.6 Mikrobiologické parametry zdroje**

Escherichia coli, koliformní bakterie, enterokoky, živé a mrtvé organismy a další parametry – všude byla hodnota 0.

#### **8.2.7 Celkové hodnocení**

Vzorek v době odběru odpovídal požadavkům vyhlášky č. 423/2001 Sb. Přírodní podzemní voda z pramene Curie je využívána pro zevní balneaci. (Krejdllová, 2013b)

### 8.3 Pramen Běhounek

Foto č. 4: Pramen Běhounek (Léčebné lázně Jáchymov, a.s. 2014)



#### 8.3.1 Základní údaje o zdroji

*Lokalizace zdroje:* x = 996280,4; y = 844509,2; z = 264,08

*Katastrální území:* Jáchymov

*Číslo parcely:* 201

*Typ záchytu zdroje:* vrt

*Hloubka vrtu:* 152,7 m

*Úroveň odměrného bodu:* 265,3 m n. m.

#### 8.3.2 Technický popis zdroje

Ocelová pažnice DN 150 – perforace 100–112 m

#### 8.3.3 Podmínky odběru vzorku

*Datum odběru vzorku:* 17. 7. 2013

*Způsob odběru vzorku:* bodový

*Teplota vzduchu:* 19 °C

*Atmosférický tlak:* 994,2 hPa

#### 8.3.4 Fyzikální a fyzikálně-chemické parametry zdroje

*Vydatnost v okamžiku odběru:* 284,7 l/min

*Teplota zdroje v době odběru:* 37,4 °C

<i>Hustota:</i>	0,9988 kg/l
<i>Konduktivita při 25 °C:</i>	0,639 mS/cm
<i>pH:</i>	7,11

### **8.3.5 Organoleptické a senzorické parametry zdroje**

<i>Barva:</i>	čirá
<i>Pach:</i>	bez výrazného zápachu
<i>Sedimentace:</i>	při odběru bez sedimentu a ani při skladování se žádný sediment neusazuje

*Celková mineralizace – obsah:* 645 mg/l

### **8.3.6 Mikrobiologické parametry zdroje**

Escherichia coli, koliformní bakterie, enterokoky, živé a mrtvé organismy – všude byla hodnota 0, mimo počtu kolonií v 36 °C – zde byla hodnota 2 KTJ/ml.

### **8.3.7 Celkové hodnocení**

Vzorek v době odběru odpovídal požadavkům vyhlášky č. 423/2001 Sb. Přírodní podzemní voda z pramene Běhounek je využívána pro zevní balneaci. (Krejdllová, 2013c)

## 8.4 Pramen Agricola (HJ-14)

Foto č. 5: Pramen Agricola (HJ-14) (Léčebné lázně Jáchymov, a.s. 2014)



### 8.4.1 Základní údaje o zdroji

*Lokalizace zdroje:* x = 995847,29; y = 844742,74; z = 259,3

*Katastrální území:* Jáchymov

*Číslo parcely:* 3203/1

*Typ záchyty zdroje:* vrt

*Hloubka vrtu:* 132,5 m

*Úroveň odměrného bodu:* 260,5 m n. m.

### 8.4.2 Technický popis zdroje

AC pažnice DN 50 mm s perforací v hloubce 80 m vedená v pažnici DN 80, na zhlaví vrtu osazena pažnice DN 200 o délce 1,6 m. Prostor mezi pažnicemi je vyplněn betonem.

### 8.4.3 Podmínky odběru vzorku

*Datum odběru vzorku:* 17. 7. 2013

*Způsob odběru vzorku:* bodový

*Teplota vzduchu:* 19 °C

*Atmosférický tlak:* 994,1 hPa

#### **8.4.4 Fyzikální a fyzikálně-chemické parametry zdroje**

*Vydatnost v okamžiku odběru:* 5,5 l/min

*Teplota zdroje v době odběru:* 27,6 °C

*Hustota:* 0,9987 kg/l

*Konduktivita při 25 °C:* 0,618 mS/cm

*pH:* 7,26

#### **8.4.5 Organoleptické a senzorické parametry zdroje**

*Barva:* čirá

*Pach:* bez výrazného zápachu

*Sedimentace:* při odběru bez sedimentu a ani při skladování se žádný sediment neusazuje

*Celková mineralizace – obsah:* 622 mg/l

#### **8.4.6 Mikrobiologické parametry zdroje**

Escherichia coli, koliformní bakterie, enterokoky, živé a mrtvé organismy a další parametry – všude byla hodnota 0.

#### **8.4.7 Celkové hodnocení**

Vzorek v době odběru odpovídal požadavkům vyhlášky č. 423/2001 Sb. Přírodní podzemní voda z pramene Agricola (HJ-14) je využívána pro zevní balneaci. (Krejdllová, 2013d)

## 9. Chemické složení léčebných pramenů včetně hodnot stanovených pro pitnou vodu

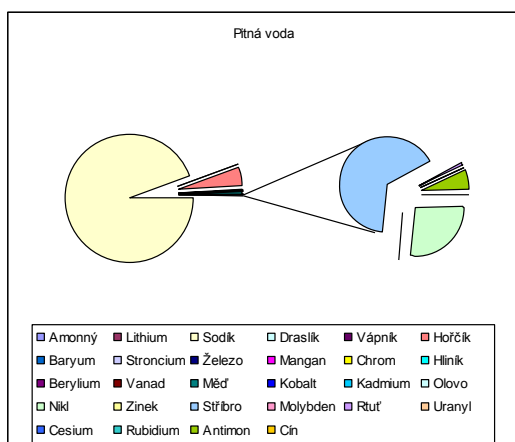
### 9.1 Kationty

Tab. č. 2: Kationty

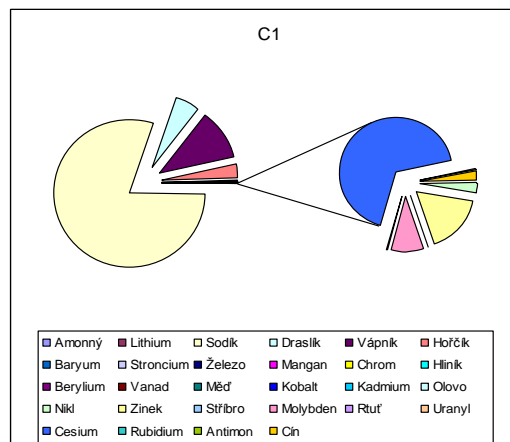
Kationty v mg/l						
Kationt	Značka	C-1	Curie	Běhounek	Agricola	Pitná voda
Amonný	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,03	< 0,02	0,05	0,06	0,5
Lithium	Li <sup>+</sup>	0,255	0,264	0,265	0,248	neuveďeno
Sodík	Na <sup>+</sup>	122	130	125	119	200
Draslík	K <sup>+</sup>	8,1	8,3	8,6	7,6	neuveďeno
Vápník	Ca <sup>2+</sup>	17,2	22,6	16,1	16,2	neuveďeno
Hořčík	Mg <sup>2+</sup>	4,4	4,8	3,5	4,4	10
Baryum	Ba <sup>2+</sup>	0,012	0,011	0,01	0,011	neuveďeno
Stroncium	Sr <sup>2+</sup>	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	neuveďeno
Železo	Fe <sup>2+</sup>	0,21	0,29	0,04	0,39	0,2
Mangan	Mn <sup>2+</sup>	0,08	0,08	0,19	0,06	0,05
Chrom	Cr <sup>3+</sup>	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,05
Hliník	Al <sup>3+</sup>	< 0,001	0,007	0,006	< 0,001	0,2
Berylium	Be <sup>2+</sup>	0,00075	0,00075	0,00092	0,0008	0,002
Vanad	V <sup>4+</sup>	< 0,001	< 0,001	0,001	< 0,0001	neuveďeno
Měď	Cu <sup>2+</sup>	0,0017	< 0,0003	0,0016	0,0003	1
Kobalt	Co <sup>2+</sup>	< 0,00005	< 0,00005	0,00016	< 0,00005	neuveďeno
Kadmium	Cd <sup>2+</sup>	< 0,00002	< 0,00002	0,00004	< 0,00002	0,005
Olovo	Pb <sup>2+</sup>	0,0001	0,0001	0,0002	< 0,0001	0,01
Nikl	Ni <sup>2+</sup>	< 0,0005	< 0,0005	0,001	< 0,0005	0,02
Zinek	Zn <sup>2+</sup>	0,003	0,002	0,002	0,01	neuveďeno
Stříbro	Ag <sup>+</sup>	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	0,05
Molybden	Mo <sup>6+</sup>	0,0016	0,0016	0,0028	0,0016	neuveďeno
Rtuť	Hg <sup>2+</sup>	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	0,001
Uranyl	UO <sub>2</sub> <sup>2+</sup>	0,0186	0,0143	0,046	0,0122	neuveďeno
Cesium	Cs <sup>+</sup>	0,012	0,01	0,016	0,01	neuveďeno
Rubidium	Rb <sup>+</sup>	0,057	0,06	0,069	0,061	neuveďeno
Antimon	Sb <sup>3+</sup>	< 0,00005	< 0,00005	0,00007	< 0,00005	0,005
Cín	Sn <sup>2+</sup>	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	neuveďeno

Grafické zpracování vlastní:

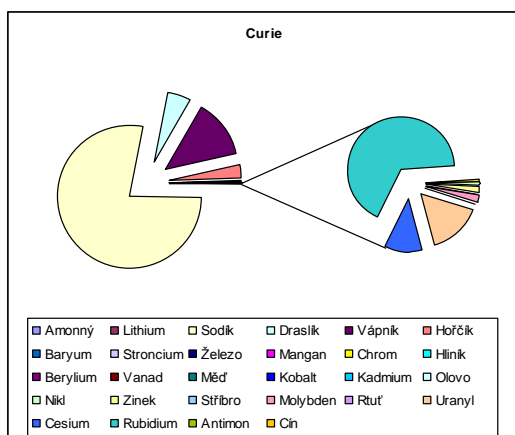
Obr. č. 1: Pitná voda – kationty v mg/l



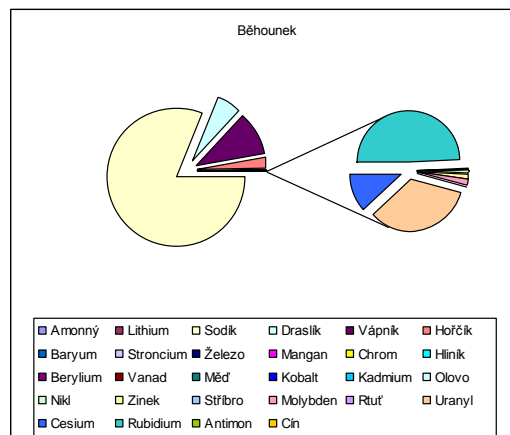
Obr. č. 2: Pramen C-1 – kationty v mg/l



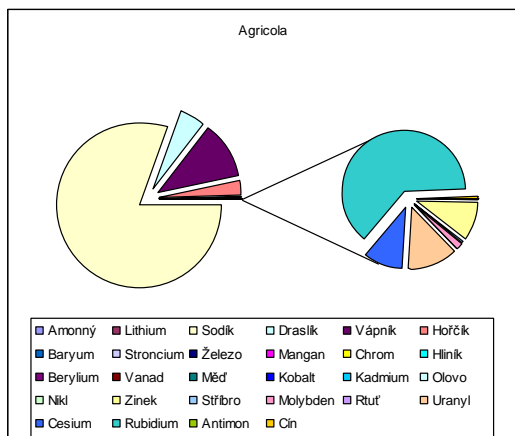
Obr. č. 3: Pramen Curie – kationty v mg/l



Obr. č. 4: Pramen Běhounek – kationty v mg/l



Obr. č. 5: Pramen Agricola – kationty v mg/l



## 9.2 Anionty

Tab. č. 3: Anionty

Anionty v mg/l						
Aniont	Značka	C-1	Curie	Běhounek	Agricola	Pitná voda
Hydrogenuhličitan	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	387	416	377	375	neuveďeno
Fluorid	F <sup>-</sup>	3	3,16	3,33	3,12	1,5
Chlorid	Cl <sup>-</sup>	4,2	4,5	4,8	4,1	100
Bromid	Br <sup>-</sup>	0,02	0,021	0,024	0,019	neuveďeno
Jodid	I <sup>-</sup>	0,002	0,002	0,002	0,002	neuveďeno
Síran	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	14,9	17,8	22,9	13,9	250
Dusitan	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,5
Dusičnan	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	50
Hydrogen-fosforečnan	HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	neuveďeno
Hydrogen-arseničnan	HAsO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,0585	0,0684	0,0841	0,061	neuveďeno
Seleničitan	SeO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	< 0,0016	< 0,0016	< 0,0016	< 0,0016	neuveďeno
Kyanid	CN <sup>-</sup>	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,05

## 9.3 Těkavé organické látky

Tab. č. 4: Těkavé organické látky

Těkavé organické látky v mg/l					
Název	C-1	Curie	Běhounek	Agricola	Pitná voda
1,1-dichlorethan	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,0005
1,2-dichlorethan	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,003
Benzen	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,001
Dichlorbenzeny	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	neuveďeno
Dichlormethan	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	neuveďeno
Ethylbenzen	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	neuveďeno
Chlorbenzen	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	neuveďeno
Trichlormethan (chloroform)	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15	0,03
Tetrachlorethan	0,19	0,04	< 0,04	< 0,04	0,01
Tetrachlormethan	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	neuveďeno
Toluen	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	neuveďeno
Trichlorbenzeny	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	neuveďeno
Trichlorethan	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	0,01



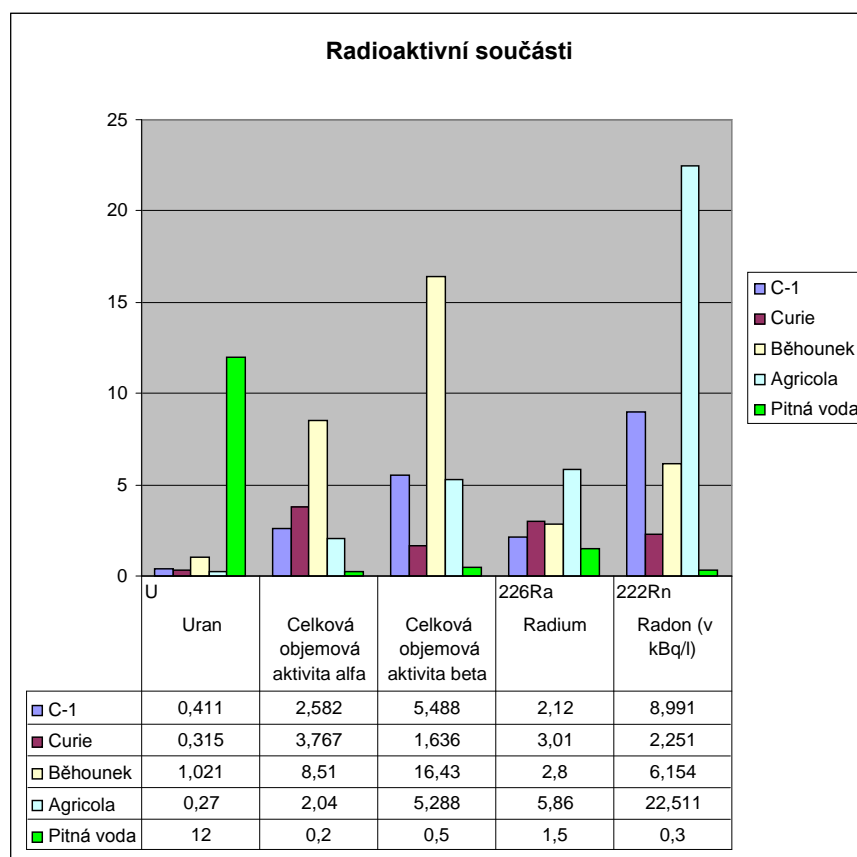
## 9.4 Radioaktivní součásti

Tab. č. 5: Radioaktivní součásti

Radioaktivní součásti v Bq/l						
Název	Značka	C-1	Curie	Běhounek	Agricola	Pitná voda
Uran	U	0,411	0,315	1,021	0,27	12
Celková objemová aktivita alfa		2,582	3,767	8,51	2,04	0,2
Celková objemová aktivita beta		5,488	1,636	16,43	5,288	0,5
Radium	<sup>226</sup> Ra	2,12	3,01	2,8	5,86	1,5
Radon	<sup>222</sup> Rn	8 991	2 251	6 154	22 511	300

Grafické zpracování vlastní:

Obr. č. 6: Radioaktivní součásti (SÚJB, 2002; Krejdllová, 2013abcd)



Při porovnání hodnot chemického složení léčebných pramenů a mezní hranice pro pitnou vodu jsem došla k těmto závěrům:

- Prameny mají **až o 95 % zvýšený obsah železa** oproti pitné vodě.
- Prameny mají **až o 122 % zvýšený obsah fluoridu** oproti pitné vodě.
- Prameny **zásadním způsobem převyšují mezní hodnotu objemové aktivity radonu <sup>222</sup>Rn** ve srovnání s mezními hodnotami pro pitnou vodu, a to **až o 7 404 %**.

Na základě těchto zjištění se v následující kapitole zaměřím na vliv radonu na životní prostředí a zdraví člověka.

## 10. Radon a jeho vliv na životní prostředí

### 10.1 Přírodní radioaktivita a její rozdělení

Přírodní ozáření způsobují dva odlišné zdroje:

- 1/ Kosmické záření, které na naši planetu dopadá z vesmíru a ozařuje člověka podle jeho polohy a nadmořské výšky.
- 2/ Přírodními radionuklidy, které se vyskytují ve volné přírodě. Podle původu se dělí do tří skupin:
  - **Kosmogenní radionuklidy** – vznikají při jaderných reakcích při interakci kosmického záření se stabilními prvky především ve vnějším obalu Země (např. izotop  $^{14}\text{C}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{22}\text{Na}$  aj).
  - **Původní primordiální radionuklidy** – vznikly v raných stádiích vesmíru a kvůli velmi dlouhému poločasů rozpadu ( $> 10^8$  let) se dosud vyskytují na Zemi ve významném množství (např.  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{87}\text{Rb}$  aj.).
  - **Radionuklidy vznikající sekundárně** – z původních radionuklidů, které tvoří rozpadové řady. Ze čtyř rozpadových řad, tj. uran-radiové (vychází od  $^{238}\text{U}$ ), thoriové (od  $^{232}\text{Th}$ ), aktiniové (od  $^{235}\text{U}$ ) a neptuniové (od  $^{237}\text{Np}$ ), se v přírodě vyskytují pouze první tři.

Poslední dvě skupiny přírodních radionuklidů se označují jako terestriální, protože jsou zemského původu.

Vliv na člověka z hlediska ozáření mají pouze některé přírodní radionuklidy. Zevní ozáření gama způsobuje hlavně přítomnost  $^{226}\text{Ra}$  (resp. uranu),  $^{232}\text{Th}$  a  $^{40}\text{K}$  v půdě a horninách povrchové vrstvy Země. Z hlediska vnitřního ozáření dominuje radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) a thoron ( $^{220}\text{Rn}$ ) a jejich produkty přeměny. (SÚRO, © 2015)

### 10.2 Radon a jeho charakteristika

Radon je bezbarvý plyn bez zápachu a bez chuti produkovaný radioaktivním rozpadem uranu a thoria. Existují dva hlavní izotopy radonu v přírodě:  $^{222}\text{Rn}$  (radon) s poločasem rozpadu 3,82 dne a  $^{220}\text{Rn}$  (thoron) s poločasem rozpadu 55,6 sekundy.

Radon se nachází ve většině zemních materiálů, v atmosféře, v podzemní vodě, a to i v pitné. To může mnoha způsoby vstoupit do stavebních materiálů. Velké množství radonu se nachází v celé řadě domácností v důsledku trhlin zejména ve zdivu a nekvalitní izolaci podlah sklepů. Obsah radonu ve venkovním vzduchu 1 m

nad zemí se obvykle pohybuje v hodnotách 4–15 Bq/m<sup>3</sup>. Průměrná vnitřní vzdušná koncentrace radonu se různí místo od místa, v závislosti na podílu uranu a thoria a fyzikálních vlastnostech půdy, vlhkosti, větru a stavebních materiálech. Ve většině zemí je průměrná vnitřní koncentrace radonu několik desítek Bq/m<sup>3</sup>, ale v průběhu průzkumů lze najít stovky, a dokonce tisíce. Mezinárodní komise pro radiologickou ochranu (ICRP) proto doporučuje hladinu 200 až 600 Bq/m<sup>3</sup> pro domácnosti a 500 až 1500 Bq/m<sup>3</sup> pro pracoviště, což odpovídá roční dávce 3–10 mSv (ICRP 65, 1993). (Köteles, 2007)

Radon je velmi dobře rozpustný ve vodě a v nepolárních organických rozpouštědlech. Chemické sloučeniny tvoří pouze s kyslíkem, fluorem a chlorem, přičemž všechny jsou nestálé. Uvedené sloučeniny jsou mimořádně silná oxidační činidla. (Wikipedie, [b.r.]) Doba výskytu v atmosféře je pět dní. Všechny izotopy radonu jsou jednoatomové plyny těžší než vzduch. Po toxikologické stránce je radon jako inertní prvek neškodný.

Průměrný obsah radonu v půdním vzduchu se udává v desítkách kBq/m<sup>3</sup>, plošná rychlost emise z půdy se počítá na desítky MB/m<sup>2</sup>.s a koncentrace v ovzduší závisí na rychlosti exhalace z půdy a rychlosti vzdušného transportu. Produkty rozpadu jsou kovy, které jsou v ovzduší zachyceny aerosolovými částicemi a koncentrují se ve srážkové vodě, jejíž aktivita vymizí do 30 minut. (Moldan, 1997)

Rozpadovými produkty Rn jsou izotopy Po, Bi, Tl. Při vdechování se ukládají na vnitřní povrch dýchacích cest. Pozdějším projevem zvýšené expozice je bronchogenní karcinom. Riziko je nejčastější u pracovníků dolů s vysokými objemovými aktivitami produktů přeměny radonu a může být předmětem posuzování nároků na odškodnění za onemocnění rakovinou plic z radioaktivních látek jakožto nemoc z povolání. (IAEA, 1989; NCRP ,1993)

### 10.2.1 Vliv radonu na zdraví člověka

K poškození zdraví může dojít při ozáření přírodními radionuklidy. A to může být:

- Zevní – způsobuje ho především přítomnost radioaktivních prvků, zejména radia, thoria a draslíku, v povrchové vrstvě Země. Ostatní terestriální radionuklidy se vyskytují v malé míře, a tedy jejich podíl na celkovém ozáření je téměř nepatrný.
- Vnitřní – nejvíce se na něm podílí Rn<sup>222</sup> a thoron Rn<sup>220</sup> a také produkty jejich přeměny (na ozáření se podílí téměř 50 %).

Primárním zdrojem terestriálních radionuklidů jsou horniny. Z nich se radionuklidy uvolňují hlavně zvětráváním do půdy, vod a ovzduší a následně i do potravinových řetězců.

Nejnebezpečnější ze tří izotopů radonu je  $Rn^{222}$ . Z celkového množství tří uvedených izotopů je ho 95 % a jeho produkty mají nejdelší poločas rozpadu.

Samotný radon není příliš nebezpečný. Jako (téměř) inertní plyn se v plicích neusazuje, je znovu vydechován. Nebezpečné jsou jeho dceřiné produkty (kovy), které se usazují na povrchu prachových částic ve vzduchu. Spolu s ním jsou pak vdechovány a usazují se na povrchu výstelky dýchacích cest a plic, kde dlouhodobě působí. A to především ionizujícím zářením ve formě alfa částic, které poškozuje buňky lemující dýchací cesty, tj. bronchiální epiteliální buňky, ve kterých může dojít k iniciaci rakoviny.

Hlavní nebezpečí plynoucí z vysoké radonové expozice je tedy zvýšené riziko vzniku rakoviny plic. (Radiobiologie, [b.r.])

Již v roce 1925 popsal stomatolog H. S. Maryland u některých svých pacientů poruchy dásní a čelisti, které v důsledku vedly ke ztrátě zubů. Tyto případy se vztahovaly především na ženy, které za první světové války pracovaly v New Jersey v továrně na výrobu leteckých přístrojů a používaly svítící barvy na ukazatele číselníků. (Martland a kol., 1925) Prokázalo se, že šlo o důsledek kontaminace  $^{226}Ra$  a  $^{228}Ra$ . Pacientky byly dále sledovány doktorem R. E. Evansem, což dalo podnět k vypracování metod stanovení vnitřní kontaminace u lidí a zároveň k návrhům prvních standardů pro radiační ochranu proti vnitřní kontaminaci. (Evans, 1966) Výsledky byly zaznamenány do mnoha učebnic patologické anatomie a byla s nimi seznámena i lékařská veřejnost. (Evans, 1967)

Podruhé se o toxicitě přírodních radionuklidů začalo hovořit v souvislosti s přípravou jaderných zbraní za druhé světové války. Byla vytvořena skupina toxikologů, která se primárně zaměřila na studium vlivu uranu a transuranu na lidský organismus. Po odtajnění projektu v roce 1973 vydala o této problematice monografii. (Hodge a kol., 1973)

Dalšími zajímavými studiemi byly pokusy na psech (bíglech), které ukázaly, že kritickou tkání je kost, kde se tyto látky kumulují. U nás se tímto tématem zabýval V. Klener. (Mays a kol., 1958)

V dnešní době jsou již přesně popsány jednotlivé složky a jejich podíl záření na vnějším a vnitřním ozáření člověka.

Tab. č. 6: Podíl jednotlivých složek přírodního záření na vnějším a vnitřním ozáření člověka (Navrátil a kol., 2015)

Složka ozáření		Průměrná světová populace	Oblasti s extrémními hodnotami
		Roční efektivní dávka (mSv)	
externí ozáření	kosmické záření	0,38	2,0
	terestriální	0,46	4,3
interní ozáření (bez radonu)	kosmogenní radionuklidy	0,01	0,01
	terestriální radionuklidy	0,23	0,6
radon	inhalace	1,2	> 10,0
	ingesce (podzemní voda)	0,005	0,1
thoron		0,07	0,01
<b>Celkem</b>		<b>2,4</b>	

## 11. Provozní předpisy a vyhlášky pro Léčebné lázně Jáchymov, a. s.

### 11.1 Povolení k využívání léčebných zdrojů pro lázně Jáchymov

Jedním ze základních předpokladů činnosti Léčebných lázní Jáchymov, a. s., je povolení k využívání přírodních léčebných zdrojů vydané Ministerstvem zdravotnictví ČR – Českým inspektorátem lázní a zřidel, ve kterém jsou stanoveny podmínky povolení, a to:

- maximální odebírané množství:

Agricola:	10 l/min, 5 256 m <sup>3</sup> /rok
Běhounek:	300 l/min, 157 680 m <sup>3</sup> /rok
C-1:	34 l/min, 17 870 m <sup>3</sup> /rok
Curie:	30 l/min, 15 768 m <sup>3</sup> /rok
- rovnoměrné a nepřetržité využívání zdrojů
- udržování zdrojů v provozuschopném a zdravotně nezávadném stavu
- Výtěžku ze zdrojů musí být využíváno v plném rozsahu povoleného množství k lázeňské léčbě.
- Nevyužitý podíl z maximálního povoleného odběru ze zdrojů smí být využíván pouze na základě povolení dalšímu uživateli dle ust. § 16 lázeňského zákona.
- Jakékoliv změny v odběru, využívání nebo v technickém uspořádání zdrojů podléhají schválení Ministerstva zdravotnictví ČR, Českého inspektorátu lázní a zřidel (dále jen „MZ ČIL“).
- Povolené úpravy výtěžku ze zdrojů: Je povoleno ohřívání vody. Touto úpravou se však nesmí změnit skladba základních složek výtěžku ze zdroje, které mu propůjčují léčivé vlastnosti, a nesmí vznikat škodlivé látky. Minerální vodu nelze dezinfikovat, ani do ní přidávat bakteriostatické látky.
- sledování využití výtěžku a kvality balneoprocedur
- každých pět let povinnost nechat Referenční laboratoří přírodních léčivých zdrojů vypracovat komplexní analýzu zdrojů
- monitoring seizmických jevů
- vypracování výroční zprávy pro MZ ČIL (MZČR, 2012)

## 11.2 Vyhláška SÚJB č. 184/1997 Sb.

Povodí oblasti Jáchymova je odvodněno Jáchymovským potokem, který se vlévá do Ohře. Hydrologické číslo povodí je 1-13-02-070, plocha povodí 29,09 km<sup>2</sup>, průměrná roční výška srážek povodí 940 mm, průměrný dlouhodobý roční průtok je 273 l/s a Q355 je 38 l/s. (Tůma a kol., 1998)

Vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost (SÚJB) č. 184/1997 Sb., o požadavcích na zajištění ochrany, v § 5 bodě 1 uvádí míru obsahu radionuklidů nebo znečištění jimi. (SÚJB, 1997) Jsou v ní specifikovány podmínky, podle kterých je možné vypouštět materiály, látky a předměty obsahující radionuklidy do vod a do ovzduší. Toto lze provádět i bez souhlasu SÚJB, ale je potřeba dodržet určené podmínky. Pro vodní režim jsou to:

- Při vypouštění do povrchových vod, kromě vypouštění z pracovišť s velmi významnými zdroji, součet součinů objemových aktivit jednotlivých vypouštěných radionuklidů a konverzních faktorů pro příjem těchto radionuklidů požitím dospělým jednotlivcem z obyvatelstva podle tabulek č. 3 není větší než  $10^{-4}$  Sv/m<sup>3</sup>.
- Při vypouštění do veřejné kanalizace, kromě vypouštění z pracovišť s velmi významnými zdroji, součet součinů objemových aktivit jednotlivých vypouštěných radionuklidů a konverzních faktorů pro příjem těchto radionuklidů požitím dospělým jednotlivcem z obyvatelstva podle tabulek č. 3 není větší než  $10^{-2}$  Sv/m<sup>3</sup>.

Jinak je možné mít od SÚJB vystavené povolení, podle kterého se smí do prostředí vypouštět zdroje ionizujícího záření v takové míře, že v žádném kalendářním roce průměrná efektivní dávka u kritické skupiny obyvatel nepřesáhne 250 mikroSv (§ 9 odst. 1 písmeno h). Pro Léčebné lázně Jáchymov, a. s., provádí dozor Státní úřad pro jadernou bezpečnost Praha a regionální centrum SÚJB v Plzni. (Tůma a kol. 1998)

## 11.3 Povolení k nakládání s vodami

Povolení k nakládání s vodami – jejich vypouštění z balneoprovozu do vod povrchových vydal pro Léčebné lázně Jáchymov, a. s., Městský úřad Ostrov, odbor životního prostředí, v srpnu 2014.



V povolení se uvádí technický popis vodního díla: Voda se přivádí do jednotlivých lázeňských budov potrubím z vrtů z Dolu Svornost o teplotě cca 30 °C, použije se pro radonové koupele a pak je vypouštěna do Jáchymovského potoka. Při vypuštění má voda 33 °C. Po každé proceduře dochází k dezinfekci vany, a to prostředkem Sekusept Pulver ve 2% ředění. Po měsíčním používání se vana ještě dezinfikuje prostředkem Incidin v 1% ředění. Jak voda, tak teplota či dezinfekční prostředky jsou ve všech lázeňských domech stejné. Dle povolení je roční vydatnost pramenů 184 056 m<sup>3</sup>, z čehož je pro potřeby koupelí využito cca 95 000 m<sup>3</sup>. Přebytek vody, která nebyla použita k lázeňským účelům, se odvádí do důlních vod v podloží a do odvodňovacích štol pod Jáchymovem.

Dále jsou v povolení uvedeny hraniční hodnoty rozpuštěných anorganických solí (RAS), chemické spotřeby kyslíku dichromanem (CHSK<sub>Cr</sub>), celkového fosforu a pH. Lázně jsou povinny každé čtvrtletí na třech místech – nad, pod a přímo ve výusti – odebírat vzorky a kontrolovat, zda tyto meze nepřekračují, a informace předávat na Povodí Ohře, s. p. (MěÚO, 2014)

## 12. Diskuse - vliv výпустí Léčebných lázní Jáchymov, a. s. na životní prostředí

### 12.1 Voda

Ročně je prostřednictvím Dolu Svornost vyprodukováno 190 000 až 195 000 m<sup>3</sup> radioaktivních vod. Od listopadu 1997 nejsou vypouštěny do odvodňovací štol, ale jsou přiváděny do jednotlivých lázeňských zařízení pro jejich léčebné využití. V noci je pak přeřazen z retenční vyveden přímo do Jáchymovského potoka. To znamená, že je vypouštěno stále stejné množství radioaktivních vod, a to buď přímo přes lázeňské ústavy, nebo přeřazením z retenční.

Každý měsíc je v lázeňských zařízeních poskytnuto cca 14 000 koupelí, přičemž každá koupel spotřebuje 350 litrů. Koupele jsou prováděny v radonové vodě, která má koncentraci Rn 5,5 až 7,5 kBq/l. Provoz koupelí probíhá šest dní v týdnu. (Léčebné lázně Jáchymov, 1998)

Je změřeno, že celkem se odvodňovací štolou do potoka dostává 5 760 m<sup>3</sup>/den. Z toho záměrně čerpaná radonová voda představuje 570 m<sup>3</sup>/den a tím tvoří 2,4 % Jáchymovského potoka. (Burian a kol., 1998) Právě u této vody jsou prováděna pravidelná čtvrtletní podrobnější měření, která za poslední roky nepřesáhla limity stanovené povolením k nakládání s vodami od Městského úřadu Ostrov. (Marková, 2014) Dále je zde povinnost provádět analýzu výпустí – měření se provádí metodami:

- měření objemové aktivity radonu ve vodě – metoda probublávání a následného měření aktivity radonu ve vzduchu;
- měření celkové objemové aktivity zářičů alfa ve vodě – měření směsi se scintilátorem nebo měření odpadku proporcionalním počítačem;
- měření celkové objemové aktivity zářičů beta ve vodě – měření odpadku proporcionalním počítačem;
- měření objemové aktivity <sup>226</sup>Ra ve vodě – měření směsi se scintilátorem po spolusrážení síranem barnatým;
- měření objemové aktivity uranu ve vodě – bylo provedeno fluorometricky.

Dle výsledků z povinných měření a analýz je doloženo, že vodu lze podle vyhlášky č. 184/1997 Sb. používat jako vodu pitnou a její vypouštění nepředstavuje významný úvazek efektivní dávky. Stejně tak vypouštění znamená zcela

nedetekovatelný přírůstek k fotonovému příspěvku. Navíc hodnoty objemové aktivity radonu v potoce po vypuštění vody z lázní jsou nízké. (Burian a kol., 1998)

## **12.2 Vzduch**

Léčebné lázně odvětrávají dvě skupiny prostor, a to šachtu a místnosti, kde je voda aplikována. Tím se do vzduchu dostává radon a jeho produkty přeměny. Odvětrávání je ale nezbytné kvůli dodržení povinné úrovně radiační ochrany vůči zaměstnancům. Protože existují i další zdroje a cesty, kudy se radon do ovzduší dostává (např. plošnou emisí z podloží nedotčeného hornickou prací, plošnou emisí z hald, výduchy z jam a štol či užitím radioaktivního materiálu jako stavebního), nelze přesně kvantifikovat vliv radonu, jenž odchází z léčebných lázní.

Vzhledem k tomu, že po Léčebných lázních Jáchymov, a. s., není vyžadováno povolení SÚJB, je zřejmé, že vypouštění radonu z lázeňských domů a z šachty je jen jeden z mnoha zdrojů (ať přirozených, nebo antropogenních), které způsobují vyšší dávkové zatížení obyvatel města. Kalkulace optimalizace je tedy téměř vyloučená. Jednak proto, že si lze jen těžko představit absolutní izolaci Dolu Svornost a plnou automatizaci jeho chodu, a jednak je také těžko proveditelná izolace místností, kde se poskytují radonové koupele, s ohledem na velký pohyb pacientů. Náklady na přechodové komory by se pohybovaly v řádech milionů, což by byl velký zásah do samotného chodu lázní. Navíc by se tím nynější téměř zanedbatelná zátěž obyvatel přenesla na pacienty za současného zvýšení zátěže u jednotlivců o řády. (Burian a kol., 1998)

## **12.3 Půda**

Je jisté, že dlouholetým vypouštěním kontaminované vody do Jáchymovského potoka jsou zvýšeny hmotnostní aktivity půdy v jeho povodí. Co ale již nelze prokázat, je skutečnost, zda je to v důsledku přírodní kontaminace (řádově až miliony let), nebo staleté hornické činnosti a padesát let trvající intenzivní těžby uranu. Poslední studie se kloní k názoru, že se jedná o kontaminaci za poslední desítky let. (Burian a kol., 1998)

## **12.4 Živočichové a rostliny**

Pro potřeby analýz byly odebrány vzorky zeleniny a ryb jak v oblasti Jáchymova, tak v oblastech nedotčených uranovým hornictvím. Snad kromě kostí, hlav a ploutví jáchymovských pstruhů se výsledky měření téměř nelišily. (Burian a kol., 1998)

### 13. Závěr

Vzhledem k poločasu rozpadu  $^{222}\text{Rn}$  téměř čtyři dny je velmi důležité zabývat se možnými ekologickými důsledky vypouštění – ať už přebytné, nebo léčebným provozem prošlé – radonové vody do místního Jáchymovského potoka. I pro tuto poslední část procesu používání vody z léčebných pramenů jsou vyhláškou Městského úřadu Ostrov stanoveny limity tak, aby nedocházelo k ohrožení živých organismů v dotčeném vodním toku, ani k jinému negativnímu vlivu na životní prostředí v nejbližším okolí. Při jejich zachování nebyl zjištěn žádný dopad jak na živou, tak neživou přírodu.

Z chemického rozboru jáchymovských léčebných pramenů byl zjištěn jako podstatná složka, kterou má smysl z ekologického hlediska dále zkoumat, pouze radon. Ze získaných rozborů vody, při dodržování provozních předpisů stanovených Městským úřadem Ostrov, vyplývá, že používání radonové vody pro účely samotné balneoterapie je zdravotně nezávadné a hladina ozáření je udržována na bezpečných podprahových hodnotách, jež mají pozitivní biologický účinek na lidský organismus. Nezávadné je i vypouštění takto použité radonové vody do povrchových vod, neboť hodnoty objemové aktivity radonu v potoce po vypouštění vody z Léčebných lázní Jáchymov, a. s., jsou nízké.

## Použitá literatura a zdroje

- BURACHOVIČ S., 2007: Jáchymov v zrcadle času. Stručné dějiny prvních radonových lázní světa. Krajské muzeum Karlovarského kraje, Karlovy Vary, 74 s.
- BURIAN I. a kol., 1998: Vliv výpustí Léčebných lázní Jáchymov, a. s., na životní prostředí (práce). Ústav pro expertizy a řešení mimořádných situací, Příbram, s. 25.
- EVANS R. E., 1966: The effect of skeletally deposited alpha-ray emitters in man (Silvanus Thompson Memorial Lecture). Brit. J. Radiol. 39: s. 81.
- EVANS R. E., 1967: The radium standard for boneseekers-evaluation of the data on radium patients and dial painters. Health Physics 13: s. 267.
- FIDLEROVÁ A., 1997: Údolí živé vody. Městský úřad Jáchymov, Karlovy Vary, 87 s.
- HEINER M., 1926: Jáchymovské radium jako lék. Jáchymov, 68 s.
- HODGE H. C., STANNARD J. N., HURSH J. B., 1973: Uranium Plutonium Transplutonic Elements. Springer Berlin Heidelberg, s. 995.
- IAEA, 1989: Radiation Monitoring in the Mining and Milling of Radioactive Ores. IAEA Safety Series 95: 97 s.
- KLENER V. a kol., 1975: Rozbor pozdních účinků radia 226 a radia 224 u myši se zřetelem k rozložení dávky v kostře. Závěrečná zpráva úkolu P09. Institut hygieny a epidemiologie, Praha,
- KLÍR S., 1982: Ochrana zřídelní oblasti západních Čech. Avicenum / Zdravotnické aktuality 198, 139 s.
- KÖTELES G. J., 2007: Radon Risk in Spas?. CEJOEM 13/1: s. 3–16
- KREJDLOVÁ H., 2013a: Laboratorní protokol č. RL 124-13. Referenční laboratoře přírodních léčivých zdrojů, Karlovy Vary, s. 1–9.
- KREJDLOVÁ H., 2013b: Laboratorní protokol č. RL 123-13. Referenční laboratoře přírodních léčivých zdrojů, Karlovy Vary, s. 1–9.

- KREJDLOVÁ H., 2013c: Laboratorní protokol č. RL 125-13. Referenční laboratoře přírodních léčivých zdrojů, Karlovy Vary, s. 1–9.
- KREJDLOVÁ H., 2013d: Laboratorní protokol č. RL 126-13. Referenční laboratoře přírodních léčivých zdrojů, Karlovy Vary, s. 1–9.
- KVK, 2011: Historie. Karlovarský kraj, Karlovy Vary, online: <http://www.kr-karlovarsky.cz/obce/JACHYMOV/Historie/>, cit. 28. 8. 2011].
- KVK, 2014: Historie. Karlovarský kraj, Karlovy Vary, online: <http://www.kr-karlovarsky.cz/obce/JACHYMOV/Historie/>, cit. 22. 9. 2014.
- LAZZERINI F. T., 2013: Fontes Hidrominerais do Brasil. UNESP Rio Claro 1: 391 s.
- LLJ, 1997: Informace pro pacienty 1997–2014. Léčebné lázně Jáchymov, a. s., Jáchymov.
- LLJ, 1998: Výsledky měření laboratoří a provozů Léčebných lázní Jáchymov, a. s., Léčebné lázně Jáchymov, s.
- LLJ, 2011: Čím léčíme. Léčebné lázně Jáchymov, online: <http://www.laznejachymov.cz/o-laznich/cim-lecime>, cit. 30. 10. 2011.
- LLJ, 2015: Popis procedur. Léčebné lázně Jáchymov, online: [http://www.laznejachymov.cz/Public/Files/prospekty/CZ/popis\\_procedur\\_CZ.pdf](http://www.laznejachymov.cz/Public/Files/prospekty/CZ/popis_procedur_CZ.pdf), cit. 6. 3. 2015.
- MARKOVÁ Š., 2014: Protokol o zkoušce č. 1154/2014 a 1618/2014. Povodí Ohře, Chomutov, s. 2.
- MARTLAND H. S., CONLON P. P., KNEF J. P., 1925: Some unrecognized dangers in the use and handling of radioactive substances. J.A.M.A. 85: s. 1769.
- MAYS C. W. a kol., 1958: Radon retention in radium-injected beagles. Radiation Research 8: s. 480–489.
- MNV Jáchymov, 1957: Hydrogeologický podklad pro lázeňský status lázní Jáchymov z 13. 1. 1957. SOkA Karlovy Vary, kart. 67, inv. č. 423: 8 s.
- MOLDAN B., 1977: Geochemie atmosféry. Academia, Praha, 160 s.

- MÚ Ostrov, 2014: Rozhodnutí o povolení k nakládání s vodami z balneoprovozů ze dne 21. 8. 2014. Městský úřad Ostrov, 5 s.
- MZČR, 2012: Povolení k využívání přírodních léčivých zdrojů lázeňského místa Jáchymov. Ministerstvo zdravotnictví České republiky, Praha, 7 s.
- NAVRÁTIL a kol., 2015: Radiobiologie. Online: fbmi.sirdik.org, cit. 1. 3. 2015.
- NCRP, 1993: Limitation of exposure to ionizing radiation. National council on radiation protection and measurements. Report 116: 88 s.
- PIRCHAN A., MARKL J., 1930: Jáchymov, Československé státní radiové lázně. Ústřední vedení podniku státních lázní, Praha, 37 s.
- ŘEHÁČKOVÁ D., 2013: Jáchymovské radiové lázně v minulosti a přítomnosti. Karel Řeháček, Plzeň, 66 s.
- SÚJB, 1997: Vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost č. 184/1997 Sb., o požadavcích na zajištění radiační ochrany. SÚJB, Praha.
- SÚJB, 2002: Vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost č. 307/2002 Sb. SÚJB, Praha.
- SÚRO, 2014: Přírodní radioaktivita a problematika radonu. Státní ústav radiační ochrany, Praha, online: <http://www.suro.cz/cz/prirodnioz>, cit. 21. 12. 2014.
- TŮMA J. a kol., 1998: Vliv výpustí Léčebných lázní Jáchymov, a. s., na životní prostředí (příloha). Ústav pro expertizy a řešení mimořádných situací, Příbram, 38 s.
- Vyhláška č. 252/2004 Sb., o stanovení hygienických požadavků na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody.
- WIKIPEDIE: Online: <http://cs.wikipedia.org/>, cit. 21. 12. 2014.
- WIKIPEDIE: Online: [www.wikipedia.cz](http://www.wikipedia.cz), cit. 15. 2. 2015.



## Seznam fotografií

Foto č. 1: Důl Svornost v Jáchymově

Foto č. 2: Pramen C-1

Foto č. 3: Pramen Curie

Foto č. 4: Pramen Běhounek

Foto č. 5: Pramen Agricola (HJ-14)

## Seznam obrázků

Obr. č. 1: Pitná voda – kationty v mg/l

Obr. č. 2: Pramen C-1 – kationty v mg/l

Obr. č. 3: Pramen Curie – kationty v mg/l

Obr. č. 4: Pramen Běhounek – kationty v mg/l

Obr. č. 5: Pramen Agricola – kationty v mg/l

Obr. č. 6: Radioaktivní součásti

## Seznam tabulek

Tab. č. 1: Příklady hraničních hodnot pro vybrané státy v Bq/l  $^{222}\text{Rn}$

Tab. č. 2: Kationty

Tab. č. 3: Anionty

Tab. č. 4: Těkavé organické látky

Tab. č. 5: Radioaktivní součásti

Tab. č. 6: Podíl jednotlivých složek přírodního záření na vnějším a vnitřním ozáření člověka