

**Univerzita Karlova**  
**Přírodovědecká fakulta**  
**Ústav pro životní prostředí**

Studijní program: Ekologie a ochrana prostředí

Studijní obor: Ochrana životního prostředí



**Alena Peterková**

Těžba uranu, její dopad na životní prostředí a rekultivace  
Uranium mining, its impact on environment and recultivation

Bakalářská práce

Vedoucí práce/Školitel: Mgr. Jiří Malíček, Ph.D.

Praha, 2018

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, dd. mm. rrrr.

Titul Jméno Příjmení

podpis studenta

## Abstrakt

Česká republika v minulosti patřila mezi významná území z hlediska těžby nerostných surovin. V období po druhé světové válce se stala velmi významným dobytatelem uranové rudy, na kterou mnohonásobně vzrostla celosvětová poptávka díky rozvoji jaderné energetiky a masivní produkci nukleárních zbraní. V období osmdesátých let minulého století však zájem o uran poklesl a v devadesátých letech 20. století byly již téměř všechny uranové doly na našem území uzavřeny. Posledním místem těžby uranu byl důl Rožná, ve kterém bylo těženo až do roku 2017. V současné době probíhají na lokalitách rekultivační práce.

Naplánování rekultivace pro dané území není však vždy jednoduchou záležitostí. Musí být brán v potaz způsob těžby, který byl na daném území prováděn, podloží, vzdálenost obydlí, podzemní vody, fauna a flóra okolí apod. Často jsou rekultivace prováděny nesprávným způsobem, a tím není dostatečně využít výjimečný potenciál biotopů zde vzniklých. Lidé mají tendence do obnovy krajiny silně zasahovat, jak už dodáváním živin, tak i vysazováním rostlinných druhů, a tím vytvářet intenzivní hospodářskou krajinu. Často si ovšem neuvědomují, že těžbou byla na lokalitě způsobena výrazná změna abiotických podmínek. Nově vzniklá stanoviště byla v mnohých případech osídlena vzácnými a ohroženými organismy, které jsou vázány na raná sukcesní stádia a v okolní krajině již zpravidla chybějí. Jejich populace ovšem mohou být rekultivací zcela zničeny.

Tato práce má za úkol shrnout do dnešní doby známé informace o těžbě uranu a jejím dopadu na životní prostředí, ochrany přírodního rázu a možnosti rekultivací. Právě rekultivace lokalit ovlivněných těžbou uranu jsou aktuálním problémem, a to převážně na Příbramsku.

## Abstract

In past, the Czech Republic was one of the most important areas for mineral resources mining. In the period after the Second World War, the country was a very important conqueror of the uranium ore, thanks to a massive production of nuclear energy and nuclear weapons. However, in the 1980s, the interest in uranium declined and in the 1990s almost all of the uranium mines in the country were closed. Rožná was the last

place of uranium mining, but it was closed in 2017. Nowadays, there are reclamation works in these mining places.

Planning of a reclamation for is not always simply. It is necessary to think about the account of the method of extraction, which was used in the territory, the subsoil, distance from dwellings, underground water, fauna and flora of the surrounding nature etc. The land reclamations are often done in the wrong way and therefore, the extraordinary potential of the landscape is not exploited. People have a strong tendency to interfere this landscape, for example by supplying nutrients for creating of an intensive agricultural landscape. They often do not realize that the mining caused a change of abiotic conditions. The newly created habitats are often inhabited by rare and endangered organisms, living in early succession stages and missing in the surrounding landscape. However, their populations can be destroyed by reclamations.

This work summarizes information about uranium mining and its impact on the environment, the protection of its natural character and possibilities of reclamation. In the Příbram region, recultivations after the uranium mining are a current problem.

# Obsah

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| 1. Úvod .....                         | 7  |
| 2. Cíle práce .....                   | 7  |
| 3. Základní pojmy .....               | 7  |
| 3.1 Uran .....                        | 7  |
| 3.2 Ochuzený uran.....                | 8  |
| 3.3 Uraninit.....                     | 8  |
| 3.4 Radon.....                        | 9  |
| 3.5 Radioaktivita.....                | 9  |
| 3.6 Radionuklidy .....                | 9  |
| 4. Historie využití uranu .....       | 10 |
| 4.1 Hornictví v České republice ..... | 10 |
| 4.2 Historie na českém území.....     | 11 |
| 5. Těžba uranu .....                  | 12 |
| 6. Získávání uranu z rud.....         | 12 |
| 7. Recyklace uranu .....              | 13 |
| 8. Těžba ve světě .....               | 13 |
| 8.1 Maďarsko.....                     | 13 |
| 8.2 Portugalsko.....                  | 14 |
| 8.3 Spojené státy americké .....      | 14 |
| 9. Ložiska na českém území.....       | 14 |
| 9.1 Příbramské ložisko.....           | 15 |
| 9.2 Uranové ložisko Rožná .....       | 15 |
| 9.3 Janské lázně.....                 | 15 |
| 9.4 Stráž pod Ralskem .....           | 16 |
| 9.5 Uranové ložisko Medvědin.....     | 16 |
| 10. Úpravna MAPE Mydlovary .....      | 17 |
| 11. Rekultivace .....                 | 17 |
| 11.1 Rekultivace po těžbě uranu ..... | 21 |
| 12. Následky zpracování uranu .....   | 21 |
| 13. Odstraňování uranu.....           | 21 |
| 13.1 Fyzikální metody.....            | 22 |
| 13.2 Metody chemické.....             | 22 |
| 13.3 Bioremediace.....                | 23 |
| 13.3.1 Mikrobiální remediace .....    | 23 |
| 13.3.2 Fytoremediace.....             | 23 |

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 14.    | Posuzování vlivu uranu na životní prostředí .....   | 24 |
| 14.1   | Vliv na obyvatelstvo .....                          | 25 |
| 14.1.1 | Navajo.....   | 25 |
| 14.2   | Vliv na ovzduší.....                                | 27 |
| 14.3   | Hluk.....   | 27 |
| 14.4   | Vliv na povrchové a podzemní vody.....              | 27 |
| 14.5   | Vliv na půdu.....                                   | 28 |
| 14.6   | Vliv na horninové prostředí a přírodní zdroje ..... | 28 |
| 14.7   | Vliv na faunu, flóru a ekosystémy .....             | 28 |
| 15.    | Historie a rekultivace příbramského ložiska.....    | 29 |
| 15.1   | Dobývání ložiska Příbram .....                      | 29 |
| 15.1.1 | Koncepce likvidace odvalů .....                     | 31 |
| 15.1.2 | Fauna a flóra odvalů na Příbramsku.....             | 32 |
| 15.1.3 | Ochrana přírody.....                                | 34 |
| 16.    | Případové studie.....                               | 35 |
| 17.    | Závěr .....   | 35 |
| 18.    | Reference .....                                     | 37 |
| 19.    | Seznam obrázků .....                                | 42 |

## 1. Úvod

Díky umístění České republiky a charakteristice Českého masívu se na našem území nachází velké množství zásob nerostných surovin, které zde byly již od nepaměti těženy. Česká republika i přes svoji malou rozlohu disponuje velkými zásobami uranové rudy. Pro naše území to ale znamená také dlouhodobou zátěž hornickou činností, která má významný dopad na krajinu a životní prostředí. Nicméně dopad nemusí být jen negativní, jak si mnoho lidí myslí. Nejenže haldy po těžbě uranu tvoří velmi typickou krajinnou dominantu, ale navíc patří k velmi cenným lokalitám s množstvím biotopů, které scházejí v okolní krajině. To je ovšem často přehlíženo a významné lokality s výskytem ohrožených i chráněných druhů jsou při povinných sanacích území ničeny. Na místech bývalé těžby se mohou objevovat velmi významné a vzácné druhy živočichů a rostlin, které v okolní krajině již nežijí, či se tam vyskytují velmi vzácně. Vše ale záleží na způsobu těžby a rekultivacích daného území. Snahou rekultivací v poslední době je vyvarovat se co nejvíce zásahům člověka a ponechat degradovanou krajinu spontánní sukcesi. Nicméně ne vždy je tento krok vhodný, a to právě často u uranových lomů, kde může velmi snadno dojít ke kontaminaci okolního prostředí.

## 2. Cíle práce

Hlavním cílem práce je shrnout základní znalosti o těžbě uranu z hlediska životního prostředí, ochrany přírody, přírodního rázu a možnosti rekultivací. Dalším cílem je poukázat na historii těžby v ČR a podrobněji se zaměřit na těžbu a současné rekultivace na Příbramsku.

## 3. Základní pojmy

### 3.1 Uran

Uran je v přírodě přirozený, všude přítomný těžký kov, nacházející se v různých chemických sloučeninách ve skalách, půdách, mořích, oceánech, ale i v pitné vodě či potravě. Přírodní uran je směs tří izotopů, a to  $^{238}\text{U}$  z 99,27 % (hmotnostních),  $^{235}\text{U}$  z 0,72 % a  $^{234}\text{U}$  z 0,0054 %.<sup>1</sup> Uran může reagovat s vodou a ve vzduchu se snadno oxiduje.<sup>2</sup> V nerostech jej tedy najdeme převážně v podobě kyslíkatých sloučenin, jakými jsou například oxidy (uraninit, smolinec), fosfáty (autunit, torbenit), silikáty (coffinit) a mnoho dalších. Celkově se v zemské kůře nachází v koncentraci asi 2,7 ppm.<sup>3</sup> V lidském těle se nachází v množství přibližně 90 µg, a to z běžného příjmu vodou, potravinami a vzduchem. Z tohoto množství je 66 % v kostech, 16 % v játrech, 8 % v ledvinách a 10 % v jiných tkáních.<sup>1</sup>

Uran je značně mobilní prvek, což má za následek to, že v průběhu vývoje a přetváření zemské kůry je opakovaně vrácen do metamorfních, sedimentogenních a magmatogenních procesů. To vše je poté příčinou toho, že do dnešní doby neexistuje všeobecná genetická klasifikace uranových ložisek. Nejpoužívanější nomenklaturou uranových ložisek je v dnešní době nomenklatura používaná Mezinárodní agenturou pro atomovou energii (MAAE), která rozděluje uranová ložiska podle jejich geologického prostředí. Celkem je rozděluje do 15 odvětví. Na území České republiky se však nachází jen dvě, a to žilná ložiska a uranonosné pískovce.<sup>4</sup>

### 3.2 Ochuzený uran

Uran je využíván převážně v jaderných elektrárnách, kde většina reaktorů pracuje s obohaceným uranem  $^{235}\text{U}$ , a to o 0,72–4 %, zbývající uran nazýváme jako ochuzený. Ten typicky obsahuje 99,8 % (hmotnostních)  $^{238}\text{U}$ , 0,2 %  $^{235}\text{U}$  a 0,0006 %  $^{234}\text{U}$ . Ochuzený uran má při stejné hmotnosti jako uran přírodní pouze 60 % jeho radioaktivity, ale stejnou chemotoxicitu, nicméně neexistují žádné maximální dávky na ozáření ochuzeným uranem.<sup>2</sup> Je využívám v množství civilních aplikací, jako je například letectví, lékařství, při přepravě radioaktivního materiálu (stíní gama záření) jako chemický katalyzátor, v sklenářském či keramickém průmyslu<sup>5</sup>, stomatologii (pro získání přirozené barvy zubních protéz)<sup>1</sup> a vojenství, jelikož jsou z něj vyráběny munice schopné prorazit pancéřové desky, stínění při výrobě plutonia.<sup>6</sup> V některých případech byl již uran nahrazen, například v letectví je místo něj nyní využíván wolfram.<sup>1</sup> Když byl využíván jako střelivo, způsoboval zdravotní problémy známé jako Syndrom války v Zálivu nebo Balkánský syndrom. To vedlo k přezkoumání jeho vlivů na životní prostředí a zdraví osob. Bylo zjištěno, že jeho škodlivost je dána prachem, který se ze střeliva uvolňuje, a případě vojenského využití při nárazu na cíl.<sup>2</sup>

V každém případě je uran radioaktivní a v jistých případech u něj hrozí nebezpečí požáru. Nicméně pokud jsou přijata a dodržena vhodná opatření, civilní využívání ochuzeného uranu představuje pouze nepatrná rizika.<sup>1</sup>

### 3.3 Uraninit

Uraninit, či starším názvem smolinec s chemickým vzorcem  $\text{UO}_2$  je minerál nacházející se hlavně v žilných uzlech a často obsahující řadu příměsí. Jedná se o černý minerál se zelenavým až hnědavým zabarvením a matným leskem. Jeho tvrdost se pohybuje mezi 5,0 – 6,0. Geneticky je vázán na srážení z horkých roztoků, tedy hydrotermální procesy.<sup>7</sup>

### 3.4 Radon

Radon je přirozeně se vyskytující, bezbarvý, radioaktivní plyn bez zápachu. I jeho dceřiné produkty jsou radioaktivní, což vše způsobuje ozařování plic při inhalaci. Radon je klasifikován Mezinárodní agenturou pro výskyt rakoviny (IARC) jako karcinogen skupiny 1.<sup>8,9</sup>

Epidemiologické studie z roku 2009 prokázaly souvislost s expozicí radonu a vyšším výskytem rakoviny plic u kuřáků nebo bývalých kuřáků.<sup>10,11</sup> Nicméně radon je také považován za nejdůležitější rizikový faktor rakoviny plic u nekuřáků.<sup>12</sup>

### 3.5 Radioaktivita

Radioaktivita je děj, při kterém se nestabilní jádro daného prvku samovolně přeměňuje, a to na jiné jádro a menší částici. Jádra schopná této přeměny nazýváme jádra radioaktivní. Empirické studie zjistily, že jádra jsou stálá, tudíž nepodléhají radioaktivní přeměně, pokud se v jádře nachází neutrony a protony v určitém poměru. Tento poměr (N/Z) je u lehkých jader roven zpravidla jedné a u jader těžších až 1,52. Radioaktivní přeměna je děj energický, tedy se u něj uvolňuje vysokoenergetické ionizující záření, což je dokázáno kinetickou energií vzniklých prvků.<sup>13</sup>

Radioaktivita je přirozená, určitou radioaktivitu vykazují i voda, vzduch, horniny či živé organismy. Vysoké dávky radioaktivity jsou škodlivé, u nízkých dávek nebyly účinky vědecky prokázány. Naopak je dokázáno jejich příznivé působení například v lázeňství. Radioaktivitu vod má za následek převážně rozpuštěný radon  $^{222}\text{Rn}$ , který je těkavý a na vzduchu se z vody uvolňuje.<sup>14</sup>

### 3.6 Radionuklidy

Radionuklidy jsou látky, tvořené atomy prvků, vyzařujících radioaktivní záření. V životním prostředí jsou důsledkem zvětrávání matečných hornin a vyluhováním z nerostných ložisek. V půdě mohou být vázány na organické i anorganické látky. Vyskytují se ve formě iontů i nerozpustných sloučenin. Jejich mobilita je závislá na činnosti mikroorganismu,<sup>15,16</sup> v němž je prvek obsažen.<sup>17</sup> Radionuklidy jsou toxické a mohou se šířit potravním řetězcem.<sup>18</sup>

Radionuklidy řady uranu jsou tedy v zemské kůře běžné, více se ovšem nacházejí v kyselých horninách než v horninách jiných.<sup>19,20</sup>

## 4. Historie využití uranu

Historie uranu sahá více než 400 let zpátky. Už v tomto období byl znám smolinec, tedy smolný kámen, který však v této době nebyl zatím vítaným prvkem, na rozdíl od stříbra či kobaltu. Uran samotný se stal předmětem zájmu až roku 1789, kdy byl získán ve formě žlutého kysličníku německým chemikem Martinem Klaprothem. Tehdy jako nový chemický prvek byl nazván Uran po planetě naší soustavy, tehdy nedávno objevené. Jako kovový prvek byl uran získán roku 1841 francouzským chemikem Melicharem Peligotem.<sup>21</sup>

Historie uranu týkající se jeho využívání jako taková není příliš vzdálená a započala asi před 150 lety, kdy bylo několik jeho sloučenin používáno pro sklářství, keramiku či výrobu barev. Největším zlomem pro užití uranu bylo období na konci druhé světové války, kdy byl využíván pro vojenské účely. Po ukončení války však nastalo i jeho nevojenské využívání v energetických jaderných reaktorech, výzkumných reaktorech, medicíně apod.<sup>3</sup> Roku 1938 byly stanoveny předpisy na větrání dolů na uranovou rudu výnosem báňského úřadu v Karlových Varech, tyto předpisy byly prvními na světě. Dalším způsobem je také ochlazování důlního ovzduší pomocí chladičů či tzv. celodolové klimatizace.<sup>21</sup>

### 4.1 Hornictví v České republice

Česká republika má velmi pestrou, zajímavou a komplikovanou geologickou stavbu s velkým množstvím geologických jednotek, minerálů a horninových typů. Území České republiky je tvořeno Českým masivem, částí západního úseku karpatské soustavy, karpatskou čelní pánví a vnějšími, flyšovými příkrovy. Karpatská soustava je však u nás z hlediska uranového hornictví bezvýznamná.

Za genetické typy ložisek, ve kterých se vyskytuje uran, určujících metalogenetickou charakteristiku Českého masivu, lze považovat:

- ložiska uraninit – například Příbramsko, Rožná-Olší
- ložiska pětiprvkové formace – U, Bi, Ag, Co, Ni s dolomitem – například jáchymovský a hornoslavkovský revír
- ložiska uranu s chlorit-coffinitovou a coffinit-braneritovou asociací – například Rožná-Olší, Zadní Chodov, Vítkov II)

Co se týká výskytu uranu, vyskytuje se tedy u nás v zóně moldanubické, sasko-dyrunské a metalogenetické oblasti vnitrokontinentální molasy a platformního pokryvu.<sup>4</sup>

## 4.2 Historie na českém území

Jáchymov byl prakticky jedinou významnou lokalitou uranového hornictví do roku 1945.<sup>4</sup> Roku 1858 byla v Jáchymově zahájena těžba uranových rud pro potřeby sklářského a keramického průmyslu, avšak v nevelkém rozsahu.<sup>21</sup> Roku 1864 zde byly poprvé objeveny termální vody, které v této době jen ztěžovaly důlní činnost. Později byla ovšem objevena jejich radioaktivita a roku 1906 zde byly zřízeny první radioaktivní lázně na světě, které využívaly prameny zjištěné důlní činností. Roku 1960 byl objeven pramen, který se díky své vydatnosti a vysokému obsahu radonu stal hlavním lázeňským zdrojem.<sup>4</sup>

Hlavní zájem o uran započal roku 1896, a to celosvětově, kdy byla Henrim Becquerelem objevena jeho radioaktivita. Navíc o dva roky později manželé Marie a Pierre Curieovi získali z jáchymovských rud polonium a radium, nové radioaktivní prvky.

V Československu je hlavní rozvoj uranového průmyslu úzce spjat se situací po roce 1945, tedy budováním socialismu a spoluprací se Sovětským svazem.<sup>21</sup> Uranové hornictví se začalo významně oddělovat od hornictví rudného i přes to, že je jeho součástí.<sup>4</sup> Právě roku 1945 vznikla dohoda o spolupráci v dobývání radioaktivních surovin. Na základě toho vznikl v Jáchymově národní podnik Jáchymovské doly.<sup>21</sup>

Při začátkách těžby po roce 1945 panovaly velké zmatky. Byl nedostatek materiálních a finančních prostředků, doly nebyly zařízené, byl nedostatek zaměstnanců, specialistů apod. Docházelo tedy k náboru brigádníků, pomáhaly i vojenské technické jednotky. Do roku 1949 pracovali v dolech němečtí vojenští zajatci a po nich vězni. Poté ovšem nastal již rychlý rozvoj a v období 1956 až 1961 vzrostla těžba dokonce čtyřicetkrát proti letům 1945 až 1950. Celková produkce uranu v letech 1946 až 2000 byla 107 080 tun, celkem bylo nalezeno a prozkoumáno 164 ložisek výskytů uranu a na 66 z nich bylo těženo. Od roku 1991 byl uran ukládán jako rezerva státu pro jadernou energetiku a pro potřeby jaderných elektráren.

V letech 1970 až 1985 došlo k nadprodukcí uranu, a to i z důsledku zpomalení výstavby jaderných elektráren. Od roku 1989 ceny uranu poklesly, to vše vedlo k uzavírání neefektivních dolů.<sup>4</sup>

Dle klasifikace IAEA se na území ČR nacházely pouze dva typy ložisek (IAEA rozlišuje celkem 15 kategorií), a to pískovcová a žilná, která měla z hlediska produkce kovu význam větší. Co se týká způsobu těžby, přes 85 % byl uran vydobyt hlubinným způsobem, dále necelých 15 % bylo získáno metodou podzemního vyluhování z vrtů a jen velmi malé procento uranu bylo vytěženo povrchovými lomy.

Nejdůležitějšími územími, co se týká těžby, byly oblasti středočeská (např. Příbram), severočeská (např. Stráž pod Ralskem), moravská (např. Rožná), západočeská (např. Horní Slavkov) a krušnohorská (např. Jáchymov).

Téměř výhradním spotřebitelem uranového koncentráту, vznikajícího chemickou úpravou, byla v posledních letech společnost ČEZ a.s.<sup>3</sup>

Do roku 1989 se vytěžilo hornickým způsobem v České republice 85 000 tun uranu.<sup>18</sup> Po vytěžení putovala ruda do předúpraven v Příbrami či Jáchymově a úpraven v MAPE Mydlovary, Dolní Rožínce či Stráži pod Ralskem. Právě předúpravny představují velmi významnou starou zátěž, tedy místo, kde došlo ke kontaminaci horninového prostředí, podzemních či povrchových vod, kvůli nevhodnému nakládání s nebezpečnými látkami v minulosti.<sup>18, 22</sup>

## **5. Těžba uranu**

Mezi zvláštnost dobývání uranových rud patří uvolňovaný radioaktivní radon a celková rozmanitost ložisek. Uran je navíc rozprostřen velmi nerovnoměrně. Navíc je velmi nutné odvětrávání dolů.<sup>4</sup> Při dobývání je nutné řešit i vlivy geomechanické, klimatické, hygienické, odvodňování apod.

Těžba, zpracování uranových rud, jaderné elektrárny, spalovny uhlí, fosfátová hnojiva, nukleární zbraně a jaderné havárie mají za následek vyšší koncentrace radionuklidů v životním prostředí.<sup>18</sup> Při těžbě uranu dochází k distribuci velkého množství doprovodných produktů a produktů jejich rozkladu, díky kterým je také zvýšená expozice ozařování a radiace. Hlavní těžba uranu probíhá pod zemí a otevřené důlní těžby mohou mít za následek kontaminaci vod.<sup>23</sup>

Dobývání uranové rudy je možné třemi základními způsoby, a to těžbou povrchovou, hlubinnou a chemickou.<sup>18</sup> Nejčastější je těžba hlubinná, která je i využívána v České republice, ovšem využívala se i těžba chemická<sup>18</sup> a jen velmi málo, asi z 0,3 %, těžba povrchová.<sup>4</sup> Výhody chemické těžby jsou, že se ruda nemusí těžit, mlít a drtit, čímž tedy nedochází k porušení povrchu. Nicméně není velmi účinná, výtěžnost uranu je malá a vymytí a remediace terénu s podložím jsou velmi zdlouhavé a nákladné. Navíc dochází ke kontaminaci spodních vod.<sup>18</sup>

## **6. Získávání uranu z rud**

Získávání uranu z rud probíhá v chemické úpravně po jejich předchozím rozemletí na jemnou zrnitost (<0,1 mm). Poté následuje loužení (kyselé nebo alkalické), separace a srážení uranátu amoniakem. Nerozpustitelný zbytek rozdrčené rudy obsahuje zbytek nevyloženého uranu, doprovodné radium a další toxické prvky.<sup>24</sup> Tyto rudniny se poté odčerpávají a ukládají na

odkaliště již navždy. Tak aby bylo dlouhodobé uložení těchto kalů bezpečné, musí být podloží dokonale nepropustné.<sup>25</sup>

## **7. Recyklace uranu**

V dnešní době je v reaktorech zpracováno asi 5 % energie obsažené v uranovém palivu. Vyhořelé palivo je poté tedy nutno přibližně 40-50 let skladovat v meziskladech a následně jej přesunout do trvalých úložišť ve vhodném geologické prostředí. Pouze malá část vyhořelého paliva se přepracovává, a to z důvodu snížení obsahu vysoce aktivních odpadů a pro využití nespotebvaného štěpného materiálu. Takto přepracovaný odpad je poté opět využit jako palivo a jeho efektivita stoupne proti původním 5 % přibližně na 30 %.<sup>3</sup>

## **8. Těžba ve světě**

Od roku 1945 do roku 2006 bylo celosvětově vytěženo asi 2,3 mil. t uranu. Rozvoj těžby nastal hlavně v 50. letech z důvodu jaderných programů, rozvoje jaderné energetiky a roku 1973 po prvním ropném šoku.<sup>3</sup> Ve druhé polovině 80. let 20. století došlo celosvětově vlivem nadprodukce k propadu cen a nahromadění zásob přírodního uranu. Následoval útlum těžby a hledání sanačních programů.<sup>24</sup> Co se týká Evropy, je uran těžen například v Německu, Francii, u nás v České republice, Ukrajině či Rumunsku. K roku 2006 byli hlavními celosvětovými producenti Kanada, a právě Austrálie a Kazachstán. V 90. letech 20. století došlo ke sloučení významných těžbařů uranu a roku 2006 zajišťovalo 85,5 % těžby již jen 8 největších firem.<sup>3</sup> Kvůli nárůstu množství jaderných elektráren a rostoucí spotřebě jaderné energie je očekávána stále zvýšená těžba uranu. Země jako Kazachstán, Austrálie, Kanada poskytují přibližně 63,5 % světové produkce uranu<sup>26</sup> a od roku 2005 roční produkce uranu v těchto zemích také stále roste.<sup>27</sup>

### **8.1 Maďarsko**

V Maďarsku hledání přírodních jaderných surovin započalo roku 1953 a o rok později byla objevena uranová ruda v horách Mecsek Mountain na jihozápadě Maďarska. Těžba zde probíhala od roku 1954 do roku 1997, kdy byl důl uzavřen a ihned po jeho uzavření byla zahájena rekultivace těžební oblasti.<sup>28</sup>

## 8.2 Portugalsko

V Portugalsku jsou uranová ložiska známa od počátku 20. století. Těžba uranu byla roku 2001 v Portugalsku přerušena. Avšak z důvodu dřívějšího odvádění odpadu do řek může i v současné době povrchový odtok stále přenášet radionuklidy. Studie ale prokázaly, že navzdory velkému počtu uranových dolů, které byly v této oblasti využívány, neexistuje rozsáhlá a trvalá akumulace radionuklidů v povodích hlavních řek procházejících oblastí.<sup>20</sup>

## 8.3 Spojené státy americké

Jednou z nejbohatších oblastí na radioaktivní materiál byla Koloradská plošina, která obsahovala veliké zásoby karnotitu, výrazně žluté sloučeniny obsahující uran, vanad a nepatrné množství radia. Do roku 1910 těžilo v těchto místech několik nezávislých horníků, kteří dodávali rudu do Evropy, avšak s malým ziskem. Později tedy byli nuceni vstoupit pod větší společnosti a americká vláda začala přemýšlet o znárodnění.<sup>29</sup>

V období od druhé světové války do roku 1971 byla vláda jediným odběratelem ve Spojených státech. Těžba uranu na tomto území probíhala převážně v jihozápadní části a lákala mnoho lidí i domorodců pro práci v dolech. I přes tehdejší znalosti o nepříznivých účincích a zvýšenému výskytu rakoviny plic při těžbě uranu byli horníci jen málo chráněni. Až roku 1990 byl přijat Radiation Exposure Compensation Act – RECA. Tento zákon udal odpovědnost americké vládě, která byla, jak již bylo řečeno, do roku 1971 jediným kupujícím uranu a zadal finanční vyrovnání horníkům, trpícími nemocemi, které mohly souviset s těžbou.<sup>30</sup>

## 9. Ložiska na českém území

Pro Český masív je charakteristická různorodost uranového zrudnění a jeho velký vertikální rozsah. Zdejší zrudnění můžeme rozdělit na dvě etapy. První, pozdněvarijskou (260 – 270 mil. let) a druhou, alpínskou (10–20 mil. let). První etapou bylo vytvořeno jádro Českého masívu, tedy větší část Čech a Moravy, a jeho ložiska žilného typu. Ve druhé etapě vznikla uranová ložiska v křídových sedimentech.

Uranové zrudnění v karpatské oblasti je vázané především na permské sedimenty a hydrotermální procesy se změnou okolních hornin. Celková produkce historického uranu je přibližně 350 000 tun a činí z Českého masívu nejdůležitější uranovou oblast v Evropě.<sup>31</sup>

Chování uranu v procesech metamorfní přeměny moldanubických hornin je málo známé, chybí úplná radiologická charakteristika hornin. Obsah radioaktivních prvků v slabě

metamorfovaných horninách svrchního proterozoika je poměrně nízký: ve fylitech U 1,8 až 2,6 ppm, v jílovcích a prachovcích U 3,4 až 5,2 ppm, v jílových břidlicích a tufitech 3,6 až 5,1 ppm. Se zvyšující se intenzitou metamorfózy poněkud klesá obsah uranu v horninách.<sup>21</sup>

### 9.1 Příbramské ložisko

Příbramské ložisko je největším hydrotermálním ložiskem uranu v České republice a patří i k největším žilným hydrotermálním ložiskům na světě. Nachází se přibližně uprostřed příbramského rudného revíru v pásu vedoucím od jihozápadu k severovýchodu o délce asi 24 km a šířce 1 - 2 km. Ložisko je vlastně jedním velkým rudním polem s jednotlivými těžebními lokalitami.

### 9.2 Uranové ložisko Rožná

Rudní ložiskové pole Rožná-Olíš se vyskytuje ve východní části stráženského moldanubika asi 45 km severozápadně od Brna.<sup>31</sup> V rudním poli Rožná-Olíš se nachází ložisko Rožná a vytěžená ložiska Slavkovice-Petrovice a Olší. Celková historická produkce uranu je asi 350 000 tun.<sup>32</sup> Uranové ložisko Rožná bylo objeveno průzkumem roku 1954, o dva roky bylo objeveno i ložisko Olší a začátkem 70.let ložisko Slavkovice-Petrovice. Od roku 1957 započala v ložisku Rožná těžba. V Ložisku Olší probíhala těžba od roku 1959 do 1989. Od roku 1988 je těžba uranových rud řízena v souladu s útlumovým programem těžby uranových rud.<sup>32</sup> Těžba v uranovém ložisku Rožná skončila roku 2017.<sup>33</sup>

### 9.3 Janské lázně

Na tomto ložisku probíhaly studie různých typů pozdně varijských a povarijských mineralizací. Díky nim také vznikl model vzniku rudních materiálů v závislosti na geotektonickém vývoje Českého masivu pro období od svrchního karbonu do mezozoika.<sup>32</sup> V krkonošském krystaliniku tvoří ortoruly složitou megavrásu a při poškozování variského cyklu tyto ortoruly poskytly uran k formování ložisek a jiných uranových výskytů.<sup>14</sup>

Již ve 40. a 50. letech probíhaly studie aktivity vod v oblasti Krkonoš. Bylo při nich naměřeno zvýšené aktivity vod na Žalém, to až 945 Bq, Dumlichově dole (vodárna pro Vrchlabí) a Ambrožově prameni (vodárna pro Benecko).<sup>34</sup> I přes to, je aktivita jánskolázeňky termy velmi nízká a blíží se spíše aktivitě vod krasových.<sup>14</sup>

#### 9.4 Stráž pod Ralskem

Zde byla využívána metoda chemické těžby – podzemního loužení in situ.<sup>4</sup> Došlo tedy ke kontaminaci horninového prostředí z důsledku chemického vyluhování uranu. V podzemí je kontaminováno víc než 300 milionů metrů krychlových vody a je v ní rozpuštěno skoro 5 milionů tun kontaminujících látek, jako jsou radionuklidy, ropné látky, těžké kovy a anorganické látky.<sup>35, 36</sup> Může dojít k potencionálnímu ovlivnění podzemních vod severočeské křídly. Takovýto rozsah kontaminace je hlavně z důvodu kombinace dvou nepříznivě se ovlivňujících metod použitých v jistých blocích – chemické a hlubinné těžby zároveň, rychlý rozvoj těžby, nesprávné odhadnutí horninového prostředí, nedostatečné ověření následků těžby při jejím vzniku a průběhu.<sup>4</sup>

První pokusy o chemickou těžbu v okolí Stráže pod Ralskem probíhaly v druhé polovině šedesátých let. K rozvoji těžby došlo převážně v po roce 1971, kdy těžba v těchto místech nahrazovala úbytek těžby uranu v jiných revírech. Chemická těžba uranu zde byla ukončena roku 1993.<sup>4</sup>

Sanace a likvidace hlubinné chemické těžby byla plánována již při jejím rozvoji. Od 1.4.1996 byla vyhlášena likvidace chemické těžby, která je velmi dlouhodobá a finančně nákladná.<sup>4</sup>

Sanační přístupy jsou dva

- 1) Odčerpání technologických roztoků z podzemí a následná likvidace kontaminace na povrchu.<sup>35</sup> Takto vyčištěná voda bude vtláčena zpět do horninového prostředí či vypouštěna do vodoteče.<sup>4</sup>
- 2) Imobilizace kontaminantů – méně agresivní přístup. Jedná se o vytvoření takových podmínek v horninovém prostředí, že dochází k převedení látek z formy mobilní do imobilní (například z roztoku do sraženiny). V případě sanace ložiska Stráž se jedná o vtláčení alkalického imobilizačního činidla a jeho rozptýlení v horninovém prostředí. Tím dojde ke snížení kyselosti technologických roztoků a ke srážení kontaminantů.<sup>35</sup>

Dále bude sanováno horninové prostředí, likvidovány vrty a povrchová zařízení a rekultivována plocha vyluhovacích polí.<sup>4</sup>

Odhaduje se, že sanace bude trvat asi 30 let<sup>35</sup>, tedy do roku 2040,<sup>4</sup> a její náklady budou asi 40 miliard Kč.<sup>35</sup>

#### 9.5 Uranové ložisko Medvědín

Uranové ložisko Medvědín, někdy také zvané jako Horní Mísečky se nachází poblíž vesničky Horní Místečky asi 2,5 km severozápadně od Špindlerova Mlýna v Krkonoších

v nadmořské výšce 1000 až 1200 m n m. Ložisko bylo objeveno roku 1952. Celkem zde bylo zkoumáno dvacet žil, z čehož v šesti z nich byl objeven uran.

Důl byl uzavřen roku 1959 a celkem zde bylo vytěženo asi 24,5 t uranu.

V současné době jsou skládky po těžbě převážně odstraněny, zbytky se nacházejí však stále podél břehu Medvědínského potoka v Labském dole.<sup>37</sup>

## 10. Úpravna MAPE Mydlovary

MAPE (Zkratka slov MAgnezium PEerchlorát)<sup>38</sup> Mydlovary je bývalá chemická úpravna uranové rudy v jižních Čechách nedaleko města Hluboká nad Vltavou. Do ní se dovážela ruda z uranových dolů téměř z celé republiky, občas i ze zahraničí.<sup>24</sup> Úpravna fungovala v letech 1962—1991 a během své činnosti z pracovala 17 mil. tun uranové rudy a vyprodukovala 36 mil. tun kalů. Probíhala zde povrchová těžba i kyselá a alkalická loužení uranových rud. Sanace zde probíhají již od roku 1989. Nejprve byly vysušeny laguny a neprodyšně uzavřen terén nad odkališti, aby byl omezen únik radionuklidů. Na místě chemické úpravní a odtěžené kontaminované zeminy byla provedena lesotechnická rekultivace a odkaliště bylo zatravněno. Stále však probíhá monitoring lokality a roku 2003 zde byl proveden botanický průzkum náletových rostlin.<sup>18</sup> . Není ovšem vhodné ponechat tuto část jen invazivním rostlinám, jelikož ty kořeny poruší vodotěsnou těsnicí vrstvu a transportují radionuklidy do životního prostředí.<sup>24</sup> Roku 2010 byl obsah radionuklidů většiny analyzovaných vzorků na hranici měřitelnosti, nicméně mírně zvýšené hodnoty byly například v travním porostu a u zemědělských plodin v blízkosti odkališť. Odkaliště nad obcí Olešník je problémové z důvodu, že kaly byly uloženy do vytěžených prostorů ligninového lomu pod úrovní hladiny okolní podzemní vody. Dá se zde tedy očekávat šíření kontaminantů do okolních vod i po ukončení rekultivace. Momentálně zde dochází k průniku odkalištních vod do vod podzemních z důvodu částečné propustnosti dna hrází a odkališť.<sup>18</sup>

## 11. Rekultivace

Ekologie obnovy (restoration ecology) je oborem zabývajícím se obnovou člověkem narušených ekosystémů a jejich uváděním do původního stavu.<sup>39</sup> Ustálení českého názvu „ekologie obnovy“ pochází z diskuzní prezentace České botanické společnosti z března roku 1994.<sup>40</sup> Rekultivace je souhrn zásahů, které ekologie obnovy využívá.<sup>41</sup> Za zakladatele rehabilitační ekologie je považován Aldo Leopold, který roku 1935 znovuobnovil vysokostébelné prárie u wisconsinské univerzity v Madisonu.<sup>40</sup>

Jako úspěšnost rekultivace je bráno, pokud dojde k navrácení rostlin a živočichů, kteří byli na území přirozenými obyvateli před působením ničivého faktoru. Problémy nastávají v tom, že nemusí být zcela jisté, jaké druhy jsou původní, a může trvat dlouhou dobu, než dojde k ustanovení rovnováhy. V případě drastické změny abiotických podmínek také často nastává situace, že se na daném místě usadí soubor rostlin a živočichů podobných, ale ne stejných jako bylo společenstvo původní. Tento jev nazýváme rehabilitací. Některé plány rekultivací jsou založené naopak na druzích, které v daném místě nejsou vůbec původní, ale jsou schopné se tam usadit i po změně podmínek. Toto je využíváno hlavně pro rekreační nebo estetické prostředí, jako jsou například parky, produktivní les a podobně. V obou dvou případech je však nutné podrobit prostředí procesům a různým technikám nápravy, jako je například dekontaminace substrátů a skládek.<sup>40</sup>

Lidské činnosti byly a jsou tak rozsáhlé, že většina ekosystémů na zemi byla nějakým způsobem narušena. <sup>42</sup> V dobách, kdy se člověk živil lovem a sběrem, žil ještě v dokonalé jednotě s přírodou. Během vzniku pastevectví a zemědělství došlo k velkoplošným změnám území, a to kvůli likvidaci lesních porostů a zpracování půdy. Původně se u nás nacházelo území zalesněné z 90 %. V dnešní době, však lesy pokrývají pouze jednu třetinu území.

S přibývajícím počtem lidí také rostou jejich nároky, a tím roste i spotřeba obnovitelných a neobnovitelných zdrojů. K nejvýraznějšímu poškození přírody dochází právě při těžbě nerostných surovin. V dobách, kdy těžba probíhala na malém prostoru, byla příroda sama schopna negativní vlivy těžby odstranit a navrátit prostředí do původního stavu. V dnešní době však jsou již systémy těžby tak vyvinuté, že stoupá jejich výkonnost, produktivita i ekonomický efekt, ale také stoupá jejich negativní vliv na krajinu. Dochází k degradaci až destrukci živých i neživých složek ekosystémů, negativnímu vlivu na horninové prostředí, povrch území, půdu, ovzduší, vodu i ostatní složky ekosystému.<sup>43</sup> Více než 40 % vegetačního povrchu země bylo přímo narušeno<sup>44</sup> a jeho přirozená produkční kapacita byla změněna, redukována nebo zničena. <sup>45</sup>

Při plánování obnovy určitého území je nutné kontrolovat, zda dochází ke zvýšení stability a odolnosti společenstev při zvyšování biodiverzity, jakou má společenstvo věkovou strukturu, vliv druhových interakcí, vliv živočichů na rostliny i opačně a mnoho dalšího.<sup>40</sup>

Při rekultivacích je nutné brát ohledy i na problémy hydrické. Přebytek vody by mohl mít za následek přesycení povrchových vrstev půdy, vznik anaerobního prostředí a tím úhyn vegetace. Naopak velmi pórovitá půda by mohla mít za následek nedostatek vody.<sup>46</sup>

Rekultivaci můžeme rozdělit na několik etap

- Přípravná etapa – probíhají průzkumné, koncepční, projektové aktivity, a to již během těžby. V jejím zájmu je hlavně vytváření vhodných podmínek pro vlastní rekultivaci. <sup>47</sup>
- Technická etapa – technické úpravy území pro co nejlepší podmínky v zájmu rekultivace. Vliv zde má hlavně tvar území a vodní režim. Zemědělské kultury vyžadují úpravu plošin výsypek, pro rekultivaci zalesněním je zase třeba úprava sklonu svahů, jejich stabilita a minimalizovaná eroze, v případě vodních ploch je důležité vzít v potaz kapacitu povodí. Úprava vodního režimu spočívá v umožňování vsakování a odtoku srážkových vod. <sup>47</sup>
- Biologická etapa – v této etapě dochází, po již řečených technických úpravách, k zakládání lesů, parků, tvorbě polí, luk, sadů či například upravení prostor k rekreaci, jako je třeba zavedení zeleně na různá hřiště. <sup>47</sup>

Rekultivace můžeme rozdělit na čtyři, nejčastěji používané typy, a těmi jsou rekultivace zemědělské, lesnické, vodní a ostatní.

- Zemědělské rekultivace – v případě této rekultivace je nejdůležitější osevnický postup, jehož hlavním cílem je vytvoření půdy na výsypkách. Princip spočívá v úpravě stanoviště tak, aby došlo k nastartování půdotvorného procesu, tedy biologického oživení zemin, a tím ke zvyšování úrodnosti půdy a homogenizaci stanoviště. Tato rekultivace je doprovázena zásahy v podobě setí, ošetřování vegetace, sklizně apod. <sup>47</sup>
- Lesnické rekultivace – tyto rekultivace spočívají v zalesňování zemin. Takto vzniklé lesy jsou dle lesního zákona v kategorii lesů ochranných nebo v tzv. lesů zvláštního určení a plní funkci upravování klimatických a vodohospodářských poměrů, dávají základy případnému rozrůstání lesa, omezují vodní eroze apod. Výběr dřevin, které budou na daném rekultivovaném místě vysety, není náhodný a probíhají předchozí průzkumy, zjišťující vhodné složení dřevin. <sup>47</sup>
- Vodní rekultivace – v případě rekultivací je snaha o tvorbu nového, ale i tak přirozeného vodního režimu. Někdy však nejsou možné úpravy vodního režimu rekultivovaných ploch a v takových případech je třeba zhotovit jiná protierozní technická opatření, tedy úpravu povrchu a vytvoření

odvodňovacích prvků. Mezi odvodňovací prvky řadíme například příkopy, poldry, sanační odvodnění a průlehy retenční nádrže. Například při zavodňování zbytkových jam po báňské činnosti vznikají oligotrofní jezera s vysokou kvalitou vody, která plní funkci zásobárny vody. Ve vhodných místech jsou vytvářeny takovéto plochy třeba i pro rekreaci a koupání. <sup>47</sup>

- Ostatní rekultivace – takovéto rekultivace jsou prováděny hlavně za účelem výskytu zeleně například na rekreačních plochách, které jsou s okolím spojené zpevněnými komunikacemi a manipulačními plochami. Jedná se například o doprovodnou zeleň okolo vodotečí, či břehových partií lomových jezer. <sup>47</sup>

Obnova však spočívá i v obnovení schopnosti půdy zachytit a udržet základní živiny. Navíc při plánování obnovy je nutné, aby cíle a kritéria úspěchu byly stanoveny důrazně a předem, ale zároveň, aby byla možná jejich pozdější úprava.

Můžeme definovat tři postupy ekologické obnovy. <sup>40</sup>

#### 1) Spontánní sukcese

Při tomto postupu je krajina ponechána přirozené obnově, bez lidských zásahů.

Postupně dochází ke kolonizaci druhy, které se většinou vyskytují v okolí. Pokud se ovšem jedná o území silně degradované či toxické, je tento postup velmi pomalý.

Výhodou ovšem je, že dochází k menšímu zavlečení invazních druhů, a tím je zachována biodiverzita. <sup>40</sup>

#### 2) Řízená sukcese

U těchto sukcesí se postupuje podle zvoleného managementu, týkajícího se hlavně fyzických úprav, které mají zlepšit stanovištní podmínky a urychlit sukcesi. Biologickými postupy jsou pak dodány druhy, které omezují invazi nežádoucích cizích druhů. <sup>40</sup>

#### 3) Technické rekultivace

Tato metoda obnovy není příliš žádoucí, někdy je ovšem nevyhnutelná, a to v případech krajin s fyzikálně-chemickými a antropogenními činiteli, způsobujícími dlouhodobý stres pro krajinu. <sup>40</sup>

### 11.1 Rekultivace po těžbě uranu

Těžba i zpracování uranové rudy poškozují životní prostředí z důvodů kontaminace okolí radionuklidy. Metody sanace jsou závislé na typu činnosti, která na daném místě probíhala.<sup>18</sup> Sanace a rekultivace daného dolu po jeho uzavření, likvidace odpadu a základní podmínky pro ochranu životního prostředí jsou v dnešní době dané před zahájením těžby, nicméně některé staré doly nikdy rekultivací neprošly.<sup>48</sup>

Obecně sanace v České republice probíhá tak, že jsou haldy zakryty inertním materiálem, odkaliště jsou vysoušena a poté také zakryta. Tím dojde k omezení úniku radonu a radioaktivního prachu, navíc se také sníží množství kontaminovaných průsakových vod. Důležitý je také monitoring a obhospodařování krajiny po sanaci, aby nedošlo ke druhotné kontaminaci. Sanace jsou tedy nákladné a dlouhodobé.<sup>18</sup>

Haldy jsou produkty antropogenní činnosti a vytvářejí nepřirodní útvar reliéfu krajiny. Vznikají nahromaděním hlušiny při těžbě nerostných surovin a jejich následné mechanické úpravě. Jelikož se jedná o velmi výraznou složku okolní krajiny, je nutné je propojit s prostředím a pečlivě naplánovat jejich rekultivace.<sup>49</sup>

## 12. Následky zpracování uranu

Po vysušení odkališť se objevují další problémy, a to s prašností, fyzikálními a chemickými vlastnosti.<sup>50</sup> Uchycená vegetace v sobě akumuluje radionuklidy a stává se toxickou, tím může mít za následek šíření toxických prvků do potravních řetězců.<sup>42</sup>

Dalším problémem jsou plynné emise radonu a depozice jeho pevných radioaktivních dceřiných produktů, které mají krátké poločasy rozpadu. Jejich rozpadová řada končí až stabilním izotopem olova <sup>206</sup>Pb, jenž má toxické účinky.<sup>24</sup>

## 13. Odstraňování uranu

Uran se v prostředí nachází ve formě sloučenin. Ve vodách s pH nižším, než je 4,9 převažuje forma uranylového iontu a ve vodách s pH vyšším než 7 forma rozpustných uhličitanových komplexů.

Na půdní částice se uran váže adsorpcí, chemisorpcí, iontovou výměnou či jejich kombinacemi. Při redukci uranu z šestimocného na čtyřmocný dochází k jeho fixaci a při opaku, tedy oxidaci z čtyřmocného na šestimocný, dochází k jeho mobilizaci, a právě toho využívají remediační technologie.

Při odstraňování je nutné znát množství a formu polutantů, fyzikálně-chemické vlastnosti kontaminovaného média, remediační technologie a jejich efektivitu, rizika dopadu na životní prostředí, nutná je také studie místa, kde má být sanace prováděna, a celková cena sanace.

*Ex situ* remediace byly prováděny do 80. let minulého století. Kontaminovaná voda či zemina byla odvezena a zpracována (spalováním, vyluhováním atd.), což bylo velmi náročné a finančně nákladné. Při spalování docházelo k velkému snížení objemu a konečný produkt, tedy popel, mohl být uložen. Nicméně s plyny, které vznikaly během spalování, bylo nutno nakládat jako s plynnými radioaktivními odpady.<sup>18</sup>

### 13.1 Fyzikální metody

In situ dekontaminace probíhají přímo na daném místě, tím jsou šetrnější k životnímu prostředí. Půdu zbavují kontaminace a zachovávají funkce a vlastnosti půdy. Dbá se na to, aby se látky nešířily a nekontaminovaly větší území. Při in situ dekontaminaci se využívá hlavně sorpce, redukce a srážení. V posledních letech se ovšem stávají často využívanou metodou, která využívá k odstraňování polutantů rostliny či mikrobiální buňky. Vhodným odstraněním kontaminace při metodě in situ je překryv kontaminovaných ploch nebo promývání vodními roztoky. Při promývání je extrakční roztok po průchodu kontaminovaným místem odčerpáván a poté recyklován.<sup>18</sup>

### 13.2 Metody chemické

Většina půd má pH v rozmezí 4,0 - 7,5 a uran se v nich nachází v hydrolyzované formě. V abiotických podmínkách probíhá redukce a vyskytuje se zde málo rozpustný čtyřmocný uran, který tvoří komplexy s ligandy. Při změně pH, iontových sil či redox potenciálu pomocí komplexačních činidel dojde ke vzniku rozpustných komplexů. Srážecí činidla a vločkotvorné chemikálie se využívají k odstranění mobilních iontů uranu, nicméně tyto metody nejsou samy o sobě dost účinné, a proto je nutné je kombinovat s dalšími metodami. Tyto metody jsou také poměrně finančně nákladné a sekundárně vznikající odpady mohou vyvolávat jistá rizika. Jejich využití je v ložiscích s ukončenou těžbou k čištění vod, přesahujících limity. Odvodněnou sraženinu (například při srážení hydroxidem vápenatým) je poté nutno uložit na zabezpečené skládce a voda, která po úpravě již splňuje limity, je vypouštěna do vodotečí.<sup>18</sup>

### 13.3 Bioremediace

Bioremediace využívá živých organismů, a to jak mikroorganismů, tak rostlin, k detoxifikaci či rozkladu polutantů. Vznikají látky, které nepředstavují nebezpečí pro prostředí či živé organismy. Bioremediace může být prováděna v podmínkách in situ (organismy jsou přidány přímo do kontaminované půdy či vody) i ex situ (v bioreaktoru či na dekontaminační ploše). Pomocí srážení, redukce, sorpce na biologických materiálech či akumulace v rostlinných pletivech lze z životního prostředí odstranit kontaminanty, které nelze degradovat (těžké kovy, radionuklidy).<sup>18</sup>

#### 13.3.1 Mikrobiální remediace

Mikroorganismy interagují s kontaminanty a přeměňují je z jedné chemické formy na jinou změnou jejich oxidačního stavu.<sup>51</sup> Pro odstranění uranu je podstatné srážení, enzymatická redukce rozpustných iontů na nerozpustné a biosorpce na povrchu buněk. Ionty mohou být aktivně či pasivně transportovány do buněk, kde se váží na molekuly, popřípadě ukládají v organelách. Biosorpce nazýváme, když dochází k vazbě kovů z roztoků bez aktivní účasti metabolismu. Za bioakumulaci považujeme proces, kdy k transportu dochází za účasti metabolismu.<sup>18</sup>

#### 13.3.2 Fytoremediace

Jedná se o mechanismy změny složení zeminy pomocí zelených rostlin, které na ní rostou. Ty jsou využívány k čištění kontaminovaných povrchových i podpovrchových vod, sedimentů a půd. Od 90. let 20. století je využívána rhizofiltrace, která využívá k dekontaminaci kořeny rostlin pro odstraňování polutantů z vod.<sup>18, 52</sup>

Změnami pH, složením roztoků, chelatačními činidly, chemikáliemi snižujícími sorpci uranu, či interakcemi mikroorganismů s rostlinnými exudáty lze zvýšit akumulaci uranu v rostlinných pletivech.<sup>53, 54</sup> Zvýšeného transportu do nadzemních částí jistých rostlin lze dosáhnout například i použitím media bez fosfátů,<sup>55</sup> které v případě své přítomnosti tvoří komplexy, a tím zabraňuje větší akumulaci uranu v kořenech a jeho transferu do výhonků.<sup>18</sup> Navíc hnojiva minerální obsahují větší množství uranu než hnojiva fosfátová, a tím podporují šíření kontaminovaného hnojiva i do zemědělských ploch.<sup>56</sup>

Důležitý je i výběr rostlinného druhu. Schopnost rostlin akumulovat uran se liší. Mezi vhodné rostliny patří ty, které se na haldách uranové hlušiny či u usazovacích nádrží vyskytují

přirozeně. V našich podmínkách mezi ně patří například olše lepkavá (*Alnus glutinosa*), bříza bělokorá (*Betula pendula*) nebo bez černý (*Sambucus nigra*).

#### **14. Posuzování vlivu uranu na životní prostředí**

V dnešní době je posuzování vlivu na životní prostředí dáno zákonem. Posuzují se přímé i nepřímé vlivy hornické činnosti, jejich důsledek, vlivy na obyvatelstvo i živočichy a rostliny, ekosystémy, půdu, vodu, ovzduší, horninové prostředí, klima, krajinu apod. EIA neboli proces posuzování vlivů zákonem vyjmenovaných činností na životní prostředí se vztahuje na těžbu, ale i následnou likvidaci, rekultivaci a sanaci.<sup>4</sup>

Přestože většina uranu je extrahována z rud, je určité množství ponecháno v hlušině v blízkosti dolů. Likvidace hlušiny je významným rizikem pro životní prostředí z důvodu kontaminace vyluhovatelnými a mobilními toxickými kovy do prostředí,<sup>57</sup> navíc koncentrace uranu v hlušině jsou vždy vyšší než v zemské kůře.<sup>58</sup> Ne vždy ovšem musí dojít k jeho uvolňování do okolí. Dostupnost uranu je dána fyzikálně chemickými vlastnosti uranu a také charakteristikou hlušiny, kde navíc hraje roli její vystavení atmosférickému kyslíku, vlhkosti a její kontakt s jinými materiály.<sup>57</sup> Bez správného zpracování hlušiny může uran z ní uvolněný představovat potenciaální riziko kontaminace prostředí. Některé studie prokazují, že uran může být prostřednictvím mechanismů (srážení, adsorpce) zachycen oxidy železa nebo manganu.<sup>59</sup> Vyluhování je dalším z faktorů ovlivňujících uvolňování uranu z hlušin a způsobuje změnu hodnoty pH. Tím dochází k ovlivnění adsorpce, srážení, desorpce a rozpouštění. Mimo vyluhování je uvolňování uranu ovlivněno dobou kontaktu, poměrem kapalných a pevných částic, velikostí částic a již řečeným pH. Jako opatření proti vyluhování uranu slouží snížení pórovitosti, imobilizace pomocí fosfátů, kdy dojde k přeměně nestabilního uranu na inertní uran, pokrytí hlušiny půdou a tím snížení kontaktu hlušiny s vodou.<sup>57</sup> Sanace uranu záleží také na typu půdy.<sup>60</sup> Každá půda má pro uran jinou mobilitu, vazebnou kapacitu a chemickou reaktivitu.<sup>61</sup>

Obavy z kontaminace půdy uranem pocházejí hlavně z důvodů jeho toxicity, akumulace v potravinách a vytrvalosti v životním prostředí. Uran se v iontové i izotopové formě může hromadit v rostlinách a zvířatech, což má za následek různé toxické účinky. Navíc dochází k jeho přirozenému vyluhování při zvětrávání hornin do podzemních vod. Kontaminovaná půda a vodní plochy vytvářejí nevhodné prostředí pro mikroby, flóru i faunu.<sup>27</sup> Uran se adsorbuje přes gastrointestinální trakt prostřednictvím pitné vody nebo potravy a poškozují tubuly

v ledvinách. <sup>62</sup> V případě rostlin začíná akumulace uranu kořenovým systémem a ukládá se do různých částí rostliny. <sup>63</sup>

Odstranění kontaminace bylo zkoušeno fyzickými, chemickými a biologickými postupy.<sup>27</sup> Mezi fyzické patří koagulace, srážení, odpařování, extrakce a membránové separační technologie. Chemické přístupy využívají srážení, elektrochemické, chemické či fotochemické metody vyluhování. Biologické přístupy používají mikroorganismy (bakterie a houby) a rostliny pro sanaci kontaminovaných míst. <sup>64</sup>

Na rybím embryu byl vyzkoušen test akutní toxicity (FET), který vyhodnocuje teratogenní a genotoxický vliv odpadních vod a kalů z neaktivního uranového lomu. Cílem tohoto testu bylo stanovit riziko vypouštění těchto odpadů do životního prostředí, účinnost ošetření odpadních vod z uranových dolů, které mají snížit toxický potenciál a také celkově vyhodnotit vhodnost FET k hodnocení toxicity takovýchto odpadů. Výsledky ukázaly, že odpadní vody jsou genotoxické a v nízkých koncentracích i teratogenní, mají vliv na rychlost líhnutí a růstu, vyšší úmrtnost, poškození DNA. <sup>65</sup>

#### 14.1 Vliv na obyvatelstvo

Kvalita životního prostředí ovlivňuje zdraví obyvatelstva. Mezi hlavní rizika patří převážně exhalace, kontaminace prostředí, hluk a stres. Avšak v sociálně-ekonomickém pojetí představovalo hornictví často naopak vliv pozitivní, neboť poskytovalo pracovní příležitosti často celým rodinám a přinášelo do kraje rozvoj a ekonomickou stabilitu.<sup>4</sup>

##### 14.1.1 Navajo

Navajo jsou jednou z největších indiánských skupin ve Spojených státech <sup>66</sup> a jejich rezervace se nacházela na rohu důlního pásu. <sup>67</sup> Mnoho těchto domorodců, často i se svými rodinami, se vydali ze své rezervace do dolů hledat práci. Pro mnohé rodiny představovala těžba v dolech první kontakt s americkou mzdovou ekonomikou a za tuto práci byli vděční, ačkoliv jim byla vyplácena minimální mzda i méně.

Domorodci Navajo většinou anglicky nemluvili a jen málo z nich mělo nějaké vzdělání. Navíc byli izolováni od znalostí o nebezpečí radiace. <sup>30</sup> Dodnes prakticky všichni tvrdí, že nebyli obeznámeni s nebezpečím způsobeným těžbou uranu a nebyly jim poskytnuty žádné ochranné prostředky či větrání. <sup>68</sup> A to i přes to, že koncem 30. let 20. století bylo vědecky jisté, že uran způsobuje vysoký výskyt rakoviny plic. Roku 1950 začala americká veřejná zdravotní služba (PHS) studium horníků uranu na Koloradské plošině. Studie měřila vliv radonových dolů na

zdraví a zpočátku se zaměřovala hlavně na populace bílých lidí.<sup>30</sup> Až v roce 1984 Jonathan Samet společně se svými spolupracovníky provedl úplnou analýzu Navajo populace.<sup>69</sup> Roku 1959 byly vydány brožury pro horníky, které zmiňovaly riziko rakoviny plic, ale snažily se minimalizovat obavy. Není však známo, do jaké míry byly tyto materiály šířeny.<sup>30</sup> Od roku 1951 probíhala různá fóra, organizovaná úředníky, za účelem zlepšení podmínek pro horníky, a to hlavně pomocí ventilace, jak přirozené, tak i mechanické.<sup>67</sup> V roce 1962 byl písemně vydán výsledek studie, která poukazovala na významnou souvislost mezi těžbou uranu a rakovinou plic u bílých horníků. Pozdě v šedesátých letech se však problém ještě zkomplikoval. Když se ukázalo, že vliv na rakovinu měl i fakt, že většina bílých horníků patřila mezi kuřáky. Nezměnilo to sice souvislost mezi expozicemi radonu a rakovinou, ale mělo to vliv na chápání lidí v oblasti vlivu kouření na zdraví, mimo jiné se to také shodovalo se zprávou amerického chirurga z roku 1964.<sup>30</sup>

Na počátku šedesátých let, tedy asi po desetileté těžbě, se začaly objevovat případy rakoviny plic u horníků Navajo a obyvatelstvo začalo hledat příčinu tohoto, dosud vzácného onemocnění. Vdovy mrtvých horníků se později v šedesátých letech sešly a začaly vyprávět o smrti svých mužů. Tím odstartovaly politický a vědecký proces, který vyvrcholil až za dalších 30 let v podobě RECA.

V letech 1968 a 1969 došlo k vyvrcholení povstání horníků v Appalachi a došlo k systému odškodnění pro horníky se zdravotním postižením.<sup>30</sup>

Antony Mazoocchi, bývalý zástupce Mezinárodní organizace pro ropné chemické a atomové pracovníky, před Kongresem prosazoval názor, že studie by měly obsahovat výsledky i pro horníky Navajo a nejen pro bělochy, bohužel ale lidé Navajo při této debatě nevypovídali.<sup>67</sup>

V roce 1979 jednal kongres v Grants, zda navajoští dělníci svědčili a vysvětlovali své příběhy. A roku 1980 se kongres zabýval tím, aby Spojené státy byly zodpovědné za škodu způsobenou uranovým horníkům.<sup>30</sup>

V 80. letech se po předchozím dění objevily informace u horníků, týkající se radonu a rakoviny plic. Byl také více zkoumán vztah mezi dávkou a odpovědí.<sup>70</sup> Studiemi bylo stanoveno, že riziko závisí na času od expozice a věku.<sup>70</sup> Později bylo přidáno, že riziko závisí také na intenzitě a trvání expozice<sup>71</sup>

Odhaduje se že 500–600 tisíc horníků uranu, pracujících v letech 1950 až 1990 v uranových dolech, zemřelo na rakovinu plic.<sup>30</sup>

## 14.2 Vliv na ovzduší

Na kvalitu ovzduší má vliv hlavně zvýšená prašnost vznikající v průběhu těžby i při zpracování rudniny. Hlavně pak suché pláne odkališť jsou jedním z největších zdrojů prachu. Do ovzduší se však dostává i uran, radium a mnohé soli.

Emise radonu a technologické emise vznikající při těžbě a úpravě uranových rud, které často patří mezi nejvíce obávané, se ve skutečnosti ve svých koncentracích pohybují na velmi nízké úrovni. Mezi hlavní zdroje uranu patří větrací systémy důlních děl, odvaly, dekontaminační stanice na čištění důlních vod apod.<sup>4</sup>

## 14.3 Hluk

Úroveň zatížení hlukem závisí na technologii, rozsahem a situováním těžařských aktivit. Nejvíce hluku je způsobeno v době průzkumu, a to hlavně vrtného, otevírání ložiska, výstavbě dolu a souvisejících provozů. S náběhem těžby a obvyklým umístěním dolů je sice hladina hluku vyšší, nicméně nezpůsobuje významnou či nebezpečnou zátěž. <sup>4</sup>

## 14.4 Vliv na povrchové a podzemní vody

Ochrana vod v průběhu těžby i jejich následná sanace a dekontaminace po jejím ukončení je velmi náročná. Povrchové vody jsou ovlivňovány hlavně vodami důlními, které se stávají kyselými, síranovými, značně mineralizovanými s vysokým obsahem železa. Dále mohou být ovšem znečištěny i ropnými látkami, mazivem apod., což souvisí s použitou technologií. U uranových ložisek jsou navíc kontaminovány uranem a radiem.

Při zatopení dolu po ukončení těžby se vytváří v podzemí rovnovážný chemický systém mezi vodou a okolními horninami. Pro tuto část jsou nejrizikovější neočekávané a nekontrolované výrony vod podél tektonických či geologických struktur nebo starými důlními díly.

V minulosti byla odkaliště většinou budována bez dostatečné izolace od podloží. To způsobuje kontaminace vod právě průsaky z odvalů. Tyto vody obsahují chemické a rozpuštěné látky, které negativně ovlivňují kvalitu podzemních vod. Průsakové vody tedy musejí být jímány a čištěny, což je velmi náročné a dlouhodobé. Největší ovlivnění podzemních vod mají za následek loužící média, kyselina sírová a kyselina dusičná, použitá při chemické těžbě uranu.<sup>4</sup>

## 14.5 Vliv na půdu

Pro zpřístupnění ložiska jsou často zabrány zemědělské či lesní půdy, které jsou kromě toho často i degradovány z důvodů emisí a různých kontaminací. Těmi jsou například prach, úniky různých roztoků, průsaky povrchových znečištěných vod a podobně. Kontaminaci půd zase způsobují různé oxidace sulfidů, uran, radium apod. V rámci sanace probíhá dekontaminace půd, ovšem navrácení půdy k jejímu bývalému zemědělskému či lesnímu účelu většinou není možná.<sup>4</sup>

Ještě před těžbou je nadložní vrstva půdy odtěžena a při dalších pracích je jemná textura půdy zhutněna. K obnovení funkčních vlastností půdy je potřeba dodat základní živiny, jako jsou fosfor, draslík, dusík, hořčík a vápník. Ty v takto krátké době nemohou být dodány přírodními cestami, a proto jsou používána komerční hnojiva pro dodání draslíku a fosforu a rostliny, které ve svém těle akumulují a fixují dusík.<sup>46</sup> Hlavním přísunem organického uhlíku a organické hmoty je listový opad, přičemž v transformaci organické hmoty hrají hlavní roli mikroorganismy.<sup>72</sup>

## 14.6 Vliv na horninové prostředí a přírodní zdroje

Mezi nejnebezpečnější důsledky hornické činnosti patří volné vyrubané prostory v podzemí, špatně zajištěná důlní díla či díla narušující stabilitu povrchu, která způsobují důlní otřesy, poklesy a propady. Dále je toto prostředí ovlivněno emisemi a různými chemickými látkami, kdy největší vliv má opět chemická těžba.<sup>4</sup>

## 14.7 Vliv na faunu, flóru a ekosystémy

Ovlivnění nastává už v primární fázi hornické činnosti z důvodu narušení nebo omezení přírodních ekosystémů.<sup>4</sup> Přibližně 1 % pevniny je pokryté post-těžebními lokalitami, které mohou být velmi přírodovědně významnými územími.<sup>49</sup> Již v 70. letech 20. století si zoologové a botanici začali uvědomovat potenciál těchto míst.<sup>73</sup> Důsledkem těžby dochází k redukci druhů původních pro dané místo a objevení se druhů nových, často ve svém výskytu ojedinělých. Dochází k rozrušení geobiocenóz převážně již kulturní krajiny a nahrazení různými variantami hlavně biocenóz rumištních, které jsou schopné rychle reagovat na lokální změny.<sup>4</sup> Tyto druhy zanikají v současné krajině z důsledku praktikujícího se krajinného managementu v podobě monotónních zemědělských ploch, často silně eutrofizovaných. V posledních letech docházelo navíc i k regulacím vodních toků (hlavně jejich narovnání), zalesňování monokulturními, často i nepůvodními dřevinami.<sup>73</sup> Mnoho živočichů je přitom ve své existenci zvyklých na oligotrofní prostředí a pravidelné obnovování ekosystému, tímto tedy ztratili své přirozené biotopy. Proto

místa, kde došlo k rozsáhlému poškození povrchových struktur, narušení, destrukci, odstranění vegetace apod. jsou pro tyto živočichy významná.<sup>42</sup> Lokality vznikající po těžbě jsou suché a často jen velmi zřídka osídlené vegetací, čímž poskytují stanoviště pro druhy, které zanikají v moderní krajině.<sup>74, 75</sup> Patří sem druhy například s nároky na stanoviště, jako jsou výhřevné skály, pohyblivé sutě, osluněný sypký písek apod.<sup>73</sup> V České republice bylo provedeno několik výzkumů nejen u uranových lomů, ale i lomů. Byl proveden výzkum motýlů v moravských vápencových lomech, při němž bylo zjištěno, že se motýlům na těchto místech daří, a to nejen v lomech opuštěných, ale i stále činných.<sup>76</sup>

Dále existuje také výzkum na deseti skupinách organismů (rostlinách a devíti skupinách živočichů) a došli k závěru, že spontánní sukcese v opuštěných lomech a na černouhelných haldách má za následek vznik cenných společenstev s významným zastoupením ohrožených druhů. Navíc dokázali, že se na technicky rekultivovaných plochách nacházela společenstva běžná.<sup>49</sup> Bohužel přímo pro lokality ovlivněné těžbou uranu podobná systematická studie z území ČR zřejmě neexistuje.

## **15. Historie a rekultivace příbramského ložiska**

Hornická činnost Příbramského okresu má počátky již v době kamenné a ukončena byla až roku 1993.<sup>49</sup> Již z dřívějšíka zde byla známá uranová mineralizace, a proto zde roku 1949 byla zahájena revize hald. Postupně se i rozvinuly vyhledávací a průzkumné práce, prováděné do roku 1989. V letech 1979—1980 byla na tomto ložisku zahájena těžba i neradioaktivních surovin. V letech 1949 až 1991 zde bylo celkem otevřeno přes 2500 žil a 1601 z nich obsahovalo uranové zrudění.<sup>4</sup> Uranu zde bylo vytěženo více než 43 000 tun.<sup>34</sup>

Masív se skládá ze dvou petrografických komplexů, a to z komplexu sedimentárního a magmatického, přičemž sedimentární tvoří téměř celé ložisko. Z tektonického hlediska můžeme toto ložisko rozložit do několika žilných uzlů, tedy míst, kde se rudní žíly shlukují do větších seskupení. Takovýmito uzly jsou například žilný uzel Kamenná, Lešetice, Brod a mnoho dalších. Uran je zde zastoupen pouze jedním nerostem, a to smolincem.<sup>7</sup>

Po ukončení těžby probíhala na ložisku likvidace podzemí a úvodních důlních děl až na tři jámy, které byly využity ke stavbě kavernového zásobníku plynu.

### **15.1 Dobývání ložiska Příbram**

Charakter tohoto ložiska a jeho rozsah do hloubky až 1450 metrů způsobuje jisté problémy při jeho dobývání. Rudné žíly se v ložisku nacházejí nepravidelně a koncentrují se do žilných uzlů.

Počátky dobývání ložiska nebyly zrovna jednoduché, jednalo se o nově se rozvíjející průmyslové odvětví, chyběly tedy zkušenosti s dobýváním uranových rud, avšak zkušenosti horníků a techniků zde byly lepší než v například u ložisek Jáchymov či Horní Slavkov, jelikož do těchto dolů přecházeli pracovníci z místních rudních dolů.

Roku 1966 zde byla vyzkoušena metoda, při níž se na urovnanou základku před výlomek dalšího výstupku položila vrstva rychle tuhnutí betonové směsi. Tím došlo ke snížení ztrát rudniny do základky, ale došlo ke zvýšení nákladů na dobývání i pracnost. Z tohoto důvodu se tato metoda používala pouze u bloků s vysokou kovnatostí. Kvůli velkému objemu vydobyté rudniny, ale i zároveň velkých ztrát rudniny do základky, měla za následek druhotné dobývání již dříve vydobytých a základkou zaplněných částí rudních struktur. Druhotná těžba základky probíhala již od roku 1957 až do ukončení celkové těžby v roce 1991. Nutno dodat že roku 1975 zde po dobu tří měsíců byl zkoušen pokus o získání uranové rudy chemickou cestou, tedy alkalickým loužením. Pro složitost technologie byl ovšem tento pokus ukončen.

Charakteristikou těžby na tomto území je poměrně rychlý postup dobývání do hloubky, kde došlo k anomálním geomechanickým jevům, přesněji otřesové aktivitě horninového masivu. Celkem bylo zaznamenáno asi 600 důlních otřesů, nejvíce pak při dobývání do hloubky pod 950 m. Často docházelo k silným destrukcím výztuže důlních děl i horninového masivu a bohužel i k těžkým až smrtelným zraněním. Druhým rudným ložiskem, kde také docházelo k důlním otřesům, bylo ložisko Březové Hory. Příčiny důlních otřesů spočívaly v tom, že se zde nacházejí horniny schopné kumulovat velké množství pružné deformační energie a tříštivě ji uvolňovat. Dalšími příčinami jsou nadměrná velikost vydobyté žilní plochy, použité dobývací metody a systém dobývání ve velkých hloubkách.

Při dobývání ložiska v hloubce pod 1000 m bylo nutné řešit i klimatické podmínky a vysoké teploty. Byl tedy realizován systém lokálního a dolového ochlazování ovzduší v dolech.<sup>4</sup>



Obrázek 1 Šachta č.11 u obce Bytíz s odkalištěm v popředí. Foto: Jan Hotový

#### 15.1.1 Koncepce likvidace odvalů

Odvaly zde vznikaly od roku 1947, tedy od prvních geologických hlubinných výzkumů, až do roku 1991, kdy byla hlubinná těžba ukončena. Nejprve se jednalo o odvaly malých velikostí, které tedy mohly být zrekultivovány a začleněny do krajiny či zpracovány a využity na kamenivo. Teprve později došlo k otevření stěžejních jam a rozmachu průmyslové těžby, které měly za následek vznik odvalů do dnešní doby patřící k největším v ČR. Celkem bylo v příbramském regionu založeno 26 odvalů. Když byla roku 1991 vyhlášena likvidace těžebních a úpravárenských kapacit, došlo ke stanovení koncepce v technickém projektu likvidace (TPL) a v pěti navazujících aktualizacích.

Současnými koncepcemi jsou částečné odtěžení odvalů a následná sanace a rekultivace na místě a postupné odtěžování odvalů v závislosti na regionální poptávce. Při částečném odtěžení odvalů a následné sanaci a rekultivaci na místě je odval možné zpřístupnit veřejnosti, nicméně nelze zcela vyloučit budoucí narušení izolační vrstvy a výronům uranu. U postupného odtěžování v závislosti na regionální poptávce je výhodou, že území uvolněné odtěžením odvalů je možné bez limitů využívat k územnímu rozvoji obcí, nicméně předpokládaná doba likvidace se pohybuje okolo 150-250 let. Další variantou, ač v současné době nevyužívanou, je sanace a rekultivace odvalů na místě, která by trvala přibližně 20 let, avšak sklon svahů se musí snížit na maximálně 18°. Rekultivované plochy budou mít tvar kužele, který bude po rekultivaci možný zpřístupnit veřejnosti, avšak nebude možné na něm stavět, jelikož nejde vyloučit nenarušené izolační vrstvy v budoucnu a výrony uranu. Pokud jde o převoz odvalů na jiné místo a jeho následující přepracování na stavební kamenivo, je výhodou to, že problém sice zůstane, ale

bude přesunut na místo a území uvolněné po odtěžení odvalů bude možné bez limitu využít k územnímu rozvoji obcí.

Současná koncepce předpokládající likvidace odvalů na stavební kamenivo je také nevhodná, jelikož při aktuální poptávce by byla koncepce dokončena asi za 300 let. Je tedy nutné provést koncepci novou, která bude brát v potaz ekologické zátěže, zátěže územního rozvoje, zdroje nerostných surovin, ohrožené a chráněné druhy a jejich stanoviště, významné krajinnotvorné prvky, ale i hluk či prach a jiné znečištění.

V letech 2000 a 2013 byly provedeny studie zkoumající, zda jsou odvaly po těžbě uranu opravdu významnými ekologickými zátěžemi. Mezi rizika spojená s odvaly patří nepovolené odběry odvalového materiálu, šíření karanténního plevele – například bolševníku velkolepého (*Heracleum mantegazzianum*), využívání odvalů k motokrosu a jiným nepovoleným aktivitám. Není jisté, zda působení kontaminantů na organismus a ekosystémy vyskytující se v okolí odvalů jsou přípustná podle aktuálních měřítek. Odvaly obsahují volné prostory a volné póry vyplněné vzduchem s množstvím radonu. Ten je uvolňován do okolí hlavně při poklesech tlaku a teploty. Při změně barometrického tlaku dochází pravděpodobně k výstupu radonu i z rekultivovaných odvalů. Je také předpokládáno, že zejména v letním období kvůli změnám teplot dochází k odtoku vzduchu s radonem údolními depresiemi. Není jisté, po jak velké vzdálenosti od odvalů se radon naředí na přijatelnou úroveň. Z tohoto důvodu se DIAMO rozhodlo spolupracovat se společností Ochrana podzemních vod s.r.o., která provádí kontinuální měření radonu v okolí odvalů, a oslovilo katedru fyziky atmosféry ČVUT v Praze pro řešení cirkulace vzduchu s obsahem radonu.

Odvaly obsahují významné koncentrace As, Pb, U, Ra a zbytkovou U-rudu, vyzařující gama záření, proto není možné je zpřístupnit. Není provedena studie zjišťující, v jaké vzdálenosti od odvalů by se měla nacházet bytová zástavba.

V případě sanace a rekultivace odvalů se předpokládá, že tyto práce proběhnou poměrně rychle v období asi 20 let.<sup>77</sup>

#### 15.1.2 Fauna a flóra odvalů na Příbramsku

Při botanickém výzkumu bylo na příbramských odvalech zaznamenáno 503 druhů cévnatých rostlin, z toho je 40 druhů zahrnutých do Červeného seznamu. Mezi kriticky ohrožené druhy zde nalezené patří mochna durynská (*Potentilla thuringiaca*) a zblochanec oddálený (*Puccinellia distans*). Mezi významné druhy zde patří také tařice skalní (*Aurinia saxatilis*), nejspíše zavlečená z nedalekého údolí Vltavy. Najdeme zde ovšem i druhy invazivní a expanzivní, jako jsou třtina

křovištní (*Calamagrostis epigejos*), pcháč oset (*Cirsium arvense*), ovsík vyvýšený (*Arrhenatherum elatius*), vratič obecný (*Tanacetum vulgare*), netýkavka malokvětá (*Impatiens parviflora*) a turan kanadský (*Conyza canadensis*). Na dvou odvalech se nachází také invazivní bolševník velkolepý (*Heracleum mantegazzianum*), který bude v budoucích letech potlačován pomocí herbicidů a opakovaného sečení.<sup>77</sup>

Dle orientačních terénních průzkumů jsou příbramské haldy a odkaliště velmi cennou lokalitou pro řadu vzácných lišejníků. Na haldách byly zjištěny druhy vázané na písčiny a na substráty obohacené těžkými kovy, které jsou v okolní krajině velmi vzácné. Na odkalištích bylo objeveno několik v ČR ojediněle se vyskytujících lišejníků (např. *Gregorella humida*), vázaných na specifické substráty s minimální konkurencí cévnatých rostlin (Vondrák & Malíček, nepublikováno).

Byl prováděn výskyt denních motýlů na příbramských haldách, při němž byly zjištěny druhy bělásek ovocný (*Aporia crataegi*), soumračník čárkovaný (*Hesperie comma*) a bělásek hrachorový (*Leptidea sinapis*), které jsou zapsány v červeném seznamu.<sup>49</sup>



Obrázek 2 Zákonem chráněná tařice skalní, západní svah odvalu jámy č. 6 mezi Příbramí a Lešetice. Zdroj: <sup>72</sup>



Obrázek 3 Šíření plevelu – bolševníku velkolepého-pata odvalu jámy č. 3. u obce Lazsko. Zdroj :<sup>72</sup>

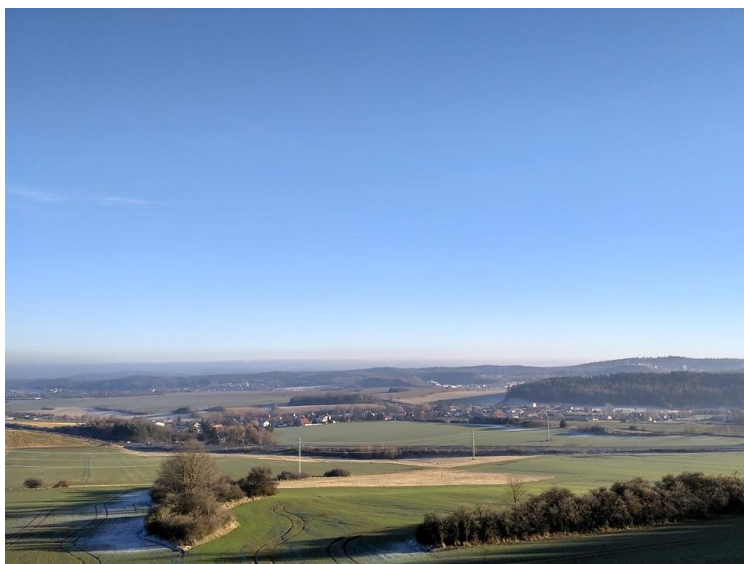


Obrázek 4 Na odvalech převažují iniciální březové lesíky. Zdroj <sup>72</sup>

### 15.1.3 Ochrana přírody

Primární ložiska jsou často vázána na terénní elevace s obtížně přístupnými svahy, které tedy historicky nemohly být intenzivně obhospodařovány. Nachází se tam zpravidla stanoviště s dobře zachovalými lesními ekosystémy a vysokou ekologickou stabilitou.

Pozemky uvolněné odtěžením odvalů nebo nedotěžené zbytky odvalů lze rekultivovat přírodě blízkými postupy, kterými je vytvoření pestré mozaiky mikrostanovišť, sukcesní rekultivace, případná podpora stanoviště výsadbou vhodných dřevin. To vede k poměrně rychlému vzniku společenstev přirozených pro daný region.<sup>77</sup>



Obrázek 5 Pohled z vrchu Pichce u Příbrami na východo-jihovýchod. Ves Dubno s výsypkama v pozadí. Foto: Jan Hotový

## 16. Případové studie

V tropech severní Austrálie, přesněji v uranovém dole Ranger, byl proveden výzkum rekolonizace mravenců při obnově uranového dolu. Bylo zjištěno, že rekolonizace probíhá v jakýchsi etapách, kdy nejprve došlo ke kolonizaci druhu dominantními, silně konkurujícími ostatním, ale s postupem času i druhu oportunními, které byly odolnější vůči rozšiřujícímu se množství akátu. Nejlépe rekolonizovaná byla místa blízká místům nenarušeným nebo místa, kde došlo k managementu vypálení a tím zničení dominantních akátů. Nakonec bylo zjištěno, že kolonizace na nedisturbovaných místech probíhá nejlépe první čtyři roky, poté je zpomalena právě kvůli akátu. Tento problém řeší již zmiňované vypálení.<sup>78</sup>

## 17. Závěr

Práce se zabývá převážně uranem, v přírodě přirozeným radioaktivním prvkem, a částečně také radonem, přirozeným bezbarvým radioaktivním plynem, vznikajícím rozpadem uranu. Obě tyto sloučeniny emitují při své vnitřní přeměně vysokoenergetické ionizující záření. Toto záření může být ve vysokých dávkách škodlivé, nicméně při nižších dávkách, používaných například v lázeňství, může být jeho působení příznivé.

Těžba uranu je specifická kvůli uvolňování radioaktivního radonu a dalších doprovodných produktů, díky kterým je zvýšená expozice ozařování a radiace a často má také za následek také kontaminace vod těmito produkty. Dobývání rudy je možné třemi způsoby, a to těžbou povrchovou, hlubinnou a chemickou, přičemž v České republice silně převažovala těžba hlubinná.

V České republice byl z počátku těžen uran pouze v Jáchymově, avšak po roce 1945, kdy vzrostl zájem o uran, byla vyhledávána nová ložiska. Zájem o uran opět poklesl v osmdesátých až devadesátých letech 20. století a doly byly uzavírány. Posledním fungujícím dolem v České republice byl důl Rožná, uzavřený v roce 2017.

V práci je shrnuto několik poznatků o dosavadním průběhu rekultivací. Jako rekultivace rozumíme zásahy, kterými jsou obnovovány člověkem narušené ekosystémy. Bohužel je při nich často upřednostňován ekonomický zájem nad zájmem ekologickým. Práce navíc upozorňuje na to, že místa po těžbě uranu nejsou vždy tak nebezpečnými a nevhodnými, jak je v obecném podvědomí. Z důvodů změn fyzikálních a chemických podmínek po těžbě představují tato místa často velmi zajímavá stanoviště pro druhy v okolní krajině vzácné, tedy převážně druhy vyhledávající disturbovaná místa s omezenou dostupností živin a bez zapojené vegetace. Během rekultivací dochází k situacím, kdy pro potenciální ekonomické hospodaření na lokalitách jsou do půdy po těžbě uměle dodávány základní živiny jako fosfor, draslík, dusík, hořčík či vápník. Tímto postupem sice dochází k rychlé obnově hospodářského potenciálu lokalit, ale bývají nenávratně zničeny hodnotné biotopy s velkým potenciálem v ochraně přírody.

Po těžbě uranu v České republice probíhají obecně rekultivace nejčastěji tak, že jsou haldy zakryty inertním materiálem. Odkaliště jsou vysoušena a pak také zakryta. Tím dojde k omezení úniku radonu, radioaktivního prachu a snížení množství průsaku kontaminovaných vod.

Uran může být odstraňován metodami *in situ* i *ex situ*. Z čehož metody *ex situ* v dnešní době již prováděné nejsou. *In situ* remediaci probíhají přímo na daném místě a jsou šetrnější k životnímu prostředí. Dále jsou využívány i metody chemické, využívající srážecí činidla a vložkotvorné chemikálie. Velmi výhodné odstraňování uranu je použitím bioremediace, která využívá mikroorganismů, živin a rostlin k detoxifikaci a rozkladu polutantů.

Co se týká rekultivace příbramských hald, je v současné době prováděno částečné odtěžení odvalů, sanace a rekultivace na místě a postupné odtěžování odvalů v závislosti na poptávce. Do budoucna je ovšem zvažováno i několik dalších koncepcí, mezi které patří například i převoz odvalů na jiné místo a jeho následné přepracování na stavební kamenivo.

V příbramském regionu bylo na jeho odvalech při botanickém průzkumu zaznamenáno 503 druhů cévnatých rostlin, z toho 40 druhů zahrnutých do Červeného seznamu. Při zkoumání druhů zde se vyskytujících motýlů byly objeveny tři druhy zapsané v Červeném seznamu.

## 18. Reference

1. Betti M. Civil use of depleted uranium. *J Environ Radioact.* 2003;64(2-3):113-119. doi:10.1016/S0265-931X(02)00042-5
2. Burkart W, Danesi PR, Hendry JH. Properties, use and health effects of depleted uranium. *Int Congr Ser.* 2005;1276:133-136. doi:10.1016/j.ics.2004.09.047
3. Služba-Geofond Č geologická. *Surovinné Zdroje České Republiky : Nerostné Suroviny (Stav 2006)*. Praha : Ministerstvo životního prostředí České republiky : Geofond, [1992]-2010; 2007.
4. kolektiv autorů. *Rudné a Uranové Hornictví České Republiky*. (Kafka IJ, ed.). ANAGRAM s.r.o; 2003.
5. Sheets RW, Thompson CC. Accidental contamination from uranium compounds through contact with ceramic dinnerware. *Sci Total Environ.* 1995;175(1):81-84. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8560240>. Accessed April 17, 2018.
6. Heung LK. Tritium Transport Vessel Using Depleted Uranium. *Fusion Technol.* 1995;28(3P2):1385-1390. doi:10.13182/FST95-A30605
7. Růžička J. *Nerosty Příbramského Ložiska*. (reprografické středisko VUZP, k.p. K, ed.). komitét symposia Hornická Příbram ve vědě a technice; 1986.
8. IARC Monographs- Monographs available in PDF format. <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol100D/index.php>. Accessed April 17, 2018.
9. IARC Monographs- Monographs available in PDF format. <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol43/index.php>. Accessed April 17, 2018.
10. Krewski D, Lubin JH, Zielinski JM, et al. A Combined Analysis of North American Case-Control Studies of Residential Radon and Lung Cancer. *J Toxicol Environ Heal Part A.* 2006;69(7-8):533-597. doi:10.1080/15287390500260945
11. Lubin JH, Wang ZY, Boice JD, et al. Risk of lung cancer and residential radon in China: Pooled results of two studies. *Int J Cancer.* 2004;109(1):132-137. doi:10.1002/ijc.11683
12. Zeeb H, Shannoun F. WHO HANDBOOK ON INDOOR RADON WHO Library Cataloguing-in-Publication Data WHO handbook on indoor radon: a public health perspective / edited. [http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44149/9789241547673\\_eng.pdf;jsessionid=1CED4A494A507559BA240C5B17EBF891?sequence=1](http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44149/9789241547673_eng.pdf;jsessionid=1CED4A494A507559BA240C5B17EBF891?sequence=1). Accessed April 17, 2018.
13. Hála J. *Radioaktivita, Ionizující Záření, Jaderná Energie*. Konvoj; 1998.
14. Polska Akademia Nauk. Komisja Odlewnictwa. *Archives of Foundry Engineering*. Commission of Foundry Engineering; 2007. <http://docplayer.cz/6369941-Vyvery-lecivych-radioaktivnich-vod-v-janskych-laznich-tesnem-dole.html>. Accessed April 23, 2018.
15. Ferris F., Hallberg R., Lyvén B, Pedersen K. Retention of strontium, cesium, lead and uranium by bacterial iron oxides from a subterranean environment. *Appl Geochemistry.* 2000;15(7):1035-1042. doi:10.1016/S0883-2927(99)00093-1

16. John SG, Ruggiero CE, Hersman LE, Tung CS, Neu MP. Siderophore mediated plutonium accumulation by *Microbacterium flavescens* (JG-9). *Environ Sci Technol*. 2001;35(14):2942-2948. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11478246>. Accessed April 24, 2018.
17. Wang Z, Shan X, Zhang S. Comparison between fractionation and bioavailability of trace elements in rhizosphere and bulk soils. *Chemosphere*. 2002;46(8):1163-1171. doi:10.1016/S0045-6535(01)00206-5
18. Petrová Š, Soudek P, Vaněk T. Remediací oblastí těžby uranu v České republice. *Chem List*. 2013;107:283-291. [http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2013\\_04\\_283-291.pdf](http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2013_04_283-291.pdf). Accessed April 23, 2018.
19. Technology MAEA, Kingdom HU, Natural RS. Uranium-series disequilibrium : applications to earth , marine , and environmental sciences . 2 . ed . 1992;(25065862).
20. Carvalho FP, Oliveira JM, Lopes I, Batista A. Radionuclides from past uranium mining in rivers of Portugal. *J Environ Radioact*. 2007;98(3):298-314. doi:10.1016/J.JENVRAD.2007.05.007
21. Československý uranový průmysl. *Československá Ložiska Uranu*. první. Praha; 1984.
22. ČR M. Staré ekologické zátěže, resp. kontaminovaná místa. [https://www.mzp.cz/cz/stare\\_ekologicke\\_zateze](https://www.mzp.cz/cz/stare_ekologicke_zateze). Accessed May 20, 2018.
23. Baborowski M, Bozau E. Impact of former mining activities on the uranium distribution in the River Saale (Germany). *Appl Geochemistry*. 2006;21(6):1073-1082. doi:10.1016/J.APGEOCHEM.2006.02.017
24. Švehla J. Pohled na oblast bývalé chemické úpravny uranových rud MAPE-Mydlovary u Českých Budějovic. :14-19. [https://ipac.kvkli.cz/arl-li/cs/detail/?skin=LIK&idx=li\\_us\\_cat\\*0324070&skin=LIK&idx=li\\_us\\_cat\\*0324070](https://ipac.kvkli.cz/arl-li/cs/detail/?skin=LIK&idx=li_us_cat*0324070&skin=LIK&idx=li_us_cat*0324070). Accessed April 23, 2018.
25. Zhu C, Anderson GM, Burden DS. Natural attenuation reactions at a uranium mill tailings site, western U.S.A. *Ground Water*. 40(1):5-13. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11798046>. Accessed April 23, 2018.
26. Zammit CM, Brugger J, Southam G, Reith F. In situ recovery of uranium — the microbial influence. *Hydrometallurgy*. 2014;150:236-244. doi:10.1016/J.HYDROMET.2014.06.003
27. Selvakumar R, Ramadoss G, Mridula P. Menon, et al. Challenges and complexities in remediation of uranium contaminated soils: A review. *J Environ Radioact*. March 2018. doi:10.1016/J.JENVRAD.2018.02.018
28. Mihucz VG, Varga Z, Tatár E, et al. Redistribution of uranium and thorium by soil/plant interaction in a recultivated mining area. *Microchem J*. 2008;90(1):44-49. doi:10.1016/J.MICROC.2008.03.004
29. Amundson MA. *Yellowcake Towns : Uranium Mining Communities in the American West.*; 2004.
30. Brugge D, Goble R. The history of uranium mining and the Navajo people. *Am J Public*

*Health*. 2002;92(9):1410-1419. doi:10.2105/AJPH.92.9.1410

31. Kríbek B, Žák K, Dobeá P, et al. The Rožná uranium deposit (Bohemian Massif, Czech Republic): Shear zone-hosted, late Variscan and post-Variscan hydrothermal mineralization. *Miner Depos*. 2009;44(1):99-128. doi:10.1007/s00126-008-0188-0
32. Kríbek B, Hájek A. *Uranové Ložisko Rožná : Model Pozdně Variských a Povariských Mineralizací*. Praha: Česká geologická služba; 2005.
33. Odbor komunikace a marketingu 10500. V dole Rožná byl vytěžen poslední vůz uranové rudy | MPO. <https://www.mpo.cz/cz/rozcestnik/pro-media/tiskove-zpravy/v-dole-rozna-byl-vytezen-posledni-vuz-uranove-rudy--228029/>. Published 2017. Accessed May 19, 2018.
34. Škácha P, Goliáš V, Sejkora J, et al. Hydrothermal uranium-base metal mineralization of the Jánská vein, Březové Hory, Příbram, Czech Republic: lead isotopes and chemical dating of uraninite. *J Geosci*. 2012;54(1):1-13. doi:10.3190/jgeosci.030
35. Mužák IJ. Současnost a budoucnost sanace následků po chemické těžbě uranu ve Stráži pod Ralskem. <http://slon.diamo.cz/hpvt/2008/sanace/S08.pdf>. Accessed April 23, 2018.
36. DotaceEU - Analýza rizik území ve správě DIAMO s. p., o. z. TÚU Stráž pod Ralskem zasažených hlubinnou těžbou u. <http://www.strukturalni-fondy.cz/cs/Statistiky-a-analyzy/Mapa-projektu/Projekty-pred-rokem-2014/2-OP-Zivotni-prostredi/2-4-Zkvalitneni-nakladani-s-odpady-a-odstranovani/Analyza-rizik-uzemi-ve-sprave-DIAMO-s-p,-o-z-TUU>. Accessed May 19, 2018.
37. Plášil J, Sejkora J, Čejka J, Škoda R, Goliáš V. Supergene mineralization of the Medvědin uranium deposit, Krkonoše Mountains, Czech Republic. *J Geosci*. 2009;54:15-56. doi:10.3190/jgeosci.029
38. Komínový vodojem Mydlovary. <http://www.vodarenskeveze.cz/Mydlovary/Mydlovary.html>. Accessed May 18, 2018.
39. Prach K. Ekologie obnovy narušených míst I . Obecné principy. 2009.
40. Prach K, Pyšek P, Tichý L, Kovář P, Jongepierová I, Řehouňková K. *Botanika a Ekologie Obnovy : Konference ČBS 25.-26. 11. 2005, Praha = Botanical Research and Ecological Restoration*. (Chrtek J, ed.). Česká botanická společnost; 2006.
41. Main page - Kaposmenti hulladék rekultivációs program. <http://rekultivacio.kaposmenti.hu/>. Accessed May 19, 2018.
42. Cooke JA, Johnson MS. Ecological restoration of land with particular reference to the mining of metals and industrial minerals: A review of theory and practice. *Environ Rev*. 2002;10(1):41-71. doi:10.1139/a01-014
43. *Rekultivace*. Mostecká uhelná společnost; 1998.
44. Gretchen CD. Restoring Value to the World's Degraded Lands. *Source Sci New Ser*. 1995;269(21):350-354. <http://www.jstor.org/stable/2888269>. Accessed May 12, 2018.
45. Vitousek PM, Ehrlich PR, Ehrlich AH, Matson PA. Human Appropriation of the Products of Photosynthesis. 1986;36(6):368-373. <http://www.jstor.org/stable/1310258>. Accessed

April 17, 2018.

46. Brandshaw AD. Restoration of mined lands - using natural processes. *Ecological Engineering* 8. 1997:255-269.
47. Chomutov S doly a. s. *Rekultivace, Životní Prostředí, Budoucnost*.
48. Collier D. Uranium mine and mill remediation and reclamation. In: *Uranium for Nuclear Power*. Elsevier; 2016:415-437. doi:10.1016/B978-0-08-100307-7.00016-8
49. Novotný P. *Diplomová Práce - Denní Motýli (Lepidoptera: Rhopalocera) Vybraných Hald Na Příbramsku.*; 2017.
50. Jim CY. Ecological and Landscape Rehabilitation of a Quarry Site in Hong Kong. *Restor Ecol*. 2001;9(1):85-94. doi:10.1046/j.1526-100x.2001.009001085.x
51. Lloyd JR, Renshaw JC. Microbial transformations of radionuclides: fundamental mechanisms and biogeochemical implications. *Met Ions Biol Syst*. 2005;44:205-240. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15971669>. Accessed April 23, 2018.
52. Reg. Propojení výuky oborů Molekulární a buněčné biologie a Ochrany a tvorby životního prostředí &quot; [http://botany.upol.cz/pagedata\\_cz/vyukove-materialy/202\\_8-navratilova-biotechnologie-v-zp-2016.pdf](http://botany.upol.cz/pagedata_cz/vyukove-materialy/202_8-navratilova-biotechnologie-v-zp-2016.pdf). Accessed May 19, 2018.
53. Soudek P, Petrova S, Benesova D, Vanek T. *Uranium Uptake and Stress Responses of in Vitro Cultivated Hairy Root Culture of Armoracia Rusticana*. Vol 55.; 2011.
54. Dushenkov S. Trends in phytoremediation of radionuclides. *Plant Soil*. 2003;249(1):167-175. doi:10.1023/A:1022527207359
55. Vera Tomé F, Blanco Rodríguez P, Lozano JC. The ability of *Helianthus annuus* L. and *Brassica juncea* to uptake and translocate natural uranium and <sup>226</sup>Ra under different milieu conditions. *Chemosphere*. 2009;74(2):293-300. doi:10.1016/j.chemosphere.2008.09.002
56. Kratz S, Schnug E. Rock phosphates and P fertilizers as sources of U contamination in agricultural soils. In: *Uranium in the Environment*. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag; 2006:57-67. doi:10.1007/3-540-28367-6\_5
57. Liu B, Peng T, Sun H, Yue H. Release behavior of uranium in uranium mill tailings under environmental conditions. *J Environ Radioact*. 2017;171:160-168. doi:10.1016/j.jenvrad.2017.02.016
58. Othmane G, Allard T, Morin G, et al. Uranium Association with Iron-Bearing Phases in Mill Tailings from Gunnar, Canada. *Environ Sci Technol*. 2013;47(22):12695-12702. doi:10.1021/es401437y
59. Alam MS, Cheng T. Uranium release from sediment to groundwater: Influence of water chemistry and insights into release mechanisms. <http://www.ingentaconnect.com/content/el/01697722/2014/00000164/00000001/art00009;jsessionid=2ru7ivahda1m7.x-ic-live-01>. Accessed April 17, 2018.
60. Vandenhove H, Van Hees M, Wouters K, Wannijn J. Can we predict uranium bioavailability based on soil parameters? Part 1: Effect of soil parameters on soil solution

- uranium concentration. *Environ Pollut.* 2007;145(2):587-595.  
doi:10.1016/J.ENVPOL.2006.04.011
61. Yan X, Luo X. Radionuclides distribution, properties, and microbial diversity of soils in uranium mill tailings from southeastern China. *J Environ Radioact.* 2015;139:85-90.  
doi:10.1016/j.jenvrad.2014.09.019
  62. Konietzka R. Gastrointestinal absorption of uranium compounds – A review. *Regul Toxicol Pharmacol.* 2015;71(1):125-133. doi:10.1016/j.yrtph.2014.08.012
  63. Slavik Dushenkov \*, †, Dev Vasudev †, Yoram Kapulnik †, et al. Removal of Uranium from Water Using Terrestrial Plants. 1997. doi:10.1021/ES970220L
  64. Li J, Zhang Y. Remediation technology for the uranium contaminated environment: a review. *Procedia Environ Sci.* 2012;13:1609-1615. doi:10.1016/J.PROENV.2012.01.153
  65. Lourenço J, Marques S, Carvalho FP, et al. Uranium mining wastes: The use of the Fish Embryo Acute Toxicity Test (FET) test to evaluate toxicity and risk of environmental discharge. *Sci Total Environ.* 2017;605-606:391-404. doi:10.1016/j.scitotenv.2017.06.125
  66. Knowles GM. *The Navajo of North America.* Lerner Publications Co; 2002.
  67. Eichstaedt PH. *If You Poison Us : Uranium and Native Americans.*
  68. Dawson SE. Navajo Uranium Workers and the Effects of Occupational Illnesses: A Case Study. *Hum Organ.* 1992;51(4). <http://faculty.washington.edu/stevehar/Dawson.pdf>. Accessed April 17, 2018.
  69. Samet JM, Kutvirt DM, Waxweiler RJ, Key CR. Uranium Mining and Lung Cancer in Navajo Men. *N Engl J Med.* 1984;310(23):1481-1484. doi:10.1056/NEJM198406073102301
  70. Council NR. *Health Risks of Radon and Other Internally Deposited Alpha-Emitters.* Washington, D.C.: National Academies Press; 1988. doi:10.17226/1026
  71. Roscoe RJ, Deddens JA, Salvan A, Schnorr TM. Mortality among Navajo uranium miners. *Am J Public Health.* 1995;85(4):535-540. doi:10.2105/AJPH.85.4.535
  72. Šourková M, Frouz J, Fettweis U, Bens O, Šantrůčková H. Soil development and properties of microbial biomass succession in reclaimed post mining sites near Sokolov (Czech Republic) and near Cottbus (Germany). *Geoderma.* 2005;129(1-2):73-80.  
doi:10.1016/J.GEODERMA.2004.12.032
  73. Konvička M. *Postindustriální Stanoviště Z Pohledu Ekologické Vědy a Ochrany Přírody.* In: Tropek R. et Řehounek J. (Ed.): *Bezobratlí Postindustriálních Stanovišť: Význam, Ochrana a Management.* Entomologický Ústav AV ČR. České Budějovice: Calla - Sdružení pro záchranu prostředí; 2012.
  74. Thomas JA, Morris MG, Hambler C. Patterns, Mechanisms and Rates of Extinction among Invertebrates in the United Kingdom [and Discussion]. *Philos Trans R Soc B Biol Sci.* 1994;344(1307):47-54. doi:10.1098/rstb.1994.0050
  75. Dennis RLH, Hodgson JG, Grenyer R, Shreeve TG, Roy DB. Host plants and butterfly biology. Do host-plant strategies drive butterfly status? *Ecol Entomol.* 2004;29(1):12-26.  
doi:10.1111/j.1365-2311.2004.00572.x

76. Beneš J, Kepka P, Konvička M. Limestone Quarries as Refuges for European Xerophilous Butterflies. *Conserv Biol.* 2003;17(4):1058-1069. doi:10.1046/j.1523-1739.2003.02092.x
77. Ralskem K zaměstnanců státního podniku DS pod. Koncepce likvidace odvalů po těžbě uranu na Příbramsku -Podklad pro pracovní jednání se zástupci dotčených obcí.
78. Andersen AN. Ants as Indicators of Restoration Success at a Uranium Mine in Tropical Australia. *Restor Ecol.* 1993;1(3):156-167. doi:10.1111/j.1526-100X.1993.tb00022.x

## 19. Seznam obrázků

|  |    |
|--|----|
| Obrázek 1 Šachta č.11 u obce Bytíz s odkalištěm v popředí. Foto: Jan Hotový.....   | 31 |
| Obrázek 2 Zákonem chráněná tařice skalní, západní svah odvalu jámy č. 6 mezi Příbramí a Lešeticemi. Zdroj: <sup>72</sup> ..... | 33 |
| Obrázek 3 Šíření plevelu – bolševníku velkolepého-pata odvalu jámy č. 3. u obce Lazsko. Zdroj : <sup>72</sup> .....            | 34 |
| Obrázek 4 Na odvalech převažují iniciální březové lesíky. Zdroj <sup>72</sup> .....  | 34 |
| Obrázek 5 Pohled z vrchu Pichce u Příbramí na východo-jihovýchod. Ves Dubno s výsypkama v pozadí. Foto: Jan Hotový .....       | 35 |