

Stav a perspektivy dlouhodobých úložišť jaderného odpadu

Bakalářská práce

Studijní program:

B1407 Chemie

Studijní obory:

Chemie se zaměřením na vzdělávání

Anglický jazyk se zaměřením na vzdělávání

Autor práce:

David Syrovátka

Thesis Supervisors:

prof. Ing. Josef Šedlbauer, Ph.D.

Katedra chemie





Zadání bakalářské práce

Stav a perspektivy dlouhodobých úložišť jaderného odpadu

<i>Jméno a příjmení:</i>	David Syrovátka
<i>Osobní číslo:</i>	P16000800
<i>Studijní program:</i>	B1407 Chemie
<i>Studijní obory:</i>	Chemie se zaměřením na vzdělávání Anglický jazyk se zaměřením na vzdělávání
<i>Zadávací katedra:</i>	Katedra chemie
<i>Akademický rok:</i>	2018/2019

Zásady pro vypracování:

Cílem práce je provést analýzu aktuální situace v oblasti budování dlouhodobých úložišť jaderného odpadu ve vybraných zemích, které takový odpad produkují.

Úkoly:

1. Literární rešerše k tématu.
2. Komparace metod navrhovaných pro přepracování a zapečetování jaderného odpadu.
3. Porovnání přístupu jednotlivých zemí na vybraných případových studiích – výběr zemí z více kontinentů.

Rozsah grafických prací:
Rozsah pracovní zprávy:
Forma zpracování práce:
Jazyk práce:

dle potřeby
40-50 stran
tištěná
Čeština



Seznam odborné literatury:

1. Doan, Phuong Hoai Linh, Thierry Duquesnoy, and Jean-Guy Devezeaux de Lavergne. Economic appraisal of deployment schedules for high-level radioactive waste repositories. EPJ Nuclear Sciences & Technologies. 2017, 3, 12.
2. Pusch, Roland, and Richard Weston. Superior techniques for disposal of highly radioactive waste (HLW). Environmental Earth Sciences. 2015, 73.9, 5219-5231.
3. Poirot-Delpech, Sophie, and Laurence Raineau. Nuclear Waste Facing the Test of Time: The Case of the French Deep Geological Repository Project. Science and Engineering Ethics. 2016, 22.6, 1813-1830.

Vedoucí práce:

prof. Ing. Josef Šedlbauer, Ph.D.
Katedra chemie

Datum zadání práce:

13. října 2018

Předpokládaný termín odevzdání:

15. dubna 2019


prof. RNDr. Jan Píček, CSc.
děkan




prof. Ing. Josef Šedlbauer, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 13. října 2018

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že texty tištěné verze práce a elektronické verze práce vložené do IS/STAG se shodují.

21. července 2019

David Syrovátka

Poděkování

Rád bych poděkoval všem zástupcům katedry chemie za jejich ochotu, podporu a časté vycházení vstříc nad rámec povinností. Zároveň bych poděkoval svému vedoucímu práce za jeho trpělivost a pomoc při psaní bakalářské práce.

Anotace

Tato práce mapuje současné dění v oblasti dlouhodobých jaderných úložišť, jejich plánování, konstrukci a dopad na společnost. Současně se zabývá technickou stránkou jaderného palivového cyklu a konceptu dlouhodobých úložišť. V závěru z dostupných dat vyvozuje ideální postup při realizaci tohoto konceptu.

Klíčová slova

Dlouhodobá úložiště jaderného odpadu, jaderná energetika, jaderný odpad, palivový cyklus.

Abstract

This thesis maps state-of-the-art of long-term radioactive waste repositories. It deals with the process of their planning, construction and impact on society. Simultaneously, it deals with the technical aspect of nuclear fuel cycle and the concept of long-term repository. Based on data available the thesis suggest ideal steps towards realizing of this project.

Keywords

Long-term repositories, nuclear energy, nuclear waste, nuclear fuel cycle.

Obsah

Úvod.....	10
2. Status jaderné energetiky.....	11
2.1. Pozice na trhu	11
2.2. Problémy jaderné energetiky	12
3 Jaderný odpad.....	14
3.1 Průběh palivového cyklu.....	15
3.2 Metody recyklace jaderného odpadu.....	18
4 Přechodná úložiště.....	21
5 Dlouhodobá úložiště jaderného odpadu	23
5.1 Typy dlouhodobých úložišť jaderného odpadu	23
5.1.1 Povrchová úložiště (Near-surface disposal).....	23
5.1.2 Hloubená úložiště (Mined repositories)	23
5.1.3 Hlubokovrtná úložiště (Deep borehole repository).....	23
5.2 Další ochranné prvky a bariéry	24
6 Stav dlouhodobých úložišť.....	26
6.1 Národní úložiště	26
6.1.1 USA.....	26
6.1.2 Čína	28
6.1.3 Jižní Korea	32
6.1.4 Finsko	35
6.1.5 Francie.....	37
6.1.6 ČR	40
6.2 Mezinárodní úložiště	41
6.2.1 80. léta	42
6.2.2 90. léta	42
6.2.3 Počátek 21. století	44
6.2.4 Současné projekty.....	45
7 Diskuze.....	50
7.1 Reálnost mezinárodních úložišť.....	50
7.2 Kooperace s obyvatelstvem.....	50
7.3 Funkčnost konceptu hlubokozemních úložišť	51
7.4 Příčiny posunutí plánovaných termínů	52

8 Závěr	53
Seznam použité literatury	54
Graf 1	11
Graf 2	12
Graf 3	14
Graf 4	15
Graf 5	22
Graf 6	31
Ilustrace 1.....	16
Ilustrace 2.....	24
Ilustrace 3.....	25
Ilustrace 4.....	26
Ilustrace 5.....	30
Ilustrace 6.....	31
Ilustrace 7.....	34
Ilustrace 8.....	39
Ilustrace 9.....	41
Tabulka 1	13

Úvod

Jaderná energetika je svými příznivci ale i mnohými odborníky považována za nejčistší z dostupných zdrojů elektrické energie, který je schopen svou ekologickou stopou zdatně konkurovat i obnovitelným zdrojům energie. Jak už se však lidstvo v minulosti při havárií reaktoru jaderného reaktoru v Černobylu či při nedávném neštěstí v jaderné elektrárně ve Fukushima přesvědčilo, technologie jaderného štěpení s sebou nese v případě jaderné havárie fatální následky, které za sebou nechávají trvalou neviditelnou stopu. Mimo skutečnost této neviditelné hrozby se navíc jaderná energetika potýká s problematikou jaderného odpadu, radiotoxického materiálu přetrvávajícího aktivní po statisíce let.

Tato bakalářská práce se právě problematikou jaderného odpadu, jeho správou a ukládáním zabývá. Rozdělena na šest částí tato práce ve své první části mapuje pozici jaderné energetiky na současném trhu. Současně se pokouší odhadnout na základě dostupných dat její roli v budoucím energetickém mixu. V druhé části zkoumá jaderný odpad a technické aspekty jeho zpracování a recyklace. V části třetí se tato práce zabývá přechodnými úložišti a jejich rolí v jaderném palivovém cyklu. Čtvrtá sekce rozebírá současně uvažované koncepty dlouhodobých úložišť se zaměřením na jejich provedení. Současně podrobněji popisuje inženýrské bariéry a další ochranné prvky zabraňující úniku radionuklidů. V navazující části je monitorován současný stav plánování a konstrukcí úložišť ve zvolených zemích využívajících jadernou energetiku. Následně zkoumá i možnosti konceptu mezinárodních úložišť s ohlédnutím na jeho historický vývoj. V poslední části práce je v rámci diskuze probírána reálnost konceptu mezinárodních úložišť, funkčnost samotného konceptu úložiště a ideální postup při jeho plánování a prosazování.

2. Status jaderné energetiky

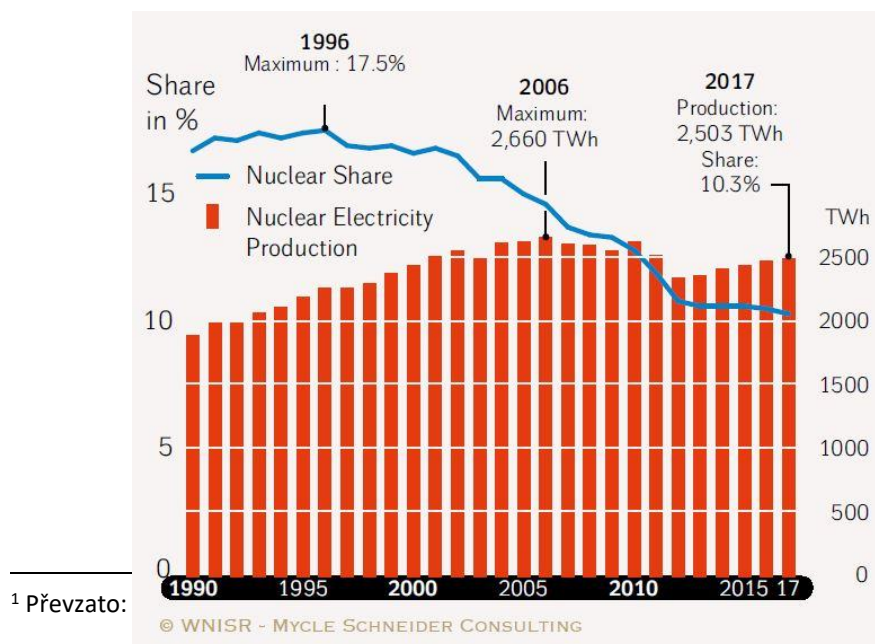
2.1. Pozice na trhu

Druhá polovina 20. století se v oblasti energetiky vyjímala především rozkvětem a rozvojem jaderné energetiky. Počínaje rokem 1956, kdy byl ve Spojeném království spuštěn celosvětově první komerční jaderný reaktor Calder Hall 1, (Cleveland a Morris 2013, s. 211) napříč ropnou krizí v roce 1973, která se především ve Francii kladně podepsala na rozvoji jádra (Horvath a Rachlew 2016) až do přelomu 20. a 21. století, kdy byla jaderná energetika na svém vrcholu, bylo postaveno přes 500 jaderných reaktorů (viz Graf 2). Na počátku 21. století však došlo k rozmachu obnovitelných zdrojů, jejichž vzestup odstartoval pozvolný úpadek konkurenčních fosilních paliv, a to především uhlí, a který zároveň přispěl ke stagnaci jaderné energetiky. Ta od roku 1996, kdy dosáhla svého historického vrcholu z hlediska procentuálního podílu produkce elektřiny, svůj podíl neustále snižuje (viz

Graf 1

).

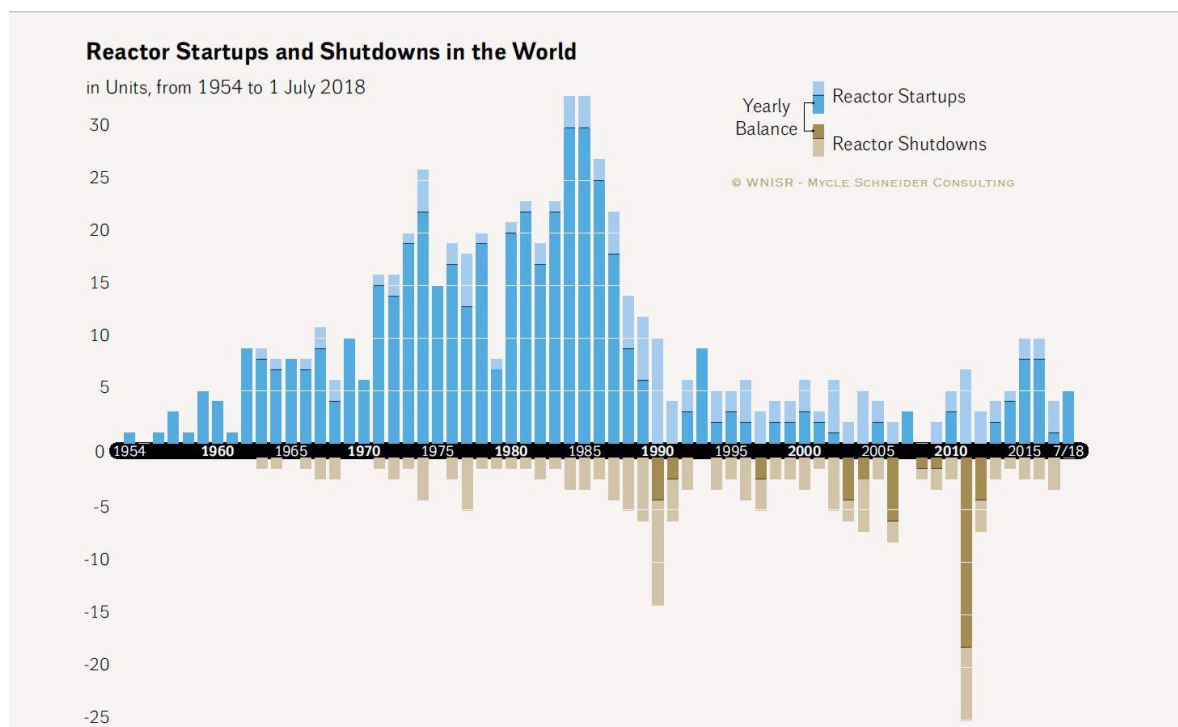
¹Graf 1



2.2. Problémy jaderné energetiky

Obdobný trend lze v globálním měřítku vypořádat i v počtu výstavby nových reaktorů (viz Graf 2), které dle *The World Nuclear Industry Status Report* z roku 2018 (dále jen WNISR) ztrácí na konkurenceschopnosti nejen vzhledem k jejich často zpochybňované spolehlivosti a složitosti na výstavbu, ale také především díky své ceně, k jejíž pokrytí je třeba dotací ze strany státu. Tento fakt je překážkou především pro rozvojové země. (Froggatt et al. 2018)

Graf 2



² Ze stejného grafu lze i vypořádat jeden ze stávajících problémů jaderné energetiky, a to sice celkové stáří reaktorů. Dle WNISR přes 60 % všech reaktorů, celkem 254 reaktorů je starších 31 let, včetně 77 reaktorů, které jsou v provozu již 41 a více roků. Za předpokladu, že všechny tyto reaktory budou odstaveny po 40 letech provozu, bude třeba

² Převzato: (Froggatt et al. 2018, s. 30)

v následujícím desetiletí nahradit 190 reaktorů o celkovém výkonu 168,5 GW. Skutečnost je však taková, že v současné době je rozestavěno 50 reaktorů (viz Tabulka 1). Postavit by tak bylo třeba třiapůlkrát více reaktorů než bylo zhotoveno za poslední dekádu, aby se do budoucna zabránilo k poklesu v produkci elektřiny. (Froggatt et al. 2018, s. 17)

Tabulka 1

Table 1 | Nuclear Reactors “Under Construction” (as of 1 July 2018) ³⁴

Country	Units	Capacity MW net	Construction Starts	Grid Connection	Behind Schedule
China	16	15 450	2009 - 2017	2018 - 2023	8-9?
India	7	4 824	2004 - 2017	2018 - 2023	5
Russia	5	3 378	2007 - 2018	2019 - 2022	4
South Korea	4	5 360	2009 - 2017	2018 - 2022	4
UAE	4	5 380	2012 - 2015	2020 - 2021?	3-4?
Belarus	2	2 218	2013 - 2014	2019 - 2020	1-2?
Pakistan	2	2 028	2015 - 2016	2020 - 2021	-
Slovakia	2	880	1985 - 1985	2018 - 2019	2
USA	2	2 234	2013 - 2013	2021 - 2022	2
Argentina	1	25	2014 - 2014	2020	1
Bangladesh	1	1 080	2017 - 2017	2023	-
Finland	1	1 600	2005 - 2005	2019	1
France	1	1 600	2007 - 2007	2020	1
Japan	1	1 325	2007 - 2007	?	1
Turkey	1	1 114	2018 - 2018	2023	-
World	50	48 496	1985 - 2018	2018 - 2023	33-36

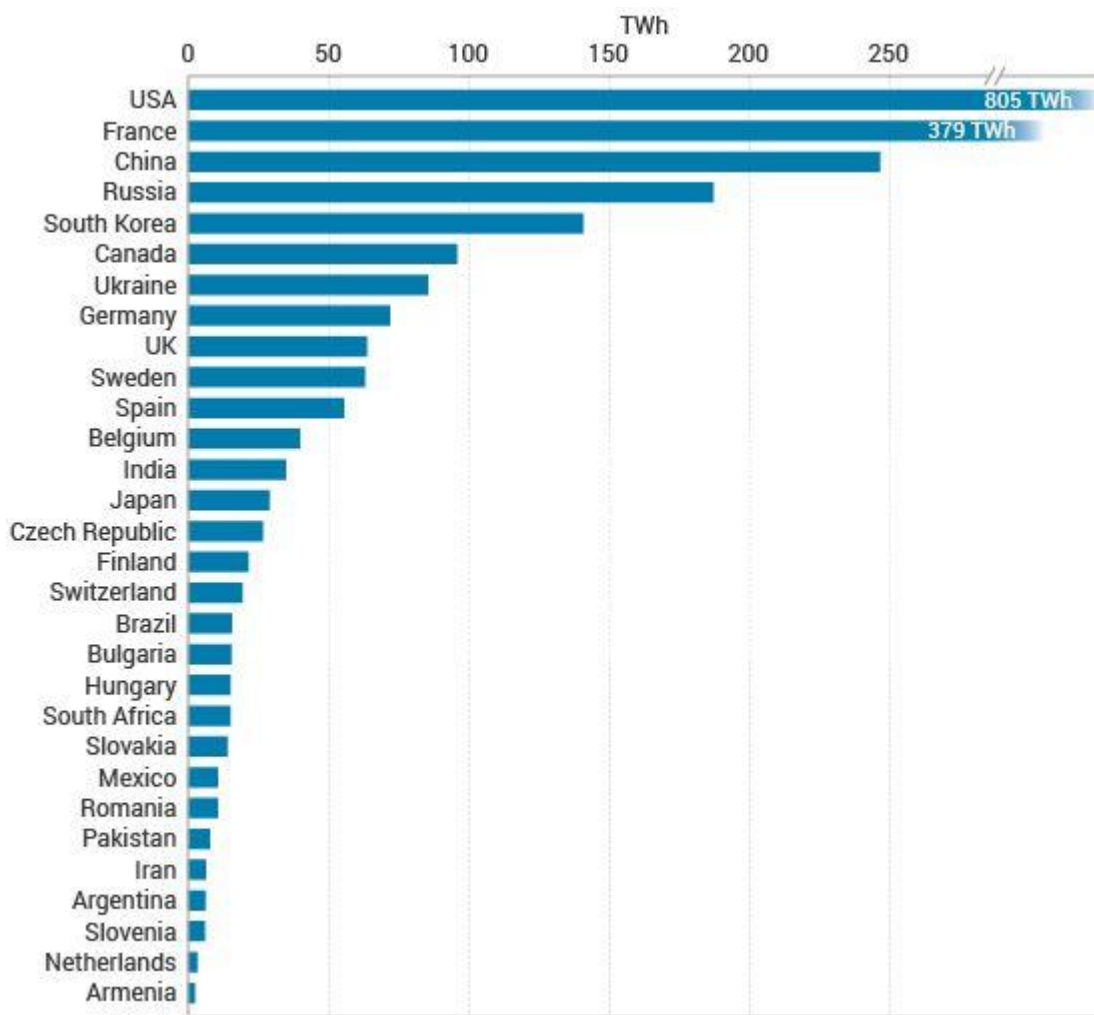
³ Při jejím současném stavu je dle WNISR velice těžké představit si jadernou energetiku jako schopného konkurenta na poli energetiky v průběhu 4. průmyslové revoluce. Jedinou šanci by představovaly levnější, kompaktnější, lehce smontovatelné jaderné reaktory s dostatečně silnými bezpečnostními prvky. Takovýto druh reaktoru je však v rámci současného výzkumu dle WNISR v nedohlednu (Froggatt et al. 2018, s. 13).

³ Převzato: (Froggatt et al. 2018, s. 35)

3 Jaderný odpad

⁴Ať už však bude vypadat budoucnost jaderné energetiky jakkoliv, státy využívající jadernou energii, mezi které se řadí 30 zemí z celého světa, především pak USA, Francie, Čína, Rusko a Jižní Korea (viz Graf 3) čelí nebo do budoucna budou muset čelit problému v podobě vzrůstajícího počtu vyprodukovaného odpadu. Jaderná energetika totiž jako jediná přijímá veškerou zodpovědnost za

Graf 3



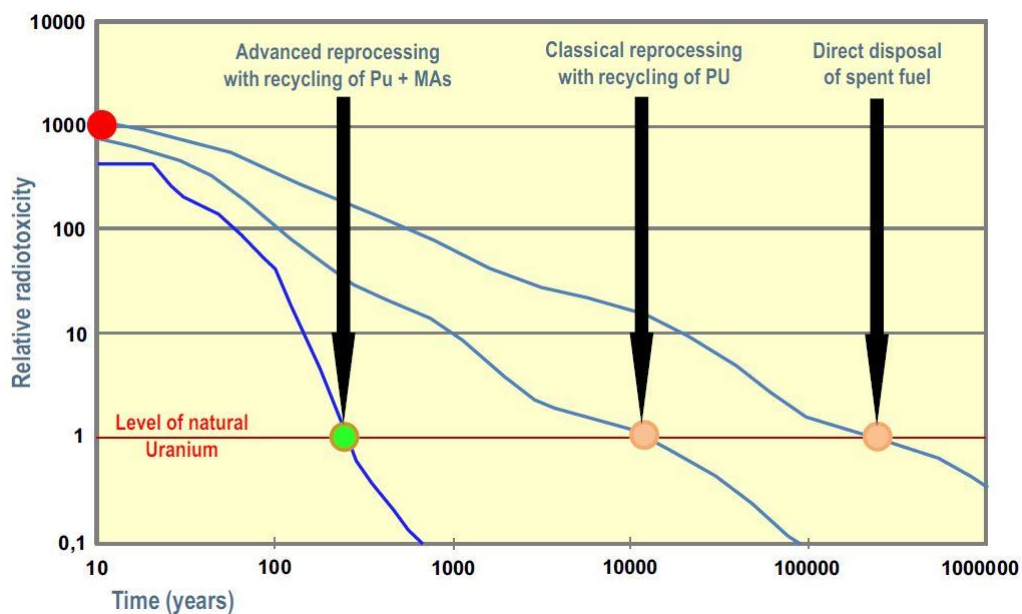
Source: IAEA PRIS Database

jí vyprodukovaný odpad. Jaderný odpad dělíme na nízkoaktivní, středně aktivní a vysokoaktivní. I když procentuálně představuje tři procenta jaderného odpadu, vysokoaktivní odpad má na svědomí 95 % radioaktivity, čímž tvoří jádro problému samotného (World Nuclear Association

⁴ Převzato: (Horvath a Rachlew 2016, s. 40)

2018b). K dubnu 2018 bylo dle World Nuclear Association vyprodukováno kolem 370 000 tun, z nichž dle IAEA 120 000 tun bylo znovu zužitkováno (World Nuclear Association 2018b). Proces recyklace nejenže zvyšuje množství energie získané z původní uranové rudy, a to o 25–30 %, ale zároveň i snižuje dobu, po kterou zbylé použité palivo snižuje svou radioaktivitu na úroveň přírodního uranu, ze stovek tisíc let na deset tisíc. V případě nejnovějších recyklačních procesů i na pouhých 300 let. (viz Graf 4). Tyto se však zatím nedočkaly komerčního využití (World Nuclear Association 2018a). Tento způsob zacházení s jaderným odpadem, při němž je vyhořelé palivo recyklováno, se nazývá uzavřený palivový cyklus. Existují však státy, které považují za výhodnější palivo znovu nezužítovat v tzv. otevřeném palivovém cyklu. Mezi ty se řadí například i ČR. (Internationale Atomenergie-Organisation 2005, s. 9,36)

Graf 4



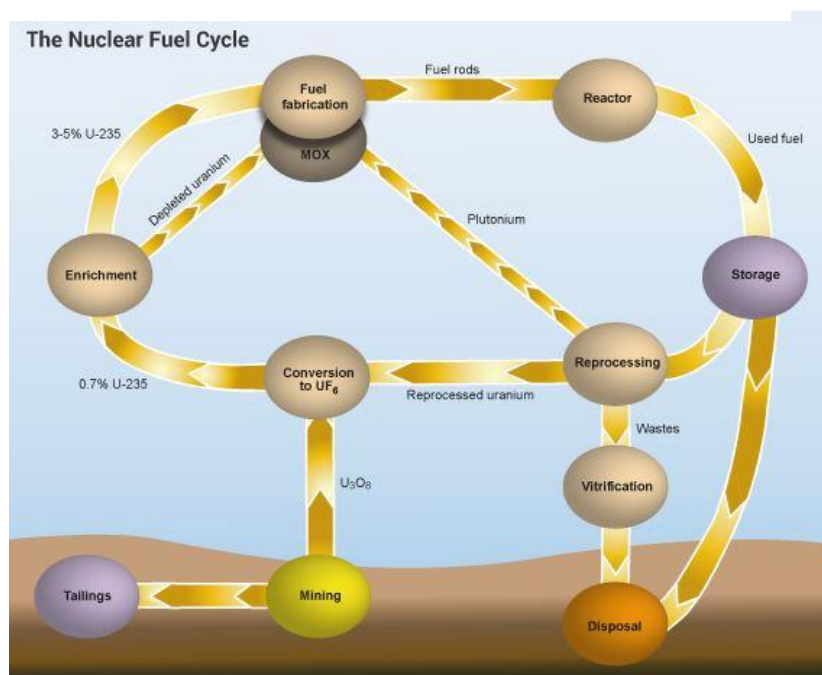
3.1 Průběh palivového cyklu

Na začátku palivového cyklu je zapotřebí vytěžený uraninit vzhledem k nízkému obsahu uranu-235 (kolem 0,7 %) obohatit přibližně na pětinasobek (World Nuclear Association 2017b). Toho

⁵ Převzato: (Horvath a Rachlew 2016, s. 42)

se docílí přeměnou smolince na plynný UF_6 a následnou izolací U-235 od U-234 a 238 pomocí centrifugy. Uran 235 je pak následně chemicky přeměněn zpět na pevný oxid uraničitý, který je používán jako palivo ve většině jaderných reaktorů (Energy Information Administration 2018). Důležitým vedlejším produktem je uran-238, který se využíván v reaktorech typu FNR, jejichž rozmach je předpovídán v polovině 21. století, případně v kombinaci s oxidu plutonia jako tzv. MOX palivo, které využívají reaktory typu PWR (World Nuclear Association 2017a). Zdrojem plutonia je právě použité palivo z reaktorů používající palivové články s U-235. To se odseparuje od použitého jaderného paliva během recyklace společně s nezreagovaným U-235, který je opětovně použit pro obohacení (viz

Ilustrace 1



Proces recyklace však má negativní vliv na zbytek radioisotopů obsažených v použitém jaderném palivu. Ty se totiž během separace uranu a plutonia přemění na kapalinu či plyn, což

silně znesnadňuje jejich manipulaci. Před jakýmkoliv uložením je tedy zapotřebí palivo tzv. imobilizovat. Imobilizace představuje proces převedení jaderného odpadu zpět do pevného skupenství – stavu vhodného pro manipulaci a bezpečného z hlediska životního prostředí fungujícího jako přirozená bariéra bránící úniku radionuklidů do biosféry - současně se snížením jeho objemu (Chroneos et al. 2013, s. 2). Způsobů imobilizace, která se využívá i v případě, kdy palivo není znovuzužito, je několik. Výběr mezi jednotlivými způsoby je složitým rozhodnutím. Je to především dáno radioaktivní povahou materiálu a s ní spojenou obtížnou manipulací, která vyžaduje, co nejsnadnější proces přípravy, a faktem, že samotná trvanlivost není jediným klíčovým faktorem (Ojovan a Lee 2011, s. 1).

Mezi ty nejčastěji používané patří tzv. vitrifikace neboli uzavření v materiálu ve skle. Tato metoda je využívána především z důvodu své jednoduché přípravy, velkého snížení objemu původních látek, schopnosti imobilizovat široké spektrum prvků, vysoké chemické odolnosti a resistenci vůči dlouhodobému působení radionuklidů (Ojovan a Lee 2011, s. 6,7). Tato metoda je široce využívána například v USA, Francii, Rusku či Japonsku, kde se nachází rozsáhlá vitrifikační zařízení. Zde je přeměňován nejen vysokoaktivní ale také středně aktivní jaderný odpad (Chroneos et al. 2013, s. 6,7). Produkt této přeměny je tavenina, která je uzavřena do robustních 1,3 metrových nádob z nerezové oceli, ve kterých se nechává vychladnout. V těch je posléze i uzavřena a připravena k uložení v dočasných nebo dlouhodobých úložištích (World Nuclear Association 2017c).

O něco pokročilejší je použití sklokeramického media místo čistého skla. To oproti tomu skelnému má lepší schopnost zadržet některé prvky, jakými jsou například aktinoidy, se kterými má čistě skelná forma problémy. Zároveň má menší tendenci ke vzniku trhlin důsledkem tepla vznikajícího při rozpadu jaderného materiálu. Tato forma je složena ze dvou fází, skelné a částicové, které se formují během chlazení. Její složení se liší a v závislosti s ní i

její vlastnosti. Například oxid zirkoničitý zvyšuje tepelnou a chemickou odolnost (Liu et al. 2019, s. 8).

Alternativním způsobem imobilizace středně a vysokoaktivního odpadu je též tzv. metoda Synroc – syntetická hornina – představující keramiku skládající se ze syntetických minerálů titanu. Tato metoda vznikla v roce 1978 v Austrálii (World Nuclear Association 2019b). Hned o tři roky později došlo k návrhu využití Synroc metody ve Spojených státech, které hledali nejlepší způsob imobilizace jejich jaderného odpadu. Vzhledem k nedostatečným technickým datům se však Synroc dostal na druhé místo. Přednost byla dána vitrifikaci do borosilikátových skel. S tímto rozhodnutím USA, padlo i rozhodnutí ANSTO, komise, která mající vývoj Synroc metody na starosti, zaměřit se na imobilizaci jiných aktinoidů. Především plutonia (Vance et al. 2017, s. 3). Z pozdějších výzkumů však vyplývá, že Synroc je mnohem účinnější způsob imobilizace odpadu. Vzhledem k vyšší hustotě než konkurenční metody, je ekonomicky výhodnější, má nižší propustnost a je schopen zadržet velké množství odpadu (Luo et al. 1998, s. 5). Momentální výzkum se zabývá imobilizací středně aktivního odpadu a izotopů cesia, telluria a jodu ve vysokoaktivním odpadu (Vance et al. 2017, s. 7).

3.2 Metody recyklace jaderného odpadu

Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, při recyklaci dochází k odseparování žádaných látek ze směsi, jenž palivový článěk představuje. Těmi jsou především uran, později obohacen a znovupoužit v uranových palivových článkách, a plutonium, které je použito v MOX palivech rovněž určeném pro jaderné reaktory. Existují však rozličné způsoby, kterými lze separace docílit. Těmi hlavními jsou hydrometalurgický způsob a tzv. pyroprocessing (World Nuclear Association 2018a).

3.2.3 Hydrometalurgická separace

Hydrometalurgická separace spočívá rozpuštění použitého jaderného paliva v kapalném roztoku a v následné extrakci žádaných látek pomocí vhodného rozpouštědla. Zprvu byla tato metoda používána především pro vojenské účely, jakými byla izolace plutonia. Později se však začala používat i v průmyslu. Nejznámější a nejdůležitější z tohoto druhu separací je tzv. PUREX metoda (Plutonium and Uranium Recovery by EXtraction). PUREX funguje na principu rozpuštění použitého paliva v kyselině dusičné a následné izolaci uranu a plutonia do roztoku tributylfosfátu. Ten spolu HNO_3 tvoří heterogenní směs, což umožňuje jednoduchou separaci uranu a plutonia od zbylých štěpných produktů rozpuštěných v kyselině dusičné. Ta je posléze prochází procesem vitrifikace. Uran a posléze plutonium jsou změnou chemických podmínek extrahovány z roztoku tributylfosfátu. Tato metoda je vzhledem ke své jednoduchosti široce využívána, například v Anglii a Francii. (Edmonds 2001, s. 3). Mezi další hydrometalurgické metody recyklace odpadu patří UREX či NUEX cílící na separaci uranu; COEX, DIAMEX-SANEX či SUPER-DIREX. Všechny zmíněné fungují na stejné bázi jako metoda PUREX, liší se však skupinami produktů, které separují (World Nuclear Association 2018a).

3.2.3 Pyroprocessing

Elektrometalurgická separace neboli pyroprocessing využívá různých tavenin solí a elektrochemických procesů k izolaci žádaných radionuklidů (Inoue et al. 2011, s. 1). Tato metoda, zkoumaná především v Rusku, USA, Koreji, Japonsku a Francii, má velký potenciál stát se hlavním způsobem recyklace pro 4. generaci jaderných reaktorů. Oproti zmíněným hydrometalurgickým metodám se totiž vyjímá nízkou citlivostí vůči radiaci, což by umožnilo dřívější recyklaci paliva; teoreticky ihned po jeho odebrání z reaktoru. Další výhodou je schopnost rozpouštět iontové kapaliny a žáruvzdorné sloučeniny, které jsou plánovány pro mnohé reaktory další generace. Poslední výhodou je samotná absence

vody, která přispívá k termalizaci neutronů (International Atomic Energy Agency 2008, s. 27–31). Tento způsob recyklace dosáhl zatím nejlepších výsledků v oblasti oddělování vedlejších aktinoidů, jakými jsou Np, Am, Cm, a to bez jakýchkoliv nadbytečných kroků (Inoue et al. 2011, s. 1). Komerčního použití se nicméně dočká pravděpodobně až v druhé polovině tohoto století.

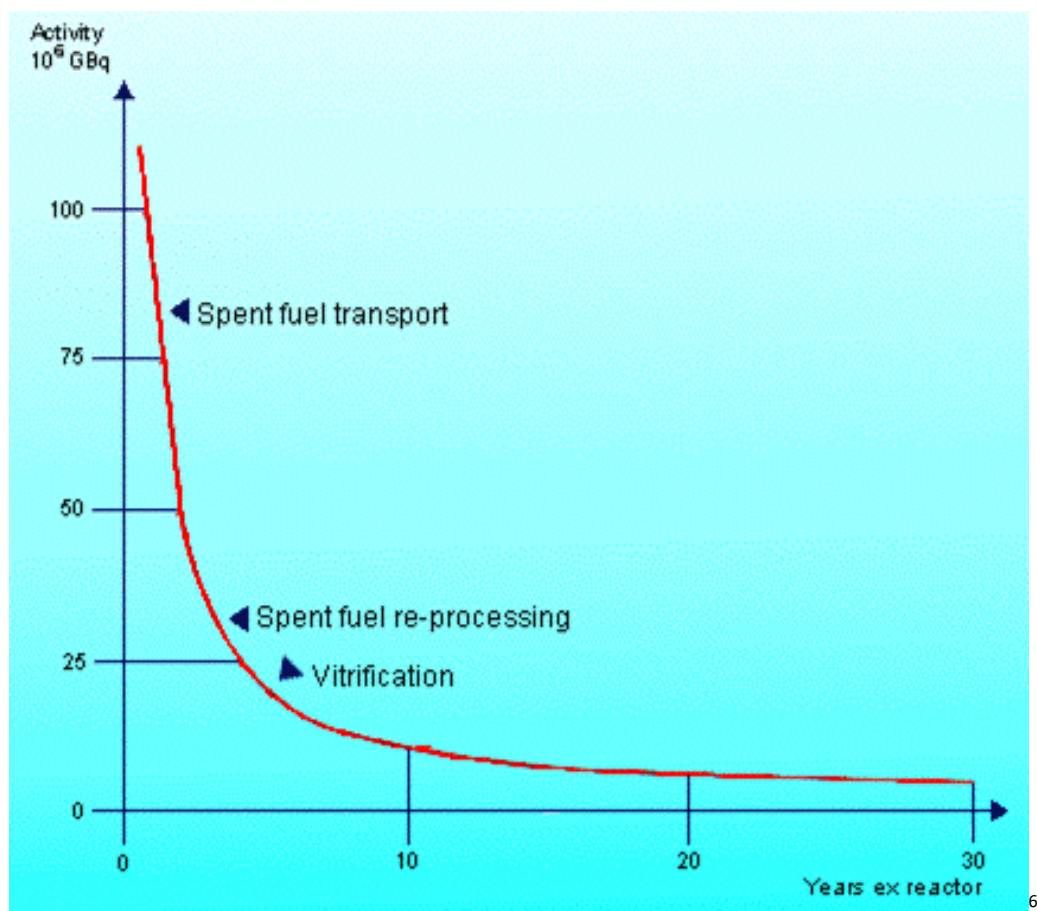
3.2.3 *Transmutace*

Proces transmutace je založen na přeměně aktinoidů s dlouhým poločasem rozpadu na aktinoidy s kratším poločasem rozpadu. Úkolem toho procesu je tedy vytvořit odpad, který by svým poločasem rozpadu byl mnohem bezpečnější. Potřebu jaderných úložišť však zdaleka neeliminuje. Transmutace lze docílit bombardováním látky neutrony, nejčastěji v množivých reaktorech, případně v urychlovačích (World Nuclear Association 2018a). Hlavní snahou je přeměna vedlejších aktinoidů, mezi které patří neptunium, americium a curium – dlouhodobě radiotoxické prvky nevhodné pro štěpné reakce (Wallenius 2019, s. 1).

4 Přechodná úložiště

Nezáleží na tom, zda vyhořelé palivo projde procesem recyklace či nikoliv, všechny jaderný odpad z obou cyklů je v současnosti uchováván v přechodných úložištích. Ty rozdělujeme na suchou a mokrou variantu. Zatímco mokrou variantou označujeme přechodná úložiště v podobě betonových bazénů využívající vodu jako chladící a stínící medium, suchá varianta používá inertních nebo málo reaktivních plynů, jakými jsou např. helium a dusík, pro chlazení a betonových a kovových bariér pro stínění (Bunn et al. 2001). I když mají obě varianty své pro a proti, přes dvě třetiny všeho uloženého odpadu je uschováno v mokřích úložištích. Tendence pro jejich použití se navíc snižuje ve prospěch suchých úložišť (World Nuclear Association 2018b). V počáteční fázi chladnutí je však veškeré použité palivo přechováváno ve speciálních bazénech poblíž reaktoru. Zde se palivo ponechá uloženo na dobu 3 až 4 let, při níž dojde k poklesu jeho radioaktivity na 50 % původní hodnoty (viz Graf 5). Posléze je možno palivo přesunout do meziskladu (ANON. Nedatováno), suchého či mokrého typu. V meziskladu může být palivo po desítky let uskladněno nebo z něj může být transportováno do recyklačních zařízení.

Graf 5



⁶ Převzato: (World Nuclear Association 2018b)

5 Dlouhodobá úložiště jaderného odpadu

Pro účely trvalého uskladnění tohoto druhu odpadu je však zapotřebí vystavět konečná dlouhodobá úložiště, kde bychom vysokoaktivní jaderný odpad mohli trvale uskladnit a oddělit od biosféry. Odborná veřejnost se všeobecně shodla na tom, že nejlepším řešením jsou podzemní úložiště. Ty mají hned několik podob.

5.1 Typy dlouhodobých úložišť jaderného odpadu

5.1.1 Povrchová úložiště (Near-surface disposal)

Tato úložiště se nacházejí na povrchu nebo těsně pod ním. Jedná se buďto o vhodně upravené jeskynní systémy nebo přímo vykopané repositáře s několikametrovou ochrannou membránou. Tyto jsou však pro uskladnění vysokoaktivního jaderného odpadu zcela nevhodné (World Nuclear Association 2018c).

5.1.2 Hloubená úložiště (Mined repositories)

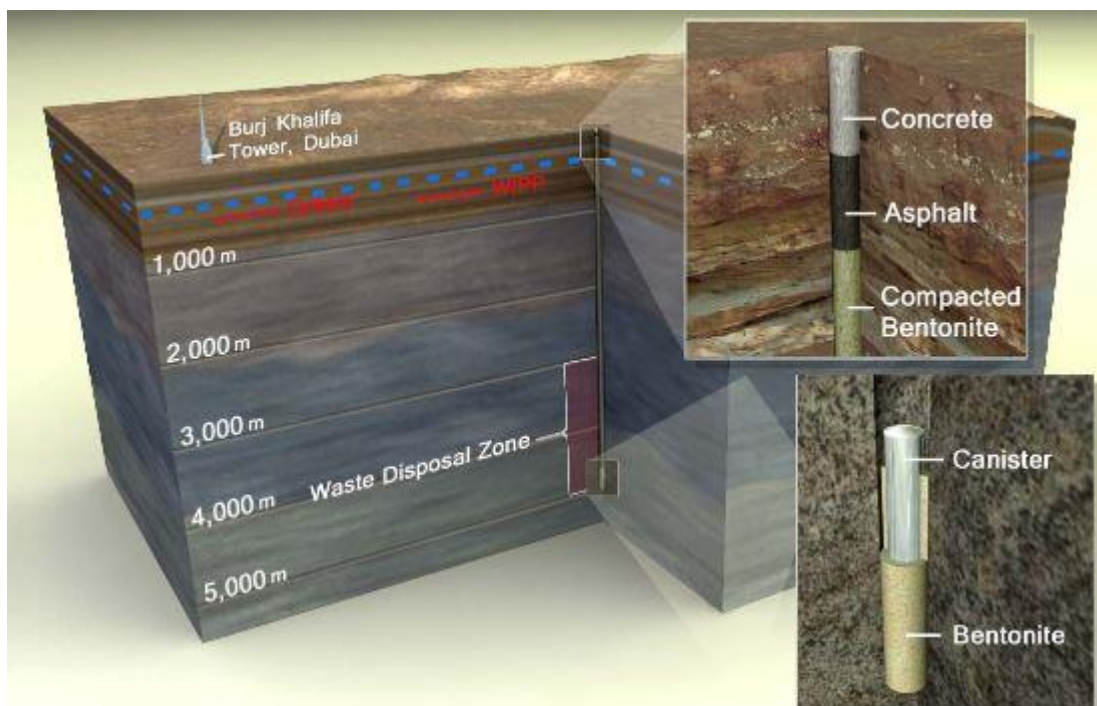
Nejvíce navrhovaný způsob uskladnění vysokoaktivního jaderného odpadu. Jedná se o systém šachet vyhloubených v rozmezí 250–1000 m pod povrchem v geologicky stabilním prostředí s nízkou aktivitou podzemních vod, které samo o sobě představuje dostatečnou izolační bariéru, která dokáže ochránit biosféru od škodlivých radionuklidů. Za geologicky stabilní prostředí je považován masiv, který je dlouhodobě seizmicky neaktivní, a u kterého je tak předpokládán stejný vývoj i v budoucnu. Kromě přirozené bariery v podobě skalních, jílovitých nebo solných masivů, jsou uplatněny i systémy bariér v podobě cementu či jílu (nejčastěji bentonitu) sloužící k pohlcení podzemní vody, které se podařilo proniknout přirozenou bariérou. Ta navíc v těchto hloubkách obsahuje nízkou hladinu kyslíku, což zabraňuje nežádoucím reakcím s uloženým palivem. (World Nuclear Association 2018c)

5.1.3 Hlubokovrtná úložiště (Deep borehole repository)

Podobně jako hloubená i hlubokovrtná úložiště operují na stejném principu využití stabilních geologických formací pro účely přirozené izolace radioaktivního materiálu s tím

rozdílem, že se nejedná o rozvětvené systémy tunelů, nýbrž o jeden nebo skupinu vertikálních vrtů dosahujících hloubky 5000 m. Spodních 2000 metrů pak slouží jako úložiště, které je schopno pojmout a 400 schránek s palivem. Zbylých 3000 metrů pak plní funkci geologické pečeti (viz Ilustrace 2). Hloubka, ve které je odpad uskladněn, silně oslabí geochemické reakce a posílí roli přirozené bariéry (Brady et al. 2012, s. 7,8).

Ilustrace 2



7

5.2 Další ochranné prvky a bariéry

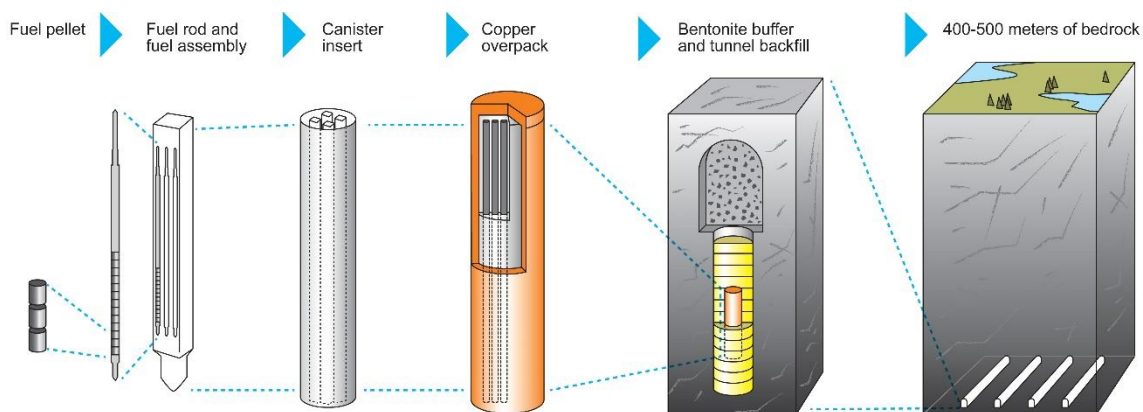
I když geologická bariéra představuje vcelku významný ochranný prvek, je zapotřebí okolo uloženého odpadu vybudovat další bariéry zabraňující případným únikům radiace do biosféry. V první řadě jsou to barely z nerezové oceli uschovávající imobilizovaný jaderný odpad, které jsou uzavřeny v měděném kontejneru, která má za účel zabránit jakékoliv korozi. Výzkum však ukázal, že mikrobiální aktivita je schopna skrze korozivní reaktanty, které produkuje, strukturu

⁷ Převzato: (Brady et al. 2012, s. 8)

mědi narušit. Tato možnost je vzhledem k nízké koncentraci, která se na povrchu kontejneru vyskytuje, nepravděpodobná (Briggs et al. 2017, s. 2).

Tento kontejner je pak v hlubokozemním úložišti zasazen a uzavřen v tzv. inženýrské bariéře vytvořené ze stlačených bentonitových prstenců. Ty spolu s bentonitovým nebo bentonito-písečným zásypem fungují zároveň jako hygroskopická bariéra a jako medium odvádějící teplo (Delay et al. 2014, s. 20,21).

Ilustrace 3



8

⁸ Převzato: (Posiva nedatováno)

6 Stav dlouhodobých úložišť

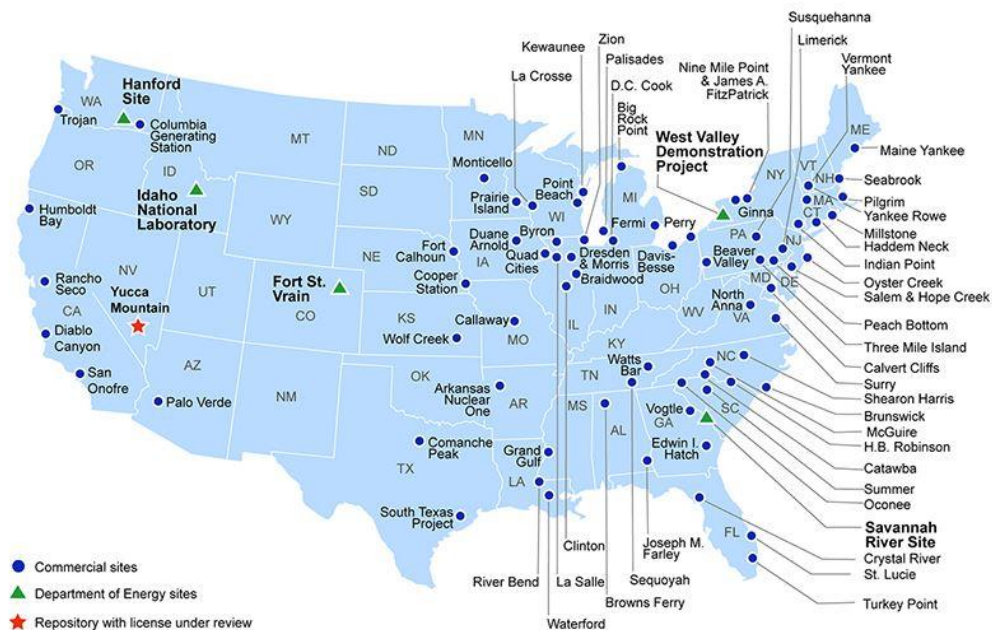
Volba mezi jednotlivými druhy úložišť je tak závislá na několika faktorech. Jsou jimi především geologické složení krajiny a rozpočet země.

6.1 Národní úložiště

6.1.1 USA

Napříč Spojenými státy je k dnešnímu datu uloženo přes 90000 tun jaderného odpadu. Ten je decentralizovaně uložen v mnoha přechodných úložištích (viz Ilustrace 4), která však nejsou vybudována pro dlouhodobé uchování tohoto materiálu ponechávajíc ho bez ochrany před případnými projevy extrémního počasí amerického kontinentu, jakými jsou například hurikány či lesní požáry (Jennewein 2018). Stavba centralizovaného dlouhodobého úložiště je tak pro USA jakožto největšího producenta jaderné energie zcela nezbytná.

Ilustrace 4



9

⁹ Převzato: (U.S. Government Accountability Office nedatováno)

To si také v 80. letech uvědomil Kongres a v roce 1982 prosadil Nuclear Waste Policy Act, který všeobecně podpořil myšlenku vzniku hlubokozemních úložišť, ale především odstartoval jednotlivé kroky k evaluaci a výběru jednotlivých. Zároveň vymezil časové milníky pro jednotlivá ministerstva v rámci uskutečnění tohoto programu (US EPA 2013). V roce 1987 zadal Kongres Ministerstvu energetiky vypracování konceptu pro úložiště jaderného odpadu v horském masivu Yucca Mountain v Nevadě. Po jeho vypracování a důkladném průzkumu došlo v roce 2002 Ministerstvo energetiky k závěru, že Yucca Mountain je vhodným kandidátem pro dlouhodobé úložiště vysokoaktivního odpadu.

Proti tomuto závěru se však postavil stát Nevada s vlastní studií poukazující na mnohé problémy tohoto potenciálního úložiště. Mezi největší kontra argumenty patří fakt, že se by se budoucí úložiště nacházelo ve vulkanicky a seizmicky aktivní oblasti (Thorne 2012, s. 4). Studie také poukázala na nedostatečnou kapacitu 77000 tun, která by nedokázala pokrýt ani všechny již vzniklý odpad. Kromě dalších výhrad, které byly vysloveny k transportu použitého jaderného paliva, který by údajně mohl vystavit riziku až 123 milionů lidí, a k samotné vzdálenosti úložiště od největší nevadské metropole Las Vegas, Nevada zpochybnila i závěry hydrogeologických průzkumů místa a design úložiště jako takového (Craig 1999, s. 18,19). Navíc označila ideu svážení jaderného odpadu do jednoho národní úložiště bezpečnostním rizikem z důvodu vytvoření mnoha tisíců snadných cílů v podobě konvojů převážejících palivo (NV.gov 2012).

I přes protesty státu Nevada byla v roce 2008 podána oficiální žádost u NRC (Nuclear Regulatory Commission) – nezávislé organizace pověřené ochranou věcí souvisejících s jadernou energetikou – o zahájení výstavby. Tu však bylo Ministerstvo energetiky pod politickým tlakem ze strany nevadského senátora Harryho Reida a kabinetu prezidenta Baracka Obamy donuceno stáhnout. Tímto došlo zároveň k pozastavení financování

tohoto projektu. NRC se i tak k projektu v roce 2014 vyjádřila ve zprávě, která zhodnotila umístění úložiště jako všeobecně vyhovující všem regulačním požadavkům. S nástupem prezidenta Donalda Trumpa došlo k znovuotevření věci a příslibu podpory na znovufinancování projektu ze strany Trumpova kabinetu. V květnu 2018 došlo ke hlasování ve Sněmovně reprezentantů o znovuotevření projektu. (Jennewein 2018). I přes silnou opozici ze strany Nevady se podařilo zákon s přehledem prosadit. NCR teď měla 30 měsíců na rozhodnutí o poskytnutí licence projektu Yucca Mountain (Washington Examiner 2018). Dříve než však k němu došlo k jakémukoliv vyjádření, došlo ke hlasování o zrušení pozměňovacího zákona. Stát Nevada, který se dlouhodobě bojuje proti výstavbě úložiště na svém území, to nazývá velkým vítězstvím a je připraven se proti dalším budoucím pokusům o stavbu úložiště na svém území nadále bránit. Polevit však nehodlá ani zbytek Kongresu, který stavbu úložiště podporuje, čímž se dá říci, že patová situace ve Spojených státech amerických nadále přetrvává. (Komenda 2019).

6.1.2 Čína

Čína, která v posledním desetiletí dominuje v oblasti započatých projektů spojených s výstavbou jaderných reaktorů (Froggatt et al. 2018, s. 11), se stala třetím nejvýznamnější producentem elektřiny pocházející z jádra (viz Graf 3). S rozkvětem jaderné energetiky se tak vznikající vysokoaktivní odpad a otázka jeho uložení staly důležitým a probíraným v oblasti bezpečnosti a environmentální ochrany (Wang et al. 2018, s. 1). Dle předběžných odhadů by měla Čína do roku 2050 vyprodukovat až 83000 tun vysokoaktivního jaderného odpadu. Včasné vybudování dlouhodobého úložiště je tedy rozhodující. Stejně jako ostatní jaderné velmoci i Čína zvolila mezinárodně uznávaný koncept dlouhodobých podzemních úložišť. Pro jejich vznik je však zapotřebí detailní analýzy termických, hydromechanických, chemických, biologických a radiologických procesů, které působí na geologické a umělé

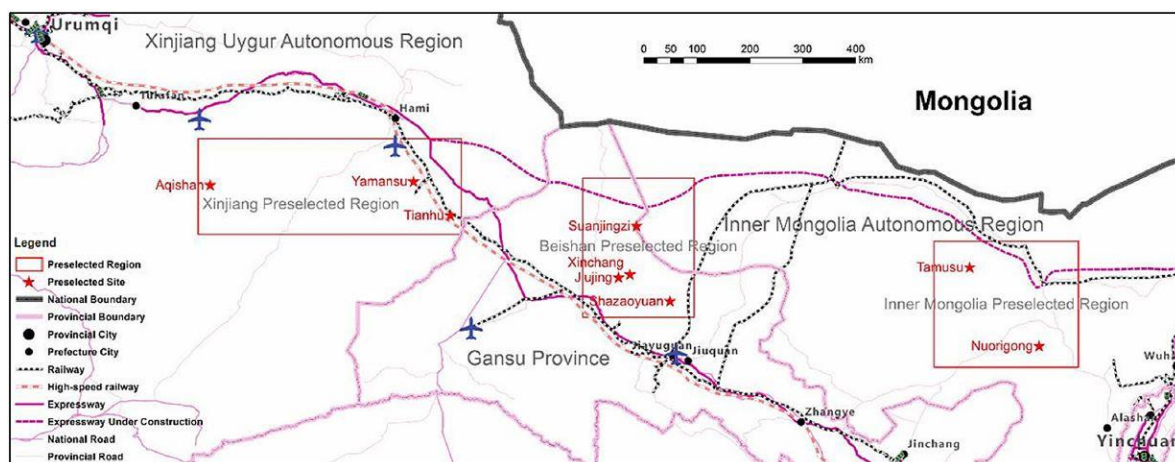
vytvořené bariéry takovýchto úložišť. Pro získání takovýchto dat je zapotřebí postavit podzemní výzkumnou laboratoř buďto přímo na místě vytyčeném pro úložiště, v jeho blízkosti v jemu odpovídajícím či příbuznému prostředí – tzv. územně-specifických laboratořích – nebo v tzv. generických laboratořích, které poskytují všeobecné informace o specifickém druhu horniny. Příkladem takovéto laboratoře jsou například Mont Terri ve Švýcarsku a Tournemire ve Francii. Příkladem zařízení vystavěném na místě určeném pro úložiště je podzemní výzkumná laboratoř ONKALO ve Finsku či Meuse/Haute Marne zkoumající jílovcovitý masiv ve Francii (Wang et al. 2018, s. 1,2). Vzhledem k faktu, že pro Čínu není nezbytné vybudovat generickou laboratoř, a pro výstavbu laboratoře specifické pro danou lokalitu by nejdříve potřebovala vybrat přesné umístění budoucího úložiště, což však představuje časově náročný proces. Územně-specifická podzemní laboratoř je tak pro Čínu nejvhodnějším řešením.

Současnou strategií Číny je tak vybudovat územně-specifickou podzemní laboratoř v reprezentativním masivu žuly v oblasti s největším potenciálem pro vznik podzemního geologického úložiště. Laboratoř jako taková by měla být obdobných rozměrů jako plánované úložiště – měla by tedy dosahovat hloubky kolem 500 metrů – a zároveň disponovat možností rozšíření. Získaná data, která budou dostupná v rámci domácí i mezinárodní kooperace v oblasti výzkumu a vývoje dlouhodobých úložišť, budou použita na rozvoj a testování nových technologií, určení přesné lokace úložiště a osvětu veřejnosti (Wang et al. 2018, s. 2).

Na základě rozsáhlého celostátního průzkumu v 80. letech byl v rámci úzké spolupráce China Atomic Energy Authority (CAEA) a Ministerstva pro ochranu životního prostředí byl vybrán region Beishan v provincii Gansu jakožto vhodný kandidát. Později, v letech 2016-2017 k němu přibily regiony Xinjiang a Inner Mongolia za účelem

poskytnutím srovnávacích dat. V těchto regionech bylo dle zadaných kritérií vytyčeno celkově 9 vhodných míst (viz Ilustrace 5) pro podzemní výzkumné laboratoře (Wang et al. 2018, s. 2,3).

Ilustrace 5



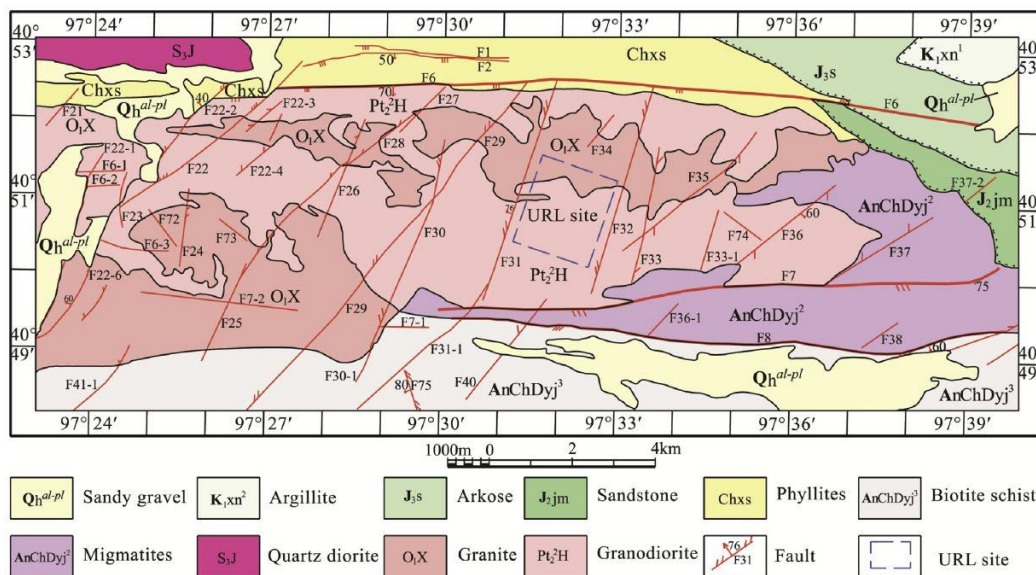
¹⁰ Tyto lokace byly podrobeny důkladným geologickým průzkumům, testům a odhadům.

Výsledná data ukázala, že nejvhodnějším místem pro výstavbu je oblast Xinchang v regionu Beishan. Topograficky se jedná o vysoce položenou náhorní plošinu charakteristickou svými mírnými kopci, které se výškově navzájem neliší o více jak 30 metrů. Pod sebou skrývají 22 km dlouhý a 7 km široký granitový a granodioritový masiv (viz Ilustrace 6). Geofyzické průzkumy odhalily, že masiv je vzhledem k s nízké hustotě kazů vhodný pro funkci přirozené bariéry (Wang et al. 2018, s. 7). Průzkumné hydrogeologické vrtvy sestávající se převážně z mělkých 100m vrtů a 600m hlubokých vrtů zjistily, že hydraulická vodivost masivu je velmi nízká – pohybuje se v rozmezí od 10^{-12} do 10^{-10} m/s – a v porovnání všeobecně nižší než u podzemních výzkumných laboratořích ve Švédsku, Finsku a Švýcarsku. Zároveň prokázaly, že kvalita valné části vzorků horniny se pohybuje v rozmezí nad 90 % (viz Graf 6) (Wang et al. 2018, s. 10). Získaná data spolu s geochemickými informacemi prokázaly, že masiv je vhodný pro stavbu výzkumné

¹⁰ Převzato: (Wang et al. 2018, s. 4)

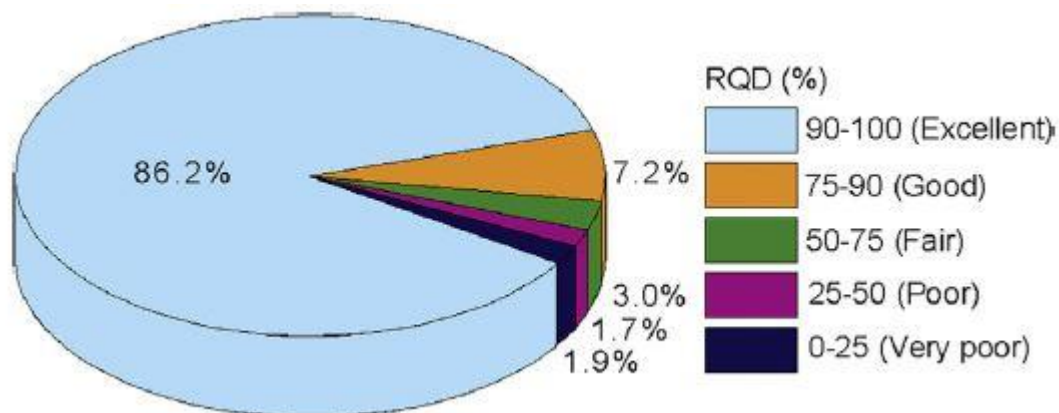
podzemní laboratoře a vybudování dlouhodobého podzemního úložiště. Laboratoř má Čína v plánu zhotovit již v roce 2020 a v průběhu tří naplánovaných etap získat podrobný 3D model, otestovat plánované technologie a bariéry, uskutečnit podrobnější testy a získat tak dlouhodobá data. Samotné dlouhodobé úložiště by mělo vzniknout do roku 2050 (Wang et al. 2018, s. 22–24).

Ilustrace 6



11

Graf 6



12

¹¹ Převzato:(Wang et al. 2018, s. 9)

6.1.3 Jižní Korea

Korea jakožto země s malým nerostným bohatstvím byla odjakživa závislá na jejich importu a je dodnes nucena dovážet až 98 % využitých fosilních paliv. Korea se přirozeně snažila co nejvíce svojí závislost na importu zredukovat, a tak se v roce 1957 stala členem IAEA, o rok později vydala Atomic Energy Law a již v roce 1978 dokončila stavbu svoji první nukleární elektrárny. V dnešní době produkuje téměř 30 % veškeré elektřiny z jaderných elektráren a v rámci dlouhodobého plánu z roku 2015 plánovala vláda do roku 2029 postavit dalších 13 reaktorů. S nástupem nového prezidenta Moon Jae-ina v roce 2017 však došlo k závratné změně v oblasti energetiky.

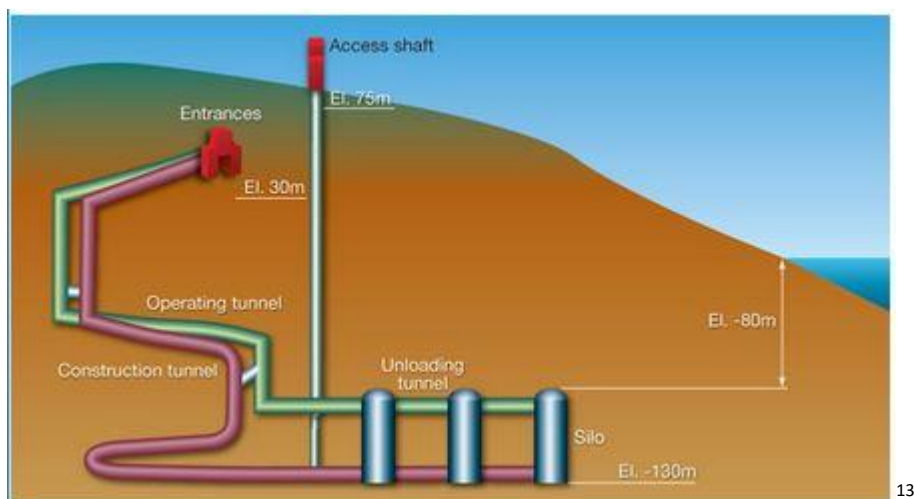
Moon Jae-in se totiž již ve své kampani zavázal k odstavení jak uhelných tak jaderných elektráren, které plánuje nahradit obnovitelnými zdroji. V rámci tohoto programu bylo vytvořena porota občanů, která měla zjistit jaký je názor obyvatelstva na jadernou energetiku a na dokončení nejnovějších dvou reaktorů Shin Kori 5 a 6. Ukázalo se, že 59,5 % bylo pro pokračování ve výstavbě nových bloků. V rámci ankety týkající se jaderné energetiky se vyslovilo 53,2 % pro snížení závislosti na jádře oproti necelým 10 % občanů, kteří by naopak uvítali její rozšíření. Tyto navzájem si odporující si výsledky mohou být výsledkem chaotického rozpoložení pro-jaderné společnosti, která byla silně zasažena havárií nukleárního reaktoru ve Fukushima, a která si je po nejsilnějším zemětřesení v historii z roku 2015 nucena položit otázku, jak pravděpodobné je, aby podobná katastrofa zasáhla i Koreu (Power Technology 2018). Neméně rozporuplné jsou i průzkumy veřejného mínění z konce roku 2018, kdy Hyundai Research Institute uvedl, že 85% dotazovaných podporuje novou politiku energetické transformace, a průzkumy Korean Nuclear Society naopak indikovali, že 67,9 % respondentů si přeje udržení či rozšíření

¹² Převzato: (Wang et al. 2018, s. 13)

podílu jaderné energie. Vzhledem k rozdílům ve výsledcích průzkumů dochází k rozkolu mezi vlivnými osobami, vědci, politiky, médii a korporacemi (Lim 2019). Jak se situace vyvine v příštích letech, zatím není jasné. Nezávisle na budoucí roli jaderné energetiky v Jižní Koreji bude i přesto zapotřebí vyřešit otázku již vzniklého jaderného odpadu, především toho vysokoaktivního.

Otázku nízko- a středně aktivního odpadu se totiž již podařilo Jižní Koreji vyřešit v roce 2014, kdy byla v provincii North Gyeongsang dokončena první fáze projektu dlouhodobého úložiště pro nízkoaktivní a středně aktivní nukleární odpad. Při ní bylo zkonstruováno šest podzemních sil nacházejících se 80 m pod hladinou moře (viz Ilustrace 7) s celkovou kapacitou 100000 barelů (World Nuclear News 2015). Tento projekt, plánovaný již od roku 1986, započatý v roce 2008, který je nyní u konce druhé fáze – budování povrchového úložiště, které rozšíří jeho kapacitu o dalších 125000 barelů, se podařilo v roce 2005 prosadit především pomocí rekompensační dohody, která představovala 300 milionů dolarů jednorázově a 600 dolarů za každý uložený barel obci, na jejímž území se bude úložiště nacházet (Kelleher 2017, s. 12). Předpovídaná finální kapacita tohoto úložiště by měla být 800000 barelů zabírající plochu o rozloze 21 km² (World Nuclear Association 2019a). Toto částečné vítězství na poli správy jaderného odpadu mělo zároveň sloužit prostředek pro zvýšení pozitivního vnímání bezpečnosti jaderného odpadu a jeho uložení. Naneštěstí společně s havárií ve Fukushima série skandálů s padělanými bezpečnostními certifikáty pohnula názor veřejnosti spíše opačným směrem, k jaderné opozici. (Kelleher 2017, s. 1)

Ilustrace 7



Řešením problematiky finálního úložiště vysokoaktivního odpadu byla pověřena společnost Korea Radioactive Waste Management Corporation, dnes již Korea Radioactive Waste Agency (KORAD), která vznikla v roce 2009 v rámci Radioactive Waste Management Act za účelem vytvoření národní strategie pro nakládání s vysokoaktivním odpadem. Zároveň se stala odpovědnou za vybírání daně na jaderné palivo, která se v Jižní Koreji vybírá již od roku 1988 v rámci národního fondu určeného pro správu jaderného odpadu (World Nuclear Association 2019a). Pro potřeby vytvoření konsenzu došlo k v letech 2011 – 2012 k vytvoření studii, jehož součástí byl i průzkum veřejného mínění. Výsledky této zprávy z prosince roku 2012 poukázaly nutnost výstavby centralizovaného dočasného úložiště, přičemž zároveň doporučily zapojit veřejnost do rozhodování o jeho umístění (Kelleher 2017, s. 13). Tato stavba je klíčová z důvodu docházející kapacity v prozatímních úložištích nacházejících se v blízkosti elektráren. Ta v roce 2012 dosahovala již 71 %. Za účelem co nejrychlejšího uskutečnění projektu došlo k sestavení týmu 13 jaderných expertů, profesorů, městských zastupitelů a zástupce ze soukromé environmentální skupiny operující pod názvem Public Engagement Commission on Spent

¹³ Převzato: (Nuclear Engineering Internation 2014)

Nuclear Fuel Management (dále jen PECOS). (World Nuclear Association 2019a). Tým měl za úkol vybrat způsob, jakým bude umístění úložiště vybíráno, a následně vytvořit komisi, která měla na proces výběru dohlížet. I přes naléhavost situace a potřebu hladkého průběhu došlo k mnoha pozastavením a pozdržením projektu. (Kelleher 2017, s. 13). V červnu roku 2015 však vydal PECOS doporučení, na jehož základech vytvořila korejská vláda v květnu 2016 národní plán pro zpracování vysokoaktivního odpadu.

Plán počítá s vytyčením místa pro budoucí úložiště v rámci souhlasného jednání s vlastníky půdy do roku 2028, s postavením podzemní výzkumné laboratoře v průběhu následujících 14 let a dokončením stavby dlouhodobého úložiště v polovině 50. let. V rámci rozšíření výzkumu byla v roce 2018 zástupcem KORAD podepsána dohoda o spolupráci mezi Koreou a Ruskem, v rámci níž bude docházet ke sdílení vědeckých, technických, sociálně-právních dat a informací týkajících se konečného zpracování jaderného odpadu (World Nuclear News 2018b). Ministerstvo obchodu, průmyslu a energetiky však zároveň zvažuje možný export použitého paliva do mezinárodního úložiště v případě, že nějaké bude včas zkonstruováno (World Nuclear Association 2019a). Kterou cestou se však Jižní Korea nakonec vydá, je vzhledem ke smíšeným krokům vlády nejisté.

6.1.4 Finsko

Finsko zatím jakožto jediná země na světě bylo schopno prosadit stavbu dlouhodobého úložiště vysokoaktivního jaderného odpadu a započnout s jeho konstrukcí, a to již v roce 2004, kdy započalo hloubení, které se zdárně podařilo dokončit v roce 2012, a na které navázala stavba samotného úložiště (Posiva nedatováno). To by mělo být uvedeno do provozu v roce 2020 s plánovaným zapečetěním o sto let později v roce 2120 (Posiva nedatováno). Čím se úspěch Finska liší od neúspěšných pokusů či patových situacích, které lze pozorovat v ostatních zemích, je vcelku patrné. Již v roce 1983, krátce po dostavení svých

prvních dvou jaderných reaktorů, sestavila finská společnost TVO seznam potenciálně vhodných míst pro dlouhodobé úložiště. Následně zahájila diskuzi s obcemi, jež by případnou stavbou úložiště byly zasaženy, čímž zvětšila povědomí a docílila většího pochopení této budoucí problematiky ze strany veřejnosti (Forepoint 2013, s. 15). Největším vliv na úspěch tohoto konceptu však mělo rozhodnutí Radiation and Nuclear Safety Authority of Finland (STUK) blíže prozkoumat pouze ta místa, která byla dobrovolně navrhnutá příslušnými obcemi k přezkoumání. Tento krok lze považovat za klíčový v rámci celého procesu, jelikož u obyvatel vybudoval důvěru v projekt konečného uskladnění jaderného odpadu, čímž zároveň minimalizoval šanci možných protestů ze strany občanů (IAEA 2018). V konečném důsledku tak bylo v roce 1987 ze 101 potenciálních kandidátů nabídnuto 5 oblastí k podrobnějšímu přezkoumání. Po důkladnějších analýzách byly vybrány ke zvážení pouze 3 – Romuvaara v regionu Kuhmo, Kivetty v oblasti Äänekoski a Eurajoki v oblasti Satakunta, kde se nachází dvě ze čtyř finských jaderných elektráren. Po sedmi letech, během kterých byly vypracovány studie jednotlivých oblastí a finálním diskuzím s jednotlivými zástupci oblastí, byla za nejvhodnější oblast vybrána Eurajoki. Rok po parlamentárním schválení projektu v květnu roku 2001 došlo k zahájení prací (Forepoint 2013, s. 15,16). V roce 2004 došlo k zahájení konstrukcí podzemní laboratoře, která se později stala součástí dlouhodobého úložiště. V letech 2009 -2010 došlo ke kritice možného rozšíření tohoto úložiště ze strany švédského geologa Nils-Axela Mörnera a finského profesora geologie Mattiho Saarnista zpochybňující integritu masivu na ostrově Olkiluoto. Tato kritika odstartovala debatu na téma bezpečnosti, na základě níž došlo k započatí dalších výzkumných prací (Herman Damveld a Dirk Bannik 2012, s. 9,10). V roce 2015 došlo na základě obdržených dat k udělení stavebního povolení pro finální část úložiště, jehož konstrukce započala o rok později. V dubnu 2017 došlo k prvnímu testování

funkčnosti integrovaných systémů, jehož výsledky by měly být k dispozici v roce 2022. Předpokládané spuštění prvního dlouhodobého úložiště je předpokládáno v roce 2023 (World Nuclear News 2018).

6.1.5 Francie

Francie si se silným náskokem – téměř 20 % před druhým Slovenskem – drží světové prvenství v podílu jaderné energetiky na produkci elektřin (World Bank Group 2014). Se svými 58 reaktory totiž pokrývá více než 70 % veškeré produkce elektřiny. Tento podíl se však do budoucna drasticky sníží. Nynější prezident francouzský Emmanuel Macron se totiž rozhodl pokračovat v energetickém plánu předchozího prezidenta Hollanda, který pro jadernou energetiku stanovil 50% limit v energetickém mixu. Macron ve svém proslovu v Elysejském paláci uvedl, že do roku 2035 plánuje odstavit 14 jaderných reaktorů. Jako první budou již na jaře roku 2020 odstaveny dva reaktory v jaderné elektrárně Fessenheim ve východní Francii. Do roku 2028 k dojde k postupnému odstavení dalších čtyřech. Zbytek energetické přeměny pak bude záviset na rozvoji energetiky obnovitelných zdrojů (World Nuclear News 2018a).

Vzhledem ke své silné pozici a důležité roli ve francouzské energetice započalo vytyčování již v roce 1980. Na rozdíl od Finska však do rozhodování nebyla zapojena veřejnost, což se nakonec stalo tomuto prvotnímu projektu osudným. V roce 1991 tak došlo k sepsání zákona o jaderném odpadu s názvem Bataille Act. S ním se přístup kompletně změnil přístup státu k této problematice stanovením tří základních cílů: informování veřejnosti, její zapojení do diskuze a usnadnění procesu rozhodnutí o dlouhodobých úložištích vypracováním podrobných geologických dat v oblastech, které projevíly zájem o projekt. Vypracováním geologických dat byla pověřena národní agentura pro zpracování jaderného odpadu ANDRA a úřad pro geologický výzkum BRGM. V roce 1996 byly navrženy tři lokace

pro výstavbu podzemních výzkumných laboratoří. Po veřejných slyšeních v roce 1997 potvrdila vláda prozkoumání dvou masivů- jilovcovitého poblíž vesnice Bure v okrese Meuse a žulovitého v mezinárodní podzemní výzkumné laboratoři (Forepoint 2013, s. 16).

Roku 2000 v Bure započaly práce na podzemní výzkumné laboratoři. V hloubce mezi 445 a 490 metry bylo vykopáno přes jeden kilometr tunelů. V následujících letech došlo k průzkumným vrtům v a okolo oblasti laboratoře. Zároveň došlo k rozhodování mezi jednotlivými koncepty dlouhodobých úložišť a technologiemi použitými při konečném zpracování odpadu. V roce 2005 došla ANDRA k závěru, že podzemní uskladnění jak středně aktivního tak vysokoaktivního jaderného odpadu je možné. Na základě těchto závěrů byl rok na to vydán tzv. Planning Act, který označil hlubokozemní úložiště za preferovanou metodu vypořádání se s jaderným odpadem (Forepoint 2013, s. 17,18).

V rámci tohoto zákona byl započat extensivní výzkum pokrývající tři výzkumné oblasti: separace a transmutace radionuklidů s dlouhou životností, hlubokozemní úložiště pro vysokoaktivní odpad a skladování jaderného odpadu. Agentura ANDRA byla pověřena dohledem nad vývojem a vznikem dlouhodobého hlubokozemního úložiště. Za zbytek výzkumu je zodpovědná francouzská komise pro alternativní zdroje a jadernou energii CEA. Všechny tři oblasti výzkumu byly financovány z poplatků placených jadernými společnostmi v závislosti na kWh vyprodukované elektřiny (Radioactivity.eu.com nedatováno).

Ilustrace 8



Roku 2011 po řízení s místními zástupci bylo společnosti ANDRA uděleno povolení pokračovat ve výzkumné činnosti v podzemní výzkumné laboratoři až do roku 2030. Ta se zaměřila na 30 km² rozlehlý areál s potenciálem pro vznik dlouhodobého úložiště vysokoaktivního jaderného odpadu nacházející se v blízkosti podzemní výzkumné laboratoře v Bure (viz Ilustrace 8). Tento projektu, který je od roku 2012 znám pod jménem Cigéo, se v roce 2013 v průběhu veřejné debaty v rámci průzkumu veřejného mínění setkal s hlasitým protestem, kvůli kterému bylo jednání odročeno a nakonec i vedeno online (OECD a NEA 2017, s. 9,10). Větších protestů se však dočkala až později v letech 2017 a 2018, kdy policie byla nucena vyklidit tábor se stovkami demonstrantů, kteří zde protestovali proti budoucí stavbě úložiště (De Clercq 2018). O jeho stavební

povolení by se mělo rozhodovat v polovině roku 2019. Započetí konstrukce je stanoveno na 2022 (Enerdata 2017).

6.1.6 ČR

Česká republika po incidentu v jaderné elektrárně ve Fukushima na rozdíl od sousedního Německa nezapočala žádnou energetickou přeměnu na obnovitelné zdroje, nýbrž má naopak zájem postavit do roku 2060 až 4 nové jaderné reaktory (Osička a Černocho 2017, s. 1). Navzdory tomu, že Česká republika patří mezi země s největší podporou jaderné energetiky, otázka dlouhodobých úložišť je předmětem sporů. Vybírání místa jeho výstavby trvá již přes 20 let a opozice vůči jeho vybudování po zveřejnění prvního seznamu předběžně vybraných lokalit v roce 2003 a získání povolení pro geologický průzkum v 2014 silně narostla (Ocelík et al. 2017, s. 2). Vybranými lokacemi jsou v současnosti: Kraví Hora (granulit), Horka (durbachit), Na Skalním, Hrádek (granit), Čihadlo (granit), Janoch, Magdaléna (syenit), Březový potok (granodolit) a Čertovka (granit) - (viz. Ilustrace 9) (SÚRAO 2019). Z těchto devíti mají být do roku 2020 vybrány dvě lokality k finálnímu zvážení. Avšak, stejně jako v ostatních zemích i toto datum může být vzhledem k tlaku veřejnosti posunuto.



14

6.2 Mezinárodní úložiště

Existují však země, na jejichž území nejsou vhodné geologické podmínky nebo země s nedostatečným rozpočtem pro uskutečnění takového projektu. V takových případech je jedinou možnou volbou mezinárodní úložiště, koncept prvně zmíněn v roce 1980 v rámci Nuclear Fuel Cycle Evaluation od International Atomic Energy Agency a znovu prezentován na Valném shromáždění OSN v roce 2003. (World Nuclear Association 2016a). Od doby první zmínky mezinárodního úložiště došlo k několika pokusům o uskutečnění tohoto nebo podobného projektu. Většina z nich se byla ukončena v průběhu vyjednávání, přičemž část z nich vyjednávání ani nedosáhla. Důvodem byla povětšinou neshoda partnerů v určitých bodech projektu nebo tlak ze strany veřejnosti či politický skupin.

¹⁴ Převzato: (nehcemeuloziste.cz 2019)

6.2.1 80. léta

Čína

Za první lze považovat plány Číny o mezinárodní úložiště v poušti Gobi. Došlo i k zahájení jednání ze strany Rakouska, které hledalo konečné úložiště pro svůj plánovaný reaktor Zwentendorf. Vzhledem ke zrušení rakouského projektu však byla tato jednání ukončena. Ostatní návrhy zemím s jaderným odpadem byly přijaty negativně (Internationale Atomenergie-Organisation 2004, s. 12).

Austrálie

Jako další, v roce 1983, australská vláda si vyžádala od vyhotovení zprávy od Australian Science and Technology Council týkající možné role Austrálie v oblasti jaderné energetiky. Tato zpráva doporučila nejen nadále těžit australský uran, jehož ložiska jsou největší na světě, ale zároveň se zapojit i do ostatních stádií nukleárního cyklu, jakými jsou například obohacování uranu či uskladňování jaderného odpadu. Tato skutečnost v budoucnu vedla k mezinárodním výzkumům týkajících se zpracování jaderného odpadu (Synroc Study Group), započala hledání vhodného místa pro dlouhodobá úložiště a odstartovala mezinárodní spolupráci na jejich tvorbě známou jako Pangea Project (Internationale Atomenergie-Organisation 2004, s. 12).

6.2.2 90. léta

Výše zmíněný projekt byl iniciován australskou skupinou Synroc study group. Celý projekt však financovaly Kanada, Spojené království, Švýcarsko a USA. Cílem tohoto projektu bylo vytyčení světových regionů s geologickým složením vhodným svými izolačními vlastnostmi. Největší důraz byl však kladen na Austrálii s důrazem kladeným na Austrálii a samotné výsledky projektu podpořily roli Austrálie jakožto mezinárodního ložiska jaderného odpadu. Tato skutečnost vedla k vypracování detailního konceptu možného úložiště. Předčasný únik informací ohledně tohoto projektu však vyvolal silnou opozici jak

v politických sférách tak i veřejnosti. I přesto, že koncept jako takový však obdržel trvalou celosvětovou podporu vědecké obce, došlo po uzavření australské části projektu k jeho definitivnímu ukončení (Internationale Atomenergie-Organisation 2004, s. 13).

USA a Německo

Na počátku 90. let byl jadernými institucemi USA a Německa vypracován koncept mezinárodního úložiště pro uskladnění a znovupoužití jaderného odpadu a plutonia (International Monitored Retrievable Storage). I když tento koncept byl představen na několika konferencích, nikdy nedošlo k zahájení skutečného jednání (Internationale Atomenergie-Organisation 2004, s. 9).

Maršallov ostrovy

V roce 1995 navrhl prezident Maršallových ostrovů toto souostroví jakožto vhodnou lokaci pro úložiště. Pro umožnění tohoto projektu byl dokonce vydán pozměňovací zákon upravující pravidla pro import odpadu do země. Část z výnosů z tohoto zařízení měla být použita na dekontaminaci zóny, kde byly v minulosti testovány jaderné zbraně. Tento návrh se však dočkal silné opozice jak ze strany okolních států, tak i ze strany vlády Spojených států amerických. Výsledkem toho byl projekt pozastaven a s následným příchodem nové vlády i zrušen (Internationale Atomenergie-Organisation 2004, s. 13).

Wake a Palmyra Island

Dalším příkladem pokusu uskladnit jaderný odpad v Mikronésii byla společná iniciativa ruské společnosti Minatom a americké US Fuel and Security v polovině 90. let o vytvoření úložiště na Wake Island. Později v roce 1996 byl návrh změněn na Palmyra Island, který měl v té době soukromého vlastníka. Ostrov však byl čtyři roky na to odkoupen společností US Nature Conservancy. Ta udělala z ostrova přírodní rezervaci. Došlo tak k návratu k původnímu návrhu, od kterého však bylo upuštěno z důvodu silné opozice ze strany americké vlády. Tento neúspěšný pokus však nakonec vedl ke vzniku spolupráce mezi

Ruskem a USA, nadace s názvem Non-Proliferation Trust (Internationale Atomenergie-Organisation 2004, s. 13).

6.2.3 Počátek 21. století

Dohoda USA a Ruska

Tato nadace spolu s nadací Minatom Development Trust navrhla výstavbu mezinárodního úložiště na území Ruské federace, do něhož mělo být zpočátku uloženo 10000 tun jaderného odpadu neamerického původu. Značné příjmy měly být vynaloženy na nápravná opatření v Ruské federaci, tvorbu pracovních míst a charitativní účely. I když je tato iniciativa podporována významnými osobnostmi a skupinami, potýká se s vážnými problémy, které je třeba vyřešit. Především je to otázka zpracování jaderného odpadu, kterého je NPT odpůrcem a MDT naopak velkým zastáncem. Strana USA zároveň trvá na dohledu nad financemi projektu v zájmu posílení vzájemné důvěry (Internationale Atomenergie-Organisation 2004, s. 13).

Ruská propozice

Ruská propozice vypracována společností Minatom, která byla v minulosti zapojena do několika jednání týkajících se mezinárodních úložišť, zprvu navrhla dvě možné lokace pro výstavbu mezinárodního úložiště a sice Zheleznogorsk a Krasnokamensk. Oba tyto návrhy sice obdržely silnou podporu ruského parlamentu, u několik ostatních zemích však byl vysloven silný nesouhlas s výstavbou. Výjimkou se ukázaly být Spojené státy americké, jejichž zvyšující se podpora projektu by mohla zvýšit šance na úspěch tohoto projektu (Internationale Atomenergie-Organisation 2004, s. 14). Oblast poblíž města Krasnokamensk byla v roce 2003 oficiálně vyznačena jako místo pro výstavbu úložiště. S ratifikací Vídeňské úmluvy o občanskoprávní odpovědnosti za jaderné škody došlo k posunu v projektu. Nicméně v roce 2006 oznámila ruská společnost Rosatom rozhodnutí

o ukončení importu použitého jaderného paliva cizího původu (World Nuclear Association 2016a).

Kazachstánský návrh

V roce 2001 navrhla kazachstánská vláda možnost vzniku mezinárodního úložiště nízkoaktivního odpadu v regionu Mangystau, který je příhodný svým suchým klimatem, který by zabraňoval migraci radionuklidů. Plánem bylo ho umístit využít rozsáhlý již nevyužívaný hloubený důl v této oblasti, který by byl pro vznik tohoto typu úložiště ideální (Internationale Atomenergie-Organisation 2004, s. 14). Odhadem by tímto způsobem mohl Kazachstán vydělat 30 až 40 miliard dolarů v rozmezí doby 30 let. Nicméně, podmínkou pro jeho vznik by byla změna legislativy, která sice nabyla reálné podoby, ale nedostalo se jí zatím dostatečné podpory. I tak došlo k jednání s IAEA, při němž došlo k vyjádření zájmu o uskutečnění tohoto projektu. Pokud by se tedy podařilo změnu legislativy prosadit, stal by se Kazachstán první zemí, která je ochotná uskladnit cizí radioaktivní odpad na svém území (NTI 2003).

6.2.4 Současné projekty

Austrálie

V roce 2015 oznámila jihoaustralská vláda zřízení Královské komise na téma jaderné energie a s ní spojené problematiky. Tato komise měla za cíl zaměřit na zjištění možností výstavby zařízení určených pro správu a uložení jaderného odpadu v Jižní Austrálii a využití jaderné energie jako takové. Průzkum byl prováděn pro jaderný odpad mající původ v energetice, medicíně a výzkumu (World Nuclear Association 2016b). Sesbíraná data pocházela ze čtyř zdrojů, písemných návrhů, veřejných slyšení, již proběhlých studií a vlastního výzkumu spojeného se zahraničními cestami do zemí plánujících nebo provádějících výstavbu úložišť jaderného odpadu. K tématu se vyjádřilo více než 250 komunit, organizací, zástupců průmyslu a příslušníků vlády a přes sto expertů z Austrálie a

zemí využívajících jadernou energii jako je např. Belgie, Kanada, Finsko, Německo, Jižní Korea a další (Nuclear Fuel Cycle Royal Commission 2016a). Přestože výsledky průzkumu Královské komise neadresovali konkrétní plány pro výstavbu národního úložiště, doporučily však vypracování konkrétního plánu pro mezinárodní úložiště pro středně aktivní a vysoceaktivní jaderný odpad v Jižní Austrálii a geologických výzkumů potřebných pro jeho vznik, všeobecné zjednodušení legislativy týkající se těžení uranu a ukončení existující prohibice jaderných elektráren a zařízení na zpracování uranu za účelem podpory jejich vzniku (Nuclear Fuel Cycle Royal Commission 2016b, s. 169). Ve své zprávě vyjádřila, že stát splňuje veškeré požadavky na bezpečnou výstavbu světového úložiště. Dle odhadů, které nezapočítávají země plánující stavbu vlastních úložišť nebo mající rozpracovaný plán na jejich výstavbu, je celosvětově uloženo 90000 tun použitého paliva a 270000 metrů čtverečních středně aktivního jaderného odpadu představujících přibližně čtvrtinu vyprodukovaného použitého jaderného paliva a středně aktivního odpadu. Jeho množství se však navyšuje a dle propočtů by mohla tato množství k roku 2090 vzrůst až na 276500 tun paliva a 782000 m³ odpadu. Při započítání výdajů na zapečetění a následné monitorování by mohl výnos takového zařízení dosahovat více jak 100 miliard australských dolarů (World Nuclear Association 2016a). I tento projekt se však logicky dočkal svým odpůrců, kteří zpochybňují jeho proveditelnost, bezpečnost, ale také i cenu. Ta je údajně nesprávně odvozena od nereálného konceptu spojených úložišť středně aktivního a vysoceaktivního jaderného odpadu, a tudíž i ponížena o téměř 10 miliard dolarů. Odpůrci dále zpochybňují i bezpečnost transportu a reálnost množství ukládaného odpadu, které by mělo být zhruba osmkrát větší než ve finském národním úložišti (Noonan 2016).

ARIUS

Již zmíněný Pangea Project i přes své ukončení v roce 2001 vzbudil zájem světové odborné veřejnosti. Zároveň inspiroval 22. 2. 2002 skupinu pěti evropských organizací; ONDRAF Waste Agency (Belgie), Kozloduy Power Plant (Bulharsko), PURAM Waste Agency (Maďarsko), Obayashi Corporation (Japonsko) a Colenco Power Engineering (Švýcarsko); k založení asociace ARIUS (Association for Regional and International Underground Storage). Hlavním cílem tohoto uskupení je propagovat koncepty zahrnující mezinárodní a regionální, společensky přijatelná řešení pro environmentálně šetrné, bezpečné a ekonomicky přijatelné dlouhodobé úložiště jaderného odpadu (Arius 2002). Později se do asociace zapojily i skupiny COVRA Waste Agency (Nizozemí), ARAO Waste Agency (Slovinsko) a další země, které však následkem omezení v rozpočtu nebo vlastních národních strategických plánů spolupráci ukončily (Arius nedatováno).

V roce 2003 ARIUS inicioval pilotní projekt pro evropská regionální úložiště s názvem SAPIERR (Strategic Action Plan for Implementation of European Regional Repositories). Projekt byl schválen Evropskou komisí a v průběhu následujících dvou let tak napomohl pochopit problematiku regionálních úložišť. Přestože výsledky projektu umožnily spolupráci jednotlivých regionů při identifikaci úložišť, neobsahovaly konkrétní případy vytyčení vhodných míst. O rok později, v roce 2006, vznikla další studie, která byla financována Evropskou komisí, zkoumající proveditelnost evropských regionálních úložišť. Podpořením této studie tak Evropská Unie projevila svůj názor, že budování výhradně národních úložišť je nejen nevhodné ale především nebezpečné jak z hlediska environmentálního tak i bezpečnostního. Do projektu se zapojily IAEA, Rusko a USA se snahou vytvořit mezinárodní kooperaci v rámci palivového cyklu se zaměřením na sdílení úložiště vysokoaktivního odpadu s cílem zvýšení globální bezpečnosti. Výsledky projektu

byly předloženy v rámci symposia v lednu roku 2009 v Bruselu zástupcům 21 zemí. Podrobně popsaly možnosti sdílených regionálních úložišť, organizační a právní aspekty, ekonomický dopad, bezpečnost, šetrnost k životnímu prostředí a přístup veřejné a státní sféry ke sdíleným úložištím (World Nuclear Association 2016a).

ERDO

Výsledkem tohoto symposia byla iniciativa pro vznik organizace ERDO (European Repository Development Organisation) ještě též rok. Jejím cílem je vytvoření kooperace evropských organizací zpravujících jaderný odpad. Prvním krokem této organizace bylo založení finančně soběstačné skupiny ERDO-WG(Working Group). Ta operuje pod záštitou asociace ARIUS a Švýcarska a správou nizozemské agentury COVRA. Skupina byla složena ze zainteresovaných zemí, jejichž úkolem bude vytvořit konsensuální model pro ERDO na základě poznatků z projektu SAPIERR. ERDO-WG tak koncem roku 2011 připravila pod vedením zástupců nizozemských a slovenských národních programů sérii dokumentů, které vymezily možnou strukturu, metody řízení a možnosti financování agentury ERDO. Tyto dokumenty byly navrženy evropským vládám jevícím zájem o zapojení se do toho projektu a současně poskytnuty jakožto zdroj informací zemím již rozhodnutým pro čistě národní úložiště jaderného odpad. Konsensuální model zároveň navrhl vytvoření sesterské organizace seskupující země, jež plánují nebo zvažují stavbu čistě národních úložišť. Dokumentaci se dostalo mnoha pozitivních ohlasů a vznik organizace ERDO přilákal pozornost mnoha dalších zemí nad rámec členů asociace ARIUS. Některé z nich (ČR, Estonsko, Lotyšsko) se však nepřipojily do výše zmíněné skupiny ERDO-WG (World Nuclear Association 2016a). V současnosti jsou jejími Dánsko, Itálie, Nizozemí, Norsko, Polsko, Rakousko a Slovinsko (ERDO - WG nedatováno). V roce 2014 ARIUS společně se svými evropskými partnery navrhli, aby jejich direktiva COMS-WD (Cooperation between

Member States Responding to the Waste Directive) byla součástí evropského rámcového programu Horizon 2020. Návrh však byl odmítnut vzhledem k tomu, že byl mimo rámec idejí tohoto programu. Přesto však některé země zahrnují dvojí přístup ve svých strategických plánech reagujících na EU Waste Directive of 2011. (World Nuclear Association 2016a).

Mimo evropský kontinent se zaměřila jak asociace ARIUS, tak organizace ERDO na vyhodnocení toho, zda je možné uskutečnit podobná společná řešení i v oblasti Zálivu, Blízkého východu, Severní Afriky ale také Jihovýchodní Asie. Jejich hlavním cílem bylo vyhodnotit zájmy jednotlivých regionů o regionální úložiště. Jejich studie z roku 2011, která byla oceněna dvěma americkými nadacemi, nastínila velkou možnost spolupráce v rámci zemí GCC (Rady pro spolupráci arabských států v Zálivu). Na jaře roku 2012 tak došlo k prvnímu setkání Federal Authority for Nuclear Regulation (FANR) a Spojených arabských emirátů. Ty ze zemí GCC mají nejrozvinutější nukleární program a již oficiálně implementují dvojí přístup k ukládání jaderného odpadu. Tentýž rok v listopadu na toto setkání navázalo další probíhající v Tunisu, které se vztahovalo na celý region MENA (region Blízkého východu a Severní Afriky). Následná jednání nastínila možnost spolupráci na sdíleném úložišti. ARIUS vypočítal, že cena takového úložiště by se pohybovala kolem 4 miliard dolarů. Jeho stavba by se však obrovsky vyplatila, a to především z hlediska bezpečnosti. Nicméně by nebyla potřeba před rokem 2080 (World Nuclear Association 2016a).

7 Diskuze

7.1 Reálnost mezinárodních úložišť

Proveditelnost již zmíněných mezinárodních nebo regionálních úložišť je však silně zpochybnitelná. Jednou z velkých překážek v prosazení nejen mezinárodního, ale také národního úložiště je bezpochyby transport. Ten je v případě Austrálie ale i Spojených států amerických označen za velmi rizikový. Hlavními důvody jsou pravděpodobnost nehody a nelehké zabezpečení vůči možnému teroristickému útoku (Noonan 2016). Z předchozí kapitoly je také vyzorovatelné, že v mnoha případech je pro realizaci zapotřebí změny v legislativě daného státu, jako tomu je například v případě Kazachstánu (NTI 2003) či Austrálie. I když již samotná změna legislativy představuje obtížně překonatelnou a zdlouhavou překážku, není zdaleka tím hlavním důvodem. Tím bezpochyby je sociálněpolitická stránka věci. Vzhledem době potřebné na realizaci takového projektu dochází během jejího průběhu k změnám ve vládách a celkových vládních postojích, jako je tomu v případě Jižní Koreji, kdy s nástupem nového presidenta došlo ke kompletnímu obratu v jaderné politice, a zároveň i ke změnám v postojích a názorech konzultované veřejnosti (Lim 2019), jako tomu je ve Francii, kde místní obyvatelstvo navzdory dřívějšímu souhlasu a přes štědré kompenzace od státu znesnadňuje uskutečnění projektu Cigeo (Welle (www.dw.com) 2018).

7.2 Kooperace s obyvatelstvem

Jak je zřejmé z předchozí podkapitoly, obyvatelstvo hraje při umístování a konstrukci úložišť jaderného odpadu důležitou až klíčovou roli a je schopno i v případě menšinové opozice zabrzdit či dokonce ukončit postup plánovaného projektu. Příkladem může být USA, kde stát Nevada udržuje již téměř 10 let projekt Yucca Mountain v patové situaci (Jennewein 2018) nebo také Francie, kde prvotní fáze projektu vymezování úložišť nezahrnula jednání s místními komunitami, což ve finále způsobilo ukončení původního plánu (Forepoint 2013, s. 17).

Souhlas nebo lépe dobrovolná účast komunity, na jejímž území je stavba plánována, je tedy

nezbytnou součástí jejího hladkého průběhu. Samotné zapojení místních obyvatel nebo jejich zástupců, stejně jako vyplácení kompenzací, které často pro zainteresované obce představují nemalý kapitál (Welle (www.dw.com) 2018), však samo o sobě nestačí. Na příkladu ČR, kde Masarykova univerzita v roce 2017 prováděla průzkum veřejného mínění, lze vyzorovat, že největší podíl tázaných obcí (38,44 %) zpochybňuje bezpečnost úložišť a věří, že existují alternativní řešení této problematiky, zatímco nejnižší počet obcí (28,22 %) je nespokojen s nedostatečnou spoluprací státu s jejich zástupci (Ocelík et al. 2017, s. 7)i. Je tedy zjevné, že součástí diskuzí se zástupci obcí by měla být i osvěta obyvatelstva a přiblížení problematiky širší veřejnosti, která by měla za cíl zvýšit pochopení pro věc ze strany obyvatel a zároveň tak snížit riziko budoucích protestů.

7.3 Funkčnost konceptu hlubokozemních úložišť

Opozicí často používaný argument ohledně neprokazatelné bezpečnosti podpovrchových úložišť jaderného odpadu však vyvolává otázku, zda vůbec tento koncept dokáže dosáhnout svých konceptuálních závazků a po dobu desetitisíců let izolovat radioaktivní odpad od biosféry. Je jednoznačné, že žádný odhad není 100% přesný a žádná technologie 100% spolehlivá. Právě proto je nejprve zapotřebí podívat se na existující alternativy, po kterých část opozice volá. Kromě již zmíněných hlubokozemních úložišť existuje očividná možnost ponechat jaderný odpad v povrchových úložištích, kde se nyní nachází, ve speciálních robustních kontejnerech. Ty dle některých odhadů dokážou spolehlivě fungovat přes 100 let. To však vzhledem k poločasům rozpadu některých aktinoidů zdaleka nestačí; ani v případě předchozí transmutace těchto prvků. Poslední alternativou by bylo prosté vynesení jaderného odpadu do vesmíru. Toto zdánlivě jednoduché řešení však představuje silně finančně náročnou operaci, jejíž neúspěch by vyústil v ekologickou katastrofu (nap.edu 2001, s. 115–122). Lze tedy konstatovat, že koncept hlubokozemních úložišť a použití masivu jako přirozené bariéry, i přes

své možné avšak neprokázané nedostatky, představuje momentálně to nejlepší řešení problematiky jaderného odpadu.

Pro podporu tohoto tvrzení však kromě simulačních dat z podzemních výzkumných laboratoří lze použít i objev přírodního úkazu z poloviny minulého století. Tímto úkazem je „přírodní jaderný reaktor“, jehož stopy byly objeveny v Republice Gabon v Západní Africe. Jedná se o místo, kde před přibližně 2 miliardami let došlo ke spontánnímu jadernému štěpení (Ibekwe et al. 2020, s. 2). K tomuto závěru došli vědci v roce 1972 na základě nezvykle nízké koncentrace uranu-235, v některých případech až 0,44 % oproti obvyklým 0,72 %. Kromě této anomální koncentrace byly navíc zjištěny stopy xenonu v okolním fosforečnanu hlinitém a dalších produktů štěpných reakcí v uraninitu, což lze použít jako důkaz o funkčnosti okolního masivu jakožto přirozené bariéry.

7.4 Příčiny posunutí plánovaných termínů

I když se pravděpodobně každý stát setkal nebo setká se zdržením z důvodu nutnosti dalšího či důkladnějšího výzkumu či dodatečného získávání dat v případech nejasností, jako v případě Finska (Herman Damveld a Dirk Bannik 2012, s. 9,10), a tím způsobeným posutím termínů výstavby, není to zdaleka jediný důvod pro změnu původních plánů. Dalším z důvodů může být politická opozice, která může mít mnohem vážnější dopad na posunutí původních plánů. Příkladem může být Yucca Mountain Repository v USA, jež mělo být uvedeno do provozu již v roce 2010. Na základě protestů ze strany státu Nevada došlo k ukončení projektu prezidentem Obamou (Herman Damveld a Dirk Bannik 2012, s. 3,31). Projekt byl sice později obnoven prezidentem Trumpem, k žádnému pokroku však vzhledem k trvajícím protestům nedošlo (Jennewein 2018). V případě Francie došlo k posunutí původního termínu z roku 2010 na 2020 z důvodu protestu široké veřejnosti (Forepoint 2013, s. 17). Ten byl způsoben jejím nezahrnutím do rozhodovacího procesu, což nastiňuje sociopolitickou povahu tohoto tématu.

8 Závěr

Je nepopíratelným faktem, že lidstvo stojí před nelehkým a velmi těžko představitelným úkolem.

Úkolem zajistit bezpečné uložení a izolaci nebezpečného odpadu na dobu řádově delší než trvání ten nejdéle existující civilizace, dobu pokrývající téměř polovinu existence posledního lidského vývojového článku homo sapiens sapiens, dobu pro jakéhokoliv člověka nepředstavitelnou. Právě tato vlastnost jaderného odpadu znesnadňuje jakékoliv pokusy o simulace, které i přes uměle ztížené podmínky nedokáží předpovědět pohyb radionuklidů, chování či funkčnost jednotlivých bariér a vyhodnotit získaná geochemická data na takovou dobu dopředu, aby nebyla lehce zpochybnitelná. Právě tato skutečnost v lidech budí strach z neznámého, neprobádaného a neozkoušeného. Ten přizívá o nevyvrácené mýty, nepravdy či zkreslené údaje kolující v dostupných zdrojích, spolu s absencí osvěty v řadách veřejnosti, která se často podílí na rozhodování, tvoří jádro problému samotného. Právě z tohoto důvodu lze říci, že přiblížení této problematiky široké veřejnosti je klíčové pro její vyřešení. Lze tedy prohlásit, že v případě konstrukce dlouhodobých úložišť jaderného se jedná kromě technologické výzvy také a možná i především o sociopolitický problém, čemuž by měli země, které úložiště plánují nebo již konstruují nebo teprve o jeho existenci usilují, přizpůsobit.

V řádu příštích pěti let by mělo ve Finsku dojít ke spuštění celosvětově prvního dlouhodobého úložiště vysokoaktivního jaderného odpadu na světě. „Finský zázrak“ by tak ostatním zemím poskytl návod na úspěch, který by mohl napomoci docílit uskutečnění tohoto nezbytného projektu. S jeho spuštěním by však teprve započala skutečná zkouška, symbolicky představující doposavad ten největší pokus lidstva o odolání síle živlů a času.

Seznam použité literatury

ARIUS, 2002. *Arius : Association for Regional and International Underground Storage* [online] [vid. 2019-05-26]. Dostupné z: <http://www.arius-world.org/origins.html>

ARIUS, nedatováno. *Arius : Association for Regional and International Underground Storage* [online] [vid. 2019-05-26]. Dostupné z: <http://www.arius-world.org/membership.html>

BRADY, Pat, Bill ARNOLD, Susan ALTMAN a Palmer VAUGHN, 2012. Deep Borehole Disposal of Nuclear Waste: Final Report. 31.

BRIGGS, Scott, Jennifer MCKELVIE, Brent SLEEP a Magdalena KROL, 2017. Multi-dimensional transport modelling of corrosive agents through a bentonite buffer in a Canadian deep geological repository. *Science of The Total Environment* [online]. **599–600**, 348–354. ISSN 0048-9697. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2017.04.242

BUNN, Matthew, John P HOLDREN, Allison MACFARLANE, Susan E PICKETT, Atsuyuki SUZUKI, Tatsujiro SUZUKI a Jennifer WEEKS, 2001. Interim Storage of Spent Nuclear Fuel. 145.

CLEVELAND, Cutler J. a Christopher G. MORRIS, 2013. *Handbook of Energy: Chronologies, Top Ten Lists, and Word Clouds*. B.m.: Elsevier. ISBN 978-0-12-417019-3.

CRAIG, Paul P., 1999. HIGH LEVEL NUCLEAR WASTE: The Status of Yucca Mountain. *Annual Review of Energy and the Environment* [online]. **24**(1), 461–486. ISSN 1056-3466. Dostupné z: doi:10.1146/annurev.energy.24.1.461

DE CLERCQ, Geert, 2018. Quiet no more, French village becomes center of anti-nuclear protest. *Reuters* [online]. [vid. 2019-06-21]. Dostupné z: <https://www.reuters.com/article/us-france-nuclearpower-waste-idUSKBN1HP1SC>

DELAY, Jacques, Paul BOSSART, Li Xiang LING, Ingo BLECHSCHMIDT, Mats OHLSSON, Agnès VINSOT, Christophe NUSSBAUM a Norbert MAES, 2014. Three decades of underground research laboratories: what have we learned? *Geological Society, London, Special Publications* [online]. **400**(1), 7–32. ISSN 0305-8719, 2041-4927. Dostupné z: doi:10.1144/SP400.1

EDMONDS, H.N., 2001. *Nuclear Fuel Reprocessing - an overview | ScienceDirect Topics* [online] [vid. 2019-07-11]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/nuclear-fuel-reprocessing>

ENERDATA, 2017. *The Cigeo nuclear waste project start postponed to 2022 (France) | Enerdata* [online] [vid. 2019-06-21]. Dostupné z: <https://www.enerdata.net/publications/daily-energy-news/cigeo-nuclear-waste-project-start-postponed-2022-france.html>

ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, 2018. *The Nuclear Fuel Cycle - Energy Explained, Your Guide To Understanding Energy - Energy Information Administration* [online] [vid. 2019-06-22]. Dostupné z: https://www.eia.gov/energyexplained/index.php?page=nuclear_fuel_cycle

ERDO - WG, nedatováno. *ERDO - Working Group* [online] [vid. 2019-05-27]. Dostupné z: <http://www.erdo-wg.com/index.html>

FOREPOINT, 2013. Geological Disposal – Overview of international siting processes | RWM Tools. *NDA* [online] [vid. 2019-06-18]. Dostupné z: <https://rwm.nda.gov.uk/publication/geological-disposal-overview-of-international-siting-processes/>

FROGGATT, Antony, Julie HAZEMANN, Tadahiro KATSUTA, Andy STIRLING, Ben WEALER, Phil JOHNSTONE a M V RAMANA, 2018. *The World Nuclear Industry*. 289.

HERMAN DAMVELD a DIRK BANNIK, 2012. Management of spent fuel and radioactive waste. *Nuclear Monitor*. 40. ISSN 1570-4629.

HORVATH, Akos a Elisabeth RACHLEW, 2016. Nuclear power in the 21st century: Challenges and possibilities. *Ambio* [online]. **45**(Suppl 1), 38–49. ISSN 0044-7447. Dostupné z: [doi:10.1007/s13280-015-0732-y](https://doi.org/10.1007/s13280-015-0732-y)

CHRONEOS, A., M. J. D. RUSHTON, C. JIANG a L. H. TSOUKALAS, 2013. Nuclear wasteform materials: Atomistic simulation case studies. *Journal of Nuclear Materials* [online]. **441**(1), 29–39. ISSN 0022-3115. Dostupné z: [doi:10.1016/j.jnucmat.2013.05.012](https://doi.org/10.1016/j.jnucmat.2013.05.012)

IAEA, 2018. *Solving the Back End: Finland's Key to the Final Disposal of Spent Nuclear Fuel* [online] [vid. 2019-06-18]. Dostupné z: <https://www.iaea.org/newscenter/news/solving-the-back-end-finlands-key-to-the-final-disposal-of-spent-nuclear-fuel>

IBEKWE, R. T., C. M. COOLING, A. J. TRAINER a M. D. EATON, 2020. Modeling the short-term and long-term behaviour of the Oklo natural nuclear reactor phenomenon. *Progress in Nuclear Energy* [online]. **118**, 103080. ISSN 0149-1970. Dostupné z: [doi:10.1016/j.pnucene.2019.103080](https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2019.103080)

INOUE, Tadashi, Tadafumi KOYAMA a Yasuo ARAI, 2011. State of the Art of Pyroprocessing Technology in Japan. *Energy Procedia* [online]. **7**, Asian Nuclear Prospects 2010, 405–413. ISSN 1876-6102. Dostupné z: [doi:10.1016/j.egypro.2011.06.053](https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.06.053)

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 2008. *Spent fuel reprocessing options*. ISBN 978-92-0-103808-1.

INTERNATIONALE ATOMENERGIE-ORGANISATION, ed., 2004. *Developing multinational radioactive waste repositories: infrastructural framework and scenarios of cooperation*. Vienna: IAEA. IAEA-TECDOC, 1413. ISBN 978-92-0-112204-9.

INTERNATIONALE ATOMENERGIE-ORGANISATION, ed., 2005. *Country nuclear fuel cycle profiles*. 2. ed. Vienna: Internat. Atomic Energy Agency. Technical reports series / International Atomic Energy Agency, 425. ISBN 978-92-0-114803-2.

JENNEWEIN, Madeleine, 2018. Looking for a Trash Can: Nuclear waste management in the United States. *Science in the News* [online]. [vid. 2019-05-19]. Dostupné z: <http://sitn.hms.harvard.edu/flash/2018/looking-trash-can-nuclear-waste-management-united-states/>

KELLEHER, David S., 2017. Public Participation in the Siting of Nuclear Waste Facilities: International Lessons and the Korean Experience *. *Korea Observer; Seoul*. **48**(2), 277–323. ISSN 00233919.

KOMENDA, Ed, 2019. Push to make Yucca Mountain nuclear dump stalls. *rgj* [online] [vid. 2019-06-14]. Dostupné z: <https://www.rgj.com/story/news/2019/05/21/yucca-mountain-nuclear-waste-storage-stalled-washington-dc/3760240002/>

LIM, Eunjung, 2019. South Korea's Nuclear Dilemmas. *Journal for Peace and Nuclear Disarmament* [online]. **0**(0), 1–22. ISSN null. Dostupné z: doi:10.1080/25751654.2019.1585585

LIU, Jinfeng, Fu WANG, Qilong LIAO, Hanzhen ZHU, Dongsheng LIU a Yongchang ZHU, 2019. Synthesis and characterization of phosphate-based glass-ceramics for nuclear waste immobilization: Structure, thermal behavior, and chemical stability. *Journal of Nuclear Materials* [online]. **513**, 251–259. ISSN 0022-3115. Dostupné z: doi:10.1016/j.jnucmat.2018.11.002

LUO, Shangeng, Liyu LI, Baolong TANG a Dexi WANG, 1998. Synroc immobilization of high level waste (HLW) bearing a high content of sodium. *Waste Management* [online]. **18**(1), 55–59. ISSN 0956-053X. Dostupné z: doi:10.1016/S0956-053X(97)00019-6

NAP.EDU, 2001. *Disposition of High-Level Waste and Spent Nuclear Fuel: The Continuing Societal and Technical Challenges* [online] [vid. 2019-07-16]. Dostupné z: doi:10.17226/10119

NEHCEMEULOZISTE.CZ, 2019. *Úvod | Nechceme úložiště* [online] [vid. 2019-06-28]. Dostupné z: <http://www.nechcemeuloziste.cz/>

NOONAN, David, 2016. *Plan for an international nuclear waste dump in Australia* [online] [vid. 2019-07-10]. Dostupné z: [/import-waste](#)

NTI, 2003. *Kazakhstan's Proposal to Initiate Commercial Imports of Radioactive Waste | NTI* [online] [vid. 2019-06-03]. Dostupné z: <https://www.nti.org/analysis/articles/kazakhstans-proposal-waste/>

NUCLEAR ENGINEERING INTERNATIONAL, 2014. *Korean repository realised - Nuclear Engineering International* [online] [vid. 2019-06-15]. Dostupné z: <https://www.neimagazine.com/features/featurekorean-repository-realised-4323899/>

NUCLEAR FUEL CYCLE ROYAL COMMISSION, 2016a. *Home | Nuclear Fuel Cycle Royal Commission* [online]. [vid. 2019-05-25]. Dostupné z: <http://nuclearrc.sa.gov.au/>

NUCLEAR FUEL CYCLE ROYAL COMMISSION, 2016b. *Nuclear Fuel Cycle Royal Commission Report*.

NV.GOV, 2012. *The Fight Against Yucca Mountain* [online] [vid. 2019-06-15]. Dostupné z: http://ag.nv.gov/Hot_Topics/Issue/Yucca/

OCELÍK, Petr, Jan OSIČKA, Veronika ZAPLETALOVÁ, Filip ČERNOCH a Břetislav DANČÁK, 2017. Local opposition and acceptance of a deep geological repository of radioactive waste in the Czech Republic: A frame analysis. *Energy Policy* [online]. **105**, 458–466. ISSN 0301-4215. Dostupné z: doi:10.1016/j.enpol.2017.03.025

OECD a NEA, 2017. International Conference on Geological Repositories 2016: Conference Synthesis. 44.

- OJOVAN, Michael I. a William E. LEE, 2011. Glassy Wasteforms for Nuclear Waste Immobilization. *Metallurgical and Materials Transactions A* [online]. **42**(4), 837–851. ISSN 1543-1940. Dostupné z: doi:10.1007/s11661-010-0525-7
- OSIČKA, Jan a Filip ČERNOCH, 2017. Anatomy of a black sheep: The roots of the Czech Republic's pro-nuclear energy policy. *Energy Research & Social Science* [online]. **27**, 9–13. ISSN 2214-6296. Dostupné z: doi:10.1016/j.erss.2017.02.006
- POSIVA, nedatováno. Basics of the final disposal. *Posiva* [online] [vid. 2019a-06-26]. Dostupné z: http://www.posiva.fi/en/final_disposal/basics_of_the_final_disposal
- POSIVA, nedatováno. General Time Schedule for Final Disposal. *Posiva* [online] [vid. 2019b-06-18]. Dostupné z: http://www.posiva.fi/en/final_disposal/general_time_schedule_for_final_disposal
- POSIVA, nedatováno. ONKALO. *Posiva* [online] [vid. 2019c-06-18]. Dostupné z: http://www.posiva.fi/en/final_disposal/onkalo
- POWER TECHNOLOGY, 2018. Does nuclear power have a future in South Korea? *Power Technology / Energy News and Market Analysis* [online]. [vid. 2019-06-15]. Dostupné z: <https://www.power-technology.com/features/nuclear-power-future-south-korea/>
- RADIOACTIVITY.EU.COM, nedatováno. *Radioactivity : Legislative framework* [online] [vid. 2019-06-19]. Dostupné z: http://www.radioactivity.eu.com/site/pages/Cadre_legislatif.htm
- SÚRAO, 2019. Zájmové lokality SÚRAO. *Súrao* [online]. [vid. 2019-06-28]. Dostupné z: <https://www.surao.cz/zajmove-lokality/>
- THORNE, M C, 2012. Is Yucca Mountain a long-term solution for disposing of US spent nuclear fuel and high-level radioactive waste? *Journal of Radiological Protection* [online]. **32**(2), 175–180. ISSN 0952-4746, 1361-6498. Dostupné z: doi:10.1088/0952-4746/32/2/175
- US EPA, OA, 2013. Summary of the Nuclear Waste Policy Act. *US EPA* [online] [vid. 2019-06-04]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/laws-regulations/summary-nuclear-waste-policy-act>
- U.S. GOVERNMENT ACCOUNTABILITY OFFICE, nedatováno. *Key Issues: Disposal of High-Level Nuclear Waste* [online] [vid. 2019-06-04]. Dostupné z: https://www.gao.gov/key_issues/disposal_of_highlevel_nuclear_waste/issue_summary
- VANCE, Eric R., Dorji T. CHAVARA a Daniel J. GREGG, 2017. Synroc development-Past and present applications. *Mrs Energy & Sustainability* [online]. **4**, e8. ISSN 2329-2229. Dostupné z: doi:10.1557/mre.2017.9
- WALLENIUS, Janne, 2019. Maximum efficiency nuclear waste transmutation. *Annals of Nuclear Energy* [online]. **125**, 74–79. ISSN 0306-4549. Dostupné z: doi:10.1016/j.anucene.2018.10.034
- WANG, Ju, Liang CHEN, Rui SU a Xingguang ZHAO, 2018. The Beishan underground research laboratory for geological disposal of high-level radioactive waste in China: Planning, site selection, site characterization and in situ tests. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering* [online]. **10**(3), 411–435. ISSN 1674-7755. Dostupné z: doi:10.1016/j.jrmge.2018.03.002

WASHINGTON EXAMINER, 2018. House votes to advance Yucca Mountain as nuclear waste site. *Washington Examiner* [online] [vid. 2019-06-04]. Dostupné z: <https://www.washingtonexaminer.com/policy/energy/house-votes-to-advance-yucca-mountain-as-nuclear-waste-site>

WELLE (WWW.DW.COM), Deutsche, 2018. The tiny village leading France's anti-nuclear movement | DW | . *DW.COM* [online] [vid. 2019-07-10]. Dostupné z: <https://www.dw.com/en/the-tiny-village-leading-frances-anti-nuclear-movement/a-42885537>

WORLD BANK GROUP, 2014. *Electricity production from nuclear sources (% of total) | Data* [online] [vid. 2019-06-19]. Dostupné z: https://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.NUCL.ZS?most_recent_value_desc=true

WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, 2016a. *International Nuclear Waste Disposal Concepts: Nuclear Waste : Nuclear Waste Disposal : world-nuclear.org - World Nuclear Association* [online] [vid. 2019-05-19]. Dostupné z: <http://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-wastes/international-nuclear-waste-disposal-concepts.aspx>

WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, 2016b. *Radioactive waste repository & store for Australia - World Nuclear Association* [online] [vid. 2019-05-25]. Dostupné z: <http://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/appendices/radioactive-waste-repository-store-for-australia.aspx>

WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, 2017a. *MOX, Mixed Oxide Fuel - World Nuclear Association* [online] [vid. 2019-06-22]. Dostupné z: <http://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/fuel-recycling/mixed-oxide-fuel-mox.aspx>

WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, 2017b. *Nuclear Fuel Cycle Overview - World Nuclear Association* [online] [vid. 2019-06-22]. Dostupné z: <http://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/introduction/nuclear-fuel-cycle-overview.aspx>

WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, 2017c. *Treatment and Conditioning of Nuclear Wastes - World Nuclear Association* [online] [vid. 2019-06-22]. Dostupné z: <https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-wastes/treatment-and-conditioning-of-nuclear-wastes.aspx>

WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, 2018a. *Processing of Used Nuclear Fuel - World Nuclear Association* [online] [vid. 2019-05-09]. Dostupné z: <http://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/fuel-recycling/processing-of-used-nuclear-fuel.aspx>

WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, 2018b. *Radioactive Waste Management | Nuclear Waste Disposal - World Nuclear Association* [online] [vid. 2019-04-25]. Dostupné z: <http://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-wastes/radioactive-waste-management.aspx>

WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, 2018c. *Storage and Disposal Options for Radioactive Waste - World Nuclear Association* [online] [vid. 2019-05-10]. Dostupné z: <http://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-wastes/storage-and-disposal-of-radioactive-wastes.aspx>

WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, 2019a. *Nuclear Power in South Korea | Nuclear Energy in the Republic of Korea - World Nuclear Association* [online] [vid. 2019-06-11]. Dostupné z: <http://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-o-s/south-korea.aspx>

WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, 2019b. *Synroc - World Nuclear Association* [online] [vid. 2019-06-23]. Dostupné z: <http://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-wastes/synroc.aspx>

WORLD NUCLEAR NEWS, 2015. *First waste disposal at Korean repository - World Nuclear News* [online] [vid. 2019-06-15]. Dostupné z: <http://www.world-nuclear-news.org/WR-First-waste-disposal-at-Korean-repository-1407154.html>

WORLD NUCLEAR NEWS, 2018. *Full-scale tests to start soon at Finnish repository - World Nuclear News* [online] [vid. 2019-06-17]. Dostupné z: <http://www.world-nuclear-news.org/WR-Full-scale-tests-to-start-soon-at-Finnish-repository-2006185.html>

WORLD NUCLEAR NEWS, 2018a. *Macron clarifies French energy plans - World Nuclear News* [online] [vid. 2019-06-19]. Dostupné z: <http://www.world-nuclear-news.org/Articles/Macron-clarifies-French-energy-plans>

WORLD NUCLEAR NEWS, 2018b. *Russia and Korea to cooperate in radwaste management - World Nuclear News* [online] [vid. 2019-06-16]. Dostupné z: <http://world-nuclear-news.org/Articles/Russia-and-Korea-to-cooperate-in-radwaste-manageme>