



Zdravotně  
sociální fakulta  
Faculty of Health  
and Social Sciences

Jihočeská univerzita  
v Českých Budějovicích  
University of South Bohemia  
in České Budějovice

**Pohavarijní a současná expoziční situace  
v rezidenčních oblastech Fukušimské prefektury –  
aspekty komunikace rizik nízkých dávek**

## **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Studijní program: **Ochrana obyvatelstva**

**Autor:** Bc. Romana Šárová

**Vedoucí práce:** Ing. Eva Zemanová, Ph.D.

České Budějovice 2020

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci s názvem „*Pohavarijní a současná expoziční situace v rezidenčních oblastech Fukušimské prefektury – aspekty komunikace rizik nízkých dávek*“ jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to – v nezkrácené podobě – v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných fakultou – elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejich internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 12. 8. 2020

.....

Bc. Romana Šárová

## **Poděkování**

Ráda bych poděkovala Ing. Evě Zemanové, Ph.D. za odborné vedení diplomové práce a také za ochotu, rady a trpělivost. Její pomoci a odborných připomínek si velmi vážím. Dále bych chtěla poděkovat Mgr. Andree Brož za konzultaci ohledně provedení informativní brožury.

**Pohavarijní a současná expoziční situace v rezidenčních oblastech Fukušimské  
prefektury – aspekty komunikace rizik nízkých dávek**

## **Abstrakt**

Tato diplomová práce řeší pohavarijní a současnou expoziční situaci v rezidenčních oblastech Fukušimské prefektury a zaměřuje se i na aspekty komunikace rizik tzv. nízkých dávek. Vyhodnocení probíhalo na základě rešerší a sběru informací a dat ze zdrojů jak už knižních, či elektronických. Výsledky poukazují na sled úkonů, které prefektura Fukušima a IAEA vykonávaly, a jak tyto úkony byly úspěšné.

Cílem této diplomové práce je vytvořit přehledné porovnání monitorování v pohavarijní situaci v oblastech Fukušimské prefektury s dosaženým stavem po náročné dekontaminaci a remediaci životního prostředí. Také jsem rozvedla porovnání hodnot monitorovaných veličin při současné radiační situaci ve Fukušimské prefektuře s hodnotami v ČR, které jsou dostupné díky aplikaci MONRAS. Nemalou součástí je zhodnocení způsobu komunikace s obyvateli Fukušimy před evakuací a také po evakuaci, kdy byla obyvatelná část po procesu dekontaminace a vláda tak usilovala, a stále usiluje, o návrat obyvatel do těchto dekontaminovaných oblastí. Dále jsem se zaměřila na to, jak byl pojat přístup k optimalizaci radiační ochrany ve Fukušimě, jak tento princip interpretujeme v ČR a jak lze přispět k dostatečné informovanosti obyvatelstva ve smyslu informovanosti, pochopení principu limitování a optimalizace radiační ochrany v případě vzniku jaderné havárie. Za tímto účelem byla zpracována informativní brožura, která je vytvořena pomocí online editoru Canva Pro. Tato brožura je tedy praktickým výstupem této diplomové práce.

Dekontaminační práce můžeme považovat za úspěšné, na základě faktu, že naměřený obsah cesia v životním prostředí se podařilo razantně snížit, negativním aspektem je vznik velkého množství radioaktivního odpadu. Dávkový příkon v ovzduší je již srovnatelný s celým světem a jeho pozadím. Proto se obyvatelé nemusí bát se vrátit do svých domovů.

**Klíčová slova:** Fukušima; Japonsko; jaderná havárie; jaderný reaktor; radiační ochrana.

## **Emergency and current exposure situation in residential areas of Fukushima prefecture – aspects of communication of low dose risks**

### **Abstract**

The diploma thesis examines the post-accident and current exposure situations in residential areas of the Fukushima prefecture and discusses certain aspects on communication concerning the risks of low doses. The evaluation was based on research and collection of information and data from printed and electronic resources. The results show the sequence of steps carried out by the Fukushima prefecture and IAEA and the degree to which they were successful.

The aim of the diploma thesis is to offer a clear comparison of the monitoring of the post-accident situation in specific areas of the Fukushima prefecture and the situation achieved after a comprehensive decontamination and remediation of the environment. We compared the measured values of the current radiation situation at the Fukushima prefecture with values in the Czech Republic, available thanks to the MONRAS application. The thesis also examines how the authorities communicated with the people of Fukushima before the evacuation and in the period after the evacuation when the habitable part was decontaminated and the government sought (and still seeks) to return people to these areas. I also explored the approach to the optimisation of radiation protection in Fukushima, how this principle can be interpreted in the Czech Republic and how to contribute to sufficient awareness of the population in terms of a general understanding of the limits and optimisation of radiation protection in case of a nuclear accident. For this purpose, an informational brochure was created using the Canva Pro online tool. This brochure represents the practical output of the diploma thesis.

The decontamination efforts can be considered successful, given that the measured content of caesium in the environment has been radically lowered; one negative consequence was the creation of a large amount of radioactive waste. The air dose rate is comparable to general global background radiation. The residents therefore don't need to be afraid to return to their homes.

**Keywords:** Fukushima; Japan; nuclear accident; nuclear reactor; radiation prote

# Obsah

1. Teoretická část .....	10
1.1 Japonsko a JE Fukušima .....	10
1.2 Jaderná elektrárna .....	11
1.3 Jaderný reaktor .....	11
1.3.1 Typy komerčních jaderných reaktorů .....	12
1.3.2 Vývojové generace jaderných reaktorů .....	16
1.4 Reaktory ve Fukušimě I .....	17
1.5 Havárie .....	17
1.5.1 Vývoj .....	18
1.5.2 Radiační stav po havárii .....	25
1.6 Fukušima vs. Černobyl .....	27
1.7 Ponaučení ČR z havárie JE Fukušima .....	28
1.8 Jaderné elektrárny a jejich rizika .....	30
1.9 Principy radiační ochrany .....	31
1.9.1 Princip zdůvodnění .....	31
1.9.2 Princip limitování .....	32
1.9.3 Princip optimalizace .....	33
1.9.4 Princip bezpečnosti zdrojů ionizujícího záření .....	33
1.10 Nízké radiační dávky .....	33
1.11 Ozáření z přírodních zdrojů .....	34
1.12 Otázka nízkých dávek .....	35
2 Cíl práce a výzkumná otázka .....	37
2.1 Cíl práce .....	37
2.2 Výzkumná otázka .....	37
3 Metodika .....	38
4 Výsledky .....	39

4.1	<i>Spolupráce s IAEA</i> .....	39
4.2	<i>Monitorování a mapování radiační situace</i> .....	39
4.2.1	Webové stránky <a href="http://fukushima-radioactivity.jp/pc/">http://fukushima-radioactivity.jp/pc/</a> .....	40
4.3	<i>Lesní ekosystém</i> .....	43
4.4	<i>Remediace a dekontaminace obytných oblastí a vod</i> .....	49
4.5	<i>Dekontaminace vodního systému</i> .....	50
4.6	<i>Nakládání s radioaktivním odpadem</i> .....	52
4.7	<i>Stav životního prostředí ve Fukušimě a ve světě</i> .....	56
4.7.1	MonRaS .....	59
4.8	<i>Komunikace rizika</i> .....	60
4.9	<i>Dopad jaderné havárie na veřejnost</i> .....	64
4.10	<i>Průběh evakuace a komunikace</i> .....	65
4.11	<i>Možnosti přístupu k veřejnosti</i> .....	67
4.12	<i>Reakce ve světě</i> .....	68
4.13	<i>Jaderné elektrárny v Evropě</i> .....	69
5	<b>Diskuse</b> .....	71
6	<b>Závěr</b> .....	75
	<b>SEZNAM ZDROJŮ</b> .....	78
	<b>SEZNAM ZKRATEK</b> .....	84
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	86
	<b>SEZNAM GRAFŮ</b> .....	88
	<b>SEZNAM TABULEK</b> .....	89
	<b>PŘÍLOHA</b> .....	90

# Úvod

V jakémkoliv jaderném zařízení může dojít k drobnějším poruchám, ale i k radiačním mimořádným událostem, které mohou způsobit nepříznivé dopady na své okolí. Nejzávažnějším dopadem je uvolnění radioaktivních látek do okolí (vzduch, voda apod.), které mohou způsobit následky na lidskou populaci a životní prostředí.

Jaderná havárie v JE Fukušima je aktuálním tématem již od roku 2011, kdy se tato událost stala, a bylo o ní vydáno mnoho knih a reportů, které nejsou vhodné pro běžné čtenáře – laiky, protože obsahují velmi ucelené a podrobné informace a laik jim nemusí zcela porozumět. Jaderná havárie ve Fukušimě otřásla celým světem, a to i díky srovnání této havárie s jadernou havárií v Černobylu, které způsobilo v Japonsku i ve světě extrémní paniku. K jaderným haváriím dochází na základě selhání lidského faktoru nebo vlivem přírodních sil. Globální snahou a úkolem odborníků je zabránění a minimalizování pravděpodobnosti vzniku této radiační mimořádné události. Proto se zavádějí ochranná opatření nebo tzv. zátěžové testy.

Od vzniku této jaderné havárie byly zvoleny různé způsoby komunikace o rizicích a v rámci toho je, jako součást existující radiační situace, řízeno ozáření nízkými dávkami v dekontaminovaných oblastech. Faktory jako emoce a nedostatečná informovanost mohou vést ke strachu z rizik ionizujícího záření. Tato rizika označujeme jako tzv. vnímaná rizika a mohou převýšit rizika skutečná. Cílem komunikace s veřejností o rizicích nízkých dávek ve Fukušimské prefektuře je přesvědčit tamní obyvatele o tom, že dávky, které mohou obdržet v dekontaminovaných rezidencích, jsou tak nízké, jak je rozumně dosažitelné a že radiační situace je v těchto oblastech optimalizována i v kontextu ekonomickém, socioekonomickém atd. Výsledkem této komunikace je, že technická fakta musí být sdělována jednoduše a srozumitelně. Do komunikace musí být zahrnut i respekt pro individuální emoce, nedůvěru a potencionální strach nejen z rizik ozáření, ale i z návratu do oblastí, kde probíhaly dekontaminační práce a kde tamní obyvatelé a majitelé domů zažili nezapomenutelnou stresovou situaci.

Při vypracování teoretické části byly především využity zdroje týkající se dané problematiky. K získání informací a názorů na danou problematiku budeme čerpat a inspirovat se z rešerší, informativních brožur, reportů a různých článků. Závěry práce budou sloužit jako přehledné údaje pro srovnání pohavarijní radiační situace v rezidenčních oblastech Fukušimské prefektury a situace dosažené rozsáhlou



dekontaminací a remediací životního prostředí. Také hodnotí a poukazuje na hledisko komunikace rizik a zpracovává doporučení a brožuru, která může posloužit jako zdroj základních informací vhodných pro širokou veřejnost.

## 1. Teoretická část

### 1.1 Japonsko a JE Fukušima

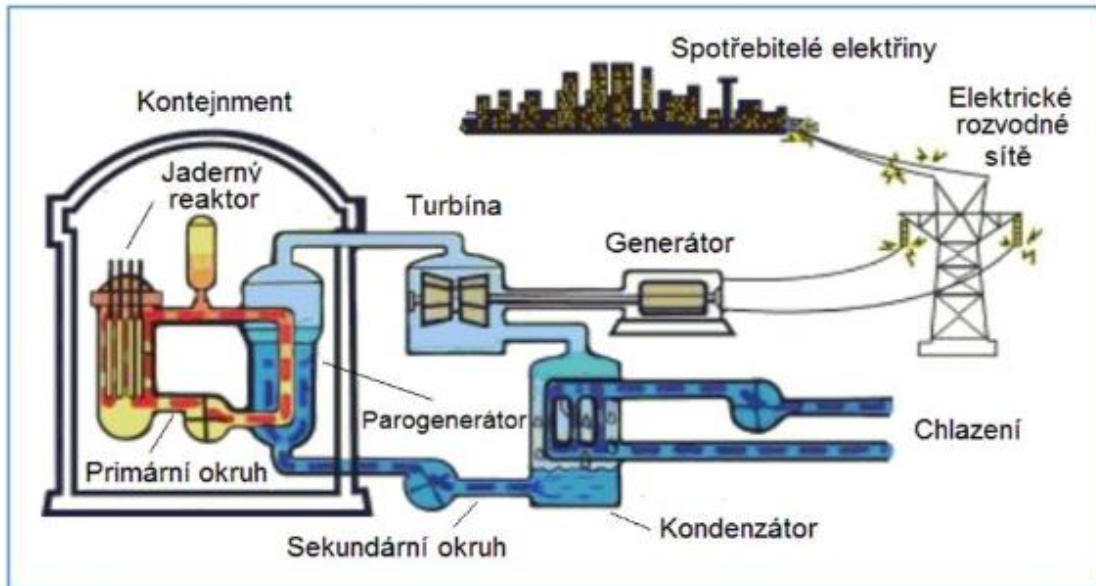
Japonsko je ostrov, který se nachází u východního pobřeží Asie, mající rozlohu cca 378 tisíc km<sup>2</sup>. Počet obyvatel je 127 180 000 k roku 2014. Japonsko je spíše sopečný ostrov, který tvoří převážně hornatý povrch. Jedná se o velmi seizmicky aktivní oblast, ve které dochází k desítkám zemětřesením ročně, a dokonce dochází k erupcím sopek, kterých se eviduje jako 60 aktivních. (Japonsko, 2006)

Japonsko má velmi málo nerostných surovin, díky špatným geografickým podmínkám a vysokým nákladům nestačí mezinárodní konkurenci. Jejich domácí spotřeba nepokryje ani 10 % potřeby. Energetické suroviny se zde nevyskytují téměř žádné. Japonsko tedy musí nechávat dovážet téměř 84 % energetických potřeb. Jelikož elektřinu nelze skladovat, musí být produkce vyrovnaná se spotřebou. Jak bylo již zmíněno, Japonsko je ostrov a využití myšlenky výměny energie s okolními státy nelze přínosně realizovat. Produkce elektřiny pomocí hydroelektráren je v Japonsku možná, ale velmi omezená. Nenajdeme zde mnoho možností, kde vodní elektrárnu postavit, protože hrozí riziko zničení elektrárny při výskytu zemětřesení a poté by mohly vzniknout katastrofální následky. Větrné a sluneční elektrárny zde nemají příznivé podmínky a jsou omezeny z nedostatku prostoru na území. Japonsko se tedy vydalo cestou využití jaderné energetiky, což se později stalo jejich prioritou. Nyní se na celkové produkci podílejí více jak 30 %. (Wagner, 2015)

Diplomová práce se zabývá vybranými aspekty radiační situace po havárii v JE Fukušima a současnou expoziční situací v již obyvatelných částech Fukušimské prefektury. Jaderná havárie ve Fukušimě je jednou z nejznámějších havárií tohoto druhu, společně s havárií v Černobyli. Realizace JE Fukušimy začala v roce 1966, ale samotný projekt byl dokončen až o 5 let později a to 26. května 1971. Ihned po dokončení tohoto projektu nastalo její spouštění. Provozovatelem a také vlastníkem této elektrárny je společnost TEPCO, Tokijská elektrárenská společnost, jejíž cílem, společně s japonskou vládou, bylo vytvořit nejbezpečnější atomovou elektrárnu. Realizace tohoto projektu se z hlediska bezpečnosti zprvu jevila jako velmi slibná, už kvůli poloze na sníženém útesu, který měl chránit reaktory před možným zemětřesením. V roce 1966 začala stavba samotné elektrárny a v roce 1971 byl spuštěn první reaktor. Dále se za provozu elektrárny stavěly další reaktory a dokončení stavby se datuje k roku 1979, kdy byl spuštěn poslední šestý reaktor. (Nejedlý, 2011)

## 1.2 Jaderná elektrárna

Jaderná elektrárna v podstatě pracuje jako tepelná elektrárna, ale zdroj tepla vzniká štěpením uranu  $U^{235}$  v jaderném reaktoru. Teplem z jaderného štěpení vzniká pára, která pohání turbínu, a generátor vyrábí elektrickou energii. Tento typ elektráren najdeme po celém světě, ale liší se typem reaktorů a konstrukčním a stavebním provedením.



Obrázek 1 Schéma hlavních prvků jaderné elektrárny (zdroj: Planas, 2009)

## 1.3 Jaderný reaktor

Jaderný reaktor je zařízení, ve kterém dochází k řízené jaderné reakci štěpení jader uranu, tudíž dochází k přeměně uvolněné energie na energii tepelnou, která se využívá k výrobě elektrické energie. Jaderný reaktor se skládá z palivových tyčí, moderátoru, chladicí látky, regulačních tyčí a stínění. Palivové tyče obsahují štěpný materiál v obalu a jsou nejčastěji tvořeny uranem nebo směsným palivem MOX, který je vyrobený z ochuzeného uranu nebo plutonia. Obal palivových tyčí je tvořen na bázi zirkonia, čímž je zajištěno předávání tepla z paliva chladicímu mediu a také nepropustnost radioaktivních štěpných produktů. Každý reaktor má svou aktivní zónu, což je část, kde probíhají štěpné reakce. Dále je jaderný reaktor tvořen moderátorem, který se nachází v reaktorech, kde je štěpení iniciováno pomalými neutrony. Nejčastějším moderátorem je voda nebo grafit. Pokud jsou v reaktoru využívány rychlé neutrony, kde je štěpným materiálem izotop uranu 238 nebo plutonium, moderátor neutronů se v reaktoru nevyskytuje. Nezbytnou součástí reaktoru je absorbátor neboli regulační tyče, které jsou umístěny v aktivní zóně. Slouží k absorpci neutronů a nejčastěji jsou používány lehké prvky jako je bór nebo kadmium. Výkon reaktoru je regulován výškou zasunutých kazet palivových tyčí do aktivní zóny. K okamžitému zastavení reaktoru slouží havarijní tyče, které jsou nad aktivní zónou

a drží pomocí elektromagnetů. Pokud dojde k havárii, elektromagnety se vypnou a havarijní tyče spadnou do aktivní zóny, kde štěpnou reakci zastaví. V jaderném reaktoru se uvolňuje mnoho kinetické energie, resp. tepelné energie, což způsobuje zahřívání okolí, tudíž se reaktor musí chladit chladicí kapalinou. Touto kapalinou je směs, která obsahuje vodu, těžkou vodu, oxid uhličitý, helium, sodík a některé soli a slitiny. (Kusala, 2004)

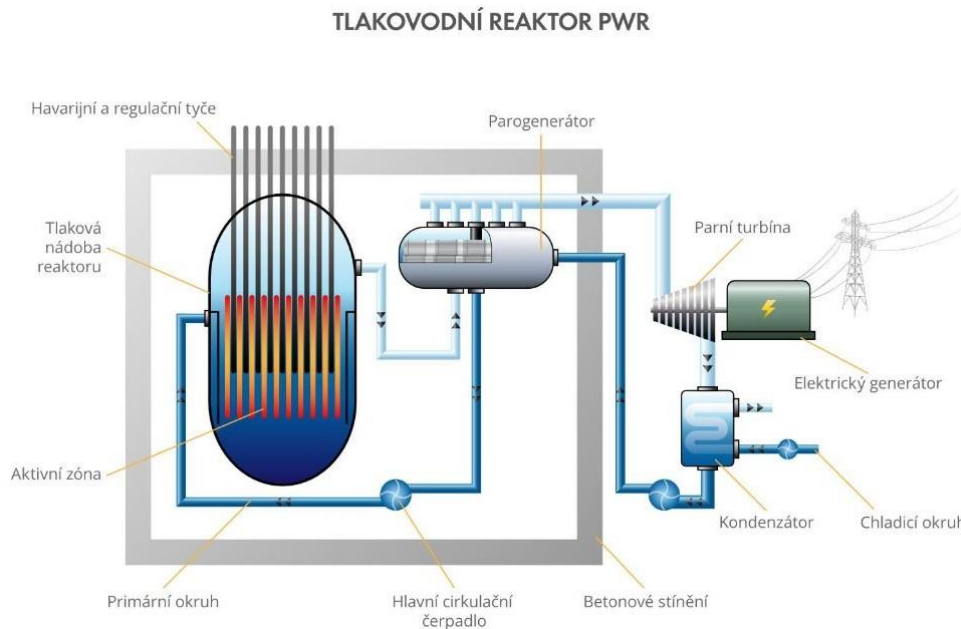
### 1.3.1 Typy komerčních jaderných reaktorů

V současnosti najdeme šest základních typů komerčních jaderných reaktorů, které jsou provozovány po celém světě.

Typ reaktoru	Stát provozovatele	Palivo	Chladivo	Moderátor
<b>Tlakovodní reaktor PRW</b>	USA, Francie, Japonsko, Rusko, Čína	Obohacený $UO_2$	Voda	Voda
<b>Varný reaktor BWR</b>	USA, Japonsko, Švédsko	Obohacený $UO_2$	Voda	Voda
<b>Těžkovodní reaktor PHWR</b>	Kanada, Indie	Přírodní $UO_2$	Těžká voda	Těžká voda
<b>Plynem chlazený reaktor AGR, Magnox</b>	Velká Británie	Přírodní (kovový) uran, obohacený $UO_2$	$CO_2$	Grafit
<b>Lehkovodní grafitový reaktor BMK</b>	Rusko	Obohacený $UO_2$	Voda	Grafit
<b>Rychlý množivý reaktor FBR</b>	Rusko	Směs $PuO_2$ a $UO_2$	Tekutý sodík	-

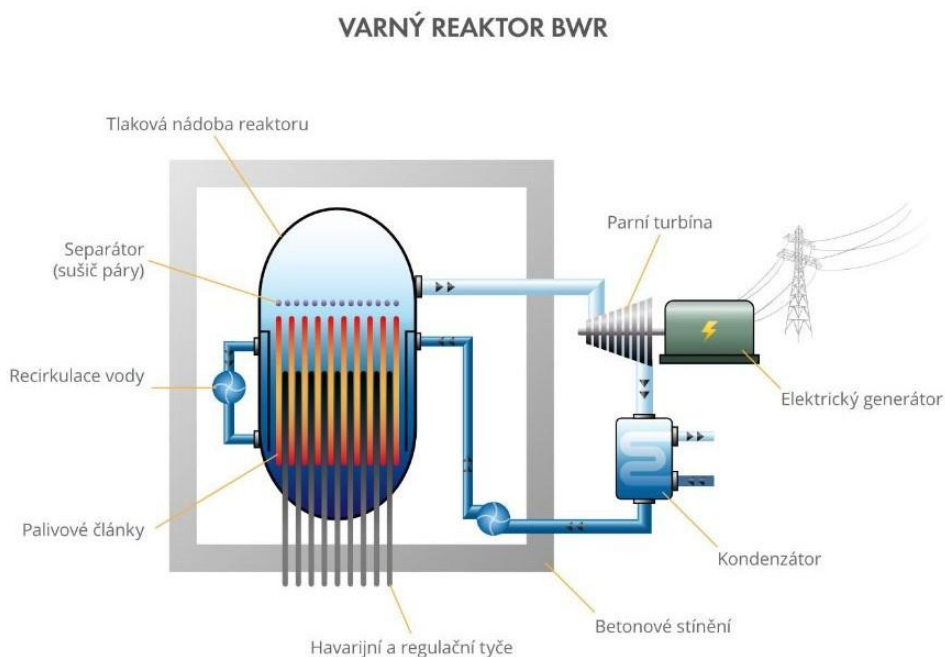
Tabulka 1 Základní typy komerčních jaderných reaktorů (zdroj: Skupina ČEZ, 2020a)

1. **Tlakovodní reaktor PWR** (Pressurized light-Water moderated and cooled Reactor), a ruský typ VVER (Vodo-Vodjanoj Energetičeskij Reaktor). Tlakovodní reaktor je nejrozšířenějším typem ve světě, představuje cca 60 % všech reaktorů. Jejich původcem je USA a později se angažovalo i Rusko. (Skupina ČEZ, 2020a)



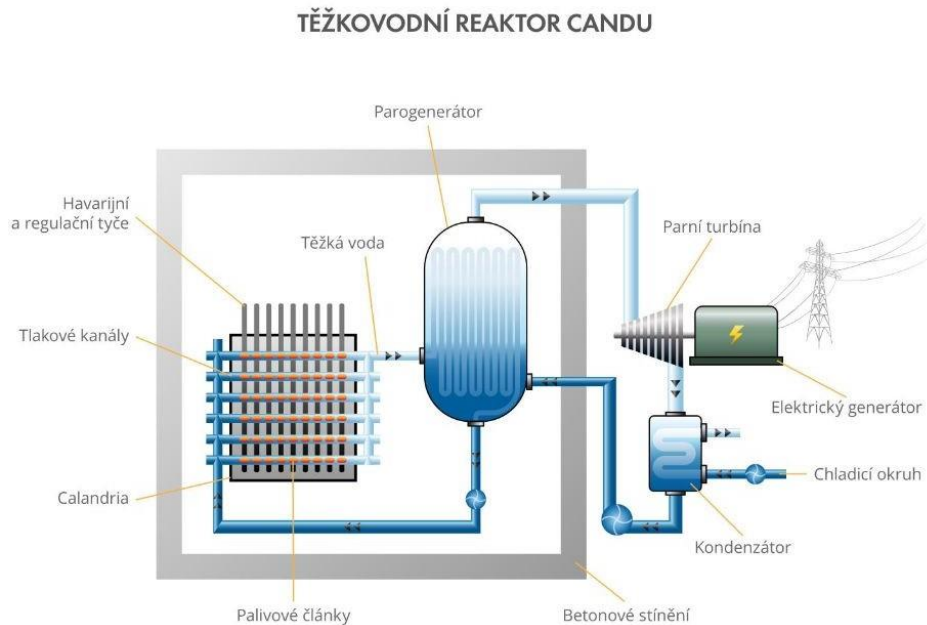
Obrázek 2 Tlakový reaktor PWR (zdroj: Skupina ČEZ, 2020a)

2. **Varný reaktor BWR** (Boiling Water Reactor) je druhým nejčastěji používaným komerčním jaderným reaktorem představující cca 18 % celkového počtu reaktorů na celém světě. Tento reaktor je jednodruhového typu, což znamená, že nemají parogenerátor jako reaktor typu PWR. (Skupina ČEZ, 2020a)



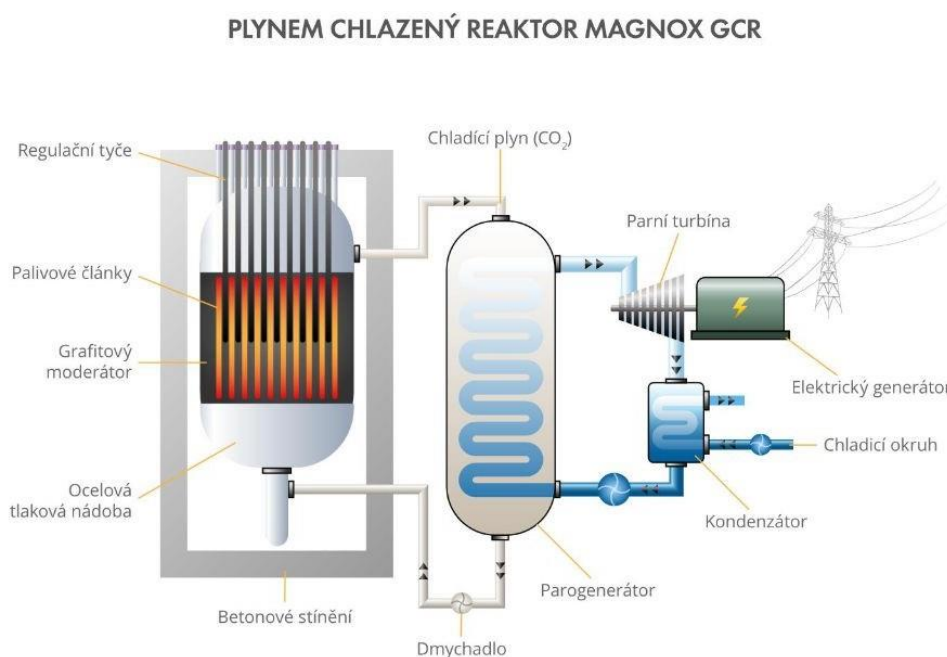
Obrázek 3 Varný reaktor BWR (zdroj: Skupina ČEZ, 2020a)

3. Těžkovodní reaktor PHWR neboli CANDU (Pressurised Heavy Water Reactor), který byl vyvinut v Kanadě a dále exportován do Indie, Pákistánu, Argentiny, Koreje a Rumunska. Zastoupení tohoto typu reaktoru je 11 % z celkového počtu provozovaných komerčních reaktorů. (Skupina ČEZ, 2020a)



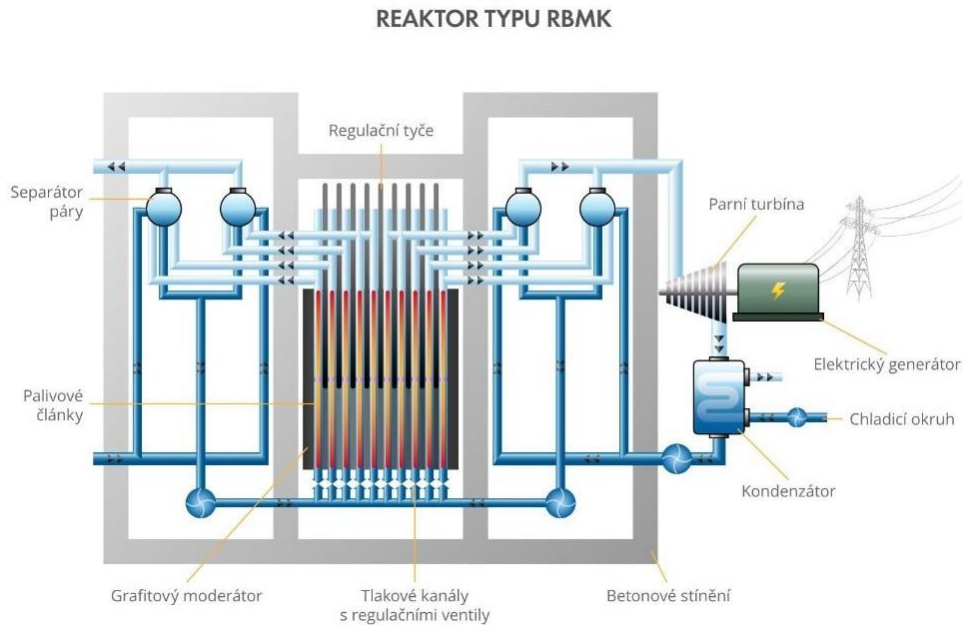
Obrázek 4 Těžkovodní reaktor CANDU (zdroj: Skupina ČEZ, 2020a)

4. Plynem chlazený reaktor GCR Magnox (Gas Cooled Graphite Moderated Reactor), který byl provozován ve Velké Británii. Ve Velké Británii se nyní využívá plynem chlazený reaktor AGR (Advanced Gas cooled graphite moderated Reactor), což je pokročilejší typ ve srovnání s předchozím typem Magnox. (Skupina ČEZ, 2020a)



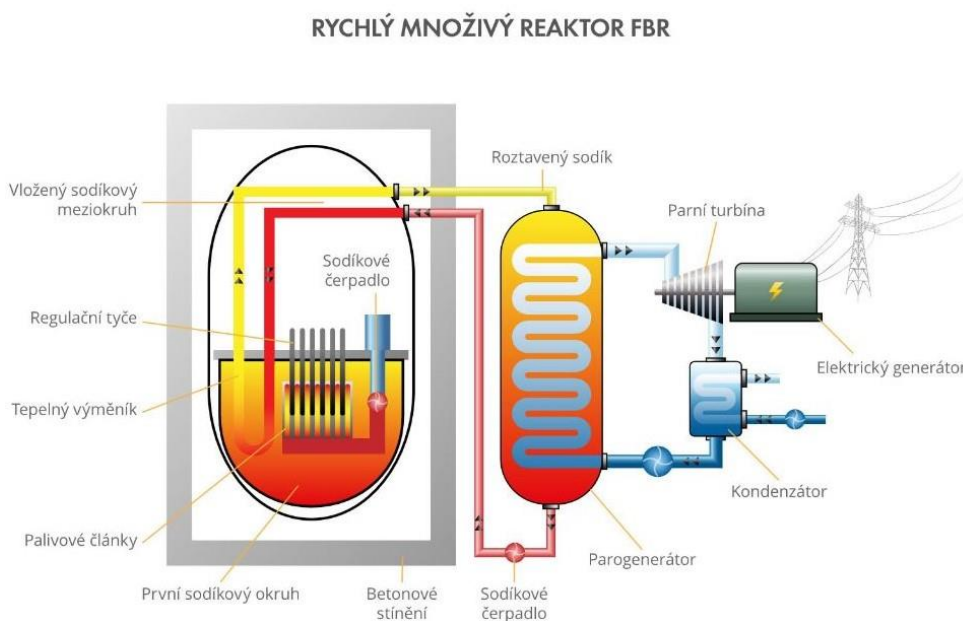
Obrázek 5 Plynem chlazený reaktor Magnox GCR (zdroj: Skupina ČEZ, 2020a)

5. Lehkodivný grafitový reaktor, BMK je provozován na území bývalého SSSR (Reaktor Bolšoj Moščnosti Kanalnyj) a byl použit již v první sovětské jaderné elektrárně v Obninsku a také v elektrárně Černobyl. Jejich další výstavba není v současné ani budoucí době plánována. (Skupina ČEZ, 2020a)



Obrázek 6 Reaktor typu RBMK (zdroj: Skupina ČEZ, 2020a)

6. FBR (Fast Breeder Reactor) je rychlý množivý reaktor, který je komerčně provozován v Rusku. Zajímavostí je, že tento reaktor vyprodukuje více nového plutoniového paliva, než kolik sám spotřebuje a také, že nemá moderátor, protože pro provoz využívá tzv. rychlé neutrony. (Skupina ČEZ, 2020a)



Obrázek 7 Rychlý množivý reaktor FBR (zdroj: Skupina ČEZ, 2020a)

### 1.3.2 Vývojové generace jaderných reaktorů

Výroba energie pomocí jaderných reaktorů má dlouhou historii, která zasahuje až 60 let do minulosti. Technologie jaderných reaktorů se rozděluje do více generací podle technologického vývoje. Základní charakteristiky generací jsou:

- Generace I: reaktory, jejichž projekt byl uskutečněn od roku 1950 do roku 1960. Československá jaderná elektrárna v Jaslovských Bohunicích na Slovensku vlastnila první takový reaktor v tehdejší československé zemi. Také ve Velké Británii, konkrétně v 1. bloku jaderné elektrárny Wylfa, byl jaderný reaktor této generace a vyráběl elektřinu od roku 1971 do konce roku 2015.
- Generace II: reaktory projektované v 70. letech minulého století můžeme považovat za nejvýznamnější, protože jsou stále používány. Do této generace patří tlakovodní reaktory (PWR), reaktory VVER, což je ruské označení pro PWR, používané v bývalém Československu. Pokud porovnáme tuto generaci s generací I zjistíme, že úroveň elektráren generace II je vyšší, zejména s ohledem na bezpečnostní systémy.
- Generace III: reaktory v této generaci jsou velmi podobné generaci II, ale s rozdílem v použití standardizovaných projektů zkracujících dobu schvalování a dobu výstavby. Dále se tato generace liší zlepšením ekonomiky provozu prodloužením doby provozu mezi odstávkami, zvýšením stupně vyhoření jaderného paliva a snížením investičních nákladů. Podstatným rozdílem je zlepšení bezpečnosti elektrárny jako celku, která zahrnuje zvládnutí více poruch najednou, zvládnutí těžkých havárií a lepší odolnost vůči vnějším vlivům.
- Generace III+: jde o evoluční vylepšení reaktorů III. generace. Mezi generací III a III+ není stanovena pevná rozdělovací hranice, pouze je u generace III+ kladen vyšší důraz na pasivní bezpečnostní prvky. Tato generace má nejlepší dostupnou technologii v oblasti jaderné energetiky. Do projektů generace III+ jsou zahrnuty i závěry z analýzy havárie JE Fukušima, vyšší odolnost vnějším vlivům, vyšší autonomie, zvýšená bezpečnost systémů pro řešení projektových nehod, poruch a těžkých havárií.
- Generace IV: Tato generace je generací budoucnosti. Jde o projekty, které jsou ve vývoji v několika koncepčních směrech. Patří sem první demonstrační reaktory pracující s neutrony a uzavřeným palivovým cyklem. Tyto reaktory umožňují efektivnější využití paliva a současně snižují množství radioaktivních odpadů. Také sem patří technologie, které pracují s tepelnými neutrony a otevřeným palivovým cyklem. První pilotní jednotky zahájí provoz podle vývojového odhadu mezi lety



2030 až 2040 a jejich komerční nasazení může být spuštěno 2050. (Skupina ČEZ, 2020a)

#### **1.4 Reaktory ve Fukušimě I**

Ve Fukušimě se využívaly reaktory varné (BWR), které byly vyvinuty americkou firmou GE během 60. a 70. let. V aktivní zóně reaktoru vzniká teplo z vody, která je přiváděna do varu při teplotě 285 °C. Vzniklá pára se hromadí v horní části nádoby a odvádí se pomocí potrubí do turbíny. Dále je vedena do kondenzátoru, kde se přetvoří zpět do kapalného stavu. Varné reaktory mají své tepelné výměníky, které ochlazují kondenzátor mořskou vodou. Každý reaktor je řízen pomocí regulačních tyčí, které se nacházejí v dolní části reaktorové nádoby. V horní části se nachází systém, který odvádí vzniklou páru. (Wagner, 2015)

Každý reaktor má svůj kontejnment, který slouží jako obal reaktoru a zabraňuje šíření radioaktivních látek do okolí při vzniku havárií. U prvních pěti bloků ve Fukušimě I to je typ MARK I, který se skládá ze suché a mokré části. Tyto dvě části jsou navzájem propojeny osmi rourami o velkém průměru. V suché části (Drywell) se nachází reaktorová nádoba a chladicí okruhy. Druhou mokrou část nazýváme spíše jako komora potlačení (Wetwell). Úkolem této komory je zamezení vzniku poškození kontejnmentu a voda v této komoře zbavuje páru radioaktivních látek. Pára, která vznikne v suché části, je vedena osmi rourami do komory potlačení, dojde zde ke kondenzaci a sníží její tlak. (Wagner, 2015)

Pro případ mimořádné události, kdy je potřeba havarijní chlazení, jsou reaktory opatřeny systémem izolovaného dochlazování aktivní zóny. V případě výpadku elektrické energie jsou využívány dieselové turbogenerátory a baterie, které jsou schopny zajistit energii na 8 hodin. (Wagner, 2015)

#### **1.5 Havárie**

Dne 11. března 2011 ve 14:46 japonského času došlo k zemětřesení o síle 9 stupňů RichtEROVY škály. Jednalo se o jedno z největších a nejrozsáhlejších zemětřesení v historii Japonska, jehož epicentrum se nacházelo pouhých 178 metrů od JE Fukušima. Po tomto zemětřesení následovalo tsunami, jehož vlna dosahovala až 20 metrů. Následky tsunami byly velmi katastrofické pro celé severovýchodní pobřeží Japonska, hlavně pro JE Fukušima Daiichi. Do doby, než vypuklo zemětřesení a tsunami si vláda i provozovatel mysleli, že je tato elektrárna proti živelním pohromám odolná, ale mýlili se. Havárie, která díky těmto živlům vznikla, byla zařazena do 7. kategorie, jako

velmi těžká havárie, ve stupnici pro určování jaderných nehod a havárií. Průběh celé havárie bylo možné díky vyspělé technologii monitorovat a zdokumentovat pomocí leteckých kamer. Lidé po celém světě se dozvídali informace hlavně z médií a z internetu a nedalo se zabránit ani úniku falešných informací, které způsobily paniku. (Wagner, 2015)

Samotné tsunami proběhlo ve více vlnách. První vlna, která zasáhla elektrárnu, přišla v 15:27 hodin místního času a měřila okolo 4 metrů. Druhá vlna zasahující elektrárnu měřila 15 metrů a objevila se v 15:35 místního času. Není divu, že tsunami mělo větší počet obětí než samotné zemětřesení, a to více jak 15 000. (Aktuálně.cz, 2011)

Tato havárie byla způsobena přírodní katastrofou, která zasáhla celý svět. Přírodním katastrofám nelze zcela spolehlivě zabránit, ale zde byla možnost vzniku velkého tsunami předpovídat a vytvořit preventivní opatření, která by havárii zabránila nebo alespoň zmírnila důsledky působení tohoto přírodního živlu. Z tohoto pohledu se tato událost označuje jako selhání lidského faktoru. Nyní je zřejmé, že se události předejít mohlo a jsou také známa možná opatření a prostředky toho dosahující. Tato havárie byla způsobena chybou, ze které se poučil celý svět.

### Jaderný komplex Fukušima po zemětřesení a tsunami



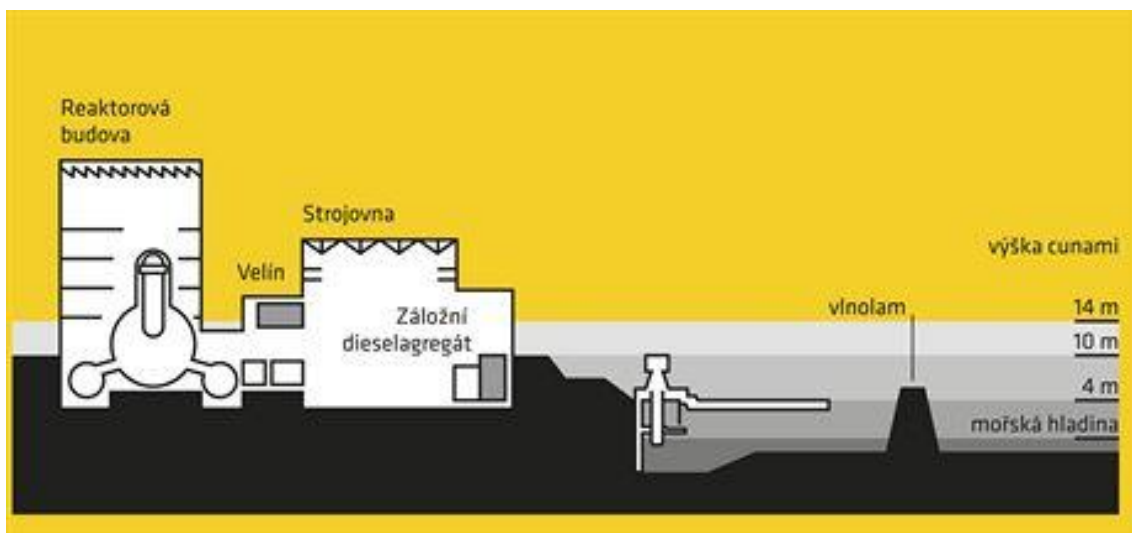
Obrázek 8 Jaderný komplex Fukušima po zemětřesení a tsunami (iDNES.cz, 2011)

#### 1.5.1 Vývoj

Při počátečním zemětřesení se v areálu elektrárny vyskytovalo 6 413 pracovníků. V ten den byly v provozu bloky první, druhý a třetí, zbytek bloků byly v odstávce. Při zemětřesení by mělo dojít k automatickému vypnutí pracujících bloků, k čemuž došlo dle očekávání a všechny reaktory tak byly během minuty odstaveny. Díky okamžité reakci seismických čidel, které se nacházely ve všech blocích. Otřesy způsobené

zemětřesením přerušily elektrické vedení do elektrárny, ale záložní elektrické vedení nebylo možné propojit s elektrickou sítí prvního bloku. Tudíž došlo k použití náhradních diesellových zdrojů, které měly za úkol dochlazovat reaktory. Vysokotlaké chlazení HPCI nebylo třeba pouštět, protože chlazení pomocí diesellových generátorů fungovalo dle potřeb. (Wagner, 2015)

Zaměstnanci elektrárny opustili elektrárnu, pouze část z nich zůstala a přesunula se do krizového centra, kde byl přítomen i ředitel elektrárny Masao Jošida. Očekávalo se tsunami o výšce vlny okolo 3 metrů, ale vlna měřila více než dvojnásobek. V čase 15:27 místního času dorazila první vlna, která měla okolo 4 metrů. Tuto vlnu odrazil tzv. vlnolam. V čase 15:35 udeřila druhá vlna mající skoro 15 metrů, která zaplavila areál elektrárny. (Wagner, 2015)



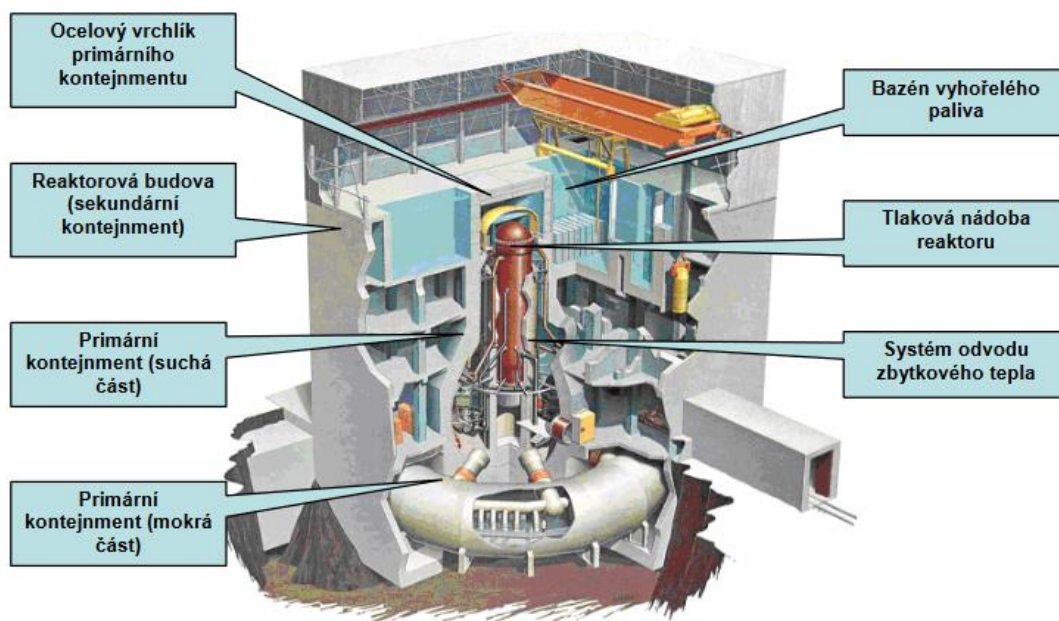
Obrázek 9 Schéma úrovně hladiny, která byla dosažena při tsunami a zaplavené lokality (zdroj: Wagner, 2015)

V prvním a čtvrtém bloku dosáhla hloubka vody až 5 metrů. Tato vlna měla za následky zničení čerpadel mořské vody, elektrických rozvodů a zdrojů stejnosměrného proudu u prvního, druhého a čtvrtého bloku. Voda se dostala i do strojoven a zaplavila i zničila diesellové generátory a elektrické rozvody. Právě zde byla nalezena dvě těla obětí této události v elektrárně. (Wagner, 2015)

Tsunami neměla na svědomí pouze výpadek zdrojů energie, ale také poničila a smetla auta, těžkou techniku, nádrže na naftu, štěrk na cestách, budovy apod. Díky druhé vlně tsunami byl zaplaven celý areál JE Fukušima. Monitorovací zařízení reaktorů nefungovala a komunikace v elektrárně i mimo ni byla velmi obtížná. Personál musel jednat bez odpovídajících prostředků a manuálů. Rozhodli tedy o dopravení náhradního zařízení, které bylo potřeba k zajištění chlazení reaktorů. Tento plán nebylo jednoduché

zrealizovat kvůli zničeným komunikacím. Ani doprava vzduchem za pomoci helikoptér nebyla možná, protože diesellové agregáty byly příliš těžké. K tomu, aby se obnovil rozvod elektřiny, bylo potřeba mnoho kabelů, které k dispozici byly, ale byly tak těžké, že jejich manipulace byla možná pouze pomocí těžké techniky, kterou zničila vlna tsunami. Každá z těchto možností potřebovala na vyřešení více času, který ale personál neměl. Proto došlo k dílčím technologickým haváriím, a nakonec i úniku velkého množství radioaktivity. (Wagner, 2015)

### Zjednodušené schéma reaktoru BWR s kontejnmentem typu „Mark I“ (bloky 1-5)



Obrázek 10 Schéma reaktoru BWR s kontejnmentem typu "Mark I" (bloky 1-5) (zdroj: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2012a)

Shrnutí:

### 11. března 2011

- Ve 14:46 došlo ke zemětřesení a následně k havarijnímu vypnutí tří reaktorů, které byly v provozu.
- V 15:35 zasáhla elektrárnu druhá větší vlna a zhroutil se zdroj energie. Došlo k zhasnutí obrazovek, které poskytovaly informace o procesech v reaktorech. Nebylo možné monitorovat stav fungování havarijního chlazení a regulovat jej. U bloků 1 a 2 mající stejný velín byla ztráta úplná. Blok 3 a 4 mají také stejný velín, zde některé

- akumulátory fungovaly a bylo tak možné dopočítat hodnotu tlaku a stav vodní hladiny. Blok 4 byl mimo provoz, tudíž se tento velín zaměřoval pouze na blok 3.
- Personál bloku 1 měl za úkol sehnat jakýkoliv zdroj energie. Jediná možnost, která byla reálná, bylo použití akumulátorů z trosk aut a autobusů, které se nacházely v okolí. Instalace nalezených akumulátorů nebyla snadná, protože najít vhodnou nepoškozenou elektroinstalaci bylo velmi obtížné. Navíc se vše uskutečňovalo za úplné tmy. Blok 1 byl v nejkritičtějším stavu, jelikož zde nebylo chlazení RCIC (Reactor Core Isolation Coolant, systém izolovaného dochlazování aktivní zóny), ale pouze kondenzátor s malým objemem vody IC (Isolation Condenser, nouzový kondenzátor). Tento kondenzátor začal pracovat již při prvním otřesu a pracovníci ho před úderem vlny tsunami vypnuli, protože ochlazování bylo tak účinné, že mohlo reaktor poškodit. Hrozil kritický pokles hladiny vody, proto se musela zjistit výška její hladiny. Již zmíněné akumulátory byly zapojeny. Systém měření hladiny vody se rozběhl a zjistilo se tak, že hladina vody v bloku 1 opravdu klesla. Tento problém s nízkou hladinou vody byl potřeba vyřešit vnějším doplněním, k dispozici byly mobilní proudnice nebo tři hasičská auta, ta byla určena k hašení požárů. V první řadě se musela odpustit pára z tlakové nádoby a poté se mohly použít proudnice, protože tlak v reaktoru byl mnohem vyšší než tlak, který dokáže proudnice vyvinout. Řešením bylo uvolnit páru pomocí havarijních ventilů. Tyto ventily se ovládaly z velínu, ale protože došlo k výpadku elektřiny, musely se ventily otevřít manuálně. Před povolením ventilů bylo nutné provést evakuaci obyvatel z okolí a opatřit k tomuto rozhodnutí povolení a koordinaci z nejvyšších míst.
  - V 18:00 se vydal personál na 4. patro bloku 1 za účelem prozkoumání havarijního chlazení. Tito lidé nebyli vybaveni ochrannými pomůckami, měli pouze dozimetry, které při vstupu do prostoru ukazovaly přes maximum jejich měřicího rozsahu, tudíž se skupina vrátila zpět do velínu. Okolo 21. hodiny rapidně stoupl dávkový příkon v bloku 1 a vstup do tohoto bloku byl zcela zakázán. Dále také došlo k evakuaci obyvatel do tří kilometrů od elektrárny.
  - Ve 23 hodin v noci přijely kamiony s mobilními generátory, které byly použity ke zprovoznění odečtu tlaku v kontejnmentu. Naměřené hodnoty přesahovaly povolené limity. (Wagner, 2015)

## 12. března 2011

- Ředitel elektrárny Masao Jošida rozhodl v 00:49 o potřebě vypouštění páry, protože tlak přesahoval dvojnásobně maximální hodnoty. Došlo k samovolnému úniku radioaktivní páry přes suchou část kontejnmentu. Tento únik páry byl nekontrolovaný, bylo potřeba zajistit jeho kontrolu a zbavit páru aspoň části radioaktivních látek. K tomu bylo zapotřebí otevřít manuálně alespoň dva ventily. Tím, že se z části pára samovolně uvolnila, poklesl tlak v kontejnmentu a bylo možné do reaktoru vpravit vodu. Díky úniku radioaktivní páry byla kontaminovaná celá budova bloku.
- V 5:46 se začala vstříkovat voda z hasičské proudnice do aktivní zóny reaktoru. Proud vody byl ale nízký a nedostal se na potřebná místa.
- Jeden tým byl vyslán okolo 9. hodiny do druhého patra v ochranných oblecích, kde se jim podařilo otevřít ventil. Tito pracovníci při tom obdrželi dávku kolem 25 mSv. Další tým byl vyslán do suterénu bloku. Tomuto týmu se nepodařilo ventil otevřít, protože dávkový příkon byl příliš vysoký a museli opustit prostor. Přesto obdrželi pracovní dávku kolem 10 mSv. Náhradním řešením bylo otevřít ventil z velínu. Pro zrealizování tohoto řešení bylo potřeba zajistit elektřinu z náhradního zdroje. Ve 14:30 se podařilo zprovoznit ventilaci kontejnmentu přes komoru potlačení.
- V 15:30 došlo k explozi vodíku na bloku 1. Tato exploze zavinila zranění pěti lidí a zničení provizorního vedení pro dodání elektřiny k bloku 1 a 2.
- V 19:04 se podařilo obnovit vstříkování vody do prvního reaktoru. Reaktor již po delší dobu neměl technologickou vodu, ale i přesto nedošlo ke zvýšení tlaku v kontejnmentu. To znamenalo, že k explozi došlo pouze v horní části budovy a integrita kontejnmentu tak nebyla narušena. (Wagner, 2015)

## 13. března 2011

- Ve 2:42 se pracovníci rozhodli o vypnutí chlazení třetího reaktoru za účelem možnosti vnějšího vstříkování vody do reaktoru. Tento plán však nevyšel a nepodařilo se poté obnovit systém chlazení HPCI. Následkem toho začala teplota i tlak v reaktoru i v kontejnmentu růst. Stejně jako u bloku 1 se musely otevřít manuálně ventily, aby se vypustila přebytečná pára.
- V 10:40 došlo k poškození aktivní zóny (tento čas je pouze orientační, zdroje se liší). (Wagner, 2015)

## **14. března 2011**

- V 11:01 došlo k explozi vodíku v bloku 3, která způsobila zranění jedenácti pracovníků a také poškození prostředků dodávající mořskou vodu do tohoto reaktoru. Radiační situace se horšila a vláda tak zvýšila hodnotu povoleného limitu pracovníků ze 100 mSv na 250 mSv.
- Chlazení bloku 2 vydrželo překvapivě až do 13:25, což se s ohledem na baterie nepředpokládalo. I u tohoto bloku začala hladina vody klesat a postup měl být stejný jako u předchozích bloků – vypuštění páry. Postup byl zkomplikován explozí bloku 3, protože tato exploze poškodila cestu pro havarijní ventilaci i cestu pro dodávku vody.
- V 17:00 došlo k obnažení aktivní zóny a v 19:20 se začala tavit. Následovalo snížení tlaku v reaktoru a přistoupilo se k možnému vstříkovaní mořské vody do reaktoru, ale tato voda se ihned přeměňovala v páru a tlak začal rychle stoupat, což zabraňovalo dalšímu vstříkovaní vody. (Wagner, 2015)

## **15. března 2011**

- V 6:00 došlo k explozi bloku 2, která zapříčinila únik radioaktivních látek do budovy i ovzduší. Tento únik byl hlavním zdrojem radioaktivní kontaminace okolí.
- Rovněž došlo i k výbuchu bloku 4, kde explodoval nahromaděný vodík, který se tam dostával zřejmě z odvětrávacích šachet bloku 3 a 4. (Wagner, 2015)

## **Další vývoj**

17. března se začalo provádět chlazení pomocí helikoptér obranných sil Japonska, které elektrárnu tzv. sprchovalo. Helikoptéry byly později nahrazeny vodními děly. Zbytkové teplo neustále rostlo a tlak v odstavených reaktorech 5 a 6 se zvyšoval. Od 13. března byly tyto reaktory havarijně chlazeny. Toto chlazení dostalo reaktory pod kontrolu až 20. března.

Bloky 1, 2, 5 a 6 měli od 22. března externí zdroj napájení a od dalšího dne byl k dispozici i zbylým blokům 3 a 4. Díky těmto zdrojům se mohlo začít s testováním elektrického zařízení. Ještě 22. března bloky 5 a 6 přešly z externího napájení na vnější projektové napájení. U ostatních bloků (1, 2 a 3) k tomu došlo až 3. dubna.

Dne 22. března i následujících dnů docházelo k velkému růstu teploty v reaktoru v bloku 1, kdy v něm bylo naměřeno 400 °C (např. 24.3.) Pokles teploty byl zaznamenán

26. března a to na 144,3 °C. Na začátku probíhalo chlazení vstřikováním vody pomocí požárních proudnice, to se později nahradilo vstřikováním vody pomocí provizorních motorových čerpadel.

Po stabilizování situace se začaly prozkoumávat reaktory pomocí robota, který byl 17. dubna vypuštěn do bloku 1 a 3, následující den do bloku 2. V bloku 1 se zde vyskytoval vysoce radioaktivní vzduch, který bylo potřeba odvětrat, proto byly 5. května za tímto účelem nainstalovány ventilátory.

Dne 17. dubna vytvořil provozovatel firmy TEPCO plán konkrétních opatření za účelem dostat elektrárnu pod kontrolu. Hlavním cílem budoucích tří měsíců bylo snižovat nadále dávkový příkon a osobní dávky, zařídit stabilní chlazení všech reaktorů a bazénů vyhořelého paliva a zařídit ochranu životního prostředí před únikem radioaktivních látek. Dalším bodem plánu bylo kontrolovat zmiňované radioaktivní úniky a hodnotu radiačních dávek, dále také dosáhnout stavu studeného odstavení reaktorů, zajištění kontaminované vody a vytvoření betonové obálky reaktorů – tyto úkoly měly být podle již zmiňovaného plánu vykonány do 6 až 9 měsíců. (Wagner, 2015)

V dalších měsících se prováděly nápravné činnosti, kdy došlo ke stabilizaci elektrárny. Dne 16. prosince 2011 bylo oznámeno dovršení studeného stavu všech reaktorů, jejichž teplota klesla pod 100 °C a tlak v nádobách se snížil na úroveň okolí. Tímto však všechna práce nekončila, bylo zapotřebí zajistit postupnou likvidaci a další obnovovací procesy okolí, dále i šetření havárie. (Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2012a)





Obrázek 11 JE Fukušima Daiichi v prosinci 2000 (nahore) a po havárii v roce 2012 (dole) (zdroj: Retuers.com, 2012)

### 1.5.2 Radiační stav po havárii

Důsledkem výbuchů a upouštění par z reaktorů bylo uvolnění radioaktivních látek do okolí. Radioaktivní látky se šířily vzduchem, kdy vítr foukal severozápadně do vnitrozemí, ale radioaktivní látky se šířily i nad oblast oceánu. Radionuklidy se šířily i vodou, která zaplavila elektrárnu a následně unikala do oceánu. Došlo ke kontaminaci pobřeží Japonska a Ministerstvo zdraví, práce a sociálních věd vydalo pokyn o sledování radioaktivity, jak ve vodě, tak v potravinách, a v okolí Fukušimy. (World nuclear news, 2013)

Radioaktivní látky, které unikly do ovzduší, byly v důsledku větru a proudění vzduchu zaneseny i na naše území České republiky. Hodnoty dávkového příkonu ve vzduchu naměřené v ČR byly sice detekované, ale tak nízké, že situace nebyla hodnocena jako radiační mimořádná událost, která by vyžadovala zavedení opatření pro ochranu obyvatelstva a lidského zdraví. (Health Sciences Council, 2011)

Při této havárii došlo ke kontaminaci pracovníků i lidí žijících v okolí fukušimské elektrárny. Radiační zátěž pracovníků v elektrárně monitorovala společnost TEPCO. Lidé žijící v okolí JE byli vystaveni neplánovanému havarijnímu ozáření v rozsahu dávek

1 až 10 mSv a v ojedinělých případech 10 až 50 mSv. Pro srovnání, přírodní pozadí v Japonsku je 2,4 mSv/rok. (World Health Organization, 2013)

Tato havárie byla klasifikována jako druhá nejhorší havárie jaderných elektráren v historii, nejhorší havárie nastala v Černobylu. Fukušimská havárie byla ohodnocena sedmým stupněm INES. (IAEA, 2011)

INES (The International Nuclear Event Scale) je mezinárodní stupnice hodnocení závažnosti jaderných událostí. Účelem této stupnice je usnadnit komunikaci mezi veřejností, sdělovacími prostředky a nukleárním společenstvím. Tato stupnice (viz. obr. 12) znázorňuje sedm stupňů: stupně 1 až 3 se označují jako „nehody“, stupně vyšší 4 až 7 se označují jako „havárie“. V této stupnici je kvalifikován i stupeň 0, který označuje události bez bezpečnostního významu a nazýváme je „odchylky“. (IAEA a OECD/NEA, 2011)

	OBLAST DOPADU		
	DOPAD VNĚ ZAŘÍZENÍ	DOPAD UVNITŘ ZAŘÍZENÍ	DOPAD NA OCHRANU DO HLOUBY
<b>7</b> <b>VELMI TĚŽKÁ HAVÁRIE</b>	Rozsáhlý únik: široce rozšířené dopady na zdraví a životní prostředí		
<b>6</b> <b>TĚŽKÁ HAVÁRIE</b>	Závažný únik: pravděpodobné nasazení veškerých plánovaných protipatření		
<b>5</b> <b>HAVÁRIE S RIZIKEM VNĚ ZAŘÍZENÍ</b>	Omezený únik: pravděpodobné částečné nasazení plánovaných protipatření	Vážné poškození aktivní zóny reaktoru/radiačních bariér	
<b>4</b> <b>HAVÁRIE BEZ VÁŽNĚJŠÍHO RIZIKA VNĚ ZAŘÍZENÍ</b>	Měňší únik: ozáření obyvatelstva řádově v povolených mezích	Významné poškození aktivní zóny reaktoru/radiačních bariér/smrtelné ozáření zaměstnanců	
<b>3</b> <b>VÁŽNÁ NEHODA</b>	Velmi malý únik: Ozáření obyvatelstva zlomkem povolených limitů	Velké rozšíření kontaminace/akutní účinky na zdraví zaměstnanců	Téměř havarijní stav Nezůstaly žádné bezpečnostní bariéry
<b>2</b> <b>NEHODA</b>		Významné rozšíření kontaminace/nadměrné ozáření zaměstnance	Nehoda s významným poškozením bezpečnostních opatření
<b>1</b> <b>ANOMÁLIE</b>			Anomálie od schváleného provozního režimu
<b>0</b> <b>ODCHYLKA</b>	Žádný bezpečnostní význam		

Obrázek 12 Základní struktura stupnice (zdroj: IAEA a OECD/NEA, 2011)

Zasažené území bylo rozděleno do tří kategorií:

- I. kategorie (zelená zóna): oblasti s celoroční dávkou nedosahující 20 mSv a předpokládá se, že by se evakuované obyvatelstvo mohlo brzy vrátit;
- II. kategorie (oranžová zóna): oblasti, kde je díky kontaminaci roční dávka mezi 20 až 50 mSv. Obyvatelé mohou pracovat na dekontaminaci a rekonstrukci, ale pro trvalý návrat se musí docílit snížení roční dávky pod 20 mSv;
- III. kategorie (červená zóna): oblasti s roční dávkou, která přesahuje hodnotu 50 mSv, zde se musí provést dlouhodobá a intenzivní dekontaminace. (Wagner, 2012)

## 1.6 Fukušima vs. Černobyl

Rozdíl mezi havárií v Černobylu a havárií ve Fukušimě je obrovský. Tyto dvě havárie byly sice zařazeny do sedmého stupně stupnice INES (Fukušima Daiichi byla původně označena pátým stupněm INES), ale jejich následky se nedají srovnávat. Rozsah radioaktivity vypuštěné do okolí v Černobylu byl 5 300 PBq a ve Fukušimě 520 PBq, což je velmi rozdílné číslo. Razantní rozdíl je i v území, které bylo zamořené radioaktivním cesiem, v Černobylu bylo zamořeno 1 437 000 km<sup>2</sup> neboli 37 % území Evropy, ve Fukušimě to bylo 30 000 km<sup>2</sup>, tudíž 8 % území Japonska. Následující tabulka informuje o těchto událostech a poukazuje na značné rozdíly. (Hamalčíková, 2019)

	Černobyl	Fukušima
Stupeň INES	7	7
Datum havárie	26. dubna 1986	11. března 2011
Počet reaktorů v JE	4	6
Počet poškozených reaktorů	1	4
Spuštění provozu JE	1977	1971
Příčina havárie	Kombinace lidské chyby a nestability reaktoru	Silné zemětřesení a následná vlna tsunami
Rozsah uzavřené zóny	30 km	20 km
Počet evakuovaných	335 000	140 000
Území zamořené cesiem	1 437 000 km <sup>2</sup>	30 000 km <sup>2</sup>
Počet obětí následkem havárie	2 (při výbuchu), 29 (akutní nemoc z ozáření do 3 měsíců), 4000 (později na rakovinu štítné žlázy a další nemoci)	0 vlivem nehody 1000 během evakuace
Rozsah radioaktivity vypuštěné do okolí	5 300 PBq	520 PBq

Tabulka 2 Srovnání Fukušimy a Černobylu (zdroj: Hamalčíková, 2019)

V Černobylu došlo k vyvržení části vyhořelého paliva a mimo reaktor se dostalo i plutonium a další transurany, ale ve Fukušimě došlo k úniku „pouze“ tékavějšího produktu procesu štěpení. Než došlo k tomuto úniku radioaktivity, byl dostatek času na provedení evakuace obyvatelstva, také zaměstnanci v JE Fukušima měli čas na přípravu práce v zamořeném prostředí. V Černobylu tuto možnost neměli, protože

pracovníci v JE ani obyvatelstvo v okolí nevědělo, že do okolí elektrárny unikají radioaktivní látky a že během krátkého času je okolní prostřední radioaktivní. Došlo tedy k pozdější evakuaci obyvatel a celková dávka a dávka s vnitřní kontaminací radioaktivním jódem byla značně vyšší. Počet rakovin štítné žlázy vlivem havárie JE Fukušimy nebude navýšen a dá se předpokládat, že počet rakovin a jiných nemocí způsobené radiací se nenavýší. Díky zkušenostem vyplývajícím z havárie v Černobyli budou zdravotní problémy ve Fukušimě zanedbatelné. Pokud člověk žijící na Ukrajině v okolí Černobyli dostane rakovinu, popřípadě se někomu narodí dítě s postižením, jako viník se poukazuje na havárii v černobylské jaderné elektrárně. Obdobně tomu bylo a je v Japonsku, kde se jako viník označuje havárie fukušimské jaderné elektrárny. I přes to, že ke zmíněným onemocněním by došlo i kdyby se tyto havárie nestaly. (Petr, 2012)

Na základě těchto havárií došel známý australský odborník na jadernou energetiku Don Higson k závěru, že stupeň sedm u těchto havárií je netotožný a nedá se srovnávat, a proto navrhuje stupnici INES zrušit nebo přepracovat od základů. Dále také potvrdil, že INES stupnice měla usnadnit orientaci veřejnosti při určitých událostech, aby věděli, jak je daná událost vážná. Při havárii v JE Fukušima mělo určení stupnice sedm podle INES opačný dopad. Tento stupeň způsobil vyvolání zmatků a přispěla tak ke stresovým situacím obyvatel v okolí elektrárny, jelikož se domnívali, že havárie JE Fukušima je stejně vážná ne-li horší, jak havárie v Černobyli. (Petr, 2012)

### ***1.7 Ponaučení ČR z havárie JE Fukušima***

Havárie v JE Fukušima nám dokázala, že se nesmí zapomínat nebo polevovat v úsilí věnované údržbě, jaderné bezpečnosti a havarijní připravenosti. Naopak je potřeba vše udržovat a posilovat bezpečnost i připravenost. Po události se většina zemí, které provozují jaderné elektrárny, rozhodly o prověření odolnosti vůči extrémním podmínkám a také provést hodnocení bezpečnosti (tzv. zátěžové testy). O provedení těchto testů bylo rozhodnuto Evropskou radou 25. března 2011 a jejich rozsah a formu určily Skupina evropských jaderných regulátorů (ENSREG) a Evropská Komise. Bezpečnost jaderných elektráren v celé Evropské unii by měla být posouzena v rámci komplexního a transparentního zhodnocení rizika, což se provádí formou „zátěžových testů“. Tyto testy zhodnotí nezávisle národní úřady jaderného dozoru. Dané hodnocení a následná opatření sdělí národní úřady Komisi a ENSREG. „Zátěžový test“ je přehodnocení rezerv bezpečnosti jaderných elektráren, který si klade za úkol zodpovědět otázku, zda extrémní přírodní události, které se staly v JE Fukušima, ohrozí její

bezpečnostní funkce či nikoliv. Testy mají daný technický rozsah, podstatnou částí je problematika řízení těžkých havárií, která je inspirována právě havárií JE Fukušima. Charakterizuje opatření ohledně předcházení a zvládnání ztráty kontroly nad chlazením aktivní zóny, chlazením bazénu skladovacího paliva a ztráty integrity kontejnmentu. V testu se předpokládá, že se elektrárna dostane do nejvíce nepříznivého stavu, jaký je možné dosáhnout, a jsou zvažovány všechny provozní stavy, zasažení všech reaktor i skladů vyhořelého paliva. Velká pozornost je věnována školení personálu zabývající se havarijními provozními předpisy a plánovaným opatřením v oblasti prevence, zvládnání a minimalizování následků případné havárie. (Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2011)

Bezpečnost českých jaderných elektráren (Temelín, Dukovany) je nepřetržitě pod dohledem národním jaderným dozorem SÚJB (Státní úřad pro jadernou bezpečnost), který kontroluje a hodnotí shodu s požadavky charakterizované v mezinárodních úmluvách a také shodu s legislativou ČR.

Ihned po havárii JE Fukušima, jmenovalo SÚJB skupinu expertů, která měla za cíl vyhodnocení situace na základě informací z Japonska a dále zajištění komunikace a informovanosti veřejnosti o této situaci. Dále SÚJB zajistilo analytickou expertní podporu ze strany organizace CVŘ (Centrum výzkumu Řez s.r.o.) pro hodnocení pokladů, které byly dodány provozovatelem, a analytickou skupinu pracovníků SÚRO (Státního ústavu radiační ochrany) podchycující oblast radiační ochrany. Pro veřejnost a jejich informovanost byla vyvinuta ve spolupráci s CVŘ webová stránka týkající se přímo havárie JE Fukušima, kam mohli občané pokládat dotazy ohledně situace. Skupina pracovníků ze SÚRO měla na starost zprávu o situaci v Japonsku, dále reakce ostatních států a bedlivé sledování radiační situace na našem území.

Hlavním problémem celé této situace je panika veřejnosti, kterou mohou způsobit jak média, tak možná politická vystoupení. Tyto neinformované výstupy mohou mít potencionální negativní dopad. Důvěra veřejnosti v bezpečnost provozu je spolu s vnímáním jeho potřeby důležitým, nepostradatelným faktorem. (Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2012b)

Obě naše jaderné elektrárny mají příručky pro ochranu obyvatelstva pro případ radiační havárie elektrárny. Tyto příručky obsahují informace a základní pokyny, co se má dělat pro záchranu osob v zóně havarijního plánování, pokud k havárii dojde. V příručce se dozvíte tyto body:

- oblast možného ohrožení radioaktivními látkami v případě jaderné havárie,
- opatření, která mohou být přijata pro vaši ochranu,
- ukrytí,
- jódová profylaxe,
- evakuace,
- zásady používání telefonů. (Skupina ČEZ, 2020b; Skupina ČEZ, 2020c)

### 1.8 Jaderné elektrárny a jejich rizika

Jaderná elektrárna je ekologický způsob výroby energie, z hlediska možných dopadů na znečištění životního nebezpečí, a také se považuje za nejlevnější možný zdroj energie. Provozy jaderných elektráren mají také rizika, kdy může dojít k jaderné havárii a díky ní k úniku radioaktivních látek. Pokud dojde k úniku těchto látek je velmi pravděpodobné znečištění okolí, půdy, vody a v nejhorším případě může dojít k ozáření člověka, skupiny lidí či obyvatelstva v okolí a ve světě. Při ozáření člověka může dojít k účinkům ohrožujících jeho zdraví a život. Tyto účinky se nazývají deterministické a stochastické, jejich znalost je velmi důležitá pro stanovení systému limitů dávek pro pracující i obyvatelstvo a také je základem při poskytování léčby při poškození právě zářením. (Vaněk, 2008)

Deterministické časné	Deterministické pozdní	Stochastické
<b>Akutní nemoc z ozáření</b>	Nenádorová pozdní poškození	Zhoubné nádory
<b>Akutní lokální změny</b>	Chronická radiodermatitis	
<b>Akutní radiodermatitis</b>	Zákal oční čočky	
<b>Poškození fertility</b>		

Tabulka 3 Hlavní typy účinků záření (zdroj: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2020a)

Deterministické účinky se mohou projevit po překročení prahové dávky, jejíž velikost se pro různé orgány liší. Závažnost těchto účinků se charakterizuje vzrůstem s dávkou. Jedná se tedy o reakci tkáně na ozáření a dochází tak často ke smrti části buněčné populace. K projevům těchto účinků dochází krátce po ozáření v průběhu několika dnů, potažmo týdnů, nazýváme je tedy jako účinky časné. Jde hlavně o akutní nemoc z ozáření, která se projevuje při jednorázovém celotělovém ozáření dávkou vyšší než 1 Gy. S touto nemocí se můžeme setkat například při havárii jaderných reaktorů a její příznaky závisejí na stupni ozáření a velikosti dávky. Dalším deterministickým účinkem může být akutní radiační dermatitida, která je charakterizována jako nejčastější typ poškození

spojených s radiací a jde vlastně o postižení kůže především na rukou. Prahová dávka vzniku tohoto poškození je přibližně od 3 Gy a výše a může dojít k zarudnutí kůže, hlubšímu poškození kožní tkáně a vzniku vředů. K dalšímu závažnému poškození řadíme ovlivnění fertility žen i mužů. U mužů může radiace způsobit přechodné snížení množství spermií – oligospermie (při dávce 0,1 až 0,3 Gy), přechodné zastavení se vytváření spermií – aspermie (při dávce 0,5 až 2 Gy) a také k trvalému přerušení vzniku spermií (dávka vyšší jak 3 Gy). Plodnost u žen může být ovlivněna dávkou 2,5 až 8 Gy, kdy dojde k trvalé sterilitě pohlavních orgánů. K pozdním účinkům se řadí chronická radiační dermatitida a katarakta. (Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2020a)

Stochastické účinky jsou účinky, které jsou podmíněné mutacemi buněk a jsou také náhodné a bezprahové. Čím vyšší je dávka, tím více roste pravděpodobnost vzniku poškození, zvyšuje se tedy frekvence výskytu, nikoliv závažnost účinku. A také platí, že účinek dávek se opakujících po sobě se sčítá a dochází tak k poškození DNA. Mezi stochastické účinky se řadí nádory a genetické poruchy. Jedinec, který byl ozářen a projeví se u něj tyto účinky, může přenést stochastický účinek i na své potomstvo. (Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2020a)

### **1.9 Principy radiační ochrany**

Radiační ochranou se rozumí systém technických a organizačních opatření k omezení ozáření fyzické osoby a k ochraně životního prostředí před účinky ionizujícího záření. Jejím cílem je, pokud je to možné, vyloučit deterministické účinky záření a riziko stochastických účinků udržovat na přijatelně nízké úrovni. Radiační ochrana má podporu v legislativě, která dává všem orgánům státní správy pravomoci k zabezpečení požadované úrovně radiační ochrany. Známe čtyři základní pilíře, které charakterizují radiační ochranu a její principy zabezpečení před ionizujícím zářením:

- princip zdůvodnění,
- princip limitování,
- princip optimalizace,
- princip bezpečnosti zdrojů ionizujícího záření. (Freitinger Skalická Z., J. Halaška, R. Havránková, et al., 2020)

#### **1.9.1 Princip zdůvodnění**

Tento princip poukazuje na to, že aplikace musí přinést více užitku než negativních dopadů. Tudiž každý, kdo provádí činnost, která následně vede k ozáření nebo k omezení

záření v rámci radiačních nehod, musí dbát na zdůvodnění přínosu činnosti vyvažující rizika, která mohou vzniknout při těchto činnostech. (Skupina ČEZ, 2019)

### 1.9.2 Princip limitování

Samotné ozáření by nemělo překročit přesně dané dávkové limity. Ten, kdo provádí činnost vedoucí k ozáření, musí omezit ozáření osoby tak, aby součet celkového ozáření nepřekročil stanovené limity. (Skupina ČEZ, 2019)

Obecné limity jsou vyjádřeny jako efektivní dávky, které představují součet relevantních efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazku efektivních dávek vnitřního ozáření v jednom období. Limity jsou stanoveny pro obyvatelstvo, radiační pracovníky a pro učně a studenty, a jsou vyjádřeny za příslušné období (1 roky, 5 let). (Freitinger Skalická Z., J. Halaška, R. Havránková, et al., 2020)

Obecné limity pro obyvatelstvo za jeden kalendářní rok jsou tyto:

- součet efektivních dávek – 1 mSv,
- ekvivalentní dávka na oční čočku – 15 mSv,
- ekvivalentní dávka na každý 1 cm<sup>2</sup> kůže – 50 mSv (bez ohledu na velikost zasažené plochy). (Vyhláška č. 422/2016 Sb.)

Limity pro radiačního pracovníka:

- součet efektivních dávek za jeden kalendářní rok – 20 mSv,
- efektivní dávka za dobu 5 let (po sobě jdoucích kalendářních let) – 100 mSv a současně 50 mSv za 1 rok, jeli schváleno SÚJB,
- ekvivalentní dávka na oční čočku – 100 mSv za 5 let (po sobě jdoucích) a současně 50 mSv za 1 rok,
- ekvivalentní dávka na každý 1 cm<sup>2</sup> kůže – 500 mSv za 1 rok (bez ohledu na velikost zasažené plochy),
- ekvivalentní dávka na ruce a nohy – 500 mSv za 1 rok. (Vyhláška č. 422/2016 Sb.)

Pro žáka a studenta, který splňuje rozhraní věku 16 až 18 let, jsou limity za jeden kalendářní rok:

- součet efektivních dávek – 6 mSv,
- ekvivalentní dávka na oční čočku – 15 mSv,
- ekvivalentní dávka na každý 1 cm<sup>2</sup> kůže – 150 mSv (bez ohledu na velikost zasažené plochy),



- ekvivalentní dávka na ruce a nohy – 150 mSv. (Vyhláška č. 422/2016 Sb.)

Pokud je žák nebo student mladší 16 let, musí splňovat limity platné pro obyvatelstvo. Zároveň platí, že žáci či studenti starší 18 let jsou povinni splňovat dané limity platné pro radiační pracovníky. (Vyhláška č. 422/2016 Sb.)

### **1.9.3 Princip optimalizace**

Ten, kdo provádí činnost, která vede k ozáření, musí dosáhnout a udržovat takovou úroveň radiační ochrany, aby riziko ohrožení života a zdraví osob a ohrožení životního prostředí bylo co nejnižší. (Zákon č. 263/2016 Sb.)

Tento princip je také označován jako princip ALARA („as low as reasonably achievable“), který si lze vyložit jako dávku ionizujícího záření, která má být tak nízká, jak lze rozumně dosáhnout. (Skupina ČEZ, 2019)

### **1.9.4 Princip bezpečnosti zdrojů ionizujícího záření**

Zdroj ionizujícího záření musí být zabezpečen, aby za předvídatelných podmínek nedošlo ke ztrátě kontroly. Tento princip zahrnuje opatření pro technickou bezpečnost, dobrý technický stav zdrojů, zábranu odcizení nebo přístupu neoprávněným osobám. (Skupina ČEZ, 2019)

### **1.10 Nízké radiační dávky**

Nízké dávky byly dříve definovány jako dávky, u kterých popisujeme stochastické účinky. Z druhého úhlu pohledu u velkých dávek popisujeme jejich deterministické účinky. Tato definice není však přesná, jelikož u vysokých dávek pozorujeme i zvýšenou možnost vzniku stochastických účinků. A proto se malé dávky vymezily tak, že nezpůsobují přímé účinky na lidský organismus a s podáním nízké dávky roste pravděpodobnost výskytu účinků pozdních. (Hanus et al., 2005)

Podle UNSCEAR jsou nízké dávky definovány jako dávky do 200 mGy, nízký dávkový příkon jako 0,1 mGy za minutu pro rentgenové a gama záření. Avšak definice nízkých dávek a dávkového příkonu se v různých zdrojích liší. (UNSCEAR, 2011)

ICRP 99 z roku 2005 obsahuje definici nízkých dávek jako dávku charakterizující limit pro radiační pracovníky (20 mSv/rok) a pro obyvatelstvo (1 mSv/rok). Dále tento dokument klasifikuje dávky o velikosti 1 Sv jako mírně vysoké – „*moderately high*“,

100 mSv jako mírné – „*moderate*“, 10 mSv jako nízké – „*low*“, 1 mSv jako velmi nízké – „*very low*“ a 0,1 mSv extrémně nízké – „*extremely low*“. (Valentin, ed., 2005)

Podle jiného reportu z roku 2012 jsou nízké dávky definovány od 10 do 100 mGy a velmi nízké dávky pod 10 mGy. Díky sledování biologických účinků ozáření v Hirošimě a Nagasaki, kde došlo k výbuchu jaderných bomb, vznikl velký soubor dat. Přičemž byl jednoznačně prokázán vztah dávka – účinek, a to pro dávky vyšší než 100 mGy. (UNSCEAR, 2015)

### 1.11 Ozáření z přírodních zdrojů

Přírodní ozáření může být způsobeno kosmickým zářením nebo přírodními radionuklidy. Kosmické záření dopadá na Zemi z vesmíru a ozařuje člověka hlavně externě. Jeho intenzita se odvíjí od faktorů jako je nadmořská výška a konkrétní poloha člověka na Zemi. Přírodní radionuklidy se vyskytují v životním prostředí i v našich tělech. Tyto radionuklidy dělíme na:

- kosmogenní, které vznikají jadernými reakcemi,
- původní primordiální, které vznikly již v ranném stádiu vesmíru a jelikož má dlouhý poločas přeměny, tak se vyskytují na Zemi doposud,
- sekundární, které vznikly z původních radionuklidů a tvoří přeměnové řady.

Přírodní ozáření je velmi nerovnoměrné, jelikož záleží, kde se osoba nachází. Některá místa mají o jeden až dva řády vyšší světový průměr a výjimečně jsou na hranici dávek pro deterministické účinky. (Státní ústav radiační ochrany, 2020)



Obrázek 13 Přehled rozdělení dávek obyvatelstvu (zdroj: Státní ústav radiační ochrany, 2020)

Přírodní zdroje mají největší podíl na radiační expozici obyvatel a v průměru je efektivní dávka přírodních zdrojů asi 2,4 mSv/rok. Součástí přírodních zdrojů jsou látky ve vzduchu, v potravě a ve vodě. Umělé zdroje jsou nejvíce zastoupeny zdroji záření v lékařství, jehož průměr roční efektivní dávky je 0,62 mSv. Avšak hodnota efektivní dávky záření v lékařství není jednoznačná, protože záleží na státu a systému zdravotní péče (např. USA – 3 mSv, Keňa – 0,05 mSv). V procentuální podobě činní expozice přírodního původu 80 % a pouze 20 % je z umělých zdrojů. (UNEP, 2016)

Po celém světě byla uskutečněna studie v rámci měření radiačního pozadí v různých oblastech. V ČR se měřilo například v Brně, kde naměřená hodnota byla poměrně vysoká, v rozsahu 0,11 až 0,15  $\mu\text{Sv/hod}$  (1,0 až 1,3 mSv/rok). Do stejné skupiny jako Brno patří i Vídeň, Las Vegas nebo třeba Yellowstone národní park. Existují však místa, kde je radiační pozadí vyšší, a to v rozsahu 0,16 až 0,20  $\mu\text{Sv/hod}$  (1,4 až 1,8 mSv/rok), jsou jimi Sao Paulo nebo Singapur. Do skupiny míst s nižším radiačním pozadím, v rozmezí 0,06 až 0,10  $\mu\text{Sv/hod}$  (0,5 až 0,9 mSv/rok), patří Praha, Paříž, San Francisco nebo třeba Maledivy. Ve světě najdeme i města s nejnižším radiačním pozadím, kterými jsou nejčastěji ostrovy a přímořská města, např. Dubaj, Sydney nebo Havajské ostrovy. Jejich radiační pozadí je v rozmezí 0,03 až 0,05  $\mu\text{Sv/hod}$  (0,3 až 0,4 mSv/rok). (Hobst, 2017)

Pro porovnání s Fukušimskou prefekturou mělo její hlavní město před havárií radiační pozadí 0,04  $\mu\text{Sv/hod}$  (0,4 mSv/rok). Po jaderné havárii v dubnu 2011 hodnota vyrostla až na 2,74  $\mu\text{Sv/hod}$  (24 mSv/rok). V rámci měření v březnu 2020 tedy po devíti letech od havárie, již byla naměřena hodnota 0,1  $\mu\text{Sv/hod}$  (0,9 mSv/rok). (Fukushima Prefecture, 2020)

Ve světě máme i extrémně vysoké hodnoty radiačního pozadí, které jsou často způsobené zvýšenou radioaktivitou hornin. Tyto hodnoty se naměřily ve městě Ramsar v Íránu (až 400 mSv/rok), ve státě Kerala (max. 17 mSv/rok) a ve městě Guapari v Brazílii (max. 175 mSv/rok). (Skupina ČEZ, 1999)

### ***1.12 Otázka nízkých dávek***

Definice nízkých dávek není ale všeobecná, protože můžeme najít i jiné specifické hodnoty v jiných literaturách, jelikož záleží na specifickém účelu. Pod názvem „nízká dávka“ si každý představí něco zanedbatelného a život neohrožujícího, ale každý by měl mít na paměti, že tomu tak být nemusí. Nízká dávka se však nesmí definovat jako „bezpečná“. Z pohledu stochastických účinků a celosvětově přijatého bezprahového

modelu jejich závislosti na dávce, není žádná dávka považována za bezpečnou. Na nízké dávky narazíme v lékařském ozáření v radiodiagnostice (např. vyšetření mamografie, skiografie, o podstatně vyšší dávky jde při CT nebo intervenční radiologii). Zde se aplikují principy radiační ochrany, konkrétně princip optimalizace a zdůvodnění. Princip limitování se neaplikuje, ale jsou zavedeny tzv. diagnostické referenční úrovně, které mají za úkol usměrňovat dávky při jednotlivých vyšetření.

V lékařském ozáření musí být dané vyšetření ionizujícím zářením správně indikováno, optimalizováno a aplikováno, a poté je riziko spojené s vyšetřením bráno jako přínos pro pacienta. SÚJB má za úkol kontrolovat dodržování všech principů radiační ochrany a lze konstatovat, že úroveň radiační ochrany při lékařském ozáření v ČR je na vysoké úrovni.

Hlavním problémem je komunikace o radiační ochraně s laickou veřejností. Není snadné srozumitelně vysvětlit proč a jak jsou aplikovány postupy radiační ochrany. Pokud se pokusíme o zjednodušení všech informací, může dojít ke zkreslení nebo dezinformaci s možným následkem strachu z účinků ionizujícího záření. Dezinformacím se nevyhneme ani v médiích, které zahrnují účinky ionizujícího záření vždy do spojitostí s rakovinou. Takové zprávy jsou důkazem o neznalosti této problematiky. Příčinu ionizujícího záření pro vznik nádoru lze stanovit jako jeden z možných rizikových faktorů. Určení rizikového faktoru, který zapříčinil nádorové onemocnění, není jednoduché a nelze vybrat pouze jeden faktor bez zkoumání souvislostí. Většina rentgenových vyšetření má velmi nízké hodnoty dávek ionizujícího záření, a proto je možnost způsobení rakoviny tímto faktorem zanedbatelný oproti jiným rizikovým faktorům. (Státní úřad radiační ochrany, 2001)

## **2 Cíl práce a výzkumná otázka**

### **2.1 Cíl práce**

Cíle práce jsou:

- Vytvoření přehledného porovnání monitorování v pohavarijní radiační situaci v rezidenčních oblastech Fukušimské prefektury s dosaženým stavem po náročné dekontaminaci a remediaci životního prostředí.
- Zhodnocení aspektů komunikace rizik nízkých dávek s obyvateli Fukušimy, kteří jsou již poznamenáni stresem z jaderné havárie a aspektů preventivní komunikace s obyvateli v ČR za účelem předběžné informovanosti.
- Vytvoření informativní brožury.

### **2.2 Výzkumná otázka**

1. Jaké rozdíly monitorovaných veličin po jaderné havárii ve Fukušimě přinesla dekontaminace a remediace životního prostředí v rezidenčních oblastech Fukušimské prefektury?
2. Jaké aspekty komunikace rizik nízkých dávek je nutno volit pro obyvatele Fukušimské prefektury a obyvatele ČR s ohledem na zkušenosti z jaderné havárie?

### 3 Metodika

V teoretické části diplomové práce byly veškeré informace zpracovány a čerpány z odborné literatury a internetových zdrojů, které se týkají daného tématu o jaderné havárii v jaderné elektrárně Fukušima.

Výzkumná část je prováděna formou studia hodnot získané monitorováním radiační situace v rezidenčních oblastech Fukušimské prefektury po jaderné havárii, dále se zabývá studiem hodnot získaných monitorováním v rezidenčních oblastech Fukušimské prefektury dosažených průběžně při dekontaminaci a remediaci životního prostředí. Dále rozvádí porovnání hodnot monitorovaných veličin při současné existující radiační situaci ve Fukušimské prefektuře s hodnotami dostupnými v ČR pomocí MONRAS. Další částí práce je zjišťování způsobu komunikace s obyvateli Fukušimy před evakuací a následně po evakuaci v době, kdy byla obyvatelná část dekontaminovaná a vláda usilovala (či usiluje) o návrat obyvatel do těchto oblastí. Zde jsem se zaměřila na to, jak byl pojat přístup k optimalizaci radiační ochrany ve Fukušimě, jak tento princip interpretujeme v ČR a jak lze přispět k dostatečné informovanosti obyvatelstva ve smyslu pochopení principu limitování a optimalizace radiační ochrany v případě jaderné havárie. Za tímto účelem byla vytvořena informativní brožura, která byla zpracována v online grafickém editoru Canva Pro a může být použita pro informování veřejnosti v ČR.

## 4 Výsledky

### 4.1 Spolupráce s IAEA

Po jaderné havárii prefektura Fukušima uzavřela s Mezinárodní agenturou pro atomovou energii (IAEA, International Atomic Energy Agency) smlouvu o spolupráci, která trvala 5 let, od roku 2013 do roku 2017. Tento projekt je prolongovaný v oblastech managementu skladování biologického radioaktivního odpadu a v „risk commutation“ s obyvateli Fukušimské prefektury. Projekt spolupráce prefektury Fukušima a IAEA spočívá v tom, že po celou dobu odborníci IAEA poskytují poradenství a informace týkající se postupů při monitorování, dekontaminaci, remediaci životního prostředí, dočasného a trvalého skladování, resp. likvidaci radioaktivního bioodpadu pocházejícího z dekontaminace životního prostředí. Základními pilíři spolupráce byla a nadále je remediace a dekontaminace, nakládání s radioaktivními odpady, monitorování a mapování radiační situace, včetně poradenství v oblasti komunikace rizik s veřejností a šíření výsledků monitorování prostřednictvím on-line map, aplikací v mobilních telefonech, letáků, seminářů atd. (tzv risk commutation).

### 4.2 Monitorování a mapování radiační situace

IAEA v oblasti monitorování a mapování radiační situace spolupracovala na základě poskytování poradenství týkajícího se používání speciálních technologií pro monitorování a mapování životního prostředí, např. používání bezpilotních vzdušných prostředků (dronů), mobilních měřících přístrojů umístěných v autobusech jezdících na trasách do škol a stacionárních měřících přístrojů umístěných před důležitými veřejnými budovami i obytnými domy, v parcích, na dětských hřištích atd. Vzhledem k tomu, že Fukušimskou prefekturu tvoří 75 % lesů, IAEA poskytovala poradenství i v oblasti dlouhodobého programu monitorování v lesích, monitorování v dřevozpracujícím průmyslu, posuzování stability dekontaminace lesů a šíření cesia v době velkých lesních požárů. (Summary report, 2018)

Údaje z monitorování jsou zveřejňovány na webových stránkách <http://fukushima-radioactivity.jp/> a jsou velmi přehledné pro laickou veřejnost. Na mapě lze najít data, která byla získána při monitorování konkrétních lokalit v pravidelných časových intervalech. Systém je pojat obdobným způsobem jako v ČR MONRAS dostupný na webových stránkách <https://www.sujb.cz/aplikace/monras/> a jak vyplývá z mezinárodních doporučení IAEA.

Použité způsoby monitorování v zasažených oblastech prefektury Fukušima:

- pevné monitorovací stanice,
- automobily a autobusy vybavené systémem GPS (pro měření na silnicích v obytných a venkovských oblastech),
- bezpilotní vzdušné prostředky,
- pěší průzkumníci (pro měření v parcích, lesech, v okolí řek apod.).

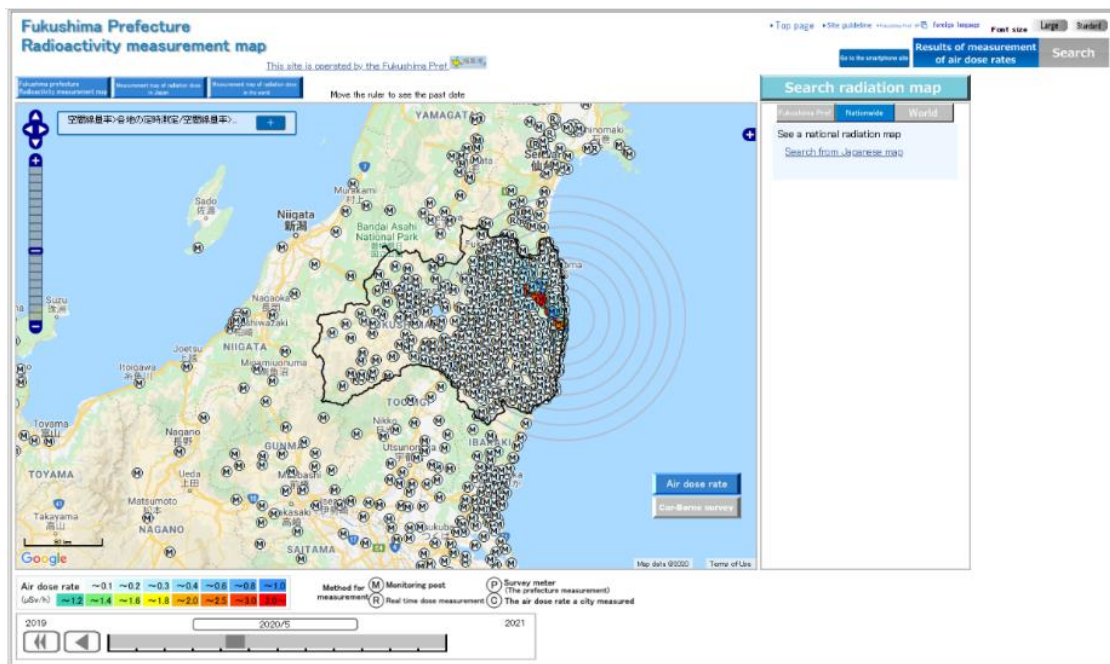


Obrázek 14 Stacionární měřící systém, přenosné monitorovací stanoviště a pěší průzkumník (zdroj: Fukushima Prefecture, 2020)

#### 4.2.1 Webové stránky <http://fukushima-radioactivity.jp/pc/>

Tyto webové stránky jsou vytvořeny prefekturou Fukušima ve spolupráci s IAEA a jsou dostupné veřejnosti v japonštině, angličtině, čínštině a korejštině. Zobrazují hlavně mapu měření radioaktivity, ale i fotografie způsobu měření. Při otevření webových stránek se Vám zobrazí mapa prefektury Fukušima, na které je graficky zpracován vývoj měřených dozimetrických veličin v časové linii. Po otevření podrobnější mapy se zvýrazněnou černou čarou zobrazí obrys prefektury Fukušima a v této mapě najdeme symboly vyznačující metody měření, M (monitorovací stanoviště), R (měření dávky v reálném čase), P (průzkumný měřič), C (měřený dávkový příkon ve vzduchu ve městě, standardně v 1 m od země). Dále také legendu týkající se dávkového příkonu v jednotkách  $\mu\text{Sv/hod}$ . V dolní části mapy se nachází časová osa, která je dostupná od března 2011 do současnosti.

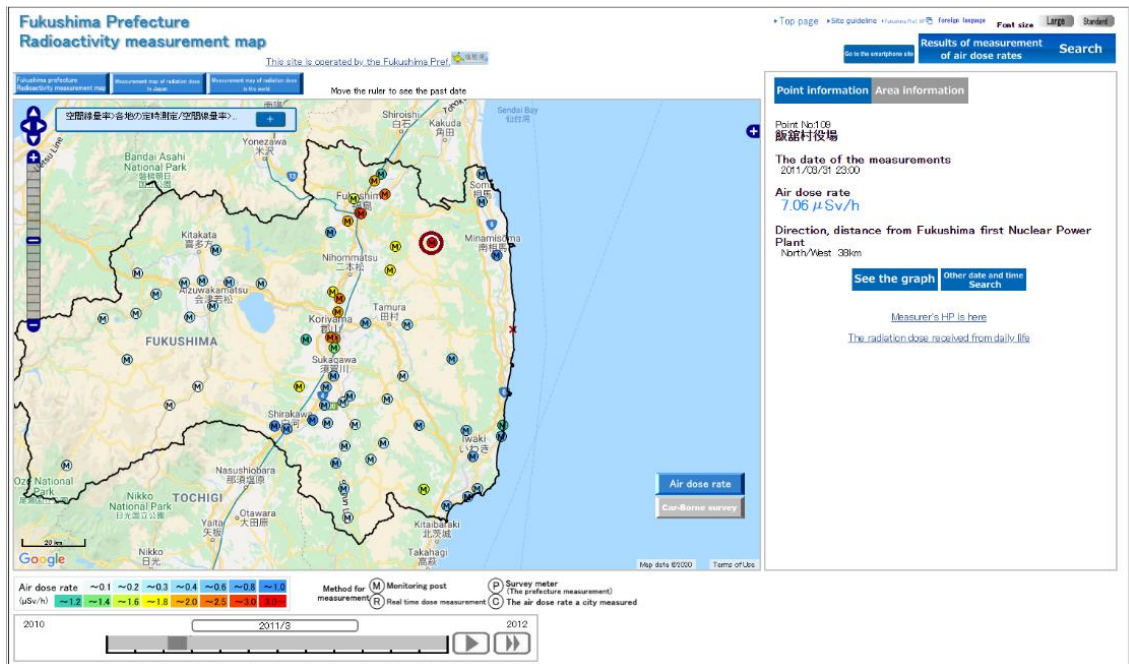




Obrázek 15 Webové stránky zobrazující místa měření ke květnu 2020 (zdroj: Fukushima Prefecture, 2020)

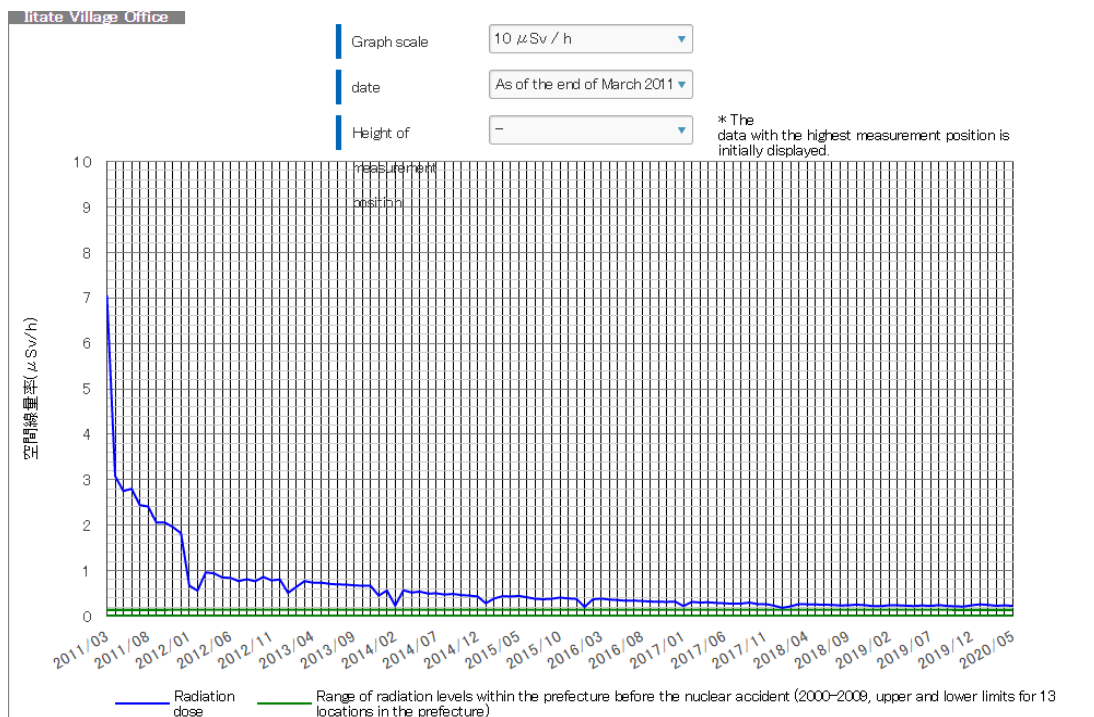
Při rozkliknutí libovolného měřiče v mapě se zobrazí informační okno o údajích, kdy proběhlo měření, jaký dávkový příkon byl naměřen a adresa přesného místa, kde se měřící zařízení nachází. V informační okně se také nachází odkaz na zobrazení grafu, který po zadání libovolného období ukáže, jak se radioaktivita vyvíjela.

Jak lze vidět na obrázku níže (obr. 16), v březnu 2011, kdy došlo k havárii, bylo měřících zařízení radioaktivity málo. Pro ilustraci jsme vybrali data z měřícího přístroje, kde byl dávkový příkon ve vzduchu nejvyšší. Ten se nachází ve vesnici Iitate, která se nachází 38 kilometrů severozápadně od JE Fukušima. Dávkový příkon vzduchu, který byl naměřen 31. března 2011 byl 7,06  $\mu\text{Sv/hod}$ .



Obrázek 16 Zobrazení měřících zařízení v roce 2011 a podrobný výpis informací z měřícího přístroje ve vesnici Iitate (zdroj: Fukushima Prefecture, 2020)

Pokud zobrazíme graf, můžeme nahlédnout do jakékoliv období (graf 1). Po zvolení období od března 2011 do dnes se zobrazí graf, kde je znázorněn modrou čarou průběh dávkového příkonu ve vzduchu a zelenou dávkový příkon pozadí před havárií. Je zřejmé, že dávkový příkon ve vzduchu neustále klesá s občasným výkyvem navýšení. Ke dni 9. května 2020 je výše dávkového příkonu 0,22  $\mu\text{Sv/hod}$ .



Graf 1 Hodnota dávkového příkonu v období březen 2011 – květen 2020 (zdroj: Fukushima Prefecture, 2020)

Tyto webové stránky jsou velmi zajímavé a přínosné, můžete si prohlédnout dávkový příkon po celém Japonsku a nastudovat, jaký dávkový příkon ve vzduchu kdy byl a jak rychle klesal. Také stojí za povšimnutí narůstající počet měřičů dávkového příkonu. Veřejnost je po návštěvě těchto webových stránek dobře informována o průběhu klesání dávkového příkonu primárně v prefektuře Fukušima a poté i v celém Japonsku.

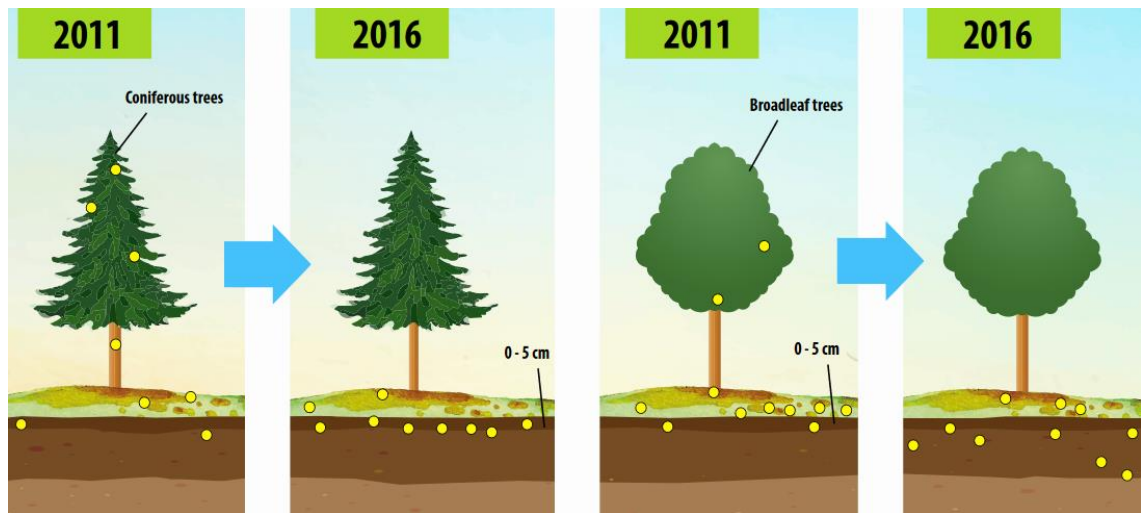
### **4.3 Lesní ekosystém**

Pro hospodářství prefektury Fukušima je těžba dřeva zásadní, a tak je mimořádně důležité zajištění radiační ochrany obyvatel pracovníků je velmi důležité sledovat distribuci cesia ve stromech, dřevě a produktech z něj. Proto se v rámci spolupráce s IAEA dlouhodobě sleduje deponovaná aktivita v lesním ekosystému, zároveň osobnímu monitorování podléhají pracovní síly v lesích a dřevozpracujícím průmyslu. V prefektuře Fukušima byl ve spolupráci s IAEA zaveden systém monitorování, který v roce 2011 pokrýval 362 lesních lokalit, v roce 2017 se počet monitorovaných lokalit zvýšil na 1 300. Zjištěné údaje ukazují, že 90% cesia se vyskytuje v lesní půdě (cca v 5 centimetrů do hloubky), 7 % v lesním substrátu a pouze 3 % ve stromech. Množství cesia v kmeni stromů je nízké, tudíž je přípustné ho kácet a dřevo zpracovávat. Také bylo prokázáno, že ani sázení dalších stromů není nutné omezovat. Bylo zjištěno, že na místech, kde došlo k rozsáhlým lesním požárům, zůstává aktivita cesia nízká i po požáru, přičemž ani šířící se kouř neměl vliv na zhoršení radiační situace v okolí a v obyvatelných oblastech prefektury. (Summary report, 2018)

V roce 2006 studie prokázala, že u volně pohybujících se zvířat (zejména kanců a černých medvědů) se hmotnostní aktivita cesia velmi liší (cca od 10 Bq/kg do 13 000 Bq/kg), přičemž významnější je kontaminace divokých kanců oproti medvědům. Proto průběžně probíhá výzkum zaměřený na to, z jakých složek ekosystému a jakými cestami ke kontaminaci kanců dochází. Je zkoumán obsah cesia v žaludku, svalech a pomocí GPS je sledován pohyb kanců, jejich migrace v čase a místě a jejich nejčastější místa výskytu. Odborníci sledují stravovací návyky divokých prasat, přičemž je zřejmé, že cesium se dostává do divokých prasat stravou, např. houbami, žaludy, ovocem či z půdy. Je vhodné uvést, že japonský limit pro kontaminaci potravin byl stanoven na 100 Bq/kg, mnohem striktněji oproti tehdejšímu veterinárnímu limitu přijatému v ČSSR po havárii v Černobyli (600 Bq/kg). Tento přísný limit zamezuje lovu kanců za účelem konzumace a v důsledku toho došlo k jejich velkému nežádoucímu přemnožení a škodám

v současných dekontaminovaných, obyvatelných, ale stále vysídlených oblastech Fukušimské prefektury.

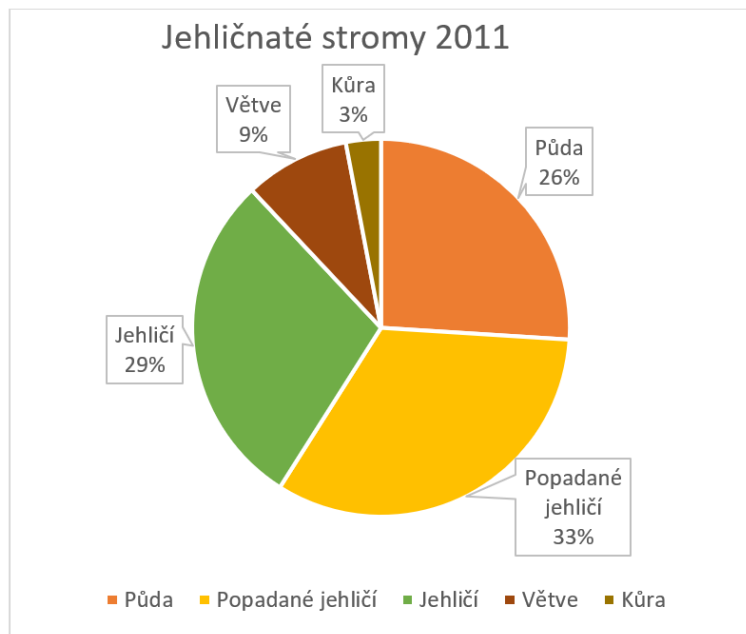
Další studie se zaměřila na přítomnost cesia ve stromech jak jehličnatých, tak listnatých a jejich okolí. Toto měření se provádělo v roce 2011 a v roce 2016. Následující obrázky demonstrují porovnání výskytu cesia ve stromech, půdě a na povrchu půdy v letech 2011 a 2016. Znázorňují značný úbytek cesia ve stromech a jeho zvýšený výskyt v půdě.



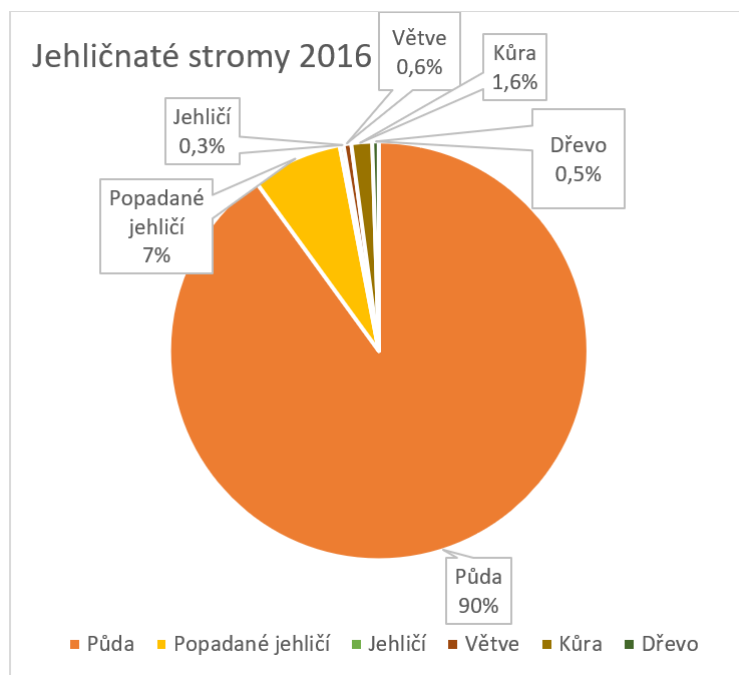
Obrázek 17 Přítomnost cesia v jehličnatých a listnatých stromech a jejich okolí v roce 2011 a 2016 (zdroj: IAEA a Fukushima Prefectural Government, 2017)

Následné grafy zobrazují procentuální výskyt aktivity cesia v jednotlivých částech jehličnatých a listnatých stromů.

Grafy 2 a 3 se týkají jehličnatých stromů a půdy s obsahem cesia. V roce 2011 (graf 2) se cesium vyskytovalo na mnohem více místech, například v popadaném jehličí, jehličí na stromech, větvích, kůře a půdě. V roce 2016 (graf 3) se procentuální výskyt cesia snížil hlavně u jehličí jak opadaném, tak na větvích. Největší výskyt cesia je tedy v půdě do hloubky 5 centimetrů.

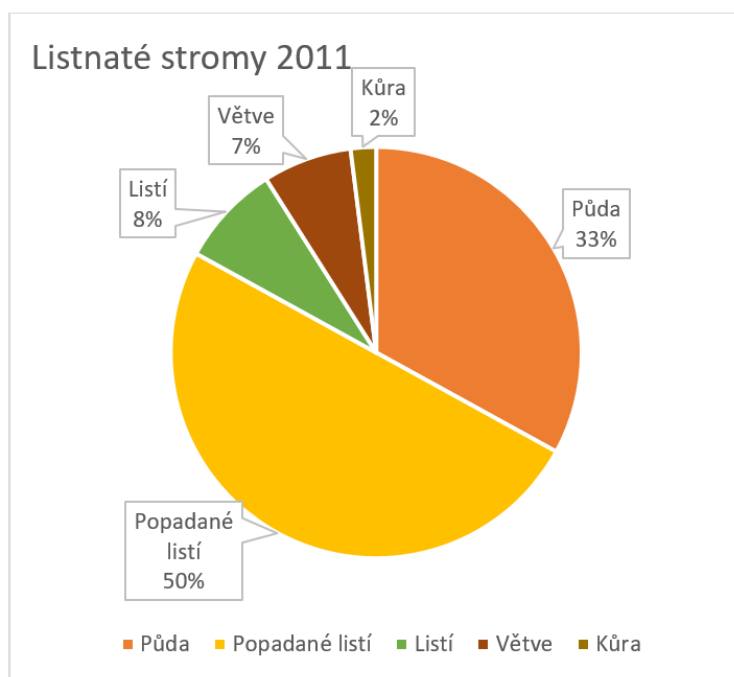


Graf 2 Přítomnost cesia v jehličnatých stromech a jejich okolí v roce 2011

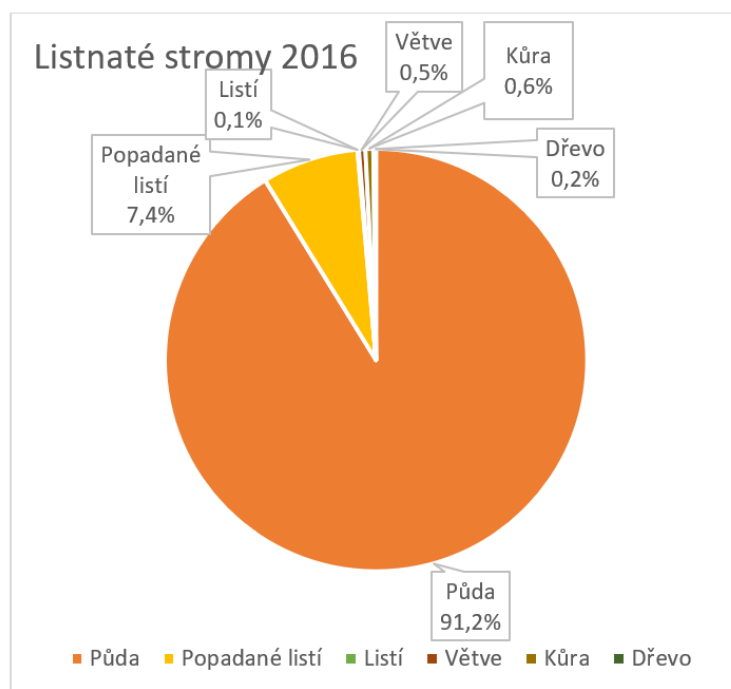


Graf 3 Přítomnost cesia v jehličnatých stromech a okolí v roce 2016

Grafy 4 a 5 se zabývají procentuálním výskytem cesia v listnatých stromech a jejich okolí. Pokles výskytu cesia je obdobný jako u jehličnatých stromů. V roce 2011 (graf 4) se cesium vyskytovalo nejvíce v opadaném listí a v půdě. Oproti tomu v roce 2016 (graf 5) se cesium ze stromů téměř vyloučilo a největší procentuální podíl tak zůstal v půdě. Obsah cesia v půdě je zdůvodněn jeho vysokou schopností vázat se na soli zemin iontovou vazbou, přičemž místní půda je charakteristická vysokým obsahem solí.



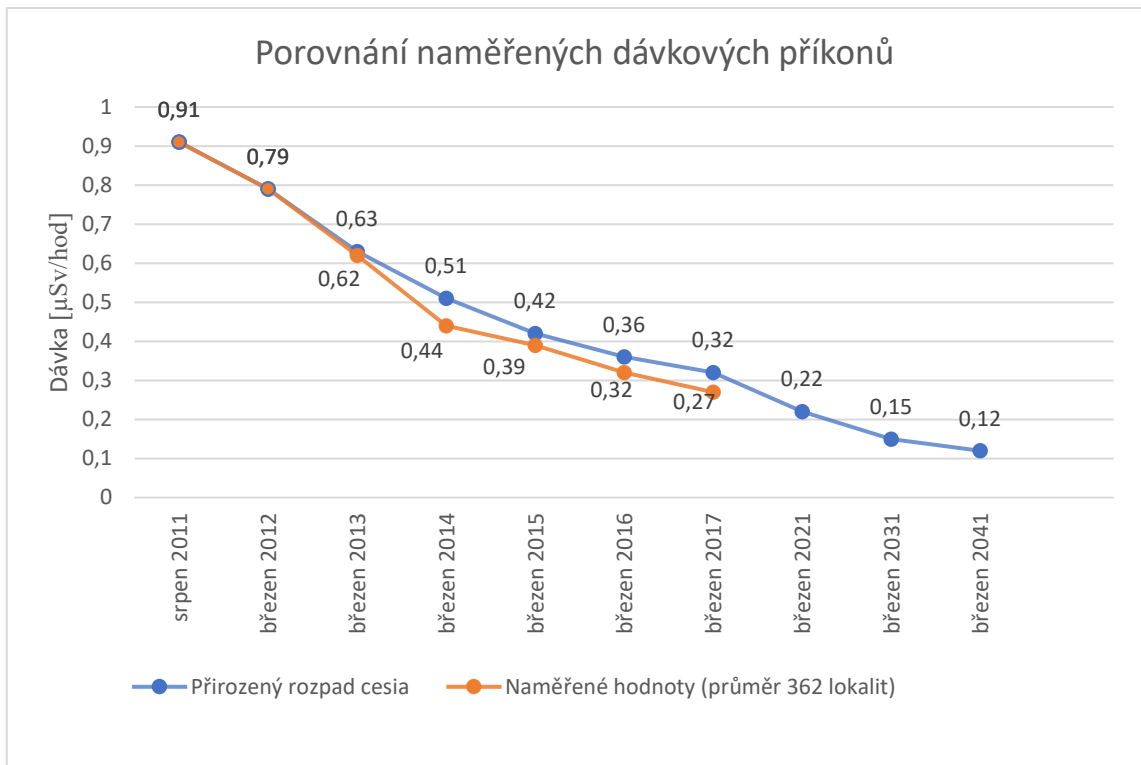
Graf 4 Přítomnost cesia v listnatých stromech a okolí v roce 2011



Graf 5 Přítomnost cesia v listnatých stromech a jejich okolí v roce 2016

Monitorování se provádělo v roce 2011 a 2016, za tu dobu se obsah cesia ve stromech snížil přibližně o 70 %.

V následujícím grafu (graf 6) je znázorněno porovnání hodnot naměřených dávkových příkonů, které byly získány z pravidelného měření. V grafu jsou vytyčeny dvě spojnice. Modrá spojnice znázorňuje naměřené hodnoty, které jsou zhodnoceny jako průměr hodnot monitorovaných lokalit (362 lokalit). V srpnu 2011 byla průměrná hodnota 0,91  $\mu\text{Sv/hod}$ . Tato hodnota postupně klesala v návaznosti na dekontaminaci a při měření v březnu 2017 byla průměrná hodnota pouze 0,27  $\mu\text{Sv/hod}$ . Druhá, červená, spojnice znázorňuje pokles naměřených dávkových příkonů v důsledku přirozeného rozpadu. I zde dochází k velkému poklesu, i když pomalejšímu než u spojnice modré. V srpnu 2011 se naměřila hodnota 0,91  $\mu\text{Sv/hod}$ , která za necelých šest let klesla na hodnotu 0,32  $\mu\text{Sv/hod}$ . Graf znázorňuje i odhad poklesu v roce 2021 (0,22  $\mu\text{Sv/hod}$ ), v roce 2031 (0,15  $\mu\text{Sv/hod}$ ) a v roce 2041 (0,12  $\mu\text{Sv/hod}$ ). Zde se naskytuje otázka, zda vůbec byl takový rozsáhlý projekt zásahu do životního prostředí (dekontaminace a remediacce) zdůvodněný a optimalizovaný v kontextu principů radiační ochrany „zdůvodnění a optimalizace“. Tento zásah můžeme považovat za extrémně důsledný a v rámci dekontaminačních činností nebyl nutný. Princip zdůvodnění nám říká, že se musí dbát na ospravedlnění přínosu činnosti vyvažující rizika, která mohou vzniknout při těchto činnostech. Zde se rizikem stává to, že bude v prefektuře příliš mnoho radioaktivního odpadu a nebude již místo na jeho skladování. Dalším principem je optimalizace, který říká, že se musí dosáhnout a udržovat takové úrovně radiační ochrany, aby riziko ohrožení života a zdraví osob a ohrožení životního prostředí bylo co nejmenší. Proto se můžeme domnívat, že se dekontaminační činnosti mohly zastavit již dříve, jelikož v Japonsku je průměrný roční dávkový příkon pozadí 2,1 mSv/rok. Došlo by pak k přírodnímu rozpadu a ušetření místa pro radioaktivní odpady.



Graf 6 Porovnání poklesu naměřených dávkových příkonů po dekontaminaci a důsledku přirozeného rozpadu (zdroj: IAEA a Fukushima Prefectural Government, 2017)

Při studii distribuce cesia ve dřevě byly zkoumány především tyto stromy: japonský cedr, japonský cypřiš a japonské červené borovice.



Obrázek 18 Metody odběru materiálu pro studii (zdroj: IAEA a Fukushima Prefectural Government, 2017)

Vnitrostátní japonská norma hmotnostní aktivity pro radioaktivní odpadní materiál byla stanovena na 8 000 Bq/kg. Podle údajů uvedených v Reportu projektu IAEA a fukušimské vlády (IAEA a Fukushima Prefectural Government, 2017) je nejvyšší naměřená koncentrace cesia ve vytěženém dřevě 5 500 Bq/kg. Pokud by tedy bylo postaveno obydlí člověka ze dřeva obsahující maximální hmotností aktivitu cesia, obdržel by roční efektivní dávku pouze cca 0,1 mSv. V Japonsku je za normální expoziční situace průměrný roční dávkový příkon 2,1 mSv/rok (přírodní pozadí). Z toho vyplývá, že nebylo a není nutné omezovat používání dřeva, pouze průběžně provádět jeho monitorování. Dále bylo odvozeno, že není nutné omezovat výsadbu nových stromů, protože až stromy



budou připraveny k těžbě (cca za 50 až 100 let), koncentrace cesia bude minimální – uplyne již více než jeden poločas rozpadu  $^{137}\text{Cs}$ , který je cca 30 let.

#### 4.4 Remediacce a dekontaminace obytných oblastí a vod

V této oblasti IAEA poskytovala rady v rámci dekontaminace za účelem snížit vnější expozici v prefektuře a také v oblasti výzkumu dynamiky cesia v řekách, jezerech apod. včetně nápravných opatření.

Byly prováděny dekontaminace domů, veřejných zařízení, zemědělské půdy, významných řek, vodních zdrojů pro zemědělství a silnic za účelem snížení koncentrace radioaktivního spadu. Report IAEA uvádí, že datováno k březnu 2017 byla radioaktivita odstraněna téměř ze všech obytných budov, veřejných zařízení a zemědělské půdy. Dávkový příkon v prefektuře neustále klesá, a to jak v důsledku dekontaminace, tak v důsledku fyzikálního rozpadu cesia. Úroveň kontaminace klesala i díky přírodním vlivům (déšť, vítr) a migraci cesia do hlubších půdních vrstev. Primárně bylo nutno pochopit chování cesia v životním prostředí a následně byla promyšlena a realizována náprava opatření k zajištění možnosti užívání vody z řek a jezer.



Odklizení omice v zahradách



Čištění chodníků



Odstranění nečistot z okapů



Odstranění usazenin ze silničních příkopů



Odklizení omice ve školách



Hluboká orba zemědělské půdy

Obrázek 19 Dekontaminační činnosti (zdroj: IAEA a Fukushima Prefectural Government, 2017)

Dekontaminační činnosti vláda dokončila do března 2017, a to cca v: 420 000 obytných budovách, 12 000 veřejných zařízení, na 19 000 kilometrech silnic a 31 000 hektarech zemědělské půdy. Většina dekontaminačních prací byla dokončena do konce října 2017. Negativní stránkou těchto nápravných opatření je, že při dekontaminačních činnostech

vznikalo velké množství odpadu, které bylo nutno uložit nejdříve „on-site“ ve velkých plastových pytlích, které byly postupně přemísťovány do centralizovaných povrchových dočasných úložišť. Japonská vláda dodnes řeší problematiku likvidace tohoto odpadu jednak speciální technologií spalování s komunálním odpadem, jednak výstavbou podpovrchových dlouhodobých úložišť.

Prefektura Fukušima zveřejnila údaje o dávkovém příkonu ve vzduchu po havárii, který byl v důsledku času a účinné dekontaminace snížen přibližně o 20 až 50 % v říjnu 2013. Následující tabulka (viz. tabulka 4) uvádí v procentech pokles dávkového příkonu ve vzduchu v důsledku dekontaminace. Nejefektivnější dekontaminace proběhla na veřejných zařízeních, kde klesl dávkový příkon o 45 %, rovněž v obytných domech, kde klesl dávkový příkon o 36 %. Toto měření bylo provedeno v březnu 2012 a říjnu 2013.

Kategorie	Počet měření	Rychlost snížení dávkového příkonu vzduchu dekontaminací %
Domy	82 757	36
Veřejná zařízení	32 311	45
Silnice (km)	33 451	31
Zemědělská půda (ha)	20 147	29
Lesy (ha)	12 697	21

Tabulka 4 Procentuální snížení dávkového příkonu v důsledku dekontaminace (2012 – 2013)

#### 4.5 Dekontaminace vodního systému

Cesium ve své elementární podobě ve vodě zůstává pouze v zanedbatelném množství, významně se však váže na sedimenty a částice, které se ve vodě nachází. V době silných povodní se vyplavuje a transportuje do zatopených oblastí. Elementární rozpuštěné cesium ve vodách řek je výrazně nižší, než stanovuje japonská norma pro objemovou aktivitu pitné vody (tj. 10 Bq/l).

Přijatá nápravná opatření v řekách a jezerech:

- odstranění kontaminovaných sedimentů a bahna ze dna zavlažovacích nádrží a řek,
- omezení rybolovu a spotřeby ryb,

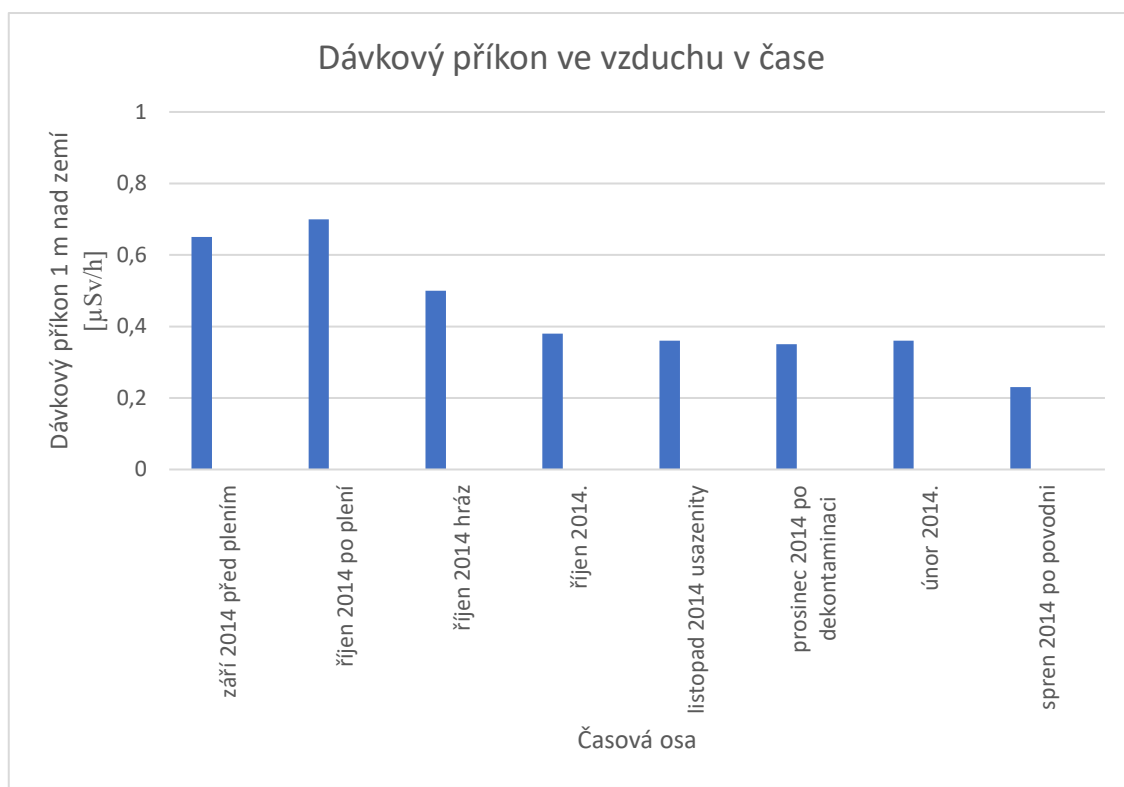
- plení, odstraňování půdy a sedimentů v záplavových oblastech a odstranění vegetace a půdy z břehu řek a zavlažovacích nádrží.



Obrázek 20 Říční oblast před a po dekontaminaci (zdroj: IAEA a Fukushima Prefectural Government, 2017)

Vzhledem k tomu, že po dekontaminačních procesech došlo několikrát k rozsáhlým záplavám a povodním, bylo provedeno opětovné monitorování a ověření stability dekontaminačních opatření, např. na břehu řeky, kudy vedla cesta do školy. Tato řeka se nachází 55 kilometrů od JE Fukušima Daiichi a průměrný dávkový příkon ve vzduchu před dekontaminací byl  $0,7 \mu\text{Sv/hod}$  (údaj ze srpna 2014).

Po dekontaminaci vodních zdrojů v březnu 2015 došlo k rozsáhlé povodňové události a tím došlo k uložení a erodování mnoha sedimentů. Poté prefektura provedla měření a dávkový příkon ve vzduchu se nezvýšil. Podobný výsledek se objevil i v jiných parcích podél řek.



Graf 7 Dávkový příkon ve vzduchu v čase

#### 4.6 Nakládání s radioaktivním odpadem

V této oblasti IAEA poskytla prefektuře technické poradenství v rámci bezpečnosti nakládání s radioaktivním odpadem, a to hlavně v místech, kde byl odpad dočasně skladován. Dále IAEA poskytla poradenství ohledně bezpečnosti týkající se dlouhodobějšího skladování do doby vybudování trvalých podpovrchových úložišť.

Bylo nutné vypracování posouzení bezpečnosti dočasných „on-side“ úložišť a jejich systematické sledování. Výsledky tohoto monitorování přinesly konkrétní důkazy, že odpad nemá významné radiační důsledky pro veřejnost a životní prostředí.

Můžeme se domnívat, že pokud se bude veřejnost vracet zpět do svých domovů, v jejichž blízkosti se bude nacházet „on-site“ úložiště, bude ovlivněna emocemi, strachem z radiace a z ohrožení jejich zdraví. Je proto nezbytné s veřejností komunikovat, informovat ji, a to nejen o reálných rizicích a o aktuálních naměřených hodnotách, ale také o důvodech umístění úložiště v konkrétní lokalitě.

Orgány prefektury provedly od havárie v JE Fukušima Daiichi značné množství práce na remediaci a nakládání s výsledným radioaktivním odpadem. IAEA poskytla orgánům prefektury odborná poradenství a osvědčené postupy z celého světa.

Cílem nakládání s radioaktivním odpadem bylo:

- snížení aktivity biologického odpadu,
- snížení objemu kontaminovaného odpadu,
- umístění odpadu do prozatímních povrchových úložišť a sledování jejich bezpečnosti.



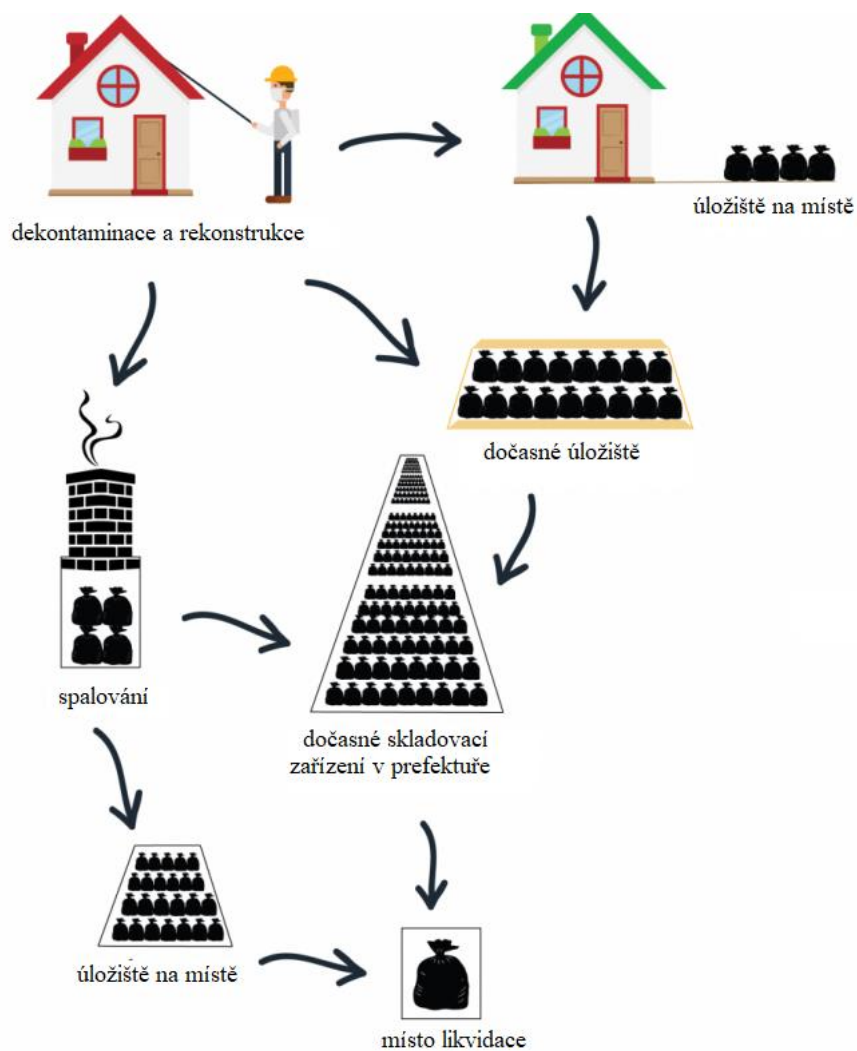
Obrázek 21 Přeprava radioaktivního odpadu z dočasného úložiště do dočasného skladovacího zařízení



Obrázek 22 Dočasné skladovací zařízení

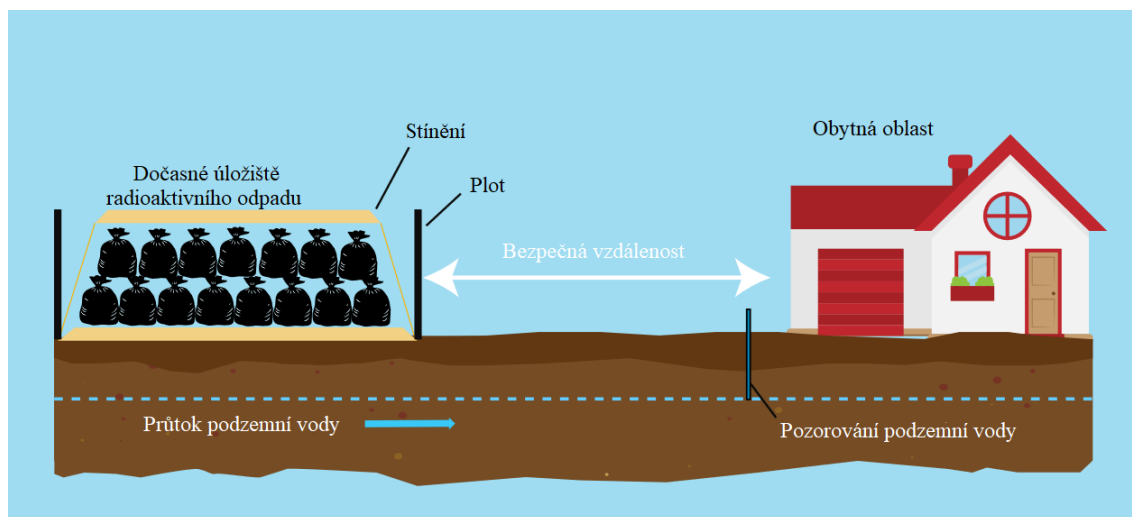
(zdroj: IAEA a Fukushima Prefectural Government, 2017)

Od září 2017 se vytvořilo 6 milionů m<sup>3</sup> radioaktivního odpadu, který se v rámci ochrany veřejnosti a životního prostředí uchovával v dočasných úložištích, dokud japonská vláda nevybuduje dočasné skladovací zařízení. Radioaktivita odpadu se zatím snižuje především v důsledku fyzikálního rozkladu cesia. Radioaktivní odpad z dočasných pouličních „on-side“ skladovacích prostorů je postupně svážen do prozatímního povrchového skladu, a nakonec je plánováno vybudování trvalého úložiště, respektive částečné likvidace spalováním mimo prefekturu, což snižuje objem odpadu. Zbytky ze spáleného odpadu budou také přesunuty do skladu, a nakonec do likvidačního zařízení.



Obrázek 23 Průběh nakládání s radioaktivním odpadem (zdroj: IAEA a Fukushima Prefectural Government, 2017)

Na základě doporučení IAEA vypracovaly orgány prefektury pokyny pro zřízení a provoz dočasných úložišť (TSS, Temporary Storage Sites). Tato úložiště byla odpovědná příslušným orgánům a řídila se dle stanovených zákonů, vládních pokynů a v souladu s bezpečnostními normami IAEA. Tyto normy byly vypracovány na základě zkušeností získaných při nakládání s radioaktivním odpadem na celém světě. Pomoc IAEA zahrnovala vypracování pokynů z technického hlediska pro dočasná úložiště i hodnocení bezpečnosti TSS při neobvyklých podmínkách jako jsou vydatné deště, zemětřesení nebo požáry.



Obrázek 24 Typické rozložení TSS (zdroj: IAEA a Fukushima Prefectural Government, 2017)

TSS byly zřízeny pro odpad, který měl být v těchto zařízeních skladován po dobu 3 let. A následně měl být přepraven do prozatímního skladovacího zařízení. Bylo nutné posouzení bezpečnosti TSS a skladovacích míst s ohledem na parametry, například množství odpadu, koncentrace cesia, stavu stínění a vzdálenosti mezi úložištěm a budovami. (IAEA a Fukushima Prefectural Government, 2017)

Množství radioaktivního odpadu je značné a koncentrace úložišť je tedy vysoká. Úložiště všech typů se nacházejí i v obytných částech, radioaktivní materiál tedy zasahuje do osobního prostoru obyvatel, zde je třeba vzít v potaz psychický faktor. Obyvatelé jsou vystaveni situaci, kdy se musejí vyrovnávat nejen s překonáním psychicky náročných událostí jako je evakuace, nové životní podmínky, ale také dlouhodobý výskyt tohoto momenta jaderné události v podobě úložišť v bezprostřední blízkosti jejich obydlí, pracovišť a škol. Remediací a dekontaminací se prováděly velmi důkladně, a proto vzniklo mnoho radioaktivního odpadu, který je potřeba někde uložit, dokud nepoklesne jeho radioaktivita na přístupnou úroveň. Jenže za cenu toho, že se tyto odpady nemají již kde skladovat. Dekontaminace se prováděla i tam, kde to nebylo nezbytně nutné a kontaminace, resp. naměřený dávkový příkon nebyl z pohledu optimalizace pohavarijní situace příliš vysoký. Zásadní bylo pravděpodobně nepochopení obecného limitu 1 mSv, jakožto hodnoty, které je nepřístupné překročit za běžných okolností a běžné radiační situace. Jiná otázka nastává v havarijní a pohavarijní situaci, kdy by měl již být uplatňován přístup optimalizace radiační ochrany a to tak, že dávky snižujeme na nejnižší možnou úroveň, ale při zvažování všech ekonomických a sociálních aspektů. V tomto směru zaujalo Japonsko velmi striktní dogma, že 1 mSv nesmí být překročen za žádných

okolností. Důsledkem takového přístupu je nyní velmi vážný problém s uložením kontaminovaného odpadu, a to nejen ekonomický a realizační, ale i sociální, neboť takovéto úložiště v obytných oblastech zjevně musí obyvatele odrazovat od návratu do svých obydlí. Nastává tedy zcela jiná situace, kterou je zapotřebí dlouhodobě řešit, a tou je psychologická a komunikační.



Obrázek 25 "On-site" úložiště (zdroj: IAEA a Fukushima Prefectural Government, 2017)

#### **4.7 Stav životního prostředí ve Fukušimě a ve světě**

Pro porovnání si uvedeme hodnoty dávkového příkonu ve vzduchu ve velkých městech prefektury Fukušima (Aizuwakamacu, Fukušima a Iwaki) v časovém rozmezí (2011 až 2017). Před havárií JE Fukušima byly hodnoty dávkového příkonu ve vzduchu pouze jako pozadí v hodnotách 0,04 až 0,06  $\mu\text{Sv/hod}$ . Tato hodnota je jedna z nejnižších hodnot na celém světě. Po havárii v dubnu 2011 byly hodnoty v těchto městech vyšší. Největší vzrůst dávkového příkonu ve vzduchu byl ve Fukušimě, hlavním městě prefektury. Ve zbývajících dvou městech hodnota nestoupala tak razantně, jako hodnota ve Fukušimě. Po půl roce od havárie hodnoty dávkového příkonu nadále klesají. V březnu 2017 se naměřily takové hodnoty dávkového příkonu, že jsou již srovnatelné s městy jinde ve světě.



Časové rozpětí	Fukušima	Aizuwakamacu	Iwaki
<b>Březen 2011 (před havárií)</b>	0,04	0,04 ~ 0,05	0,05 ~ 0,06
<b>Duben 2011</b>	2,74	0,24	0,66
<b>Září 2011</b>	1,04	0,13	0,18
<b>Březen 2012</b>	0,63	0,10	0,17
<b>Březen 2013</b>	0,46	0,07	0,09
<b>Březen 2015</b>	0,23	0,06	0,07
<b>Březen 2017</b>	0,17	0,05	0,07
<b>Březen 2020</b>	0,10	0,06	0,07

Tabulka 5 Hodnota dávkového příkonu ve velkých městech v časovém rozmezí [ $\mu\text{Sv/hod}$ ]

Město (stát)	Dávkový příkon [ $\mu\text{Sv/hod}$ ]
<b>Helsinky (Finsko)</b>	0,14
<b>Londýn (Spojené království)</b>	0,11
<b>Soul (Jižní Korea)</b>	0,12
<b>Yangjiang (Čína)</b>	0,26
<b>Hong Kong (Čína)</b>	0,14
<b>Hyderabad (Indie)</b>	0,15
<b>Paříž (Francie)</b>	0,05
<b>Berlín (Německo)</b>	0,08
<b>New York (USA)</b>	0,04
<b>Peking (Čína)</b>	0,07
<b>Singapur</b>	0,10

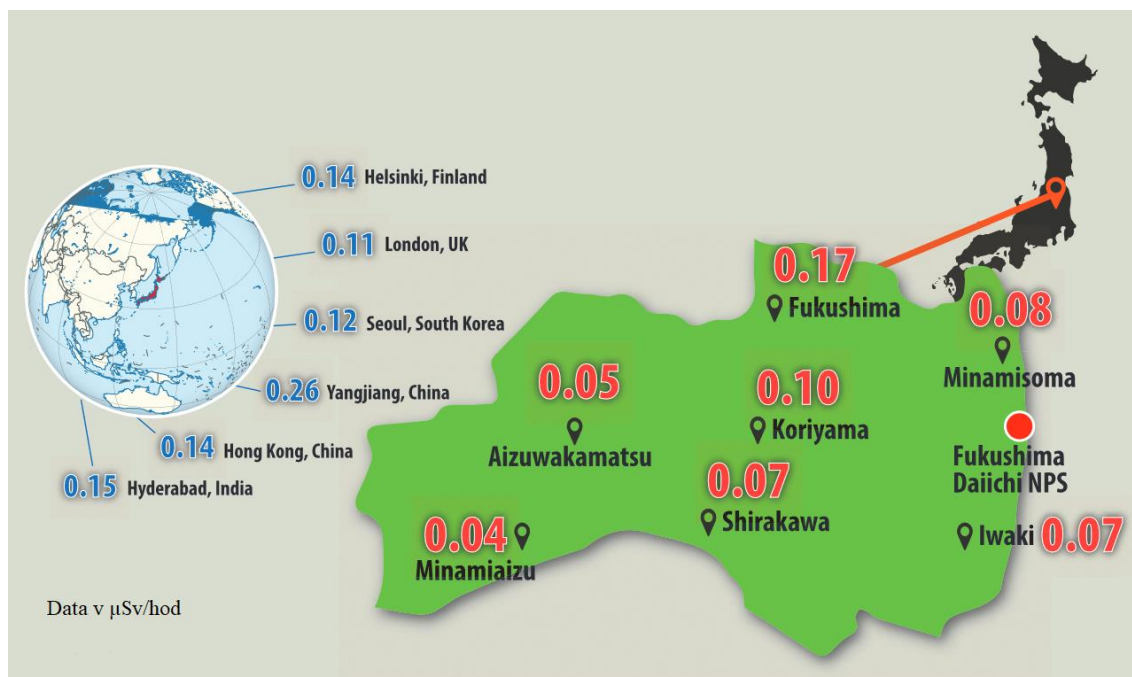
Tabulka 6 Dávkový příkon ve vzduchu ve vybraných městech (údaje z roku 2016/2017)

Jak si lze všimnout z předchozích tabulek (viz. tabulky 5 a 6), hodnoty dávkového příkonu ve vzduchu se ve zmíněných třech městech Fukušimské prefektury zcela neliší od hodnot naměřených v roce 2016/2017 v celém světě. Panika obyvatel a jejich nedůvěra vůči vládě byla tedy v roce 2017 zbytečná. Na základě těchto objektivně měřitelných hodnot můžeme předpokládat, že oblasti jsou vhodné k osídlení a neexistuje zde důvod ke strachu obyvatel při návratu zpět do svých domovů.

Z pohledu principu optimalizace radiační ochrany a limitování si položíme otázku, zda vládní rozhodnutí o dekontaminaci potřebné k dosažení nepřekročení limitu 1 mSv pro

obyvatele bylo optimalizované a nezbytně nutné. Cílem bylo opětovné získání důvěry lidí, aby se mohli vrátit do svých rezidenčních oblastí a obnovit svoji infrastrukturu, včetně obnovy zejména dřevozpracujícího průmyslu a zemědělství, což byla hlavní složka obživy místních obyvatel. Vládní rozhodnutí a přístup k nepřekročení 1 mSv přidané dávky pro obyvatele v pohavarijní, ale již dlouhodobě existující situaci, bylo velmi striktní a v důsledku bylo na dekontaminaci vyloženo velké množství financí při vzniku velkého množství radioaktivního bioodpadu. Vláda tak učinila veškeré kroky, které považovala za adekvátní situaci, ovšem obecná neinformovanost obyvatelstva a needukovanost v oblasti radiační ochrany stále vedla k nedůvěře ve všech vládních rozhodnutích. Obyvatelé nebyli předem na takovou situaci vůbec připravováni, jaderná havárie velmi ochromila jejich nedůvěru ve vládu a získat ji zpět je do současné doby velmi obtížné. S tím souvisí tzv. vnímaná rizika, která jsou zcela odlišná od rizik současně reálných.

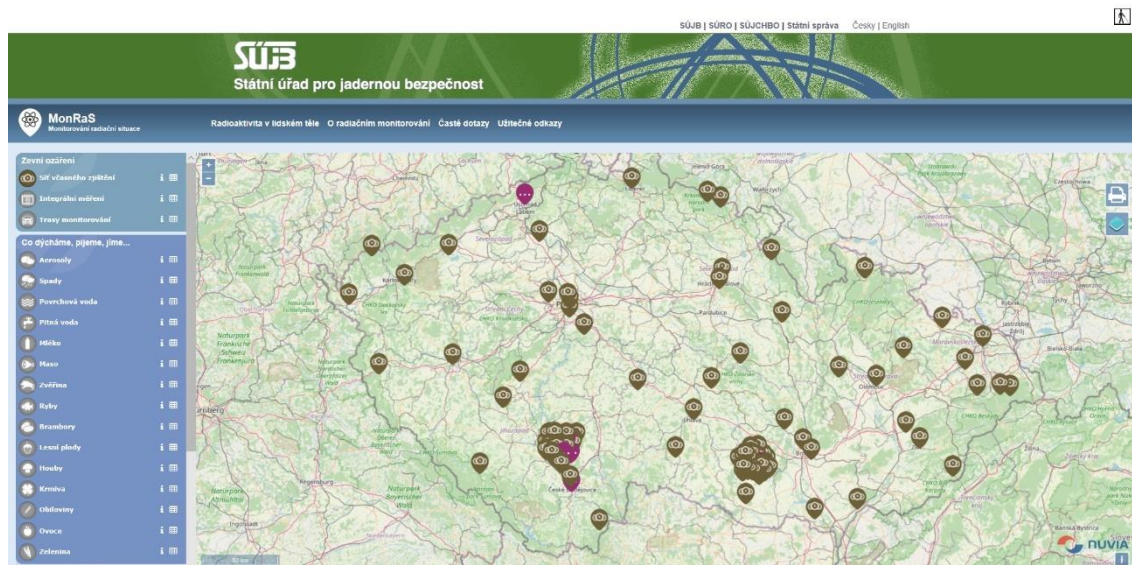
Hlavní město Fukušima měla před havárií hodnotu přírodního pozadí 0,4 mSv/rok a patřila tak mezi místa s nejnižší takovou hodnotou v pozadí. Po havárii se hodnota zvýšila na 2,4 mSv/rok, což je o 4 mSv více než limit pro radiačního pracovníka. Vzhledem k tomu, že radiační pracovníci mají vyšší limit než obyvatelé a nedojde u nich k žádným projevům stochastických účinků, je zřejmé, že tato hodnota je stále „bezpečná“, tedy aplikovatelná pro obyvatele v pohavarijní mimořádné situaci. Pokud tedy chtěli snížit tuto hodnotu dekontaminačními činnostmi, mohli ji pouze snížit pod 20 mSv/rok. Pak by se uplatnil princip optimalizace a docílilo by se určité úrovně radiační ochrany a riziko ohrožení života, zdraví a životního prostředí by se snížil na optimální hodnotu. Nedůvěra obyvatelstva spočívá v tom, že lidé byli zvyklí na hodnotu pozadí 0,4 mSv/rok a nyní by měli připustit, že běžné existující pozadí je vyšší. To ovšem z pohledu světových lokalit není nic neobvyklého.



Obrázek 26 Porovnání dávkového příkonu pozadí v měřítku celého světa v roce 2017 (zdroj: IAEA a Fukushima Prefectural Government, 2017)

#### 4.7.1 MonRaS

V ČR se používá databáze MonRaS (Monitorování radiační situace), která podává aktuální informace o monitorování radiační situace na našem území a je volně dostupná na těchto webových stránkách: [https://www.sujb.cz/aplikace/monras/?lng=cs\\_CZ](https://www.sujb.cz/aplikace/monras/?lng=cs_CZ). Tato aplikace byla zhotovena firmami Envinet, a.s. a ABmerit, na základě zadání realizačního týmu SÚJB.



Obrázek 27 Mapa MonRaS (zdroj: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2020b)

V aplikaci MonRaS si lze zvolit libovolný podklad a zoomovat a posouvat dle potřeb uživatele. Data je možné získat ve formě grafů nebo tabulek, a to nejen aktuální, ale i historická data. Vše se zobrazuje v mapě a jednotlivé položky mají rozdílné ikony. Aktualizace dat se provádí každou hodinu.

Aplikace je dostupná v českém a anglickém jazyce. Velkou zajímavostí je možnost využití aplikace i pro nevidomé a slabozraké. Tuto aplikaci můžeme veřejnosti doporučit, protože mapa je velmi přehledná a snadno získáte data Vámi požadované z libovolného dostupného místa. Data, která jsou uvedena v aplikaci, charakterizují hodnotu radiační situace na našem území. Tato data se sbírají pro sledování a hodnocení záření mající vliv na obyvatelstvo a pokud by došlo k radiační havárii, sloužila by pro rozhodování o opatřeních, která by snížila nebo odvrátila ozáření.

#### **4.8 Komunikace rizika**

Komunikace je jednoduše přenos informací z jednoho místa na druhé. Komunikace rizika, také nazývána jako krizová komunikace, je přenos informací mezi organizacemi, médii, skupinami a jednotlivci před, v průběhu a po skončení mimořádné události. Hlavními aspekty jsou:

- obsah a forma,
- možná úskalí,
- problematika vybudování důvěry,
- otázky vnímání rizika.

Za základní kámen této komunikace můžeme považovat schopnost obyvatelstva vnímat riziko v odpovídajícím reálném stavu, a také jeho schopnost přizpůsobit se informacím v době ohrožení. Komunikace rizika zajišťuje zahrnutí všech subjektů, kterých se daná situace dotýká, do činností, které sníží riziko ohrožení. Jsou známy i faktory, které ovlivňují veřejný postoj a také ovlivňují krizovou situaci. Těmito faktory jsou např. nedůvěra veřejnosti institucím, nedůvěra v hodnocení rizik, vzájemné propojení aktivit a důsledků v rámci celého světa apod. (Vymětal, 2009)

Cílem dnešní komunikace o rizicích je chápání věcných informací a ovlivňování rozhodování nebo chování pro řešení zúčastněných stran. Zúčastněnou stranou je každý, kdo má zájem na dané záležitosti, např. příslušníci veřejnosti, kteří mají zájem na dané věci nebo rozhodovacím procesu, dále ti, kteří mají komerční a obchodní zájmy, odbory,

dodavatelé, vládní orgány jak na celostátní, regionální či místní úrovni, sdělovací prostředky, profesní a akademické organizace, národní a místní nevládní organizace. Každopádně mají zúčastněné strany různou míru vlivu na rozhodovací procesy. V této komunikaci je důležité řešit jak stránku intelektuální (podání informací), tak i stránku emocionální (pocity občana).

V komunikaci rozlišujeme riziko vnímané a skutečné. Riziko skutečné je objektivní posouzení pravděpodobnosti nebezpečí a jeho důsledku (radiální dávka a vliv na zdraví). Je to realita, která je sofistikovaně popsána na základě výpočtu dávky a pravděpodobnosti radiálního rizika. Každý projekt, který se zabývá remediací a dekontaminací, řízením remediací odpadů a pomocí při využívání údajů o monitorování radiace, musí zahrnovat účinnou komunikaci s místními obyvateli a dalšími zúčastněnými stranami. Důležitá je i efektivita sdílení informací, kterou můžeme zvýšit na základě správných komunikačních kanálů, jako jsou mapy, zprávy a datové výsledky, s veřejností o skutečném riziku a je také silně ovlivněna právě vnímanými riziky. Účinná komunikace musí být právě o skutečném riziku a musí být věcná a srozumitelná a musí také reagovat na vnímané riziko.

Vnímané riziko je subjektivní posouzení pravděpodobnosti nebezpečí (v tomto případě záření) a vlivu tohoto nebezpečí na pocity z následků. Můžeme ho pochopit jako víru, postoj, pocity apod. Tento druh rizika je velmi důležitý, protože informování o skutečném riziku bývá sděleno vědecky, ale tomu veřejnost nemusí rozumět, a to poté způsobí nepřijetí informace nebo obavy. Je třeba šířit srozumitelná data a řešit emocionální potřeby veřejnosti. Veřejnost potřebuje informace spojené s jejich životem, které získají ze zdrojů, kterým důvěřují. Potřebují jasné zprávy o účincích záření na zdraví a o ovlivnění života s radiací. Je třeba sdělovat informace s jasnou odpovědí, jinak v nich evokuje pocit nejasností, nedůvěry a strachu. Při vzniku jaderné havárie mohou nastat závažné následky jako například strach z rakoviny a zdravotních komplikací, mohou vznikat nepravdivé informace založené na špatné interpretaci vědeckých závěrů, které se šíří pouze mezi lidmi bez řádného komplexu a pochopení. Dále se mohou vyskytnout protichůdné informace z různých zdrojů, veřejnost se může potýkat s narušením z ekonomického a socioekonomického hlediska, může dojít i k psychologickým důsledkům. Po jakékoliv nehodě či havárii může dojít brzy k obavám veřejnosti, jejichž důvěra se zpátky získává velmi těžce. Vnímané riziko u obyvatel Japonska postupně klesá, bojí se spíše vnější expozice než té vnitřní. To je podpořeno současnou informační

dobou a způsobem jakým s informacemi nakládáme. Informace jako taková je dnes velmi dostupná. A tak zde dochází k vyhledávání informací o radiaci na internetu, což často zapříčiní vyhledání dezinformací nebo informací, které veřejnost nepochopí správně a dojde k panice a obavám. Aby se situace uklidnila, bylo potřeba dát veřejnosti najevo, že dávky, které se vyskytují v určitých místech, jsou přijatelné z hlediska rizik stochastických účinků nebo srovnatelné s jinými místy ve světě. Cílem efektivní komunikace bylo přesvědčit lidi o neexistujícímu zdravotnímu problému. A také proto byly vyvinuty výše zmíněné webové stránky <http://fukushima-radioactivity.jp/pc/>. Je třeba účinná komunikace o každém projektu (monitorování a mapování radiační situace, remediace a dekontaminace, nakládání s radioaktivním odpadem) s obyvateli a všemi zúčastněnými stranami. Pokud se chce dosáhnout účinné komunikace, je zapotřebí, aby komunikace byla věcná a srozumitelná a také musí reagovat na vnímané riziko, které veřejnost vnímá jako podstatné. Havárie v Černobylu značně ukazuje na problémy ve veřejné komunikaci, kdy lidé potřebují vědět informace týkající se jejich vlastního života, potřebují jasné zprávy ze zdrojů, ke kterým mají důvěru, aby jim sdělily, jaké jsou účinky záření na zdraví, jaký je vlastně život s radiací a o zdravotním stylu obecně. Veřejnost potřebuje slyšet jasné odpovědi formou ano či ne, pravděpodobnost na důvěře nepřidá a je pro občany nesrozumitelná a odstrašující. Vnímané riziko aktivity je větší, pokud je účinnost komunikace vnímána jako vzbuzení strachu, teroru nebo úzkosti. Také je třeba obyvatelstvo informovat o budoucnosti ekonomiky a vnitrostátních systémů sociální ochrany. Pokud se však lidem bude zdát, že informace nekorelují s jejich obavami nebo přesvědčením, tak je zcela jasně ignorují.

V roce 2012 a 2014 se povedl výzkum o veřejném mínění, který dokazuje, že strach lidí byl obrovský a za tři roky od havárie příliš neklesl. Z počátku se lidé báli více o zdraví rodiny a blízkých z vnější expozice než vnitřní. Postupně se jejich obavy vylučují, ale stále se zde najdou skupiny, které důvěru nemají a možná ani nezískají. Pokud vláda řekne, např. bahno obsahuje 13 300 Bq/kg, ale v pitné vodě není detekováno záření, tudíž je to bezpečné. Když veřejnost uvidí jakékoliv číslo, jsou na úvahách, zda je to tedy správné, nevědí nic o veličinách radiační ochrany a v hlavě jim utkví myšlenka: Je to opravdu bezpečné? Realita je jiná, o dávce nikdy nemůžeme tvrdit, že je bezpečná. Dojem veřejnosti z podání informace o bezpečné situaci nemusí být důvěrný a lidé tak mohou mít i další obavy, např. váhají, zda kupovat produkty vyrobené v prefektuře Fukušima.

Právě havárie v JE Fukušima a obyvatelé v jejím okolí jsou důkazem toho, jak silná jsou vnímaná rizika.

Krok vpřed bylo posouzení vnímaných rizik a následné pochopení, která vnímaná rizika převládají. Pomocí těchto vnímaných rizik se lépe utvoří a přizpůsobí sdělení o rizicích věcně, v rámci skutečného rizika, a jako reakce na obavy veřejnosti. Poté vznikl projekt IPARSC, na kterém se podílela IAEA. Cílem bylo vypracovat formální pokyny, aby bylo jasné, jak se má přistupovat k veřejným rizikům. Dále bylo cílem vypracovat, jak reagovat na emocionální kontext. IAEA a odborníci měli za úkol pomáhat při posuzování vnímání rizika ze strany obyvatel a pak poskytovat pokyny pro rozvoj komunikačních rizik. Očekávaným výsledkem bylo zvýšení znalostí veřejnosti, informování obyvatelstva o dekontaminaci, remediaci a nakládání s radioaktivním odpadem, dále pokusit se změnit chování evakuovaných a přesvědčit je o návratu do oblasti. Pokud se tedy vnímaná rizika neřeší, dojde k tomu, že veřejnost zůstává nepřesvědčena o bezpečnosti v oblasti a jejich důvěra je ztracena. Zlepšení komunikace řešením vnímaných a skutečných rizik obyvatel postižených oblastílepší přijetí stávajících opatření remediace, dekontaminace a nakládání s radioaktivními odpady ze strany veřejnosti, podpoří tak návrat obyvatel, poskytne jim návrat k normálnímu životu a sníží obavy, strach, úzkost a stres. Vybudují si porozumění a důvěru, a to přispěje k úspěchu zvládnutí situace. Komunikace rizika musí být oboustranná. Je nutná jak odezva veřejnosti, která by měla brát v úvahu hodnocení rizik, tak i odborníci musí respektovat chování veřejnosti a pochopení vnímaného rizika.

Informování veřejnosti musí probíhat v rámci různých platforem a různými komunikačními kanály. Vlivem velmi rychlého technického pokroku v oblasti informačních technologií a chytrých zařízení dochází k jisté generační odlišnosti, kdy mladší generace pracuje s informacemi v rámci internetu, ale starší generace se stále soustředí na předávání zpráv formou televizních zpráv nebo klasických papírových novin. Já osobně informace ze světa i z naší země hledám na internetových portálech a z více zdrojů, televizní zprávy sleduji zřídka, jelikož mi to časové možnosti nedovolují a také je zde velké množství negativních událostí. Možná zastávám tento názor právě proto, že mám pocit přílišného nátlaku a ovlivnění mého názoru a myšlení. Domnívám se, že většina mladé generace si nejvíce informací dohledává právě na internetu, v internetových článcích, rozhovorech a zprávách, a také jsou ovlivněni sociálními sítěmi (Facebook, Instagram, Twitter apod.), které nás upozorňují na to, že se něco děje. Proč nevyužít

těchto sociálních sítí a nepodat tak informace o dění? Osobně se často setkávám s příspěvky typu zpráv z regionu, nebo bulvárních článků, nevidím tedy důvod, proč bych nemohla narazit i na článek například o havárii jakékoliv z jaderných elektráren s informacemi co se stalo a následný postup chování veřejnosti k této události. Věřím, že počáteční panika musela být obrovská, protože média po celém světě tvrdila, že Japonsko situaci nezvládá a nemá ji pod kontrolou. Často také média srovnávala tuto situaci s havárií v Černobylu, což vzbudilo ve veřejnosti vzpomínky, co se v Černobylu stalo a zmocnil se jich strach. Přitom ve skutečnosti byla uvolněna pouze desetina množství radiace než v Černobylu. Jenže veřejnost si tuto informaci může špatně vyložit, jakmile se zmíníte o katastrofě, která se stala dřív, může vypuknout extrémní panika a přesvědčit veřejnost, že situace není tak vážná je nesnadný úkol. Veřejnost se tedy domnívala, že jim řekli málo, a hlavně příliš pozdě o tom, jaká potencionální nebezpečí by přinesla exploze, obviňovali tak firmu TEPCO a vládu z těchto chyb.

#### **4.9 Dopad jaderné havárie na veřejnost**

Tato jaderná havárie má obrovský dopad na psychiku a život tamních obyvatel, kteří měli a mají sebevražedné sklony a neustálé obavy z radiace. Při evakuaci obyvatel došlo jistě k mentální i fyzické zátěži, která vznikla nuceným vystěhováním z vlastních domovů. Vlivem této havárie došlo k předčasným úmrtím, která narušila fungování nemocnic, také se zhoršily již existující zdravotní problémy a docházelo k únavě z hlediska duševní stránky, která byla způsobená razantními a dramatickými změnami v životech těchto lidí. Pokud mělo něco zamezit těmto zbytečným zdravotním potížím, je to právě informovanost obyvatelstva a sdílení s nimi aktuální zprávy, kdy příslušné orgány mají porozumět situaci a směru šíření kontaminace a věděli tak, co bude následovat a jaké další oblasti to bude přibližně zasahovat a o tyto informace se podělit s obyvateli. Kdyby tedy obyvatelé byli informováni a měli by základní znalosti o rizicích radiace, nedošlo by k pocitům úzkosti. Japonským úřadům se vcelku podařilo ochránit lid během nehody, a to díky brzké evakuaci a rozšíření pilulek s jodidem draselným. Došlo však k řadě selhání po stránce komunikační, kdy se začaly přehnaně šířit strachy z rizik způsobených kontaminací. Vzhledem k současným poznatkům, na které můžeme nahlížet s odstupem času, je zde jistá pravděpodobnost, že by řídicí orgány rozhodly jinak. Například by nepřistoupily k nucené evakuaci a využívaly by pouze systém ochrany pomocí jodových tablet.



Stres z jaderné havárie měl dopad na širokou populaci. Tomuto stresu se nevyhnuli ani zaměstnanci JE Fukušima a likvidátoři havárie, u kterých byl stres zřetelný, jen na samotné elektrárně bylo zaznamenáno 5 smrtelných infarktů. Na zaměstnance JE Fukušima dopadl i nápor pomluv a nepřátelských postojů ze strany ostatních obyvatel, i to má značný vliv na psychiku a potencionální stres. Pracovníci a likvidátoři byli vystaveni velkému psychickému napětí, vyskytla se u nich zvýšená míra tísně, posttraumatického stresu, nervozity, beznaděje, deprese, marného a bezcenného úsilí. Hlavním zdrojem těchto symptomů mohou být i stresory jako evakuace jejich vlastních domů, ocitnutí se blízko k smrti, svědectví exploze vodíku a ztráta majetku během tsunami. Také byli zasaženi smrtí jejich kolegů a členů rodiny. Tyto symptomy a stresory jsou tak silné, že lze předpokládat, že průměrný člověk se s nimi bude s obtížemi potýkat a je zde riziko poškození jeho psychického stavu.

Obyvatelé, kteří byli evakuováni ze svých domovů, nevěděli na jak dlouhou dobu opouštějí svoje obydlí. Také přišli o výsledky své práce a přežívání v přechodných obydlích se pochopitelně odráží na jejich psychice a kondici. Avšak tito obyvatelé nejsou seznámeni s radiací a jejími vlastnostmi, spousta z nich si neuvědomuje, že radioaktivita je součástí ovzduší a prostředí, ve kterém žijeme. To, že při letu letadlem obdržíme také dávku radioaktivity, ví málo kdo, ale při jakékoliv jaderné havárii, nebo při vyšetření pomocí rentgenů či tzv. CT, se všichni bojí obdržené dávky a následné možnosti výskytu rakoviny.

#### ***4.10 Průběh evakuace a komunikace***

Většina obyvatel v okolí oblasti JE Fukušima byla evakuována před tím, než došlo k úniku radioaktivních látek. V pátek 11. března 2011 v 19:03 hodin byl pro obyvatele vyhlášen stav jaderné pohotovosti a jaderného nebezpečí v okolí této elektrárny. Již ve 20:50 začala evakuace obyvatel z oblasti se vzdáleností do 2 km od elektrárny. Ve 21:21 došlo k rozšíření evakuační zóny o jeden kilometr, tedy šlo o evakuaci obyvatel se vzdáleností 3 km od elektrárny. Komise nezávislého vyšetřování této jaderné havárie vydalo zprávu, která uvádí, že pouze 20 % evakuovaných vědělo, že jsou evakuováni právě kvůli jaderné havárii v JE Fukušima. Tento výsledek zprávy se jeví jako velmi znepokojující. Můžeme se domnívat, že pokud dojde k takové události, má být veřejnost a obyvatelé v okolí okamžitě informováni, a pokud se událost rozvíjí negativním směrem, mají ihned provést evakuaci nejbližších měst či vesnic, aby došlo k co nejmenším

následkům z pohledu obyvatel. Z pohledu obyvatel je tedy komunikačně výhodnější širší evakuace. Za cenu této psychické a tělesné zátěže, ale získáme důvěru veřejnosti.

K dalšímu rozšíření evakuační zóny došlo následující den, tedy 12. března, kdy se vyhlásila evakuace ve vzdálenosti 10 km od elektrárny, a následně večer téhož dne došlo k opětovnému rozšíření, které činilo 20 km od jaderné elektrárny. Nejvíce postiženými místy byla města a vesnice západně od JE Fukušima, mezi které patří např. hlavní město Fukušima, města Namie, Tamioka, Okuma, Kawamata, Minamisoma a vesnice Iitate a Kacurao. (The National Diet of Japan, 2012)

Díky zmatkům, ke kterým docházelo během vzniku jaderné havárie a následnému zřizování evakuace, došlo k tomu, že někteří obyvatelé se nestihli evakuovat z evakuační zóny před prvním výbuchem vodíku, ke kterému došlo v sobotu 12. března kolem 16. hodiny. Tento výbuch způsobil relativně nepatrný únik radioaktivních látek. Největší únik radioaktivních látek nastal 15. března po dalším výbuchu vodíku ve druhém bloku. Obyvatelé, kteří zůstali, anebo se nestihli evakuovat před prvním výbuchem vodíku, byli podrobeni kontrolou zamoření, a pokud došlo k zamoření člověka, tak proběhla jeho dekontaminace. K úplné evakuaci obyvatel z evakuační zóny do vzdálenosti 20 km došlo 15. března. (Wagner, 2015)

Jedním z mnoha problémů byla evakuace pacientů z léčebny dlouhodobě nemocných ve vzdálenosti mezi 10 a 20 km od elektrárny, ke které došlo 14. března. Její průběh byl velmi chaotický, jelikož díky nedostatku intenzivní zdravotní péče během evakuace pravděpodobně došlo k předčasnému úmrtí 60 pacientů. K evakuaci části pacientů došlo později v druhé vlně, kdy bylo již zajištěno dostatečné množství zdravotnického personálu. V tomto případě již nebyl zaznamenán žádný případ, kdy by nastalo předčasné úmrtí. (The National Diet of Japan, 2012)

Meteorologické podmínky byly takové, že byla ohrožena hlavně severozápadní strana od elektrárny. Tímto směrem se tedy rozšířila územní evakuace do vzdálenosti 50 km, ve které hrozilo obdržení dávky vyšší jak 20 mSv. Obyvatelům v této vzdálenosti bylo nařízeno, aby se evakovali do čtyř měsíců. Tato lhůta byla dána, aby se obyvatelé mohli na evakuaci připravit, zajistit tak i svá obydlí a popřípadě přemístit chovy zvířat na jiné místo. Většina obyvatel, hlavně rodiny s dětmi, se evakovali okamžitě. (Wagner, 2015)

Evakuační zóna zasáhla celkem dvanáct samosprávních celků. Evakuace v okolí JE Fukušima do 20 km zasáhla přes 78 000 obyvatel, přibližně 28 000 obyvatel v zóně 20 až 30 km a v oblasti směr severozápad se evakuace dotkla přibližně 10 000 obyvatel. (Povinec, Hirose, Michio, 2014)

Při vzniku jaderné havárie je prvotním problémem rozpoznat, že taková situace nastala. Pokud se na tuto situaci přijde, musí se ihned postupovat v souladu s evakuačním plánem. Tento plán ve Fukušimě buď nefungoval, nebo nebyl ani okrajově použit. Zpráva vlády uvádí, že organizační struktura byla při krizovém řízení na mimořádnou událost problematická. Nejenže docházelo ke křížení kompetencí, ale i k vydávání protichůdných příkazů od různých orgánů (NISA, vláda, TEPCO apod.). Při vzniku této jaderné havárie se projevilo nedostatečné vzdělání a odborná způsobilost managementu a zaměstnanců JE Fukušima na řešení krizových situací. Také se neprováděla žádná revize připravenosti na mimořádné jaderné události a nebylo provedeno doporučené komplexní opatření při vzniku zemětřesení a tsunami. (The National Diet of Japan, 2012)

#### ***4.11 Možnosti přístupu k veřejnosti***

Ke komunikaci s veřejností můžeme říct, že existují rovnou dva podstatné přístupy k podávání informací laikům a veřejnosti. Přístup paternalistický a demokratický. Aplikace paternalistického přístupu je v praxi jednání, které řeší situaci v rámci odpovědné osoby, která jedná podle vlastního mínění, schopností, dovedností a nejlepších vědomostí, aby dosáhla kladného výsledku pro obyvatelstvo, ale nepožaduje jejich názor. Druhým přístupem je přístup demokratický, kdy je nutností zveřejňovat všechny dostupné informace o situaci, která nastala, a je pouze na lidech, jak se rozhodnou postupovat. Pokud se mají lidé rozhodovat o svém osobním přístupu k dané situaci a uskutečnit rozhodnutí postupu, potřebují mít alespoň základní znalosti. Dále musí probíhat jistá komunikace a spolupráce mezi zúčastněnými stranami. Zapojení zúčastněných stran je nutné již při vytváření ochranných opatření. Všichni mají právo na informace a právo na to vědět, což by mělo být součástí systému radiační ochrany. Prvním krokem by mělo být to, aby se zajistila informovanost obyvatelstva o problematice radioaktivního záření a jaderné energetiky obecně pro přehled k čemu nám vlastně jaderná energetika je a proč právě touto formou je dobré energii získávat. Druhým krokem je odstranit neracionální a nepřijatelné předsudky a s tím spjaté emoce.

Dalším faktorem komunikace je naslouchání lidem, kteří žijí jak v okolí elektrárny, tak v zemi, kde se jaderná elektrárna nachází. V rámci této diplomové práce docházíme k názoru, že právě naslouchání je hlavní podstatou podílející se na vnímání daného rizika, v našem případě vnímání rizika jaderné elektrárny. Pokud se budu tvořit opatření, je nutné zjistit, co si myslí obyvatelstvo a co všechno vědí o fungování, principu a jaderných elektrárnách obecně. Naslouchat jejich obavám, brát v úvahu strach z jaderné elektrárny a diskutovat jejich problémy a obavy. Lidé potřebují dát najevo to, že jejich hlas je slyšen, a že respekt k jejich obavám je vnímán.

Při vzniku jaderné havárie je nutné, aby byly zveřejněny pravdivé informace, co nejdříve a realisticky. Na základě výsledků a předchozích komunikačních chyb se domníváme, že je třeba se vyhnout zkresleným informacím a mimořádnou situaci nezlehčovat, ale zároveň nevyvolat hysterii. Dále také informace podávat srozumitelně a styl podávání přizpůsobit cílové skupině, tudíž vyhnout se odborným termínům nebo je následně laické veřejnosti vysvětlit.

Aby veřejnost pochopila, co se jim sděluje za informace, je nutné mít vědomostní znalosti o radiační ochraně do takové míry, aby byl člověk schopen rozhodnutí o postupu při mimořádné události, např. radiační zamoření. Pro vlastní ochranu by člověk měl pochopit kdy, kde a jak může být vystaven radiační expozici a co může udělat, aby se v takové situaci účinně ochránil. Každá osoba žijící v okolí jaderné elektrárny i ve státě, kde se jaderná elektrárna vyskytuje, má právo na informace možného nebezpečí, jakou škodu mu může nebezpečí způsobit a jaká jsou opatření sloužící k předcházení škodlivých účinků. Tyto informace jsou důležité pro následné rozhodnutí při radiační expozici. Právo vědět je podstatné v rozhodnutí, které ovlivní život člověka a třeba i celé jeho rodiny, je potřeba v dané situaci jednat moudře. Všechny již zmiňované informace, by měly člověku umožnit orientovat se v hodnotách a výsledcích monitorování, mít tu možnost se rozumně rozhodnout a respektovat ochranná opatření a posoudit jejich účinnost.

#### **4.12 Reakce ve světě**

Jaderná havárie JE Fukušima měla velmi bohatou reakci po celém světě a také největší reakci od havárie v Černobylu v roce 1986. Ve světě došlo k vyvolání nejistoty a také mnoha otázek o bezpečnosti dalších jaderných zařízení. První reakce pocházela z Německa, které reagovalo okamžitým odstavením osmi nejstarších jaderných bloků.

Reakce Evropské unie se dala očekávat, protože zvolili racionální postup, a to povinné prověrky všech evropských jaderných elektráren, které se prováděly formou zátěžových, testů, tzv. stress testů.

Takto rozsáhlá a zásadní havárie se dočkala pozornosti médií napříč celým svým spektrem. Docházelo tedy i ke zkreslování jinak jasných faktů, k dosažení co největšího čtenářského nebo diváckého zájmu. Před jadernou havárií došlo k zemětřesení a tsunami, v souvislosti s nimi zemřely dvě desítky tisíc lidí. Tato informace byla postupně vytlačena zprávami, často zavádějícími, o havárii v JE Fukušima. Například se řešilo, kam může radioaktivní mrak z Fukušimy mířit a zda tento mrak zamíří i přes vaši zem. Prezentované mediální výstupy, které špatně interpretovaly dostupná data, můžeme považovat za velmi zavádějící, často ukvapené. Důsledky mohou být závažné. Stejně jako v samotném napadeném regionu i zde může dojít k obecné panice a hrozbě poklesu důvěry v jadernou energii a její bezpečnost.

#### **4.13 Jaderné elektrárny v Evropě**

Za důležitý poznatek můžeme považovat fakt, že jadernou havárii nemůžeme zcela vyloučit i přes veškeré znalosti a schopnosti moderní techniky. Proto musíme být připraveni, pokud taková situace nastane, zvládnout havárii tak, aby byl nejmenší dopad jak na životní prostředí, tak i na obyvatelstvo.

Jak se z jaderné havárie JE Fukušima ponaučit, jsme schopni zpětně vydedukovat závěry. Například:

- V jeden okamžik může dojít k haváriím na více blocích a příčiny mohou být i stejné.
- K havárii může dojít nejen lidským faktorem, ale i vlivem extrémně silné přírodní události, která může zapříčinit výpadek bezpečnostních smyček v jeden okamžik, nebo po sobě.
- Při havárii může dojít ke zničení infrastruktury, tudíž by jaderná elektrárna měla být schopna zvládnout havárii i bez vnější podpory.
- Dostatečně silné bezpečnostní bariéry a dodržování správnosti pochopení a principu ochrany.

Vlivem této události muselo dojít k opatřením v ostatních zemích, kde se jaderné elektrárny nacházejí. Důvodem není pouze snaha předejít podobné havárii na území jiných států, ale také pro klid veřejného mínění. Mediální obraz jaderné energie získal

negativní konotaci a někteří obyvatelé se obávali nejhoršího. Evropské země byly nuceny vykonat již zmiňované zátěžové testy, aby laické veřejnosti dokázaly, že události, ke kterým došlo v Japonsku, se v jejich zemích nebudou opakovat. Co se týče ostatních zemí, zde dochází ke kontrolám jaderných zařízení. Podle mého názoru zátěžové testy nejsou vůbec špatné, spíše naopak. Díky nim se mohou ukázat i slabé stránky jaderné elektrárny, které se mohou vylepšit a více zdokonalit bezpečnost elektrárny a preventivní opatření.

Ihned po fukušimské havárii Evropská rada usoudila, že je nezbytně nutné, aby se ověřila připravenost všech jaderných elektráren v Evropské unii (140 reaktorů). Událost ve Fukušimě může být podnětem k přehodnocení postupů, které byly doposud prováděny. (Peer review report, 2012)

Evropská rada tedy požádala Evropskou komisi a agenturu ENSREG (European Nuclear Safety Regulators) o určení rozsahu a způsobu zaměření zátěžových testů. Úzce spolupracovali i s asociací WENRA (Western European Nuclear Regulators Association), která měla za úkol vypracování specifikace zátěžových testů v závislosti na havárii v JE Fukušima. Stanovisko těchto testů bylo charakterizováno v těchto bodech:

- Analyzovat odolnost vůči extrémním přírodním vlivům (zemětřesení a záplavy, které jsou v testu větší než maximum v projektu).
- Reakce při dlouhotrvající a úplné ztrátě bezpečnostních systémů (ztráta elektrického napájení a koncového jímače tepla).
- Následný postup při řešení těžké havárie (havárie s tavením aktivní zóny a následné efekty, podmínky skladování vyhořelého paliva v bazénu). (Peer review report, 2012)

Výsledky těchto testů provozovatel předal regulačnímu orgánu do října 2011. Následně tyto výsledky regulační orgán předal Evropské radě do konce roku 2011 a jejich zhodnocení bylo provedeno 1. ledna 2012. Všechny zátěžové testy se prováděly pod dohledem národních regulačních orgánů, v České republice tuto úlohu konalo SÚJB. (Peer review report, 2012)

## 5 Diskuse

Jaderná havárie v JE Fukušima je téma společností rezonující od jejího počátku až do současnosti. Často byla a stále je srovnávána s jadernou havárií v Černobyli, jelikož obě tyto havárie byly označeny sedmým stupněm INES a u obou došlo k úniku radioaktivního cesia do ovzduší. Ale s tím rozdílem, že v JE Fukušima Daiichi došlo k úniku 520 PBq, což je 10 % množství cesia, které uniklo v Černobyli (5 300 PBq). To, že jaderná havárie ve Fukušimě měla značně menší dopady, neznamená, že bychom ji měli brát na lehkou váhu.

V rámci optimalizace radiační ochrany je diskutabilní, zda bylo nutné provádět tak rozsáhlé a striktní dekontaminace. Finanční položka, kterou orgány musely investovat do obnov po zemětřesení a tsunami, byla již sama o sobě obrovská. K této astronomické částce zároveň přibyly položky za dekontaminační práce, které byly podle vládního rozhodnutí nutné a opodstatněné limitem 1 mSv pro obyvatelstvo. Jak jsem již zmiňovala, přírodní pozadí v hlavním městě Fukušima činilo před havárií 0,4 mSv/rok a patřilo tak k nejnižším hodnotám ve světě. Ale po havárii došlo k nárustu a v hlavním městě tak naměřili hodnotu 24 mSv/rok. Tato hodnota ale platí pouze pro hlavní město Fukušima, jiná města na tom byla lépe, např. v Aizuwakamacu byla naměřená hodnota 2,1 mSv/rok nebo v Iwaki 5,8 mSv/rok. Z toho usuzuji, že by k dekontaminačním pracím mělo dojít nejprve v hlavním městě, jelikož města s vyššími hodnotami potřebují náročnější dekontaminaci pro brzký návrat obyvatel, poté města s hodnotou podobnou v Iwaki a nakonec v Aizuwakamacu a městech s podobnou hodnotou. V městech s nízkými naměřenými hodnotami by mělo dojít pouze k dekontaminaci, která zamezí šíření povrchové kontaminace na jiná místa. Také musíme brát v úvahu klimatické podmínky, protože například déšť může transportovat radioaktivní cesium ze střechy a okapů do půdy. Pro porovnání, v ČR je přírodní pozadí 2,5 až 3 mSv/rok. Města s hodnotami pod 3 mSv/rok rovněž nedekontaminujeme, protože tato hodnota je dlouhodobě akceptovatelná. Ano, obyvatelé by obdrželi vyšší ekvivalentní dávku, ale stále přijatelnou v rámci optimalizace a principu ALARA. Za hraniční hodnotu, která poškozuje zdraví, se považuje cca 100 mSv/rok.

Otázkou také zůstává, zda by nestačilo snížit hodnotu pozadí pod 20 mSv/rok. Jelikož tato hodnota je limit radiačních pracovníků a nikterak neohrožuje jejich život ani se u nich neprojeví stochastické účinky. Nutno vzít v úvahu radiosenzitivitu místních obyvatel, jejichž organismus není „zvyklý“ na vyšší hodnoty než 0,4 mSv/rok. Mohlo by narázově

zvýšené pozadí jejich zdraví ovlivnit? Domnívám se, že tuto skutečnost nelze vyloučit. Je zřejmé, že filosofie Japonců ohledně radiační ochrany a striktní vládní rozhodnutí nejsou zcela kompatibilní s přístupem k optimalizaci radiační ochrany tak, jak ho interpretujeme v ČR nebo jinde ve světě. Je to nepochybně dané i odlišným systémem politického rozhodování, odlišnou filosofií národa a vztahem obyvatel vůči vládě.

### **Komunikace rizik**

Provedený výzkum (Lyamzina, 2016) v roce 2012 a 2014 poukazuje na to, že strach lidí od havárie příliš neklesl. Obavy lidí postupně opadávaly, ale stále se našly skupiny lidí, které důvěru nemají a možná ji ani nezískají. A není divu, protože pokud vláda zmíní, že bahno obsahuje 13 300 Bq/kg, ale v pitné vodě není detekováno záření, tudíž je to bezpečné, vzbudí to ve veřejnosti dojem, zda je to vůbec správně, jelikož jejich znalosti o veličinách radiační ochrany jsou minimální, a proto se ptají: Je to opravdu bezpečné? Dle filosofie ICRP, dosud obecně přijímané ve světě, není žádná dávka bezpečná. Tato otázka je z pohledu odborníků nerelevantní, ale obyvatelé Fukušimy neznají principy optimalizace, potřebují znát nějakou jasnou odpověď typu ano/ne. Relevantní, avšak zatím neuchopená pro laickou fukušimskou veřejnost je úvaha na úrovni principu optimalizace – dávky jsou tak nízké, jak je nejlépe dosažitelné ve stávající expoziční situaci a jsou také srovnatelné s jinými zdroji. Míra nevzdělanosti je úměrná dojmu veřejnosti a podání takové informace vyvolává nedůvěru, mají strach si kupovat např. produkty vyrobené v prefektuře Fukušima, pěstovat rýži na svých polích, která jsou zavlažovaná „možná“ kontaminovanou vodou, pít vodu z „možná“ kontaminovaných nádrží veřejného vodovodu, bydlet v domech ze dřeva a zpracovávat dřevo, které „možná“ obsahuje příliš cesia. Z této jaderné havárie bychom se měli ponaučit. Neměli bychom brát vnímané riziko na lehkou váhu a měli bychom apelovat na informovanost obyvatel ještě před tím, než dojde k akutnímu stresu a nedůvěře. To se ve Fukušimě nestalo, jelikož obyvatelé nebyli na možnost havárie vůbec připraveni.

Situaci napomohl zlepšit např. projekt IPARSC, jehož cílem bylo vypracovat formální pokyny, aby bylo jasné, jak se má přistupovat k veřejnosti, jak reagovat na emocionální kontext, zvýšit znalosti veřejnosti, informovat obyvatelstvo o dekontaminaci, remediaci a nakládání s radioaktivním odpadem a také se pokusit změnit chování evakuovaných a přesvědčit je o návratu do oblasti. Aby komunikace fungovala, je zapotřebí odezva



veřejnosti, která by měla brát v úvahu hodnocení rizik, a respekt odborníků vůči chování veřejnosti.

Komunikace by měla být podpořena i novou technologií jako jsou například sociální sítě. Mladá generace se tak dostane k těmto informacím snadno, rychle a nenuceně. Alternativním komunikačním kanálem může být např. mobilní aplikace, která by mohla být vhodným zdrojem aktuálních informací. Výhodou je rychlá možnost reakce a zpětné vazby.

Při vzniku takové havárie je zapotřebí, aby veřejnost byla obeznámena s informacemi o ionizujícím záření a o krocích, které mají provést, pokud k jaderné havárii v jejich okolí dojde. Dále je také důležité komunikovat s veřejností a informovat je o situaci a každém provedeném kroku orgánů státu či kraje, v tomto případě prefektury. Je třeba komunikaci přizpůsobit vnímaným rizikům, která mohou převažovat ty skutečná. Pokud jednou ztratíme důvěru veřejnosti, těžko se získává zpět. A proto je důležitá připravenost, prevence a informovanost občanů.

Na Masarykově univerzitě v Brně vznikla studie, která se zabývá energetikou a informovaností obyvatel ČR. V roce 2010 se zveřejnily výsledky Special Eurobarometru, které dokazují, že 71 % veřejnosti ČR má pocit, že jsou nedostatečně informováni o bezpečnosti jaderných elektráren. 29 % populace se tedy domnívá, že je dostatečně informováno. Toto procento je ve srovnání s ostatními státy druhé nejvyšší v Evropské unii. Součástí studie byla i reakce obyvatel, pokud by se v jejich okolí 20 až 30 km uvedla do provozu jaderná elektrárna, jak by se zachovali. Výsledky ukázali, že 70 % obyvatel by nepovažovalo jadernou elektrárnu ve svém okolí za důvod k přestěhování. Naopak 26 % populace by upřednostnilo přestěhování do jiné oblasti.

### **Informativní brožura**

Vycházela jsem z informativní brožury dostupné z: <http://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/299151.pdf>, která byla vytvořena agenturou IAEA a Fukushima Prefectural Government. Jelikož cílem bylo zjednodušit informace pro laické čtenáře, zjednodušila jsem strukturu a interpretovala jsem důležitá data. Oficiální brožura obsahuje podrobné informace o monitorování a mapování radiační situace, dále průběh a způsoby dekontaminace a remediace, nakládání s radioaktivním

odpadem a spoluprací mezi IAEA a prefekturou Fukušima. Tato brožura se týká tamních obyvatel, které tato jaderná havárie zasáhla.

Mnou vytvořená informativní brožura obsahuje zjednodušené informace o monitorování a mapování radiální situace, dekontaminaci a remediaci a jejím průběhu, nakládání s radioaktivním odpadem a komunikaci rizik. Údaje z oficiální brožury byly podrobeny překladu a interpretaci do doprovodného textu, aby to bylo přehledné, jasné a srozumitelné. Prioritou bylo použití jasných a výstižných formulací, jednoduchý výklad bez odborných terminologií a podání srozumitelných informací pochopitelných pro laickou veřejnost.

Jaderná energie je součástí naší společnosti již mnoho let a opakovaně se stává širokým tématem. Téměř vždy se tato diskuse týká bezpečnosti a potencionálních rizik. Slabou stránkou tohoto způsobu informování veřejnosti je distribuce. Domnívám se, že informace této povahy lidé aktivně vyhledávají, pokud se nacházejí v situaci, která má emoční pozadí. Tedy především ohrožení podobnou havárií. Preventivní vzdělávání v rámci široké laické veřejnosti by mělo tedy probíhat např. ve školách, na pracovištích. a v rámci dalších institucí. Vzhledem k této domněnce se jako řešení nabízí vzdělávání strategických pracovníků v rámci veřejného i soukromého sektoru. Může jít např. o ředitele škol, vedoucí pracovníky ve výrobním průmyslu, samozřejmě pracovníky integrovaného záchranného systému. Tito lidé mají k dispozici komunikační kanály k dalšímu šíření informací a z povahy svých povolání mají ve společnosti jistý respekt. Za naprosto klíčové můžeme považovat zástupce médií. Je tedy důležité přehledně informovat i je a zajistit online dostupnost tohoto materiálu. Strategicky výhodnými weby mohou být: [www.elektrina.cz](http://www.elektrina.cz). Nebo vzdělávací informační portál [www.svetenergie.cz](http://www.svetenergie.cz). Dále pak informační weby našich jaderných elektráren. Po vhodné úpravě by brožura mohla sloužit i k výuce v rámci různých stupňů našeho vzdělávání.

## 6 Závěr

V úvodu této diplomové práce jsem se zabývala obecnou charakteristikou jaderných elektráren, typy jaderných reaktorů a také jsem vysvětlila princip reaktoru BWR, který se používá v JE Fukušima. Dále jsem se zaměřila na příčinu vzniku havárie a na její časový vývoj. Teoretická část také obsahuje charakteristiku radiačního stavu po havárii, který popisuje její první následky. Nechybí ani spekulativní porovnání této havárie s jadernou havárií v Černobylu, jelikož tyto dvě havárie byly zahrnuty do stejného stupně INES a způsobily oprávněný strach obyvatel Fukušimy i celého světa. Podstatnou částí práce jsou i zdravotní rizika, která mohou ohrozit život a zdraví lidí, proto jsem tedy uvedla možné deterministické a stochastické účinky, které jsou charakteristické pro ionizující záření. Nemalou součástí jsou principy radiační ochrany, které vysvětlují, jak přistupovat k radiační ochraně, v této souvislosti zejména k dávkám, které obyvatel může obdržet od zdroje ionizujícího záření. Dále jsem vysvětlila pojem nízké dávky a jejich rizika, potažmo jejich problematiku, která se úzce dotýká pohavarijní, ale již dlouhodobě existující situací ve Fukušimě. Závěrem teoretické části je kapitola o ponaučení se z jaderné havárie JE Fukušima, kde popisují, co se v této oblasti odehrává na národní úrovni v ČR, jaké kroky a opatření jsou v oblasti jaderné bezpečnosti a komunikace s obyvateli již učiněny.

V praktické části diplomové práce jsem se zaměřila na spolupráci mezi agenturou IAEA a prefekturou Fukušima. Tato spolupráce byla a stále je mentorem všech kroků a činů, které se udály po havárii až dodnes. Vytvořila jsem přehledné porovnání monitorování radiační situace po havárii v oblastech spadajících pod Fukušimskou prefekturu s nynějším stavem po dekontaminaci a remediaci životního prostředí. Uvedla jsem zjištěná data v tabulkách a grafech. Dále jsem zhodnotila aspekty komunikace rizik nízkých dávek s veřejností z oblastí Fukušimy, která byla a je poznamenána stresem z jaderné havárie a porovnala jsem to s preventivní komunikací mezi zainteresovanými institucemi a obyvateli v ČR za účelem předběžné informovanosti.

Cílem této diplomové práce bylo vytvořit přehledné porovnání monitorování v pohavarijní radiační situaci v rezidenčních oblastech Fukušimské prefektury s dosaženým stavem po náročné dekontaminaci a remediaci životního prostředí. Dále bylo cílem zhodnotit způsob komunikace rizik nízkých dávek s obyvateli Fukušimy, kteří jsou již poznamenáni stresem z jaderné havárie a aspektů preventivní komunikace s obyvateli v ČR za účelem předběžné informovanosti, ve smyslu pochopení principu

limitování a optimalizace radiační ochrany v případě vzniku jaderné havárie. Za tímto účelem byla zpracována informativní brožura, která je dostupná v přílohách.

Praktickým výstupem této diplomové práce je informativní brožura pro obyvatele Fukušimy. Její analogie může být vhodným nástrojem k informovanosti veřejnosti v rámci ČR.

V rámci této diplomové práce jsem se pokusila zodpovědět následující výzkumné otázky.

**„Jaké rozdíly monitorovaných veličin po jaderné havárii ve Fukušimě přinesla rozsáhlá dekontaminace a remediace životního prostředí v rezidenčních oblastech Fukušimské prefektury?“** Na základě dekontaminace a remediace životního prostředí v rezidenčních oblastech prefektury Fukušima došlo ke značnému poklesu dávkového příkonu. Po nehodě (duben 2011) byl naměřen v hlavním městě Fukušima dávkový příkon 2,74  $\mu\text{Sv/hod}$ . Díky dekontaminaci a remediaci tato hodnota každým rokem klesala. Největší pokles byl zaznamenán v září 2011, kdy hodnota dávkového příkonu klesla o 1,7  $\mu\text{Sv/hod}$ . Letos v březnu 2020 byla hodnota dávkového příkonu 0,1  $\mu\text{Sv/hod}$ . V jiných městech prefektury Fukušima se naměřily po havárii v dubnu 2011 nižší hodnoty než v hlavním městě (měřeno v Aizuwakamacu a Iwaki). Přesto si vyžádaly dekontaminační činnosti, které dávkový příkon snížily. Ve městě Aizuwakamacu byl v dubnu 2011 naměřen dávkový příkon 0,24  $\mu\text{Sv/hod}$ , který byl díky dekontaminaci snížen na hodnotu 0,05  $\mu\text{Sv/hod}$  (březen 2017). Ve městě Iwaki měl dávkový příkon v dubnu 2011 hodnotu 0,66  $\mu\text{Sv/hod}$ . Tato hodnota byla snížena dekontaminací na dávkový příkon 0,07  $\mu\text{Sv/hod}$ . Rozdíly mezi naměřenými hodnotami dávkového příkonu jsou očividné a srovnatelné s celým světem (viz. tabulka 5 a 6).

**„Jaké aspekty komunikace rizik nízkých dávek je nutno volit pro obyvatele Fukušimské prefektury a obyvatel ČR s ohledem na zkušenosti z jaderné havárie?“** Důležitým bodem je dodržení vyváženosti mezi vnímaným a skutečným rizikem, nebrat vnímané riziko na lehkou váhu a dále bychom měli apelovat na informovanost obyvatel, k čemuž ve Fukušimě nedošlo. Dále je třeba, aby komunikace byla věcná a srozumitelná, při použití vědeckých termínů, kterým veřejnost nemusí rozumět, způsobí např. nepřijetí informace nebo obavy. Proto bychom se měli takovým termínům vyvarovat a používat tak jasné a stručné informace, které se týkají jejich života a neevokují pocit nejasností, nedůvěry a strachu. Také je potřeba, aby veřejnost byla informována o účincích ionizujícího záření a o ovlivnění života s radiací. Informovanost obyvatel můžeme

podpořit informativními brožurami, letáky, semináři, školeními pro zaměstnance apod. Každý by měl vědět, jaká rizika mohou nastat, pokud dojde k jaderné havárii a být připraven, kdyby k takové havárii došlo. Nezbytnou součástí je aktivita občana a vyhledání si důvěryhodných informací např. na oficiálních stránkách společnosti provozující jadernou elektrárnu.

## SEZNAM ZDROJŮ

1. AMERICAN NUCLEAR SOCIETY, 2012. *Fukushima Daiichi: ANS Committee Report: A Report by The American Nuclear Society Special Committee on Fukushima* [online]. [cit. 2020-08-02]. Dostupné z: [http://fukushima.ans.org/report/Fukushima\\_report.pdf](http://fukushima.ans.org/report/Fukushima_report.pdf)
2. Environment Ministry to consolidate management of radioactive waste from Fukushima disaster. In: *Nuclear-news* [online]. 2016 [cit. 2020-08-03]. Dostupné z: <https://nuclear-news.net/2016/12/19/environment-ministry-to-consolidate-management-of-radioactive-waste-from-fukushima-disaster/>
3. FREITINGER SKALICKÁ, Z., HALAŠKA J., HAVRÁNKOVÁ R., et al. *Radiobiologie: Specifické aspekty ochrany před zářením* [online]. [cit. 2020-08-01]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/7-kapitola/77.html>
4. FUKUSHIMA PREFECTURE, 2020. *Fukushima Prefecture Radioactivity measurement map* [online]. [cit. 2020-08-01]. Dostupné z: <http://fukushima-radioactivity.jp/pc/>
5. HAMALČÍKOVÁ, K. 2019. Černobyl vs. Fukušima: Která jaderná katastrofa více otřásla světem? *Elektrina.cz* [online]. [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://www.elektrina.cz/cernobyl-vs-fukusima-ktera-jaderna-katastrofa-byla-horsi>
6. HANUS, V., BLÁHA, V., KORTANOVÁ, M., 2005. Nízké dávky ionizačního záření: sborník materiálů ze semináře České nukleární společnosti konaného dne 5. října 2005 v Konferenčním centru ÚJV Řež a.s. v Řeži. Řež: Česká nukleární společnost, 2005. ISBN 80-02-01790-0.
7. HEALTH SCIENCES COUNCIL, 2011. *Measures taken against radioactive materials in tap water exposed to the nuclear power plant accident* [online]. [cit. 2020-02-15]. Dostupné z: <https://www.mhlw.go.jp/english/topics/2011eq/dl/Document1.pdf>
8. HOBST, L., 2017. *Měření a hodnocení významných zdrojů přírodní radioaktivity* [online]. [cit. 2020-08-05]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/izolace-proti-vode-a-radonu/15452-mereni-a-hodnoceni-vyznamnych-zdoju-prirodni-radioaktivity>
9. IAEA a FUKUSHIMA PREFECTURAL GOVERNMENT, 2017. *Cooperation between the International Atomic Energy Agency (IAEA) and Fukushima Prefecture and activities undertaken by Prefecture authorities following the accident at*

- TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant* [online]. [cit. 2020-07-01]. Dostupné z: <http://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/299151.pdf>
10. IAEA, 2011. Re-evaluation of INES rating; Effect to the Nuclear Facilities from the earthquake on east area of Japan. [online]. [cit. 2020-06-25]. <https://www-news.iaea.org/ErfView.aspx?mId=b8d002ae-78cc-435b-a9c6-21860bdb46cc>.
  11. IAEA, 2015. *The Fukushima Daiichi Accident: Report by the Director General* [online]. [cit. 2020-08-02]. ISBN 978-92-0-107015-9. Dostupné z: <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1710-ReportByTheDG-Web.pdf>
  12. IAEA, OECD/NEA, 2011. Mezinárodní stupnice hodnocení závažnosti jaderných událostí. [online]. [cit. 2020-06-02] Překlad Státní úřad pro jadernou bezpečnost. Uživatelská příručka. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/dokumenty/publikace/INES.pdf>
  13. Japonci zvažují pohřbít Fukušimu do betonového sarkofágu jako Černobyl. *IDNES.cz* [online]. 2011, [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: [https://www.idnes.cz/zpravy/zahranicni/japonci-zvazuji-pohrbit-fukusimu-do-betonoveho-sarkofagu-jako-cernobyl.A110318\\_074318\\_zahranicni\\_aha?galerie](https://www.idnes.cz/zpravy/zahranicni/japonci-zvazuji-pohrbit-fukusimu-do-betonoveho-sarkofagu-jako-cernobyl.A110318_074318_zahranicni_aha?galerie)
  14. Japonská katastrofa: Zemětřesení, tsunami, jaderná havárie. *Aktuálně.cz* [online]. 2011, [cit. 2020-03-26]. Dostupné z: <https://www.aktualne.cz/wiki/zahranici/japonsko-katastrofa-zemetreseni-tsunami-jaderna-havarie/r~i:wiki:1252/>
  15. Japonsko | Zeměpis 24, 2006. *Zeměpis 24 – všechny země světa, referáty a učebnice* [online]. © 2006 [cit. 2019-12-28]. Dostupné z: <https://www.zemepis24.cz/staty/japonsko>
  16. KUSALA, J., 2004. *Miniencyklopedie Jaderná energetika: Jaderný reaktor* [online]. [cit. 2019-12-28]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/nuklearni/k35.htm>
  17. LYAMZINA, Y., 2016. *Assistance to the IAEA Member States for Developing Effective Risk Communications throughout Integrating Perceived Risk and Actual Risk in Public Communications* [online]. [cit. 2020-08-06]. Dostupné z: <https://ricomet2016.sckcen.be/~media/Files/Ricomet2016/Day1/S13Lyamzina.pdf?la=en>
  18. NEJEDLÝ, P. 2011. *Zemětřesení v Japonsku a jaderná elektrárna Fukušima* [online]. [cit. 2019-12-28]. Dostupné z: <https://nejedly.blog.idnes.cz/blog.aspx?c=181735&setver=touch>

19. *Peer review report: Stress tests performed on European nuclear power plants* [online]. 2012 [cit. 2020-06-02]. Dostupné z: [http://www.ensreg.eu/sites/default/files/EU%20Stress%20Test%20Peer%20Review%20Final%20Report\\_0.pdf](http://www.ensreg.eu/sites/default/files/EU%20Stress%20Test%20Peer%20Review%20Final%20Report_0.pdf)
20. PETR, J. 2012. Je Fukušima srovnatelná s Černobylem? *OSEL* [online]. [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://www.osel.cz/6196-je-fukusima-srovnatelna-s-ernobylem.html>
21. PLANAS, O., 2009. How Does A Nuclear Power Plant Work? *Nuclear Energy* [online]. [cit. 2020-07-26]. Dostupné z: <https://nuclear-energy.net/nuclear-power-plant-working>
22. POVINEC, P., HIROSE, K., MICHIO, A., 2014. *Fukushima accident: Radioactivity impact on the environment*. Elsevier, 2014. ISBN 9780124081321.
23. SKUPINA ČEZ, 1999. *Přírodní zdroje* [online]. [cit. 2020-08-05]. Dostupné z: [https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/03/zdroje\\_5.html](https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/03/zdroje_5.html)
24. SKUPINA ČEZ, 2019. *Radiační ochrana pro vybrané pracovníky* [online]. [cit. 2020-07-11]. Dostupné z: [https://www.cez.cz/edee/content/file/vzdelavani/skoleni/skoldohprac/zoz\\_ro.pdf](https://www.cez.cz/edee/content/file/vzdelavani/skoleni/skoldohprac/zoz_ro.pdf)
25. SKUPINA ČEZ, 2020a. *Základní typy jaderných reaktorů* [online]. [cit. 2020-07-28]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobni-zdroje/jaderna-energetika/je-ve-svete/zakladni-typy-jadernych-reaktoru>
26. SKUPINA ČEZ, 2020b. *Příručka pro ochranu obyvatelstva: Pro případ radiační havárie Jaderné elektrárny Temelín* [online]. [cit. 2020-07-11]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobni-zdroje/jaderna-energetika/jaderna-energetika-v-ceske-republice/ete/prirucka-pro-ochranu-obyvatelstva>
27. SKUPINA ČEZ, 2020c. *Příručka pro ochranu obyvatelstva: Pro případ radiační havárie Jaderné elektrárny Dukovany* [online]. [cit. 2020-07-11]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobni-zdroje/jaderna-energetika/jaderna-energetika-v-ceske-republice/edu/prirucka-pro-ochranu-obyvatelstva>
28. STÁTNÍ ÚŘAD PRO JADERNOU BEZPEČNOST, 2011. *Informace o zátěžových testech na českých JE*. [online]. [cit. 2020-05-19]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/aktualne/detail/clanek/informace-o-zatezovych-testech-na-ceskych-je/>



29. STÁTNÍ ÚŘAD PRO JADERNOU BEZPEČNOST, 2012a. *Situace na jaderných elektrárnách v regionu postiženém silným zemětřesením následovaným vlnou tsunami: Vznik a vývoj havárie na jaderné elektrárně Fukushima Dai-ichi* [online]. [cit. 2020-02-09]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/aktualne/Fukusima/Vznikhavarie.pdf>
30. STÁTNÍ ÚŘAD PRO JADERNOU BEZPEČNOST, 2012b. *Souhrn průběhu nehody v JE Fukušima Dai-ichi*. [online]. [cit. 2020-05-19]. Dostupné z: [https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/aktualne/souhrn\\_final\\_draft-\\_2\\_.pdf](https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/aktualne/souhrn_final_draft-_2_.pdf)
31. STÁTNÍ ÚŘAD PRO JADERNOU BEZPEČNOST, 2020a. *Stručný přehled biologických účinků záření* [online]. [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/radiacni-ochrana/oznameni-a-informace/strucny-prehled-biologicky-ucinku-zareni/>
32. STÁTNÍ ÚŘAD PRO JADERNOU BEZPEČNOST, 2020b. MonRaS. *SÚJB* [online]. [cit. 2020-07-02]. Dostupné z: [https://www.sujb.cz/aplikace/monras/?lng=cs\\_CZ](https://www.sujb.cz/aplikace/monras/?lng=cs_CZ)
33. STÁTNÍ ÚSTAV RADIAČNÍ OCHRANY, 2001. *Otázka malých dávek při lékařském ozáření. RENTGEN bulletin* [online]. [cit. 2020-08-01]. Dostupné z: [https://www.suro.cz/cz/publikace/lekarske-ozareni/Rentgen\\_6\\_2016.pdf](https://www.suro.cz/cz/publikace/lekarske-ozareni/Rentgen_6_2016.pdf)
34. STÁTNÍ ÚSTAV RADIAČNÍ OCHRANY, 2020. *Přírodní radioaktivita a problematika radonu* [online]. [cit. 2020-08-05]. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/prirodnioz/radprirodni-radioaktivita-a-problematika-radonu>
35. *Summary report (2013 – 2017): In the Area of Radiation Monitoring, Remediation and Waste Management, Following the Fukushima Daiichi NPP Accident* [online]. 2017 [cit. 2020-08-02].
36. *Summary report (2013–2017): Radiation Monitoring and Remediation Following the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident* [online]. 2018, 30.3.2018 [cit. 2020-08-02]. Dostupné z: <http://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/299144.pdf>
37. The Fukushima Daiichi nuclear power plant is seen in Fukushima prefecture, in aerial shots taken in December 2000 (top) and... In: *Reuters.com* [online]. 2012 [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: <https://www.reuters.com/search/pictures?sortBy=&dateRange=&blob=combo+tepc>

o

38. THE NATIONAL DIET OF JAPAN, 2012. *The Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission: The National Diet of Japan* The official report of Executive summary [online]. [cit. 2020-08-02]. Dostupné z: [https://www.nirs.org/wp-content/uploads/fukushima/naic\\_report.pdf](https://www.nirs.org/wp-content/uploads/fukushima/naic_report.pdf)
39. UNEP, 2016. *Ionizující záření: Účinky a zdroje* [online]. [cit. 2020-08-05]. ISBN 978-92-807-3600-7. Dostupné z: [https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacni-ochrana/dokumenty/Radiation-InsidePart-Czech-Feb\\_2017-1.pdf](https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacni-ochrana/dokumenty/Radiation-InsidePart-Czech-Feb_2017-1.pdf)
40. UNSCEAR, 2011. *Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 2010* [online]. New York: UNITED NATIONS PUBLICATION. [cit. 2020-08-01]. ISBN 978-92-1-642010-9. Dostupné z: [http://www.unscear.org/docs/publications/2010/UNSCEAR\\_2010\\_Report.pdf](http://www.unscear.org/docs/publications/2010/UNSCEAR_2010_Report.pdf)
41. UNSCEAR, 2015. *Report to the General Assembly: Sources, effects and risks of ionizing radiation* [online]. New York: UNITED NATIONS PUBLICATION. [cit. 2020-08-01]. ISBN 978-92-1-142307-5. Dostupné z: [https://www.unscear.org/docs/publications/2012/UNSCEAR\\_2012\\_Report.pdf](https://www.unscear.org/docs/publications/2012/UNSCEAR_2012_Report.pdf)
42. VALENTIN, J., 2005, ed. *ICRP Publication 99: Low-dose Extrapolation of Radiation-related Cancer Risk* [online]. ELSEVIER. [cit. 2020-08-05]. ISBN 008-044-9581. Dostupné z: [https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/ANIB\\_35\\_4](https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/ANIB_35_4)
43. VANĚK, V., 2008. Bez jádra to nepůjde. Svět energie [online]. [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/data/web/vzdelavaci-program-cez/tiskoviny/bez-jadra-to-nepujde.pdf>
44. Vyhláška č. 422/2016 Sb.: Vyhláška o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje, In: Sbíрка zákonů ČR, ročník 2016
45. VYMĚTAL, Š., 2009. *Krizová komunikace a komunikace rizika*. Praha: Grada. Psyché (Grada). ISBN 978-80-247-2510-9.
46. WAGNER, V., 2012. *Situace ve Fukušimě na začátku podzimu, rok a půl po havárii* [online]. [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: [http://hp.ujf.cas.cz/~wagner/popclan/fukusima/Fukusima\\_srpen\\_2012.htm](http://hp.ujf.cas.cz/~wagner/popclan/fukusima/Fukusima_srpen_2012.htm)
47. WAGNER, V., 2015. *Fukušima I poté*. Praha: Novela bohemika. ISBN 978-80-87683-45-3.
48. Wagner: havárie v JE Fukušima má největší dopad na psychiku lidí | Atominfo.cz. *Atomová energie, zpravodajství - Portál Atominfo.cz* [online]. 2016 [cit. 06.08.2020]. Dostupné z: <https://atominfo.cz/2016/03/wagner-havarie-v-je-fukusima-ma-nejvetsi-dopad-na-psychiku-lidi/>

49. WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2013. *Health Risk Assessment from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami based on a preliminary dose estimation: Executive summary* [online]. [cit. 2020-02-13]. Dostupné z: [https://www.world-nuclear-news.org/rs\\_radiation\\_declines\\_at\\_fukushima\\_0603131.html](https://www.world-nuclear-news.org/rs_radiation_declines_at_fukushima_0603131.html)
50. WORLD NUCLEAR NEWS, 2013. *Radiation declines at Fukushima* [online]. In: . [cit. 2020-02-13]. Dostupné z: [https://www.world-nuclear-news.org/rs\\_radiation\\_declines\\_at\\_fukushima\\_0603131.html](https://www.world-nuclear-news.org/rs_radiation_declines_at_fukushima_0603131.html)
51. Zákon č. 263/2016 Sb., Zákon atomový zákon. In: Sbírka předpisů České republiky., částka 102/2016 Sb. ISSN 3938-4060

## **SEZNAM ZKRATEK**

**AGR** – Anglický plynem chlazený reaktor (Advanced Gas cooled graphite moderated Reactor)

**ALARA** – „As low as reasonably achievable“

**BMK** – Lehkodvodní grafitový reaktor (Reaktor Bolšoj Moščnosti Kanalnyj)

**BWR** – Varný reaktor (Boiling Water Reactor)

**CT** – Výpočetní tomografie (Computed Tomography)

**CVŘ** – Centrum výzkumu Řez s.r.o.

**ČR** – Česká republika

**ČSSR** – Československá socialistická republika

**ENSREG** – Skupina evropských jaderných regulátorů (European Nuclear Safety Regulators Group)

**FBR** – Rychlý množivý reaktor (Fast Breeder Reactor)

**FK** – Fukušima

**GCR Magnox** – Plynem chlazený reaktor (Gas Cooled Graphite Moderated Reactor)

**GE** – General Electric Company

**GPS** – Globální družicový polohový systém (Global Positioning System)

**HPCI** – Systém vysokotlakého vstřikování chladicí vody (High-Pressure Coolant Injection)

**IAEA** – Mezinárodní agentura pro atomovou energii (International Atomic Energy Agency)

**IC** – Nouzový kondenzátor (Isolation Condenser)

**INES** – Mezinárodní stupnice hodnocení závažnosti jaderných událostí (The International Nuclear Event Scale)

**IPARSC** – Integrace vnímaného a skutečného rizika do komunikace se zúčastněnými stranami (Integrating Perceived and Actual Risk in Stakeholder Communications)

**JE** – Jaderná elektrárna

**MONRAS** – Monitorování radiační situace

**NISA** – Japonská agentura pro jadernou a industriální bezpečnost (Nuclear and Industrial Safety Agency)

**PHWR** – Těžkovodní reaktor (Pressurised Heavy Water Reactor)

**PWR** – Tlakovodní reaktor (Pressurized light-Water moderated and cooled Reactor)

**RCIC** – Systém izolovaného dochlazování aktivní zóny (Reactor Core Isolation Coolant)

**RTG** – Rentgen

**SÚJB** – Státní úřad pro jadernou bezpečnost

**SÚRO** – Státní ústav radiační ochrany

**TEPCO** – Tokijská elektrárenská společnost (Tokyo Electric Power Company)

**TSS** – Dočasné úložiště (Temporary Storage Sites)

**USA** – Spojené státy americké (United States of America)

**VVER** – Ruský typ tlakovodního reaktoru (Vodo-Vodjanoj Energetičeskij Reaktor)

**WENRA** – Asociace západoevropských jaderných regulačních orgánů (Western European Nuclear Regulators Association)

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Schéma hlavních prvků jaderné elektrárny (zdroj: Planas, 2009).....	11
Obrázek 2 Tlakový reaktor PWR (zdroj: Skupina ČEZ, 2020a) .....	13
Obrázek 3 Varný reaktor BWR (zdroj: Skupina ČEZ, 2020a) .....	13
Obrázek 4 Těžkovodní reaktor CANDU (zdroj: Skupina ČEZ, 2020a).....	14
Obrázek 5 Plynem chlazený reaktor Magnox GCR (zdroj: Skupina ČEZ, 2020a) .....	14
Obrázek 6 Reaktor typu RBMK (zdroj: Skupina ČEZ, 2020a).....	15
Obrázek 7 Rychlý množivý reaktor FBR (zdroj: Skupina ČEZ, 2020a) .....	15
Obrázek 8 Jaderný komplex Fukušima po zemětřesení a tsunami (iDNES.cz, 2011) ...	18
Obrázek 9 Schéma úrovně hladiny, která byla dosažena při tsunami a zaplavené lokality (zdroj: Wagner, 2015).....	19
Obrázek 10 Schéma reaktoru BWR s kontejnmentem typu "Mark I" (bloky 1-5) (zdroj: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2012a).....	20
Obrázek 11 JE Fukušima Daiichi v prosinci 2000 (nahore) a po havárii v roce 2012 (dole) (zdroj: Retuers.com, 2012) .....	25
Obrázek 12 Základní struktura stupnice (zdroj: IAEA a OECD/NEA, 2011).....	26
Obrázek 13 Přehled rozdělení dávek obyvatelstvu (zdroj: Státní ústav radiační ochrany, 2020) .....	34
Obrázek 14 Stacionární měřicí systém, přenosné monitorovací stanoviště a pěší průzkumník (zdroj: Fukushima Prefecture, 2020).....	40
Obrázek 15 Webové stránky zobrazující místa měření ke květnu 2020 (zdroj: Fukushima Prefecture, 2020).....	41
Obrázek 16 Zobrazení měřících zařízení v roce 2011 a podrobný výpis informací z měřícího přístroje ve vesnici Iitate (zdroj: Fukushima Prefecture, 2020) .....	42
Obrázek 17 Přítomnost cesia v jehličnatých a listnatých stromech a jejich okolí v roce 2011 a 2016 (zdroj: IAEA a Fukushima Prefectural Government, 2017) .....	44
Obrázek 18 Metody odběru materiálu pro studii (zdroj: IAEA a Fukushima Prefectural Government, 2017) .....	48
Obrázek 19 Dekontaminační činnosti (zdroj: IAEA a Fukushima Prefectural Government, 2017) .....	49
Obrázek 20 Říční oblast před a po dekontaminaci (zdroj: IAEA a Fukushima Prefectural Government, 2017) .....	51

Obrázek 21 Přeprava radioaktivního odpadu z dočasného úložiště do dočasného skladovacího zařízení.....	53
Obrázek 22 Dočasné skladovací zařízení .....	53
Obrázek 23 Průběh nakládání s radioaktivním odpadem (zdroj: IAEA a Fukushima Prefectural Government, 2017).....	54
Obrázek 24 Typické rozložení TSS (zdroj: IAEA a Fukushima Prefectural Government, 2017) .....	55
Obrázek 25 "On-site" úložiště (zdroj: IAEA a Fukushima Prefectural Government, 2017) .....	56
Obrázek 26 Porovnání dávkového příkonu pozadí v měřítku celého světa v roce 2017 (zdroj: IAEA a Fukushima Prefectural Government, 2017).....	59
Obrázek 27 Mapa MonRaS (zdroj: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2020b) .....	59

## SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 Hodnota dávkového příkonu v období březen 2011 – květen 2020 (zdroj: Fukushima Prefecture, 2020) .....	42
Graf 2 Přítomnost cesia v jehličnatých stromech a jejich okolí v roce 2011 .....	45
Graf 3 Přítomnost cesia v jehličnatých stromech a okolí v roce 2016 .....	45
Graf 4 Přítomnost cesia v listnatých stromech a okolí v roce 2011 .....	46
Graf 5 Přítomnost cesia v listnatých stromech a jejich okolí v roce 2016.....	46
Graf 6 Porovnání poklesu naměřených dávkových příkonů po dekontaminaci a důsledku přirozeného rozpadu (zdroj: IAEA a Fukushima Prefectural Government, 2017).....	48
Graf 7 Dávkový příkon ve vzduchu v čase .....	52



## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Základní typy komerčních jaderných reaktorů (zdroj: Skupina ČEZ, 2020a)	12
Tabulka 2 Srovnání Fukušimy a Černobylu (zdroj: Hamalčíková, 2019)	27
Tabulka 3 Hlavní typy účinků záření (zdroj: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2020a)	30
Tabulka 4 Procentuální snížení dávkového příkonu v důsledku dekontaminace (2012 – 2013)	50
Tabulka 5 Hodnota dávkového příkonu ve velkých městech v časovém rozmezí [μSv/hod]	57
Tabulka 6 Dávkový příkon ve vzduchu ve vybraných městech (údaje z roku 2016/2017)	57

# PŘÍLOHA

*Informativní brožura*



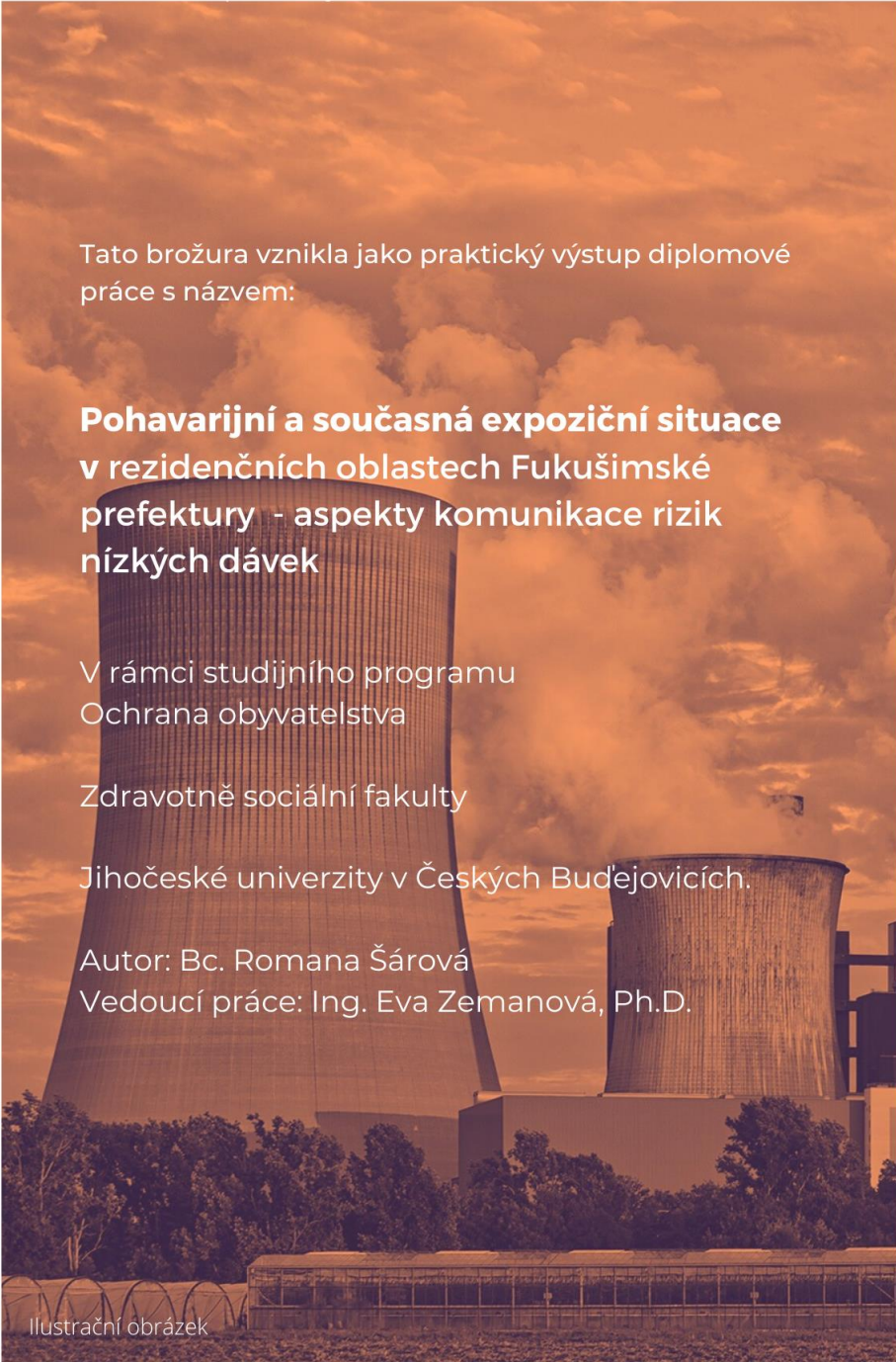
INFORMATIVNÍ  
BROŽURA

## ASPEKTY KOMUNIKACE RIZIK NÍZKÝCH DÁVEK

PRAKTICKÁ ČÁST  
DIPLOMOVÉ PRÁCE

- Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
- Zdravotně sociální fakulta
- obor: Civilní nouzová připravenost

Vnitřní strana obálky prázdná



Tato brožura vznikla jako praktický výstup diplomové práce s názvem:

**Pohavarijní a současná expoziční situace  
v rezidenčních oblastech Fukušimské  
prefektury - aspekty komunikace rizik  
nízkých dávek**

V rámci studijního programu  
Ochrana obyvatelstva

Zdravotně sociální fakulty

Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích.

Autor: Bc. Romana Šárová

Vedoucí práce: Ing. Eva Zemanová, Ph.D.

Ilustrační obrázek

# JADERNÁ HAVÁRIE V JE FUKUŠIMA

Téměř celý svět ví, co se stalo 11. března 2011. V tento den došlo k jaderné havárii v jedné z významných jaderných elektráren v Japonsku, a to v jaderné elektrárně Fukushima Daiichi patřící společnosti TEPCO. Konkrétně v 14:46 japonského času, došlo k zemětřesení o síle 9 stupňů Richterovy škály, po kterém následovala vlna tsunami, jejíž velikost byla kolem 20 metrů. Jaderná elektrárna měla být odolná vůči přírodním vlivům, ale vlna tsunami byla tak velká, že došlo k poškození jaderné elektrárny a následně havárii, která otřásla celým světem. Díky včasné evakuaci nedošlo k žádnému poškození ani úmrtí zapříčiněné jadernou havárií. Trvalá ochrana lidí a životního prostředí před ionizujícím zářením po této havárii byl podpořena v rámci spolupráce IAEA s prefekturou Fukušima.

## JADERNÝ KOMPLEX FUKUŠIMA PO ZEMĚTŘESENÍ A TSUNAMI



Obr.č.1

Zemětřesení poškodilo elektrárnu minimálně, ale vlna tsunami způsobila záplavy, které zapříčinily poškození některých reaktorů. Pro obyvatelstvo v okolí to znamenalo, že musí opustit své domovy a evakuovat se. Naštěstí došlo ke včasné evakuaci, ještě před tím, než došlo k úniku radioaktivních látek.

Tato havárie byla způsobena vlivem přírodních vlivů, ale dalo se jí zabránit nebo alespoň zmírnit její následky pomocí preventivních opatření. V Japonsku jsou zemětřesení velmi častá, a proto se mělo pracovat s možností vlny tsunami o jakékoliv velikosti a přizpůsobit tomu i preventivní opatření. Díky těmto poznatkům se tato havárie označuje i jako selhání lidského faktoru.

Při zemětřesení bylo v areálu JE Fukušimy 6 413 pracovníků.

V provozu byly bloky 1, 2 a 3. Zbytek bloků (4, 5 a 6) byly v odstávce. Samotné tsunami mělo 15 000 obětí. Záplavy v areálu elektrárny zapříčinilo úmrtí dvou pracovníků.

Ilustrační obrázek



Tato jaderná havárie byla hodnocena sedmým stupněm INES, která se vyznačuje škálou od 0 do stupně 7. INES je mezinárodní stupnice hodnocení jaderných událostí a jejich závažnost. V níže uvedené tabulce jsou stručně a přehledně znázorněny jednotlivé stupně podle INES.

Obr.č.2

	OBLAST DOPADU		
	DOPAD VNĚ ZAŘÍZENÍ	DOPAD UVNITŘ ZAŘÍZENÍ	DOPAD NA OCHRANU DO HLOUBÝ
7 VELMI TĚŽKÁ HAVÁRIE	Kosmický únik: široce rozšířené dopady na zdraví a životní prostředí		
6 TĚŽKÁ HAVÁRIE	Závažný únik: pravděpodobné nasazení velkých plánovaných protopátření		
5 HAVÁRIE S RIZIKEM VNĚ ZAŘÍZENÍ	Omezený únik: pravděpodobné částečné nasazení plánovaných protopátření	Vážné poškození aktivní zóny reaktoru/radičních bariér	
4 HAVÁRIE BEZ VÁŽNĚJŠÍHO RIZIKA VNĚ ZAŘÍZENÍ	Menší únik: ozáření obyvatelstva řádově v povolených mezích	Významné poškození aktivní zóny reaktoru/radičních bariér: smrtelné ozáření zaměstnanců	
3 VÁŽNÁ NEHODA	Velmi malý únik: Ozáření obyvatelstva zlomkem povolených limitů	Velké rozšíření kontaminace: akutní účinky na zdraví zaměstnanců	Téměř havarijní stav Nezůstaly žádné bezpečnostní bariéry
2 NEHODA		Významné rozšíření kontaminace/nadměrné ozáření zaměstnance	Nehoda s významným poškozením bezpečnostních opatření
1 ANOMÁLIE			Anomálie od schváleného provozního režimu
0 ODCHYLKA			Žádný bezpečnostní význam

Tabulka č.1

**IAEA (Mezinárodní agentura pro atomovou energii) spolupracovala v období od roku 2013 do roku 2017 s prefekturou Fukušima, úzká spolupráce probíhá dodnes v rámci managementu skladování biologického radioaktivního odpadu. Spolupráce spočívala i v oblasti tzv. „risk communication“ s obyvateli Fukušimské prefektury, dále poskytují rady a informace o monitorování, dekontaminaci, remediaci a likvidaci biologického odpadu.radioaktivity.**

Základní pilíře spolupráce s IAEA:

- monitorování a mapování radiační situace
- poradenství v oblasti komunikace s veřejností, šíření výsledků monitorování(on-line mapy, aplikace v mobilních telefonech, letáky apod.)
- dekontaminace a remediace
- nakládání s radioaktivními odpady



Obr.č.3

# MAPOVÁNÍ A MONITOROVÁNÍ RADIČNÍ SITUACE



Obr.č.4



Obr.č.5

## POUŽITÉ MONITOROVACÍ METODY

- pevné monitorovací stanice
- automobily a autobusy vybavené systémem GPS (měření silnicích v obytných a venkovských oblastech)
- bezpilotní vzdušné prostředky (drony)
- pěší průzkumníci (parky, lesy, okolí řek apod.)

## ČINNOSTI ORGÁNŮ PREFEKTURY FUKUŠIMA

Úřady prefektury vytvořily online mapy s daty monitorování záření, které jsou veřejné na webových stránkách <http://fukushima-radioactivity.jp/>.

Na těchto webových stránkách může veřejnost najít snadno srozumitelné informace. Pouhým kliknutím na konkrétní bod v mapě se objeví veškerá naměřená data v pravidelných intervalech. Dále úřady prefektury provedly výzkum týkající se cesia a volně žijících zvířat. Jak je možné, že se cesium vyskytne v těle volně žijícího živočicha? Je to způsobeno konzumací hub nebo jinými faktory?



## REMIACE A DEKONTAMINACE

Po jaderné havárii je cesium jedinou radioaktivní látkou, která zůstává v životním prostředí. Cesium má totiž dlouhý poločas rozpadu, trvá tedy 30 let, než jeho množství klesne o polovinu.

Pokud by se neprováděla dekontaminace, hladina cesia v životním prostředí by klesala v důsledku:

- samovolného rozpadu
- odstranění cesia ze silnic a střech domů díky dešti a větru
- vstřebávání se cesia do hlubších vrstev půdy.

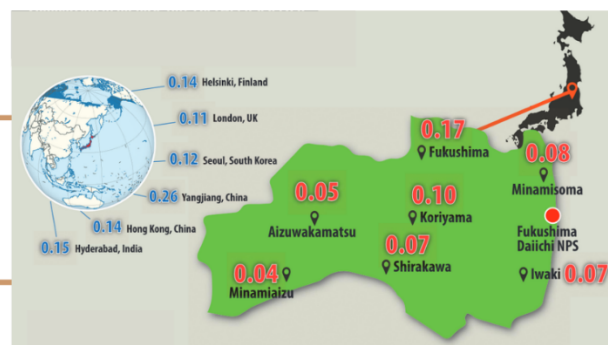
Časové rozpětí	Fukušima	Aizuwakamacu	Iwaki
Březen 2011 (před havárií)	0,04	0,04 ~ 0,05	0,05 ~ 0,06
Duben 2011	2,74	0,24	0,66
Září 2011	1,04	0,13	0,18
Březen 2012	0,63	0,10	0,17
Březen 2013	0,46	0,07	0,09
Březen 2015	0,23	0,06	0,07
Březen 2017	0,17	0,05	0,07
Březen 2020	0,10	0,06	0,07

Město (stát)	Dávkový příkon [μSv/hod]
Helsinky (Finsko)	0,14
Londýn (Spojené království)	0,11
Soul (Jižní Korea)	0,12
Yangjiang (Čína)	0,26
Hong Kong (Čína)	0,14
Hyderabad (Indie)	0,15
Paříž (Francie)	0,05
Berlin (Německo)	0,08
New York (USA)	0,04
Peking (Čína)	0,07
Singapur	0,10

Tabulka č.2,3

Díky dekontaminaci dochází k urychlení odstranění cesia ze životního prostředí. Pro ukázkou můžete v tabulkách vidět, jak ve třech největších městech prefektury Fukušima klesala hodnota dávkového příkonu od dubna 2011 do března 2017 a je zmíněna i hodnota dávkového příkonu jako pozadí pro porovnání. Sami si můžete porovnat hodnoty dávkových příkonů ve světovém měřítku s městy prefektury Fukušima.

Porovnání hodnot dávkového příkonu měst prefektury Fukušima se světovými metropolemi



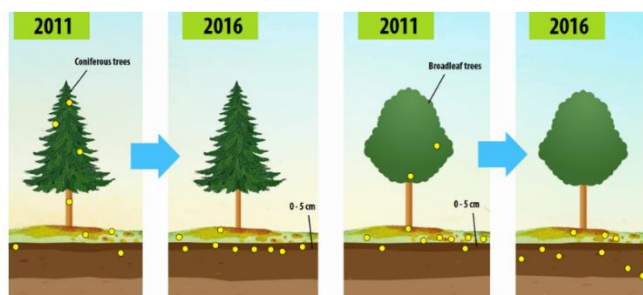
Obr.č.6



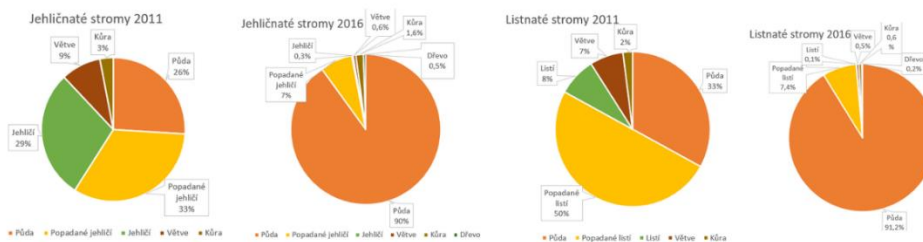
# MONITOROVÁNÍ RADIČNÍ SITUACE V LESÍCH

Lesy jsou pro prefekturu Fukušima velmi důležité, hlavně pro jejich ekonomiku. Velmi podstatné tedy bylo porozumět mechanismům pohybu cesia v lesích a sledovat přítomnost cesia ve dřevě a jeho výrobcích.

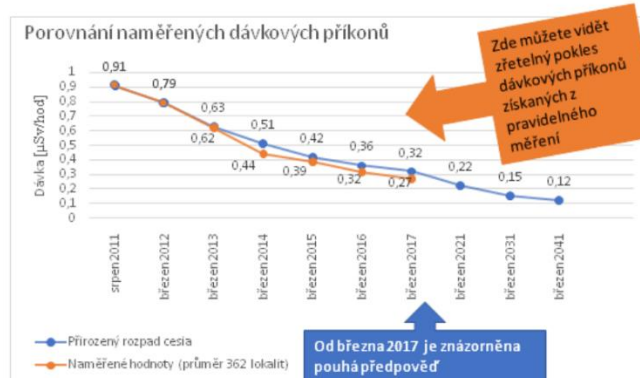
Prefektura Fukušima zavedla program monitorování lesů, do něhož bylo v roce 2011 zahrnuto 362 lokalit. V roce 2017 již toto číslo bylo mnohem vyšší (1 300 lokalit). Údaje získané z tohoto programu ukazují, že 90 % cesia se vyskytuje v lesní půdě (do hloubky 5 cm), 7 % v lesním substrátu a pouhý 3 % ve stromech. Díky zjištění malého množství cesia ve stromech, je možné stromy kácet a dřevo poté zpracovat.



Obr.č.7



Grafy č. 1-4



V prefektuře byly dekontaminovány všechny domy, veřejná zařízení, zemědělská půda i silnice, aby docílili snížení účinků kontaminace radioaktivními látkami. Vlivem přírodních procesů, dekontaminačních činností a fyzikálního rozpadu cesia, radiační dávka stále klesá. Report IAEA uvádí, že k březnu 2017 byla radioaktivita odstraněna téměř ze všech obytných budov, veřejných zařízení a zemědělské půdy. Úřady odhadují roční expozici obyvatel v důsledku nehody na cca 1mSv. Místní odborníci s globálními zkušenostmi analyzovali chování cesia v prefektuře Fukušima. Díky porozumění jeho chování v životním prostředí vznikl základ pro plán účinných protiopatření ze strany úřadů k bezpečnému využívání vody z řek a jezer. Orgány prefektury potvrdily, že se koncentrace cesia v řekách neustále snižuje, v roce 2017 je hodnota nižší než národní norma pro pitnou vodu (10 Bq/l).

Ilustrační obrázek

## ČINNOST ORGÁNŮ PREFEKTURY FUKUŠIMA REMEDIAČE A DEKONTAMINACE

Obr.č.8-13



ODKLÍZENÍ ORNICE  
V ZAHRADÁCH



ČIŠTĚNÍ  
CHODNÍKŮ



ODSTRANĚNÍ USAZENIN  
ZE SILNIČNÍCH PŘÍKOPŮ



ODKLÍZENÍ ORNICE  
VE ŠKOLÁCH



HLUBOKÁ ORBA  
ZEMĚDĚLSKÉ PŮDY



ODSTRANĚNÍ NEČISTOT  
Z OKAPŮ

### KAM SE VZNIKLÝM ODPADEM?

Dekontaminační činnosti měly i negativní stránku - vznikalo velké množství odpadu, které bylo potřeba uložit na nějaké místo. Nejprve je bylo nutno uložit „on-site“ ve velkých plastových pytlích, které byly postupně přemísťovány do centralizovaných povrchových dočasných úložišť.

### DEKONTAMINACE BYLA DOKONČENA V ŘÍJNU 2017

Celkem se dekontaminovalo:

- 420 000 obytných budov
- 12 000 veřejných zařízení
- 19 000 km silnic
- 31 000 ha zemědělské půdy



Obr.č.14



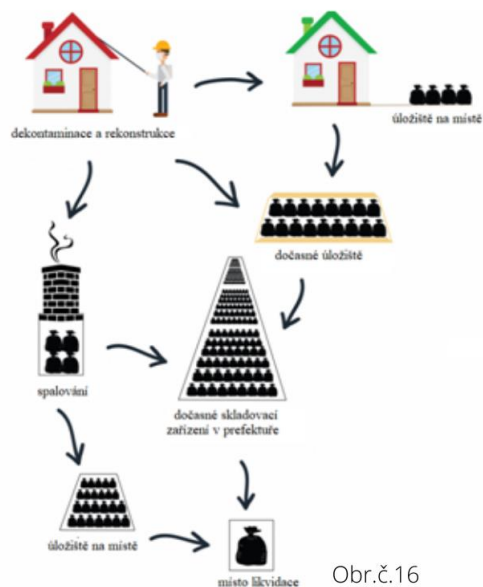
Obr.č.15

### Co obnášela spolupráce s IAEA?

IAEA poskytla prefektuře Fukušima technické poradenství v oblasti bezpečnosti nakládání s radioaktivním odpadem, který vznikl při dekontaminačních činnostech a skladoval se v dočasných úložištích a „on-site“ úložištích. A poskytla prefektuře Fukušima technické poradenství ohledně hodnocení bezpečnosti dlouhodobého skladování a budoucích kroků v rámci nakládání s radioaktivním odpadem

Ilustrační obrázek

## NAKLÁDÁNÍ S RADIOAKTIVNÍM ODPADEM



Obr.č.16

### CÍLE NAKLÁDÁNÍ S RADIOAKTIVNÍM ODPADEM

- snížení aktivity biologického odpadu
- snížení objemu kontaminovaného odpadu
- umístění odpadu do prozatímních povrchových úložišť a sledování jejich bezpečnosti

### ČINNOSTI ORGÁNŮ PREFEKTURY FUKUŠIMA

Úřady prefektury vyvinuly posouzení bezpečnosti skladování radioaktivního odpadu z remediace, což zahrnovalo identifikování relevantních parametrů, které by mohly mít vliv na bezpečnost (charakteristiky místa, navržené bezpečnostní prvky místa, vlastnosti odpadu). Projekt se také zabývá bezpečností delšího dlouhodobého skladování, než se předpokládalo, a také sdělením a vysvětlováním výsledků zúčastněným stranám i veřejnosti. Podle úřadů výsledky hodnocení bezpečnosti dočasných „on-site“ úložišť a jejich systematické sledování, které dokazovalo, že odpad nemá významné radiační důsledky pro veřejnost a životní prostředí.

# KOMUNIKACE RIZIKA

V komunikaci je riziko skutečné a vnímané. Projekt zabývající se remediací a dekontaminací musí zahrnovat účinnou komunikaci s obyvateli a zúčastněnými stranami. Důležitým bodem je efektivita sdílení informací (mapy, zprávy a datové výsledky) s veřejností o skutečném riziku. Všechny informace musí být věcné a srozumitelné a musí reagovat na vnímané riziko. Vnímané riziko je důležité pro porozumění všech zúčastněných stran. Informace o skutečném riziku mohou být podány příliš vědecky a laická veřejnost těmto informacím nerozumí, poté dochází k neporozumění a nepřijetí informace a následným obavám. Srozumitelná data a emoce, to jsou dva základní pilíře, které jsou pro veřejnost velmi důležitá.

## CO LIDÉ POTŘEBUJÍ:

Lidé potřebují informace spojené s jejich vlastním životem a jasné zprávy ze zdrojů, kterým důvěřují:

- účinky záření na zdraví
- život s radiací
- zdravý životní styl obecně

Lidé také chtějí odpovědi ANO/NE, pokud se totiž objeví pochybnosti, může dojít k obavám, strachu a nedůvěře.

Lidé potřebují jasné a zřetelné poselství od vlády o budoucnosti ekonomiky a vnitrostátních systémů sociální ochrany,

Pokud se lidé setkají s informacemi, které nekorelují s jejich obavami nebo přesvědčením, ignorují je.

KOMUNIKACE = přenos informací z jednoho místa na druhé

KOMUNIKACE RIZIKA (krizová komunikace) = přenos informací mezi organizacemi, médii, skupinami a jednotlivci před, v průběhu a po skončení mimořádné události

ZÚČASTNĚNÁ STRANA = každý, kdo má zájem na dané záležitosti (příslušníci veřejnosti, osoby s komerčním či obchodním zájmem, odbory, dodavatelé, vládní orgány, sdělovací prostředky, profesní a akademické organizace, národní a místní nevládní organizace)

SKUTEČNÉ RIZIKO = objektivní posouzení pravděpodobnosti nebezpečí a jeho důsledku (radiační dávka a vliv na zdraví)

VNÍMANÉ RIZIKO = subjektivní posouzení pravděpodobnosti nebezpečí (záření) a vlivu tohoto nebezpečí na pocity z následků (víra, postoj, pocity apod.)

Ilustrační obrázek

PRO UKLIDNĚNÍ SITUACE BYLY VYVINUTY JIŽ ZMIŇOVANÉ  
WEBOVÉ STRÁNKY [HTTP://FUKUSHIMARADIOACTIVITY.JP/PC/](http://fukushimaradioactivity.jp/pc/)  
CÍL – PŘESVĚDČIT VEŘEJNOST O NEEXISTUJÍCÍM  
ZDRAVOTNÍM PROBLÉMU

### **Vnímané riziko u obyvatel v Japonsku klesá. Proč?**

Lidé si mohou najít různé informace o radiaci na internetu → vyhledání dezinformací nebo informací, které laická veřejnost nepochopí správně a dojde tak k panice nebo obavám.

V roce 2012 a 2014 se provedl výzkum veřejného mínění. Výsledkem v roce 2012 byl obrovský strach obyvatel a později tento strach příliš neklesl. V roce 2012 se dotazovaní báli více o zdraví rodiny a blízkých z vnější expozice než vnitřní. V roce 2014 se situace mírně zlepšila, ale stále se zde najdou skupiny lidí, kteří důvěru nemají.

#### **PODANÁ INFORMACE:**

Bahno obsahuje 13 300 Bq/kg, ale v pitné vodě není detekováno záření, tudíž je to bezpečné.

#### **REAKCE VEŘEJNOSTI:**

Je to správné?

Je to opravdu bezpečné?

#### **REALITA:**

Bezpečné to je, ale dojem této informace na veřejnost není důvěryhodný.

IPARSC projekt, na kterém se podílela IAEA

Cíle:

- vypracovat pokyny charakterizující přístup k veřejným rizikům
- vypracovat, jak reagovat na emocionální kontext

Očekávaný výsledek:

- zvýšení znalostí veřejnosti
- informování obyvatelstva o dekontaminaci, remediaci a nakládání s radioaktivním odpadem
- pokusit se změnit chování evakuovaných a přesvědčit je o návratu do oblasti

Ilustrační obrázek

### **CO NASTANE, POKUD SE VNÍMANÉ RIZIKO NEŘEŠÍ?**

Veřejnost zůstane dále nepřesvědčena o bezpečnosti v oblasti a jejich důvěra je ztracena.

### **PROČ ŘEŠIT KOMUNIKACI ŘEŠÍCÍ VNÍMANÁ A SKUTEČNÁ RIZIKA?**

Zlepší přijetí stávajících opatření remediaci, dekontaminace a nakládání s radioaktivními odpady ze strany veřejnosti, podpoří tak návrat obyvatel, poskytne jim návrat k normálnímu životu a sníží obavy, strach, úzkost a stres. Vybudují si porozumění a důvěru, a to přispěje k úspěchu zvládnutí situace.



Komunikace rizika je důležitá pro přenos informací mezi organizacemi, médii, skupinami a jednotlivci a to před, během, v průběhu i po skončení mimořádné události. Pokud se tedy bude dodržovat podstata vnímaného a skutečného rizika nemělo by dojít k závažným komplikacím. Důležité je, aby veřejnost byla oboznámena s informacemi o jaderné elektrárně, ionizujícím záření, radiační ochraně apod. Stejně by měli vědět co mají dělat, pokud k havárii dojde. Po havárii by měla veřejnost vědět jaké jsou kroky k nápravě a co se dělá pro to, aby se mohli vrátit do svých domovů.

Pro více informací o této jaderné havárii a její následky věnujte pozornost tomuto odkazu:

<http://www.pref.fukushima.lg.jp/site/portal-english/>

Další informace:

Monitorování a mapování radiační situace

<http://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/16025d/>

Mapa měření radioaktivity dostupná veřejnosti

<http://fukushima-radioactivity.jp/pc/>

Ilustrační obrázek

## Seznam zdrojů

### Ilustrační obrázek

Databáze online editoru Canava pro

#### Obr. č.1

Japonci zvažují pohřbit Fukušimu do betonového sarkofágu jako Černobyl. IDNES.cz [online]. 2011, 18. 3. 2011 [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: [https://www.idnes.cz/zpravy/zahranicni/japonci-zvazuji-pohrbit-fukusimu-do-betonoveho-sarkofagu-jako-cernobyl.A110318\\_074318\\_zahranicni\\_aha?galerie](https://www.idnes.cz/zpravy/zahranicni/japonci-zvazuji-pohrbit-fukusimu-do-betonoveho-sarkofagu-jako-cernobyl.A110318_074318_zahranicni_aha?galerie)

#### Obr. č.2

The Fukushima Daiichi nuclear power plant is seen in Fukushima prefecture, in aerial shot taken in December 2000 (top) and... In: Reuters.com [online]. 2012, 8.3.2012 [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: <https://www.reuters.com/search/pictures?sortBy=&dateRange=&blob=combo+tepc>

#### Obr. č.3

Centrála IAEA ve Vídni v Rakousku IAEA urges India to take further action for nuclear regulation: A file photo of IAEA headquarters in Vienna, Austria. In: Livemint.com [online]. 2015 [cit. 2020-08-01]. Dostupné z: <https://www.livemint.com/Industry/nQV1A5AbuMR8HNq8T4O17K/IAEA-urges-India-to-take-further-action-for-nuclear-regulation.html>

#### Obr. č.4, 5

FUKUSHIMA PREFECTURE. Fukushima Prefecture Radioactivity measurement map [online]. 2020 [cit. 2020-08-01]. Dostupné z: <http://fukushima-radioactivity.jp/pc/>

#### Obr. č. 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 16

##### Grafy č. 1, 2, 3, 4

IAEA a FUKUSHIMA PREFECTURAL GOVERNMENT. Cooperation between the International Atomic Energy Agency (IAEA) and Fukushima Prefecture and activities undertaken by Prefecture authorities following the accident at TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant [online]. 2017 [cit. 2020-07-01]. Dostupné z: <http://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/299151.pdf>

#### Obr. č. 14

MOCHIZUKI. Decontamination soil bags are already starting to be torn in Fukushima. In: Fukushima Diary [online]. 2014 [cit. 2020-08-05]. Dostupné z: <https://fukushima-diary.com/2014/07/decontamination-soil-bags-already-starting-torn-fukushima/>

#### Tabulka č. 1

IAEA, OECD/NEA. Mezinárodní stupnice hodnocení závažnosti jaderných událostí. [online] Praha: INES, 2011. 85 s. [cit. 2020-06-02] Překlad Státní úřad pro jadernou bezpečnost. Uživatelská příručka. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/dokumenty/publikace/INES.pdf>

#### Tabulka č.2 a 3

IAEA a FUKUSHIMA PREFECTURAL GOVERNMENT. Cooperation between the International Atomic Energy Agency (IAEA) and Fukushima Prefecture and activities undertaken by Prefecture authorities following the accident at TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant [online]. 2017 [cit. 2020-07-01]. Dostupné z: <http://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/299151.pdf>

Vnitřní strana obálky





Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích  
Zdravotně sociální fakulta  
Civilní nouzová připravenost