



**HAVÁRIE NA JADERNÉ ELEKTRÁRNĚ**

**FUKUŠIMA I**

**10 LET POTÉ**

## Obsah

1. Úvod .....	1
2. Zemětřesení a tsunami.....	1
3. Havárie na jaderné elektrárně Fukušima I .....	3
4. Opatření na území Japonska .....	5
5. Opatření na území ČR.....	11
5.1 Sledování ovzduší .....	11
5.2 Kontrola dovážených potravin a ostatních zásilek z Japonska.....	13
5.3 Informování veřejnosti .....	14
6 Opatření zaměřená na jaderné elektrárny.....	14
7 Zdravotní dopady havárie ve Fukušimě .....	15
8 Sociální a psychologické aspekty.....	16
9 Dekontaminace v okolí jaderné elektrárny .....	17
10 Obnova území ve Fukušimě .....	17
11 Aktuální informace ke konci roku 2020 .....	18
12 Oblasti výzkumu v ČR navazující na poznatky z fukušimské havárie .....	18
13 Citace.....	20

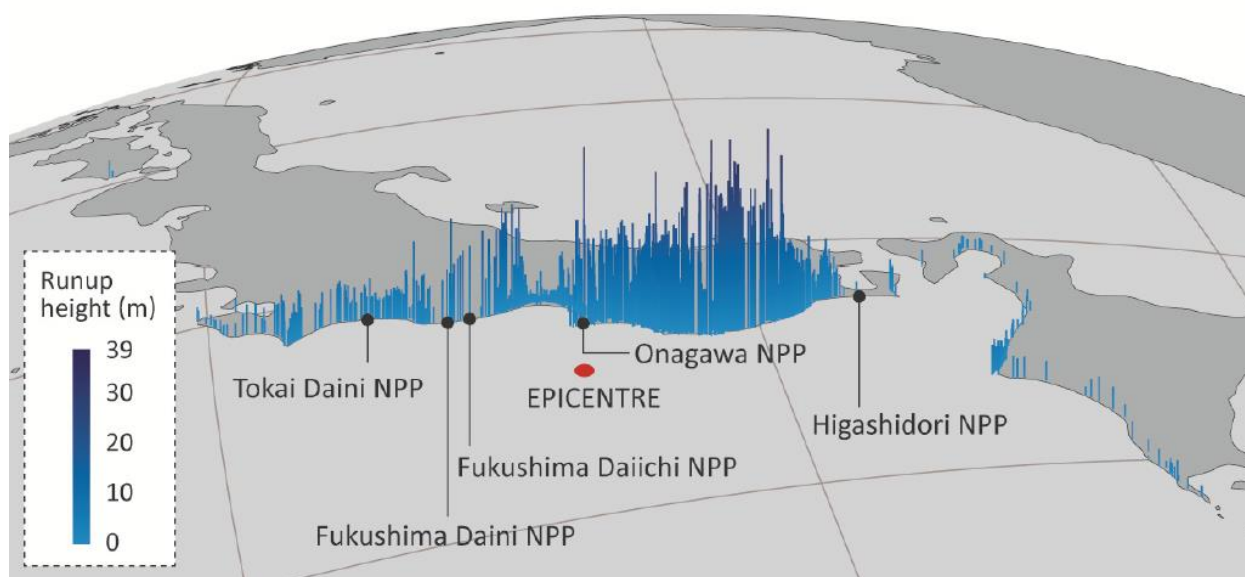
## 1. Úvod

Právě uběhlo 10 let od doby, kdy došlo severovýchodně od Japonska k silnému zemětřesení, které bylo následováno ničivou vlnou tsunami. Tyto události se vzhledem ke svému rozsahu zapsaly do historie nejen po stránce lidské, ale i po stránce technické a politické. Začátek nového tisíciletí s sebou přinesl příslib jaderné renesance podporovaný zvyšující se poptávkou po čistých, levných a spolehlivých zdrojích elektrické energie. O dalších 10 let později 11. 3. 2011 přinesla havárie na jaderné elektrárně Fukušima I celému jadernému odvětví nejtěžší zkoušku od doby, kdy došlo k havárii v jaderné elektrárně Černobyl, kterou mnozí pamatují, a s níž byla havárie v jaderné elektrárně Fukušima často srovnávána.

Avšak každé neštěstí či krize s sebou přináší i obrovský impuls, který lidstvo posouvá dál. A stejně tomu je i v případě celého jaderného odvětví. Za uplynulých 10 let nezůstala jediná oblast, která by nebyla podrobně revidována s ohledem na skutečnosti zjištěné při pátráních po příčinách této tragické události. Výsledkem této usilovné práce je, že k 4. 3. 2021 máme ve světě stále v provozu 443 jaderných reaktorů a dalších 50 reaktorů je ve výstavbě na všech kontinentech s výjimkou Afriky a Antarktidy [4].

## 2. Zemětřesení a tsunami

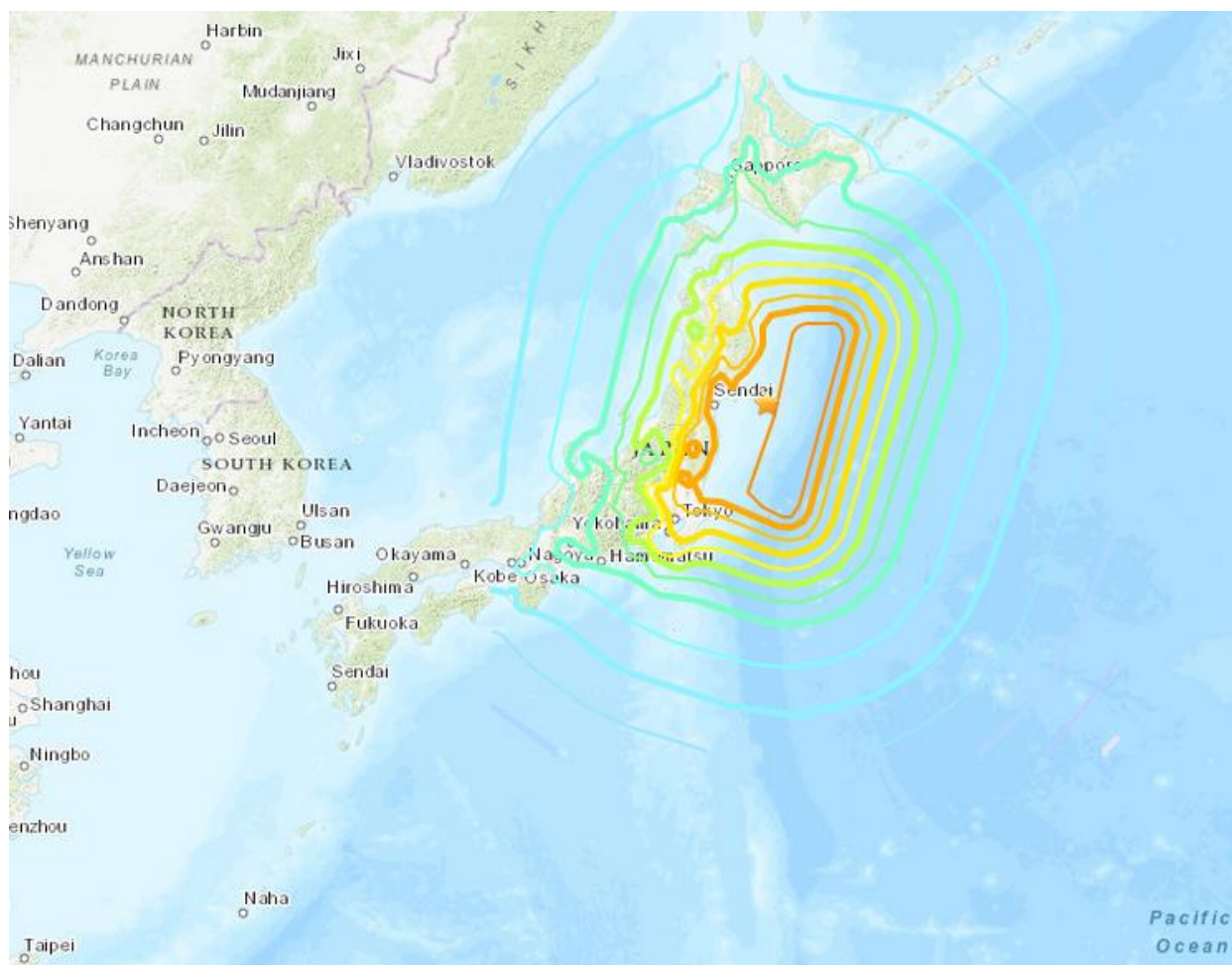
Dne 11. 3. 2011 v 05:46 (UTC) bylo v hloubce 29 km na severovýchodě Japonska zaznamenáno velmi silné zemětřesení o magnitudě 9,1 [1]. V té době se jednalo o největší zaznamenané zemětřesení na území Japonska a z celosvětového měřítka se toto zemětřesení zařadilo na 5. místo v žebříčku největších zemětřesení zaznamenaných po roce 1900. Dopady takto silného zemětřesení bylo možné pozorovat i v celosvětovém měřítku. Podle dostupných zpráv byl pozorován pokles 400 km části Japonska nejbližší epicentru o 0,6 m, posun ostrova Honšú o 2,4 m směrem k východu a posun planetárních pólů přibližně o 16 cm [2].



Obrázek 1 Rozložení výšky vlny tsunami na japonském pobřeží [5].

Oblast Japonska patří z hlediska zemětřesení k poměrně aktivním oblastem a nejedná se o neobvyklý jev, na který by tamní jaderné elektrárny (dále jen „JE“) nebyly připravené. Obdobně jako jsou naše jaderné elektrárny Dukovany a Temelín napojeny na [systém monitorování seismické aktivity](#), tak i japonské jaderné elektrárny, včetně elektrárny Fukušima I, měly přístup k datům o seismické aktivitě a při zemětřesení automaticky řídicí systém odstavil jaderné reaktory. Následné kontroly ukázaly, že samotné zemětřesení nezpůsobilo na jaderné elektrárně závažnější škody.

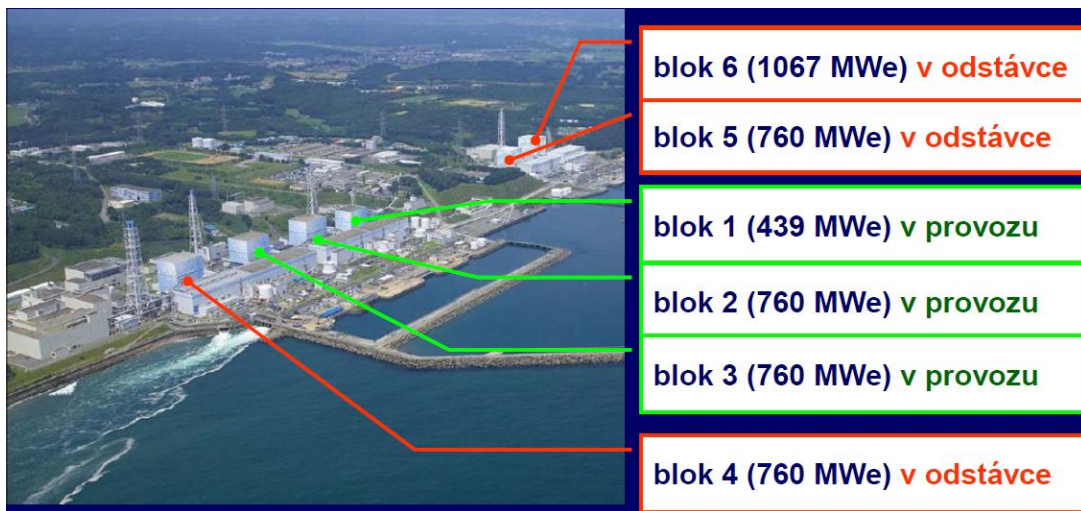
Vážný zásah do průběhu odstavování jaderných reaktorů způsobila až následná 15 m vysoká vlna tsunami, která přibližně hodinu po zemětřesení zasáhla elektrárnu Fukušima I a vyřadila z provozu téměř veškeré vybavení potřebné k bezpečnému dochlazení reaktorů. O síle a velikosti vlny tsunami vypovídá i fakt, že se dostala až 10 km do vnitrozemí, zničila nebo poškodila téměř 400 000 budov a způsobila smrt přibližně 19 000 lidí. [3].



Obrázek 2 Grafické znázornění zemětřesení v oblasti Tóhoku na severovýchodě Japonska dne 11. 3. 2011 [1].

### 3. Havárie na jaderné elektrárně Fukušima I

Jaderná elektrárna Fukušima I disponovala 6 reaktory, z nichž 3 reaktory byly v provozu a zbylé reaktory byly odstaveny z důvodu pravidelné údržby. Při zemětřesení došlo k automatickému odstavení reaktorových bloků 1, 2 a 3, které byly tou dobou v provozu. Zároveň došlo k přerušení elektrického vedení společnosti TEPCO vedoucího do elektrárny a napájení elektrárny tak převzaly diesellové generátory. Následná vlna tsunami poničila zařízení elektrárny do takové míry, že bloky 1, 2 a 4 ztratily veškeré zdroje napájení, blok 3 byl napájen z baterií až do jejich vyčerpání, které nastalo ráno 13. 3. 2011. Blok 5 ztratil zdroje střídavého proudu a blok 6 byl napájen ze vzduchem chlazeného diesellového generátoru, který jako jediný odolal tsunami.



Obrázek 3 Dispozice jaderné elektrárny Fukušima I a stav bloků před příchodem tsunami.

Je důležité si uvědomit, že nedošlo jen ke zničení vybavení elektrárny, ale kompletně celé infrastruktury – byly zničeny automobily a těžká technika, zasažená elektrická zařízení byla nepoužitelná, komunikace a přístupové cesty byly poničené, neprůjezdné a plné troskek, které bylo velmi obtížné bez těžké techniky odstranit a situaci na místě též ztěžovaly i následné otřesy.



Obrázek 4 Záběry ničivé síly vlny tsunami z JE Fukušima I – severní část budovy na zpracování radioaktivních odpadů [9].

Na 1. bloku došlo přibližně po 4 hod od zemětřesení k poškození aktivní zóny reaktoru vlivem ztráty chlazení. Druhý den 12. 3. 2011 ráno bylo obnoveno chlazení reaktoru a v odpoledních hodinách i řízená ventilace, při níž došlo k vodíkové (nikoliv jaderné) explozi. Exploze způsobila výpadek dodávky chladicí vody do reaktoru, který se podařilo obnovit až večer téhož dne.

Na 2. bloku došlo ke ztrátě chlazení aktivní zóny až 14. 3. 2011 po výpadku parní turbíny pohánějící systém doplňování chladiva. Při následných analýzách bylo zjištěno, že velký únik radioaktivních látek, který zamořil okolí jaderné elektrárny, byl pravděpodobně způsoben netěsností primárního kontejnmentu 15. 3. 2011.

Na 3. bloku došlo k výpadku parní turbíny pohánějící systém doplňování chladiva již 13. 3. 2011 a kolem poledne došlo k poškození aktivní zóny reaktoru.

Na 4. bloku, který nebyl v provozu, se přes propojené systémy s 3. blokem dostal vodík vlivem ventilace 3 bloku a následně 14. 3. 2011 došlo opět k vodíkové (nikoliv jaderné) explozi i na 4. bloku.

Na 5. a 6. bloku nedošlo k poškození aktivní zóny, protože bloky byly v plánované odstávce a napájení bylo zajištěno díky diesellovému generátoru, který nebyl poničen vlnou tsunami.

Tabulka 1 Přehled událostí na blocích JE Fukušima I od zemětřesení 11. 3. 2011 14:46 [3].

	Blok 1	Blok 2	Blok 3
Ztráta střídavého napájení	+ 51 min	+ 54 min	+ 52 min
Ztráta chlazení	+ 1 hod	+ 70 hod	+ 36 hod
Odhalení palivových proutků *	+ 3 hod	+ 74 hod	+ 42 hod
Začátek poškození aktivní zóny *	+ 4 hod	+ 77 hod	+ 44 hod
Nasazení hasičských čerpadel se sladkou vodou	+ 15 hod		+ 43 hod
Vodíková exploze	+ 25 hod	Nepotvrzena	+ 68 hod
Nasazení hasičských čerpadel s mořskou vodou	+ 28 hod	+ 77 hod	+ 46 hod
Obnova vnějšího napájení JE	+ 11 – 15 dnů		
Obnova chlazení sladkou vodou	+ 14 – 15 dnů		

\* Odhad na základě analýzy z roku 2012

Tabulka 2 srovnání havárií v jaderných elektrárnách Fukušima a Černobyl

	Fukušima (2011)	Černobyl (1986)
Příčina havárie	Živelní pohroma	Hrubé chyby obsluhy
Poškození reaktorové nádoby	Bloky 1, 2, 3	Totální
Bezprostřední úmrtí na ozáření	0	29*)
Únik radioaktivních látek do okolí (Bq)	I-131 ~ 10 <sup>17</sup> Cs-137 ~ 10 <sup>16</sup>	I-131 ~ 10 <sup>18</sup> Cs-137 ~ 10 <sup>17</sup>
Kategorie	INES 7	INES 7 **)

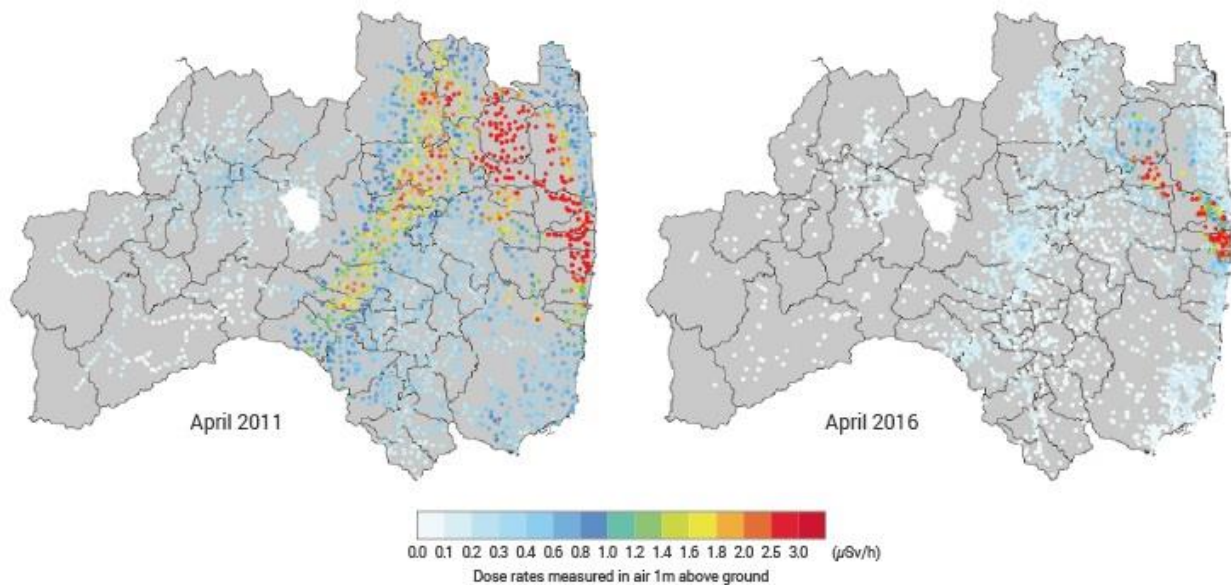
\*) NEA, OECD (2002). Chernobyl: Assessment of Radiological and Health Impacts. Nuclear Energy Agency, Organisation for Economic Co-operation and Development

\*\*) Obě havárie jsou zařazeny do kategorie INES 7, avšak odhad celkového úniku z Fukušimy dosahoval cca 1/4 úniku z JE Černobyl.

#### 4. Opatření na území Japonska

Jak již bylo výše uvedeno únik z fukušimské havárie byl řádově nižší, než z černobylské havárie. Celkové zasažené území tvořilo jen cca 6 % území ve srovnání s Černobylem. Relativně malá míra zasažení území byla dána zejména povětrnostními podmínkami. Vlivem počasí zasáhlo území pouze cca 20 % spadu, zbytek byl rozptýlen nad mořskou hladinou. I přesto bylo nutné některé části území nutné evakuovat již v prvních chvílích po havárii, a to v severovýchodním směru, v jakém převažoval směr větru nad pevninou. Na části území byla evakuace obyvatelstva zahájena již 6 hodiny po zemětřesení. Nejprve se evakuace týkala území v okruhu 2 km od elektrárny (11. 3. 2011 20:50 místního času) a následně byla rozšířena do vzdálenosti 3 km a ve 21:23 a nařízeno ukrytí obyvatel v budovách v rozmezí 3 – 10 km. Od elektrárny. Dne 12. 3. 2011 byla v 5:44 vyhlášena evakuace pro území do vzdálenosti 10 km od elektrárny, téhož večera v 18:25 pak došlo k rozšíření až na 20 km. První únik (díky ventilaci kontejnmentu a vodíkové explozi) nastal již 12. 3. 2011 (okolo 16 hodiny), největší únik nastal pak až 15. 3. 2011. Vzhledem k tomu, že část obyvatelstva byla evakuována až v období po úniku, provázela evakuaci řada opatření směřující k posouzení míry kontaminace obyvatelstva a v mnohých případech i dekontaminaci osob. Vlivem přítomnosti radioaktivního jódu I-131 byla též zavedena jodová profylaxe u obyvatelstva i zasahujících osob [3], [7].

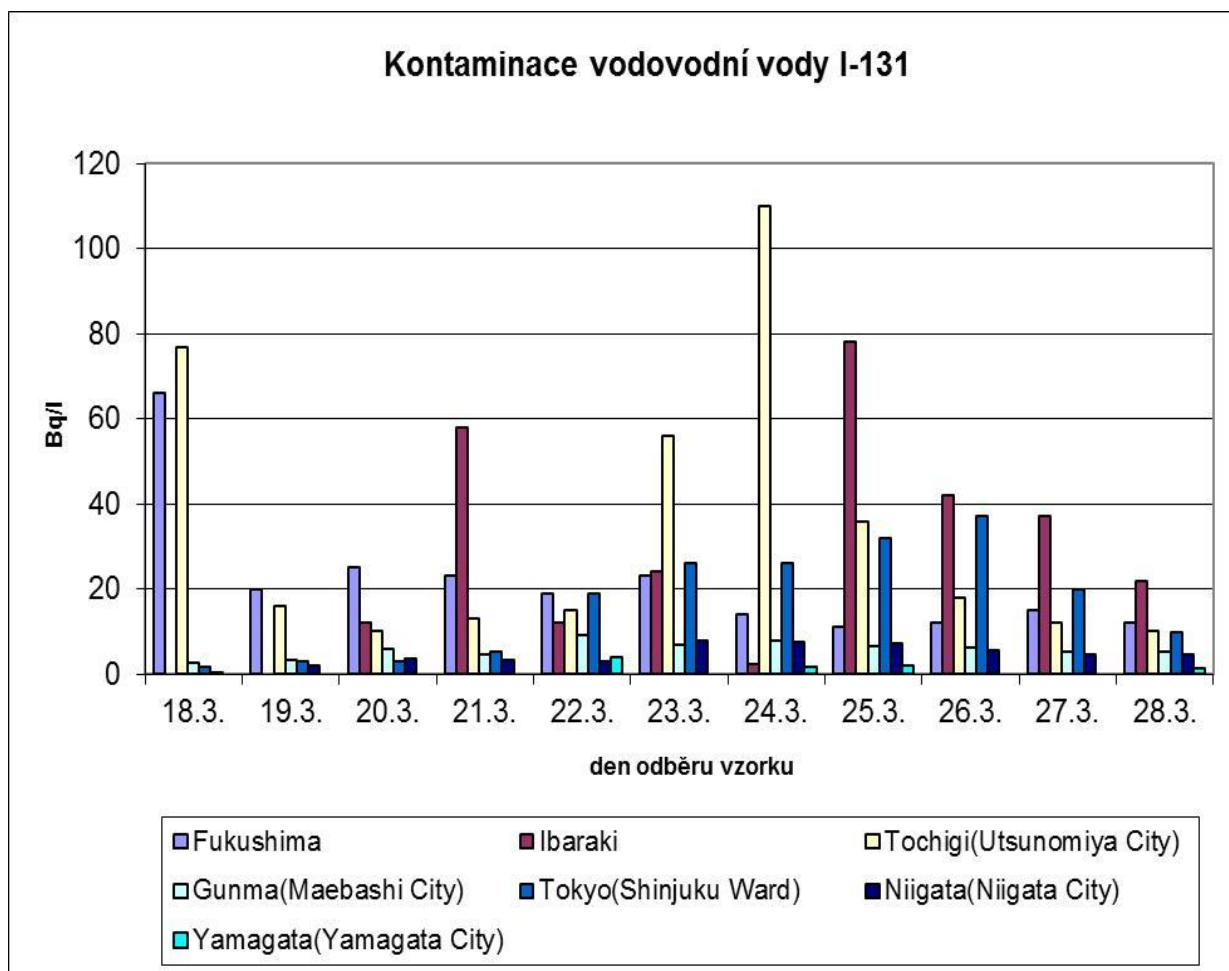
Úplná evakuace osob z území do 20 km byla dokončena dne 15. 3. 2011. V tento den bylo zároveň nařízeno ukrytí obyvatelstva v budovách v okruhu 20 – 30 km od elektrárny a od 25. 3. 2011 byla na tomto území vyhlášena dobrovolná evakuace. Dne 21. 4. 2011 vláda vyhlásila 20 km území okolo elektrárny za zónu se zákazem vstupu [7].



Obrázek 5 Monitorování dávkového příkonu na území prefektury Fukušima v dubnu 2011 a 2016 [3].

Velmi důležitým se stalo sledování kontaminace zdrojů pitné vody. Japonské normy připouštěli kontaminaci 300 Bq/l pro dospělé a 100 Bq/l pro kojence. Mezi 22. a 23. 3.2011 došlo ke krátkodobému zvýšení obsahu radionuklidů v jedno ze zdrojů pitné vody až na cca 200 Bq/l, proto byl v tyto dva dny vydán zákaz používání vody pro kojence. Limit je však nastaven tak, že ani při dlouhodobém (natož jednodenním) pití vody na této úrovni nehrozí žádné zdravotní riziko. Uvedený limit pro běžné spotřebitele (dospělé) 300 Bq/l překročen nebyl. Na obrázek 6 je uveden graf kontaminace pitné vody radioaktivním jódem I-131, a to pro různá místa a dny bezprostředně po havárii.





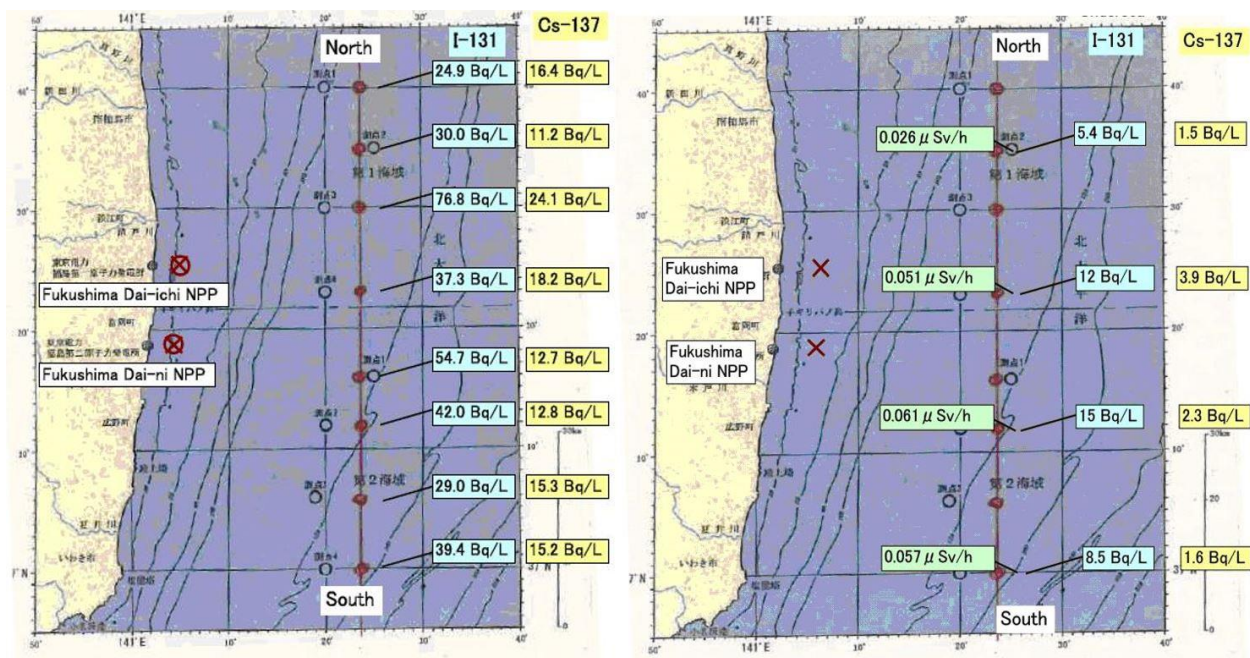
Obrázek 6 Kontaminace vzorků pitné vody změřených bezprostředně po havárii [12].

Bezprostředně po havárii byla též velká pozornost věnována mléku a čerstvé zelenině, a to zejména v oblastech s vyšším spadem a depozicí radioaktivního cesia a jódu. Vysoké hodnoty byly zaznamenány zejména u špenátu a jarní cibule. Ve výjimečných případech byla u této zeleniny z otevřených polí zjištěna aktivita na úrovni až desetitisíců Bq/kg pro jódy a tisíců Bq/kg pro cesia. V případě mléka se pak jednalo o maximální hodnoty na úrovni několika tisíc Bq/kg pro jódy a jednotek Bq/kg pro cesia. V případě překročení nastavených limitů samozřejmě nebyla povolena jejich distribuce do obchodní sítě.

Co se týče monitorování ostatních položek životního prostředí a potravního řetězce, byla věnována velká pozornost sledování mořské vody, ryb a dalších produktů.

Monitorování mořské vody, sedimentu a bioty ukazuje, že úrovně zamoření mořského prostředí jsou nízké a relativně stálé a nadále se pro klid veřejnosti silně doporučuje pokračování v monitorování mořských oblastí. Do monitorování bylo zahrnuto i monitorování obsahu I-131 a Cs-137 v mořské vodě. Na základě měření 23. 3. 2011 bylo zjištěno cca dvojnásobné překročení limitu pro I-131 (40 Bq/l), limit pro Cs-137 (90 Bq/l) překročen nebyl. Ovšem díky velké ředící schopnosti samotného moře klesly koncentrace I-131 pod stanovené limity. Obrázek 7 ukazuje velmi rychlý pokles aktivity radioizotopů Cs-137 a I-131 v mořské

vodě, a to díky dobrému ředění. Úroveň koncentrace Cs-137 měřená v roce 2013 v mořské vodě a okolí JE (15 až 30 km) již odpovídá stavu před havárií (průměrné hodnoty se pohybují na úrovni jednotek Bq/m<sup>3</sup>, tedy hodnoty tisíckrát menší, než uvádí obrázek 7 vpravo).

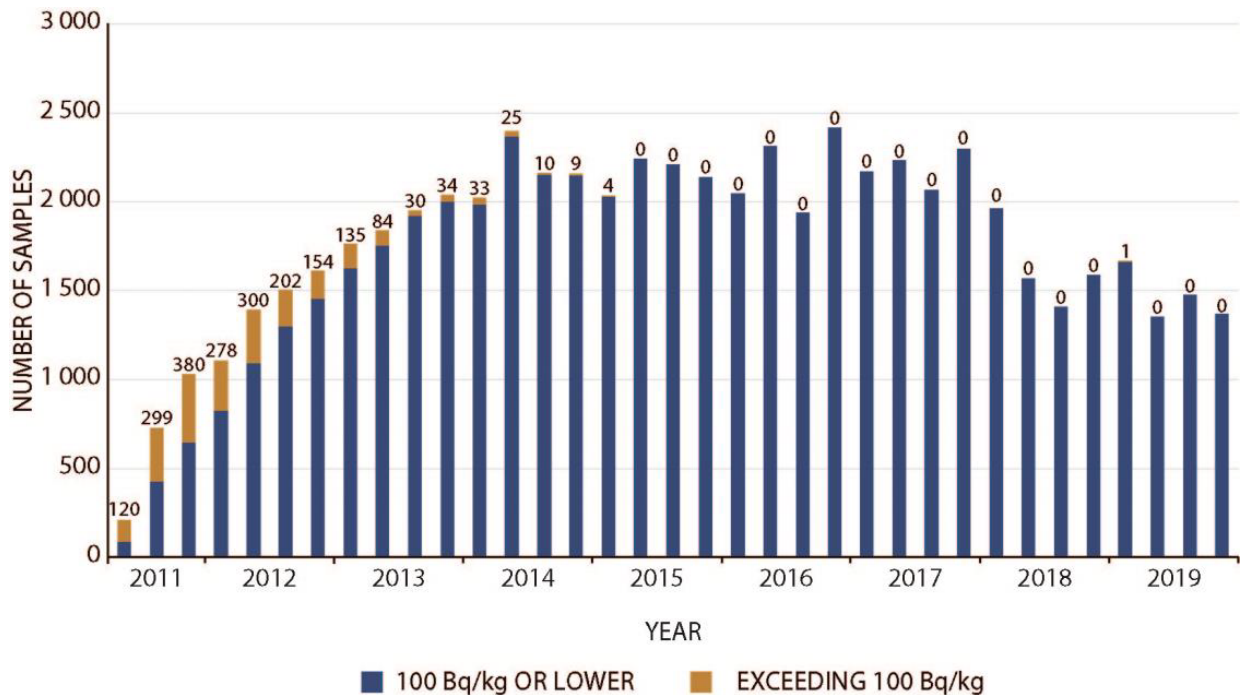


Obrázek 7 Kontaminace mořské vody radionuklidy I-131 a Cs-137 (vlevo je stav z 25. 3. 2011 a vpravo stav z 29. 3. 2011) [12].

Velmi rychlý pokles koncentrace Cs-137 byl též pozorován u potravin původem z moře (ryby, chaluhy, atp.). Vzorke potravin odebrané v roce 2011 u pobřeží fukušimské prefektury překračovaly limity pro Cs-137 (100 Bq/kg) u 41 % odebraných vzorků, v roce 2012 u 17 % a v roce 2015 pak už jen u 0,05 % vzorků (viz

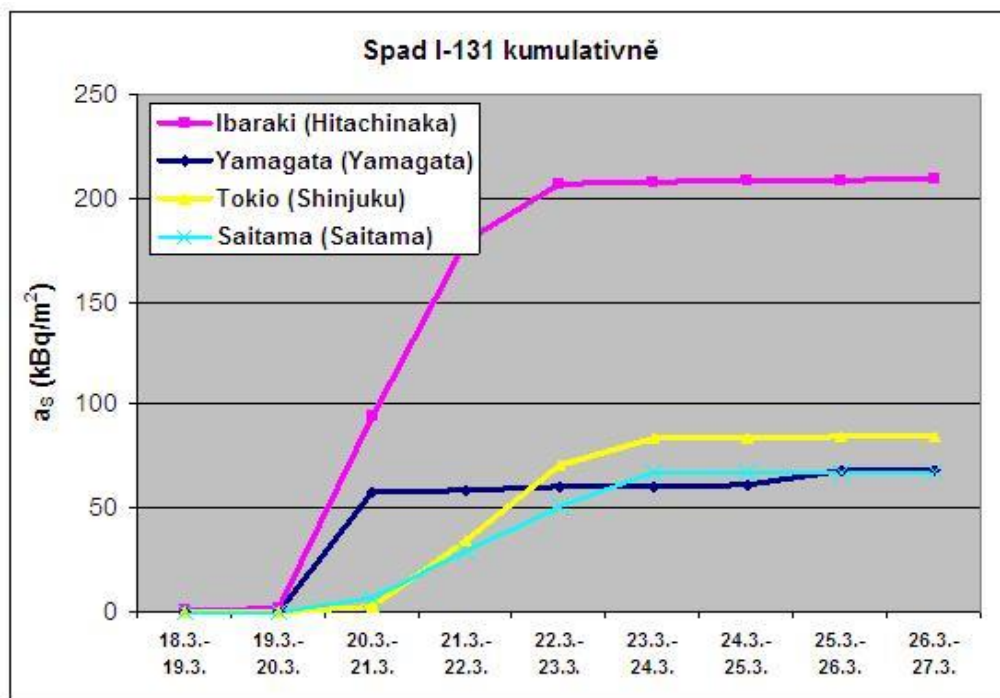
obrázek 8).

Vlivem dlouhého poločasu rozpadu Cs-137 a jeho zabudováním do pobřežních sedimentů není pokles aktivity tak rychlý jako v případě uvedené vody. Lze předpokládat, že právě sedimenty budou dlouhodobým zdrojem ovlivňujícím úroveň cesia v mořské vodě.



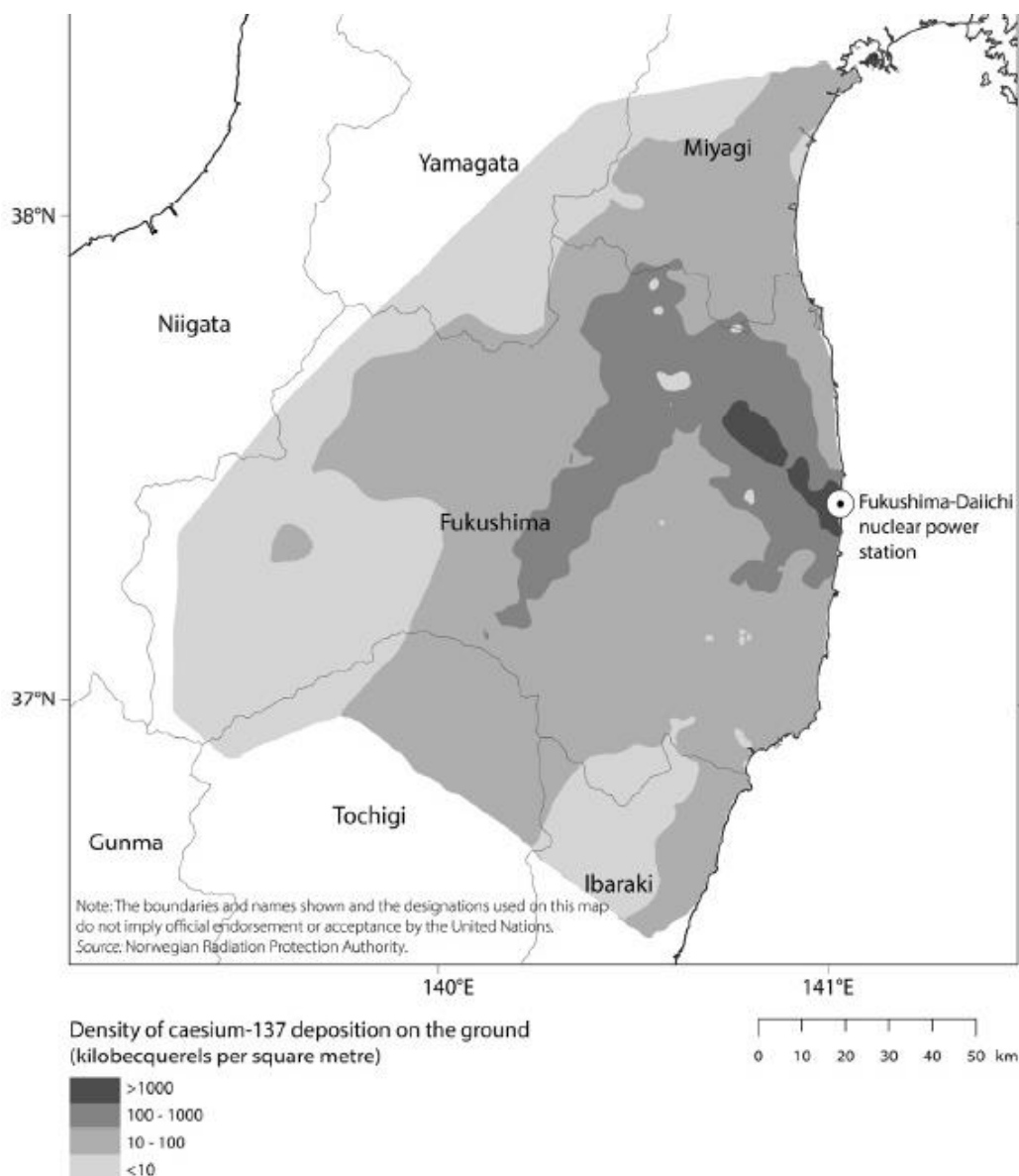
Obrázek 8 Pokles počtu vzorků, u nichž byl překročen limit pro potraviny [11].

Pečlivě byl sledován i spad a kontaminace terénu v blízkém i vzdálenějším okolí elektrárny. Obrázek 9 ukazuje, jak se vyvíjel spad I-131 na území Japonska. Kontaminace terénu I-131 (s výjimkou evakuované oblasti) byla v řádu stovek kBq, kontaminace Cs-137 byla přibližně 100x nižší. Kontaminace I-131 se však relativně rychle snižovala, protože poločas přeměny I-131 je 8 dnů.



Obrázek 9 Kumulativní vývoj spadu I-131 [12].

Monitorování půd, porostů a povrchové vody bylo v první fázi prováděno na 35 místech prefektury Fukušima a podle očekávání byly nejvyšší koncentrace radionuklidů nalezeny severozápadně a později i jihozápadně od jaderné elektrárny. Od 10. 4. 2011 bylo doplněno několik dalších měření do okruhu 5 – 50 km od elektrárny. Měřené hodnoty je však již výrazně neměnili (úroveň nového spadu již byla minimální a zároveň značná část I-131 již byla přeměněna) Obrázek 10 ukazuje rozložení a koncentrace Cs-137 v prefektuře Fukušima k 14. 6. 2011.

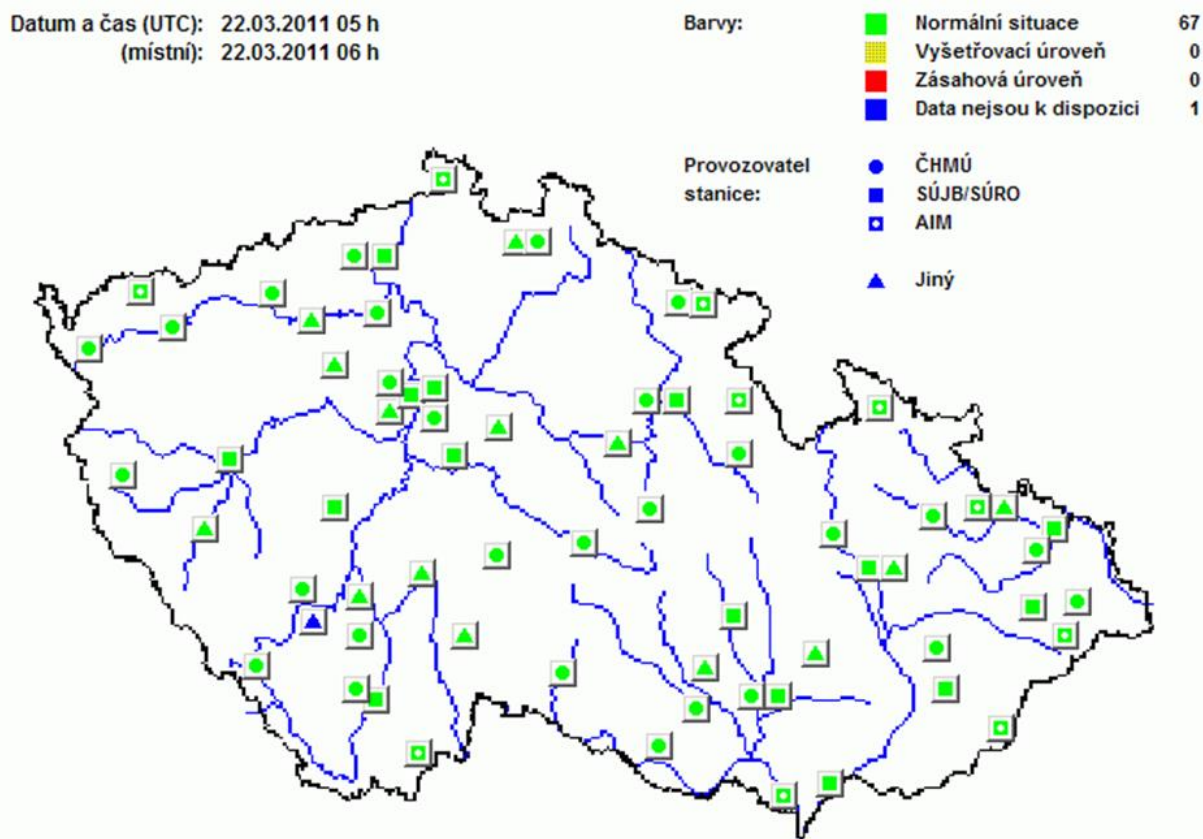


Obrázek 10 Rozložení kontaminace Cs-137 po havárii jaderné elektrárny Fukušima I k 14. 6. 2011 [8].

Aktuální stav radiační situace v okolí havarované elektrárny Fukušima I můžete nalézt na [webu společnosti TEPCO](#).

## 5. Opatření na území ČR

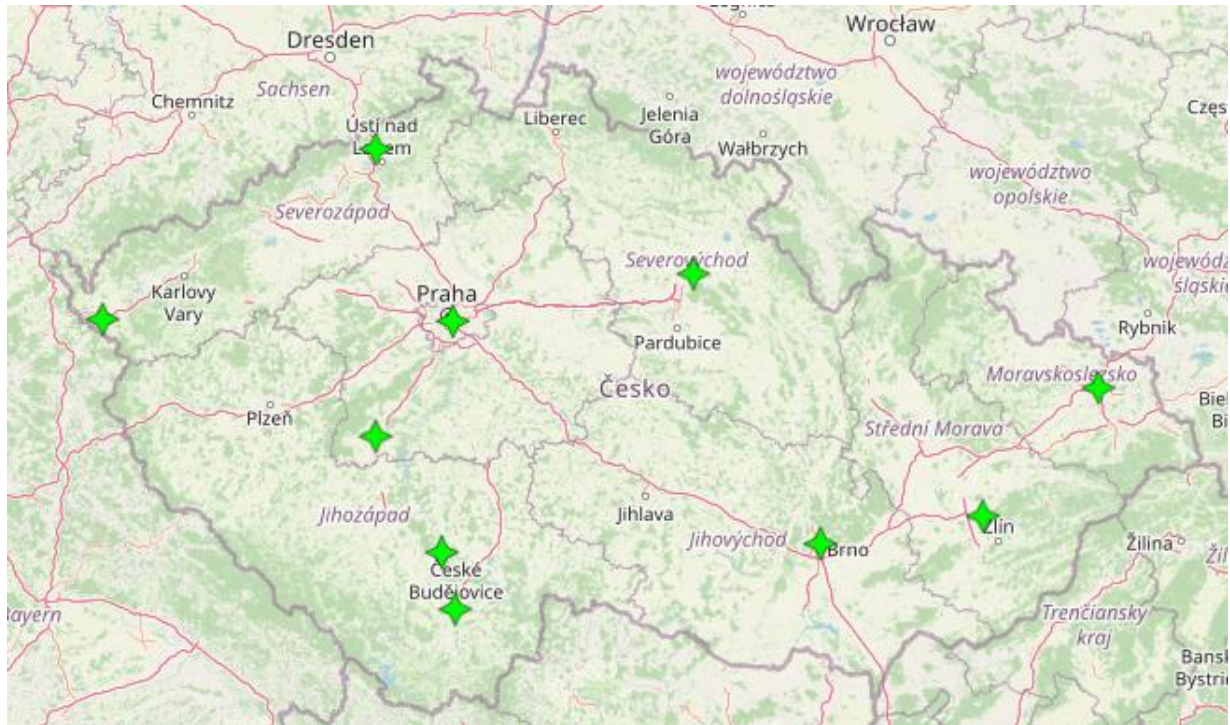
Česká republika patří k zemím, které využívají energii z jaderných elektráren už po velkou řadu let a i díky tomu měla ČR už v době havárie JE Fukušima vybudovanou kvalitní monitorovací síť, vytvořené a odzkoušené krizové postupy (již před rokem 2011 byly prováděny velká cvičení pro případ havárie na některé naší jaderné elektrárně) včetně postupů pro informování veřejnosti.



Obrázek 11 Rozložení sítě včasného zjištění na území ČR v roce 2011.

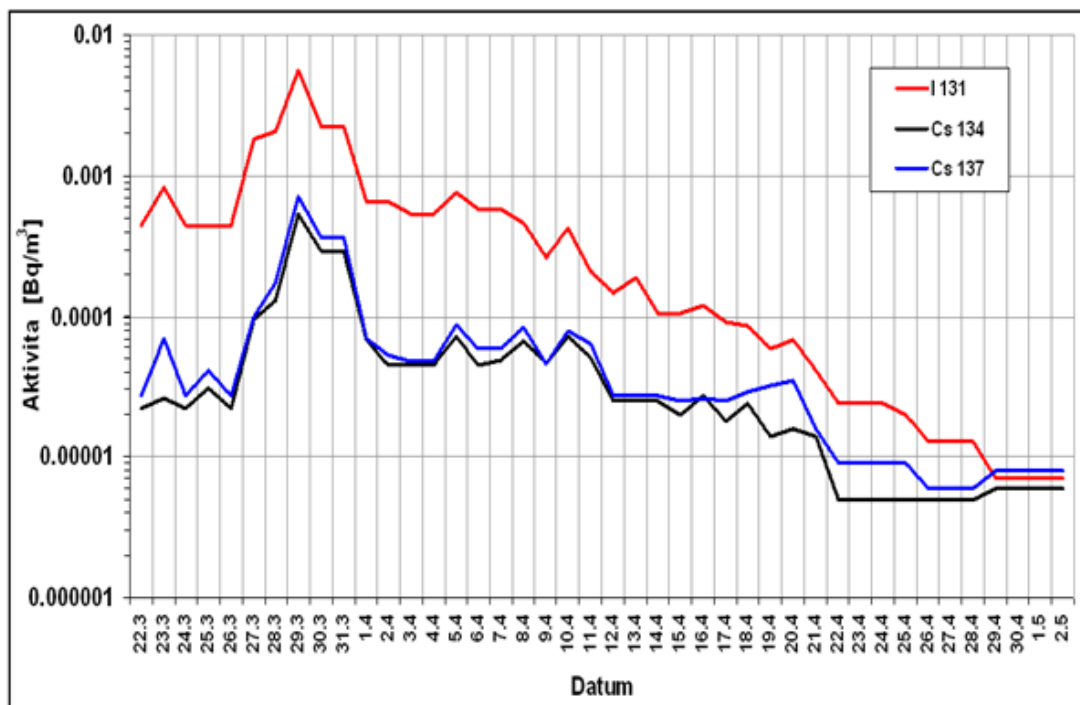
### 5.1 Sledování ovzduší

V době havárie na našem území již byl vybudován a provozován systém pro kontinuální měření kontaminace ovzduší. Systém v té době čítal 10 měřících míst rovnoměrně rozložených na území celé ČR. Aktuálně systém disponuje 12 měřícími místy (přibyly Dukovany a Plzeň). O komplexnosti a rozsáhlosti našeho aktuálního monitorovacího systému [MonRaS](#) se můžete přesvědčit na našem webu v sekci [Monitorování radiační situace](#).



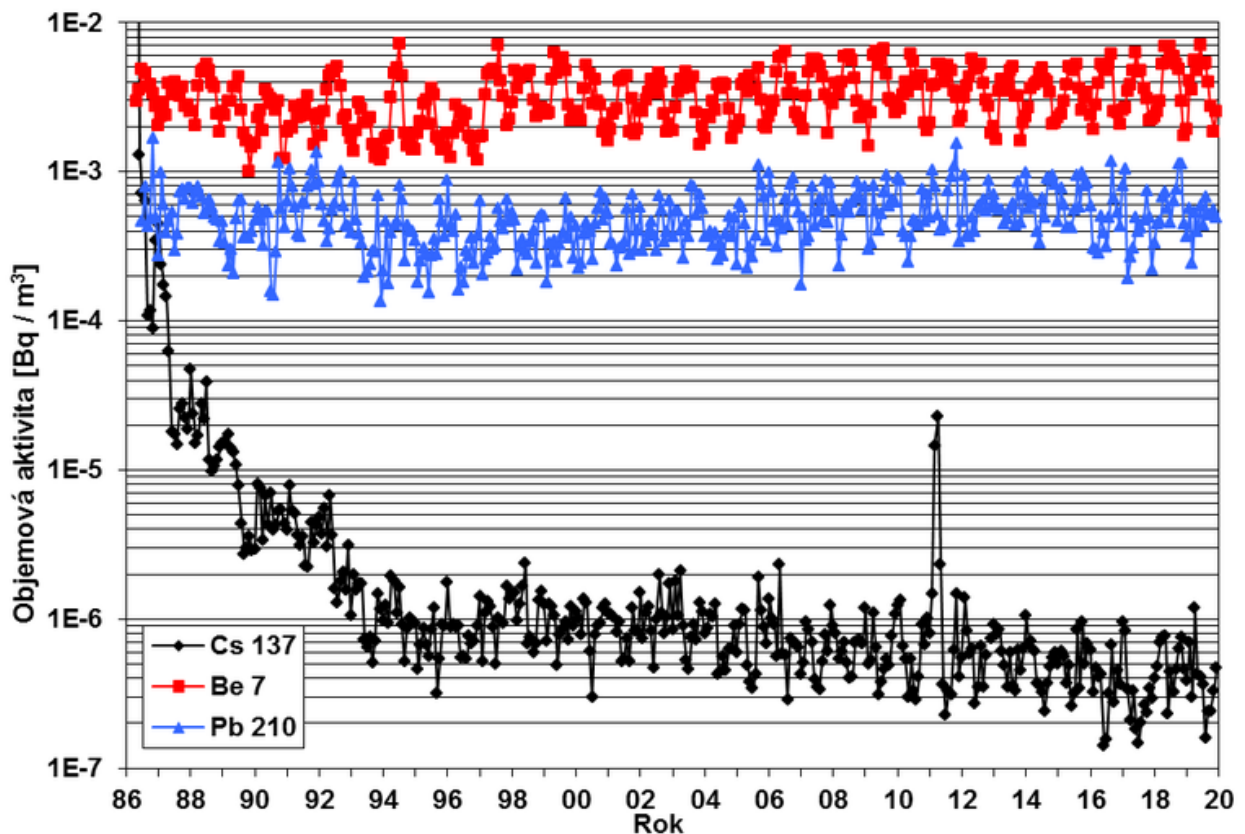
Obrázek 12 Síť pro měření objemové aktivity aerosolů na území ČR z roku 2011.

Obrázek 13 ukazuje průběh objemové aktivity aerosolů na území české republiky za období od 22. 3. 2011 až do 2. 5. 2011 pro sledované radionuklidy I-131, Cs-134 a Cs-137. Naměřené aktivity byly velmi malé a nepředstavovaly pro obyvatele žádné zdravotní riziko. Při havárii JE Černobyl v roce 1986 byla kontaminace vzduchu přibližně 1000x vyšší.



Obrázek 13 Měření aerosolů na území ČR v období od 22. 3. 2011 do 2. 5. 2011) [10].

Ve dnech 26. – 31. 3. 2011 byla na našem území zaznamenána nejvyšší hodnota objemové aktivity radioaktivního jódu  $0,001 \text{ Bq/m}^3$  (tj.  $1 \text{ mBq/m}^3$ ). Pokud by člověk dýchal vzduch o této aktivitě celý rok, obdržel by dávku cca  $0,00006 \text{ mSv}$ . Pro srovnání, člověk obdrží dávku z [přírodního ozáření](#) z podloží země a z kosmu  $2,4 \text{ mSv/rok}$  (celosvětový průměr). Obrázek 14 ukazuje časovou řadu měření objemových aktivit na našem území před a po fukušimské havárii – v roce 2011 je patrný vliv havárie ve Fukušimě na naše území. Pro srovnání, graf začíná v roce 1986, kdy došlo k černobylské havárii.



Obrázek 14 Měření aerosolů na území ČR od roku 1986 do konce roku 2020 [10].

## 5.2 Kontrola dovážených potravin a ostatních zásilek z Japonska

SÚJB ve spolupráci se Státní zemědělskou a potravinářskou inspekcí a Generálním ředitelstvím cel nastavil režim pro odběr a stanovení obsahu radioaktivních látek vzorků, které byly dováženy z Japonska (Uplatněno nařízení Komise EU č. 351/2011 z 11. 4. 2011). Do 30. 4. 2011 nebyl zachycen ani jeden vzorek potravin s měřitelným obsahem radioaktivních látek.

Pro zásilky pocházející z Japonska byla uplatňována kritéria dané v té době platnou českou legislativou a doporučením EU ze 14. 4. 2011. U zásilek, které by překročili dávkový příkon  $> 0,2 \text{ mSv/h}$  bylo nutné provést další šetření za účelem rozhodnutí o možnosti uvolnění zásilky. Do 30. 4. 2011 nebyla opět zachycena ni jedna zásilka, který by vykazovala zvýšený dávkový příkon.

## 5.3 Informování veřejnosti

Každá velká havárie a neštěstí vyvolává u veřejnosti vlnu emocí a někdy i nejistoty a nervozity pramenící zpravidla z nedostatku informací o události samotné či jejich následcích pro nás. Z toho důvodu SÚJB pravidelně informoval na svém webu [o stavu a vývoji na JE Fukušima](#) a radiační situaci v jejím okolí.



S ohledem na enormní zájem veřejnosti byl k otázkám zřízen též [samostatný webový portál](#), kde byly zveřejňovány otázky občanů a k nim odpovědi z řad expertů působících nejen na SÚJB, ale i ve výzkumných centrech, laboratořích a univerzitách. Velký zájem o informace byl rovněž ze stran médií, a proto komunikace probíhala i na úrovni mas-médií.

Od začátku havárie až do konce dubna 2011 SÚJB udržoval denní kontakt s Velvyslanectvím ČR v Tokiu. Na základě dostupných dat o radiační situaci v Japonsku SÚJB vydával doporučení k režimovým opatřením pro zaměstnance velvyslanectví a pro naše občany, kteří se tou dobou nacházeli v Japonsku,. Pro zajímavost, Česká republika patřila k několika málo zemím, jejichž velvyslanectví nebyla po havárii evakuována z Tokia, což bylo z japonské strany hodnoceno jako obrovská podpora v dané situaci.

### Informace k japonské havárii

SÚJB přináší veřejnosti informace k vývoji v Japonsku a České republice v souvislosti s havárií v jaderné elektrárně Fukushima. Kompletní přehled naleznete v rubrice [Aktuálně](#)

[Informace o elektrárně Fukushima 1](#) - můžete zde vložit i vlastní dotaz

 私達の心は日本の方々と共にあります。頑張れ日本! 

Naše srdce jsou s Japonci. Držte se!

## 6 Opatření zaměřená na jaderné elektrárny

Na všech evropských elektrárnách byly provedeny zátěžové testy zaměřené na nové zhodnocení odolnosti evropských elektráren vůči extrémním externím vlivům včetně analýzy jejich důsledků, které by mohly vést až k úplné ztrátě bezpečnostních funkcí (v našich podmínkách se jednalo především o zemětřesení a záplavy). Na webu SÚJB jsou zveřejněny informace a výsledky zátěžových testů v rubrice [Stress testy jaderných elektráren](#).

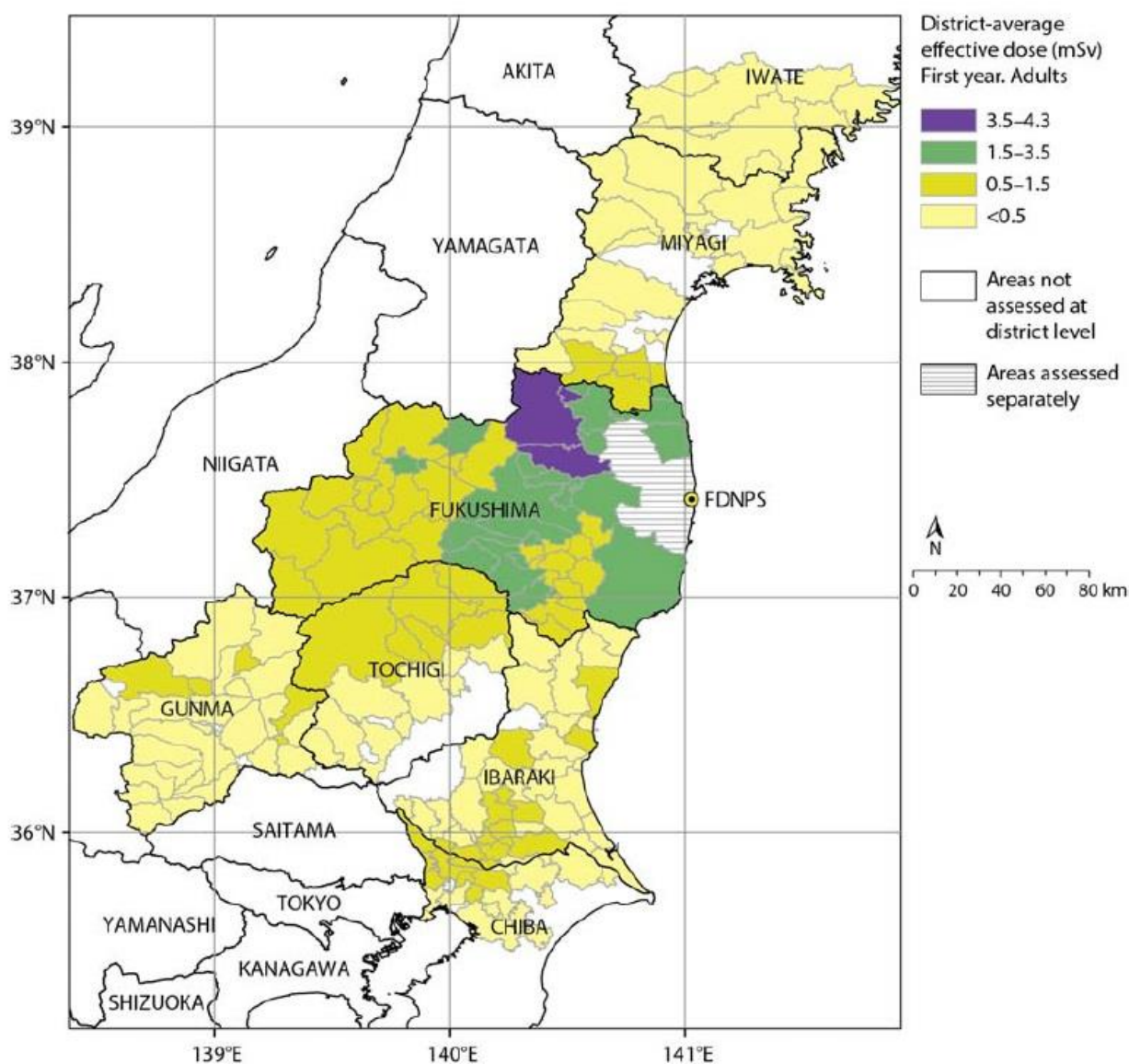
O dobré úrovni provozu našich elektráren svědčí to, že Stress testy nebyl nalezen stav, který je nutné bez prodlení řešit. Obě elektrárny jsou schopny bezpečně zvládnout i vysoce nepravděpodobné extrémní havarijní stavy, aniž by došlo k ohrožení okolí.



## 7 Zdravotní dopady havárie ve Fukušimě

Zdravotní následky obyvatelstva je třeba rozdělit podle jejich následků na deterministické účinky (nežádoucí tkáňové reakce) a na stochastické. Na základě odhadů dávek a expozice obyvatel ionizujícímu záření, které jsou nízko pod dávkovým prahem (pro výskyt deterministických účinků) nebyly deterministické účinky očekávány a rovněž žádné jejich projevy nebyly pozorovány ani hlášeny.

Odhadované průměrné efektivní dávky se v závislosti na věku pohybují v rozmezí 0,1 – 5 mSv a absorbované dávky ve štítné žláze za první rok od havárie 0,5 – 20 mSv. Maximální hodnoty jsou přitom vždy odhadem pro velmi malé děti ve věku do 1 roku.



Obrázek 15 Odhadované průměrné efektivní dávky za první rok od havárie pro děti do 1 roku (žlutá – nejvyšší dávky, fialová – nejvyšší, bílá – nehodnoceno, šrafy – hodnoceno separátně [8]).

Průměrné dávky evakuovaným v prvním roce byly odhadovány jako součet dávek obdržených před a během evakuace a dávky obdržené po evakuaci. Za předpokladu dožití 80 let jsou odhady celoživotních dávek pro evakuované z prefektury Fukušima max. 20 mSv, ze sousedících prefektur 4,5 mSv a pro zbytek Japonska necelé 2 mSv. V případě návratu do evakuované oblasti by maximální dávka mohla dosáhnout 40 mSv.

V roce 2011 započala studie/výzkum Fukushima Health Management Survey s cílem „vyhodnotit radiační dávky občanů a zaznamenat jejich zdravotní stav. V období od října 2011 do dubna 2015 provedla FHMS první kolo screeningu štítné žlázy u 300 472 jedinců ve věku 18 let nebo mladších v době havárie, aby zjistili prevalenci rakoviny štítné žlázy. Bylo zjištěno 116 maligních nádorů štítné žlázy (to je více než v jiných prefekturách v Japonsku, příčinou však zřejmě je samotné provedení velmi citlivého screeningu, protože v jiných zemích, kde byl zaveden screening široké populace, se množství diagnostikovaných rakovin také zvýšilo nebo může být zvýšená míra způsobena nadměrnou diagnostikou). Druhé kolo ultrazvukového screeningu 270 540 jedinců v letech 2014 – 2015 diagnostikovalo 71 podezření na rakovinu štítné žlázy nebo její potvrzení. Třetí kolo screeningu zahrnovalo 217 904 jedinců a 30 případů bylo diagnostikováno jako malignita nebo podezření na malignitu. Nyní probíhá čtvrté kolo vyšetření štítné žlázy.

Co se týká jiných možných nežádoucích zdravotních důsledků, nebylo zaznamenáno žádné zvýšení výskytu jiných druhů rakovin. Pokud by se nějaké případy vyskytly, bude jich tak málo, že se nedají rozeznat od jejich přirozeného výskytu v populaci. Mnohem větší vliv na zdraví lidí než radiace měl stres a změna životního stylu. Je pozorován zvýšený výskyt obezity, cukrovky, vysokého tlaku, apod.

Zdravotní stav pracovníků, kteří prováděli a provádějí záchranné a likvidační práce je pravidelně a dlouhodobě sledováni. Většina pracovníků obdržela jen nízké dávky (méně než 10 mSv během 1. roku) a jen jejich malá část obdržela dávky 100 mSv nebo více, tudíž je nepravděpodobné, že by došlo ke zvýšení výskytu rakoviny.

## **8 Sociální a psychologické aspekty**

Zdravotní dopady na obyvatelstvo byly minimální díky včasné evakuaci a dalším opatřením. Větším problémem jsou ovšem sociální a psychologické následky. Evakuace, i přesto, že nemusí být dlouhodobá, má dopad především na staré lidi, kdy může docházet i ke zhoršení zdravotního stavu a v některých případech i k dřívějšímu úmrtí. V případě této havárie se ale údaje, které lze najít v různých zdrojích, vztahují ke všem evakuovaným, tedy evakuovaným i v důsledku samotné vlny tsunami. Z důvodu snížení nebo omezení těchto sociálních a psychologických následků byla snaha, co nejdříve umožnit návštěvy domovů, co nejdříve provést pátrání po pohřešovaných, zabránit krádežím v opuštěných objektech. Mezi evakuovanými byl pozorován nárůst psychických problémů jako úzkost, strach, deprese, problémy s alkoholem, atd.

## 9 Dekontaminace v okolí jaderné elektrárny

Po stabilizaci situace v jaderné elektrárně a odstranění rizika dalšího úniku do vzdálenějších oblastí se přistoupilo k nápravě stavu území v okolí elektrárny. Území bylo rozděleno do dvou kategorií – oblast, kde roční efektivní dávka může přesáhnout 20 mSv a oblast, kde se roční efektivní dávka pohybuje mezi 1 – 20 mSv. V první oblasti byla většina dekontaminačních prací dokončena v březnu 2017 (pokračuje se v dekontaminaci zemědělské půdy) a na 70 % této oblasti byla odvolána evakuace. Ve druhé oblasti byly práce dokončeny v roce 2018 [11].

Pro ukládání radioaktivního odpadu v těchto oblastech byla vybudována přechodná úložiště, kde bylo uloženo cca 2,68 milionů tun odpadu [11]. Od roku 2016 jsou tato úložiště postupně demontována. Část vzniklého odpadu byla zlikvidována ve spalovnách a méně kontaminovaný odpad byl recyklován a použit pro stavební práce.

## 10 Obnova území ve Fukušimě

Po nehodě bylo rozhodnuto, že 4 bloky jaderné elektrárny budou zlikvidovány a stejně tak se na konci roku 2013 rozhodlo, že budou zrušeny i 2 zbývající nepoškozené reaktory, především z důvodů, že opatření, která by umožnila jejich opětovné spuštění, by byla velmi nákladná a také získání svolení místních komunit z prefektury Fukušima by bylo zřejmě nereálné.

Jako první v etapě likvidace přišlo na řadu vyklízení bazénů s vyhořelým palivem u jednotlivých bloků. Tyto práce probíhají postupně pomocí mostových jeřábů a kontejnerů pro přepravu palivových souborů, to všechno probíhá pod vodní hladinou. Palivové soubory se pak přesunují do společného bazénu, kde se ukládají. Během těchto prací probíhá i průběžná dekontaminace kolem bazénů pro zlepšení pracovních podmínek zaměstnanců. U některých bloků se dekontaminace, ale například i průzkum a další činnosti, provádí pomocí dálkově ovládaných mechanismů a robotů, aby se radiace snížila na přijatelnou úroveň.

Velkým problémem je velké množství radioaktivní vody. Jednou z velmi důležitých událostí pro dekontaminaci vody byla instalace dekontaminačních zařízení, která snižují množství radioaktivních látek na minimum. Kromě tritia, v jehož případě se na jaderné elektrárně snaží snížit koncentraci na úroveň přírodního pozadí. Další takovou událostí byla dohoda mezi vládou, společností TEPCO (provozovatel jaderné elektrárny Fukušima Daiiči) a místními rybářskými svazy o nakládání s podzemní vodou, která přitéká do areálu jaderné elektrárny. Podzemní voda je čerpána ještě před tím, než se dostane do kontaminovaných částí areálu jaderné elektrárny, ukládá se do speciálních nádrží, její aktivita je kontrolována a pokud je její aktivita nízká, může se vypouštět do moře. Podzemní voda ze studní v okolí reaktorových budov se zatím ukládá a předpokládá se, že by se později mohla také vypouštět do moře.

Dalším způsobem k oddělení kontaminované podzemní vody a té nekontaminované a zabránění jejímu průniku do moře je vytvoření stěny ze zmrzlé zeminy. První testy k vytváření takových stěn proběhly na přelomu let 2013 a 2014. Po vyřešení problémů s radioaktivní vodou, s úklidem a s co nejúčinnější dekontaminací areálu bude možné likvidovat zničené reaktory. Likvidace zbytků roztaveného paliva bude probíhat velmi dlouho. Předpokládá se, že práce na jejich likvidaci bude trvat třeba až 30 či 40 let [7].

## 11 Aktuální informace ke konci roku 2020

Významnou roli z dlouhodobého hlediska představuje nakládání s kontaminovaným odpadem, který vznikl při havárii a dekontaminačních a sanačních pracích.

Z hlediska kapalných odpadů se podařilo dokončit úpravu vody kontaminované stronciem. V roce 2016 začala být využívána technologická bariéra v podobě stěny ze zmrzlé zeminy, která omezila přítok podzemní vody do budov a oddělení kontaminovaných a nekontaminovaných podzemních vod.

V současné době stále pokračuje odstraňování a úklid trosk paliva z bloku 1 a 2, odstraňování vyhořelého paliva z bazénu vyhořelého paliva z bloku 3 bylo dokončeno počátkem roku 2021. V areálu elektrárny se dá již na cca 96% území pohybovat v běžném pracovním oděvu bez speciálních ochranných pomůcek jako je tyvek.

Jak je zmiňováno výše, oblasti pro dekontaminaci byly rozděleny také na dvě oblasti - oblast více zasaženou, kde se o dekontaminaci stará stát a oblast, kde se o dekontaminaci starají místní samosprávné celky s finanční a technickou pomocí státu. Ve více zasažené oblasti byla dokončena dekontaminace u 7 samosprávných celků v březnu 2016 a u zbylých v roce 2017 [6]. Dále byl upraven plán pro skladování pevného odpadu a vybudováno a otevřeno přechodné úložiště odpadu. Návrat obyvatel do méně zasažených oblastí byl již umožněn. Ve více zasažených oblastech vzniklo několik rekonstrukčních center a s návratem obyvatel se počítá od roku 2022. Aktuálně také probíhají testy pěstování různých zemědělských plodin.

## 12 Oblasti výzkumu v ČR navazující na poznatky z fukušimské havárie

Havárie ve Fukušimě ukázala, že je potřeba zrevidovat a inovovat postupy pro obnovu území po havárii. Význam aktuálních informací o moderních způsobech zpracování odpadu a možnostech dekontaminace je zásadní zejména pro země, které jsou limitovány prostorem, jako je Japonsku (území je limitováno mořem) nebo mají relativně malou rozlohu jako ČR.

V tomto ohledu bylo financováno několik velkých projektů řešených v rámci programu bezpečnostního výzkumu České republiky a akcí zaměřených na získání potřebných informací a zkušeností a uspořádáno několik workshopů:

- 1) Projekt „Likvidace radiačně kontaminované biomasy po havárii JE - distribuce v krajině, logistika sklizně, využití bioplynovou technologií“ – při havárii dojde ke kontaminaci značných objemů biomasy a produktů zemědělské činnosti, které lze zpracovat (minimalizovat objem) v bioplynových stanicích, a tím i do jisté míry zachovat zemědělskou činnost na postiženém území  
<https://www.suro.cz/cz/vyzkum/vysledky/vyuziti-bioplynovy-technologie-pri-likvidaci-kontaminovane-zemedelske-biomasy>.
- 2) Spolupráce s prefekturou Fukušima - workshop pořádaný ve spolupráci MAAE, SUJB, SURO a [Fukushima Prefecture - The Centre for Environmental Creation](#). Cílem bylo vyměnit si vědecké zkušenosti v oblasti likvidace následků jaderných havárií, konkrétně při nápravě kontaminovaného území. Japonské experty zaujal zejména výzkum likvidace kontaminovaných zemědělských odpadů pomocí bioplynové stanice.

- 3) Seminář „[Otázky dopadu jaderné havárie do zemědělství a připravenost ČR](#)“, který byl zaměřen radiační ochranu, monitorování radiační situace a ukončené i probíhající projekty bezpečnostního výzkumu z oblasti likvidace následků radiační havárie
- 4) Seminář „[Snaha o vyhodnocení možného vlivu dezinformací šířených v případě radiační havárie na chování obyvatelstva](#)“.
- 5) Projekt „[Systém pro měření vnitřní kontaminace po havárii JEZ zaměřený na štítné žlázy u dětí a kontaminaci transurany](#)“ byl zaměřen na dobudování kapacity pro monitorování obyvatelstva a zasahující osob in vivo po havárii jaderně energetického zařízení. Systém pro měření radiojodu ve štítné žláze u velkého počtu osob a zařízení pro měření aktivity transuranů v plicích a kostře jsou jediná zařízení svého druhu v ČR. Jsou doplněna příslušnými certifikovanými metodikami k jejich použití.
- 6) Unikátní zařízení [MONTE-1](#) umožňuje pokročilé testování detekčního vybavení monitorujících a zasahujících skupin v případě jaderných havárií. Modulární a stavebnicová koncepce umožňuje vysokou variabilitu využití pro různé typy experimentů. Zařízení je doplněno příslušnou certifikovanou metodikou.
- 7) Projekt [RAMESIS](#) – jedná se o online aplikaci, která umožňuje shromažďovat, vyhodnocovat a prezentovat data získaná pomocí měření prováděných laickou veřejností s detektory SafeCAST.
- 8) Projekt „[Systémy pro on-line měření umělé radioaktivity v povrchových vodách za havárie jaderné elektrárny s dálkovým přenosem dat](#)“ byl zaměřen na vývoj plně automatické stanice pro monitorování umělé radioaktivity ve vodách.
- 9) Výsledkem projektu „[Nová generace portálových monitorů pro zajištění bezpečnosti obyvatelstva \(PoMoZ\)](#)“ bylo použití nejnovějších detekčních technologií pro vývoj mobilních i stacionárních systémů radiačního monitorování, které slouží pro rychlý sken velkého počtu procházejících osob a mobilní portálový monitor ve vozidlech s variabilním použitím.
- 10) Projekt [Mobilní a stacionární radiační monitorovací systémy nové generace pro radiační monitorovací síť \(MOSTAR\)](#) se zaměřil na vývoj a testování mobilních i stacionárních systémů k radiačnímu monitorování s přenosy dat do vyhodnocovacích center, s poskytováním výsledků regionální a místní samosprávě ke zvýšení rychlosti, spolehlivosti a dostupnosti dat na nižší rozhodovací úrovni.

### 13 Citace

- [1] M 9.1 - 2011 Great Tohoku Earthquake, Japan [online]. U.S. Geological Survey, [cit. 2021-03-04]. Dostupné z: [https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/official20110311054624120\\_30/executive](https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/official20110311054624120_30/executive)
- [2] Japan Earthquake & Tsunami of 2011: Facts and Information [online]. New Your: LifeScience, 2013 [cit. 2021-03-04]. Dostupné z: <https://www.livescience.com/39110-japan-2011-earthquake-tsunami-facts.html>
- [3] Fukushima Daiichi Accident [online]. London: World Nuclear Association, 2021 [cit. 2021-03-04]. Dostupné z: <https://www.world-nuclear.org/information-library/safety-and-security/safety-of-plants/fukushima-daiichi-accident.aspx>
- [4] PRIS Power Reactor Infotmation System [online]. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2021 [cit. 2021-03-05]. Dostupné z: <https://pris.iaea.org/PRIS/home.aspx>
- [5] The Fukushima Daiichi Accident, Report by the Director General, Vienna: International Atomic Energy Agency, 2015, ISBN 978-92-0-107015-9
- [6] Fukushima Daiichi Status Updates, IAEA. International Atomic Energy Agency, Atoms for Peace and Development [online]. Copyright © 1998 [cit. 2021-03-05]. Dostupné z: <https://www.iaea.org/newscenter/focus/fukushima/status-update>
- [7] WAGNER, Vladimír. Fukušima I poté. Praha: Novela bohémica, 2015.
- [8] UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION. Sources, Effects and Risks of ionizing Radiation: UNSCEAR 2013 Report. Volume I. New York: United Nations, 2014. ISBN 978-92-1-14229.
- [9] Pictures of Tsunami that hit the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station(2); 2021, [cit. 2021-03-09]. [online], Dostupné z: <https://photo.tepco.co.jp/en/date/2011/201105-e/110519-02e.html>
- [10] Průměrné měsíční hodnoty objemové aktivity <sup>137</sup>Cs, <sup>7</sup>Be a <sup>210</sup>Pb ve vzdušném aerosolu naměřené v lokalitě SÚRO Praha, 2021, [cit. 2021-03-09]. [online], Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/rms/ovzdusi/mesicni-hodnoty>
- [11] UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION. Sources, Effects and Risks of ionizing Radiation: UNSCEAR 2020 Report. SCIENTIFIC ANNEX B, United Nations, 2021.
- [12] Státní úřad pro jadernou bezpečnost, Přehled dosavadního vývoje jaderné havárie v Japonsku, 2021 [cit. 2021-03-04]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/aktualne/detail/prehled-dosavadniho-vyvoje-jaderne-havarie-v-japonsku/>