

## Fukushima Daiichi: příčiny-průběh-následky

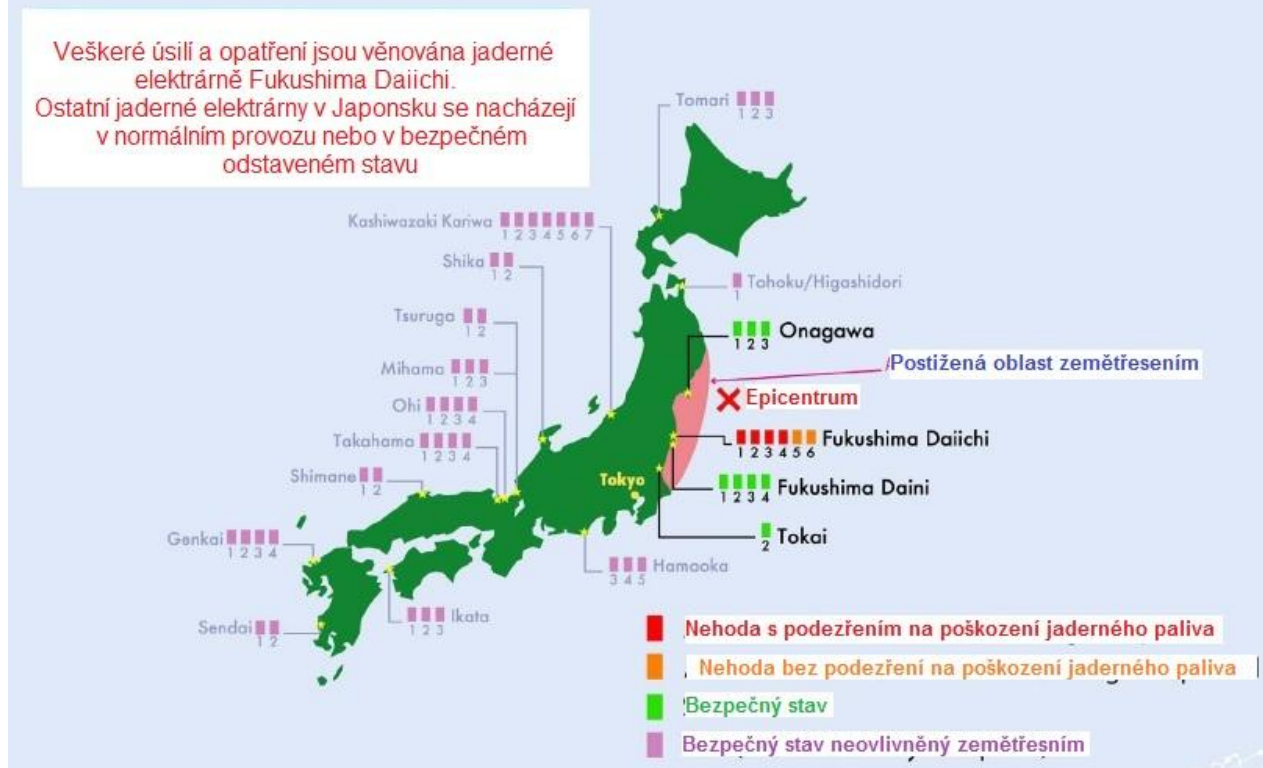


V principu vypadá každý průšvih tím větší, čím méně informací o jeho podstatě máme. Současně platí, že každý průšvih je při odpovídajícím rozsahu dostupných informací zdrojem poznatků, jejichž využitím lze předejít podobným průšvihům v budoucnu. Tak jako byly nehody na Three Mile Island (USA) v roce 1979 nebo na Černobyli (Ukrajina) v roce 1986 impulsem pro důkladné prověrky bezpečnostních opatření na všech jaderných elektrárnách na světě, budou takovým impulsem jistě i události, které jsou nyní aktuální zejména na blocích jaderné elektrárny Fukushima Daiichi. Dostatek nezkreslených informací je ovšem velmi důležitý i z pohledu široké veřejnosti, která všeobecně spíše přijme nepříjemnější skutečnost sdělenou otevřeně než méně nepříjemnou skutečnost, která na veřejnost pronikne z hlubokého utajení. Těm, kdo chtějí získat alespoň zevrubný přehled o tom, k čemu na této jaderné elektrárně došlo (a ještě zdaleka neskončilo), by mohl posloužit následující stručný přehled.

### **Japonské JE versus zemětřesení**

Stav japonských JE po mimořádně silném zemětřesení a ničivé vlně tsunami ukazuje názorně obrázek 1. Z obrázku je vidět, které jaderné elektrárny se nacházejí v blízkosti epicentra zemětřesení: 3 bloky Onagawa, 6 bloků Fukushima Daiichi, 4 bloky Fukushima Daini a 1 blok Tokai Daini. Je také vidět, že k největšímu poškození došlo u prvního až čtvrtého bloku JE Fukushima Daiichi. V okamžiku zemětřesení bylo v uvedených JE v provozu 11 bloků, bloky 4, 5, 6 Fukushima Daiichi byly již dříve odstaveny v souladu s plánem odstávek (výměn paliva a údržby). U bloku 4 byla aktivní zóna zcela bez paliva, které se v tom okamžiku nacházelo v bazénu vyhořelého paliva. Dostatečně podrobné informace poskytuje web Japan Atomic Industrial Forum, Inc ([JAIF](#)).

**Obrázek 1: Statut jaderných elektráren po zemětřesení**



## Chronologie událostí

Všech 11 bloků, nacházejících se v postižené oblasti, které byly v okamžiku zemětřesení v provozu, bylo automaticky odstaveno. Současně na JE Fukushima Daiichi automaticky nastartovalo 14 záložních dieselgenerátorů, jakmile došlo k výpadku elektrické sítě. V krátké době po zemětřesení však lokalitu zasáhla mohutná vlna tsunami, která značně přesáhla výšku 5 m, s níž se v projektech počítalo. Tsunami vyřadila záložní dieselgenerátory, vyplaveny byly také olejové (palivové) nádrže. Pára v reaktoru byla dál chlazena přes havarijní kondenzátor za pomoci stejnosměrného zdroje z baterií nouzového napájení, do reaktorů bloků 2 a 3 byla vstříkována voda prostřednictvím systémů samostatného (odděleného) dochlazování aktivní zóny. Během této doby byly na vnitřní sběrnice elektrického napájení připojeny mobilní zdroje, ty však nepracovaly dobře. I když nouzové baterie nadále dodávaly proud, postupně slábly. Pro ilustraci: 5 hodin po odstavení reaktoru je potřebné odvádět z aktivní zóny reaktoru 1. bloku tepelný výkon cca 14 MW, u každého z bloků 2 a 3 cca 24 MW.

Toto je stručný nástin počátku vývoje problému, jehož podrobnější průběh popisuje výběr následujících důležitých časových okamžiků ([sekvence](#) a [popis](#)).

## 11. března

- 14:46:** Nastává zemětřesení, v souladu s projektem jsou odstaveny všechny postižené bloky Fukushima Daiichi.
- 15:42:** Ztráta zdrojů střídavého elektrického napájení u bloků 1 až 3, o 3 minuty později jsou vlnou tsunami vyplaveny olejové nádrže.
- 16:36:** Selhává dodávka vody u havarijního chlazení aktivní zóny bloků 1 a 2 a není známo, kolik vody do aktivní zóny bylo dopraveno.
- 19:03:** Vláda vyhláší pro Fukushima Daiichi stav nouze.
- 20:50:** Prefektura ve Fukushimě vydává evakuační směrnici pro rezidenty žijící v okruhu 2 km kolem Fukushima Daiichi, ve **21:23** nařizuje premiér evakuaci z 3 km pásma a navíc doporučuje rezidentům v 10 km pásmu zůstat doma. Toto rozhodnutí vyplývá z analýzy, podle které by kolem 21:40 mohlo dojít k poklesu hladiny v reaktoru k hornímu konci palivových proutků a v důsledku zhoršeného chlazení by mohlo kolem 22:20 dojít k poškození aktivní zóny.
- 21:00:** Provozovatel TEPCO očekává ztrátu napájení z nouzových baterií, a proto startuje požární čerpadla poháněná diesly, aby čerpadla byla připravená dodávat vodu do reaktoru, jakmile tlak v reaktoru poklesne.

## 12. března

- 1:17:** Všechny bloky elektrárny Onagawa jsou ve studeném (teplota pod 100 °C) odstaveném stavu.
- 4:00:** Tlak v primárním kontejnmentu bloku 1 Fukushima Daiichi vzrůstá nad 840 kPa, tedy značně nad projektovou hodnotu.
- 5:22:** Dochází ke ztrátě funkce regulace tlaku na bloku 1 i 2 Fukushima Daiichi.
- 5:44:** Premiér nařizuje evakuaci obyvatelstva v 10 km pásmu kolem Fukushima Daiichi.
- 7:45:** Je vyhlášen nouzový stav pro elektrárnu Fukushima Daiichi a současně nařizuje premiér evakuaci pro 3km pásmo kolem této elektrárny.
- 9:07:** Je otevřen přepouštěcí ventil tlakové nádoby reaktoru 1. bloku Fukushima Daiichi, aby se předešlo poškození tlakové nádoby.
- 12:30:** Tlak v primárním kontejnmentu Fukushima Daiichi roste i přesto, že palivové proutky v aktivní zóně bloku 1 (a stejně tak i palivové proutky bloků 2 a 3) jsou dostatečně ponořené ve vodě. Proto je rozhodnuto otevřít přepouštěcí ventil primárního kontejnmentu, aby nedošlo k jeho poškození. Přepouštěné plyny obsahují i určité množství radioaktivity.

- 14.49:** Šíří se informace, že v okolí 1. bloku Fukushima Daiichi byla detekována přítomnost radioaktivního Cs.
- 15:36:** Na 1. bloku Fukushima Daiichi dochází k explozi vodíku pocházejícího z reakce vodní páry se zirkoniovým povlakem palivových proutků (stejná příčina u dalších bloků).
- 17:39:** Premiér nařizuje evakuaci v 10km pásmu kolem elektrárny Fukushima Daini.
- 18:25:** Premiér nařizuje evakuaci ve 20 km pásmu kolem elektrárny Fukushima Daiichi.
- 20:20:** V důsledku nedostatku chladiva jsou palivové proutky obnažené, proto je rozhodnuto o (přerušovaném) vstřikování mořské vody s kyselinou boritou (spolehlivě zaručující podkritičnost) do reaktoru 1. bloku Fukushima Daiichi (podobně později i do reaktorů bloků 2 a 3) pomocí požárních čerpadel.

### **13. března**

- 5:58:** Selhává dodávka vody u havarijního chlazení aktivní zóny 3. blok Fukushima Daiichi.
- 9.20:** Je otevřen prepouštěcí ventil tlakové nádoby reaktoru 3. bloku Fukushima Daiichi.
- 13.12:** Do reaktoru 3. bloku je vstřikována mořská voda spolu s kyselinou boritou.

### **14. března**

- 4.08:** Teplota vody v bazénu vyhořelého paliva 4. bloku Fukushima Daiichi překračuje 84 °C.
- 6:10:** Tlak v primárním kontejnment vzrůstá nad 460 kPa, což opět překračuje projektovou hodnotu.
- 11:01:** Dochází k explozi vodíku v bloku 3 ve Fukushima Daiichi.
- 13:25:** Je zjištěno, že hladina vody v reaktoru 2. bloku Fukushima Daiichi je nízká, z čehož plyne, že došlo ke ztrátě chladicí funkce reaktoru.
- 16:34:** Do reaktoru 2. bloku Fukushima Daiichi je vstřikována mořská voda.

### **15. března**

- 0:40:** Elektrárna Tokai Daini dosáhla stavu studeného (bezpečného) odstavení.
- 6:20:** Z prostor 2. bloku Fukushima Daiichi se ozývá exploze, která byla přisouzena abnormálnímu stavu v „mokrém“ části primárního kontejnmentu.
- 6:20:** Část stěny v provozním prostoru 4. bloku Fukushima Daiichi je poničena.

**7:15:** Všechny bloky Fukushima Daiichi dosahují stavu studeného (bezpečného) odstavení.

**9:38:** V budově reaktoru 4. bloku Fukushima Daiichi dochází k požáru.

**10.22:** V okolí 3. bloku Fukushima Daiichi je naměřena vysoká úroveň radiace – 400 mSv/h.

**11:00:** Premiér nařizuje rozšíření pásma pro nevycházení z domovů v okolí Fukushima Daiichi z 20 na 30 km.

**12:29:** Požár v reaktorové budově 4. bloku Fukushima Daiichi je uhašen.

### **16. března**

**8:37:** K výronu enormního množství bílého kouře dochází na 3. bloku Fukushima Daiichi.

**16:00:** Helikoptéry obranných sil se pokoušejí shazovat vodu na 3. blok Fukushima Daiichi, avšak v důsledku vysoké radiace neúspěšně.




### **17. března**

**9:48:** Helikoptéry obranných sil začínají shazovat vodu na 3. blok Fukushima Daiichi.

U 4. bloku Fukushima Daiichi byl reaktor od nehody uchráněn, protože neobsahuje žádné palivo, o to nepříznivější je však situace v bazénu vyhořelého paliva, kde se kromě již dříve vyvezeného paliva nachází veškeré palivo z aktivní zóny 4. bloku. Toto palivo je také nejvýkonnější tepelný zdroj, jaký se v bazénu může vyskytovat. U bloků 5 a 6, které se v okamžiku zemětřesení nacházely také v odstaveném stavu, k žádným problémům nedošlo, navíc u obou těchto bloků jsou k dispozici elektrické zdroje střídavého napájení. Jako preventivní opatření proti případnému nahromadění vodíku a jeho explozi byly ve střeše reaktorových budov (sekundárních kontejnmentů) těchto bloků vyvrtány odvětrávací otvory.



Celkový přehled o stavu nejvíce poškozených/ohrožených bloků Fukushima Daiichi je vidět z následující tabulky (podrobně a aktuálně viz [JAIF](#)) :

Blok/rok uvedení do provozu	1/1970	2/1973	3/1974
Elektrický/tepelný výkon (MW)	460/1380	784/2381	784/2381
Provozní stav v okamžiku zemětřesení	V provozu  rychlé odstavení	V provozu  rychlé odstavení	V provozu  rychlé odstavení
Integrita aktivní zóny a paliva	<b>Poškozeno</b>	<b>Poškozeno</b>	<b>Poškozeno</b>
Integrita tlakové nádoby reaktoru	Není známa	Není známa	Není známa
Integrita primárního kontejnmentu	Nepoškozený	Podezření na poškození	Může být nepoškozený
Chlazení aktivní zóny vyžadující střídavé elektrické napájení	Není funkční	Není funkční	Není funkční
Chlazení aktivní zóny nevyžadující střídavé elektrické napájení	Není funkční	Není funkční	Není funkční
Integrita budovy (sekundárního kontejnmentu)	Těžce poškozená (exploze vodíku)	Lehce poškozená	Těžce poškozená (exploze vodíku)
Hladina vody v tlakové nádobě reaktoru	Palivo částečně nebo úplně obnažené	Palivo částečně nebo úplně obnažené	Palivo částečně nebo úplně obnažené
Tlak v tlakové nádobě	Stabilní	Neznámý	Stabilní
Tlak v primárním kontejnmentu	Neznámý	Nízký	Stabilní na vyšší hladině
Vstřikování vody do aktivní zóny (havarijní činnosti)	Pokračuje (mořská voda)	Pokračuje (mořská voda)	Pokračuje (mořská voda)
Vstřikování vody do primárního kontejnmentu	Pokračuje (mořská voda)	Bude rozhodnuto (mořská voda)	Pokračuje (mořská voda)
Odvětrání (ventilace) kontejnmentu	Dočasně zastaveno	Dočasně zastaveno	Dočasně zastaveno
Integrita paliva v bazénu VP	Zvažuje se vstřikování vody	Není informace	Nízká hladina vody, pokračuje vstřik. vody, potvrzen určitý účinek
INES (Odhad NISA - Nuclear and Industrial Safety Agency)	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>

Z uvedeného, byť značně omezeného výčtu událostí a činností je evidentní, že **Japonci v nastalé extrémně nepříznivé situaci dokázali perfektně udržet i ty nejpostiženější bloky pod takovou kontrolou, aby nedošlo k výraznějšímu ohrožení obyvatelstva.** Nařízené evakuace nebo pokyny pro ukrytí v domovech byly prováděny podle havarijních plánů bez ohledu na to, jestli realita taková opatření opravdu vyžaduje, nebo ne. V takových případech se musí striktně dodržovat předem stanovená pravidla a žádná „geniální“ řešení jednotlivců nejsou přijatelná. **Teprve po vyhodnocení konkrétní proběhlé události je na místě případně tato pravidla (předpisy pro řešení mimořádných stavů) zdokonalit na základě získaných nových poznatků.**

## Následky nehody

Pro hodnocení následků nehod na jaderných elektrárnách byla zavedena Mezinárodní stupnice hodnocení závažnosti jaderných událostí INES (The International Nuclear Event Scale). Podrobně s touto stupnicí, včetně případů konkrétních nehod, se lze seznámit na webu [SÚJB](#), odkud byla převzata terminologie i specifikace pro jednotlivé stupně INES do následující tabulky:

Stupeň INES	Oblast dopadu		
	Dopad vně zařízení	Dopad uvnitř zařízení	Dopad na ochrany do hloubky
<b>7: Velmi těžká havárie</b>	Rozsáhlý únik, široce rozšířené dopady na zdraví a životní prostředí		
<b>6: Těžká havárie</b>	Závažný únik, pravděpodobné nasazení veškerých plánovaných protipatření		
<b>5: Havárie s rizikem vně zařízení</b>	Omezený únik, pravděpodobné částečné nasazení plánovaných protipatření	Vážné poškození aktivní zóny reaktoru/ radiačních bariér	
<b>4: Havárie bez vážnějšího rizika vně zařízení</b>	Menší únik, ozáření obyvatelstva řádově v povolených mezích	Významné poškození aktivní zóny reaktoru /radiačních bariér /smrtné ozáření zaměstnanců	
<b>3: 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: Nehoda</b>		Významné rozšíření kontaminace /nadměrné ozáření zaměstnance	Nehoda s významným poškozením bezpečnostních opatření
<b>1: Anomálie</b>			Anomálie od schváleného provozního režimu
<b>0: Odchylna</b>	Žádný bezpečnostní význam		

Původně byl pro Fukushima Daiichi jako nejvyšší určen stupeň INES 4, v současné době je hodnocení následující:

**Fukushima Daiichi:** U bloků 5 a 6 žádný bezpečnostní problém, u 4. bloku stupeň 3, u bloků 1-3 stupeň 5.

**Fukushima Daini:** U bloku 3 žádný bezpečnostní problém, u bloků 1, 2, 4 stupeň 3.

Novináři s velkou oblibou píší (nejenom při nehodách) s „nadsázkou“. Porovnávat ovšem v tomto případě nehodu na Fukushima Daiichi s Černobylem, nebo dokonce s bombardováním Hirošimy a Nagasaki je hodně přitažené za vlasy. Komentovat bombardování nemá vůbec smysl, k analogii s Černobylem je vhodné uvést alespoň tolik, že bez ohledu na množství uniklého radioaktivního materiálu záleží jeho dolet na výšce, do jaké se dostane. Zatímco u Černobyly tyto produkty proudily přímo z otevřeného reaktoru a při vysoké tepelné energii dosahovaly značných výšek (šířily se patrně až do oblastí, kde vanou pravidelné výškové větry), při odpouštění z kontejnmentu nebo únicích z bazénů vyhořelého paliva z Fukushima Daiichi se jednalo o masy s výrazně nižší energií, a tím i nižší schopností dosažení větších výšek s omezenější vzdáleností doletů.

Ivan Tinka