

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

Vladimír Wagner

Co nám řekla jaderná havárie ve Fukušimě I?

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 60 (2015), No. 4, 294–299

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/144486>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 2015

Institute of Mathematics of the Czech Academy of Sciences provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This document has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://dml.cz>

Co nám řekla jaderná havárie ve Fukušimě I?

Vladimír Wagner, Řež

V současnosti uplynulo už téměř pět let od druhé největší světové havárie jaderné elektrárny ve Fukušimě I. Zároveň došlo k několika zásadním krokům k překonání následků této události. V roce 2014 se podařilo vyklidit všechny palivové soubory z bazénu vyhořelého paliva čtvrtého bloku a vyjasnil se postup i přibližný rozvrh vyklizení ostatních. V první polovině roku 2015 se podařilo téměř úplně dekontaminovat nashromážděnou radioaktivní vodu a pokročily i práce na hledání metod, jak zabránit pronikání podzemní vody do silně kontaminovaných oblastí. Pomocí kosmických mionů se podařilo nahlédnout do nitra kontejnmentu prvního a druhého bloku. U prvního se tam dokonce podívaly roboty. Dne 5. září 2015 byla zrušena veškerá omezení u města Naraha. Je to sice již třetí oblast, která opustila zakázanou zónu, ale poprvé jde o město, které v ní leželo celé, a možnost návratu se týká 7500 obyvatel. Brzy by měla následovat část města Minamisoma a vesnice Kacuraou (angl. transkripce Katsurao). Posledním zlomem je opětový návrat Japonska k využívání jaderné energetiky. Po velmi důkladném rozboru všech bezpečnostních aspektů a přebudování systému jaderného dozoru se v srpnu 2015 obnovil provoz prvního bloku elektrárny Sendai a brzy budou následovat další.

Je tak vhodná doba se zamyslet nad tím, co nám průběh havárie a zkušenosti z její likvidace mohou říci k bezpečnosti jaderné energetiky. K analýzám, které byly vypracovány v Japonsku i ve světě v prvních dvou letech po havárii, přibyla v posledních letech celá řada dalších zdrojů informací. Vyšlo totiž několik publikací, které lze využít pro důkladný rozbor. Nedávno například rozsáhlý rozbor Mezinárodní agentury pro atomovou energii (IAAE).

1. Co bylo příčinou?

Spouštěcím mechanismem havárie v jaderné elektrárně Fukušima I byla jedna z největších zaznamenaných přírodních katastrof. Zemětřesení, které 11. března 2011 zasáhlo severovýchodní pobřeží Japonska, bylo největším v historii tohoto státu, které se událo v době, kdy je zaznamenávají přístroje. Momentové magnitudo bylo odhadnuto na 9,0. Epicentrum leželo 129 km východně od přístavu Sendai. Určení polohy epicentra je poměrně přesné, ale odhady hloubky hypocentra se značně různí mezi hodnotami 10 až 30 km. Hlavní otřes následoval velký počet sekundárních otřesů, z nichž největší dosáhly až magnituda 7,6.

O výjimečnosti zemětřesení svědčí i jeho celoplanetární dopady. Ostrov Honšú se posunul k východu o 2,5 m a část jeho pobřeží směrem k epicentru poklesla v délce 400 km o 0,6 m, což zhoršilo schopnost ochrany pobřeží proti cunami. Zemětřesení

RNDr. VLADIMÍR WAGNER, CSc., Ústav jaderné fyziky AV ČR, v. v. i., 250 68 Řež, e-mail: wagner@ujf.cas.cz

způsobilo znatelný posun zemských pólů v řádu centimetrů a zkrácení délky dne v řádu mikrosekundy.

To, že je japonská společnost na zemětřesení zvyklá a připravena, ukazuje i skutečnost, že dopady samotného zemětřesení byly relativně malé. Budovy v japonských městech jsou velmi seizmicky odolné. Asi největším důsledkem tak bylo protržení přehrady Fudžinuma (Fujinuma) ve městě Sukagawa. Její hráz se zhroutila 20 až 25 minut po zemětřesení. Vodní vlna smetla pět domů a poškodila velký počet dalších. Při tomto neštěstí zahynulo osm lidí.

Daleko větší dopad však mělo tsunami, které zemětřesení vyvolalo a které zasáhlo pobřeží necelou hodinu po něm. První vlna začala zalévat 2 000 km dlouhé pobřeží zhruba 20 minut po zemětřesení. Jadernou elektrárnu Fukušima I zasáhla tato vlna zhruba 41 minut po zemětřesení. Druhá a větší vlna pak dosáhla pobřeží zhruba deset minut po první. Výška vlny na pobřeží se lišila podle jeho topografie a maxima 40 m bylo dosaženo v prefektuře Iwate. Voda se v řadě míst, zvláště v oblasti Sendai prefektury Mijagi (Miyagi), dostala do vnitrozemí v hloubce 4 až 5 km. Celkově voda zaplavila zhruba 561 km² japonského pobřeží. Z tohoto hlediska je zemětřesení patrně srovnatelné s jogánským zemětřesením (přesnější česká transkripce je zemětřesení Džogán) z roku 869, které bylo do té doby tím největším známým v historii Japonska.

O tom, že Japonsko tak extrémní tsunami nečekalo, svědčí i to, že překonalo řadu speciálních zábran, které měly spolehlivě ochránit obydlená místa. Byla zaplavena i místa speciálně určená jako úkryt před tsunami. Důsledkem této neočekávanosti je i velký počet obětí. Podle údajů z února 2014 bylo ve dvaceti zasažených prefekturách 18 520 obětí, z toho těla 2 636 nebyla do uvedené doby nalezena. Prefektura Fukušima měla třetí největší počet obětí. Japonská vláda přisoudila této přírodní katastrofě také 1 331 nepřímých obětí, většinou starých a nemocných lidí, kteří zahynuli vinou zhoršených životních podmínek a zdravotní péče během evakuace a krátce po ní. Celkově tak účet zemětřesení a hlavně tsunami dosáhl téměř 20 000 obětí.

Momentové magnitudo tohoto zemětřesení přesáhlo maximální odhady pro oblast Tohoku, které popisovaly zemětřesná rizika do této události. Na druhé straně však byla ve světě v místech subdukčních zón za poslední století zaznamenána čtyři zemětřesení s momentovým magnitudem 9 a nebyl důvod se domnívat, že by takové nemohlo vzniknout v blízkosti Japonska. Zároveň se objevily na pobřeží známky, že tsunami dosahující velikosti toho z roku 2011 a jogánského z roku 869 se ve vzdálenější minulosti vyskytovala. Již několik let před zemětřesením se objevovala varování některých odborníků, že by velmi velké tsunami mohlo elektrárnu Fukušima I zasáhnout a že existující opatření proti němu nemusí být dostatečná. I z tohoto důvodu konstatovala komise japonského parlamentu ve své zprávě, že tato událost měla být předvídaná a měla být učiněna příslušná opatření. Z tohoto hlediska byla sice havárie spuštěna obrovskou přírodní katastrofou, ale do značné míry byla hlavně míra jejich dopadů lidmi zaviněná.

2. Poučení a jak je využít?

To, že k tak rozsáhlé havárii dojde v technicky velmi vyspělém Japonsku, které s jevy jako je zemětřesení a tsunami počítá, bylo velmi nečekané. Jak už bylo zmíněno, shoduje se většina analýz, že spouštěcím mechanismem pro havárii byla extrémně velká

přírodní katastrofa. Na druhé straně se s událostí, která je za hranicí předpokladů a vede k úplné ztrátě zdrojů elektřiny, mohlo a mělo počítat. V tomto ohledu lze vidět lidský faktor, který k havárii vedl. Zpráva, kterou vypracovala speciálně komise japonského parlamentu, je tak velmi kritická ke způsobu kontroly a řízení jaderného průmyslu konkrétně, ale také obecně ke způsobu organizace japonské společnosti.

Jedním z hlavních kritizovaných bodů bylo to, že japonský úřad zodpovědný za jadernou bezpečnost byl součástí ministerstva průmyslu. Tedy že regulace byla v principu podřízena stejnému vládnímu úřednictvu jako složka odpovědná za prosazování dané průmyslové oblasti. Tuto věc kritizovala již před havárií i Mezinárodní agentura pro atomovou energii. Do jisté míry i z důvodu složitějšího přijetí a prosazení kritiky „domácí“ tradice „cizáky“ tyto výhrady a doporučení Japonsko nepřijalo a mezinárodní organizace na ně netlačila.

Ve zprávě komise se také konstatuje známý fakt, že japonská společnost je velmi hierarchická s vysokou úrovní bezděčné poslušnosti a nechuti zpochybňovat autority. Má také problémy s hledáním nestandardních řešení v situaci, která se vymyká pravidlům a nejsou pro ni známé postupy ani stanovená přesná hierarchie řízení. Japonští zaměstnanci projevují velmi vysokou loajalitu vůči svému zaměstnavateli a komunitě. Podle názoru parlamentní komise to vedlo jednak k zanedbáním, která způsobila havárii, ale také se to projevilo v reakci a komunikaci odpovědných složek v průběhu havárie. Popsané chování je hluboce zakořeněno v japonské společnosti. Komise tak konstatuje, že stejné problémy by nastaly i v případě, kdyby na příslušných postech seděli úplně jiní Japonci. Hlavní kritika se v oblasti prevence zaměřila na podcenění velikosti cunami a možností úplného výpadku zdrojů elektřiny. Už v roce 2006 byla společnost TEPCO upozorňována úřadem pro jadernou bezpečnost, že její opatření proti zemětřesení a cunami nemusí být dostatečná. Ze zmíněných důvodů podřízení regulátora stejnému ministerstvu jako jaderný průmysl nebyla opatření navrhovaná úřadem implementována. Podle mého názoru však je otázka, která opatření by se v době do zemětřesení stihla a jaká by byla. Výška vlnolamu by se mohla zvýšit z necelých šesti metrů i na deset metrů. Těžko však více, tak velké cunami se opravdu nečekalo, jak je vidět z vlnolamů a dalších opatření u obydlí částí.

Na druhé straně je však až s podivem, jak poměrně jednoduchá a nepříliš nákladná opatření mohla havárii zabránit nebo alespoň její následky dramaticky zmírnit. Jednalo se hlavně o umístění prvků kritických pro havarijní dodávky elektřiny do vyšších poloh případně ve vodotěsně uzavřených částech budovy, odolných proti tlaku vody při zaplavení. Umístění dieselaagregátů a akumulátorů v suterénu strojoven u Fukušimy I bylo z tohoto hlediska tou kritickou bezpečnostní slabinou. Klíčové je v takovém případě i dostatečné množství mobilní techniky pro zajištění havarijní dodávky elektřiny a chladící vody.

3. Základní doporučení vyplývající z havárie ve Fukušimě I

Doporučení pro zlepšení bezpečnosti jaderné energetiky jsou tak zaměřena do tří směrů. První směřuje ke zlepšení kontroly jaderných zařízení a také řízení hlavně v krizové situaci. Zde jde hlavně o co největší nezávislost úřadu pro jadernou bezpečnost a transparentnost jeho rozhodování. V oblasti krizového řízení jde o pečlivé vypracování nastavení zodpovědnosti a postupů při předávání informací a komunikaci při

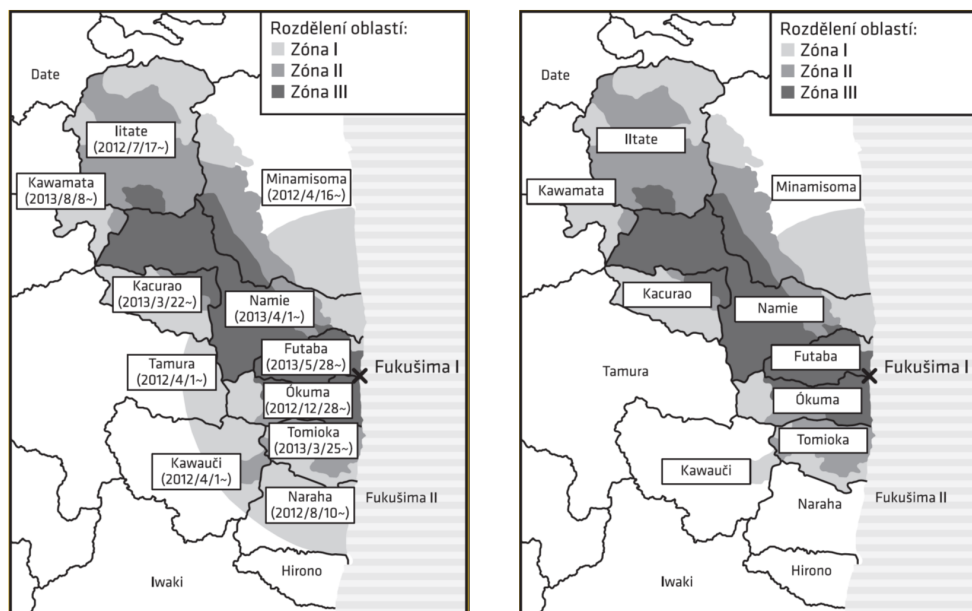
krizové situaci. Hlavně se to týká případů, kdy dojde k souběžnému průběhu několika havárií. Odborný personál musí být připraven na libovolné události, a to i nadprojektové. Celkově je třeba dosáhnout co nejlepšího nastavení kultury v bezpečnostní oblasti.

Druhým směrem je posílení odolnosti elektráren při extrémních událostech, a to nejen přírodních, které mohou vést k nadprojektovým haváriím. Tedy v případě Japonska jde hlavně o zemětřesení a cunami. Jinde například o extrémní povodně, sucha, sněhové bouře či hurikány. A také případné teroristické útoky. Jde například o testování odolnosti klíčových budov v těchto situacích, například krizového centra, ze kterého je možné zajistit řízení operací v krizové situaci. V případě Japonska jde hlavně o zvýšení vlnolamů, odolnosti a vodotěsnosti klíčových částí budov. Další opatření, které se týká hlavně varných reaktorů, je zajištění efektivní filtrace páry při havarijní ventilaci kontejnmentu. Ta by měla zajistit minimalizaci emisí radioaktivních látek při tomto procesu. Nutná jsou efektivní opatření, která zabrání vzniku výbušné koncentrace vodíku. Velmi důležitá je dostatečná kapacita mobilních prostředků pro dodávku elektřiny, čerpání i stříkání vody. Pečlivá analýza zkušeností z Fukušimy I se promítla i do zátěžových testů jaderných zařízení, které se uskutečnily ve světě, v Evropě i u nás.

Třetím směrem je efektivnější a citlivější řešení evakuace v případě hrozby úniku radioaktivních látek. Tam je nejdůležitější najít co nejvhodnější strategii pro komunikaci s veřejností, a to hlavně v oblasti vysvětlování reálných zdravotních rizik různých úrovní radiace a kontaminace a správných reakcí při různých radiačních podmínkách. V radiační ochraně je uplatňován princip ALARA. To je zkratka slov „as low as reasonably achievable“ a znamená „tak nízké, jak je rozumně dosažitelné“. Smyslem je, aby při činnosti se zdroji záření a v radioaktivním prostředí byly velikosti individuálních ozáření, počet ozářených osob a pravděpodobnost ozáření tak nízké, jak lze rozumně dosáhnout při respektování hospodářských a sociálních hledisek. Ovšem vysvětlení limitů, ke kterým se při tomto principu dochází v různých situacích a podmínkách, nemusí být jednoduché. Zvláště při komunikaci s veřejností, která postrádá potřebné znalosti. Doposud neexistují návody, které by toto slabé místo dokázaly vyřešit. Další slabinou, na kterou ukázaly události při havárii ve Fukušimě I, ale také při evakuaci po zásahu cunami, je péče o nemohoucí lidi nejen při evakuaci nemocnic a sociálních zařízení.

4. Závěr

Havárie jaderné elektrárny Fukušima I byla druhou největší katastrofou v jaderné energetice. Byly při ní zničeny aktivní zóny tří reaktorů. Přesto však při ní nikdo nezahynul a její následky byly pouze lokální a omezené. Je třeba si navíc uvědomit, že havárie byla jen malou částí velké přírodní katastrofy, která ji spustila. Ta měla téměř 20 000 obětí a škody, které byly násobky škod způsobených havárií ve Fukušimě I. Zdravotní dopady radiace jsou a budou podle všech relevantních studií zanedbatelné. Totéž ovšem nelze říci o dopadech psychických a sociálních, a to i těch způsobených obavou z radiace. A právě do opatření v této oblasti je potřeba nasměrovat největší úsilí státu i nevládních organizací a místních komunit. Mezi prostředky pro zlepšení patří i co nejkvalitnější studium radiační a zdravotní situace v zasažených oblastech



Obr. 1. Mapa zasažených území s vyznačením zakázané zóny ve tvaru půlkruhu s poloměrem 20 km a dodatečně evakuované zóny ve směru na severozápad. Zaznamenáno je i její rozdělení na tři oblasti podle stupně kontaminace. Nalevo je mapa s uvedením data, kdy bylo pro dané město či vesnici rozdělení dokončeno. Napravo je stav ze září roku 2015, kdy už pro tři z jedenácti postižených samosprávných celků byla omezení úplně zrušena. Do roku 2017 by měla být omezení úplně zrušena u oblastí I. a II. kategorie. Situace nejsilněji zasažených území III. kategorie je složitější a dokončení jejich dekontaminace se plánuje až na rok 2022.

a co nejtransparentnější předkládání výsledků veřejnosti. Právě nedostatečná schopnost racionálního posouzení rizik je jedním z faktorů zhoršujících psychické dopady a zpomalujících postup při rekonstrukci postižených regionů. Zde se ukazuje, kromě dekontaminace, jako klíčová rekonstrukce infrastruktury a obnova pracovních příležitostí. Vyklizení bazénů s vyhořelým palivem a úplná dekontaminace velkého množství radioaktivní vody se dá očekávat během pár následujících let. Pak už budou rizika plynoucí ze zničené elektrárny minimální a nebude tak příliš vadit, že odstranění zničených aktivních zón reaktorů bude trvat několik desetiletí. Jsou také dobré předpoklady, že dekontaminace a rekonstrukce zasažených oblastí do takového stavu, aby se do nich vrátili obyvatelé, bude dokončena do deseti let od havárie.

I když byla spouštěcím mechanismem havárie extrémní přírodní katastrofa, mělo se s touto možností počítat a elektrárna i její personál na ní měli být připraveni. Nepříliš náročná opatření mohla havárii zabránit nebo alespoň dramaticky zmírnit její následky. Na základě zkušeností s touto havárií je tak možno přijmout opatření, která přispějí k významnému zvýšení bezpečnosti jaderné energetiky. Frekvence havárií v jaderné energetice je extrémně malá a s velkými dopady na okolí byly jen dvě, Fukušima I a Černobyl. Pochopitelně nelze v budoucnu vznik jaderné havárie úplně vyloučit, ovšem i události ve Fukušimě ukázaly, že je možné se s ní vypořádat a její následky jsou pouze lokální a nepřesahují následky jiných průmyslových havárií.

L i t e r a t u r a

- [1] EISLER, R.: *The Fukushima 2011 disaster*. CRC Press, 2013.
- [2] FUNABASHI, Y., KITAZAWA, K.: *Fukushima in review: A complex disaster, a disastrous response*. Bull. Atomic Scientists 68 (2012), 9.
- [3] HAYANO, R. S., et al: *Internal radiocesium contamination of adults and children in Fukushima 7 to 20 months after the Fukushima NPP accident as measured by extensive whole-body-counter surveys*. Proc. Japan Acad. Ser. B Phys. and Biol. Sci. 89 (4) (2013), 157–163.
- [4] INPO (Institute of Nuclear Operation): Special report on the nuclear accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station. INPO 11-005, November 2011. Dostupné z: http://www.nei.org/corporatesite/media/filefolder/11_005_Special_Report_on_Fukushima_Daiichi_MASTER.11_08_11_1.pdf
- [5] LOCHBAUM, D., LYMAN, E., STRANAHAN, S. Q. and the Union of concerned scientists, Fukushima: *The story of a nuclear disaster*. The New Press, New York, 2014.
- [6] National Research Council of the National Academies: *Lessons learned from the Fukushima Nuclear Accident for Improving Safety of U.S. Nuclear Plants*. The National Academies Press, Washington, DC, 2014.
- [7] POVINEC, P. P., HIROSE, K., AOYAMA, M.: *Fukushima accident: radioactivity impact on the environment*. Elsevier, 2014.
- [8] TAKAHASHI, S. (ed.): *Radiation monitoring and dose estimation of the Fukushima nuclear accident*. Springer, 2014.
- [9] TANIGAWA, K., CHHEM, R. K. (eds): *Radiation disaster medicine, perspective from the Fukushima nuclear accident*. Springer, 2014.
- [10] The Fukushima Daiichi Accident. Report by the Director General. IAEA, 2015.
- [11] UNSCEAR 2013: Sources and Effects of Ionizing Radiation Annex A, 2013. Dostupné z: http://www.unscear.org/docs/reports/2013/13-85418_Report_2013_Annex_A.pdf
- [12] WAGNER, V.: *Fukušima I poté. Cesta od havárie k rekonstrukci, důsledky a dopady pro Japonsko i svět*. Novela Bohemica, Praha, 2015.
- [13] WHO: Preliminary dose estimation from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan earthquake and tsunami, based on a preliminary dose estimation. Dostupné z: http://www.who.int/ionizing_radiation/pub_meet/fukushima_dose_assessment/en/
- [14] WHO: Health risk assessment from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan earthquake and tsunami, based on a preliminary dose estimation. Dostupné z: http://www.who.int/ionizing_radiation/pub_meet/fukushima_risk_assessment_2013/en/
- [15] Zpráva nezávislé komise japonského parlamentu: http://www.nirs.org/fukushima/naiic_report.pdf a <http://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/3856371/naiic.go.jp/en/>