

Rozhledy matematicko-fyzikální

Vladimír Wagner

Fukušima I poté (druhé aktualizované knižní vydání)

Rozhledy matematicko-fyzikální, Vol. 93 (2018), No. 4, 19–25

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/147571>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 2018

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>

Fukušima I poté (druhé aktualizované knižní vydání)

Vladimír Wagner, ÚJF AV ČR, Řež

Abstract. The article presents the second edition of Fukushima I after book. The last development of works at the Fukushima I nuclear power plant and reconstruction of neighbouring areas are described.

Popis následků havárie elektrárny Fukušima I

Od havárie v jaderné elektrárně Fukušima I, která byla způsobena jedním z největších zemětřesení nejen v historii Japonska a následným cunami, už uběhlo více než sedm let. Tři roky už také uplynulo od vydání knihy Fukušima I poté [1]. Od té doby se již podařilo značně pokročit v likvidaci následků havárie, ať už v samotné elektrárně, tak i v jejím okolí. To je důvod, proč se k publikaci chystá druhé doplněné vydání této knihy. Tentokrát půjde o vydání ve formě knihy elektronické. V připojeném dodatku je popsán pokrok, kterého se podařilo dosáhnout v odstraňování následků havárie i v rekonstrukci a revitalizaci zasažených území. Také kalendář událostí, který je v dodatcích knihy, byl protažen až do července 2018.

Knihla se snaží přehledně rozebrat příčiny havárie. Ta byla sice iniciována bezprecedentní přírodní katastrofou, ale pokud by nedošlo k lidským pochybením, bylo možné se jí vyhnout, nebo alespoň dramaticky snížit její následky. I přesto, že celkově byly zničeny čtyři jaderné bloky a tři aktivní zóny se roztavily, bylo díky jejich kontejnmentům, dalším bezpečnostním prvkům i obrovskému obětavému úsilí pracovníků možno včas evakuovat obyvatele v okolí jaderné elektrárny a úniky radionuklidů byly omezené. Zdravotní následky havárie tak jsou zanedbatelné. Naopak psychologické, sociální a ekonomické dopady jsou obrovské, a vedly i k nepřímým úmrtím, která jsou s havárií ve Fukušimě I spojena. A právě do těchto oblastí by se měla zaměřit pozornost při likvidaci následků havárie, dekontaminaci, rekonstrukci a revitalizaci zasažených území. Vše by mělo být provázáno maximální citlivostí k postiženým obyvatelům.

V první kapitole knihy se rozebírá vývoj japonské jaderné energetiky před havárií. Vysvětluje se, proč se Japonsko rozhodlo pro intenzivní rozvoj v této oblasti i přes rizika zemětřesení v této části světa. Japonsko má velký nedostatek fosilních paliv a jeho fosilní energetika je

založena na dovozu uhlí, ropy a plynu ze zámoří. Má i omezené možnosti pro využití obnovitelných zdrojů. Přehradý pro hydroelektrárny jsou při zemětřesení ještě více ohroženy než jaderné elektrárny, Japonsko má nedostatek vhodných ploch pro umístění fotovoltaických a větrných elektráren. Uvnitř ostrovů je převážně horský reliéf, má tak i problémy s produkcí dostatku potravin a těžko může masivně využívat biomasu pro energetiku. Ostrovní poloha také významně omezuje možnosti importu a exportu elektřiny a výpomoc při vykrývání denních a sezónních diagramů v její spotřebě a produkci. To vedlo k tomu, že Japonsko se na jadernou energetiku spoléhalo před havárií a neobejde se bez ní ani nyní.

Zemětřesením a cunami jako jevům, které jsou pro Japonsko charakteristické, se věnuje druhá kapitola. S tímto fenoménem a rizikem se musí vypořádat i jaderná energetika této země. Jaderné elektrárny se z důvodů zmíněných v předchozí části těžko mohou stavět ve vnitrozemí, kde by bylo potřeba využít dostatečně vodnaté řeky a přehradý na nich. Proto se k chlazení využívá moře a je třeba počítat s hrozbou cunami.

Princip fungování jaderného reaktoru, jejich různé typy a hlavně různé technologie a prvky, které mají zajistit bezpečnost jejich provozu, jsou popsány v třetí kapitole. V závěrečné části této kapitoly jsou pak podrobněji popsány varné reaktory, které se využívaly ve Fukušimě I. Ve čtvrté kapitole se popisuje, co je potřeba zajistit v případě ohrožení reaktoru. Nejdříve je nutné zastavit štěpnou řetězovou reakci, další klíčovou činností je zajištění dochlazení aktivní zóny a kontinuálního odvodu tepla vznikajícího radioaktivním rozpadem štěpných produktů a vzniklých transuranů. Chlazení je třeba zajistit také u bazénů s vyhořelým palivem. Je třeba řešit i problém s vodíkem, který vzniká reakcemi zirkonu v pokrytí palivových souborů při velmi vysokých teplotách. Zároveň je potřeba zabránit únikům radioaktivity nebo je co nejvíce omezit. Vlastnosti radioaktivity, jak se měří, její zdroje, biologické účinky a zdravotní dopady nízkých dávek jsou popsány v páté kapitole.

V šesté kapitole se popisuje průběh havárie v areálu elektrárny od prvních minut a s čím se museli její pracovníci potýkat. Ukazuje se, jak se jim podařilo zajistit havarijní chlazení, překonat následky postupných výbuchů vodíku, zajistit opětovné dodávky elektřiny a nakonec postupně situaci stabilizovat. Později se podařilo zajistit cirkulované chlazení aktivních zón i bazénů s vyhořelým palivem a stále se zlepšující proces dekontaminace odčerpávané radioaktivní vody, která se ukládala ve velkých nádržích. Radikální snížení úniku radioaktivity a zlepšení podmí-

nek v elektrárně i v jejím okolí umožnilo v prosinci 2011 vyhlásit studené odstavení zničených reaktorů, což je popsáno v kapitole sedm.

Tím byla zahájena cesta k likvidaci zničených reaktorů, pro kterou je potřeba co nejpodrobněji prozkoumat stav nejen uvnitř budov, ale i kontejnmentů. Je třeba zajistit odklizení trosk a dekontaminaci areálu. Nejdůležitějšími prvními dlouhodobými úkoly jsou vyřešení problémů s velkým objemem radioaktivní vody a vyklizení bazénů s vyhořelým palivem. První úspěchy na této cestě, kterými bylo například vyklizení bazénu s vyhořelým palivem čtvrtého bloku, jsou spolu s budoucími výzvami v této oblasti popsány v kapitolách osm a devět.

V kapitolách deset a jedenáct je popsán vývoj v zasažených oblastech v okolí elektrárny. Nejdříve vývoj evakuace a kontaminace během prvních etap havárie a později práce na dekontaminaci, rekonstrukci a revitalizaci postižených oblastí. Velice důležité jsou v tomto případě psychologické a sociální aspekty dopadů havárie, při obnově pak zajištění infrastruktury a práce pro vracející se obyvatele.

V kapitole dvanáct se srovnávají havárie ve Fukušimě a Černobyli. Rozebírají se podobnosti i rozdíly. Ze zkušenosti již třicetiletého vývoje v Černobyli se usuzuje na budoucí vývoj ve Fukušimě. Důležité jsou hlavně zdravotní a ekologické dopady. Těm zdravotním se věnuje třináctá kapitole. Speciálně se zaměřuje na rakovinu štítné žlázy, značné zvýšení jejího výskytu je hlavním zdravotním dopadem události v Černobyli. Stejně tak se věnuje psychologickým a sociálním následkům, které byly a budou u obou havárií těmi dominujícími.

Kapitoly čtrnáct a patnáct jsou věnovány dopadům havárie ve Fukušimě na jadernou energetiku. Nejdříve na tu japonskou. V této zemi se ukazuje, že ani v budoucnosti se bez jejího využívání neobejde. Po vypracování nových bezpečnostních pravidel a jejich uplatnění přistoupilo Japonsko k obnově produkce elektřiny z jádra. Ve světě většina zemí postoj k jaderné energetice po událostech ve Fukušimě nezměnila. Ty, které ji využívají, s ní počítají nadále. Naopak ty, které jsou proti ní, se ve svém názoru ještě více utvrdily. Události tak urychlily odchod Německa od využívání jaderné energie. Na základě zkušeností z havárie proběhla řada opatření ke zvýšení bezpečnosti v této oblasti.

Kniha podává detailní rozbor druhé největší havárie v jaderné energetice v širokém kontextu. Druhé vydání je doplněno podrobným přehledem pokroku, kterého se podařilo dosáhnout za tři roky od prvního vydání v samotné elektrárně, v rekonstrukci a revitalizaci zasažených území.

Jak postoupila likvidace následků za uplynulé dva roky?

V časopise *Rozhledy* matematicko-fyzikální vyšel v roce 2016 článek o havárii ve Fukušimě I [2]. Podívejme se, čeho se podařilo dosáhnout při likvidaci jejích následků během více než dvou let, které uplynuly od jeho publikace.

Nejdříve se podívejme na to, co se udělalo v samotné elektrárně. Tam se dokončila dekontaminace většiny areálu. Pracovníci tak mohou povětšinou pracovat v normálních pracovních oděvech bez speciálních ochranných pomůcek. V areálu je kantýna i obchod a možnosti pro odpočinek.

Zásadní pokrok byl dosažen při průzkumu situace uvnitř kontejnmentů. Roboty pracovaly už ve všech třech reaktorech, kde došlo ke zničení aktivní zóny. V některých pracovaly i několikrát. Ve třetím bloku to byl robot, který se dokázal pohybovat pod vodou. Hladina vody v tomto kontejnmentu je totiž poměrně vysoká. U všech tří zničených reaktorů se potvrdilo roztavení významné části aktivní zóny. Ve druhém bloku lze vidět poškození způsobená tekoucí taveninou a její ztuhlé zbytky na dně kontejnmentu. Poznání situace uvnitř kontejnmentů umožňuje zahájení příprav likvidace zničených aktivních zón. Dokončují se roboty pro první fázi, při které by se sbíraly zbytky ztuhlé taveniny ze dna kontejnmentů. Zahájení prací uvnitř kontejnmentů se tak dá očekávat již brzy, ale celkové odstranění roztaveného paliva z aktivní zóny je úkol na desetiletí.

Důležitým opatřením, které snižuje rizika v areálu zničené elektrárny, je vyklizení bazénů, kde se skladuje vyhořelé palivo. Bazén čtvrtého bloku byl vyklizen už v prosinci roku 2014. V polovině roku 2018 je k vyklizení připraven bazén bloku třetího. Dokončena je nová horní část budovy, jsou instalovány jeřáby a další zařízení nutná pro manipulaci s palivovými soubory a kontejnery, ve kterých se přepravují. K přemístění palivových souborů do společného bazénu v areálu elektrárny by mělo dojít v roce 2019. Druhý blok byl jediný, u kterého nezničil výbuch vodíku horní část budovy. Ovšem prostory uvnitř budovy jsou silně kontaminované. Proto byla u jedné její vnější stěny vybudována plošina s kontejnerem, který pak připraveným otvorem umožňuje vstup do patra s bazénem bez hrozby úniku radioaktivních látek do okolí. Patro nyní zkoumají roboty s kamerami a dozimetry. Podmínky zde však zatím neumožňují práci lidí. Je třeba provést intenzivní dekontaminaci a pravděpodobně výměnu všech jeřábů a manipulátorů. K vyklizení bazénu by tak mělo dojít až v roce 2023. U prvního bloku se dokončila likvidace

trosek zničené horní části budovy, připravuje se konstrukce nové horní části budovy a instalace potřebných jeřábů. Vyklizení tohoto bazénu se posunulo na rok 2023.

Obrovského pokroku bylo dosaženo při rekonstrukci a revitalizaci zasažených území. V letech 2016 a 2017 se zrušila všechna omezení na téměř všech evakuovaných územích, která nespadají do nejsilněji kontaminovaných oblastí III. kategorie. Jedinými městy, kam se zatím nemohou natrvalo vrátit obyvatelé, jsou Okuma a Futaba, na jejichž území se nachází zničená elektrárna. V nich jsou jediné malé prostory I. a II. kategorie, kde nebylo zatím rozhodnuto o možnosti návratu. Plocha zakázané zóny se zmenšila z původních 1 150 km² na pouhých 369 km². Právě ve městech Okuma a Futaba se zřídilo přechodné úložiště radioaktivního odpadu, který se hromadí při dekontaminaci. Tam se nyní převládá odpad nashromážděný při dosavadních pracích v provizorních úložištích. Zřízení tohoto zařízení umožnilo zahájit dekontaminaci silně zasažených území III. kategorie. Jejich otevření by mohlo tak být připraveno v roce 2021.

Pro návrat obyvatel je klíčová obnova infrastruktury. I v částech, které vedou přes prozatím zakázané oblasti, se obnovila železnice a většina klíčových silnic. I to zlepšuje podmínky pro jejich dekontaminaci, rekonstrukci a revitalizaci. V již zpřístupněných městech a vesnicích se otevírají obchody, školy, nemocnice a další potřebná zařízení. Tím se daří zrychlovat i návrat obyvatel. Počet evakuovaných klesl v březnu 2018 z maxima okolo 165 tisíc na 49 tisíc. A to návrat do nedávno otevřených částí teprve začal.

Důležitou podmínkou pro návrat obyvatel je i obnova zemědělské a průmyslové výroby. Tradiční je pěstování rýže. Povzbudivým zlomem je, že od roku 2015 se při pečlivé dozimetrické kontrole nenašel ani jeden pytel, u kterého by rýže překračovala velmi přísně nastavený radiační limit 100 Bq/kg. K pěstování této plodiny se vracejí farmáři i na polích, která jsou v dosud uzavřených územích. Stejně tak se obnovuje chov dobytka a hlavně lov ryb. Jestliže v roce 2012 rybařilo jen 9 lodí, v roce 2016 už jich bylo přes tisíc. Na nově otevřených územích se znovu otevírají i přístavy, kam se vrací rybářské lodě. Otevírají se i nové výzkumné a průmyslové areály. Jde například o technologický park v městě Naraha, jehož součástí je speciální ústav „Naraha Remote Technology Development Centre“, který se zaměřuje na vývoj inteligentních systémů a dálkově řízené technologie na likvidaci aktivních zón zničených reaktorů. Nová atraktivní pracoviště by mohla přilákat mladé lidi. Zatím se

totiž většinou vracejí starší obyvatelé a mladí často s návratem váhají.

Významným signálem, že se vše vrací k normálu, je obnova areálu J-vesnice. Ten využívali jako zázemí pracovníci elektrárny a nyní se začíná vracet k původnímu účelu. Znovu bude sloužit jako středisko pro trénink sportovců, hlavně fotbalistů. Pracovníci z elektrárny se přemístili blíže k ní do otevřeného města Tomioka. Rekonstruované středisko J-vesnice bude sloužit i pro účely Olympiády v roce 2020, která proběhne v Japonsku a mohla by se stát i velmi silným impulsem pro rozvoj postižených oblastí.

I v obnově japonské jaderné energetiky se dosáhlo významného pokroku. V době havárie jaderné elektrárny Fukušima I mělo Japonsko v provozu 54 reaktorů a dva ve výstavbě. Kromě šesti reaktorů elektrárny Fukušima I je v likvidaci ještě devět dalších reaktorů. Většinou se jedná o menší bloky, jejichž stáří přesahuje 40 let a jejich rekonstrukce, aby splňovaly nové přísnější bezpečnostní podmínky, by se ekonomicky nevyplatila. V současné době tak má Japonsko 39 reaktorů a dva ve výstavbě. První blok, Sendai 1, se rozběhl v srpnu 2015. V polovině roku 2018 už pracuje devět reaktorů v pěti elektrárnách: Sendai 1 a 2, Ikata 3, Takahama 3 a 4, Ohi 3 a 4 a Genkai 3 a 4. Další 16 reaktorů předložilo žádost o posouzení jejich bezpečnostních parametrů u nového úřadu pro jadernou bezpečnost NRA. O možnost dokončení požádaly u NRA i dva rozestavěné bloky Ōma 1 a Šimane 3.

Japonsko se bez jaderné energetiky ani v budoucnu neobejde. V letech 2016 a 2017 byla vypracována jeho nová energetická koncepce, která předpokládá, že v roce 2030 bude mít jádro na výrobě elektřiny podíl 20–22 %. Plyn bude vyrábět 27 % elektřiny, uhlí 26 %, nafta 3 % a obnovitelné zdroje 22–24 %. To umožní snížení emisí CO₂ oproti roku 2013 (to byl rok s minimem jaderných zdrojů) o 26 %. Stále častěji se mluví o nezbytnosti jaderné energetiky, hlavně v souvislosti se zajištěním cílů ve snižování produkce CO₂ do roku 2050. V tomto roce by se měly emise CO₂ snížit oproti roku 2013 o 80 %. V tom případě by bylo nutné postavit nové jaderné bloky, které by nahradily ty stávající i rozšířily možnosti jaderné energetiky ve výrobě elektřiny.

Velkým úsilím obyvatel Fukušimy i celého Japonska se daří překonat dopady cunami i havárie. Důležité je, že je možný návrat obyvatel domů a obnovují se místní komunity a jejich obyčejný život. V tom by mohla hodně pomoci i Olympiáda 2020 v Japonsku. Daleko podrobněji jsou úspěchy při likvidaci následků havárie ve Fukušimě I v posledních letech popsány v dodatku druhého vydání knížky Fukušima I poté.

Literatura

- [1] Wagner, V.: *Fukušima I poté*. Novela Bohemica, Praha, 2015.
- [2] Wagner, V.: Fukušima I po pěti letech. *Rozhledy matematicko-fyzikální*, roč. 91 (2016), č. 2, s. 11–19.
- [3] <http://www.world-nuclear.org/>
- [4] <https://www3.nhk.or.jp/nhkworld/>
- [5] <https://www7.tepco.co.jp/index-e.html>
- [6] <http://www.fukushimaminponews.com/>
- [7] <http://www.fukuleaks.org/web/>

Bernard Bolzano – nezabudnutelná osobnost kultúrnej civilizácie

Dušan Jedinák, Trnava

Abstract. A short literary portrait of a university teacher whose professional and moral ideas may influence the way of our thinking even in the 21st century.



Medzi etikou a matematikou, náboženstvom a logikou odžil svoj neľahký osud šľachetný mysliteľ Bernard Bolzano (5.10.1781–18.12.1848), profesor pražskej univerzity, mimoriadny zjav kultúrnej minulosti v Čechách. Stal sa úžasným príkladom zosúladenia korektného vedeckého záujmu s ušľachtilou ľudskosťou mravnej authority. Ako nezabudnutelná učiteľská osobnosť viedol študentov ku kritickému a nezaujatému mysleniu, k odvahe sa slobodne vy-

jadrovať a správne argumentovať.

„Ak čítame texty B. Bolzana, vždy znovu žasneme nad jasnosťou a presnosťou jeho vyjadrení, dôkladnosťou spracovania a neošúchanosťou myšlienok. Všetko, čím sa zaoberal, sám do hĺbky premyslel, svoje úvahy potom postavil na pevne vybudovaný logický základ a prepojil ich jasnými súvislosťami“ ([11], s. 75).