

Elektronika

**jaderná
energie**

**jadrová
energia**

V tomto čísle vám představíme Státní ústav radiační ochrany. V medailonku významných osobností zavzpomínáme na profesora Františka Běhounka,

předního českého fyzika, akademika a spisovatele. Detailně se zaměříme na nové typy portálových monitorů a zapojení veřejnosti do občanských měření radioaktivity. Vysvětlíme vám,

co je radiační bobtnání paliva a jak se provádí výpočet indukované aktivity betonové šachty reaktoru. V rámci

tématu jaderné a radiační bezpečnosti vás seznámíme s experimentálním zařízením THS-15, s vývojem a inovacemi v havarijní připravenosti a dezinformacemi v oblasti radiační ochrany. Těšit se můžete i na aktuální

informace z oblasti jaderné energetiky nebo poslední díl seriálu o normalizaci odchylky.

ročník 2 [67] 2021

Jaderná energie

Jadrová energia

Základní úlohou časopisu „Jaderná energie/Jadrová energia“ je přispívat k úrovni kultury jaderné bezpečnosti. Časopis je psaný v českém a slovenském jazyce, vědecké a odborné články, abstrakty a anotace též v anglickém jazyce. Časopis vychází čtyřikrát ročně nákladem 400 výtisků a v elektronické podobě, která je volně dostupná na adrese jadernaenergie.online

OBSAH ČASOPISU JE ZAMĚŘEN NA:

- jadernou bezpečnost a radiační ochranu s důrazem na ochranu životního prostředí, zdraví profesionálních pracovníků a obyvatelstva,
- výzkum, vývoj a nové technologie,
- provoz a výstavbu jaderných elektráren,
- zpracování a ukládání radioaktivních odpadů,
- aplikace radioizotopů a ionizujícího záření,
- aktuální informace z dozorných orgánů,
- vzdělávání a rozvoj know-how.

Vydavatel:

Centrum výzkumu Řež s.r.o.
Hlavní 130, Řež
250 68 Husinec
Česká republika
IČO: 26722445

Úrad jadrového dozoru SR
Bajkalská 27
P.O.Box 24
820 07 Bratislava
Slovenská republika
IČO: 30844185

Redakce:

Michal Šafránek – šéfredaktor
redakce@jadernaenergie.online
+420 775 374 384
Mgr. Tereza Smékalová, Ing. Jiří Kuf,
Ing. Jan Procházka, Jan Trejbal.

Adresa redakce:

Centrum výzkumu Řež s.r.o.
Hlavní 130, Řež
250 68 Husinec
Česká republika

Redakční rada:

Ing. Aleš John, MBA – předseda
Ing. Daneš Burket, Ph.D., doc. Ing. Václav Dostál, Ph.D., Ing. Jiří Duspiva, PhDr. Tomáš Ehler, MBA,
Ing. Miroslav Hrehor, Ing. Jiří Hůlka, prof. Ing. Jan John, CSc., Ing. František Pazdera, CSc.,
Ing. Alena Rosáková, prof. Ing. Vladimír Slugeň, DrSc., Mgr. Petr Šuleř, Ing. Radek Trtílek,
Ing. Zdeněk Típek, Mgr. Miriam Vachová, Mgr. Ilona Vysoudilová, RNDr. Marek Vyšinka, Ph.D.,
RNDr. Vladimír Wagner, CSc., Ing. Jan Zdebor, CSc.

Grafika, sazba, jazykové korektury a tisk:

TOP Partners, s.r.o.
Classic 7 Business Park
Jankovcova 49
170 00 Praha 7
Česká republika

Registrace MK ČR

Časopis Jaderná energie/Jadrová energia
byl zapsán do evidence periodického tisku
Ministerstva kultury České republiky a bylo
mu přiděleno evidenční číslo MK ČR E 4671.
ISSN 2694-9024

Číslo 1/2021, ročník 2 [67]

Vychází 20. 1. 2021

editorial

Vážení a milí čtenáři,

máme za sebou velmi obtížný a psychicky náročný rok, ale i rok plný výzev. O to více nás těší, že i v takto komplikovaných podmínkách se nám podařilo dodržet ediční plán i harmonogram, a kromě plánovaných čtyř čísel jsme zvládli dokončit i velmi obsáhlý speciál, který byl vydán u příležitosti Jaderných dnů na ZČU a tradiční konference v Srní.

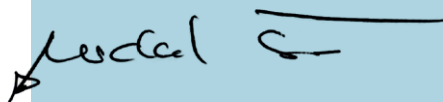
I v letošním roce pro vás plánujeme vydat čtyři čísla. Harmonogram následujících vydání je nastaven na 20. dubna, 20. července a 20. října. S novým kalendářním rokem také přicházíme s drobnými změnami v layoutu časopisu. Na základě vašich podnětů zavádíme u jednotlivých příspěvků stručnou afiliaci a kontaktní e-mail u hlavních autorů. Beze změny nezůstanou ani webové stránky časopisu. V minulém roce se nám podařilo zajistit kompletní archiv historických čísel, která budeme průběžně doplňovat do elektronického archivu na stránkách jadernaenergie.online

Naším cílem pro letošní rok je udržet vysokou odbornou úroveň publikovaných příspěvků a zároveň oborově rozmanitý obsah časopisu více přiblížit nové generaci „jaderníků“. Více než 400 registrovaných odběratelů elektronické verze časopisu a vaše kladné ohlasy jsou pro nás impulsem dále pracovat na zvyšování úrovně časopisu a posilování jeho dobrého jména a historického odkazu.

Dovolte mi, abych vám jménem redakce, redakční rady a vydavatelů poděkoval za vaši přízeň a popřál vám úspěšný a zdravější rok 2021.

Michal Šafránek

šéfredaktor



obsah

představujeme

- Státní ústav radiační ochrany, v.v.i.** 04
RNDr. Zdeněk Rozlívka

medailonek významných osobností

- Prof. RNDr. František Běhounek, DrSc.** 07
Emilie Těšínská, Jiří Marek, Tomáš Čechák, Ladislav Musílek, Aleš John

jaderná bezpečnost a radiační ochrana

- Experiment THS-15 k potvrzení strategie IVMR v rámci projektu HORIZON 2020** 10
Ing. Jiří Žďárek, CSc., Ing. Jan Wandrol, Ing. David Bátěk, Ing. Vladimír Krhouněk,
Ing. Miroslav Kotouč, Ph.D., Ing. Ladislav Vyskočil, Ph.D.

- Zapojení veřejnosti do občanských měření radioaktivity** 16
Ing. Martin Simandl, Ing. Ivana Fojtíková, Ing. Ladislav Dušek, Ing. Jiří Hůlka,
Mgr. Jan Helebrant, Ing. Karel Jílek, Ing. Petr Kuča, Ing. Josef Voltr, CSc.,
Ing. Václav Řeřicha

- Přehled vývoje požadavků na havarijní připravenost na jaderně-energetických blocích** 21
Ing. Josef Koc, CSc., Ing. Jiří Hůlka

- Validácia Monte Carlo výpočtu aktivácie betónovej šachty reaktora JE V-1** 30
Ing. Michal Šnír, Ing. Kristína Krištofová, Ph.D., doc. Ing. Gabriel Farkas, Ph.D.,
prof. Ing. Vladimír Slugeň, DrSc.

výzkum, vývoj a nové technologie

- Radiační bobtnání a jeho dopad na provoz jaderných elektráren** 36
Ing. Marek Postler

- Infrastruktura horkých komor Centra výzkumu Řež (3. díl)** 40
Mgr. David Zoul, Ing. Markéta Koplová, Ph.D., RNDr. Mariia Zimina, Ph.D.

- Nové systémy portálových monitorů pro zajištění bezpečnosti obyvatelstva** 51
Ing. Lubomír Gryc, Ing. Tomáš Grísa, Ph.D.

informace z dozorních orgánů

- Normalizace odchylky aneb co má společného havárie Costy Concordie s vyloupením amerického muzea a českou kauzou svary? (4. část)** 56
Mgr. Marek Bozenhard

zajímavosti z domova i ze světa

- Zkušenosti z cílených dezinformací v oblasti radiační ochrany** 68
Ing. Ivana Fojtíková, Ing. Michal Jankovec, Ing. Jiří Hůlka

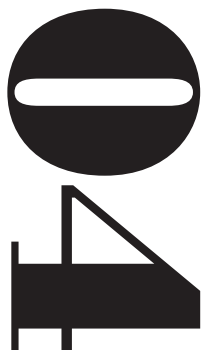
- Europe's Sustainable Nuclear Energy Technology Platform (SNETP) – jak nově funguje a co nabízí** 73
Ing. Petr Kadečka

okno do historie

- Z knihy o historii jaderné energetiky (5. část)** 77
Ing. Zdeněk Kříž

aktuality

- VR-2 bude mít na co navazovat (Jan Rataj, Aleš John)** 80
V CVŘ běží unikátní experiment (Evžen Novák) 81
JE Dukovany – třicet pět let provozu (Aleš John) 82
Online konference, poradíme si (Aleš John) 84
Nová kniha profesora Vladimíra Slugeňa (Aleš John) 85



Státní ústav radiační ochrany, v.v.i.

Předkládaný článek představuje veřejnou výzkumnou instituci SÚRO, v.v.i., její působnost a činnosti, které souvisí s radiační ochranou a nově i s jadernou bezpečností.

RNDr. Zdeněk Rozlívka



Přehled vývoje požadavků na havarijní připravenost na jaderně- energetických blocích

Článek vznikl v rámci řešení projektu bezpečnostního výzkumu VI20172020085 „Identifikace vzniku radiačních mimořádných událostí na jaderných elektrárnách a systém klasifikace jejich závažnosti“.

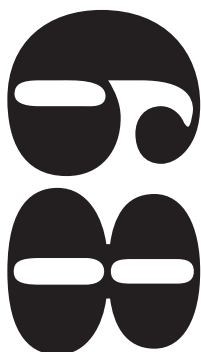
Ing. Josef Koc, CSc., Ing. Jiří Hůlka



Nové systémy portálových monitorů pro zajištění bezpečnosti obyvatelstva

Článek popisuje nové systémy portálových monitorů vyvinuté na bázi plastových detektorů v rámci projektu Ministerstva vnitra „Nová generace portálových monitorů pro zajištění bezpečnosti obyvatelstva (PoMoZ)“.

Ing. Lubomír Gryc, Ing. Tomáš Grísa, Ph.D.



Zkušenosti z cílených dezinformací v oblasti radiační ochrany

Česká republika se setkala poprvé s poměrně masivní profesionální dezinformační kampaní v oblasti radiační ochrany v roce 2017. Bylo zneužito zveřejnění informace o stopových množstvích ^{131}I , který byl identifikován v ovzduší některých států Evropy skupinou laboratoří sdružených v Ro5.

Ing. Ivana Fojtíková, Ing. Michal Jankovec,
Ing. Jiří Hůlka

Státní ústav radiační ochrany, v.v.i.

RNDr. Zdeněk Rozlívka

Státní ústav radiační ochrany, v.v.i.

Předkládaný článek představuje veřejnou výzkumnou instituci SÚRO, v.v.i., její působnost a činnosti, které souvisí s radiační ochranou a nově i s jadernou bezpečností.

This article introduces the public research institution SÚRO (National Radiation Protection Institute), its scope and activities related to radiation protection and now also to nuclear safety.

Současný Státní ústav radiační ochrany, v.v.i. (SÚRO) je přímým pokračovatelem institucí, v nichž se v České republice formovala úroveň oboru hygieny záření a v nichž se organizovalo i vzdělávání příslušných odborníků. Největší význam pro rozvoj oboru měla činnost, personální obsazení a technické vybavení Výzkumného ústavu hygieny záření, který byl zřízen v roce 1965 a v roce 1970 včleněn do Institutu hygieny a epidemiologie (IHE) jako Centrum hygieny záření (CHZ). V roce 1995 bylo CHZ delimitováno z rezortu zdra-

votnictví do SÚJB, který se stal zřizovatelem rozpočtové organizace SÚRO, jež byla v roce 2010 transformována na veřejnou výzkumnou organizaci SÚRO, v.v.i. V roce 2017 byl do ústavu začleněn i úsek jaderné bezpečnosti.

Hlavní činností ústavu je výzkum v oblasti ochrany před ionizujícím zářením a nově i jaderné bezpečnosti. Klíčovými tématy výzkumu jsou bezpečnost životního cyklu jaderných zařízení (jaderné i technické bezpečnosti i radiační ochrany), výzkum monitorování a zvládnutí radiačních mimořádných událostí (dále RMU), výzkum ozáření pracovníků i obyvatelstva z umělých zdrojů ionizujícího záření i z přírodních zdrojů ionizujícího záření vč. radonového programu ČR, dále výzkum tzv. lékařského ozáření (radioterapie, radiodiagnostika) i výzkum nových detekčních a vyhodnocovacích technologií. Kromě výzkumu pro potřeby státu je pro ústav nová a dnes již rozsáhlá účinná spolupráce s průmyslem. Součástí mise ústavu je i zajištění dlouhodobě stabilní infrastruktury výzkumu.

Mimo výzkumnou činnost SÚRO vykonává i další činnosti na základě požadavků SÚJB, zejména pro plnění jeho úkolů podle zákona č. 263/2016 Sb. (Atomový zákon). Jde o podporu státní správy při hodnoticích a kontrolních činnostech, provádění měření na pracovištích se



Obr. 1: Unikátní sestava 4 HPGe detektorů v kobce celotělového počítače určená pro stanovení radionuklidů s nízkými energiemi záření gama a X (obvykle v lebce) nebo pomocí 3 detektorů v plicích

Obr. 2: Dvě odběrová zařízení aerosolů „Snow White“ s průtokem 900 m³/h, s on-line měřením radionuklidů nad aerosolovým filtrem (scintilační detektor pod kopulí, HPGe detektor) a automatickým přenosem dat pro citlivá měření radionuklidů v ovzduší



zdroji ionizujícího záření vyžádaných inspektory, provádění laboratorních rozborů vzorků odebraných inspektory, dále zajištění speciální osobní dozimetrie vč. vnitřního ozáření.

Velmi významnou část činnosti SÚRO představuje trvalé zajištění připravenosti k zvládnutí RMU, tj. hrozící nebo nastalé radiační havárie, nálezů, zneužití nebo ztráty radionuklidového zdroje, zahrnující výjezdy a zásahy mobilní pozemní nebo letecké skupiny. Znamená to také nepřetržité zajištění radiační monitorovací sítě ČR pro časnou fázi radiační havárie, zahrnující síť včasného zjištění, měřicí síť kontaminace ovzduší, teritoriální síť TLD, provoz centrální laboratoře radiační monitorovací sítě ČR připravené k rychlé odezvě na RMU. Ústav organizuje a vyhodnocuje porovnávací měření pro potřeby zřizovatele. Podílí se i na přípravě odborných podkladů pro dokumenty legislativní i nelegislativní povahy. Součástí činnosti je i analyticko-koncepční skupina školená pro analýzy dopadu RMU a zpracování návrhů opatření pro jednotlivé fáze jejího vývoje, ústav udržuje programy pro výpočet dopadů havárie vč. zálohy pro krizové koordinační centrum SÚJB, podílí se na mezinárodní výměně dat z monitorování např. ECURIE/EURDEP, shromažďuje a dlouhodobě uchovává kvalifikované informace a znalosti v oblasti radiační ochrany a jaderné bezpečnosti, včetně dat.

SÚRO dále participuje na programech a projektech mezinárodních organizací jako jsou MAAE, Comprehensive Nuclear-Test-Ban

Treaty Organization (CTBTO), United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), pracuje ve skupině expertů EU GoE Article 31 of the Euratom Treaty, ústav je zapojen do evropských platform Neris, EURADOS, SITEX, ESTRO, EFOMP. Za mezinárodní ocenění kvality výzkumu považujeme fakt, že memoranda o výzkumné spolupráci se SÚRO podepsaly jak Mezinárodní agentura pro atomovou energii ve Vídni, tak The Centre for Environmental Creation Fukushima.

Po transformaci SÚRO na veřejnou výzkumnou organizaci v roce 2010 došlo k velkému nárůstu počtu výzkumných projektů a úspěšných výsledků ve všech oblastech činnosti. Mezi mezinárodně úspěšné výsledky výzkumu uvedme například technologie vyvinuté společně s firmou NUVIA – nový typ monitorovacího vozu pro mobilní skupiny, stanice pro měření dávkového příkonu při black-outu, bezpilotní prostředky pro měření pole záření gama, systém pozemních robotických měření, velkokapacitní zařízení pro měření ¹³¹I ve štítné žláze dětí (kapacita 100 dětí/hod), inovace celotělového počítače pro stanovení transuranů v těle a nový typ gama-automatu s HpGe detektory, nový automatický citlivý aerosolový sampler HAMRAD s on-line měřením pro retrospektivní forenzní určení zdroje

úniku radionuklidů do ovzduší, dále nové typy portálových monitorů pro záchyty ilegálního transportu radionuklidů (letišť, chráněné prostory), „učící se“ monitorovací stanice pro on-line měření ^{137}Cs ve vodních tocích, software AGAMA pro letecká měření scintilačními detektory a nový letecký spektrometrický systém s HpGe detektory, oba partneři se tak etablovali v síti evropských leteckých skupin. Ústav je průkopníkem občanských měření radioaktivity v Evropě (citizen science), spolupracuje úzce s japonsko-americkou skupinou Safecast, vytvořil software pro zobrazení dat pro veřejnou správu a měřicí síť pro školy, novinkou je nízkonákladový dozimetr na bázi NaCl s vyhodnocením metodou opticky stimulované luminiscence (OSL). S katedrou jaderných reaktorů ČVUT bylo u jaderného reaktoru VRABEC vybudováno kalibrační zařízení MONTE pro kalibrace přístrojů ve složitém spektru gama a cvičení osob zasahujících u jaderných havárií. S ENKI a zemědělskými fakultami se zabývá využitím bioplynové stanice pro minimalizaci kontaminovaných zemědělských hmot po radiační havárii s využitím vznikajícího čistého bioplynu k získání energie. V oblasti velkých infrastruktur s ČVUT ÚTEF vyvinul komplexní ultra-čistou místnost v podzemní laboratoři LSM Modane ve Francii a zařízení pro dodávání bezradonového vzduchu a v oblasti radiační ochrany začal zavádět pixelové detektory vyvinuté ve spolupráci s CERN. Radonová a thoronová laboratoř

SÚRO je využívána MAAE k mezinárodním porovnávacím měřením i komerčními vývojovými firmami z celého světa, v ústavu je spolu s ČVUT vybudována první evropská akreditovaná laboratoř pro měření difuze v izolacích, s Teslou byl vyvinut nový typ radonových senzorů pro budovy. Epidemiologická studie souvislosti expozice radonu a karcinomu plic je využívána UNSCEAR i mezinárodní komisí pro radiologickou ochranu ICRP.

Od roku 2017 je v SÚRO budován úsek jaderné bezpečnosti pro podporu SÚJB jako Technical Support Organization (TSO pro oblast jaderné bezpečnosti). TSO zahrnuje oddělení hodnocení a výzkumu jaderné bezpečnosti, oddělení podpory výkonu státního dozoru a oddělení pro bezpečné nakládání s radioaktivními odpady a vyřazování jaderných zařízení. Počínaje rokem 2021 bude SÚRO plně funkčním vědecko-výzkumným a expertním ústavem SÚJB i pro oblast jaderné bezpečnosti, členem evropské asociace ETSON a partnerem domácích a mezinárodních výzkumných organizací zabývajících se výzkumem jaderné bezpečnosti a bude mít schopnosti pro provádění kompetentní a nezávislé expertízy ve všech základních oblastech souvisejících s hodnocením jaderné bezpečnosti. Jeho další personální a odborný růst bude záviset na dalším rozvoji jaderné energetiky v ČR.

RNDr. Zdeněk Rozlívka

zdenek.rozlivka@suro.cz

Absolvent Matematicko-fyzikální fakulty University Karlovy v Praze, obor jaderná fyzika. Dlouhodobě působil jako inspektor na Státním úřadu pro jadernou bezpečnost, kde se zabýval bezpečností radioaktivních zdrojů. Od roku 2011 působí jako ředitel SÚRO, v.v.i.



Prof. RNDr. František Běhounek, DrSc.

**Emilie Těšínská, Ústav pro soudobé dějiny AV ČR,
Jiří Marek, Tomáš Čechák, Ladislav Musílek a Aleš John**

František Běhounek byl předním československým odborníkem a vedoucím pracovníkem v oboru dozimetrie záření. Ve svém životě a profesní kariéře byl svědkem a účastníkem vývoje jaderných oborů od počátečních výzkumů přírodní radioaktivity a kosmického záření po využití energie atomového jádra k mírovým i vojenským účelům.

Narodil se v Praze 27. října 1898. V letech 1916–1920 absolvoval studium matematiky a fyziky na tehdejší české Karlo-Ferdinandově univerzitě v Praze. Se stipendiem francouzské vlády odjel na podzim 1920 na roční stáž do *Laboratoire Curie* v pařížském *Institut du radium*, kde se pod vedením Marie Curie-Skłodowské seznámil s metodikou studia přírodní radioaktivity. Po návratu v listopadu 1921 byl jmenován asistentem-fyzikem Státního ústavu radiologického RČS při ministerstvu veřejných prací; v roce 1933 se stal přednostou ústavu. Prováděl rutinní měření jáchymovského radia, radioaktivity pramenů a vzduchu v jáchymovských dolech a okolí. Zúčastnil se dvou zahraničních výprav k severnímu pólu (Amundsen–Ellsworth–Nobile v roce 1926 a Umberto Nobile v roce 1928), během kterých prováděl měření ionizace a radioaktivity vzduchu k objasnění původu tzv. pronikavého záření atmosféry.

Na základě publikace výsledků měření na Špicberkách se v roce 1929 habilitoval pro obor atmosférická elektřina na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy. S profesorem Jaroslavem Heyrovským napsali učebnici „Úvod do radioaktivity“ (vydala Jednota čs. matematiků a fyziků v roce 1931). V roce 1932 byl



delegován do meziresortní česko-německé vědecké komise pro výzkum tzv. jáchymovské hornické nemoci; prováděl radioaktivní analýzu zpopelněných orgánů horníků zemřelých na karcinom plic.

V srpnu 1945 odešel ze Státního radiologického ústavu do Radioléčebného ústavu Čs. spolku pro výzkum a léčení zhoubných nádorů (později státní Onkologický ústav). Zde vybudoval výzkumné fyzikální oddělení, které pomáhalo zajistit dozimetrické služby a radiačně hygienický dohled nad lékařskými pracovišti. K 1. lednu 1956 bylo oddělení organizačně začleněno do Ústavu jaderné fyziky ČSAV v Řeži a jeho činnost zaměřena



na dozimetrii spojenou s výzkumy a využitím jaderné energie. Pro oddělení byl v Praze-Libni vybudován nový pavilon. K 1. lednu 1972 se pod Běhounkovým vedením osamostatnilo jako Ústav dozimetrie záření ČSAV.

Po válce pokračoval v pedagogické činnosti na Přírodovědecké fakultě UK. V roce 1954 byl jmenován profesorem pro obor radioaktivita na Matematicko-fyzikální fakultě UK a v roce 1957 převeden na Fakultu technické a jaderné fyziky UK (později Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT), kde působil jako vedoucí katedry jaderné chemie, od září 1963 jako vedoucí katedry dozimetrie a aplikací ionizujícího záření.

V roce 1953 byl zvolen členem korespondentem a v roce 1960 akademikem ČSAV. Pracoval v řadě akademických a resortních komisí v oboru dozimetrie záření, radiační ochrany a jaderné bezpečnosti. Byl československým expertem ve Vědecké komisi OSN pro studium účinků atomového záření (UNSCEAR) a ve WHO. V roce 1956 stál spolu s dalšími odborníky také u založení časopisu Jaderná energie.

V roce 1955 mu byla udělena vědecká hodnost doktor fyzikálně-matematických věd (bez obhajoby) a propůjčen Řád práce za vědecko-výzkumnou činnost v oboru ochrany před zářením. V roce 1957, na konferenci UNESCO o radioizotopech, byly jeho práce v oboru dozimetrie záření oceněny Stříbrnou medailí města Paříže. V roce 1963 byl zvolen čestným členem Čs. lékařské společnosti J. E. Purkyně na návrh onkologické sekce. V roce 1968, u příležitosti 70. narozenin, mu byl propůjčen Řád republiky za celoživotní

dílo, obdržel Zlatou Felberovu medaili ČVUT za pracovní zásluhy na Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské a zlatou plaketu ČSAV Za zásluhy o rozvoj ve fyzikálních vědách.

U širší veřejnosti je znám hlavně jako autor populárně vědeckých knih o radioaktivitě, záření a atomové energii a jako autor dobrodružné a vědecko-fantastické literatury pro mládež. Zemřel 1. ledna 1973 v Karlových Varech, ve věku nedožitých 75 let.

Požádali jsme několik pamětníků, které profesor František Běhounek učil, nebo kteří s ním spolupracovali, o osobní vzpomínku:

Ing. Jiří Marek, prezident spolku

Jaderní veteráni

Počátkem roku 1966 nás čekala zkouška z dozimetrie, a to u tehdy našeho asi nejznámějšího a nejpopulárnějšího vědce – profesora Běhounka. Pro každého z nás to byla událost a také čest, setkat se s ním na sklonku jeho kariéry. I přesto, jako obvykle, jsem se nestačil naučit úplně všechno – vždy šlo o to, aby se examinátor trefil. Na zkoušce jsem si vytáhl snad ten nejobtížnější příklad, ale nějak jsem se s tím popasoval, doplňující otázky pak byly bez problémů. Tak jsem tušil, že to snad dopadne. A pak to začalo – po půlhodině zkoušení si pan profesor vyžádal index a začal v něm listovat. To čekání na verdikt je vždy stresující, potil jsem se více než při zkoušení. A pan profesor v indexu se zálibou listoval a začal komentovat: „Kolego, tady máte chvalitebnou, tady taky..., no vida, zde je výborná..., ale z praktika máte zase chvalitebnou...” – to vše jsou neomylné příznaky toho, že následně zaklapne index a vrátí mi ho bez svého podpisu. Toto trvalo nejméně patnáct minut, byl jsem mokrý jako po průtrži mračen. A poslouchal jsem dále: „... od kolegy Schütze máte chvalitebnou..., ale co tady – od kolegy Škramovského dobrou...” a pak se odtrhnul od indexu a přes svá pověstná asi centimetr tlustá brýlová skla se na mě podíval a prohlásil: „Ale u mě máte výbornou!“. Ten kámen, který mi spadl ze srdce by jinde než v budově Ústavu dozimetrie na Bulovce (festovní stínicí beton) propadl až do přízemí. Na takovou zkoušku, jeho pohled a úsměv se nedá zapomenout.

Profesor Tomáš Čechák, Katedra dozimetrie a aplikace ionizujícího záření FJFI ČVUT

Na semináře pořádané v Ústavu dozimetrie záření byli zváni i studenti vyšších ročníků. Na jednom semináři profesor Běhounek referoval o pokroku při využívání stopových detektorů a pokoušel se navrhnout, čemu by se mohli v rámci této problematiky jeho spolupracovníci z Ústavu dozimetrie záření věnovat. Měli jsme tehdy, my studenti, pocit, i když jsme si netroufli samozřejmě nic říct, že věnovat se dozimetrickému systému založenému na počítání jednotlivých stop, které nabitě částice zanechají v materiálu, v době, kdy se rozvíjelo používání scintilačních a polovodičových detektorů se špičkovou energetickou rozlišovací schopností, je jako vracet se do časů, kdy se počítaly záblesky způsobené alfa částicemi, dopadlými na stínítko ze ZnS. Samozřejmě jsme tehdy neměli pravdu. Profesor Běhounek dokázal určit, co je na jednotlivých problémech zajímavé a kterým směrem se budou jednotlivé obory rozvíjet, ale dokázal zároveň odhadnout, co lidé s vybavením a prostředky, které byly tehdy k dispozici, budou moci dosáhnout a jaké výsledky by mohli získat. Z Ústavu dozimetrie záření se později stalo v oboru stopových detektorů špičkové pracoviště. Výzkum stopových detektorů a jejich používání pro speciální účely tam probíhá dodnes. V roce 1928 se Běhounek zúčastnil Nobileho polární expedice. Jedním z hlavních vědeckých přínosů profesora Běhouneka a celé výpravy bylo změření hustoty toku kosmického záření ve vysokých zeměpisných šířkách. Naměřené výsledky odporovaly tehdejší představě o zemském magnetickém poli a byly ve své době přijímány s nedůvěrou. Až později se ukázalo, že naměřené výsledky byly správné a že prof. Běhounek měl pravdu. Mezi jeho populární rady studentům patřil výrok: „Máte-li výsledky, kterým věříte, zveřejněte je, i když je neumíte vysvětlit. On se už někdo najde, kdo je dokáže interpretovat.“

Profesor Ladislav Musílek, Katedra dozimetrie a aplikace ionizujícího záření FJFI ČVUT

Se jménem František Běhounek jsem se poprvé setkal, když jsem nedlouho před dosažením teenagerovského věku dostal knížku Trosčnickí polárního moře. To jsem ještě netušil, že za několik let její autor ovliv-



ní můj život jako málokdo jiný. Osobně jsem profesora Běhouneka poznal, když jsem si jako student tehdejší FTJF zvolil nedávno zavedený obor dozimetrie a aplikace ionizujícího záření na jím nově založené katedře stejného jména. V té době již měl patrně určité zdravotní potíže a špatně viděl. Možná proto někteří kolegové neměli jeho přednášky rádi a považovali je za neefektní a místy zmatené. Nemyslím si to. Byly rozvětvené, s řadou odboček, ale vždy se vracely k základní linii výkladu a byla v nich obrovská životní i odborná zkušenost. Občas do nich vsunul i osobní vzpomínku ze svého života, třeba na spolupráci s paní Curieovou. Nepamatuji se ale, že by někdy vyprávěl o tragické expedici vzducholodi Italia, snad se s ní dostatečně vyrovnal svou knihou. A měl bych zmínit jeho mimořádnou laskavost, pochopení pro studenty a ochotu vysvětlovat odborné problémy. Snad mohu tuto vzpomínku zakončit z mé vlastní zkušenosti neověřeným vyprávěním jednoho ze starších kolegů o panu profesorovi jako předsedovi státnicové komise (za určité potvrzení možná mohu považovat můj vlastní výsledek u státnic). Stávalo se, že zkoušený student dost „plaval“ a členové komise se vyjadřovali o jeho výkonu ne právě pozitivně. A pan profesor pak uzavřel diskusi asi takto: „Ano, máte pravdu, jeho dnešní výkon nebyl nejlepší. Ale když přihlédneme ke snaze a výsledkům během studia a k zájmu o obor – navrhuji výbornou.“ Proti jeho autoritě si nikdo z členů komise pocho-pitelně nedovolil nic namítat.

Použité fotografie jsou z pozůstalosti F. Běhouneka, nyní v soukromých rukou.

Experiment THS-15 k potvrzení strategie IVMR v rámci projektu HORIZON 2020

**Ing. Jiří Žďárek, CSc., Ing. Jan Wandrol, Ing. David Bátěk,
Ing. Vladimír Krhounek, Ing. Miroslav Kotouč, Ph.D.,
Ing. Ladislav Vyskočil, Ph.D.**

ÚJV Řež, a. s.

Strategie udržení koria uvnitř tlakové nádoby reaktoru byla zahájena v USA na Univerzitě Santa Barbara v Kalifornii pro reaktor AP-600 MW společnosti Westinghouse. Klíčovým impulsem pro pokračování intenzivního výzkumu v této oblasti však byla těžká havárie na JE Fukušima. Evropská unie svým projektem HORIZON 2020 IVMR zahájila v celém světě bezkonkurenční projekt a výrazně tak přispěla ke zvýšení jaderné bezpečnosti provozovaných, ale zejména nových projektů jaderných elektráren.

The investigation of In-Vessel Melt Retention strategy started at the University of Santa Barbara in California, aiming at its application to the WEC AP-600 reactor. The severe accident at Fukushima NPP was a key impulse for intensive continuation of this research. The European Union with HORIZON 2020 IVMR Project started unique project without any similar project over the world, with most significant contribution to increase safety for existing, but mainly new built NPPs.

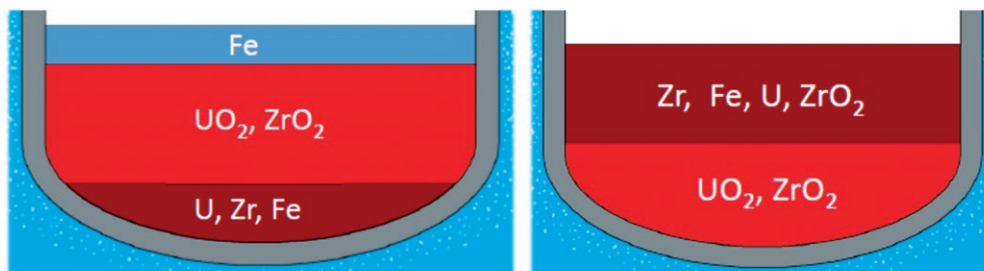
ÚVOD

Velká část nově budovaných nebo projektovaných jaderných elektráren (JE) ve světě chce využít pro zvládnutí hypotetických těžkých havárií koncepci zadržení roztavené aktivní zóny (tzv. koria) uvnitř tlakové nádoby reaktoru (TNR) odvodem tepla z vnějšího povrchu nádoby přes zaplavenou šachtu reaktoru (tzv. strategie IVMR – In-Vessel Melt Retention). Tato strategie byla navržena již v 90. letech pro projekt JE AP-600 a byla doposud mj. zpětně implementována na většině jaderných bloků s reaktory VVER-440 (prvním byla finská JE Loviisa). Pro reaktory vyšších výkonů (cca 3 000 MWt) je nutné minimalizovat neurčitosti a potvrdit nové poznatky o chování bazénu koria uvnitř TNR.

Jedním z problémů při potvrzení úspěšnosti strategie IVMR jsou nejistoty fyzikálního modelování koria ve spodní části dna TNR a tranzitních chemických a fyzikálních reakcí s materiálem TNR, které vedou k výrazné ablaci stěny TNR. Od počátečních hodnocení, vytvořených v 90. letech, znalosti o bazénu koria

a mechanického chování TNR pokročily a je nyní možné zajistit přesnější modelování uvedených jevů. Evropský projekt H2020 IVMR umožnil výrazně zlepšit tyto modely z hlediska hodnocení bezpečnosti.

Mezi jevy s nejvyšší důležitostí byly identifikovány tepelné přechody (zejména výrazné hustoty tepelných toků do stěny nádoby) v horní kovové vrstvě a chemicko-tepelné interakce mezi lehkou kovovou a těžší oxidickou vrstvou. Dalšími důležitými jevy jsou přechodové stratifikace jednotlivých vrstev koria, které může vykazovat buď 3vrstvou či 2vrstvou strukturu (typické materiálové složení v jednotlivých vrstvách ukazuje Obrázek 1, [3]). První konfigurace nastává při nedostatku oxidantu při degradaci aktivní zóny – AZ (rychlý scénář těžké havárie, např. LB LOCA – Large Break Loss Of Coolant Accident), druhá konfigurace nastává při dostatečné oxidaci zirkoniového pokrytí při degradaci AZ (pomalý scénář TH, např. Station Black Out – SBO). Výpočetnímu modelování jevu termo-chemické separace jednotlivých vrstev v kódu ASTEC [4] se věnu-



Obr. 1: Typická 3vrstvá (vlevo) resp. 2vrstvá (vpravo) konfigurace taveniny v dolní směšovací komoře reaktoru při strategii IVMR; obrázek převzat z [4]

je např. příspěvek [5]. Určité nejistoty existují v odhadu termo-fyzikálních vlastností směsi $U+Zr+Fe+O$, jejich redukci se věnují paralelní projekty v rámci programu TA ČR (např. experimentální výzkum vlastností koria ve „studeném kelímku“ [6]). Vysokou důležitost má též popis mechanického chování částečně odtavené stěny TNR, kde elasticita, plasticita a creep hrají významnou roli.

NEJDŮLEŽITĚJŠÍ INFORMACE K PROJEKTU VÝSTAVBY THS-15 (TERMO-HYDRAULICKÁ SMYČKA)

Účelem experimentálního zařízení je prověřit a demonstrovat schopnost odvodu zbytkového tepla taveniny aktivní zóny a vnitroreaktorových konstrukcí chlazením vnější stěny reaktorové nádoby vodou při těžké havárii reaktoru.

Základ IVMR spočívá v zaplavení šachty a odvodu vzniklého tepla bez dosažení krize varu – CHF (Critical Heat Flux) na povrchu TNR. Pro reaktor VVER-1000 byly provedeny analýzy, jejichž závěrem je potřeba dalších opatření, především s cílem zajistit, aby během chlazení nedošlo ke krizi varu na vnějším povrchu nádoby [1].

Chlazení z vnějšího povrchu TNR bylo experimentálně studováno v zahraničí pro případy sférického dna TNR. Byla získána data na „full-scale“ experimentálních zařízeních, např. ULPU, SULTAN, aj. Z těchto výsledků byly vytvořeny korelace pro získání křivek kritického tepelného toku – CHF. Hodnoty CHF závisí na mnoha podmínkách – geometrie chladicího kanálu, termohydraulické parametry chladiva (průtok, lokální suchost, tlak), stav povrchu

TNR, typ použitého chladiva atd. V našem případě bylo nutné prověřit vliv odlišné geometrie TNR (VVER mají semieliptický tvar dna) a dalších parametrů na hodnoty CHF [2]. Hlavními cíli testů na THS-15 bylo:

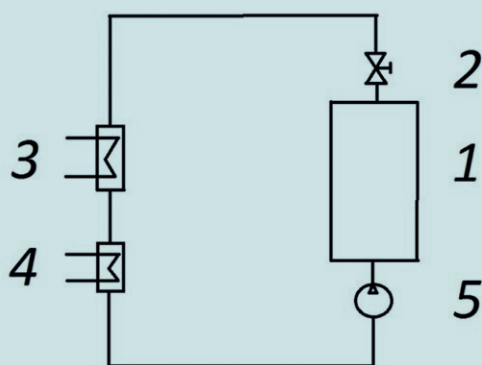
- ocenit efektivitu chlazení TNR během těžké havárie pomocí IVMR strategie pro VVER-1000
- získat experimentální data potřebná pro ověření výpočtových modelů chlazení TNR během IVMR
- experimentálně ověřit možné metody pro intenzifikaci odvodu tepla, např. úpravou povrchu TNR, přidáním aditiv do chladicího média, optimalizací deflektoru atp.

Závěrečné parametry experimentálního kanálu, vycházející z výpočtových analýz:

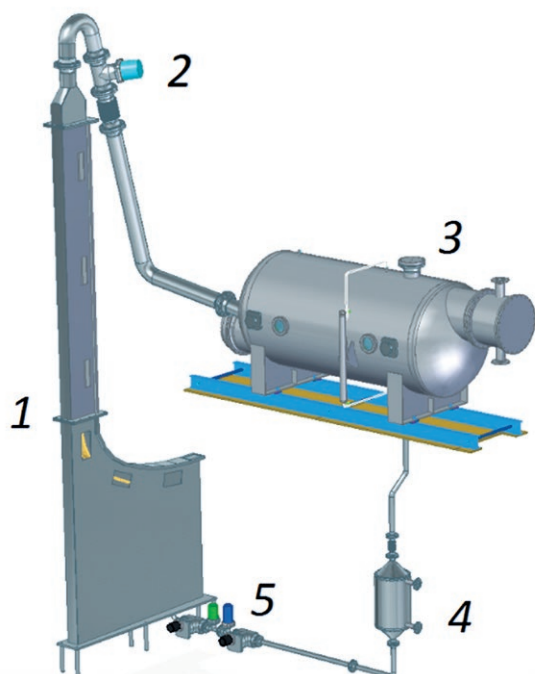
- šířka kanálu (ve válcové části TNR) – 150 mm
- spojení oceli a mědi pomocí metody explosive welding
- tloušťka plátované oceli, ekvivalentu materiálu TNR – 3 mm
- tloušťka plátované mědi pro topné panely – 150 mm

Název parametru	Hodnota parametru
příkon experimentálního zařízení	750 kW
ztráty (max. 20 %)	150 kW
záloha pro možné zvýšení výkonu	20 %
výpočtový tlak	0,7 MPa
šířka modelového povrchu TNR	0,15 m

Tab. 1: Vybrané projektové hodnoty experimentálního zařízení THS-15



Obr. 2: Principiální schéma primárního okruhu (1 – model šachty reaktoru, 2 – armatura modelující zúžený průchod páry v oblasti opor reaktoru, 3 – kondenzátor, 4 – dochlazovač, 5 – čerpadlo)



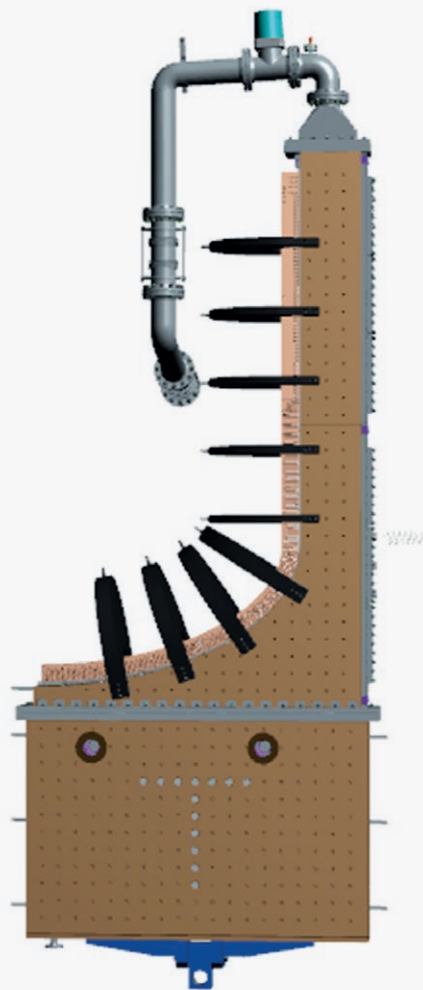
Obr. 3: Vizualizace uspořádání primárního okruhu 3D (1 – model šachty reaktoru, 2 – armatura modelující zúžený průchod páry v oblasti opor reaktoru, 3 – kondenzátor, 4 – dochlazovač, 5 – čerpadlo)

SCHEMATICKÉ ZOBRAZENÍ THS-15

ANALYTICKÁ PODPORA PROJEKTŮ PRO VÝZKUM STRATEGIE IVMR

Hlavní oblasti jevů, ovlivňující možnost překročení kritického tepelného toku, byly identifikovány a detailně publikovány.

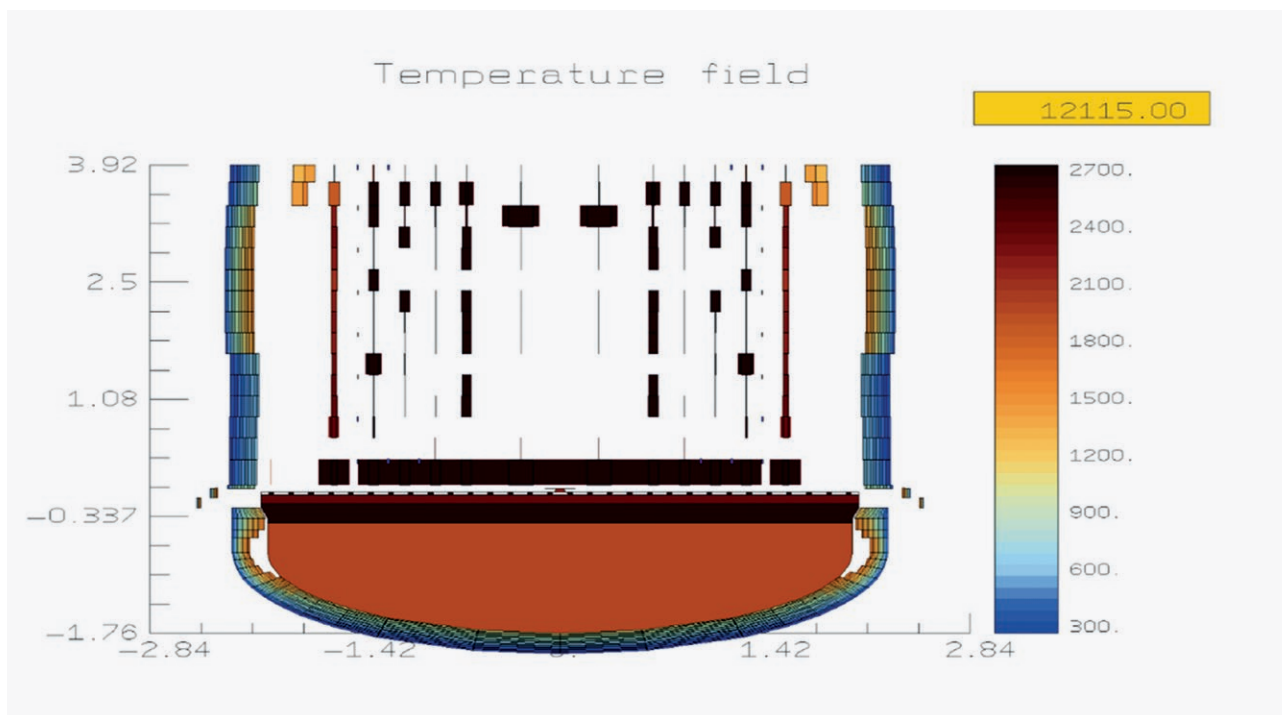
První oblast se týká mechanického selhání TNR, a to creepem, překročením meze kluzu (plasticita) či případně vlivem chemického



Obr. 4: 2D model experimentálního kanálu zařízení THS-15

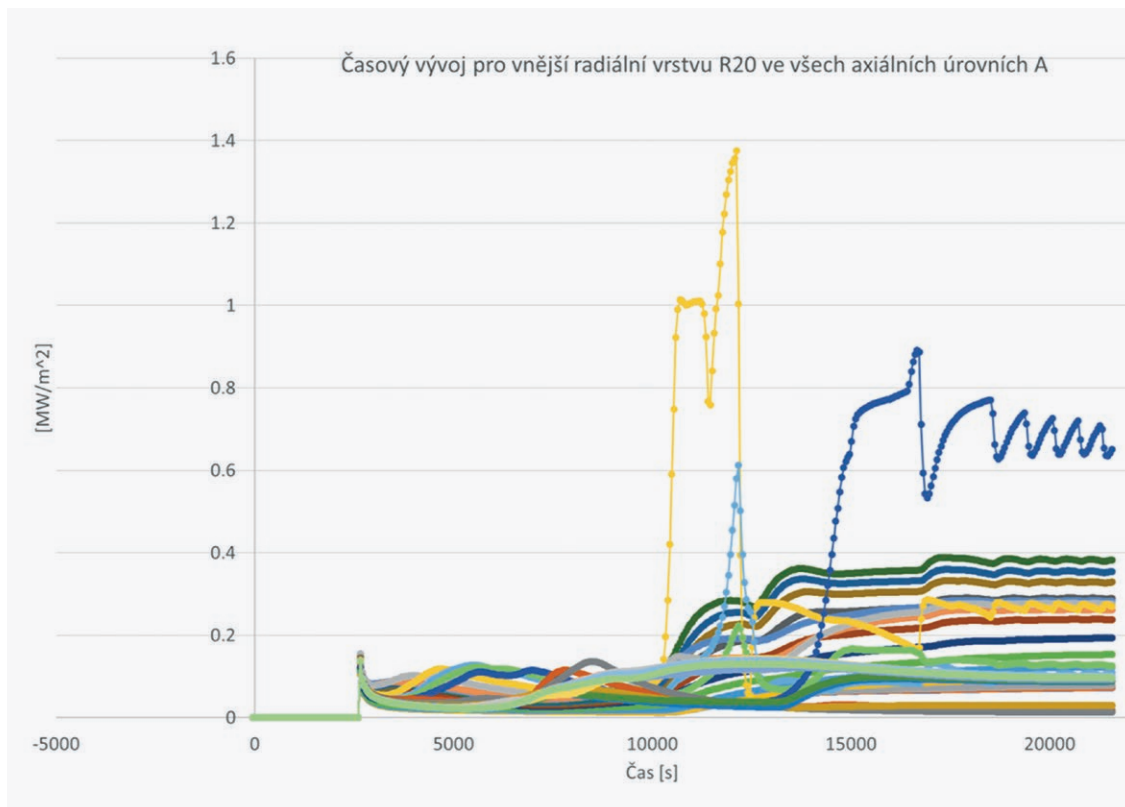
napadání. Důležitou roli hraje tvar odtavené TNR a její zbytková tloušťka. Pro přesný popis tohoto tvaru je nezbytné správně modelovat degradační procesy v AZ. Mezi kódy, které tyto procesy umí řešit, patří tzv. integrální kódy MELCOR, MAAP a ASTEC. V současnosti panuje konsenzus, že maximální tepelný tok na stěnu TNR a riziko porušení je nejvyšší v případě tranzitní situace, kdy stratifikace bazénu koria je stále ve vývoji a kdy hmotnost oceli je nižší (tudiž i tloušťka kovové vrstvy je menší) než v konečném stavu. Obrázek 5 zobrazuje grafický výstup z kódu ASTEC, na kterém je patrné rozvrstvení taveniny a odpovídající tvar TNR s určitou odtavenou částí. Obrázek 6 pak uvádí vývoj hustoty tepelného toku z vnějšího povrchu stěny TNR do vody v chladicím kanálu. Okamžiku dosažení maxima cca 1,4 MW/m² odpovídá stav roztavené AZ z obrázku 5.

Druhou oblastí je excesivní tepelný tok (tj. lokálně vyšší než CHF) při přechodových stavech. Výpočtové práce s kódy typu CFD, provedené v rámci projektu IVMR [7] a [8] významně přispěly k pochopení problematiky,



Obr. 5: Stav taveniny (3vrstvá konfigurace) a tvar stěny TNR v čase největšího tepelného toku

Obr. 6: Časový vývoj hustoty tepelného toku z jednotlivých segmentů modelu dna TNR do chladiva v externím kanálu





Obr. 7: TSH-15 Pohled na kondenzátor a armaturu, modelující zúžený průchod páry v oblasti opor reaktoru

a to díky novým korelacím pro přestup tepla z tenkých vrstev kovu do stěny TNR. Na základě dostupných experimentálních dat byl vyvinut nový přístup k modelování proudění a sdílení tepla v kory na dně nádoby reaktoru pomocí CFD kódu Ansys Fluent.

Třetí důležitou oblastí je ablace (tj. odtavování) stěny TNR, která přímo souvisí s kinetikou stratifikace koria v dolní části dna TNR. Kinetika stratifikace byla zkoumána v rámci programu CORDEB v (NITI) Rusku. Tyto studie pokračovaly v projektu CORDEB 2 s cílem dále ocenit kinetické charakteristiky separace obou vrstev koria.

EXPERIMENTÁLNÍ VÝSLEDKY, SHRNUTÍ

Zásadní závěr z dosud provedených testů je, že jsme dosáhli v kritických místech vyššího teplotního toku bez krize varu a že tedy je již nyní prokázána dostatečná rezerva do CHF. Zásadní důležitost má i fakt, že tento výsledek byl dosažen bez instalace deflektoru a bez úprav povrchu. Vzhledem k výsledkům analytických výpočtů různými kódy a výchozími předpoklady je nutné prokázat možnost zvýšení rezervy do CHF v maximální možné míře.

POKRAČOVÁNÍ AKTIVIT ÚJV ŘEŽ VE VÝZKUMU STRATEGIE IVMR

V současnosti ÚJV Řež pokračuje ve výzkumných aktivitách např. díky dotačním projektům z fondů TA ČR, zejména projektu „Zvýšení bezpečnostní rezervy aplikací strategie IVMR pro VVER-1000“, kde je cílem prověřit na TSH-15 možné zlepšení podmínek chlazení díky úpravě povrchu TNR. V rámci projektu jsou provedeny i rozsáhlé výpočtové analýzy.

Po ukončení projektu HORIZON 2020 IVMR byly zahájeny i dva významné mezinárodní projekty – OECD/NEA WGIAGE-WGAMA Task Group on the RPV Integrity Assessment for In-Vessel Retention (Status Report) a IAEA CRP Developing a Phenomena Identification and Ranking Table (PIRT) and Validation Matrix, and Performing a Benchmark for In-Vessel Melt Retention.

V současné době je ÚJV Řež jedinou organizací na světě, která pokračuje v oblasti výzkumu IVMR s velkorysným experimentem. Pevně věříme, že plánované cíle budou úspěšně splněny a bude možné se s výsledky podílet v některém příštím vydání časopisu.



Obr. 8: Usazení chladicího kanálu

Reference:

1. D. Bátěk, V. Krhounek a kol. Úvodní technické zadání termohydraulické smyčky THS-15, zpráva DITI 2301/639, ÚJV Řež, 2016
2. J. Zdarek, D. Batek et al. Final report on full scale tests, zpráva D4.4 v rámci WP4 projektu H2020 IVMR (No. 662157), ÚJV Řež, 2019
3. Yu. Zvonarev et al. In-vessel melt retention for VVER. Main processes and approaches to IVMR modelling in NRC "Kurchatov institute", Workshop on Modeling, Simulation and Methodology, June 20-21 2017, Alkmaar, Netherlands
4. P. Chatelard et al. Main modelling features of ASTEC V2.1 major version, Annals of Nuclear Energy, vol. 93 (July 2016), p. 83-93
5. L. Carénini, F. Fichot. Improvement of lower plenum modelling in ASTEC, ASTEC Users' Club, October 9-11, 2018, Aix-en-Provence, France
6. Závazné parametry řešení projektu TK03020149 Měření vlastností korá a analýzy jeho rozlivu při vysokých teplotách, TA ČR Program THÉTA, 09/2020-08/2024
7. Le Guennic, E. Skrzypek, L. Vyskocil, M. Skrzypek, A. Shams, L. Saas. Analysis of In-Vessel Corium Pool Behaviour Using CFD Tools. The 17th International Topical Meeting on Nuclear Reactor Thermal Hydraulics (NURETH-17), Qujiang Int'l Conference Center, Xi'an, China, September 3-8, 2017
8. A. Shams, D. Dovizio, K. Zwijsen, C. Le Guennic, L. Saas, R. Le Tellier, M. Peybernes, B. Bigot, E. Skrzypek, M. Skrzypek, L. Vyskocil, L. Carénini, F. Fichot. Status of computational fluid dynamics for in-vessel retention: Challenges and achievements Annals of Nuclear Energy 135 (2020), <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2019.107004>
9. Fichot F., Carénini L., Sangiorgi M., Hermsmeyer S., Miasoedov A., Bechta S., Zdarek J. & Guenadou D. Some considerations to improve the methodology to assess In-Vessel Retention strategy for high-power reactors, Annals of Nuclear Energy, 119, 36-45, 2018

Ing. Jiří Žďárek, CSc

jiri.zdarek@ujv.cz

viceprezident pro rozvoj a podnikání Divize Integrita a technický inženýring ÚJV Řež, a. s.

Absolvoval České vysoké učení technické v Praze, na katedře materiálu Fakulty technické a jaderné fyziky. V období 1968-1978 pracoval ve Výzkumném ústavu Sigma jako expert a vedoucí oddělení výzkumu materiálů. V roce 1968 zahájil doktorské studium na Pennsylvania State University v USA, Ph.D. dokončil na ČVUT-FJFI v roce 1972. Roční postdoktorské studium absolvoval v roce 1975 na University of Sheffield v Anglii. V roce 1979 nastoupil do Ústavu jaderného výzkumu Řež jako ředitel Divize Integrita a technický inženýring. Funkci ředitele vykonával až do roku 2009, kdy zaujal pozici viceprezidenta pro rozvoj podnikání této divize.

Během své dosavadní kariéry jako expert zastupoval ČR v ASME, v OECD/NEA WGIAE, při mezinárodních jednáních ČR s Rakouskem (Protokol z Melku), v rámci česko-ruské spolupráce v jaderné energetice, zastupoval ČEZ/ÚJV Řež v EPRI (USA). Účastnil se desítky expertních misí IAEA v oblasti jaderné bezpečnosti.



Zapojení veřejnosti do občanských měření radioaktivity

**Ing. Martin Simandl ⁽¹⁾, Ing. Ivana Fojtíková ⁽²⁾,
Ing. Ladislav Dušek ⁽¹⁾, Ing. Jiří Hůlka ⁽²⁾,
Mgr. Jan Helebrant ⁽²⁾, Ing. Karel Jílek ⁽²⁾, Ing. Petr Kuča ⁽²⁾,
Ing. Josef Voltr, CSc. ⁽³⁾, Ing. Václav Řeřicha ⁽¹⁾,**

TESLA Hloubětín a.s. ⁽¹⁾, Státní ústav radiační ochrany, v.v.i. ⁽²⁾, České vysoké učení technické v Praze ⁽³⁾

ČR patří k zemím, kde je veřejnost spíše nakloněna provozování jaderné energetiky a má i poměrně dobré znalosti o poměru dávek z jednotlivých složek záření, jak ukázal sociologický průzkum před 15 lety. SÚRO se již od zahájení radonového programu na počátku 90. let dlouhodobě věnuje nejen cílenému informování veřejnosti a analýze vnímání radiačních rizik, ale v posledních letech i přímé podpoře zapojení veřejnosti, samosprávy, dobrovolnických organizací i škol do vlastních měření, které jsou v článku představeny. Očekáváme, že tato iniciativa napomůže veřejnosti v dalším porozumění radiačnímu riziku, v získání, posílení a udržení vzájemné důvěry mezi občany a státní správou v prezentované výsledky měření a jejich interpretaci, což může být podstatné zejména v době možných dezinformačních kampaní. Dalším nezanedbatelným benefitem je možnost zvýšit množství získávání dat v případě radiační mimořádné události.

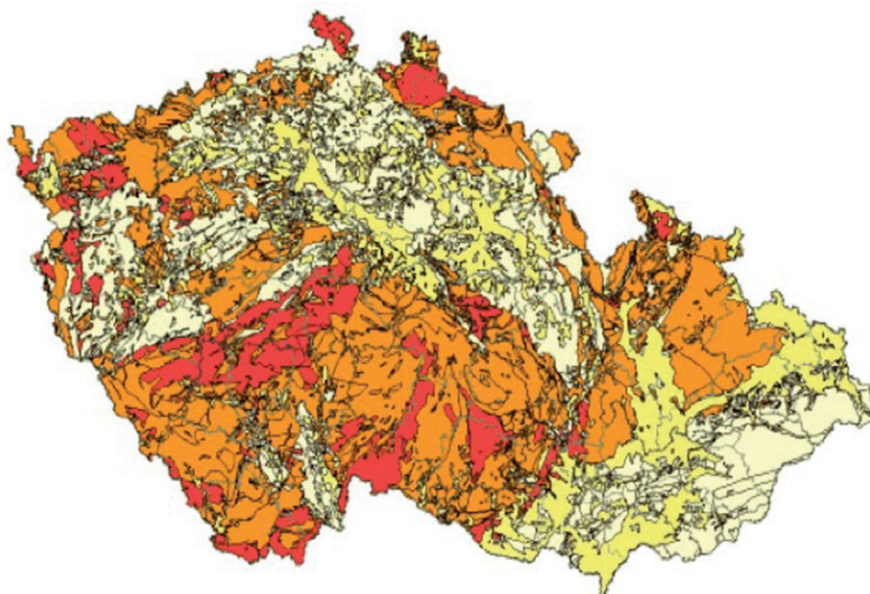
The Czech Republic is one of the countries where the public is more inclined to operate nuclear energy and has a relatively good knowledge of the ratio of doses from individual components of radiation, as shown by a sociological survey 15 years ago. Since the beginning of the radon programme in the early 1990s, SÚRO has been dealing not only with informing the public and analysing the radiation risks perception, but in recent years also with supporting directly the involvement of the public, local government, volunteer organizations and schools in their own measurements. We expect that this initiative will help the public with understanding the radiation risk, with strengthening and maintaining mutual trust between citizens and the state administration in presented measurement results and their interpretation, which may be important especially during possible disinformation campaigns. Another significant benefit is the possibility to increase the amount of data acquisition in case of a radiation emergency.

VÝVOJ MĚŘENÍ PŘÍRODNÍ RADIOAKTIVITY V RADONOVÉM PROGRAMU ČESKÉ REPUBLIKY AŽ PO INTELIGENTNÍ RADONOVÉ SONDY PRO OBČANY

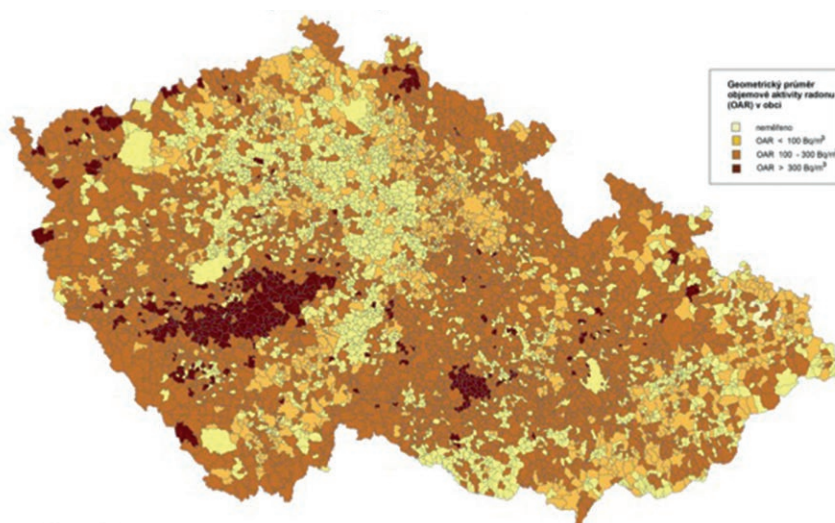
Historie rozsáhlých měření začala objevem budov s vysokou úrovní přírodní radioaktivity na přelomu 70. a 80. let minulého století (jednalo se o některé domy v Jáchymově, rodinné domky z ryncholeckého škvárbetonu a poříčského plynosilikátu a dále budovy na podlaží s vysokým radonovým potenciálem). Česká republika zahájila rozsáhlý výzkum a následně vládní radonový program [1] zaměřený na cílené vyhledávání postižených budov, provedení protiradonových opatření a informování veřejnosti. V programu bylo od poloviny 80. let postupně změřeno téměř 200 tisíc rodinných domů, bytů v bytových domech a prostor v dalších budovách (např.

opakovaně školy, školky a dětská zařízení). S průměrnou hodnotou objemové aktivity radonu v budovách 118 Bq/m³ (to odpovídá průměrné efektivní dávce přes 3 mSv ročně) patří Česká republika k zemím s nejvyšší koncentrací radonu v bytech na světě. Byly nalezeny i obytné budovy s koncentrací radonu odpovídající efektivní dávce pro obyvatele ve výši stovek mSv ročně.

Byly připraveny mapy radonového rizika, vyvinuty metody pro radonovou diagnostiku budov a jejich protiradonová opatření, provedena světově uznávaná epidemiologická studie souvislosti karcinomu plic a množství radonu v budovách a byla připravena legislativa pro ochranu budov před radonem vč. státní podpory pro nejpostiženější budovy. Vzniklo několik desítek firem komerčně zajišťujících měření radonu, provedení protiradonových



Obr. 1: Mapa tzv. radonového indexu ČR – geologická radonová prognózní mapa České republiky; nejvyšší radonové riziko označeno červenou barvou, nejnižší žlutou (zdroj: Česká geologická služba)



Obr. 2: Mapa průměrných hodnot koncentrace radonu v bytech České republiky

opatření, vývoj a výrobu měřicích úspěšně exportovaných přístrojů, byla rozvinuta rozsáhlá dlouhodobá a cílená informační kampaň a proveden sociologický průzkum jejího dopadu. Díky komplexnosti řešení je ČR uznávána MAAE za průkopníka radonového programu v celosvětovém měřítku.

V cílené informační kampani v radonovém programu se veřejnost ve velké míře dozvídala nejen o dávkách z radonu, ale také měla možnost je porovnat s dalšími zdroji ozáření, a to jak z umělých zdrojů vč. jaderné energetiky, tak i z lékařské expozice. Sociologický průzkum následně odhalil, že v ČR panuje poměrně strážlivý názor na složky ozáření obyvatelstva, zejména mezi lidmi s vyšším vzděláním.

Radonová měření byla prováděna buď jako vládní program, nebo jako komerční měření profesionály z důvodů nákladnosti měřicích přístrojů, resp. vyhodnocovací laboratoře stopových detektorů. Technologický pokrok v posledních letech v oblasti polovodičových detektorů (diod) umožnil vyvinout jednoduchá cenově dostupná inteligentní radonová čidla, schopná dlouhodobě a kontinuálně monitorovat koncentraci radonu v prostředí. Tato inovace umožňuje, aby se radonovými senzory vybavili i občané sami. Radonové sondy pracující v on-line režimu s dálkovým přístupem umožňují kromě vlastních měření i automaticky aktivovat protiradonová opatření (např. vzduchotechniku, aktivní podtlakové odvětrávání budov apod.) při překročení vysokých koncentrací, nebo obsah radonu v budově dálkově kontrolovat a regulovat např. přes mobilní telefon.



Obr. 3: Radonové sondy TERA v provedení pro venkovní použití se solárním dobíjením

Česká republika se stala i v této oblasti technologickým inovátorem díky vlastnímu vývoji bateriových kontinuálně měřících radonových sond TERA [2] s bezdrátovým přenosem, vhodných i pro automatické regulace protiradonových opatření (společný vývoj firmy TESLA a SÚRO – projekt MPO FV30112). Základem sondy je difusní měřicí komora s fotodiodou, na kterou se elektrodepozicí v elektrostatickém poli komory sbírají produkty přeměny radonu. Podařilo se dosáhnout poměrně vysoké detekční účinnosti ($MDA = 100 \text{ Bq/m}^3$ při 1 hodině měření nebo 20 Bq/m^3 při 24hodinovém měření, nejistota měření 13 % při referenční úrovni 300 Bq/m^3 a 1 hodině měření) a velkého rozsahu měření do $100\,000 \text{ Bq/m}^3$. Monitor ukládá naměřená data do vnitřní paměti v intervalu typicky 1 hodina (vč. kontrolních spekter alfa) a může je zasílat na server. Poskytuje tak komfortní datové funkcionality drahých měřidel. Systémy také nabízí rozsáhlé monitorovací síťové řešení a jsou nabízeny v řadě alternativních konfigurací s napájením ze sítě nebo z vnitřní baterie, s drátovým nebo bezdrátovým přenosem dat. Nejnovějším řešením je přenosná sonda s akumulátorem (výdrž akumulátoru až 1 rok na jedno nabití) umožňující online vzdálené monitorování pomocí bezdrátové IoT sítě SIGFOX. Sondu lze umístit kdekoli na světě, kde má SIGFOX

pokrytí, což je i případ České republiky. Sonda autonomně odesílá naměřené výsledky v pravidelných intervalech do webové služby MONTES, kde si lze v rámci přiděleného účtu naměřená data okamžitě prohlížet. Hodnoty koncentrace radonu, teploty a vlhkosti jsou přístupné odkudkoliv přes webový prohlížeč, a to i z mobilních zařízení. MONTES umožňuje při překročení nastaveného limitu koncentrace radonu vygenerovat alarmové hlášení ve formě automatického hovoru na mobil uživatele nebo SMS zprávy, případně emailu. Sonda obsahuje GPS modul pro lokalizaci v rozlehlých sítích nebo regionech. To přináší snadné monitorování větší skupiny sond na mapovém podkladu v rámci aplikace MONTES. Mapy umožňují efektivní filtrování naměřených dat, požadované informace lze velmi rychle najít. Přijaté hodnoty jednotlivých veličin je možné současně prezentovat pomocí grafů nebo exportů do Excelu.

Sondy jsou upraveny i pro environmentální použití a umožňují monitorovat i vyšší hodnoty radonu ve venkovní atmosféře, kde se sice běžně vyskytují koncentrace radonu na úrovni $5\text{--}10 \text{ Bq/m}^3$, byly však nalezeny i překvapivě vysoké hodnoty koncentrace radonu v blízkosti hald obsahujících odval z těžby uranových rud, dosahující v době inverze až tisíců Bq/m^3 .

Nově se do sond instalují i detektory gama a postupně i další senzory, takže vznikla komplexní detekční jednotka umožňující zapojení veřejnosti do měření radioaktivity (data jsou ukládána v cloudu), připravená pro instalaci do inteligentních budov a slibující využití i v havarijních situacích.

DOSAVADNÍ VÝVOJ OBČANSKÝCH MĚŘENÍ PRO HAVARIJNÍ SITUACE

SÚRO se paralelně zabývá i občanskými stacionárními i mobilními monitory a jejich možným využitím v oblasti havarijní připravenosti a zavedením radiačního monitorovacího systému na úrovni institucí, škol a občanů.

Pro zajímavost uvedme dva historické příklady občanských iniciativ v minulosti. V roce 1987 zjistil majitel rodinného domu zvýšený dávkový příkon gama ve svém domě pomocí detektoru vypůjčeného z uranového dolu. Následné šetření potvrdilo, že v některých rodinných domech tohoto typu, tj. postavených z radioaktivního ryncholeckého škvárobetonu v letech 1972–1983, je dávkový příkon až $2 \mu\text{Gy/h}$. Jiným případem byla náhodná detekce zvýšeného dávkového příkonu záření gama v blízkosti dětského hřiště v Praze-Podolí pomocí detektoru v osobních náramkových hodinkách v roce 2011; šetření prokázalo, že původcem záření byl zdroj ^{226}Ra (o aktivitě 700 MBq používaný pro radioterapii, ztracený v období před 2. světovou válkou v Praze).

K rozvoji občanských měření ve světě i v ČR došlo po havárii ve Fukušimě (2011). Informace poskytované japonskými úřady veřejnosti byly v populaci často považovány za nedostatečné, avšak technické prostředky pro výměnu informací jak na úrovni veřejné sféry, tak sdílení informací na sociálních sítích byly již na mnohem vyšší úrovni a běžné. Krátce po nehodě založila skupina aktivistů v Japonsku iniciativu SAFecast [3] a v jejím rámci vytvořila i několik typů měřících přístrojů – nejrozšířenějším typem se stal SAFecast bGeigieNano. Kromě detekčních vlastností byl při konstrukci kladen důraz i na jednoduché ovládání a možnost pořízení měřiče za přijatelnou cenu z komponent běžně dostupných v e-shopech. Součástí řešení byl hardwarový a softwarový přístup s otevřeným zdrojovým kódem – čímž byly vytvořeny předpoklady pro rozšíření tzv. občanských měření na široké bázi. Sdílení dat usnadnil připravený systém pro jednoduchou prezentaci výsledků těchto měření ve formě interaktivních map na webovém serveru safecast.org.

Tento příklad občanské iniciativy ukázal na riziko významného snížení důvěry veřejnosti v oficiální informace v případě nedostateč-

né komunikace se státní správou. Při omezeném přístupu k informacím to může mít negativními dopady na chápání radiační situace a logiku provádění ochranných opatření. Proaktivní podpora občanských měření na dobrovolné bázi a využití verifikovaných výsledků jako doplněk profesionálního monitorování je možný způsob, jak lze v budoucnosti situaci zlepšit. Díky spolupráci lze naopak prohloubit důvěru v oficiální informace mj. i na základě důvěryhodného porovnání výsledků oficiálních měření s výsledky měření získaných občany. V České republice byl tento přístup ověřen v projektu RAMESIS [4], [5] (ve spolupráci SÚRO, ÚTEF ČVUT a NUVIA). Projekt byl zaměřen na vytvoření občanské monitorovací sítě, a to stacionární a mobilní. Stacionární je založena na síti pevných monitorovacích bodů s pevnými monitorovacími stanicemi pro školy (detektor na bázi plastického scintilátoru se sběrem signálu pomocí Si-diody s napojením na místní síť LAN s přístupem k internetu). Druhá – mobilní síť – je založena na přenosných občanských kontinuálních monitorech dávkového příkonu. Jde o kompaktní a odolný monitor, vybavený GM detektorem pokrývajícím rozsah měření od hodnot běžného přírodního pozadí v ČR ($0,05 \mu\text{Gy/h}$) až po „havarijní“ hodnoty řádově desítky mGy/h . Měřené hodnoty se zobrazují i na displeji zařízení. Napájení zajišťuje Li-Ion baterie pro provoz více než 30 hodin. Monitor obsahuje procesorovou jednotku a GPS modul, zajišťující ukládání naměřených hodnot na SD kartu spolu s časem, datem a zeměpisnými souřadnicemi. Data lze následně snadno přenést do počítače a odeslat na centrální server. Zpracování a prezentace výsledků monitorování je možné jak na úrovni uživatelů, tak na veřejně přístupném portálu RAMESIS. Ukládání výsledků měřených každých 5 s umožňuje vytvořit mapu dávkového příkonu s dobrým prostorovým rozlišením při monitorování pěšky i automobilem. O aktuálním rozsahu občanských monitorování se lze přesvědčit na webových stránkách projektu SAFecast [3] celosvětově, a na českém portálu RAMESIS [4], [5].

Očekáváme, že proaktivní používání občanských monitorů může zlepšit efektivitu získávání informací potřebných pro rychlé a efektivní vyhodnocení radiační situace v případě radiační nehody. Z odhadu vyplývá, že např. pomocí 300 ks těchto detektorů při monitorování automobilem o rychlosti 50 km/h lze za 10 hodin proměřit dávkový příkon na všech silnicích třetí a vyšší třídy v ČR. V roce 2021 bude zahájen rozsáhlý projekt v rámci bezpečnostního výzkumu MV IMPAKT s cílem vyvinout 1 000 ks pokročilejších monitorů pro veřejnost.

ZÁVĚR

Využívání občanských měření je novinkou posledních deseti let a je umožněno díky rozvoji cenově dostupných technologií a informačních sítí. Očekáváme, že proaktivní používání občanských monitorů může zlepšit informovanost občanů v oblasti radiační ochrany, zavést do budov nové detekční prvky pro zkvalitnění hodnocení expozice radonu v bytech a domech, zlepšit efektivitu získávání informací potřebných pro rychlé a efektivní vyhodnocení radiační situace v případě nehody i nápomoci při boji s případnými cílenými dezinformacemi.

Článek vznikl v rámci projektu MPO FV30112 – Nová generace sond pro měření radonu.

Reference:

- [1] <https://www.radonovyprogram.cz/uvodni-strana/>
- [2] <https://www.tesla.cz/mereni-koncentrace-radonu/>
- [3] <https://www.safecast.org>
- [4] <https://www.suro.cz/aplikace/ramesis/#/safecast>
- [5] <https://www.suro.cz/aplikace/ramesis-wiki/>

Ing. Martin Simandl

simandl.martin@tesla.cz



Absolvent ČVUT v Praze, fakulta elektrotechnická, obor Elektronika. Ve společnosti TESLA Hloubětín a.s. pracuje na pozici technického ředitele, který zodpovídá za řízení vývojových a dotačních projektů. Ve společnosti pracuje od roku 2002. Jako vývojový inženýr se nejprve zabýval návrhem digitálních obvodů a obvodů číslicového zpracování. Později jako vedoucí vývojového oddělení tvořil systémové návrhy a zaváděl do produktového portfolia společnosti komerční prodej širokého spektra měřidel objemové aktivity radonu.

Přehled vývoje požadavků na havarijní připravenost na jaderně-energetických blocích

Ing. Josef Koc, CSc., Ing. Jiří Hůlka

Státní ústav radiační ochrany, v.v.i.

Článek vznikl v rámci řešení projektu bezpečnostního výzkumu VI20172020085 „Identifikace vzniku radiačních mimořádných událostí na jaderných elektrárnách a systém klasifikace jejich závažnosti“. Na základě provedené rešerše je v něm sumarizován přehled požadavků na zajištění ochrany personálu jaderných zařízení a obyvatelstva v jejich okolí, formulovaných postupně zpravidla jako odezva na proběhlé radiační mimořádné události. V článku je dokladován postupný vývoj nahlížení na problematiku havarijní připravenosti na jaderných elektrárnách a s tím i zavádění odpovídajících legislativních požadavků České republiky.

The article was created as part of the security research project VI20172020085 "Identification of the Occurrence of Radiation Extraordinary Events at Nuclear Power Plants (NPPs) and a System for Classifying Their Severity". On the basis of the research carried out, it summarizes the requirements for ensuring the protection of the personnel of nuclear installations and the population in their vicinity, formulated gradually, as a rule, in response to past radiological emergencies. The article demonstrates the gradual development of the consultation of the issue of emergency preparedness at nuclear power plants and, with it, the application of the corresponding legislative requirements of the Czech Republic.

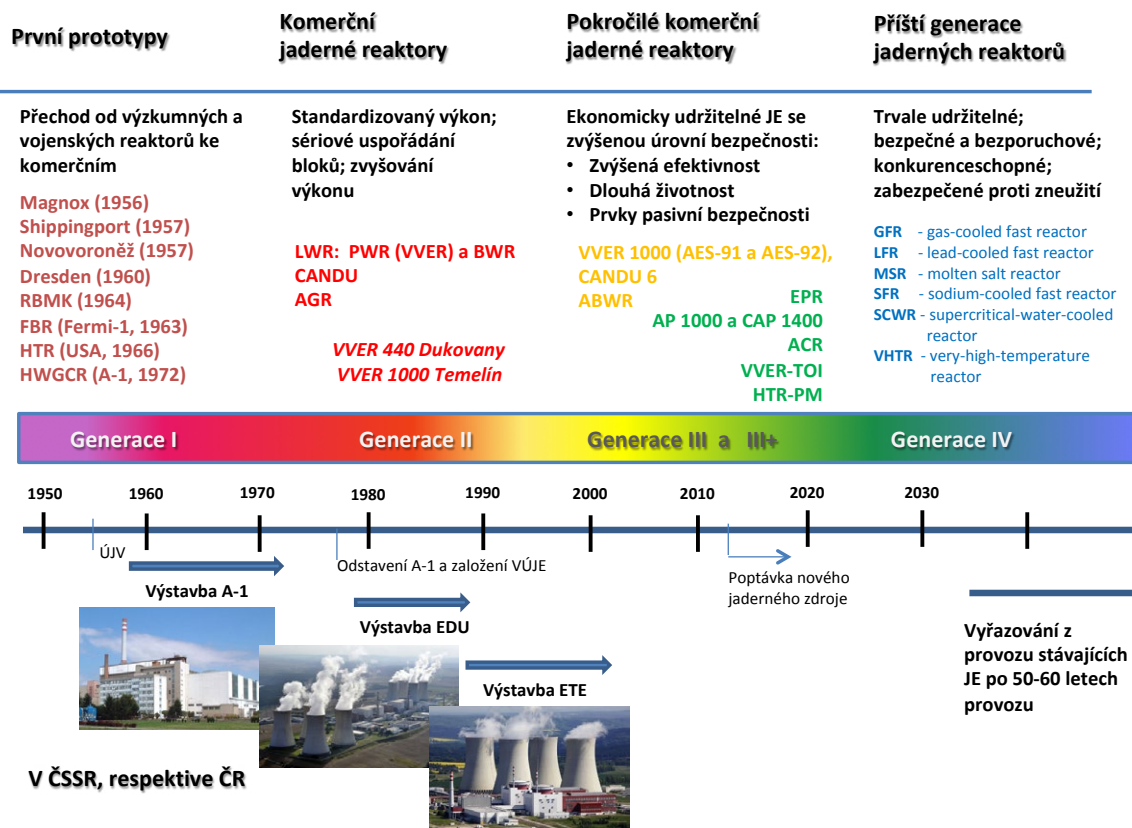
ÚVOD

Analýzy vzniku, průběhu a dopadů radiačních mimořádných událostí (RMU), ke kterým na jaderných zařízeních a jaderných elektrárnách (JE) v průběhu jejich spouštění, provozu, údržbě a vyřazování z provozu došlo, jsou cenným zdrojem informací pro předcházení jejich vzniku, a to především z hlediska stanovení legislativních požadavků pro zavádění technických a organizačních opatření nezbytných pro úspěšné potlačování rozvoje havarijních podmínek, a to až po úroveň těžkých havárií. Přes řadu zavedených technických i organizačních opatření však na v současnosti provozovaných JE II. generace dosud nešlo zabránit v případě těžkých havárií k úniku radioaktivních látek v takové míře, aby nebylo nutno zavádět opatření na ochranu obyvatelstva.

V souvislosti s rozvojem jaderné energetiky se u budovaných JE z hlediska označení tech-

nické vyspělosti a na základě dosažené úrovně aktivní a pasivní bezpečnosti zavedl pojem generace [1] jaderně energetických reaktorů.

Jednotlivé generace jaderně energetických reaktorů byly charakterizovány postupně se zvyšující úrovní jaderné bezpečnosti a zajištěním havarijní připravenosti tak, jak se průběžně uplatňoval princip ochrany do hloubky. Jednotlivé generace se odlišují zvyšující se účinností aktivních bezpečnostních systémů a postupným nárůstem podílu pasivních bezpečnostních funkcí a s nimi spojených projektových a konstrukčních systémů. Podobně jako je tomu ve srovnatelných průmyslových odvětvích, i v případě JE závisí jejich bezpečnost na mnoha faktorech zahrnujících i projektovou přípravu. Schematický přehled jednotlivých generací jaderně energetických reaktorů postihující i rozvoj jaderné energetiky v Československu a následně od roku 1993 v České republice je uveden na obrázku 1.



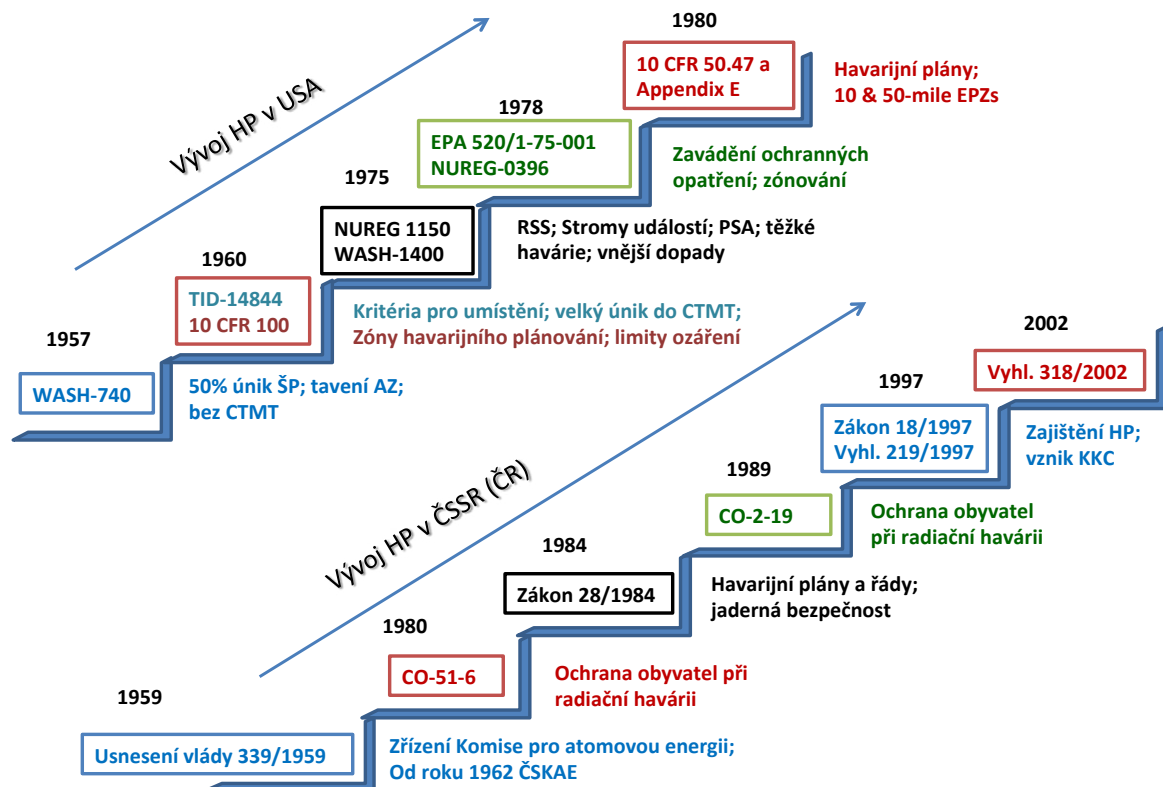
Obr. 1: Schematický přehled jednotlivých generací jaderných reaktorů a vývoj jaderné energetiky v Československu, respektive po roce 1993 v České republice

ZAVÁDĚNÍ OPATŘENÍ NA OCHRANU OBYVATELSTVA - VZNIK HAVARIJNÍHO PLÁNOVÁNÍ A HAVARIJNÍ PŘÍPRAVENOSTI

Spolu s rozvojem jednotlivých generací jaderných reaktorů se postupně, s poznáním rizik spojených s jejich provozem, utvářel i proces havarijní připravenosti a odezvy. Proces zavádění programu havarijní připravenosti se nejdříve legislativně prosadil ve Spojených státech amerických, zatímco v bývalém Sovětském svazu se této problematice příliš pozornosti nedostávalo. Ještě v druhé polovině 80. let minulého století, na jednáních k obhajobě sovětského projektu VVER-1000 pro JE Temelín nebyla problematika odezvy na vznik radiační mimořádné události nad rámec maximální projektové nehody řešena. Dotazy na dostupnost informací potřebných pro zajištění ochrany zaměstnanců a obyvatelstva v případě vzniku

RMU, a dále vytvoření technicko-organizačních opatření pro práci organizace havarijní odezvy v případě vzniku RH byly považovány za nežádoucí a překračující nastavená společenská pravidla.

Tento přístup souvisel s tehdejší politickou situací jak v Československu, tak i u dodavatele jaderných reaktorů typu VVER – Sovětského svazu, kdy se otázky veřejnosti na případná rizika spojená s provozem jaderných reaktorů neočekávaly a ani nepřipouštěly, a byly považovány za nežádoucí. Proto například o jedné z nejzávažnějších radiačních havárií na zařízení pro zpracování vyhořelého jaderného paliva v komplexu Kyštyr [2] poblíž města Ozjorsk v Čeljabinské oblasti se veřejnost dozvěděla až v roce 1989. Sovětské projektanty ani příslušné orgány státního dozoru působící v oblasti mírového využívání jaderné energetiky a mající zodpovědnost za obsah příslušných technických norem



Obr. 2: Přehled postupného vývoje požadavků na havarijní připravenost v USA dokladovaný na základě vznikajících výzkumných zpráv, doporučujících dokumentů a změn v zákonech USA ve srovnání s vývojem požadavků na havarijní připravenost v ČSSR (od roku 1993 ČR)

a kritérií pro projekty a výstavbu JE se ještě v 80. letech nepoučili z historických událostí, jakými byla tato havárie a radiační havárie v komplexu Windscale/Sellafield [3], na JE Three Mile Island [4] nebo na JE Černobyl [5] a požadavky na zajištění havarijní připravenosti do projektu VVER-1000 pro JE Temelín nezapracovali.

V zájmu objektivity je nutno uvést, že i americká tajná služba již od roku 1959 o události v Kyštymu věděla [6]. Informace však nezveřejnila, protože ani tehdejší americká vládnoucí garnitura neměla zájem veřejnost informovat o aktivitách spojených s procesem výroby plutonia a obávala se možných nepříjemných následků pro rozvoj amerického vojenského jaderného programu. Na rozdíl od sovětské vlády však americká vláda učinila řadu technických a administrativních kroků, které postupně vedly k zavedení programu řízení havarijních stavů (Accident Management),

zajištění havarijní připravenosti a odezvy (Emergency Preparedness and Response) a vzniku havarijních plánů.

Schematický přehled postupného historického vývoje programu řízení havarijních situací a zavádění administrativních kroků pro zvyšování bezpečnostní úrovně nových projektů JE, výběru vhodných lokalit pro jejich výstavbu a adekvátní tvorbu vnitřních a vnějších havarijních plánů z hlediska zajištění zdraví a bezpečnosti veřejnosti v USA a České republice je uveden na obrázku 2.

ZAČÁTKY PROSAZOVÁNÍ SE HAVARIJNÍ PŘIPRAVENOSTÍ A HAVARIJNÍ ODEZVY SPOJENÉ S PROVOZEM JE

Při výstavbě, spouštění, údržbě, provozu a vyřazování z provozu prvních typů jaderných reaktorů se získávaly významné informace zásadní nejen z hlediska posuzování

ekonomiky provozu, ale zejména z hlediska zajištění úrovně bezpečnosti přiměřené tehdejšímu stavu poznání a technických možností. Až do roku 1979 se však tyto informace pro účely zvyšování úrovně jaderné bezpečnosti a havarijní připravenosti principiálně nevyužívaly.

Sledování bezpečnosti nebylo hlavním předmětem zájmu při vývoji jaderných reaktorů I. generace. Hlavním iniciátorem výzkumných a vývojových činností byla původně snaha o získání spolehlivého a vysoce výkonného prostředku pro pohon velkých vojenských plavidel jako jsou v první řadě letadlové lodě, bitevní křižníky ponorky, a následně úsilí o zabezpečení zdrojů elektrického proudu na odloučených vojenských základnách. Potřeby zajištění dostatečné úrovně havarijní připravenosti a havarijní odezvy včetně návodů pro řešení těžkých havárií nebyly v období I. generace jaderných reaktorů v meritu zájmu nejen jejich provozovatelů, ale ani orgánů státní správy, která na celý životní cyklus jaderných reaktorů dohlížela. Tomu odpovídala i skutečnost, že legislativní požadavky na výstavbu, spouštění, normální provoz a opatření pro případ vzniku RMU byly teprve ve svých počátcích.

Výrazným impulsem k zahájení legislativních aktivit v oblasti havarijní připravenosti a havarijní odezvy byly až radiační havárie na jaderných reaktorech II. generace na JE Three Mile Island a Černobyl. Obecně však zkušenosti získané během provozu JE, ale zejména při hledání kořenových příčin celé škály nastalých RMU, vedly k podstatnému zdokonalení bezpečnostních systémů, což přineslo zavedení zejména principu hloubkové ochrany, zahrnující respektování nutnosti zálohování, fyzického oddělení a diverzifikace bezpečnostně významných systémů.

Nárůst jaderné energetiky v období 1970 až 1975 vykazoval až 30 % instalovaného výkonu za rok, a v roce 1987 přesáhl podíl elektrické energie vyrobené v JE 16 % [7]. Tento poměr setrval až do roku 2004, kdy začal pozvolný pokles podílu elektrické energie vyrobené v JE až na hodnotu 11,5 % v roce 2015 [8].

Jedním z důvodů poklesu zájmu o jadernou energetiku byla radiační havárie na jaderné elektrárně Three Mile Island v roce 1979, a zejména pak průběh a dopady radiační havárie na jaderné elektrárně Černobyl v roce 1986. V řadě zemí došlo k přehodnocení energetické politiky a k odvrácení se od jejího dalšího využívání, jako například v Itálii nebo Rakousku. Některé další země odstavily z provozu reaktory I. nebo II. generace, například Litva, a s výstavbou nových JE „vyčkávají“, respektive hledají, nebo již zvolily jiné alternativy. Výstavba JE v původně jaderně pokročilých zemích mimo Francie a Finska se zastavila. V USA se v současnosti nově budují dva nové bloky AP 1000 na JE Vogtle [9] nedaleko města Augusta na hranicích státu Georgia a Jižní Karolína v USA.

Řada dalších zemí, které o využívání jaderné energie dlouhodobě uvažovaly, však ve výstavbě již objednaných nebo stavebně zahájených JE pokračovala s tím, že požadovala do projektu zapracovat řadu nových bezpečnostních systémů zvyšujících stávající bezpečnostní úroveň jaderných reaktorů II. generace. Ucelený přehled JE v jednotlivých zemích je uváděn na stránkách <https://www.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/OperationalReactorsBy-Country.aspx>.

HAVARIJNÍ PŘIPRAVENOST REAKTORŮ II. GENERACE

Bezpečnosti jaderných reaktorů II. generace nebyla v době jejich výstavby věnována „přehnaná“ pozornost. Souviselo to jak s úrovní poznání provozního chování reaktorů I. generace, tak s přesvědčením, že bezpečný provoz bude zajištěn za všech projektem předpokládaných provozních režimů, tj. normálního provozního režimu, abnormálního provozního režimu a havarijních podmínek až po úroveň maximální projektové nehody. Problematika vzniku relativně velmi málo pravděpodobného vzniku těžkých havárií spojených s tavením aktivní zóny a možností úniku části inventáře štěpných produktů z aktivní zóny do životního prostředí byla v začátcích provozu II. generace jaderných reaktorů přehlížena. Bezpečnost provozu bloků II. generace zajišťovaly zejména projektem předpokládané aktivní bezpečnostní systémy, které měly



Obr. 3: Jaderná elektrárna Three Mile Island (zdroj: <https://www.topteny.com/top-10-worst-nuclear-disasters/>)

za cíl zabezpečit, aby se parametry kritických bezpečnostních funkcí udržovaly v projektem předepsaném bezpečnostním pásmu (v rámci stanovených provozních limitů).

V průběhu 70tých a začátkem 80tých let však byla provedena řada studií a bezpečnostních analýz (TID-14844 [10]; WASH1400 [11]; NUREG-0396 a EPA 520/1-78-016 [12], NUREG-1150 [13]), které nastavily nový pohled na bezpečnostní úroveň v té době již provozovaných JE s jadernými bloky II. generace. Zjištěné skutečnosti vedly v řadě zemí k tomu, že příslušná státní administrativa zavedla požadavky na stanovení zón havarijního plánování v okolí JE a vynutila si provedení hodnocení bezpečnosti již provozovaných JE podle nové metodologie spojené s pravděpodobnostním hodnocením bezpečnosti (Probabilistic Risk Assessment), analýzou stromů událostí a analýzou stromů poruch.

Za účelem dosažení optimální úrovně jaderné bezpečnosti byl do praxe zaveden tzv. princip ochrany do hloubky (Defence in Depth Approach) a s ním i spojený systém kritických bezpečnostních funkcí, který umožňuje nepřetržité hodnocení stavu jaderného bloku při vzniku havarijních podmínek.

Doporučení na zřízení havarijních podpůrných středisek na JE se poprvé objevilo po radiační havárii na Three Mile Island [14]. V současnosti je rozpracováno v dokumentu IAEA Safety Series No. GSR Part 7 Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency [15] v části řídicí a kontrolní systémy jako požadavek číslo 67. Funkci těchto středisek, fyzicky oddělených a nezávislých na blokových a nouzových dozornách, by měly plnit: havarijní řídicí středisko, technické podpůrné středisko, provozní podpůrné středisko, vnější havarijní podpůrné středisko, záložní



Obr. 4: Destrukce reaktoru č. 4 na JE Černobyl
(zdroj: <https://i.pinimg.com/736x/54/c7/d0/54c7d064f6a6df8928352878411681cf-chernobyl-nuclear-power-plant-chernobyl-disaster.jpg>)

formy radioizotopů jódů do životního prostředí. Tato radiační havárie však nevedla k žádným významným radiologickým důsledkům pro obyvatelstvo.

Druhá závažná radiační havárie, ke které došlo na čtvrtém bloku JE Černobyl (viz obrázek 4) byla spojena se vznikem neřízené štěpné reakce, v jejímž důsledku postupně nastaly parní a vodíková exploze, které rozmetaly reaktor včetně části paliva v něm obsaženého. Dílo zkázy dokonal požár grafitu používaného v těchto typech reaktorů jako moderátor neutronů. Jaderné elektrárny typu RBMK navíc nedisponují ochrannou obálkou. Minimálně po dobu 10 dnů docházelo k velkým únikům radioaktivních látek do životního prostředí. Předpokládá se, že se celkem uvolnilo 5 % všech radioaktivních štěpných produktů přítomných v době havárie v aktivní zóně reaktoru. Únik radioaktivních látek vedl ke kontaminaci značného území v Bělorusku, na Ukrajině a v Rusku. Přítomnost radioaktivních látek v ovzduší a následně, v důsledku radioaktivních spadů, i na povrchu terénu byla měřitelná i na území České republiky a v řadě dalších evropských zemí, zejména ve Skandinávii.

Třetí radiační havárie, ke které došlo na JE Fukušima Daiči, probíhala současně na 3 blocích typu BWR a vedla k tavení paliva na 1., 2. a 3. bloku. Došlo při ní k vážnému zatížení kontejnmentů (BWR kontejnment se skládá z tzv. „drywell“ a „wetwell“) [17] všech tří dotčených bloků, k jejich porušení a následnému úniku značného množství štěpných radioaktivních látek. Na čtvrtém bloku bylo v rámci odstávky vyvezeno palivo do bazénu skladování vyhořelého paliva. Propojené ventilační systémy 3. a 4. bloku však vedly k průniku vodíku i do 4. bloku a jeho následné explozi. Ta způsobila přerušení odvodu tepla z bazénu skladování a částečnému poškození skladovaných vyhořelých palivových souborů. Na obrázku 5 je znázorněn 4. blok v průběhu likvidačních prací.

technické podpůrné středisko a záložní havarijní podpůrné středisko. V této souvislosti je nutno podotknout, že jak JE Temelín, tak JE Dukovany měly tuto havarijní podpůrná střediska vybudována mnohem dříve, než vyšel požadavek na jejich zřízení v české atomové legislativě. Podnětem pro jejich zřízení byla doporučení řady misí OSART a WANO uskutečněných na těchto elektrárnách, na jejichž základě byla tato střediska zřízena na JE Temelín již při výstavbě, a na JE Dukovany byla na základě zkušeností získaných na JE Temelín dobudována následně.

RADIAČNÍ HAVÁRIE NA JADERNÝCH REAKTORECH II. GENERACE

I přes postupné uplatňování principů ochrany do hloubky, zavádění postupů řízení havarijních stavů a dokumentace havarijní připravenosti, však na JE s reaktory II. generace došlo ke třem závažným radiačním haváriím. Šlo o radiační havárie na jaderné elektrárně Three Mile Island (TMI) s reaktory PWR v USA, na jaderné elektrárně Černobyl s reaktory RBMK v SSSR, a na jaderné elektrárně Fukušima Daiči [16] s reaktory BWR v Japonsku.

Radiační havárie na druhém bloku jaderné elektrárny TMI (viz obrázek 3) byla spojena s těžkým poškozením jaderného paliva a aktivní zóny reaktoru, a s následným únikem radioaktivních vzácných plynů a části plynné



Vlastní radiační havárii předcházela iniciace ve formě zemětřesení o magnitudu 9,0 (projekt počítal s maximální hodnotou 8,2), které jaderná elektrárna se svými bezpečnostními systémy ještě ustála, a všechny provozované bloky byly bezpečně odstaveny z provozu. Následující 15metrová vlna tsunami však byla nad možnosti projektu (projektem zabezpečovaná ochrana byla pouze do výše 10 metrů). Důsledky vlny tsunami na vnější zařízení jaderné elektrárny a destrukce konstrukce obestavby 2., 3. a 4. bloku po výbuchu vodíku jsou patrné na obrázku 6. Bezpečnostní systémy zabezpečující kritické bezpečnostní funkce byly zničeny (zaplaveny, odplaveny nebo poškozeny výbuchem vodíku) a aktivní zóny všech tří jaderných bloků byly v následujících třech dnech roztaveny. Radiační havárie dosáhla hodnoty 7 na stupnici INES (stejně

< Obr. 5: 4 blok JE Fukušima Daiči při likvidaci následků radiační havárie (zdroj: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/4/4a/Exposed_Reactor_Pressure_Vessel_at_Fukushima_Daiichi_Nuclear_Power_Plant_Unit_4.jpg)

v Obr. 6: Následky vlny tsunami a exploze vodíku na jaderné elektrárně Fukušima Daiči (zdroj: <https://isis-online.org/assets/images/fukushimabiglogo.png>)

ně jako Černobylská radiační havárie), a do moře a ovzduší se uvolnilo značné množství radioaktivních látek zejména 4. až 6. den po iniciační události.

V důsledku vlastní radiační havárie sice nikdo přímo nezahynul, ale nejméně 100 000 osob bylo evakuováno, a přitom došlo k asi 1 000 případům úmrtí. Nicméně tato úmrtí nelze jednoznačně přičítat pouze evakuaci provedené z radiačních hledisek, protože část evakuace (plus cca 80 000 dalších evakuovaných osob) byla realizována v souvislosti s následky zemětřesení a vlny tsunami, které měly vést až k 19 000 úmrtí.

NEDOSTATKY V SYSTÉMECH HAVARIJNÍ PŘIPRAVENOSTI U REAKTORŮ II. GENERACE

Základní skutečností je, že až do radiační havárie, ke které došlo 28. března 1979 na 2. bloku JE TMI, nebyly specifické požadavky na zajištění havarijního plánování, respektive havarijní připravenosti a havarijní odezvy legislativně věcně ustanoveny (viz obrázek 2). Radiační havárie na JE TMI, která byla později ohodnocena stupněm závažnosti 5 ze sedmistupňové mezinárodní stupnice událostí INES, zadala podnět nejen k aktivitám antinukleárních organizací a nátlakových skupin a k provedení řady epidemiologických studií, ale zejména vyvolala usilovný výzkum v oblasti vlivu lidského faktoru a interakce člověk-stroj a člověk-počítač.

Současně byla identifikována potřeba vytvoření programu havarijní připravenosti a odezvy (Emergency Preparedness and Response Program), který by zajistil okamžitou a efektivní odezvu na vznikající situaci již v případě rozeznání iniciační události, vedl k potlačení rozvoje RMU a vytvořil podmínky pro likvidaci jejích následků. Bylo identifikováno, že těchto cílů lze dosáhnout pouze na základě předem připravených a vzájemně propojených havarijních plánů všech účastníků se složek,

tj. provozovatele jaderného zařízení, místních a státních orgánů veřejné zprávy, orgánů státního dozoru a jednotlivých složek národních záchranných systémů.

Na provozovatelích JE se začalo požadovat, aby tato zařízení provozovali bezpečně, měli předem vypracovaný Vnitřní havarijný plán a disponovali dostatečným počtem kvalifikovaného personálu schopného udržet pomocí vhodných provozních a havarijních předpisů reaktor ve stabilních bezpečných podmínkách.

Pro případ vzniku RMU se na provozovateli začalo vyžadovat, aby měl k dispozici předem proškolený personál schopný pomocí havarijních předpisů a havarijních instrukcí zabezpečit rozeznání vzniku RMU, provést klasifikaci její závažnosti, aktivovat organizaci havarijní odezvy, zabezpečit vyrozumění dotčených orgánů veřejné správy a varování obyvatelstva. Na orgány veřejné správy na příslušné úrovni krizového řízení začal být kladen požadavek, aby byly schopny vyhodnotit potřebu zavedení případných ochranných opatření pro obyvatelstvo, a potřebná neodkladná nebo následná ochranná opatření zavést, pokud by to vzniklá situace vyžadovala. Na provozovateli JE se dále začalo vyžadovat, aby po celou dobu průběhu RMU zabezpečoval radiační monitorování a výsledky toho monitorování poskytoval příslušným orgánům státní správy a dozoru.

Tradičními systémy zajištění bezpečnosti u jaderných reaktorů I. a II. generace byly „aktivní“ bezpečnostní systémy, které vyžadovaly elektrické napájení pro zajištění jejich funkce. S inovací reaktorů II. generace a nástupem reaktorů III. a III+, generace se stále více uplatňují redundantní pasivní bezpečnostní systémy využívající přírodní zákonitosti jako jsou gravitace a přirozená konvekce, nebo pasivní tlakové zásobníky chladiwa (hydro-akumulátorů). Většina v současnosti provozovaných reaktorů II. a III. generace využívá v různé míře jak aktivní, tak pasivní bezpečnostní systémy.

Ing. Jiří Hůlka

jiri.hulka@suro.cz



Jiří Hůlka je absolventem Fakulty jaderné a fyzikálně inženýrské Českého vysokého učení technického v Praze (1980). Ve Státním ústavu radiační ochrany se postupně zabýval monitorováním jaderných zařízení i zvýšenou přírodní radioaktivitou v budovách a koordinací Radonového programu České republiky. Od roku 2000 je v SÚRO odpovědný za výzkum a vývoj v oblasti radiační ochrany, zabývá se obecnými otázkami ochrany před ionizujícím zářením a moderními metodami monitorování dopadu havárií jaderných elektráren na životní prostředí. Je členem skupiny expertů EU k článku 31 Smlouvy o Euratomu.

STÁVAJÍCÍ STAV V ZAJIŠTĚNÍ HAVARIJNÍ PŘÍPRAVENOSTI V ČESKÉ REPUBLICE

Nová atomová legislativa vycházející ze zákona č. 263/2016 Sb. atomový zákon doplnila dosavadní mezery v požadavcích na zajišťování havarijní připravenosti. Oblast havarijní připravenosti byla přejmenována na oblast zvládání radiačních mimořádných událostí. Tento pojem vyjadřuje komplexnější pokrytí problematiky řešení RMU a zahrnuje systém postupů a opatření k zajištění analýz a hodnocení RMU, připravenosti k odezvě na RMU, vlastní odezvy na RMU a nově i nápravy stavu po radiační havárii.

Nový atomový zákon dále stanovil požadavek na zpracování Národního radiačního havarijního plánu a strategie optimalizované radiační ochrany jako jeho nedílné části. Nově prostřednictvím zákona č. 12/2002 Sb. o státní pomoci při obnově území postiženého živelnou nebo jinou pohromou stanovil SÚJB i úkol na podílení se na přípravě návrhu strategie obnovy území ve spolupráci s Ministerstvem financí a Ministerstvem pro místní rozvoj. Národní radiační havarijný plán vypracovaný ve spolupráci s GR HZS byl v říjnu 2020 předložen po projednání ve Výboru pro civilní nouzové plánování a na Bezpečnostní radě státu vládě ke schválení.

Reference:

- [1] https://cs.wikipedia.org/wiki/Generace_jadern%C3%BDch_reaktor%C5%AF#l._generace
- [2] <https://www.newcoldwar.org/visit-to-russias-formerly-secret-mayak-nuclear-disaster-site/>
- [3] <https://cs.wikipedia.org/wiki/Sellafield>
- [4] <http://www.world-nuclear.org/information-library/safety-and-security/safety-of-plants/three-mile-island-accident.aspx>
- [5] <http://www.world-nuclear.org/information-library/safety-and-security/safety-of-plants/chernobyl-accident.aspx>
- [6] <http://echo24.cz/a/irjYT/kystym-jaderna-katastrofa-o-niz-svet-nemel-vedet>
- [7] <https://www.iaea.org/newscenter/news/obninsk-beyond-nuclear-power-conference-looks-future>
- [8] <http://www.world-nuclear.org/information-library/facts-and-figures/world-nuclear-power-reactors-and-uranium-requirement.aspx>
- [9] https://en.wikipedia.org/wiki/Vogtle_Electric_Generating_Plant
- [10] Calculation of Distance Factors for Power and Test Reactor Sites, U.S. AEC MAR 1962
- [11] Reactor Safety Study: An Assessment of Accident Risks in U.S. Commercial Nuclear Power Plants [NUREG-75/014 (WASH-1400)], 1975
- [12] PLANNING BASIS FOR THE DEVELOPMENT OF STATE AND LOCAL GOVERNMENT RADIOLOGICAL EMERGENCY RESPONSE PLANS IN SUPPORT OF LIGHT WATER NUCLEAR POWER PLANTS
- [13] Severe Accident Risks: An Assessment for Five U.S. Nuclear Power Plants, U.S. NRC, 1990
- [14] NUREG-0578, US NRC, TMI-2 Lessons Learned Task Force Status Report and Short-term Recommendations, July 1979; NUREG-0585, US NRC, TMI-2 Lessons Learned Task Force Final report, October 1979
- [15] FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION, INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION, INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION, INTERPOL, OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, PAN AMERICAN HEALTH ORGANIZATION, PREPARATORY COMMISSION FOR THE COMPREHENSIVE NUCLEAR TEST-BAN TREATY ORGANIZATION, UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, UNITED NATIONS OFFICE FOR THE COORDINATION OF HUMANITARIAN AFFAIRS, WORLD HEALTH ORGANIZATION, WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency, IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 7, IAEA, Vienna (2015)
- [16] <http://www.world-nuclear.org/information-library/safety-and-security/safety-of-plants/fukushima-accident.aspx>
- [17] https://en.wikipedia.org/wiki/Containment_building
- [18] SMĚRNICE RADY 2013/59/EURATOM ze dne 5. prosince 2013, kterou se stanoví základní bezpečnostní standardy ochrany před nebezpečím vystavení ionizujícímu záření a zrušují se směrnice 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom a 2003/122/Euratom
- [19] EPR-NPP PUBLIC PROTECTIVE ACTIONS 2013, Actions to Protect the Public in an Emergency due to Severe Conditions at a Light Water Reactor

Výraznými změnami prošla i vyhláška o havarijní připravenosti, nyní ve znění vyhlášky 359/2016 Sb. o podrobnostech k zajištění zvládnutí radiační mimořádné události. Tato vyhláška zapracovává celou řadu požadavků evropské legislativy [18] a doporučení IAEA [19], a zavádí celou řadu nových pojmů a požadavků.

Nové požadavky do systému zvládnutí RMU vnáší i vyhláška č. 329/2017 Sb. o požadavcích na projekt jaderného zařízení. Tato vyhláška nejen nově definuje bezpečnostní cíle pro případ vzniku těžké havárie, ale i požadavky na zařízení sloužící ke zvládnutí RMU. S nabytím účinnosti nového atomového zákona a jeho prováděcích předpisů lze konstatovat, že požadavky na oblast zvládnutí radiačních mimořádných událostí jsou v české legislativě plně kompatibilní s požadavky evropské legislativy i mezinárodními doporučeními.

Ing. Josef Koc, CSc.

josef.koc@suro.cz



Je absolventem Fakulty jaderné a fyzikálně inženýrské Českého vysokého učení technického v Praze. Po ukončení studia nastoupil v roce 1977 do ÚJV Řež, kde absolvoval externí vědeckou aspiranturu v oboru technologie jaderných materiálů a radiochemie na VSČT Praha.

Od roku 1983 působil v ČEZ, a. s. na JE Temelín postupně v pozicích vedoucího Laboratoře radiační kontroly okolí, vedoucího útvaru havarijní připravenosti, manažera radiační ochrany a vedoucího útvaru řízení radiační ochrany ČEZ. Na JE Temelín řídil zavádění programu havarijní připravenosti, zpracování zadání a kontrolu vypracování projektové dokumentace na vybudování a vybavení havarijních podpůrných středisek. Podílel se na vypracování vnitřního havarijního plánu, souvisejících zásahových instrukcí a zpracování řídicí a licenční dokumentace v oblasti zajištění radiační ochrany. Od roku 2013 působí v roli vědecko-výzkumného pracovníka v SÚRO, v.v.i., kde řídí řadu projektů zejména v oblasti bezpečnostního výzkumu Ministerstva vnitra, nebo se podílí na jejich řešení.

Validácia Monte Carlo výpočtu aktivácie betónovej šachty reaktora JE V1

**Ing. Michal Šnírer, Ing. Kristína Krištofová, PhD.,
doc. Ing. Gabriel Farkas, PhD., prof. Ing. Vladimír Slugeň, DrSc.**

Slovenská technická univerzita

Cieľom tejto práce bolo vytvoriť model reaktora VVER-440/V-230 a jeho blízkeho okolia pomocou kódu MCNP, vykonať výpočet indukovanej aktivity a validovať získané výsledky. Z analýzy prevádzkovej histórie JE V1 vyplynulo, že po 12 kampaniach boli do aktívnej zóny zavedené tieniace kazety, čím sa znížila hustota toku neutrónov v oblasti vonkajšieho tienenia reaktora. Na základe toho boli pre dané obdobia stanovené reprezentatívne kampane. Bol vytvorený model reaktora V1 na úrovni aktívnej zóny. Výpočet indukovanej aktivity betónovej šachty reaktora sa následne uskutočnil pomocou kódu MCNP5 s účinnno-prierezovou knižnicou ENDF/B-VII.1. Boli stanovené aktivity vybraných rádionuklidov, na základe ktorých bolo možné overiť správnosť výsledkov vzhľadom na merania vzoriek vykonané spoločnosťou Wood Nuclear Slovakia, s.r.o. a ÚJFI FEI STU. Zhoda vypočítaných hodnôt s nameranými hodnotami potvrdila správnosť výpočtového modelu a zároveň jeho validáciu pre výpočet indukovanej aktivity komponentov reaktora JE V1.

This work is aimed to create a model of the VVER-440/V-230 reactor in the MCNP code, to calculate the induced activity in ex-vessel structural components and to validate obtained results. A survey of the V1 NPP reactor operating history revealed that after 12 campaigns shielding assemblies were introduced into the core thereby reducing the core and decreasing the neutron flux density on pressure vessel as well as in adjacent ex-vessel components. Based on this, representative campaigns were selected for given periods. A model of the V1 reactor at the core level was created, covering bio shield components. At the same time, the choice of the method of scatter reduction was taken into account, which resulted to more detailed modelling of reactor components. Based on the proposed methodology, the activation of the reactor concrete shaft at the sample volume location was performed using the MCNP5 with the ENDF/B-VII.1 cross-section library. Activities of selected radionuclides were determined and compared with sampling analyses performed by Wood Nuclear Slovakia and verified by measurements of samples at INPE FEI STU. The conformity of the calculated values with the measured values demonstrates the correctness of the assembled calculation model. In this way, the validation of the MCNP model for activation calculation of the V1 NPP reactor components achieved.

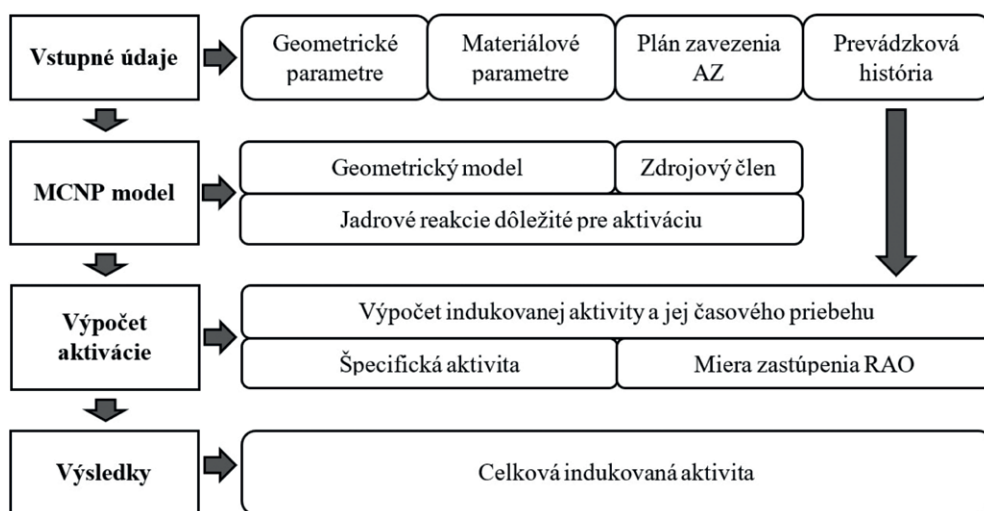
ÚVOD

Pre plánovanie bezpečného vyradovania jadrovej elektrárne z prevádzky je dôležité poznať mieru indukovanej aktivity v rôznych konštrukčných materiáloch reaktora, aby bolo možné správne implementovať stratégie vyradovania a naplánovať efektívne nakladanie s týmito materiálmi. Na stanovenie úrovne indukovanej aktivity je najčastejšie využívaný Monte Carlo N-Particle transportný kód. Proces výpočtu si vyžaduje poznať materiálové zloženie, geometrické parametre a prevádzkovú históriu. Pre overenie výpočtového modelu a získaných výsledkov je potrebné porovnať výsledky výpočtu s experimentálnymi údajmi a výpočtový kód validovať.

METODOLÓGIA

Vzhľadom na komplikovanú geometriu reaktora VVER-440 je možné spoľahlivý výpočet transportu neutrónov realizovať iba pomocou techniky, ktorá umožňuje spracovanie komplexnej trojrozmernej geometrie. Z toho dôvodu bol pre realizáciu výpočtu zvolený výpočtový kód MCNP5, verzia 1.60 s použitím knižnice účinných prierezov pre spojité energetické spektrum neutrónov ENDF/B-VII.1. Všeobecný postup výpočtu aktivácie je zobrazený na Obr.1.

Pre správne ohodnotenie vplyvu rôznych charakteristík aktívnej zóny na priestorovú a energetickú distribúciu hustoty toku neutrónov na



■ | Obr. 1: Metodika výpočtu aktivácie JE V1 |

Označenie kampane	Typ palivovej kazety	Použitie tieniacich kaziet	Obohatenie	Hrúbka povlaku PK	Materiál rozpernej mreže
U1C12	Neprofilovaná	Nie	1,6 %, 2,4 %, 3,6 %	2,1 mm	Fe
U1C21	Neprofilovaná	Áno	2,4 %, 3,6 %	1,5 mm	Zr

■ | Tab. 1: Zvolené reprezentatívne kampane |

hraniciach záujmových oblastí boli na základe prevádzkovej histórie elektrárne a práce [1] definované dve rôzne usporiadania aktívnej zóny (AZ). AZ bez tieniacich kaziet a redukovaná AZ s tieniacimi kazetami, Tab. 1.

MCNP MODEL

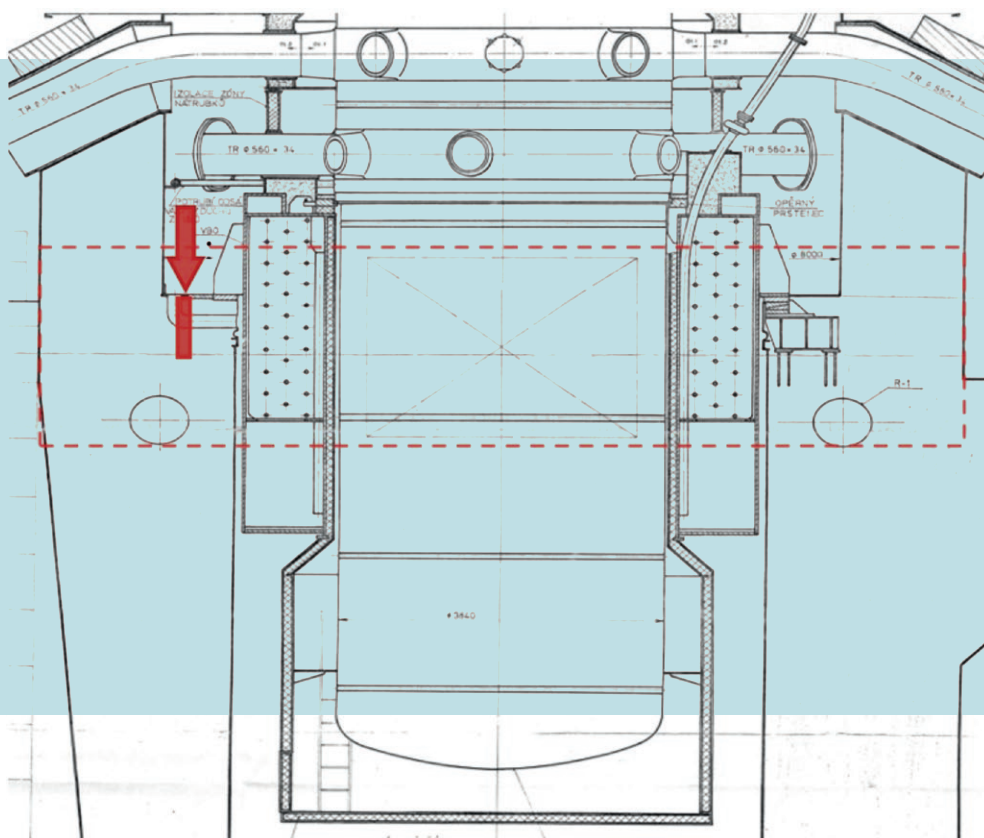
Pre potreby výpočtu indukovanej aktivity v objeme záujmovej oblasti, v betónovej šachte reaktora v oblasti AZ bolo potrebné vytvoriť model reaktora jadrovej elektrárne (JE) V1, VVER-440/V-230, v ktorom sú zahrnuté vnútro-reaktorové komponenty, tlaková nádoba reaktora (TNR) a aj časti vonkajších tienení reaktora. Na základe komplikovanosti geometrických štruktúr reaktora bolo použité zjednodušenie, ktoré pozostáva z tvorby výpočtového modelu iba na výškovej úrovni aktívnej zóny. Výber modelovanej oblasti a umiestnenie vzorkovacieho objemu betónovej šachty reaktora sú zobrazené na Obr. 2.

Modelované časti reaktora mimo samotnej AZ zobrazené na Obr. 2 predstavujú: šachtu

reaktora, zostupný prstenec H_2O , TNR, vzduchové medzery, tepelnú izoláciu, vodnú biologickú ochranu a betónovú šachtu reaktora. Podrobný popis jednotlivých častí geometrie zobrazených na Obr. 3: 01 – AZ, 02 – Kôš AZ, 03 – Medzipriestor 02-04, 04 – Šachta reaktora, 05 – Zostupný prstenec H_2O , 06 – Návar TNR, 07 – TNR, 08 – Vzduchová medzera, 09 – Plášť tepelnej izolácie, 10 – Tepelná izolácia, 11 – Vodná biologická ochrana (VBO) prepážka, 12 – VBO, 13 – VBO prepážka, 14 – Vzduchová medzera, 15 – Vzduchová medzera nad betónovou šachtou reaktora (BŠR), 16 – Vzorkovací objem BŠR 1, 17 – BŠR 1, 18 – BŠR 2.

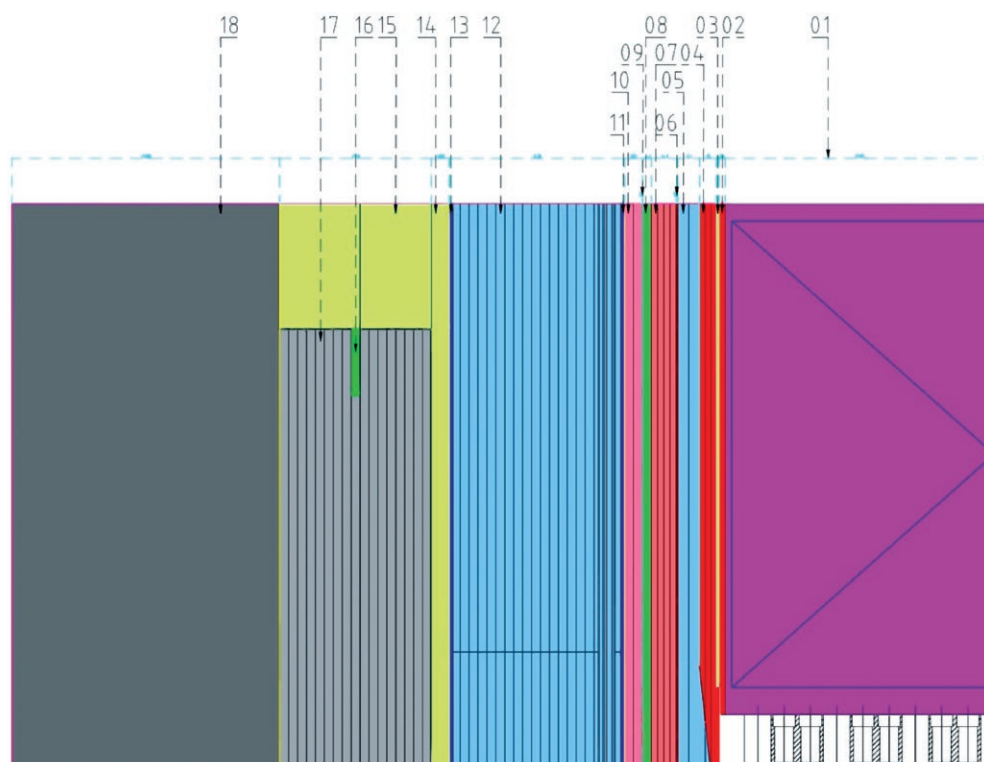
VÝPOČET INDUKOVANEJ AKTIVITY

Po dokončení transportných výpočtov bolo možné vypočítať indukovanú aktivitu vo vzorkovanom objeme betónovej šachty na základe získaných reakčných rýchlostí a známej prevádzkovej histórie. Samotný výpočet indukovanej aktivity sa uskutočnil použitím rovnice (1) pre výpočet aktivity, pričom boli zohľadnené všetky okrajové podmienky JE V1.



Obr. 2: Prierez reaktora VVER-440/V-230 so značením modelovanej oblasti a vzorkovacieho objemu

Obr. 3: Bočný prierez výpočtového modelu MCNP reaktora V1-AZ spolu s mimo reaktorovými časťami a vonkajším tienением



■ | Rovnica (1) |

$$A_k[Bq] = V\lambda_k s \left\{ \begin{aligned} & r_{k,U1C12} \bar{v}_{f,U1C12} \left[\sum_{i=1}^{m=12} P_i t_{i,prev} (1 - e^{-\lambda_k t_{i,prev}}) \right] e^{-\lambda_k \sum_{i=1}^{n=27} t_{i,odst}} \\ & + \\ & r_{k,U1C21} \bar{v}_{f,U1C21} \left[\sum_{j=m+1}^{n=27} P_j t_{j,prev} (1 - e^{-\lambda_k t_{j,prev}}) \right] e^{-\lambda_k \sum_{j=m+1}^{n=27} t_{j,odst}} \end{aligned} \right\}$$

V – vzorkovaný objem, λ – konštanta premeny, s – počet štiepení prebehnutých na dodanie energie rovnej 1 W za 1 sekundu, r – relatívna hodnota reakčnej rýchlosti získaná MCNP výpočtom, v_f – priemerný počet neutrónov vzniknutý na jeden akt štiepenia, P – stredná hodnota výkonu kampane, t_{prev} – doba prevádzky kampane, t_{odst} – doba odstávky kampane.

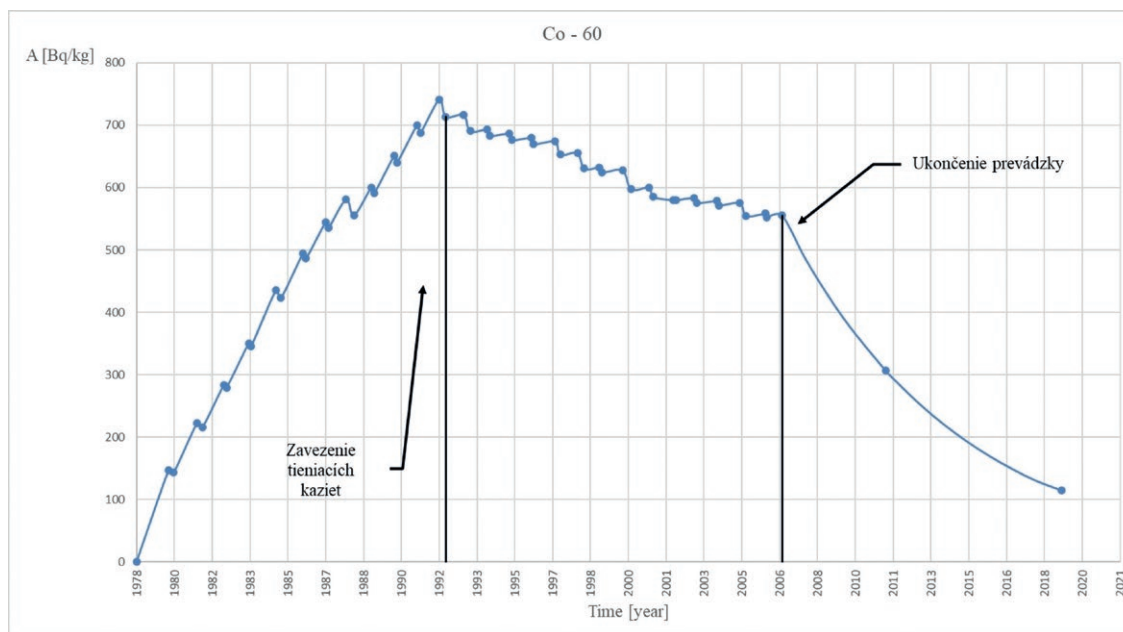
Výpočet bol realizovaný v programe Microsoft Excel 2016 na základe rovnice (1) a všetkých údajov potrebných k výpočtu indukovanej aktivity vo zvolenom čase od ukončenia prevádzky JE V1. Tabuľka 2 zobrazuje najdôležitejšie aktivačné reakcie stanovené na základe dokumentu MAAE [2], pričom zvýraznené nuklidy sú významné z hľadiska validácie výsledkov.

VÝSLEDKY A VALIDÁCIA

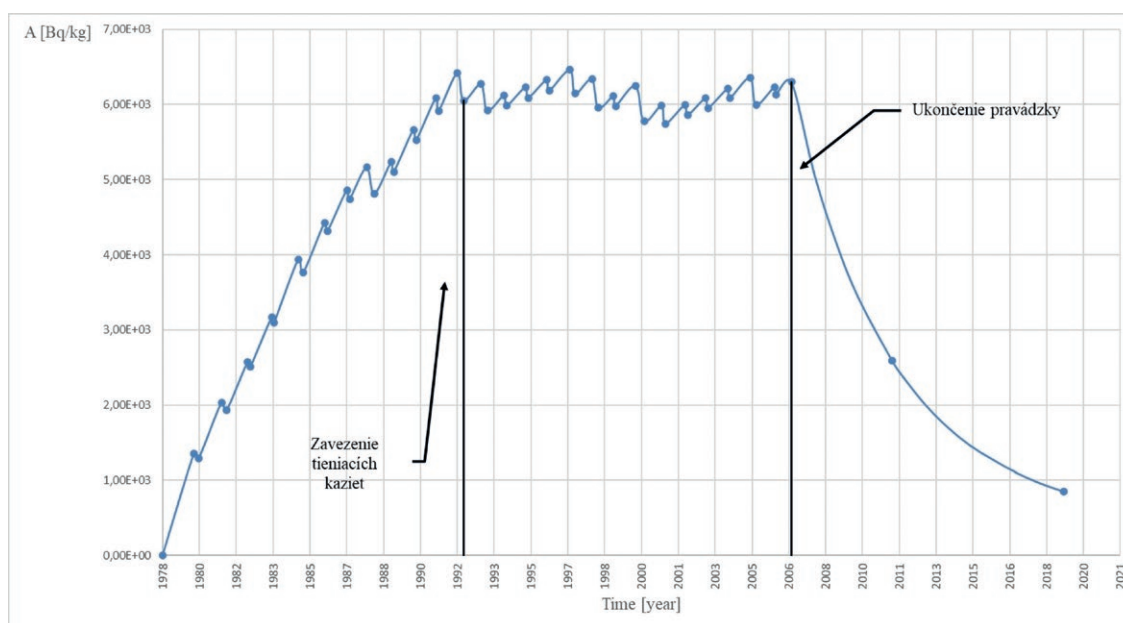
Obr. 4 zobrazuje vypočítaný časový vývoj indukovanej aktivity vybraného gama nuklidu dôležitého pre validáciu výsledkov. Obr. 5 zobrazuje celkový časový vývoj indukovanej aktivity počas prevádzky a po konečnom odstavení vzhľadom na rádionuklidy monitorované vo vzorkách betónovej šachty reaktora. V grafe pre rádionuklid Co-60 je možné pozorovať významnú zmenu v časovom vývoji indukovanej aktivity po zavedení tieniacich kaziet do AZ. Pokles aktivity je spôsobený výrazným znížením hustoty toku neutrónov v oblasti betónovej šachty. Za týchto zmenených podmienok má indukovaná aktivita tendenciu dosiahnuť novú saturovanú hladinu zodpovedajúcu danej hustote toku neutrónov. Časový vývoj Cs-134 a Eu-152 mal podobné trendy, ako je znázornené na Obr. 4. Neistota výpočtu

Rodičovský nuklid	Jadrová reakcia	Aktivačný produkt	Doba polpremeny [rok]	Prírodné zastúpenie rodičovského nuklidu [%]
1-H-2	(n,γ)	1-H-3	1,232E+01	0,0115
7-N-14	(n,p)	6-C-14	5,715E+03	99,632
11-Na-23	(γ,n), (n,2n)	11-Na-22	2,602E+00	100
19-K-39	(n,α)	17-Cl-36	3,010E+05	93,2581
19-K-39	(n,p)	18-Ar-39	2,690E+02	93,2581
20-Ca-44	(n, γ)	20-Ca-45	4,452E-01	2,086
24-Cr-50	(n, γ)	24-Cr-51	7,585E-02	4,345
26-Fe-54	(n,p)	25-Mn-54	8,548E-01	5,845
26-Fe-54	(n, γ)	26-Fe-55	2,744E+00	5,845
26-Fe-58	(n, γ)	26-Fe-59	1,218E-01	0,282
27-Co-59	(n, γ)	27-Co-60	5,271E+00	100
37-Rb-85	(n, γ)	37-Rb-86	5,104E-02	72,17
51-Sb-123	(n, γ)	51-Sb-124	1,648E-01	42,79
55-Cs-133	(n, γ)	55-Cs-134	2,065E+00	100
63-Eu-151	(n, γ)	63-Eu-152	1,352E+01	47,81
63-Eu-153	(n, γ)	63-Eu-154	8,601E+00	52,19

■ | Tab. 2: Najdôležitejšie aktivačné reakcie uvažované v betónových konštrukciách |



Obr. 4: Priebeh aktivity Co-60 vo vzorkovacom objeme BŠR



Obr. 5: Celkový priebeh aktivity rádionuklidov, uvedených v Tab. 1, vo vzorkovanom objeme

uvedená vo výstupnom súbore MCNP pre reprezentatívnu kampaň bez tieniacich zostáv, tj. U1C12, sa stabilizovala na 14 %. Pri reprezentatívnej kampani U1C21 s tienenými kazetami sa dosiahlo 18 %.

Za účelom stanovenia presnosti výpočtu aktivácie vzorkovaného objemu betónu šachty reaktora a celkovej presnosti geometrického modelu bolo potrebné vykonať overenie stanovených hodnôt indukovanej aktivity referenčných rádionuklidov. Overenie bolo urobené pomocou dvoch nezávislých me-

raní betónových vzoriek. Na základe správy z odberu vzoriek aktivovaných stavebných častí šachty reaktora 1. a 2. bloku JE V1, dokument [3], ktorý bol realizovaný v období od 23. 5. 2011 do 8. 6. 2011, boli vzorky odobraté pomocou konvenčných vrtných zariadení. Priemer odobratých vzoriek bol približne 35mm a hĺbka odberu vzoriek bola 20 až 40 cm. Valcová vzorka sa potom rozdelila na disky s hrúbkou približne 20 mm v období 26. 5.-8. 7. 2011 a podrobila sa gama spektroskopickému analýze vo Wood Nuclear Slovakia, s.r.o. Vzorky sú zobrazené na Obr. 6.

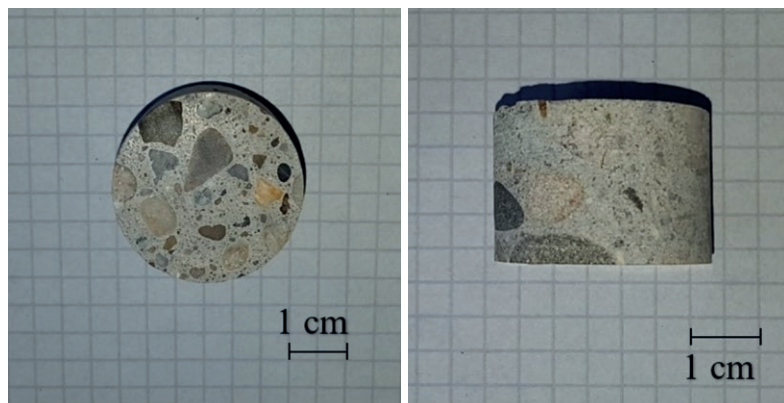
Nuklid	Aktivita [Bq/kg]			Relatívna odchýlka [%]
	Merania na ÚJFI FEI STU	Merania WNS	Výpočet MCNP5	
Co-60	28,72	30,27	50,9	72,57
Cs-134	1,64	0,91	0,66	-48,24
Eu-152	364,75	377,8	278,16	-25,08

Tab. 3: Porovnanie nameraných a vypočítaných hodnôt k 22. 2. 2019

Porovnanie nameraných a vypočítaných hodnôt prepočítané ku dňu 22. 2. 2019 je zobrazené v Tab. 1. Dosiahnutá presnosť stanovených hodnôt zodpovedá náročnosti a komplexnosti výpočtu. Keďže neboli v rámci počiatkových podmienok známe presné materiálové zloženia, bolo potrebné ísť cestou kvalifikovaného odhadu. Vzhľadom na vysokú citlivosť výpočtu na počiatkové zastúpenie jednotlivých nuklidov ako v sledovanom materiáli, tak aj celkovo v celom geometrickom a materiálovom modeli, sú výsledky zaťažené viacpercentným rozptylom.

ZÁVER

Na základe navrhutej metodiky bol vykonaný výpočet aktivácie betónovej šachty reaktora JE V1 v mieste vzorkovaného objemu pomocou stochastického výpočtového kódu MCNP5 verzie 1.60. Aktivity vybraných rádionuklidov boli stanovené a porovnané s experimentálnymi údajmi z meraní vzoriek vykonaných spoločnosťou Wood Nuclear Slovakia a overené meraniami vykonanými na ÚJFI FEI STU. Vypočítané hodnoty indukovanej aktivity ukazujú relatívne presnú zhodu s nameranými hodnotami, napriek nepresnostiam v chemickom zložení betónu. Zastúpenie rádionuklidov, na základe ktorých bolo vykonané overenie výsledkov, Co-59, Cs-133 a Eu-151, je na úrovni stopových prvkov. Naproti tomu tvorí príspevok indukovanej aktivity od týchto rádionuklidov väčšinovú časť celkovej aktivity vzorkovacieho objemu. Preto je možné povedať, že materiálové zloženie predstavuje kritický výpočtový parameter vzhľadom na stanovenie indukovanej aktivity. Zhoda vypočítaných hodnôt s meraniami preukazuje správnosť navrhovanej metodológie a vytvoreného výpočtového modelu. Týmto spôsobom sa dosiahla validácia modelu MCNP na výpočet indukovanej aktivity komponentov reaktora JE V1. Ďalšie využitie poznatkov tejto práce je možné, vzhľadom na získanie validovaného modelu, pri plánovaní vyradovania novšieho typu reaktora VVER-440/V-213.



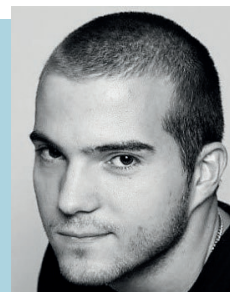
Obr. 6: Horný a bočný pohľad segmentu vzorky betónu šachty reaktora

Referencie:

- [1] KRÍŠTOFOVA, K. et al. Comparison of determined MCNP neutron source terms for VVER-440/V230 decommissioning, Slovak University of Technology, 26th Symposium of AER on VVER Reactor Physics and Reactor Safety, October 2016, Finland
- [2] International Atomic Energy Agency, Radiological Characterization of Shut Down Nuclear Reactors for Decommissioning Purposes, IAEA TRS No. 389, Vienna, October 1998
- [3] RAPANT, T. et al. Report on categorization of activated components, BIDSF B6.4 Decommissioning database, B6.4-Del12.1, Jaslovské Bohunice 2011
- [4] The Power Reactor Information System. Dostupné z: <https://pris.iaea.org/pris/>

Ing. Michal Šnírér

michal.snirer@stuba.sk



Absolvent inžinierskeho štúdia na Slovenskej technickej univerzity v Bratislave, Ústavu jadrového a fyzikálneho inžinierstva. Spolupracoval na projektoch pre Centrum pre vedu a výskum, s. r. o., Optimalizácia ukladania palivových kaziet v BSVP blokov EMO1,2, a Výpočet aktivácie konštrukčných materiálov reaktora pomocou kódu MCNP. V súčasnosti študentom doktorandského študijného odboru jadrová energetika na STU v Bratislave.

Radiační bobtnání a jeho dopad na provoz jaderných elektráren

Ing. Marek Postler

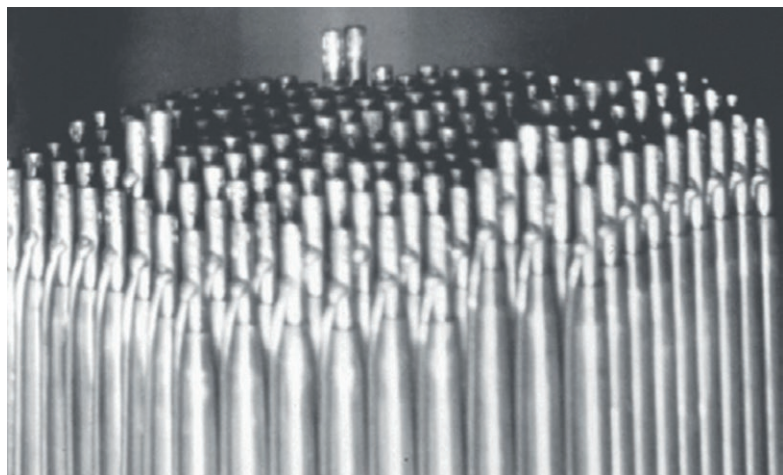
ÚJV Řež, a. s.

Materiály jaderných elektráren jsou vystaveny působení neutronového záření a vysokých teplot; kombinací těchto faktorů dochází ke změnám mikrostruktury a degradaci mechanických vlastností. Z hlediska zajištění bezpečného dlouhodobého provozu je nutné zjistit intenzitu těchto změn a vyhodnotit jejich přípustnost. Jedním z degradačních mechanismů je radiační bobtnání materiálu, při kterém se mikrostrukturní změny mohou projevit jako rozměrové změny komponent. Příspěvek shrnuje dostupné znalosti a popisuje přístupy k praktickému měření jeho dopadů.

Materials of the nuclear power plants are exposed to neutron radiation and high temperatures; the combination of these factors leads to changes in the microstructure and degradation of mechanical properties. From the point of view of ensuring safe long-term operation, it is necessary to determine the intensity of these changes and evaluate their admissibility. One of the degradation mechanisms is the void swelling, in which microstructural changes can manifest themselves as dimensional changes of components. The paper summarizes the available knowledge and describes approaches to the practical measurement of its impacts.

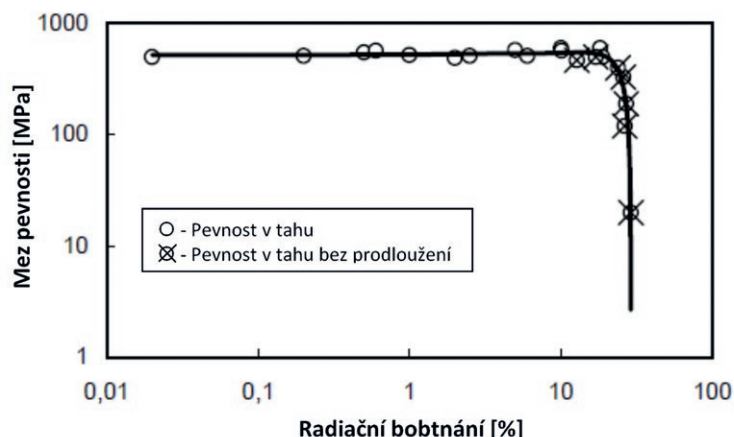
Radiační bobtnání materiálu (v anglosaské literatuře označované jako void swelling) bylo objeveno v šedesátých letech dvacátého století. Při kontrole vyhořelých palivových souborů použitých v rychlých reaktorech bylo zjištěno, že některé palivové proutky jsou viditelně prodloužené, viz obr. 1. Mikrostrukturní hodnocení následně prokázalo, že po vystavení materiálu ionizujícímu záření došlo k vytvoření kavit a dutin. Kavity jsou prázdné a mají tvar odpovídající krystalografii mřížky. Dutiny jsou vyplněny plyny: kyslíkem a dusíkem, které jsou přirozeně obsaženy v ocelích, nebo heliem a vodíkem, které jsou produktem transmutace.

Radiační bobtnání se projevuje změnou rozměrů a zároveň degradací mechanických vlastností materiálu. Stupeň rozvoje tohoto degradačního mechanismu se většinou popisuje jako procentuální změna rozměrů původní součásti před ozařováním. Na rozdíl od ostatních degradačních mechanismů působících na materiály vystavené ionizujícímu záření (například křehnutí nebo ztráta lomu-
vé houževnatosti), nemá radiační bobtnání



Obr. 1: Palivový soubor rychlého reaktoru FFTF s některými proutky prodlouženými v důsledku radiačního bobtnání [1]

Obr. 2: Mez pevnosti oceli AISI 321 jako funkce stupně radiačního bobtnání pro teploty ozařování 400 až 500 °C. [2]



znatelnou hodnotu saturace. Trend poškození nemusí být nezbytně lineární, na obr. 2 je znázorněna závislost meze pevnosti na procentuálním podílu radiačního bobtnání [2]. Je zřejmé, že po dosažení určité hodnoty se zcela ztrácí plasticita materiálu a dramaticky klesá jeho pevnost.

Existuje mnoho faktorů, které ovlivňují intenzitu bobtnání materiálu, mezi hlavní z nich patří chemické složení oceli a koncentrace nečistot, výrobní postup komponenty, způsob tepelného zpracování, teplota, dávka a intenzita ozařování.

Z hlediska chemického složení je nejdůležitější faktor obsah niklu. Se zvyšující se koncentrací citlivost k bobtnání klesá. Titanem stabilizovaná nerezová ocel AISI 321, která je hlavním konstrukčním materiálem použitým pro vnitřní části reaktorů VVER-440 a VVER-1000, má menší obsah niklu, než ocel AISI 316, která je použita na západních reaktorech PWR. Z tohoto důvodu je citlivější na radiační bobtnání a za shodných podmínek se u ní tento deformační mechanismus začne projevovat dříve.

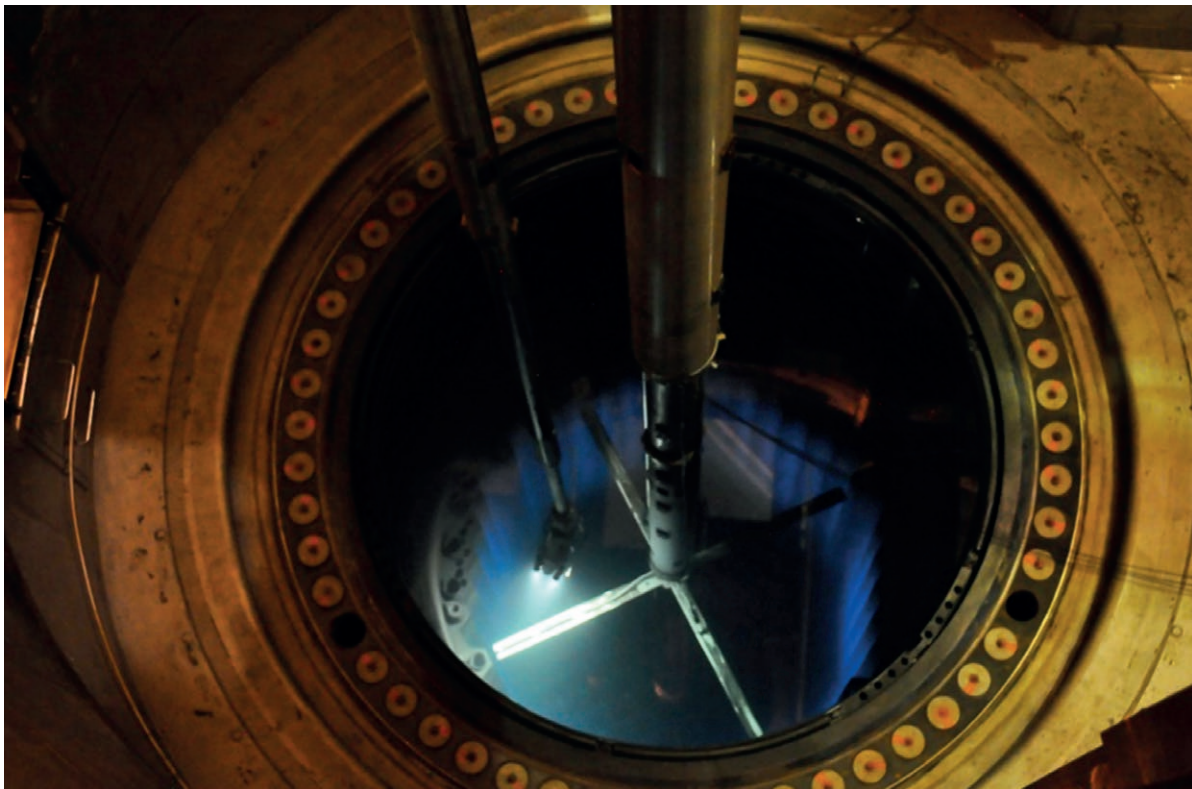
Zpočátku se předpokládalo, že radiační bobtnání bude mít vliv hlavně na komponenty rychlých reaktorů. Ty obecně pracují za vysokých teplot a jsou během provozu vystaveny vysokým dávkám ionizujícího záření, řádově desítkám dpa. Experimentální testování však prokázalo, že k radiačnímu bobtnání může docházet i při teplotách ozařování těsně nad 300 °C [3]. To znamená, že se jedná o degra-

dační mechanismus, se kterým se musí počítat i při hodnocení životnosti vnitřních částí tlakovodních reaktorů.

Dukovanské reaktory VVER-440 mají nižší provozní teplotu a nižší dávky; výpočty a materiálové analýzy vzorků odebraných z odstavených elektráren ukazují, že bobtnání je u nich zanedbatelné, a to i po dlouhé době provozu [4]. Pozornost je nutné věnovat vnitřním částem temelínské nádoby VVER-1000, které dostanou během svého života větší dávky a pracují v oblasti teplot, kde se již bobtnání může projevovat.

Na základě aktuálního stupně poznání lze předpokládat, že stupeň radiačního bobtnání nepřesáhne 1 %, materiál vestavby by tedy měl mít zcela dostatečnou zásobu plasticity a pevnosti pro to, aby i nadále bezpečně plnil svoji funkci. Určitý vliv by mohly mít rozměrové změny komponent. Komponenty vestavby reaktoru mají průměr 4 m a konstrukce předpokládá pouze minimální tolerance.

Z tohoto důvodu vyvíjí mnozí provozovatelé reaktorů VVER-1000 systém, který umožní přesné změření rozměrů vnitřních komponent vestavby reaktoru. Cílem je v průběhu odstávky provést měření a porovnáním s dokumentací skutečného provedení komponent zjistit, do jaké míry se projevují změny rozměrů způsobené radiačním bobtnáním. Požadavky na takový systém jsou relativně náročné, musí být schopen spolehlivě pracovat pod vodou, v podmínkách vysoké



Obr. 3: Systém měření rozměrů vnitřních částí reaktoru použitý pro Jižněukrajinskou JE [5] |

radiace a zároveň musí mít přesnost dostatečnou k tomu, aby bylo možné změřit rozměry s dostatečným rozlišením. Na měření délce cca 4 m je nutné dosáhnout přesnost alespoň ± 1 mm, ideálně ještě menší.

Na Ukrajině byl vyvinut a v praxi použit měřicí systém v roce 2017 na Jižněukrajinské JE [5]. Systém je zkonstruován z ocelové konstrukce, která má na svých koncích ultrazvukové měřiče vzdáleností. Přesnost ultrazvukových senzorů je udávána $\pm 0,01$ mm, přesnost celého systému byla odhadnuta na řádově desetiny milimetru. Ocelová konstrukce je navržena tak, aby umožňovala měření ve vybraných místech koše aktivní zóny v různých výškách, viz obr. 3, spouštěním dovnitř reaktoru na polární jeřábu. Pro daná místa je proveden výpočet a vypočtené hodnoty jsou porovnány se změřenými hodnotami.

Měření ukázalo, že po 27 letech provozu reaktoru jsou všechny rozměry v měřených místech v toleranci ± 1 mm. Výsledky jsou

v relativně dobré korelaci s výpočty, prokázalo se, že ke změnám rozměrů v důsledku radiačního bobtnání skutečně dochází. V současné době probíhá návrh nového měřicího systému, který bude mít vyšší přesnost (méně než $\pm 0,1$ mm). Dále se realizuje návrh sond pro měření teploty a neutronového toku v transportních kanálech koše aktivní zóny, které budou měřit skutečné hodnoty v průběhu provozu reaktoru. Cílem je odstranit konzervativismus výpočtů, daný ne zcela přesnou znalostí těchto parametrů.

V Rusku se používá měřicí systém založený na principu laserového skenování a televizní kamery, který byl použit na Balakovské JE [6]. Přesnost měření je udávána provozovatelem na $\pm 0,5$ mm. Výhodou tohoto systému je vyšší počet měření po celém vnitřním obvodu vestavby. Díky tomu bylo možné vyhodnotit změnu vzdálenosti mezi palivovými soubory a pláštěm aktivní zóny. Zjistilo se, že tato vzdálenost se periodicky mění mezi hodnotami $+2$ mm a -2 mm s periodou cca 60° .

To je pravděpodobně důsledkem odlišných teplot různých částí pláště aktivní zóny v důsledku jejich rozdílné tloušťky a nestejného gama ohřevu. Výsledky neprokázaly žádné ohrožení z hlediska dlouhodobého provozu reaktoru. I v Rusku se vyvíjí zařízení s vyšší přesností, které má být použito pro měření na Kalininské JE.

V České republice byl provedeny výpočty, které prokázaly možnost vzniku radiačního bobtnání a ukázaly, ve kterých místech by se tento degradační mechanismus mohl projevit. Na jejich základě je v ÚJV Řež vyvíjen systém pro měření rozměrů v požadovaných místech. Jeho princip je založen na ocelové konstrukci, která je osazena extenzometry s vysokou přesností; předpokládá se přesnost měření je méně než $\pm 0,1$ mm.

Podle plánu bude měření provedeno v letech 2022–25 na vestavbě obou reaktorů JE Temelín. Požadavkem zákazníka je, aby měřicí systém zůstal plně funkční i po provedeném měření a aby bylo možné měření opakovat se stejným zařízením a stejnou přesností i v následujících letech.

Závěrem lze konstatovat, že dopady degradačního mechanismu radiačního bobtnání je nutné sledovat i v podmínkách provozu lehkodvodních energetických reaktorů PVR i VVER. Doposud provedená měření na jaderných elektrárnách typu VVER-1000 na Ukrajině a v Rusku prokázala změny rozměrů komponent, které však nemají dopad na jejich celkovou životnost. V nejbližší době bude provedeno měření i na našich reaktorech.

Reference:

- [1] Garner, F. A. Radiation-Induced Damage in Austenitic Structural Steels Used in Nuclear Reactors. In: Konings, R., Comprehensive Nuclear Materials 2nd edition, vol. 3, 2020, pp. 57–168. Oxford: Elsevier
- [2] Neustroev, V.S., et al. Severe embrittlement of neutron irradiated austenitic steels arising from high void swelling, Journal of Nuclear Materials 386 (2009) pp. 157–160
- [3] Porollo, S.I., et al. Void swelling at low displacement rates in annealed 12X18H9T stainless steel at 4–56 dpa and 280–332 °C, Journal of Nuclear Materials 307–311 (2002) pp. 339–342
- [4] Kuleshova, E.A., et al. Microstructure degradation of austenitic stainless steels after 45 years of operation as WWER-440 reactor internals, Journal of Nuclear Materials 533 (2020) 151124
- [5] I. Danylchuk. Ukrainian experience aging management of WWER-1000 reactor internals; Void swelling, EPRI IMT WWER workshop, ÚJV Řež, Czech Republic, 2019
- [6] A. Varovin. Experience of Estimation of the Residual Lifetime of WWER-1000 PVI on the Basis of Measurements of the Changes in Geometry of Core Baffle, Fontevraud 9, France, 2018

Ing. Marek Postler

marek.postler@ujv.cz



Je absolventem ČVUT v Praze, fakulty strojní, oboru Materiálové inženýrství. Od roku 1994 pracuje v ÚJV Řež, v současné době v oddělení Investičních projektů a rozvoje podnikání jako specialista na otázky degradace materiálu. Vedl řadu projektů souvisejících s materiálovou problematikou pro zákazníky v České republice i zahraničí.

Infrastruktura horkých komor Centra výzkumu Řež 3. díl

**Mgr. David Zoul, Ing. Markéta Koplová, Ph.D.,
RNDr. Mariia Zimina, Ph.D.**

Centrum výzkumu Řež s.r.o.

V tomto článku si klademe za cíl seznámit čtenáře s novým pracovištěm horkých komor, které bylo v uplynulých letech postaveno v Řeži u Prahy. Náš výzkumný program je zaměřen na strukturální diagnostiku a studium mechanických vlastností materiálů vystavených vysokým dávkám neutronové radiace v jaderných a termojaderných reaktorech. Dále pak na výzkum a vývoj špičkových technologií a materiálů v oblasti rychlých reaktorů a v oblasti termojaderné fúze. Získání komplexního popisu degradace strukturálních a mechanických vlastností konstrukčních materiálů komponent jaderných reaktorů po dlouhodobé provozní expozici slouží k hodnocení jejich životnosti, spolehlivosti a bezpečnosti.

Původně neaktivní kovový materiál je vystaven vysokému neutronovému toku, tlaku, teplotě, chemickým vlivům prostředí. Vzniklý materiál s vysokou aktivitou je v horkých komorách přetvořen na vzorky vhodného tvaru a rozměru, které jsou pak podrobeny mechanickým zkouškám a metalografickým analýzám (zkouška tahem, vrubové houževnatosti rázem, lomové houževnatosti, rychlosti růstu trhliny při cyklickém zatěžování a za zvýšených teplot, malocyklové únavy a creepu). Hodnocení degradace materiálů je založeno na zkoumání mikrostruktury metalurgických vzorků po mechanické zkoušce. Další užitečnou informaci přináší stanovení prostorové distribuce aktivity ve vzorku.

V tomto dílu se blíže seznámíme s technologiemi a zkušebními přístroji v našich laboratořích. Představíme základní typy zkušebních těles, jakož i princip a účel jednotlivých typů zkoušek.

In this article, we aim to acquaint our readers with the new workplace called hot cells, which was built in Řež near Prague in recent years. Our research programme is focused on structural diagnostics and study of mechanical properties of materials exposed to high doses of neutron radiation in nuclear and thermonuclear reactors. Furthermore, it contains the research and development of high technology and materials in the field of fast reactors and thermonuclear fusion. Obtaining a comprehensive description of degradation of structural and mechanical properties of construction materials for nuclear reactor components after long-term operational exposure serves to assess their durability, reliability, and safety.

The originally inactive metal material is exposed to high neutron flux, pressure, temperature, and environment. The resulting highly active material is cut into samples of suitable shape and size, which are then subjected to mechanical testing and metallographic analysis (tensile, fracture toughness, crack growth rate under cyclic loading and elevated temperatures, low-cycle fatigue and creep tests) in hot cells. Evaluation of material degradation is based on the examination of the microstructure of metallurgical samples after mechanical testing. Another useful information is the determination of the spatial distribution of activity in the sample.

In this part we will get acquainted with technologies and testing devices in our laboratories. We will introduce the basic types of test specimens, as well as the principle and purpose of individual types of tests.

1. ÚVOD

V této části představíme hlavní technologické prvky a zkušební zařízení používaná v našich laboratořích. Popíšeme základní typy zkušebních těles a vysvětlíme princip a účel jednotlivých typů zkoušek i podpůrných technologií, jako je např. svařování elektronovým svazkem, elektrojiskrové řezání apod. [1]

Drtivá většina operací na horkých komorách probíhá z operátoroven (Obr. 1) prostřednictvím dálkových ovládacích prvků, jako jsou

dálkové manipulátory, manipulační jeřáby, motorizované dálkově ovládané přestupníky, trezory, zkušební a obráběcí stroje apod. Operátor je během těchto manipulací oddělen od zdrojů ionizujícího záření 500 mm silnou ocelovou stěnou a 900 mm silným průzorem z olovnatého skla. Otočné radiačně odolné kamery s výkonným optickým zoomem umožňují na monitoru přiblížit detaily jednotlivých operací a pozorovat je z několika různých úhlů.



■ | Obr. 1: Operátorovna horké komory |

odpařuje vodivý materiál v místě řezu pomocí elektrických výbojů, čímž umožňuje vyříznutí požadovaného tvaru bez tepelného a mechanického poškození v okolí řezu. Po dokončení jsou zkušební tělesa pečlivě vyčištěna a odmaštěna etanolem v ultrazvukové lázni.

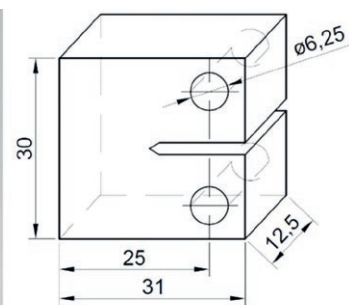
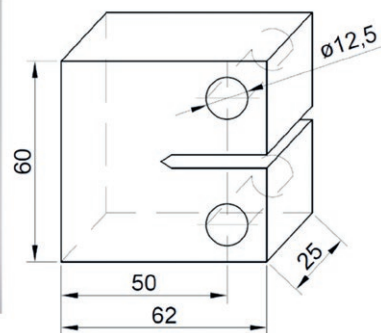
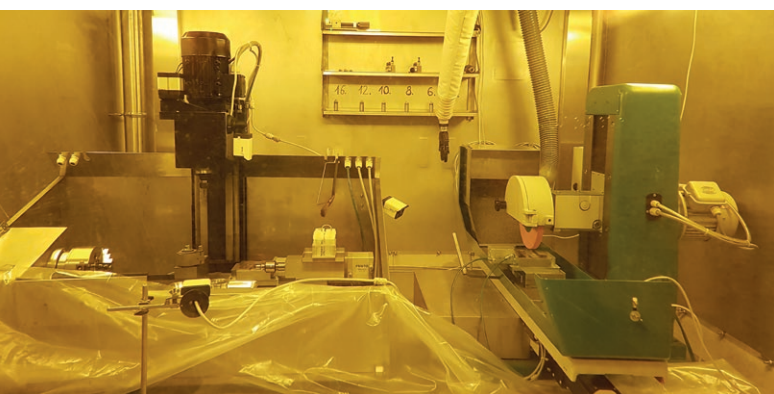
3. STANDARDNÍ TYPY ZKUŠEBNÍCH TĚLES

Existuje několik standardizovaných typů zkušebních těles, rozlišených dle typu mechanického testu, který na nich bude prováděn. Základní druhy ZT jsou ukázány na Obr. 4–8. Kromě standardních typů zpracováváme také nepřebernou škálu nestandardních (speciálních) zkušebních těles. S některými z nich se seznámíme v následujících kapitolách.

2. OBRÁBĚCÍ CENTRUM

Numericky řízené (CNC) obráběcí centrum firmy MIKRONEX s. r. o. (Obr. 2) je umístěno uvnitř horké komory č. 2. Umožňuje soustružení, frézování, vrtání a broušení vzorků pro jejich přípravu na následující mechanické zkoušky.

Zkušební tělesa (ZT) vyrobená v obráběcím centru jsou dále upravována pomocí elektrojiskrové řezačky EIR-EMOCV (napětí 50 V, proud 0,5 A, rychlost variabilní dle elektrického proudu protékajícího 0,3 mm CuZn drátem chlazeným demineralizovanou vodou), umístěné v horké komoře č. 3. Elektrojiskrová řezačka firmy ENVINET a.s. (NUVIA a.s.) (Obr. 3)

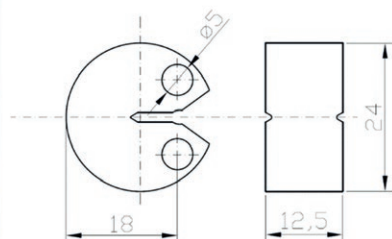
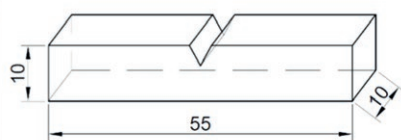
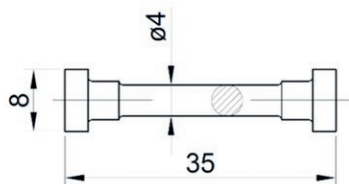


▲ | Obr. 4: Vzorek 1" CT |

▲ | Obr. 5: Vzorek 0,5" CT |

▲ | Obr. 2: Numericky řízené obráběcí centrum (CNC) firmy MIKRONEX |

■ | Obr. 3: Elektrojiskrová řezačka firmy ENVINET (NUVIA) |



< | Obr. 6: Vzorek pro tahovou zkoušku |

v | Obr. 7: Vzorek TPB |

ŷ | Obr. 8: Vzorek RCT |

Po vyhotovení jsou parametry zkušebních těles přesně změřeny pomocí automatického multisenzorového měřicího přístroje VERTEX (viz Obr. 9) a zdokumentovány. Nejdůležitější rozměry jsou označeny ve výkresech a zadány do protokolu o měření. Povrch každého ZT před testem je vizuálně vyšetřen a všechny nedokonalosti, rýhy a značky zaznamenány a uchovány společně s popisem materiálu, povrchových úprav, rozměrů, vyrytým číslem vzorku apod. Kvůli malým rozměrům ZT je každé z nich umístěno do plastové ampule, která je předem označena kódem příslušného vzorku.

Vzorek μ CT

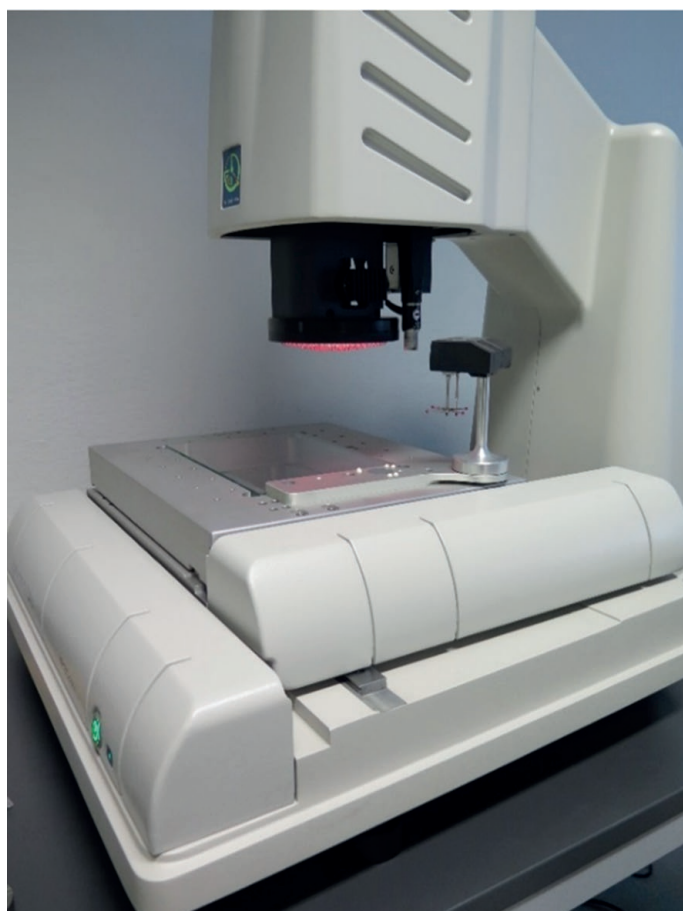
- tvar shodný se vzorky typu 1" CT a 0.5" CT
- orientační rozměry 10 × 10 × 4 mm

Tah s $\varnothing$ 6 mm

- tvar obdobný jako u vzorku tah s $\varnothing$ 4 mm,
- závitové hlavy rozměry $\varnothing$ 6 mm, délka 35 mm a více

Nestandardní typy vzorků

- např. trubky, ploché vzorky na tah, vzorky na ohyb, vzorky na creep atd.
- hmotnost vzorků je omezena možnostmi dálkové obsluhy manipulátory na 5 kg



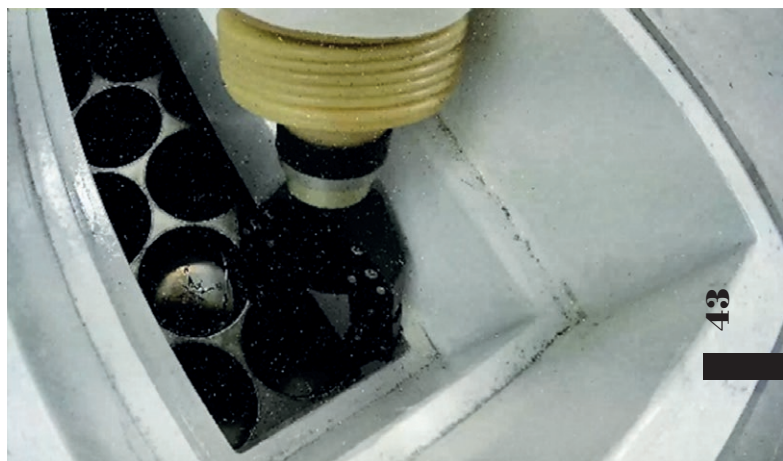
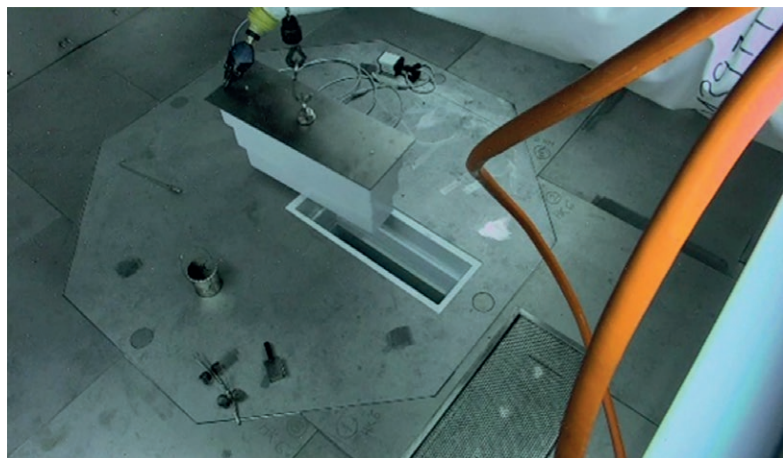
| Obr. 9: Zařízení VERTEX pro přesné měření vzorků |

4. PŘIJÍMACÍ A SKLADOVACÍ HORKÁ KOMORA

Horká komora č. 6 je určena pro příjem, třídění a distribuci ozářených vzorků. Je vybavena zdvihacím zařízením pro manipulaci s těžšími materiály. Dále je komora osazena trezorem pro krátkodobé skladování ZT. Komora je pomocí hermetického přestupníku propojena se suchým překládacím bazénem (SPB).

Elektronicky ovládaný karuselový trezor pro dočasné uskladnění vzorků (Obr. 10, 11) pojme až 84 válcových kapslí (výška 200 mm, $\varnothing$ 100 mm) se vzorky. Je umístěn pod falešnou podlahou hermetického boxu. Stínicí vrstva 300 mm oceli umožňuje dočasný pobyt pracovníka v komoře i za předpokladu, že celková aktivita vzorků uvnitř trezoru dosáhne 300 TBq ekvivalentu ^{60}Co .

Obr. 10: Umístění karuselového trezoru pro 84 kapslí pod falešnou podlahou HK6

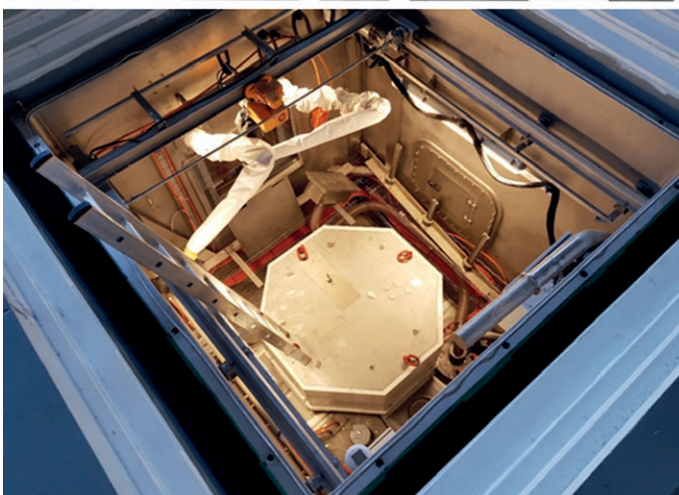
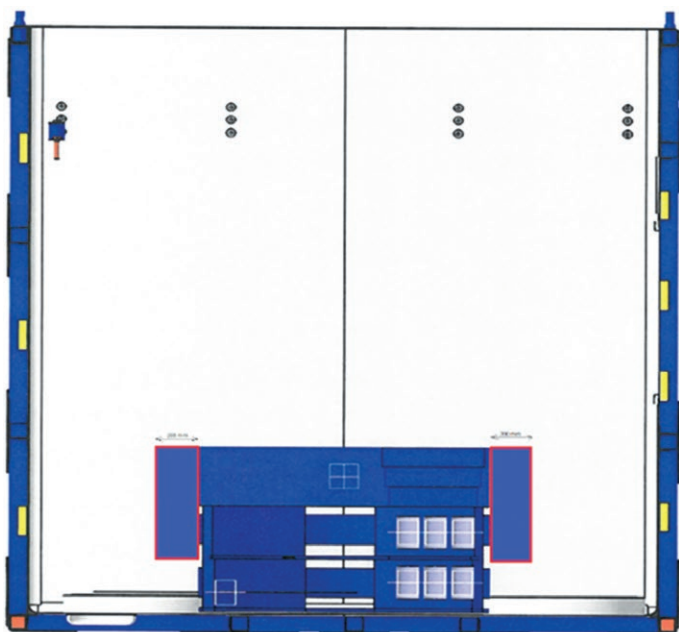


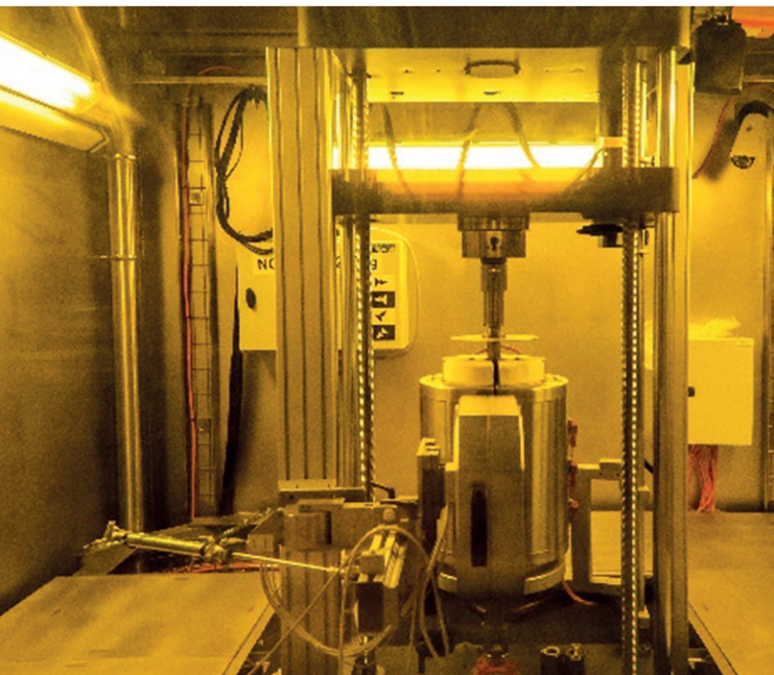
Obr. 11: Odzátkování a vkládání kapslí se vzorky do karuselového trezoru pomocí dálkových manipulátorů

5. HORKÉ KOMORY PRO MECHANICKÉ TESTOVÁNÍ

K degradačním mechanismům pokrytí použitého jaderného paliva během suchého skladování, na které je potřeba se zaměřit, se řadí poškození pokrytí vlivem tečení (creep) a změna mechanických vlastností materiálu (např. žíháním).

Znalost této problematiky je důležitá z hlediska poznání chování použitého jaderného paliva během jeho dlouhodobého suchého skladování. Zodpovědnost dodavatele paliva je v této oblasti prakticky nulová, tíha vzniklých rizik a problémů leží v dnešní době na straně provozovatele jaderných elektráren. Pro tyto potřeby je nutnou podmínkou získání informací o mechanických vlastnostech ozářeného materiálu nutných pro provedení výpočetních analýz pro provoz paliva v reaktoru i pro jeho skladování a informací





Obr. 12: Elektromechanický creepovací stroj umístěný v horké komoře č. 10 je zařízení pro studium tečení a únavy materiálu při zvýšených teplotách (až 800 °C) a různých úrovních mechanického napětí (až 50 kN)

je znázorněno na Obr. 13. Testovaný vzorek TR ve tvaru kroužku se symetricky zúženými částmi je vložen do speciálního držáku. Zkoušky jsou prováděny při normální teplotě a teplotách 300 °C, 350 °C a 400 °C. Teplota se reguluje pomocí tří termočlánků nacházejících se v blízkém okolí ZT, s odchylkou ± 3 °C.

Pro tento typ zkoušek v horkých komorách CVŘ byl speciálně navržen a vyzkoušen držák pro manipulaci s ozářenými vzorky (Obr. 13). Skládá se z rámu pro uchycení držáku při zakládání vzorků, půlených tahových čelistí a krytu pro držení přípravku pohromadě při vkládání do stroje. Zkušební těleso TR se umísťuje na trn uprostřed přípravku, na který je aplikována tažná síla, jejíž směr je vyznačený na Obr. 13 šipkou. Všechny součástky jsou vyrobeny z nerezové oceli ČSN 17255. Zakládání zkušebních těles do zkušebních strojů je prováděno manipulátorem za použití kamerového systému. Všechna měření jsou prováděna pomocí metrologicky ověřených strojů.

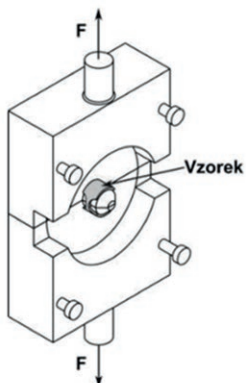
Zkoušky tahem (ATT) na podélném vzorku (viz Obr. 14) se provádí na univerzálním servo-hydraulickém trhacím stroji pro kombinované namáhání Instron 8874 (viz Obr. 16). Stroj s použitím environmentální komory umožňuje zkoušení za maximální teploty 1 200 °C. Teplota se reguluje s odchylkou ± 3 °C pomocí termočlánku typu K nacházejícího se v blízkém okolí zkušebního tělesa. Měření prodloužení se provádí pomocí snímání polohy příčnicku a/nebo za použití video extenzometru. Pro tento typ zkoušek v horkých komorách CVŘ byl speciálně navržen a vyzkoušen držák pro manipulaci s ozářenými vzorky (Obr. 15). Skládá se z korýtky pro polohování držáku při zakládání vzorků, půlených tahových čelistí (Obr. 15a) a krytu ve tvaru „L“ pro držení přípravku pohromadě při vkládání do stroje (Obr. 15b). ZT se umísťuje uprostřed přípravku pomocí centrovacích čepů a utahovacích šroubů. Tažná síla je aplikovaná ve směru vyznačeném na Obr. 15a šipkou (F). Všechny součástky jsou vyrobeny z nerezové oceli ČSN 17255.

o mikrostrukturních změnách v důsledku ozáření pro zajištění lepší přenositelnosti a využití měření prováděných v rámci běžících výzkumných programů na neozářených vzorcích. Segmenty pokrytí paliva ze zirkoniové slitiny E110 ozařované v aktivní zóně energetického reaktoru umožňují tato data získat a doplnit tak již běžící výzkum na neozářeném pokrytí (např. v UJP PRAHA). Zkoušky se provádí na pracovištích Centra výzkumu Řež. Pro uvedené vzorky je definován soubor metodik následujícím způsobem:

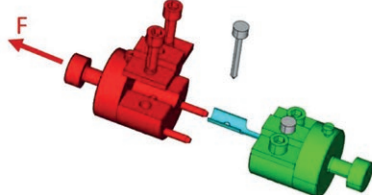
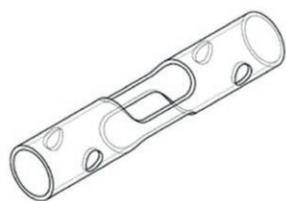
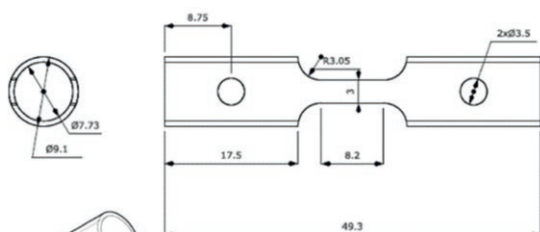
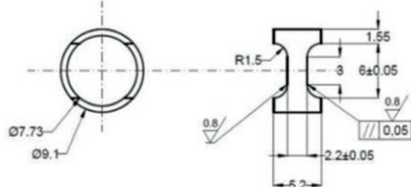
1. Tahová zkouška v příčném směru.
2. Tahová zkouška v podélném směru.
3. Zkouška relaxace napětí v podélném směru.
4. Nanoindentace.

Stanovené analýzy jsou určeny pro vzorky vyrobené z povlakových trubek (TR) ze slitiny E110 s vnějším průměrem 9,1 mm a tloušťkou stěny 0,685 mm.

Zkoušky tahem na TR tělesech jsou prováděny na elektromechanickém stroji Zwick Kappa DS50 (viz Obr. 12) umožňujícím maximální zatížení v tahu 50 kN a maximální zkušební teplotu 800 °C. Měření prodloužení se provádí pomocí snímání polohy příčnicku a/nebo za použití laserového extenzometru s přesností měření dle ISO 9513 třída 1. Uspořádání experimentu spolu s rozměry vzorku



- Vnější průměr OD: 9,1 mm,
- Vnitřní průměr ID: 7,73
- Tloušťka b: 1,38 mm,
- délka zúžené části G: 3 mm,
- šířka zúžené části a: 2,2 mm,
- šířka vzorku W: 5.2 mm



a



b

< | Obr. 13: Držák pro testování kroužkového TR |

v | Obr. 14: Podélný TR vzorek pro testování vzorku tahem |

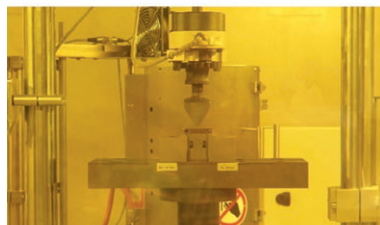
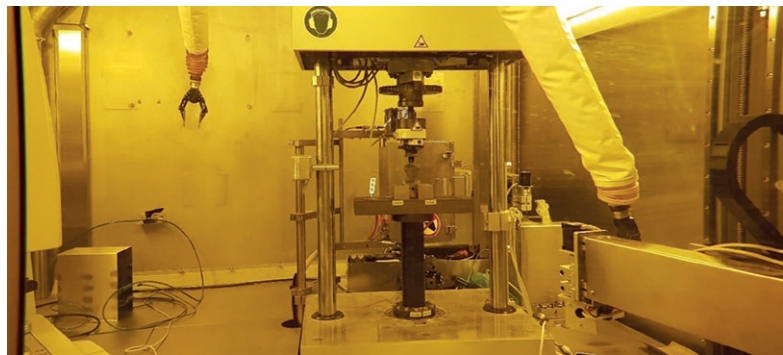
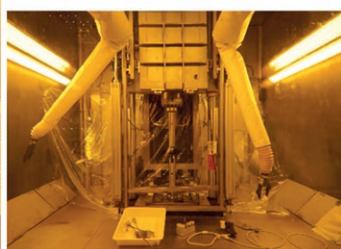
v | Obr. 15: Speciálně konstruovaný držák pro tahové zkoušky segmentů pokrytí paliva ze zirkoniové slitiny |

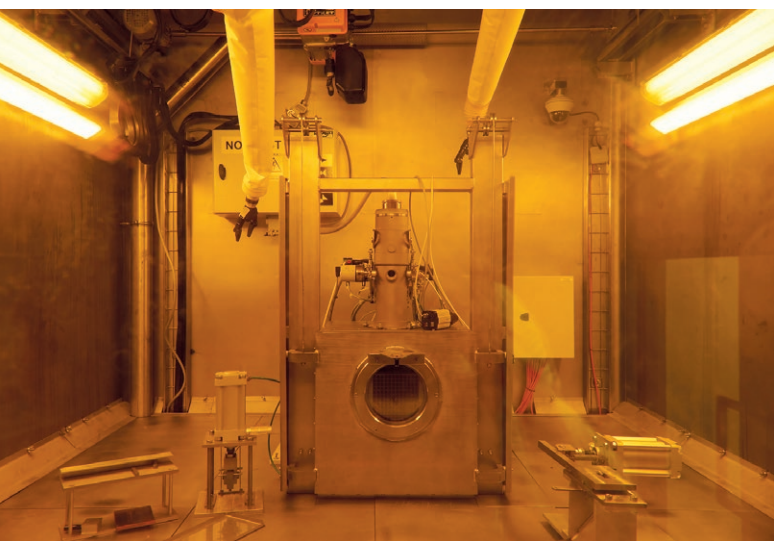
v | Obr. 16: Univerzální zkušební stroje firmy Instron jsou zařízení pro testování mechanických vlastností v tahu, tlaku (do 250 kN), torzi (do 100 Nm) a statické lomové houževnatosti; každý ze strojů je umístěn v samostatném hermetickém boxu, který se operativně dle potřeby zasune do horké komory č. 7

6. HORKÁ KOMORA PRO STUDIUM ÚNAVOVÝCH VLASTNOSTÍ A RŮSTU TRHLINY PŘI VYSOKÝCH FREKVENCÍCH CYKICKÉHO MECHANICKÉHO NAMÁHÁNÍ

V komoře č. 8 se nachází zařízení VERTEX pro měření lomových ploch a měření rozměrů a délky trhlin, dále pak vysokofrekvenční rezonanční pulsátor firmy ZwickRoell (Obr. 17) pro studium mechanických únavových vlastností a růstu trhliny CT vzorků při vysokých frekvencích cyklického mechanického namáhání, který umožňuje kombinovat statické a dynamické namáhání do 50 kN a frekvence až 250 Hz.

v | Obr. 17: Vysokofrekvenční rezonanční pulsátor firmy ZwickRoell |

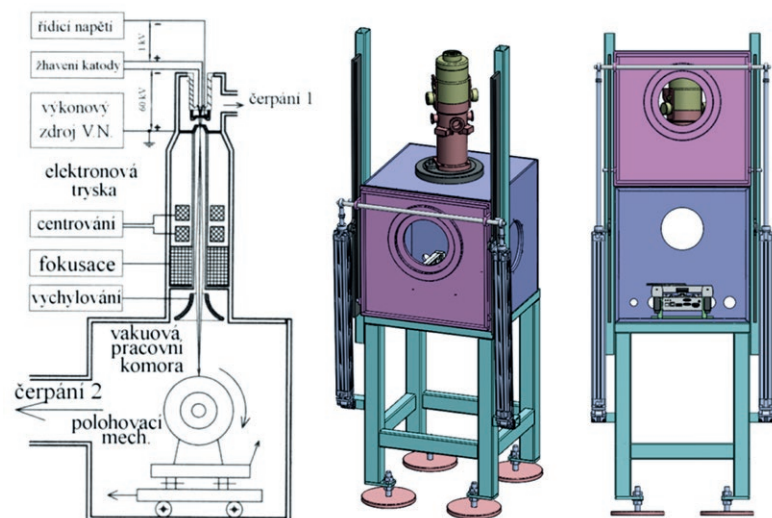




Obr. 18: Pohled do HK9 s elektronovou svářečkou ES3X

Obr. 19: Pohled do operátorovny HK9

Obr. 20: Svářečka elektronovým svazkem ES3X



7. HORKÁ KOMORA PRO SVAŘOVÁNÍ ELEKTRONOVÝM SVAZKEM

Komora č. 9 je vybavena svářečkou elektro-
novým svazkem (60 kV, 6 kW) pro provádění
rekonstituce ozářených zkušebních těles [2].

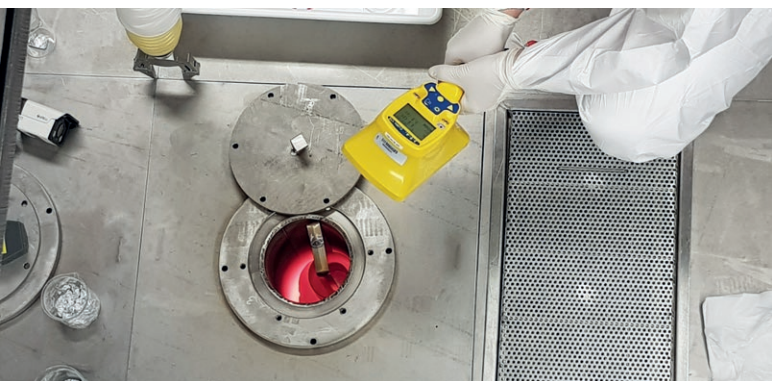
Elektronová svářečka ES3X firmy ÚJV Řež je
zařízení určené pro svařování kovových ma-
teriálů ve vakuu svazkem elektronů emitova-
ných do pracovní komory s vysokým vakuem
z přímo žhavené katody uvnitř elektronové
trysky. Svazek elektronů je v prostoru mezi ka-
todou a anodou urychlen vysokým napětím
a dále zaostřován pomocí systému fokusa-
čních elektromagnetických čoček. Uvnitř pra-
covní vakuové komory se svazek elektronů
pohybuje již jen setrvačností, a poté dopadá
vysokou rychlostí na svařovaný díl (svařenec),
kterému předává tepelnou energii. Svazek
z této trysky dokáže proniknout do nerezov-
vé oceli 10 mm hluboko a během 2 sekund
provést rekonstituci na dráze 10 mm (plocha
100 mm²). Pomocí speciálního otočného dr-
žáku lze na tomto zařízení provádět rovněž
i kruhové sváry.

8. ELEKTROCHEMIE

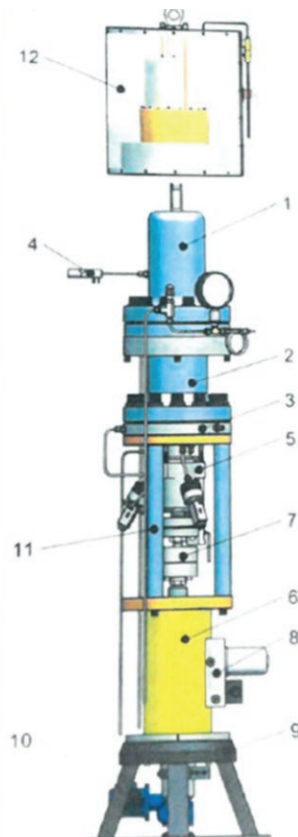
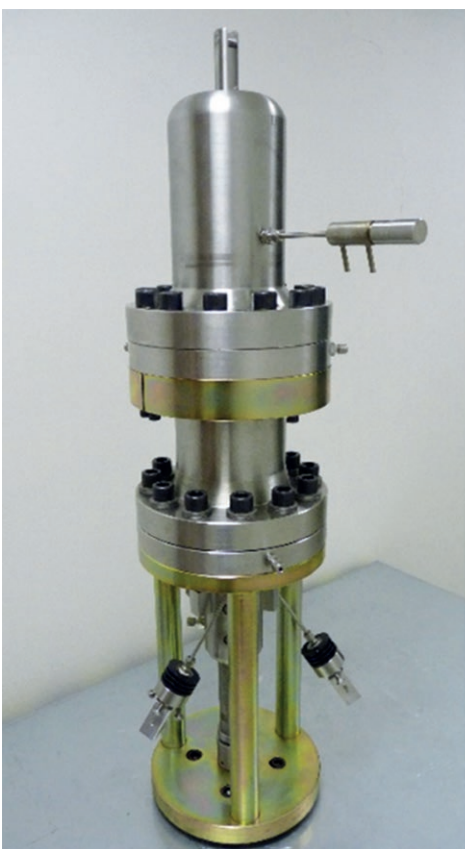
Horká komora č. 5 je připravována pro elek-
trochemickou separaci alfa radioaktivních
štěpných produktů z prostředí roztavených
fluoridových solí. Je osazena hermetickým
boxem s povrchovou úpravou pro jednoduš-
ší dekontaminaci povrchů radionuklidů typu
alfa. HK5 je hermeticky připojena k exter-
nímu hermetickému přestupníku, který je
v prostoru operátorovny. Externí hermetický
přestupník slouží pouze pro vkládání vzorků
do hermetického boxu HK5. Komora obsahu-
je mimo jiné 4 vysokoteplotní pece (Obr. 21)
schopné zahřát vzorky až na teplotu 1 200 °C.

9. AUTOKLÁVOVÝ ZKUŠEBNÍ SYSTÉM

Interkrystalické korozní praskání pod napě-
tím (IGSCC – InterGranular Stress Corrosion
Cracking) je významným degradačním me-
chanismem klíčových součástí jaderných
elektráren vyrobených z austenitické nerezov-
vé oceli nebo ze slitin niklu. Výzkum korozní-
ho praskání pod napětím za vysokých teplot
a studium klíčových defektů ovlivňujících ini-



Obr. 21: Pohled do HK5 - elektrochemie



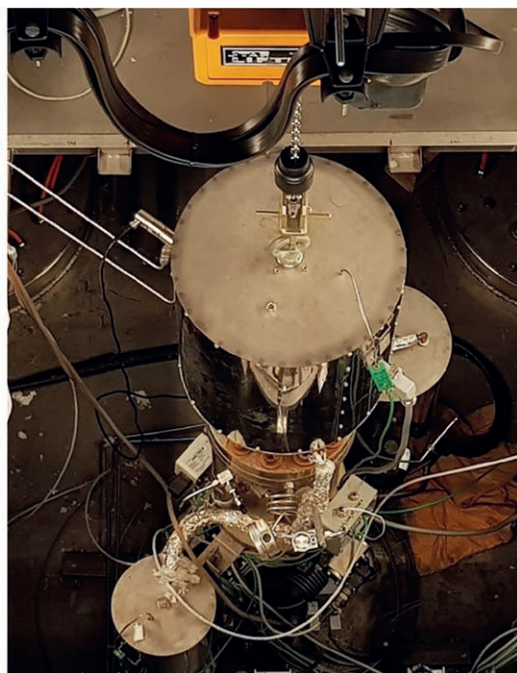
Obr. 22: Autokláv - schéma: 1) horní víko, 2) střední část, 3) spodní část, 4) sonda ECP, 5) vyrovnávací komora, 6) hydraulický válec, 7) dynamometr, 8) deska hydraulického obvodu, 9) stojan, 10) otočný mechanismus, 11) spojovací klec, 12) ohřívací pec

ciaci trhlin, procesu seskupování mikrotrhlin a jejich následného růstu, vývoj metod omezení korozního praskání (včetně vývoje nových materiálů) jsou nezbytné pro bezpečný provoz lehkových jaderných reaktorů.

Korozní praskání při napětí indukovaném ozářením (IASCC – Irradiation Assisted Stress Corrosion Cracking) v jádru varných reaktorů (BWR – Boiling Water Reactor), tlakovodních reaktorů (PWR – Pressure Water Reactor) a vodovodních energetických reaktorů (VVER – Водо-Водяной Энергетический Реактор), iniciovalo rozsáhlé studie takto ozářených materiálů. Laboratorní testy při malé rychlosti

deformace (SSRT – Slow Strain Rate Test), stejně jako testy růstu trhliny při konstantním zatížení ukazují, že kinetika praskání roste spolu s expozicí neutronů. Nejpravděpodobnější příčinou tohoto praskání jsou lokální deformace na hranicích zrna ovlivněné segregací a účinky prostředí. Prodlužování životnosti jaderných elektráren přirozeně zvyšuje riziko IASCC vlivem vyšších kumulovaných dávek. Proto je výzkum ozářených materiálů vnitřních částí reaktorů, mechanismů degradace a korozního praskání za provozu nenahraditelný pro posouzení jejich životnosti.

Monitorování účinnosti různých povrchových úprav a výrobních metod aplikovaných na materiály chladicích okruhů reaktorů proti koroznímu praskání (EACC – Environmentally Assisted Corrosion Cracking) a IASCC je jedním z aktuálních cílů mezinárodních výzkumných skupin. Stav povrchu komponent primárního okruhu jaderného reaktoru určuje do značné míry jejich dlouhodobou odolnost vůči vzniku trhlin. Umělá akcelerace korozního praskání se uskutečňuje pomocí konstantního tahového zatížení za použití plochých vzorků s vrubem (Single Etched Notch Test – SENT) v různých prostředích, kde je uměle vytvořený vrub (odpovídající průmyslovým povrchům) vystaven zkoušce korozního praskání. Tímto typem testů se zabývá rovněž projekt MEACTOS, do kterého je aktivně zapojeno též Centrum výzkumu Řež.



Obr. 23: Pohled do horké komory s autoklávem |

Pro provedení zkoušky v korozním prostředí při malé rychlosti deformace na ozářených zkušebních tělesech se používá elektrohydraulický autoklávový zkušební systém s vodní smyčkou, model AZS 01, který vyrábí ÚJV Řež (Obr. 22).

Systém AZS 01 pracující v horké komoře č. 4 umožňuje mechanické testování zkušebních těles do maximální pracovní teploty 350 °C za maximálního přetlaku 17,5 MPa a maximální působící síly v tahu 25 kN. Měření teploty probíhá pomocí kalibrovaných vysokoteplotních čidel umístěných uvnitř tlakové nádoby autoklávu. Vnitřní zatěžovací zařízení autoklávu zajišťuje jednostranné nebo cyklické axiální tahové namáhání zkušebního tělesa. Jeho hlavní částí je zatěžovací hydraulické táhlo s dolním závěsem a zatěžovací klec s horním závěsem. Zatěžovací táhlo je dělené, ve vývrtu horního dílu je instalován kalibrovaný tenzometr pro měření čisté síly. Řízení tahového namáhání vzorku se provádí pomocí zatěžovacího hydraulického válce.

Detekování vzniku mikrotrhlin způsobených korozním praskáním se uskutečňuje nedestruktivní potenciálovou metodou (Direct Potential Difference – DPD) prostřednictvím zařízení Poteron PD-05. Principem této me-

tody je detekce změn elektrického odporu zkušebního tělesa nebo změny rozložení potenciálového pole při vzniku a růstu defektů. Metoda umožňuje indikaci vzniku trhliny, měření její velikosti, polohy, a rychlosti jejího růstu. Hlavní výhodou je nedestruktivní charakter metody (vyhodnocení parametrů trhliny bez nutnosti roztržení vzorku), možnost měření při vysokých teplotách, vysokých tlacích a odolnost vůči chemicky agresivnímu prostředí, v němž jiné metody často selhávají [3]. Zařízení má 4 měřicí kanály, volitelnou měřicí frekvenci v rozsahu 0–1 000 Hz, zesílení až 152×.

Vodní smyčka autoklávového zatěžovacího systému (AZS) je určena k napájení zařízení pracovním médiem, k rozvodu pracovního média a k úpravě jeho chemických a fyzikálních parametrů. Součástí obvodu vodní smyčky jsou rám vodní smyčky a propojovací obvod, spojující rám s tlakovou nádobou autoklávu (Obr. 24). V rámu jsou zabudovány komponenty potřebné pro cirkulaci, regulaci a chlazení tlakové vody, dávkování plynů (N_2 , H_2 a O_2) a přístroje pro měření kvality vodního prostředí. Smyčka je umístěna v prostoru pod horkou komorou s omezeným vstupem a ovládá se softwarově nebo manuálně za přítomnosti pracovníka dozimetrické kontroly v souladu s programem monitorování.

Pro měření pH je zařízení vybaveno pH metrem firmy WTW typ 537. Vzhledem k velmi vysokým nárokům na čistotu média je měřicí elektroda instalována mimo okruh a případné měření se provádí externě na odebraném vzorku. Měření vodivosti média se provádí pomocí kalibrovaného přístroje LF 340 firmy WTW se sondou LR 325101 (CM). Vodivost média jak v zásobní nádrži, tak i na výstupu z autoklávu je monitorována průběžně během zkoušky. Požadovaná přesnost měření konduktivity je alespoň $0,01 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

Pro dosažení požadované konduktivity pracovního média ($< 0,1 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) je zařízení vybaveno demineralizační jednotkou Behro-pur B5, zajišťující na výstupu konduktivitu cca $0,06 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Zařízení umožňuje jak úpravu média při plnění pracovní nádrže a zavodňování systému, tak i dočišťování média okruhu během provozu zařízení.

Obsah rozpuštěného kyslíku v médiu je upravován v pracovní nádrži pomocí syčení inertním plynem, případně směsí inertního plynu s kyslíkem (pro dosažení definované koncentrace rozpuštěného kyslíku). Plyn je

přiváděn z tlakového rozvodu přes dávkovací ventil do pracovní nádrže. Obsah rozpuštěného kyslíku v médiu pracovní nádrže na výstupu z autoklávu lze kontinuálně sledovat oxymetrem TriOxmatic, který je instalován v autonomním okruhu vybaveném vlastním čerpadlem.

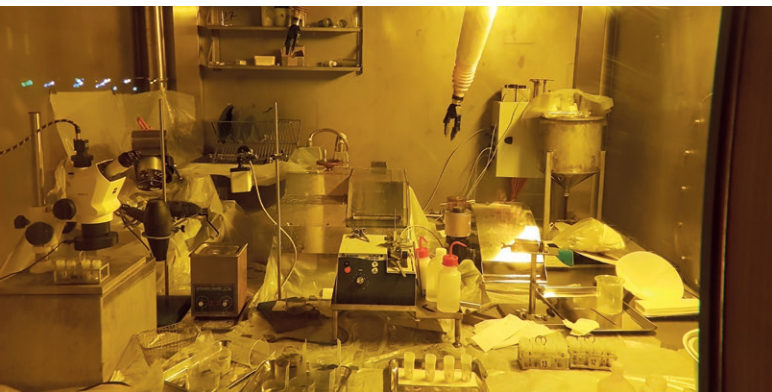
Měření obsahu vodíku se provádí pomocí systému ORBISPHERE umístěném ve vodní smyčce AZS, na základě měření tepelné vodivosti. Teplotní rozsah senzoru je -10°C až $+60^\circ\text{C}$.

Měření elektrochemického potenciálu (ECP) je realizováno pomocí sondy ECP, která je umístěná v horním víku AZS. ECP sonda musí být před začátkem testování kalibrována a změřen její tzn. „potenciál za studena“ v demineralizované vodě při 25°C za použití komerční referenční elektrody.

Vzájemná komunikace mezi částmi AZS a řídicím PC se uskutečňuje pomocí vnitřního ethernetového připojení v síti LAN. Modulární řídicí systém CompactRIO firmy National Instruments typové řady cRio 9066 umožňuje

Obr. 24: Vodní smyčka autoklávového zatěžovacího systému





Obr. 25: Pohled do HK1 – metalografická přípravná

sběr a vyhodnocení všech dostupných fyzikálních veličin autoklávu. Měřené hodnoty jsou následně graficky zpracovány a znázorněny v prostředí LabView pro in-situ vizuální kontrolu výsledku.

10. HK1 – METALOGRAFICKÁ PŘÍPRAVNA

Metalografická přípravná (Obr. 25) slouží pro přípravu metalografických vzorků, je vybavena metalografickou pilou, metalografickou bruskou a leštičkou, dále pak metalografickým lisem pro zalévání vzorků za tepla.

Zde se provádí prohlídka neočištěného lomu malých ozářených vzorků ve stereolupě ZEISS Stemi 508, umožňující padesátinásobné zvětšení. Po očištění lomové plochy (benzín, etanol, perchlorethylen, 20% roztok kyseliny sírové) se pozorování opakuje.

Následně probíhá řezání vzorků diamantovým kotoučem na požadovaný rozměr, broušení vzorků za mokra na metalografické brusce, finální leštění a leptání povrchu pro elektronovou mikroskopii.

Prezentované výsledky byly finančně podpořeny Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy – projekt LQ1603 Výzkum pro SUSEN. Práce byla realizována na velké infrastruktuře Udržitelná energetika (SUSEN) vybudované v rámci projektů CZ.1.05/2.1.00/03.0108 a CZ.02.1.01/0.0/0.0/15_008/0000293.

Reference:

- [1] Petříčková, A., Srba, O., Švrčula, P., Mikloš, M., Svoboda, P. Introduction of hot cell facility in Research Centre Řež, BJE, 2015, Svazek 23 (61), Číslo 7/8, Strany 343–348
- [2] Zoul, D., Daníčková, K., Falter, T., Horalík, L., Kolros, A., Visinger, R., Koplová, M. Dozimetrie radiačního pole v okolí svářečky elektronovým svazkem ES3X, BJE, 2018, Svazek 26 [64], Číslo 9/10, Strany 247–258
- [3] Hojná, A., Zimina, M., Janoušek, J. Effect of strain rate on crack initiation of 316L steel in high temperature water/vapour environments, Journal of Nuclear Engineering and Radiation Science, 2019, Svazek 5, Strany 1–11

Mgr. David Zoul

david.zoul@cvrez.cz



Absolvoval Matematicko-fyzikální fakultu Univerzity Karlovy v Praze v oborech Bezpečnost jaderných zařízení a Kvantová biofyzika. Na Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT v Praze poté získal akreditaci pro výkon zdravotnického povolání v oboru radiologická fyzika. V letech 2001–2013 pracoval ve Fakultní nemocnici v Motole a v Nemocnici Na Homolce jako dohlížející osoba v oblasti radiodiagnostiky a jako lékařský fyzik v oboru radiační onkologie, se zaměřením na léčbu dětské leukémie. Od roku 2004 je členem České společnosti fyziků v medicíně (ČSFM).

V letech 2006–2013 přednášel lékařskou fyziku na 2. lékařské fakultě Univerzity Karlovy v Praze a Fakultě biomedicínského inženýrství ČVUT.

Od roku 2014 pracuje ve společnosti Centrum výzkumu Řež v oblasti dozimetrie ionizujícího záření, kde se zabývá mimo jiné výzkumem a vývojem organických integrujících dozimetrů a přístrojů pro gama tomografii. Současně vykonává soustavný dohled nad dodržováním požadavků radiační ochrany na pracovištích s otevřenými a uzavřenými radionuklidovými zdroji.

Nové systémy portálových monitorů pro zajištění bezpečnosti obyvatelstva

Ing. Lubomír Gryc ⁽¹⁾, Ing. Tomáš Grísa, Ph.D. ⁽²⁾

Státní ústav radiační ochrany, v.v.i. ⁽¹⁾, NUVIA a.s. ⁽²⁾

Článek popisuje nové systémy portálových monitorů vyvinuté na bázi plastových detektorů v rámci projektu Ministerstva vnitra „Nová generace portálových monitorů pro zajištění bezpečnosti obyvatelstva (PoMoZ)“. Jde o systémy pro kontrolu radioaktivního pole při průjezdu vozidel, kde se využívají především stacionární velkoplošné detektory s délkou a šířkou řádově až 100 centimetrů a tloušťkou jednotek centimetrů, dále aplikace pro skenování osob při průchodu nebo kontrolu prostor. Přestože plastové detektory vykazují určité spektrometrické vlastnosti při detekci záření gama, nepoužívají se přímo k identifikaci jednotlivých nuklidů, jsou ale velmi vhodné jako velmi rychlé a cenově dostupné indikační detektory pro zmíněné monitorování osob či projíždějících vozidel. Vyvinutá zařízení jsou nově provedena v tzv. nenápadném provedení, nebo jako skrytá.

The article describes new portal monitor systems developed on the basis of plastic detectors within the project of the Ministry of the Interior „The new generation of portal monitors to ensure the security of the population“. These systems are designed for the inspection of the radioactive field during the passage of vehicles, which use mainly stationary large-area detectors with a length and width of the order of 100 centimetres and a thickness of units of centimetres, as well as applications for scanning people during passage or space control. Although plastic detectors have certain spectrometric properties in the detection of gamma radiation, they are not used directly to identify individual nuclides, but they are very suitable as very fast and affordable indicator detectors for the mentioned monitoring of people or passing vehicles. The developed devices are newly made in a so-called inconspicuous design, or as hidden devices.

Úvod

Rychlý záchyt radionuklidů vnášených do prostor (úmyslně nebo neúmyslně) osobami přímo nebo ve vozidlech má velký bezpečnostní význam jak v oblastech jaderné energetiky, tak i v širší oblasti zvýšení bezpečnosti občanů v ochraně před zlovolným použitím radioaktivních látek (např. na letištích, v metru, na hromadných akcích, v chráněných budovách apod.). Využívají se systémy a detekční přístroje, jejichž primárním účelem je záchyt, dohledání (ruční měřicí zařízení) a následně specifikace radioaktivní látky.

Potřeba těchto zařízení neustále narůstá, zejména se zvyšujícími se nároky na ostražku výše uvedených míst. Na trhu se taková zařízení vhodná i pro nasazení ve veřejných prostorách (v nenápadném provedení), a která by se dala snadno transportovat, téměř nevyskytují.

Pokud existují, je jejich slabinou omezená kapacita screeningu a dále fakt, že detektory umístěné v zájmových místech často narušují přirozený ráz monitorovací oblasti. Problémem také mohou být možné falešné pozitivní signály např. z důvodů přítomnosti osob po aplikaci radiofarmak, nebo přírodních radionuklidů v technice.

Na detekční zařízení, která mají být použita ve veřejných prostorách, se tak kladou různé požadavky, nicméně některé jsou společné, a to: přenositelnost, resp. transportovatelnost, snadná instalace a ovládání a nízké energetické nároky. Reálné technické požadavky jsou však závislé na plánovaném způsobu použití, a to jak na typu detekovaného záření, tak na aktivitě zdroje v definované vzdálenosti. Pro zařízení, která budou umístěna v terénu, je také nutná odolnost (stupeň krytí – IP) vůči

povětrnostním podmínkám, případně mechanická odolnost (vandalismus apod.). Některé podmínky použití jsou řešeny tak, že zařízení jsou tzv. skrytá a to např. zabudováním do zařízení či věcí, které jsou v dané oblasti běžné, nebo umístěním např. do prostředků, které jsou z vnějšku osobám nedostupné.

Za tímto účelem byly vyvinuty následující typy nových cenově dostupných systémů monitorů zahrnující i systém vyhodnocení:

- vymezovací sloupek,
- portál okolo dveří,
- turniket,
- portál (sloup).

Tato zařízení mohou sloužit nejen ve veřejném prostoru, ale i na místech, kde je radiační bezpečnost přímo vyžadována, jako jsou např. jaderná zařízení či pracoviště s radiofarmaky a další, u kterých je radiační bezpečnost prioritou. Navíc se výše zmíněná zařízení dají použít i pro záložní screening osob a techniky, které by přicházely z kontaminovaných oblastí pro případ jaderné havárie či nehody.

Níže jsou popsány parametry těchto monitorovacích systémů z hlediska zachytu radionuklidů.

OBECNÉ VLASTNOSTI

Základní detekční element, který je použit ve vyvinutých zařízeních, je organický plastový scintilátor na bázi polystyrenu – $(C_8H_8)_n$. Ten byl zvolen jak kvůli možnostem výroby různých objemů a tvarů, tak i díky jeho poměrně nízké ceně. U každého typu byly při výzkumu optimalizovány jak velikost, tak i tvar detektoru, a to z důvodu dostatečné citlivosti, či vhodnosti rozměrů krystalů, které lze umístit do výše jmenovaných zařízení. Vzhledem k vlastnostem plastových scintilátorů (tj. nízké hustotě – $1,03 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ a Z), u kterých je při depozici gama záření dominantní Comptonův rozptyl, je energetický rozsah detekce zvolen do 2 000 keV, ve kterém lze postihnout potenciální zdroje gama záření. Pro účely testování vyvinutých zařízení byly použity zdroje ^{241}Am , ^{137}Cs , ^{60}Co , neboť tyto radionuklidy jsou běžně používané jako zdroje zejména v průmyslu a reprezentují výše zmíněný energetický rozsah.

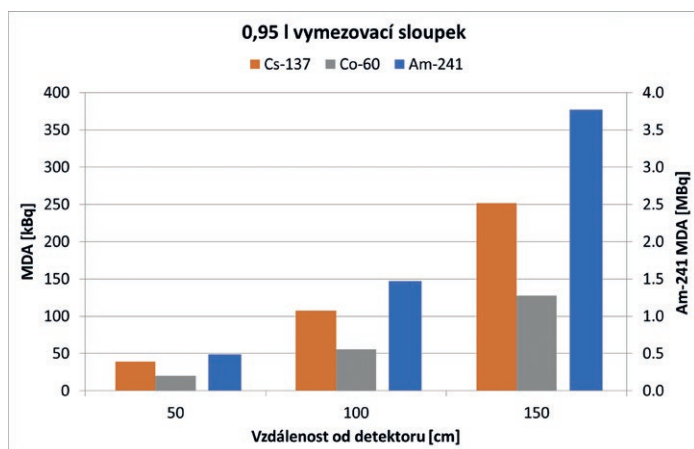
VYMEZOVACÍ SLOUPEK SE SAMONAVÍJECÍM PÁSEM

Měřicí zařízení se skládá z detektoru umístěného do vymezovacího sloupku, který se ve velké míře používá na letištích. Detektor je tvořen plastovým detektorem válcového tvaru o průměru 55 mm a délce 400 mm s fotonásobičem zapuštěným do detektoru, analyzátořem signálu a procesoru, který provádí veškeré vyhodnocení. Ve sloupku je umístěn akumulátor zajišťující napájení systému s výdrží více než 24 h a WiFi modul, přes který jsou posílána data dále do zařízení určeného pro osoby zajišťující obsluhu, či jiné složky vyžadující informace o radiační situaci. Díky výše zmíněným parametrům lze sloupek použít kdekoli a data sledovat odkudkoliv bez nutnosti být k zařízení neustále připojen. Systém ve vymezovacím sloupku je nezávislý, což přináší velkou výhodu z hlediska vlastního provozu. Díky vysílání již zpracovaného signálu lze zobrazovat hodnoty kdekoli, kde to umožňuje místní síť, a to prakticky v reálném čase.



Obr. 1a: Modelové vyobrazení reálné situace

Obr. 1b: Detektor ve vymezovacím sloupku, pohybující se zdroj záření a přenos signálu do zobrazovací jednotky



Graf 1: Minimální detekovatelné aktivity (MDA) pro vymešovací sloupek pro různé geometrie a radionuklidy

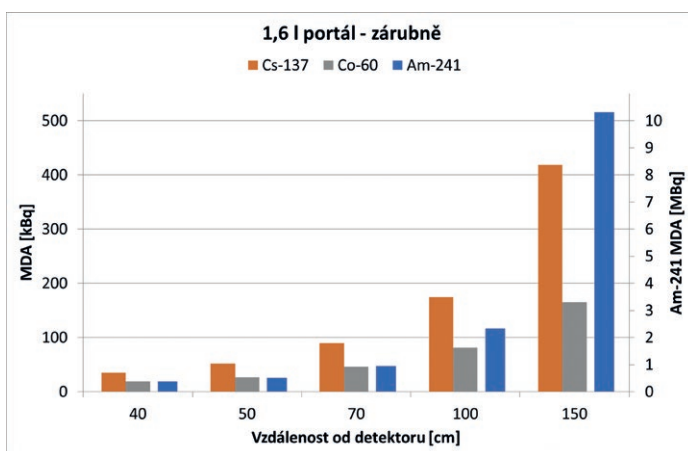
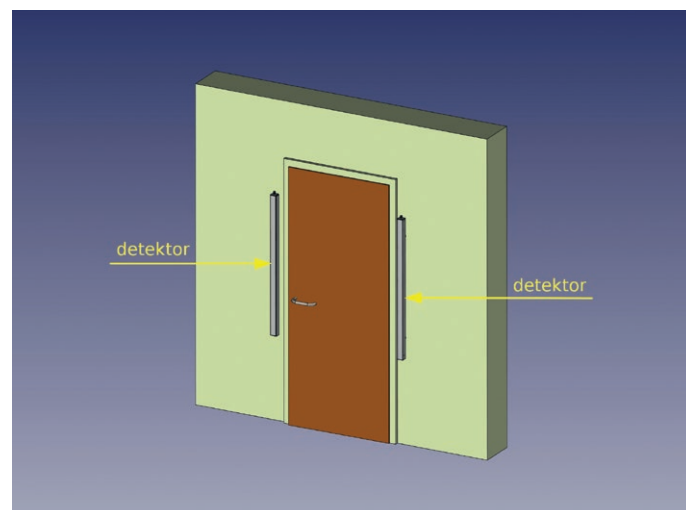
Detektor, o objemu téměř 1 litr a signálu cca 700 impulsů za sekundu na běžné přírodní radioaktivní pozadí, poskytuje dostatečnou citlivost pro detekci ^{60}Co , resp. ^{137}Cs o aktivitě řádu několika desítek, resp. stovek kBq při běžném průchodu osoby ve vzdálenosti jeden metr od sloupku. Hodnoty minimálních detekčních aktivit (MDA) pro další vzdálenosti a radionuklidy jsou zobrazeny v Grafu 1.

DVEŘNÍ ZÁRUBNĚ - PORTÁL OKOLO DVEŘÍ

Další vyvinutý systém je portál okolo dveří např. na dveřních zárubních. Systém byl navržen jako dlouhý kovový profil, který je možné montovat na zeď v libovolné pozici vůči dveřím. Pro detekci ionizujícího záření je použit plastový scintilační detektor tvaru kvádru se stranami 1 000 mm × 40 mm × 40 mm se zapuštěným studnovým fotonásobičem. Pro vyhodnocení dat je využita speciálně upravená verze analyzátoru SCA 4 tak, aby ji bylo možné umístit do krytu s celkovými vnějšími rozměry 1 350 mm × 52 mm × 45 mm (bez montážních ploch).

Pro komunikaci je využito rozhraní RJ45 (Ethernet) a napájení je zajištěno po datovém síťovém kabelu tzv. PoE (Power over Ethernet), což je dohromady tvořeno pouze jedním kabelem. Každý z detektorů je vyhodnocován samostatně. Obdobně jako u dalších systémů, tak i u tohoto systému probíhá vyhodnocení uvnitř zařízení a není vyžadován nadřazený systém (například PC).

Z praktických důvodů neobsahuje tento systém žádný audiovizuální alarm. Signalizace převýšení je tak zobrazována jen a pouze v zobrazovacím softwaru na cílovém zařízení (počítač, notebook, zobrazovací konzole apod.) z důvodu nenarušení místa měření. Signál cca 900 impulsů za sekundu na běžné přírodní pozadí z každého detektoru poskytuje dostatečnou citlivost pro detekci ^{137}Cs , resp. ^{60}Co o aktivitě řádu několika desítek kBq při průchodu osoby při standardní šířce dveří. Hodnoty MDA pro další vzdálenosti a radionuklidy jsou zobrazeny v Grafu 2.



Obr. 2: Portál okolo dveří

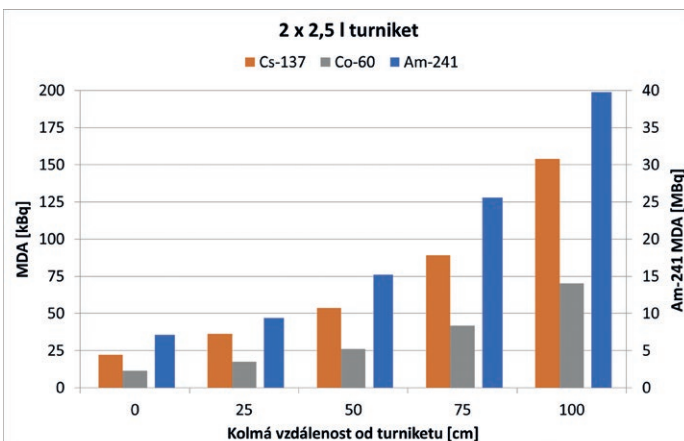
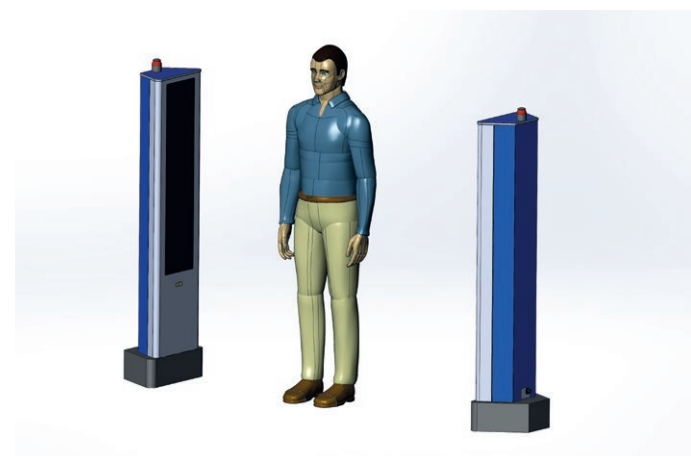
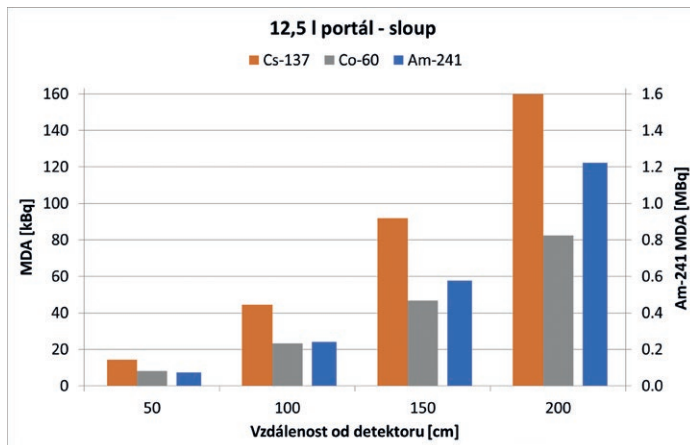
Graf 2: Minimální detekovatelné aktivity (MDA) pro portál okolo dveří pro různé geometrie a radionuklidy

Graf 4: Minimální detekovatelné aktivity (MDA) pro portál – sloup pro různé geometrie a radionuklidy

Obr. 4: Portál – sloup v konfiguraci dvou zařízení tvořící průchod

TURNIKET

Jedná se o vestavbu dvou kusů plastových scintilačních detektorů o objemu 2,5 l a rozměrech 200 mm × 250 mm × 50 mm a čtyřkanálového čítače SCA4 do komerčně dostupného trnového turniketu BAR BA od výrobce COMINFO, a.s. Tak jako výše je i zde vyhodnocení signálu prováděno uvnitř zařízení a není vyžadován nadřazený systém. Každý z detektorů je zpracován samostatně a v případě překročení úrovně je odeslána informace o alarmu, který zablokuje průchod turniketem. Takto je znemožněn průchod s radioaktivním materiálem skrze turniket. Blokace je možnou volbou nastavení zařízení v závislosti na požadavku aktivování či deaktivování stavu blokace uživatelem. Signál cca 1 100 impulsů za sekundu na běžné přírodní radioaktivní pozadí z každého detektoru, poskytuje dostatečnou citlivost pro detekci ^{137}Cs , resp. ^{60}Co o aktivitě řádu několika desítek kBq při běžném průchodu osoby turniketem. Hodnoty MDA pro další vzdálenosti a radionuklidy jsou zobrazeny v Grafu 3.



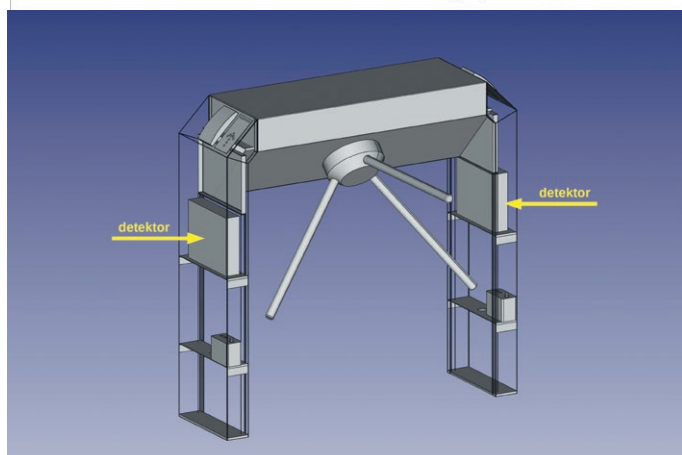
PORTÁL - SLOUP

Vyvinutý systém je přenositelný portál, který je určen pro dočasné umístění do zájmové oblasti. Pro detekci ionizujícího záření je využito dvou typů detektorů – plastový scintilační detektor tvaru kvádru o objemu 12,5 l o rozměrech 1 000 mm × 250 mm × 50 mm se zapuštěným studnovým fotonásobičem k detekci gama záření a neutronový detektor o rozměru 500 mm × 200 mm × 50 mm, který je instalován bez moderátoru, neboť jako moderátor je použit předsazený plastový scintilační detektor.

Pro komunikaci je využito rozhraní RJ45 (Ethernet) a napájení je zajištěno po datovém síťovém kabelu tzv. PoE (Power over Ethernet). Každý z detektorů je vyhodnocován samostatně. Obdobně jako u dalších systémů, tak i u tohoto probíhá vyhodnocení uvnitř zařízení a není vyžadován nadřazený systém (například PC).

Graf 3: Minimální detekovatelné aktivity (MDA) pro turniket pro různé geometrie a radionuklidy

Obr. 3: Turniket s detektory umístěnými v nohou zařízení



Signál cca 3 300 impulsů za sekundu na běžné přírodní pozadí z plastového detektoru poskytuje dostatečnou citlivost pro detekci ^{137}Cs , resp. ^{60}Co o aktivitě řádu několika desítek kBq při průchodu osoby ve vzdálenosti cca 100 cm. Hodnoty MDA pro další vzdálenosti a radionuklidy jsou zobrazeny v Grafu 4.

ZÁVĚR A SHRNUTÍ

Výše popsaná čtyři zařízení jsou postavena na stejném typu detektorů různých tvarů a objemů. Všechna zařízení mají pro obvyklou geometrii provozu (vzdálenost osoba-detektor) hodnoty MDA řádově desítky, resp. stovky kBq pro ^{60}Co , resp. ^{137}Cs . Takovéto aktivity vedou k minimálnímu riziku ozáření osob, ale detektory jsou citlivé i při již tak nízkých hodnotách. MDA pro ^{241}Am se již řádově liší zejména pro turniket. To je způsobeno nízkou pronikavostí gama záření o energii 59,5 keV různými typy krycích oken detektorů a viditelné ploše krystalů pro danou geometrii. Detektory u turniketu jsou navíc překryty ocelovými dvířky, která jsou původní součástí nohou a vytváří tak stínící element. U ostatních zařízení je vstupní okno tvořeno pouze ochranným plastem (portál-zárubně, portal-sloup) nebo tenkým hliníkovým rámem (vymezovací sloupek), které svazek záření zeslabují podstatně méně než ocel.

Vyvinuté přístroje, které jsou určené zejména k zajištění bezpečnosti obyvatelstva, jsou jednoduchá nezávislá modulární zařízení, která lze operativně umístit do lokalit, kde by se jen obtížně zajišťovala radiační bezpečnost. Vzhledem ke skutečnosti, že plastové krystaly jsou vůči spektrometrickým detektorům podstatně levnější, budou tak vyvinutá zařízení cenově dostupnější. Navíc i díky své jednoduché obsluze je mohou využívat instituce, organizace, či firmy, které nemají zkušenosti na poli detekce radiačního záření. Vhodné jsou tak pro použití v důležitých státních organizacích jako jsou úřady, nemocnice, banky, ale i na dalších místech, kde dochází ke kumulaci většího či velkého počtu osob, jako jsou letiště, nádraží, metro či stadiony. Fakt, že vyvinuté přístroje nenarušují lokální ráz prostředí a jsou umístěny do již používaných zařízení, činí jejich využití efektivnějším a přirozeně-

ším s ohledem na chování přítomných osob. Výše zmíněné detekční systémy a další vyvinuté přístroje usnadní činnosti zejména bezpečnostním složkám, jako jsou hasiči, policie nebo celní správa, ale i společnostem či institucím, které působí na poli radiačního záření.

Prezentované výsledky byly vypracovány na základě projektu Ministerstva vnitra ČR (ID: VI20172020104).

Ing. Lubomír Gryc



lubomir.gryc@suro.cz

Je absolventem ČVUT FJFI, katedry dozimetrie a aplikace ionizujícího záření. Po ukončení studií krátce působil v soukromém sektoru. Od roku 2008 po současnost pracuje ve Státním ústavu radiační ochrany, v.v.i., kde byl v roce 2012 pověřen vedením oddělení Mobilní skupiny odboru havarijní připravenosti. Díky mezinárodním zkušenostem v organizaci CTBTO (Organizace smlouvy o všeobecném zákazu jaderných zkoušek) jakožto absolvent školení nových inspektorů přispívá k rozvoji radiační připravenosti nejen v rámci monitorovací radiační situace ČR, ale i při vývoji zařízení určených k detekci radioaktivních látek.

Ing. Tomáš Grísa, Ph.D.



tomas.grisa@nuvia.com

Absolvoval FSI VUT Brno, obor Matematické inženýrství a dále doktorský studijní program Ochrana vojsk a obyvatelstva ve studijním oboru Zbraně hromadného ničení, škodliviny a ochrana proti nim na Ústavu ochrany proti zbraním hromadného ničení (ÚOPZHN) Univerzity obrany. Od roku 2013 pracuje ve společnosti NUVIA a.s., kde je vedoucím oddělení výzkumu a vývoje. Účastní se několika českých i mezinárodních výzkumných a vývojových projektů.

Normalizace odchylky

aneb co má společného havárie Costy Concordie s vyloupčením amerického muzea a českou kauzou svary?

(4. část) – Systematické nedostatky při kontrole svarových spojů potrubí rentgenovou defektoskopií – „kauza svary“, Česká republika (2015)

Mgr. Marek Bozenhard

Státní úřad pro jadernou bezpečnost

56

Pojem „normalizace odchylky“ (normalization of deviance) poprvé použila americká socioložka Diane Vaughan při vyšetřování havárie raketoplánu Challenger. Z hlediska bezpečnosti jde o alarmující stav, který po čase nemusí být vůbec odhalitelný z pohledu organizace a jedince, jenž je součástí této organizace. A především, bývá velmi obtížně odstranitelný. Ovlivňuje chování, jednání, rozhodování a vnímání rizika, může mít tedy vliv i na jadernou bezpečnost a zabezpečení, radiační ochranu a technickou bezpečnost.

Článek shrnuje syndromy, které vedou k odchýlenému chování a mohou vyústit až do „normalizace odchylky“ a v neposlední řadě se zabývá možnostmi, kterak vznik odchylek co nejúčinněji omezit.

Rozebírá rovněž několik konkrétních příkladů, jejichž hlavním příčinou byla právě „normalizace odchylky“ – půjde o ztroskotání výletní lodi Costa Concordia (2012), loupež uměleckých děl z muzea v Bostonu s astronomickou škodou (1990), havárii raketoplánu Challenger (1986) a „kauzu svary“, která zaměstnává naši jadernou komunitu od roku 2015.

The term “normalization of deviance” was coined by American sociologist Diane Vaughan when reviewing the Challenger disaster. In terms of safety, this is an alarming state that over time may not be detectable at all from the perspective of the organization and the individual who is part of that organization. And, above all, it is very difficult to remove. It affects behaviour, actions, decision-making and risk perception and can therefore also affect nuclear safety and security, radiation protection and technical safety.

The article summarizes syndromes that lead to deviating behaviour and can result in “normalization of deviation” and last but not least it deals with possibilities how to reduce deviations in the most effective way.

It also analyses some specific examples, the main cause of which was “normalization of deviation” – capsizing of the Costa Concordia cruise liner (2012), the theft of artwork from the Boston Museum with astronomical damage (1990), the Space Shuttle Challenger accident (1986) and the “cause welds”, which has been keeping our nuclear community busy since 2015.

Poslední díl ze série článků věnovaných normalizaci odchylky vychází ze zprávy SÚJB, která byla publikována v roce 2017 jako zpráva číslo 8637 do systému IRS (Incident Reporting System) Mezinárodní agentury pro atomovou energii.

Celá kauza v zásadě odstartovala 22. června 2015, kdy byla v JE Dukovany na parogenerátoru (PG) číslo 3 na 4. reaktorovém bloku identifikována netěsnost v délce cca 15 mm na okraji heterogenního svarového spoje

mezi nerezovou ochrannou trubkou DN80 a uhlíkatým potrubím superhavarijního napájení. Oprava vady proběhla výměnou heterogenního svarového spoje včetně části potrubí superhavarijního napájení v délce cca 500 mm. Práce na opravě byly ukončeny 26. června 2015.

Pokud však chceme začít hledat kořeny samotné kauzy, musíme se nejdříve vrátit v čase. O 5 let dříve, v roce 2010, vznikla na PG číslo 1 3. bloku JE Dukovany netěsnost v hete-



rogegním svarovém spoji nátrubku superhavarijního napájení. Netěsnost byla opravena. Na základě této události byly provedeny rentgenové (RTG) kontroly heterogenních svarových spojů nátrubků superhavarijního napájení na všech parogenerátorech všech bloků a opakování těchto kontrol bylo naplánováno s periodou 6 let. RTG kontrola heterogenního svarového spoje na nátrubku superhavarijního napájení PG 3 bloku 4 byla naposledy provedena v prosinci 2014. Nebyly při ní zjištěny žádné nežádoucí indikace. Přesto však byla v červnu 2015 identifikována výše popsaná netěsnost.

Vznikla tedy základní otázka – podobná jako v předchozích dílech:

Jak mohlo dojít k netěsnosti na nátrubku, který byl prověřen jen o několik měsíců dříve?

Byl prozkoumán degradační mechanismus, který netěsnost způsobil. Stejně jako v případě netěsnosti z roku 2010 šlo o korozní praskání pod napětím s dlouhodobým rozvojem vady (v řádu let). Přirozeně tak vzniká další otázka, proč tato vada nebyla indikována již RTG kontrolou v prosinci 2014 a zda by nemělo být periodické RTG prozařování heterogenních svarů doplněno o ultrazvukovou kontrolu. S cílem zjistit odpovědi byla uložena nápravná opatření. Vyšetřování došlo k závěru, že zavedení periodických provozních kontrol prozářením (RTG) v roce 2010 bylo správné (jak potvrdily i včasné identifikace necelistvostí v heterogenních svarových spojkách), ale že nebyla prověřena minimální zjistitelná velikost necelistvosti (vady) při zkoušce prozářením ve vztahu k uvažované rychlosti šíření předpokládaného defektu a navrhované periodicitě provozní kontroly. Proto pro některé heterogenní spoje doporučilo nápravné opatření zavést i ultrazvukovou kontrolu.

Po opravě svarového spoje nátrubku na PG 3 a uvedení 4. bloku do provozu byly přehodnoceny radiogramy ze zkoušky prozářením provedené na dotčeném svarovém spoji v roce 2014. Možnost, že by došlo k nekvalitnímu provedení zkoušky prozářením dodavatelem, nebyla zpočátku vůbec uvažována. Ani externí společnost přizvaná k přehodnocení snímků si příznaků nekvalitního provedení zkoušky nejprve nevšimla. To odhalili až přibližně po jednom měsíci pracovníci útvaru Technická bezpečnost a externí společnost na ně upozornili. Ukázalo se, že pracovníci dodavatele RTG kontroly nedodrželi požadavky na kvalitu radiogramu a necelistvost ve svarovém spoji tak nemohla být vůbec identifikována.

Na základě tohoto zjištění byl (naprosto správně) rozšířen rozsah přehodnocení záznamů na veškeré heterogenní svarové spoje, které byly podrobeny zkoušce prozářením. Tímto bylo zjištěno, že odhalené nekvalitní provedení kontroly nepředstavovalo ojedinělé selhání dodavatele, ale že šlo o soustavný nekvalitní výkon dodavatelské činnosti. Ukázalo se, že výsledky dosud provedených zkoušek svarů prozářením za období od roku 2000 mohou být nespolehlivé.

7. září 2015 byl na JE Dukovany zřízen pracovní tým pro řešení opakovaných RTG kontrol na vybraných zařízeních (VZ). Cílem bylo ověřit stav RTG kontrol na vybraných zařízeních primárního okruhu (I.O) a sekundárního okruhu (II.O) JE Dukovany a navrhnout další potřebná opatření. Na základě analýzy bylo rozhodnuto odstavit bloky 2 a 3 pro provedení kontrol a případných oprav svarových spojů. U těchto bloků nebylo možné v plném rozsahu garantovat plnění bezpečnostní funkce systému havarijního napájení parogenerátorů a jejich další provoz tak byl z pohledu jaderné bezpečnosti nepřijatelný.

Kontrola záznamů ze zkoušek prozářením provedených na svarových spojkách vybraných zařízení probíhala pro období 2000–2015.

Kontrolou byly zjištěny následující druhy neshod se správným postupem snímkování svarových spojů:

- svarový spoj je snímkován pouze ze dvou směrů, třetí snímek je získán společnou expozicí dvou filmů přes sebe = tzv. „double“;
- svarový spoj je snímkován pouze z jednoho směru (tři snímky přes sebe) = tzv. „triple“;
- snímky jsou nekvalitní (nečitelné), přesto je svarový spoj hodnocen jako vyhovující;
- na snímcích jsou identifikovatelné vady svarového spoje, přesto je svarový spoj hodnocen jako vyhovující;
- snímky nejsou nalezeny (v JE Dukovany se týká jen několika svarů).

18. září 2015 začal být v souvislosti se zjištěními na JE Dukovany kontrolován i stav na JE Temelín. První rychlá namátková kontrola dokladů u 30 vybraných svarových spojů různých průměrů na VZ nepřinesla negativní zjištění.

12. října 2015 byla i na JE Temelín ustavena pracovní skupina, která prověřila záznamy o provedených RTG kontrolách na vybraném zařízení v časovém období 2013–2015. Převážně u tras menších průměrů se potvrdila negativní praxe snímkování svarů pouze ze dvou směrů, případně z jednoho směru. Bylo rozhodnuto o plošné a systematické kontrole. Na JE Temelín byly kontrolovány všechny svarové spoje na zařízeních vybraných z hlediska jaderné bezpečnosti, na kterých byly prováděny RTG kontroly od roku 2002 do 15. září 2015.

Při posuzování svarových spojů na JE Temelín se ukázalo, že v 1 291 případech snímky zcela chybí. Rentgenové snímky, které nebyly dohledány, pocházely z let 2002 až 2010. Nejvíce (pro 842 svarů) jich chybí z roku 2004, kdy byla prováděna rozsáhlá investiční akce. Vyšlo najevo, že až do roku 2011 nebylo na JE Temelín jednoznačně definováno, kde, kým a jak mají být uloženy radiogramy, na nichž je založen protokol z kontroly.

Vynucené/prodloužené odstávky bloků na JE Dukovany způsobily velké ztráty na výrobě elektřiny. V odstávkách byly provedeny nové kontroly prozařováním, v případě nálezů indikací byly opraveny svarové spoje na zařízeních vybraných z hlediska jaderné bezpečnosti.

Souhrnné grafy výsledků kontrol svarových spojů ukazují, že celkem bylo kontrolováno okolo 20 000 svarů – ve velké většině případů byly zjištěny neshody se správným postupem snímkování druhů double, triple nebo nelze vyhodnotit. Největší podíl svarů s vyhovující dokumentací okolo 20 % byl zjištěn na 1. bloku. Na všech ostatních blocích byl podíl vyhovujících svarů nižší.

Také v JE Temelín způsobily prodloužené odstávky bloků velké ztráty na výrobě elektřiny. V odstávkách byly provedeny nové kontroly prozařováním, v případě nálezů indikací byly opraveny svarové spoje. Celkem bylo v JE Temelín posuzováno cca 8 500 svarových spojů. Vyhovující dokumentaci mělo asi 35 % z nich. Dokumentace většiny spojů obsahovala neshody druhů double a triple nebo ji nebylo možné vyhodnotit, přičemž poslední neshoda zahrnovala i svary s nedohledanými snímky.

Systematická kontrola záznamů ze zkoušek prozařením postupně na všech blocích obou JE odhalila soustavné nedostatky při kontrole svarových spojů potrubí rentgenovou defektoskopií, které se v ustálené podobě objevovaly celých 15 let. V terminologii odpovídající posledním organizačním změnám z roku 2007 lze nedostatky popsat takto:

- 1) Několik desítek certifikovaných pracovníků dodavatele RTG kontrol většinou provádělo RTG kontroly svarových spojů způsobem, který nebyl v souladu s předepsaným postupem. Nejčastěji nahrazovali správný postup snímkováním ze dvou směrů.
- 2) Pracovníci dodavatele RTG kontrol zodpovědní za zajišťování jakosti proti nedostatkům RTG kontrol svarových spojů dodávaných jejich společnostmi nic nenamítali.
- 3) Kontroloři dodavatelů logických celků nebo investičních akcí, kteří měli kontrolovat jakost kontrol dodávaných subdodavatelem (dodavatelem RTG kontrol), proti nedostatkům RTG kontrol svarových spojů dodávaných dodavatelem RTG kontrol nic nenamítali. Pravděpodobně kontrolu činnosti certifikovaných pracovníků dodavatele RTG kontrol prakticky neprováděli a spoléhali se na zajištění kvality u subdodavatele.
- 4) Kontroloři útvarů Péče o zařízení (POZ) a Přípravy a realizace projektů (PARP), kteří provádějí technický dozor investora mimo jiné nad prováděním dodavatelských kontrol u dodavatelů logických celků nebo investičních akcí a nad prováděním odběratelských kontrol nezjistili žádné nedostatky RTG kontrol svarových spojů dodávaných dodavatelem RTG kontrol.
- 5) Kontroloři odběratelské kontroly prováděné útvarem Technické kontroly a diagnostiky nezjistili žádné nedostatky RTG kontrol svarových spojů dodávaných dodavatelem RTG kontrol. Prováděním odběratelských kontrol by měl být pověřován pracovník s odpovídající kvalifikací. Útvar Technické kontroly a diagnostiky má od roku 2007 takový nedostatek pracovníků s odpovídající kvalifikací, že odběratelské kontroly radiogramů téměř neprovádí. Vedoucí útvaru se od roku 2013 snažil nedostatek vhodných pracovníků řešit.
- 6) Kontroloři nezávislého dohledu útvaru Technická bezpečnost nezjistili žádné nedostatky RTG kontrol svarových spojů dodávaných dodavatelem RTG kontrol. Tento útvar se soustředí na dohled nad vybranými zařízeními a vybranými zařízeními speciálně navrhovanými. Kontroloři provádějí i kontroly radiogramů, většinou však u potrubí s průměrem nad 70 mm, zatímco nedostatky RTG kontrol se týkají hlavně potrubí s průměrem menším než 60 mm. Nicméně pracovníci tohoto útvaru upozorňovali na nedostatečnost odběratelských kontrol a jako první odhalili nekvalitní provedení zkoušky prozařením svarového spoje nátrubku na PG 3 bloku 4 v roce 2014.
- 7) Zákaznické audity prováděné pravidelně u dodavatele RTG kontrol žádné nedostatky RTG kontrol svarových spojů neodhalily. Audity jsou zaměřeny na zjišťování souladu s příslušným národním standardem a důkazy jsou založeny na vzorcích produktů.
- 8) Nezávislé kontroly prováděné útvaru Inspektorát bezpečnosti a Interní audit odhalily v letech 2008 a 2009 nedostatky v procesech nedestruktivní kontroly a svařování. Zjištěným nedostatkům nebyla věnována odpovídající pozornost.

Kontrola svarových spojů rentgenovou defektoskopií probíhala po mnoho let výše popsaným nedostatečným způsobem. Souhrnně lze identifikovat šest příčinných faktorů, které jej zformovaly a udržovaly:

- 1) Pracovníci dodavatele RTG kontrol nahrazují správný postup kontroly postupem s nedostatky.
- 2) Vedení dodavatele RTG kontrol nebrání nahrazení správného postupu kontroly postupem s nedostatky.
- 3) Kontroloři dodavatelů logických celků nebo investičních akcí nebrání nahrazení správného postupu kontroly postupem s nedostatky.
- 4) Útvary provozovatele elektráren pověřené kontrolami nebrání nahrazení správného postupu kontroly postupem s nedostatky.
- 5) Management provozovatele elektráren nadřízený útvarům pověřeným kontrolami nepřezkoumává způsobilost těchto útvarů plnit jejich úkoly.
- 6) V JE Temelín dochází k rozsáhlým ztrátám RTG snímků z kontroly svarových spojů.

Proč tento stav nastal?

A: Z jakých příčin pracovníci dodavatele RTG kontrol (TEDIKO) začali nahrazovat správný postup kontroly postupem s nedostatky?

Údaje nashromážděné systematickou kontrolou ukazují jasně, že praxe, kdy byly při snímkování svaru provedeny z jednoho směru dva (double) nebo dokonce tři (triple) snímky, byla všeobecná, běžná a ustálená již v roce 2000, tzn. krátce po úplném převzetí pracovníků a kontrolních činností dodavatelem RTG kontrol.

Výsledky dovolují předpokládat, že pracovníci dodavatele RTG kontrol se této praxi naučili ještě v dobách, kdy působili v útvaru ne-destruktivních kontrol provozovatele a k dodavateli RTG kontrol ji pouze přenesli.

Ověřit tento předpoklad na základě výpovědí je obtížné, protože uplynula dlouhá doba a ochotu vypovídat snižují podaná trestní oznámení. Mělo by však být možné ověřit

tento předpoklad na základě sondy do radiogramů z devadesátých let, kdy nynější dodavatel RTG kontrol buď neexistoval, nebo teprve vznikl.

Pokládejme tento předpoklad za platný. Kdyby neplatil, znamenalo by to, že zavedení této praxe bylo záměrnou politikou dodavatele RTG kontrol v době jeho vzniku, tj. výsledkem zlovolného jednání jeho zakladatelů. Tomu však odporuje dosavadní absence jakýchkoli dokladů či svědectví o zlovolném jednání.

Kdyby pro odchýlenou metodiku kontroly existovala jen motivace (zlovůle), musela by být u dodavatele RTG kontrol nějak udržována a prosazována, což by při velkém počtu zúčastněných a dlouhé době trvání této praxe jednak pravděpodobně zanechalo stopy v podobě instrukcí apod. a jednak by se nejspíš našli jedinci, kteří by se s ní od počátku odmítli ztotožnit, nebo by ji časem začali odmítat.

To posiluje domněnku, že zúčastnění pracovníci dodavatele RTG kontrol se nedomnívali, že používaným způsobem provádění RTG kontrol poškozují zájmy provozovatele. Mnohem pravděpodobnější je, že neshodnou metodiku všichni zúčastnění považovali za výhodnou jak pro dodavatele RTG kontrol, tak pro provozovatele, a vznik podezření, že šlo o zlovolné jednání, je pro ně nepříjemným překvapením.

To, že tato praxe znamená pro výkonného pracovníka RTG kontroly úsporu práce, je nepochybné. Umožňuje mu snadněji zvládat situace, do kterých se při své práci pravidelně dostává.

Výhodnost použití odchýlného postupu:

- Jsou zvládnuty požadavky na vysoký rozsah kontrol v krátkém čase.
- Odchylka je obtížně odhalitelná (dokumentace vzniklá z takto upravených kontrol je natolik podobná dokumentaci vzniklé při správném postupu, že odhalení nedostatku kontroly je úkol pro pozorného odborníka).
- Navíc i při odhalení nedostatku stále ještě existuje možnost označit nedostatek za výsledek náhodné chyby.

... avšak ani tyto výhody nestačí k samotné normalizaci odchylky.

Aby mohl tuto praxi certifikovaný pracovník dlouhodobě akceptovat a používat, musí vyřešit rozpor této praxe se svými znalostmi a profesionální ctí.

V tom zřejmě hrají podstatnou roli dvě okolnosti:

Požadavek kontrolovat stoprocentním prozářením velké množství svarů i na potrubích malých průměrů se snadno může jevit přemrštěný a náročnější, než je nezbytně potřebné – zejména pak pracovníkům, kteří nabyli předchozích zkušeností v podmínkách klasické energetiky. Zkušený pracovník se kromě toho může domnívat, že mu unikne jen velmi malé množství vad, dokonce i když nebude používat stoprocentní prozáření svaru.

Může mít za to, že i při prozáření dvou třetin svaru (tj. ze dvou směrů) mu při pozorném zhodnocení snímků unikne nanejvýš deset procent vad, spíše ještě méně. Zkušený výkonný pracovník tak může snadno dojít k názoru, že odvede práci, která dostatečně splní to, co provozovatel potřebuje, i když nahradí prozařování ze tří směrů úspornější praxí, kdy většinou použije prozáření ze dvou směrů, a podle své úvahy a povahy výsledků někdy užije prozáření ze všech tří směrů a někdy jen z jednoho směru.

Shrneme-li to, je pracovník připraven akceptovat bez námitek tuto praxi, pokud:

- chce vyhovět požadavkům na vysoký rozsah kontrol v krátkém čase,
- je přesvědčen, že požadovaný postup „jak se to má dělat“ je přehnaně náročný (pravidla jsou hloupá),
- věří ve své schopnosti odhalit vady v dostatečné míře i méně náročným postupem „jak se to skutečně dělá“ (pravidla se nevztahují na mě/můžete mi věřit),
- věří, že se na rozdíl mezi tím, „jak se to má dělat“ a „jak se to skutečně dělá“, snadno nepříjde (komunikace řádně nefunguje).

Vše nasvědčuje tomu, že u dodavatele RTG kontrol tyto podmínky byly splněny, došlo tedy k normalizaci odchylky.

Připomeňme si její základní/typické atributy: normalizace odchylky znamená, že lidé uvnitř organizace natolik přivyknou odchýlnému chování, že už je ani nepovažují za odchýlné bez ohledu na skutečnost, že jsou významně překračována jejich vlastní bezpečnostní pravidla. Lidé si zvykají na odchýlné chování tím více, čím více se vyskytuje. Lidé z vnějšku organizace by vnímali, že činnosti jsou odchýlné, ale lidem uvnitř připadají činnosti normální. Až při zpětném pohledu si lidé z organizace uvědomují, že jejich zdánlivě normální jednání bylo odchýlné.

U provozovatele je možné pozorovat typické průvodní jevy vzniku normalizované odchylky:

- pracovníkům připadají pravidla hloupá nebo neefektivní/neúčinná,
- pracovníci nemají dostatečné znalosti důvodů, proč pravidla dodržovat,
- pracovníci se domnívají, že porušování pravidel je ve prospěch provozovatele,
- pracovníci mají dobré důvody, proč o porušování pravidel nemluvit.

Závěr, že u dodavatele RTG kontrol došlo k normalizaci odchylky, umožňuje pochopit, proč vadná praxe zevšedněla a přežívala po tak dlouhou dobu, aniž by ji někdo zpochybňoval.

Řádné neprovádění RTG kontrol nelze identifikovat jako souběh náhodných chyb. Za nežádoucí událost lze považovat především to, že se od dodržování původního předepsaného postupu přešlo k dodržování nového – neshodného postupu.

Za kořenové příčiny tohoto příčinného faktoru lze označit:

- Kultura bezpečnosti – nebyly stanoveny a prosazeny vysoké standardy provádění.
- Nebylo udržováno vědomí zranitelnosti.
- Kompetence pro bezpečnost provozu – potřebné znalosti se k pracovníkům nedostaly.
- Průběh provozování – pro pracovníky nebylo samozřejmé držet se písemných postupů.

B: Z jakých příčin vedení dodavatele RTG kontrol (vedení firmy TEDIKO) nebránilo nahrazení správného postupu kontroly postupem s nedostatky?

Neexistuje přesvědčivý argument, proč předpokládat, že by pracovníci vedení dodavatele RTG kontrol o používané praxi provádění nedestruktivních kontrol nevěděli. Aby tomu tak bylo, nesměli by kontrolovat, zda se výkonní pracovníci řídí předepsaným postupem. To by snad bylo možné po omezený čas. Představa, že několik desítek pracovníků standardně užívá neshodný postup snímkování po dobu mnoha let a jejich nadřízení o tom nevědí, by znamenala, že společnost postrádala technické vedení, vedoucí pracovníci nic nekontrolovali a výkonní pracovníci se řídili jen tím, co sami chtěli. To nelze doložit. Musíme tedy předpokládat, že vedení dodavatele RTG kontrol o používání neshodného postupu vědělo a že neshodný postup snímkování považovalo za přijatelnou praxi.

Management dodavatele se měl zajímat o následující:

- Za jakých podmínek lze realizovat předepsaný postup kontrol? Jak jejich plnění zajistit?
- Proč lze/nelze předepsaný postup plně akceptovat?
- Nemohou výkonní pracovníci hledat vady méně náročným postupem?
- Pokud nelze plnění předepsaného postupu zajistit, jak by měl být změněn? S kým by měla být změna vyjednána?
- Jaká jsou vlastně kritéria dostatečnosti výkonu dodavatele RTG kontrol z hlediska provozovatele?

Nejsou však známy žádné doklady takových analýz, stejně jako neexistuje žádný doklad, že tyto otázky vůbec padly...

Podle všeho bylo vedení dodavatele RTG kontrol od počátku plně srozuměno s normalizací odchylky. Existují tři skupiny důvodů vysvětlující, proč tomu tak bylo. Přitom není důvod předpokládat na straně vedení společnosti vysloveně zlovolné jednání.

Pracovníci vedení dodavatele RTG kontrol pocházejí ze stejného prostředí jako výkonní pracovníci společnosti, přinejmenším někteří z nich byli původně výkonními pracovníky nedestruktivní kontroly na jaderných nebo klasických elektrárnách.

Používanou praxi kontroly buď sami přenesli nebo ji bez námitek akceptovali. Vedení přemýšlelo o věci obdobně jako jejich podřízení. Vedení společnosti se stalo součástí všeobecné normalizace odchylky. Neboli:

- vedoucím pracovníkům připadají pravidla hloupá nebo neefektivní,
- vedoucí pracovníci nemají dostatečné znalosti důvodů, proč pravidla dodržovat,
- vedoucí pracovníci se domnívají, že porušování pravidel je ve prospěch provozovatele,
- vedoucí pracovníci mají dobré důvody, proč o porušování pravidel nemluvit.

Navíc se provádění podobných analýz patrně jevilo vedení dodavatele RTG kontrol scestné z hlediska obchodní logiky. Měli zkušenost, že provozovatel se s neshodným prováděním kontrol spokojí a na nedostatky nikdo nepřijde. Měli všechny důvody předpokládat, že výkon společnosti je z hlediska provozovatele dostatečný. Nepřicházela žádná zpětná vazba týkající se kvality RTG kontrol, žádné zprávy nenaznačovaly, že by provozovatel byl nespokojen s používaným postupem provádění RTG kontrol.

Tato praxe umožňovala pružně vycházet vstříc požadavkům provozovatele na vysoké rozsahy kontrol v krátkém čase; tyto požadavky se vedení dodavatele RTG kontrol jevily jako prvořadé.

Pokud jde o kvalitu RTG kontrol, měli pracovníci vedení dodavatele RTG kontrol s postupujícím časem čím dál více důvodů předpokládat, že na ní příliš nezáleží (žádná zpětná vazba, žádné problémy...).

A jak postupoval čas, ocitalo se vedení dodavatele RTG kontrol také stále více v pasti mnohaletého neshodného přístupu.

Kdyby se po letech vrátili k předepsanému postupu kontrol, znamenalo by to zvýšení

pracnosti, nákladů a snížení flexibility, aniž by si mohli dovolit vyvolat pochybnosti o dosud zavedené praxi. Stalo by se to tedy bez valné naděje, že by provozovatel toto zvýšení nákladů a snížení flexibility akceptoval. Past neshodného postupu byla tak silná, že dodavatel RTG kontrol nedokázal účinně zareagovat ani na zjištění nedostatků heterogenních svarů v roce 2010 a nezavedl předepsaný postup kontrol aspoň pro tuto množinu svarových spojů.

Další důvod, proč se dá předpokládat, že se vedoucí pracovníci dodavatele RTG kontrol s normalizací odchylky rychle smířili, představuje patrně skutečnost, že byli na podobné normalizace odchylek zvyklí. Svou dosavadní profesní dráhu prožili ve společnosti, kde bylo již dlouho zvykem, že mezi tím, „jak se to má dělat“ a „jak se to skutečně dělá“, bývá veliký rozdíl. Platilo to v mnoha oblastech života a platilo to také pro prostředí velkých státních společností, mezi kterými stál provozovatel na prvním místě. Očekávat, že lidé, jejichž myšlení bylo takto pokřiveno dlouholetým působením reálného socialismu, se (navíc v okamžiku, kdy se sami mohou stát majiteli a podnikateli) bez silného vnějšího popudu tohoto myšlení zbaví, je nereálné.

Za kořenové příčiny tohoto faktoru lze označit následující:

- Kultura bezpečnosti – vedení nedokázalo stanovit a prosazovat vysoké standardy provádění. Neudržovalo vědomí zranitelnosti.
- Kompetence pro bezpečnost provozu – vedení nezajišťovalo, aby se potřebné znalosti dostaly k vhodným pracovníkům.
- Identifikace zdrojů rizika a analýza rizika – vedení neprovádělo tyto činnosti, nerozumělo, jakému riziku čelí, neznalo důsledky odchylek.
- Řízení změn – vedení se nepokoušelo autorizovat změny.
- Průběh provozování – pro vedení nebylo samozřejmé, že se pracovníci drží písemných postupů. Neposkytovalo tomu přiměřené zdroje.
- Vyšetřování nežádoucích událostí – vedení patrně nemělo ani definovány události, ze kterých je potřebné se poučit.

C: Z jakých příčin kontroloři dodavatelů logických celků nebo investičních akcí nebránili nahrazení správného postupu kontroly postupem s nedostatky?

Kontrolorům dodavatelů logických celků/investičních akcí vyplývá ze smluvního vztahu povinnost provádět dohled nad subdodavatelem v celém dodavatelském řetězci. Přesto pravděpodobně kontrolu činnosti certifikovaných pracovníků dodavatele RTG kontrol prakticky neprováděli a spoléhali se na zajištění kvality u subdodavatele.

Pro odpověď na otázku, proč to dělali, je vcelku irelevantní vědět, jestli byli nebo nebyli informováni o skutečné praxi provádění kontrol svarů. Je možné, že někteří se o tom dozvěděli, a jiní nikoli. V každém případě jejich rozhodování o tom, zda a jak provádět dohled nad činnostmi pracovníků dodavatele RTG kontrol, se řídilo zkušenostmi, jak je potřeba naplňovat smluvní povinnosti. Kontrolorům dodavatelů bylo známo, že provozovatel nebude požadovat prokázání plnění všech smluvních povinností, protože nemá kapacity potřebné ke kontrole takových průkazů.

Kontroloři si uvědomovali, že se musí soustředit hlavně na činnosti, které budou určité provozovatele zajímat a na činnosti, u kterých v budoucnu hrozí obtíže. Ze zkušeností věděli, že kontroly svarů prováděné dodavatelem RTG kontrol nepatří ani do jedné z těchto kategorií.

Situace je opět podobná normalizaci odchylky, i když v tomto případě je již obtížné spoléhat na to, že by se dodavatelé logických celků domnívali, že porušování pravidel je ve prospěch provozovatele. Kontroly měly být prováděny, ale prováděny nebyly.

Stejně jako vedení dodavatele RTG kontrol, také kontroloři dodavatelů logických celků nebo investičních akcí přivykli normalizované odchylce jednak proto, že to pokládali za obchodně výhodné, jednak proto, že byli zvyklí žít v prostředí, kde mezi tím, „jak se to má dělat“ a „jak se to skutečně dělá“, bývá veliký rozdíl.

Kontroloři dodavatelů zneužívali znalosti o situaci provozovatele – o jeho nedostatečné kapacitě zkontrolovat plnění všech povinností dodavatele vyplývajících ze smluvního vztahu. Za kořenové příčiny tohoto příčinného faktoru lze označit:

- Kultura bezpečnosti – kontroloři dodavatelů nestanovili a neprosazovali vysoké standardy provádění. Neudržovali vědomí zranitelnosti.
- Celistvost a spolehlivost majetku – kontroloři dodavatelů nezaložili návrh a úkoly prohlídek, zkoušek a preventivní údržby na standardech. Neintegrovali celistvost majetku s jinými cíli.
- Řízení dodavatelů – kontroloři dodavatelů neřídili dodavatele RTG kontrol.
- Vyšetřování nežádoucích událostí – kontroloři dodavatelů patrně neměli ani definovány události, ze kterých je potřebné se poučit.

D: Z jakých příčin útvary provozovatele elektráren pověřené kontrolami nebránily nahrazení správného postupu kontroly postupem s nedostatky?

Kontroloři útvarů Péče o zařízení (POZ) a Přípravy a realizace projektů (PARP) neměli a nemají dostatečné kapacity ani kvalifikaci, aby mohli vlastními silami ověřovat provádění RTG kontrol svarových spojů dodávaných dodavatelem RTG kontrol. Ani se to po nich nepožaduje. Jejich úkolem je stanovovat rozsah odběratelských kontrol v souladu s platnými metodikami.

Předchůdci kontrolorů odběratelské kontroly prováděné útvarem Technické kontroly a diagnostiky (TKaD) byli kontroloři provozní kontroly (provozní kontrola probíhala až do roku 2007). Kontroloři provozní kontroly prováděli jak vlastní RTG kontroly, tak ověřování kontrol prováděných dodavatelem RTG kontrol. Kontroloři realizovali v letech 1999 až 2007 na JE Dukovany přes 2 000 kontrol svarových spojů a na JE Temelín přes 500 kontrol svarových spojů. Při přehodnocování těchto kontrol nebyly zjištěny žádné neshody. Při ověřování kontrol prováděných dodavatelem

kontroloři neidentifikovali žádné neshody druhů double a triple.

V roce 2007 bylo po reorganizaci v útvaru TkaD pro provádění odběratelských kontrol určeno 6 pracovníků. Z nich se jen jeden skutečně věnoval ověřování RTG kontrol, převážně však jejich administrativním aspektům. Ostatní byli pověřeni jinými úkoly a svou kvalifikaci pro RTG kontroly postupně ztratili.

Útvar prováděl odběratelské kontroly ověřováním RTG kontrol svarů jen v jednotlivých případech, zejména pro heterogenní svarové spoje. Časem začal být pocítován takový nedostatek pracovníků s odpovídající kvalifikací pro tuto práci, že se vedoucí útvaru v letech 2013 a 2014 dvakrát pokusil nové pracovníky získat.

Jeho požadavek však nebyl nadřazenými podpořen. Riziko plynoucí z nedostatku pracovníků pro odběratelské kontroly RTG kontrol svarů nebylo vyhodnoceno jako tak vysoké, aby opravňovalo organizační změnu.

Jak již bylo zmíněno výše, kontroloři nezávislého dohledu útvaru Technická bezpečnost se soustředí na dohled nad vybranými zařízeními a vybranými zařízeními speciálně navrhovanými. Kontroloři provádějí i kontroly radiogramů, většinou však jde o potrubí s průměrem nad 70 mm, zatímco nedostatky RTG kontrol se týkají hlavně potrubí s průměrem menším než 60 mm. Pracovníci tohoto útvaru proto až do zjištění netěsnosti na PG 3 bloku 4 v JE Dukovany žádné nedostatky RTG kontrol svarových spojů neodhalili. Upozorňovali však na nedostatečnost odběratelských kontrol.

Zákaznické audity prováděné pravidelně u dodavatele RTG kontrol žádné nedostatky RTG kontrol svarových spojů neodhalily, protože se ověřování RTG kontrol nikdy nevěnovaly. Audity jsou zaměřeny na zjišťování souladu s příslušnou ČSN a důkazy jsou založeny na vzorcích produktů. Až audit provedený v roce 2015 odhalil nedostatky ve zpracování instrukcí pro nedestruktivní defektoskopické kontroly. Nebyly to však nedostatky, jejichž odstranění by omezilo neshodné kontroly.

Nezávislé kontroly prováděné útvary Inspektorát bezpečnosti a Interní audit odhalily v letech 2008 a 2009 nedostatky v procesech nedestruktivní kontroly a svařování. Zjištěným nedostatkům nebyla věnována odpovídající pozornost.

Za kořenové příčiny tohoto faktoru lze označit:

- Kultura bezpečnosti – provozovatel nestanovil a neprosazoval vysoké standardy provádění. Neudržoval vědomí zranitelnosti.
- Celistvost a spolehlivost majetku – provozovatel nezaložil návrh a úkoly prohlídek, zkoušek a preventivní údržby na standardech. Neintegroval celistvost majetku s jinými cíli.
- Řízení dodavatelů – provozovatel neřídil dodavatele logických celků a investičních akcí.
- Průběh provozování – provozovatel kontrolám neposkytoval přiměřené zdroje.

E: Z jakých příčin management provozovatele elektráren nadřazený útvarům pověřeným kontrolami nepřezkoumával způsobilost těchto útvarů plnit své úkoly?

Jak bylo rozebráno výše, vedoucí útvaru Technická diagnostika a kontrola počítával nedostatek pracovníků s odpovídající kvalifikací pro provádění odběratelských RTG kontrol. V letech 2013 a 2014 se dvakrát pokusil získat místa pro nové pracovníky. Riziko plynoucí z nedostatku pracovníků pro odběratelské kontroly RTG kontrol svarů nebylo vyhodnoceno jako tak vysoké, aby opravňovalo organizační změnu.

Kontroloři nezávislého dohledu útvaru Technická bezpečnost upozorňovali na nedostatečnost odběratelských kontrol. Nezávislé kontroly prováděné útvary Inspektorát bezpečnosti a Interní audit odhalily v letech 2008 a 2009 nedostatky v procesech nedestruktivní kontroly a svařování. Zjištěným nedostatkům nebyla věnována odpovídající pozornost.

Management měl signály, že útvary pověřené kontrolami nejsou způsobilé plnit řád-

ně své úkoly. Některé z těchto signálů mu doručil systém vnitřní zpětné vazby. Přesto management nenaslouchal podřízeným útvarům, nebo jejich zprávy nehodnotil jako dostatečný důvod ke změnám. Zcela jistě v tom hrálo roli nedostatečné vnímání rizik spojených s nezpůsobilostí kontrolních útvarů plnit jejich úkoly.

Pravděpodobně i v tomto případě přispěly podobné příčiny jako u dodavatelů logických celků nebo investičních akcí. Uplatnil se zvyk žít v prostředí, kde mezi tím, „jak se to má dělat“ a „jak se to skutečně dělá“, bývá veliký rozdíl.

Vedení provozovatele mohlo pokládat nenaslouchání uvedeným stížnostem za ekonomicky výhodné a mohlo i spoléhat na nedostatečnou kapacitu státního dozoru kontrolovat plnění všech povinností provozovatele vyplývajících ze zákonů a vyhlášek.

Za kořenové příčiny tohoto příčinného faktoru lze označit:

- Kultura bezpečnosti – provozovatel neposkytoval pevné vedení. Vedení včas nereagovalo na problémy bezpečnosti procesu a na obavy.
- Zapojení pracovní síly – vedení provozovatele nepečovalo o to, aby zapojení pracovní síly zůstávalo efektivní.
- Identifikace zdrojů rizika a analýza rizika – vedení provozovatele nedělalo konzistentní úsudky o riziku.
- Průběh provozování – vedení provozovatele neposkytovalo kontrolám přiměřené zdroje.
- Přezkum řízení a neustálé zlepšování – vedení provozovatele se nevěnovalo zjištění nebo doporučením přezkumu.

F: Z jakých příčin došlo v JE Temelín k rozsáhlým ztrátám RTG snímků z kontroly svarových spojů?

Až do roku 2011 nebylo v metodice pro zkoušení rentgenovým zářením a zářením gama jednoznačně definováno, kde, kým a jak mají být uloženy radiogramy, z kterých je vytvořen protokol. Náprava nastala vydáním 4. revize této metodiky. Požadavek na dokladování



Boeing 737 MAX Zdroj: wikipedia |

radiogramů nebyl předtím nikde v normativní dokumentaci popsán, byl zaveden jen požadavek na dokladování formou protokolů nebo zpráv.

Protože RTG snímky svarů nebyly vyžadovány metodikou, nebyly v období do roku 2011 a zejména při investičních akcích v roce 2008 soustavně vyžadovány ani provozovatelem v rámci protokolů nebo zpráv. Provozovatel se spokojil s protokoly bez prvotních dokladů. To je důvod, proč řada radiogramů chybí v centru řízené dokumentace, kde se mají archivovat.

Byly tedy zjištěny nedostatky v nastavení pravidel, kdy nebyly jednoznačně stanoveny požadavky a odpovědnosti na dokladování radiogramů. Tyto nedostatky byly časem částečně napraveny a od roku 2010 je dokladování ra-

diogramů již v souladu s požadavky. Za kořenné příčiny tohoto faktoru lze označit:

- Kultura bezpečnosti – vedení provozovatele nezajistilo důsledné uplatňování systému norem.
- Provozní postupy – vedení provozovatele neurčilo, jaké postupy jsou potřebné, ani jejich vhodnou úroveň podrobnosti.

Poučení

- Základním poučením bylo zjištění, že se RTG kontrolám svarových spojů provedeným mezi lety 2000 až 2015 v prostředí českých JE nedá důvěřovat. Nápravná opatření byla zaměřena na ukončení nesprávné praxe a nápravu chyb, které způsobila.
- Všechny svarové spoje, které měly být prověřovány RTG kontrolou, byly znovu prověřeny. Pro nevyhovující svary bylo

provedeno bezpečnostní zhodnocení, byl naplánován postup vypořádání neshod a neshody byly postupně odstraněny.

- Pracovníci provádějící RTG kontroly byli převedeni do společnosti podřízené provozovateli, byli prokazatelně seznámeni se svými povinnostmi při kontrole a podrobeni postupu provádění kontrol, který zahrnuje nezávislý dohled.
- Byly změněny postupy provádění zákaznických auditů.
- V útvech provozovatele pověřených kontrolami byly uskutečněny takové změny, aby byl jasně definován a zajištěn požadovaný rozsah kontrol.
- Opakování situace, kdy management provozovatele nevnímá rizika spojená s nezpůsobilostí kontrolních útvarů plnit jejich úkoly, má zabránit dokončení zavádění systému řízení rizik.
- Aby již nemohlo docházet ke ztrátám RTG snímků, byl do příslušných metodik zařazen jednoznačný požadavek archivovat výsledky RTG kontrol.

Závěr: K dnešnímu dni byly překontrolovány všechny svary, které byly vyhodnoceny jako „nedostatečně prověřené“. Díky této události jsou svary na obou českých jaderných elektrárnách důkladně a vícenásobně prověřeny. SÚJB udělil držiteli povolení k provozu za uvedenou praxi pokutu a na monitorování a stav svarových spojů se podrobně zaměřuje ve své kontrolní a hodnotící činnosti.

Jaké další současné světové události mají pravděpodobně za příčinu „normalizovanou odchylku“?

Pozorně sleduji například vývoj kauzy Boeing 737 MAX. Zveřejněné informace včetně komunikace v rámci společnosti Boeing silně naznačují, že existovala odchylka od očekávání, která byla komunikována/komentována a „znormalizovala“ v důsledku konkurenčního boje mezi Airbusem a Boeingem.

Další pravděpodobné „normalizované odchylky“ mohou existovat na českých železnicích. Ačkoli rok 2020 z hlediska počtu událostí nikterak nevybočuje z dlouhodobější statistiky, jen je jim věnována větší mediální pozornost, příčiny se velmi často opakují. Třebaže jde velmi často o selhání jednotlivců, statistická četnost těchto jednotlivých pochybení není bezvýznamná a zasloužila by si hlubší zkoumání.

Podobných událostí kolem sebe můžeme vypořizovat celou řadu. Věřím, že po přečtení tohoto cyklu si pozorní čtenáři dokážou najít jejich další příklady. Není to nic složitého. Jak jsem uvedl již v prvním dílu, normalizované odchylky se mezi námi vyskytují v hojné míře, jen je zapotřebí je vnímat, odhalovat a odstraňovat.

Mgr. Marek Bozenhard



marek.bozenhard@sujb.cz

Působí na Státním úřadě pro jadernou bezpečnost jako inspektor a vedoucí oddělení kontroly provozu a zpětné vazby. Je odborníkem na hodnocení lidského faktoru a zpětné vazby z provozních zkušeností. Zastává funkci místopředsedy Zkušební komise pro zkoušky zvláštní odborné způsobilosti pracovníků vykonávajících činnosti zvláště důležité z hlediska jaderné bezpečnosti. Absolvoval kurz ČEZ, a. s. „Beta“ na operátora JE Temelín.

Před nástupem na SÚJB pracoval jako projektant v divizi Energoprojekt Praha ÚJV Řež, a. s. Vystudoval jadernou chemii na Přírodovědecké fakultě University Karlovy v Praze.

Zkušenosti z cílených dezinformací v oblasti radiační ochrany

Ing. Ivana Fojtíková, Ing. Michal Jankovec, Ing. Jiří Hůlka

Státní ústav radiační ochrany, v.v.i.

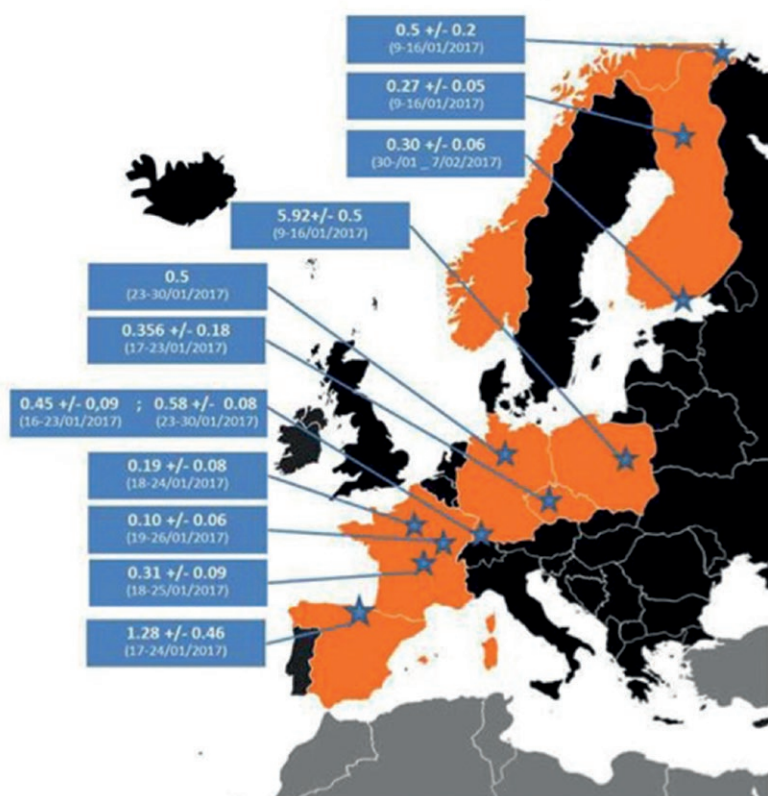
Česká republika se setkala poprvé s poměrně masivní profesionální dezinformační kampaní v oblasti radiační ochrany v roce 2017. Bylo zneužito zveřejnění informace o stopových množstvích ^{131}I , který byl identifikován v ovzduší některých států Evropy skupinou laboratoří sdružených v Ro5. Přestože se jednalo o zcela stopové koncentrace, které nemají žádný vliv na lidské zdraví, a přestože ČR patří k zemím, kde veřejnost má i poměrně dobré znalosti o poměru dávek z jednotlivých složek záření, v dezinformační kampani se podařilo vzbudit poměrně velké obavy veřejnosti, vyvolala znepokojení dokonce i u některých lékařů. SÚRO následně provedl rozsáhlý sociologický průzkum veřejného mínění a mediální analýzu chování veřejnosti v této kauze, jejíž vybrané výsledky jsou zde krátce představeny. Důvod tohoto v zásadě „úspěšného“ cíleného dezinformačního útoku na ČR je sice neznámý, ukázal ale na důležitost hlubší proaktivní přípravy na případné opakování podobné situace. Jednou z možností je i rozsáhlejší zapojení občanů do měření radioaktivity.

The Czech Republic first encountered a relatively massive professional disinformation campaign in the field of radiation protection in 2017. The publication of information on trace amounts of ^{131}I , identified in the air of some European countries by a group of laboratories associated in Ro5, was misused. Disinformation campaign attracted a fairly large public concern and raised concerns even among some physicians, even though they were only trace concentrations that have no effect on human health, and even though the Czech Republic is among the countries where the public has a fairly good understanding of the ratio of doses of the individual components radiation. SÚRO subsequently carried out an extensive sociological survey of public opinion and a media analysis of public behaviour in this case. The selected results of which are briefly presented here. The reason for this basically „successful“ disinformation attack targeted on the Czech Republic is unknown, but it showed the importance of deeper proactive preparation for a possible repetition of a similar situation. One of the possibilities is a wider involvement of citizens in the measurement of radioactivity.

DEZINFORMAČNÍ KAMPAŇ V OBLASTI RADIAČNÍ OCHRANY V ROCE 2017

Česká republika se setkala s poměrně masivní profesionální dezinformační kampaní v roce 2017. Šlo o následující událost: v průběhu ledna 2017 a začátkem února zjistily vědecké laboratoře sdružené v Ro5 (Ring of Five: the European network of experts) na některých svých odběrových místech pozitivní (byť velmi nízké) hodnoty aktivity ^{131}I v ovzduší na úrovni $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$. První informace o zvýšených hodnotách přišla z Norska. Postupně byla hlášena detekce ^{131}I z dalších zemí Evropy, mezi nimi i z ČR viz obrázek 1.

Laboratoře si tyto výsledky vyměnily a následně byly zveřejněny francouzským IRSN. Jednalo se o velmi nízké hodnoty detekova-



Obr. 1: Stopová množství I-131 ($\mu\text{Bq}/\text{m}^3$) v Evropě v lednu 2017; síť stanic měřících radioaktivní aerosoly s extrémně vysokou citlivostí (Ring of Five: the European network of experts)

telné jen díky spojení velkoobjemových odběrových zařízení s dlouhou dobou odběru (cca dny až týden) a citlivé detekční techniky s HPGe detektory o vysoké účinnosti a dlouhé doby měření. Z hlediska radiační ochrany se jednalo o bezvýznamné stopové množství ^{131}I (efektivní dávka byla odhadnuta na méně než 10^{-8} mSv), které se opakovaně objevuje v době inverze nad částí Evropy – patrně z výroby radioizotopu ^{131}I pro lékařské účely.

Co bylo nové a překvapivé, že následovala profesionálně zpracovaná a šířená dezinformace cílená na Českou republiku. Článek publikovaný na dezinformačním webu aeronet.cz „Nad Evropou se valí radioaktivní mrak pocházející zřejmě z podivné exploze ve francouzské jaderné elektrárně. Vlády mlčí, Francie se snaží bagatelizovat celý incident slovy o neškodnosti radionuklidů a my doporučujeme nakoupit okamžitě jódové tablety a dozimetry! Pokud dojde k úniku radiace, vlády v EU všechno zaprou, jako Sověti! Vládám a organizacím pro jaderný dozor nelze věřit. Stejně chlácholení můžeme očekávat i dnes, protože ve Francii vůbec nejde o nějaké ozáření lidí, to nikoho nezajímá. ... Doporučujeme nevycházet s dětmi ven, nevětrat, tento a následující rok nesbírat houby, borůvky a žádné plody, které vážou radioizotopy, nejíst kořenovou zeleninu, luštěniny, mrkev, kedlubny, dýně, ředkvičky a dále slunečnicová semena, olej ze slunečnic apod. Kvůli současné ekonomické globalizaci můžete na jaře a v létě v obchodech najít jogurty z Francie, potraviny všeho druhu atd. Pro měření nezávadnosti potravin je třeba provést investici na nákup dozimetru. Jejich cena se pohybuje okolo 10 000 Kč, ale je to investice pro celou rodinu. Pokud máte doma kojence a připravujete mu třeba jablečné pyré z domácích poctivých jablíček, tak je dobré jablka po sběru na zahradě přezkontrolovat dozimetrem. Toto léto může být opravdu prostoupené radioaktivitou, bůhví, co všechno bude Evropou poletovat v následujících měsících. Malé dítě reaguje i na nízkou radioaktivitu ji-

nak než dospělý člověk. Nic neponechávejte na náhodě, pokud vám někdo bude tvrdit, že je to normální a neškodné, že se nad Evropou valí najednou mrak radioizotopů jódu, které pocházejí jedině z jaderného štěpení, a ne z volné přírody, tak prostě na nic nečekejte a nevěřte chlácholením. Režim v EU vás nepotřebuje mít zdravé, režim usiluje pouze o to, abyste zůstali v klidu. Nejde o zdraví lidí, jde o zachování klidu“.

Vysokou váhu tohoto typu dezinformace ukazuje, že tento článek dokázal vygenerovat 150 diskusních příspěvků, což byl druhý největší počet, jaký dokázal vyvolat nějaký do té doby publikovaný článek. Dezinformační kampaň vzbudila nečekaně velkou odezvu veřejnosti a vyvolala znepokojení dokonce i vysokoškolsky vzdělaných lidí, a to i některých lékařů.

Státní úřad pro jadernou bezpečnost apeloval na zdravý rozum občanů i médií a varoval, že „zprávy šířené některými tzv. alternativními weby jako např. AE News, který vyzývá občany k nákupu jódových tablet a dozimetrových přístrojů a dále varuje před vycházením a konzumací některých potravin, jsou naprosto nesmyslné a zřejmě úmyslně chtějí z nějakého důvodu vyvolat paniku v zemích Evropy. Účel tohoto konání nám není znám, ale SÚJB zvažuje podání trestního oznámení pro šíření poplašné zprávy“.

SÚRO následně provedl sociologický průzkum veřejného mínění a mediální analýzu chování české veřejnosti v této kauze.

VYBRANÉ VÝSLEDKY SOCIOLOGICKÉHO PRŮZKUMU A MEDIÁLNÍ ANALÝZY

Výzkum proběhl hned v následujících týdnech po dezinformační kampani, jednalo se o mediální analýzu a sociologický průzkum veřejného mínění a chování české veřejnosti v této kauze.

MEDIÁLNÍ ANALÝZA

Monitoring českých médií včetně sociálních sítí s cílem nalezení článků a příspěvků s tématem zjištění výskytu ^{131}I byl realizován v období 9. 2. až 25. 3. 2017. Monitoring médií

včetně shromáždění podkladů pro analýzu dalších aktivit na internetu a sociálních sítích provedla společnost Media Tenor.

Jednotlivé typy médií byly podrobeny analýze jejich obsahu na základě korektnosti novinářského zpracování jednotlivých příspěvků. Korektnost zpracování byla přitom posuzována podle následujících kritérií:

- (1) Zda příspěvek, resp. článek obsahuje nepravdu. Nepravdivost znamená, že obsah článku ve významné míře neodpovídá realitě, vynechává důležité části kontextu, neposkytuje důvěryhodné zdroje informací, uvádí nesprávná fakta nebo například prezentuje extrémní pohled na skutečnost.
- (2) Zda byly v publikovaném materiálu použity relevantní zdroje, zejména, zda se k naměřené úrovni ¹³¹I na území ČR vyjadřovali odborníci ze SÚJB, SÚRO nebo ministerstva zdravotnictví.
- (3) Podle celkového vyznění příspěvku, které buď může podporovat názor, že zjištěná úroveň výskytu ¹³¹I není zdraví nebezpečná, nebo naopak může podněcovat nedůvěru k odborným a státním autoritám a podporovat názor, že zjištěná úroveň může být nebo je nebezpečná.

Obsahová analýza a analýza korektnosti ukázala, že ve více než v pětině publikovaných materiálů byla identifikována nepravda. Relativně vysoký výskyt publikovaných nepravdivých materiálů způsobují dezinformační weby (na ně připadlo 22 % publikovaných materiálů), které většinou (v 84 %) obsahovaly nepravdy. Žádný nepravdivý příspěvek nebyl identifikován mezi materiály publikovanými v rozhlasech a TV, v těchto média-typech byli nejčastěji citováni odborníci ze SÚJB a SÚRO. Materiály publikované v TV nejčastěji vyznívaly ve prospěch názoru, že zjištěná úroveň ¹³¹I není zdraví nebezpečná.

Materiály s vyzněním podporujícím nedůvěru k odborným autoritám a ve prospěch názoru, že zjištěná úroveň ¹³¹I může být nebo je nebezpečná, nebyly v TV ani v rozhlasech vůbec zaznamenány. Naopak na dezinformačních webech bylo identifikováno 79 % příspěvků s tímto vyzněním. Obsahová analýza ukázala, jak důležité pro objektivní informování bylo,

že se SÚJB nebo SÚRO velmi často (v 54 % publikovaných materiálů) podařilo prosadit vysvětlení a názory svých představitelů ke zjištěné úrovni ¹³¹I.

AKTIVITY NA INTERNETU

Na internetu bylo zaznamenáno 2 853 jednotlivých aktivit v reakci na publicitu výskytu ¹³¹I v ovzduší. Na standardních webech bylo publikováno 2× více článků než na dezinformačních. Jeden publikovaný článek na standardním webu vygeneroval v průměru 35 diskusních příspěvků, článek na dezinformačním webu jich vyvolal 69, tedy 2× více. Největší odezvu na sociálních sítích vyvolal příspěvek politického aktivisty Z. K. na téma nedostatek jódových tablet na trhu, který získal 154 liků a 39 sdílení. Dezinformace dokáže vyvolat silnější odezvu než standardní článek, protože je formulována více emociálně – obvykle bývá postavena na vyvolání strachu nebo nespokojenosti.

Je pravděpodobné, že se v budoucnu může stát častým terčem útoků údajná nedostatečná informovanost a připravenost občanů na možnou, hypotetickou či zcela smyšlenou jadernou událost.

ZÁKLADNÍ INFORMACE ZE SOCIOLOGICKÉHO PRŮZKUMU

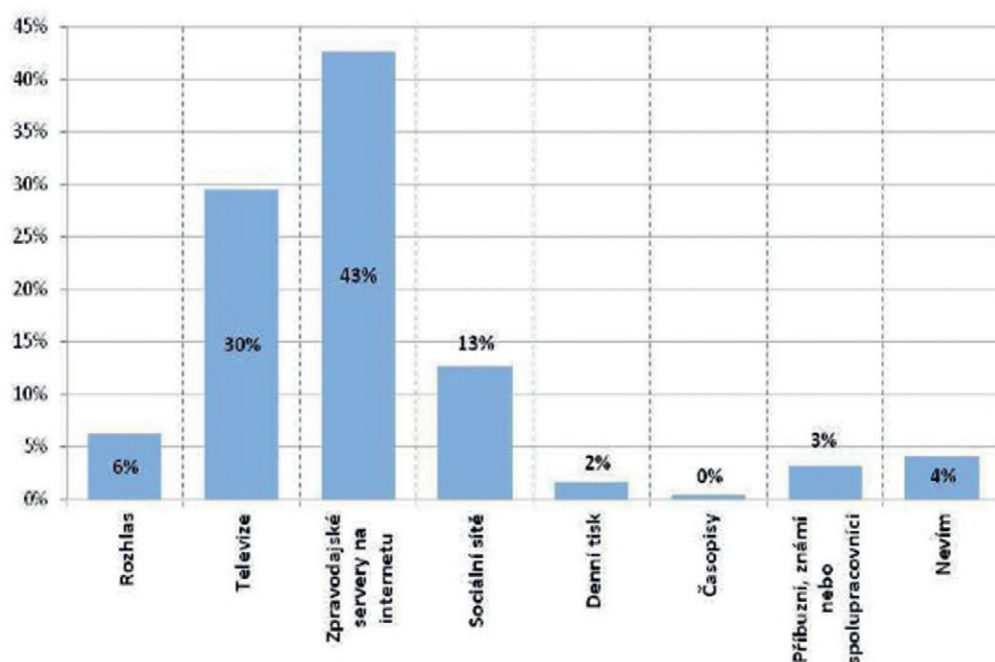
Data byla získána částečně prostřednictvím telefonického (CATI), částečně on-line (CAWI) rozhovoru. Cílová skupina byla tvořena občany ve věku 18 až 65 let z celé ČR, velikost výběrového souboru činila 696 respondentů. Sběr dat probíhal 10.–18. března 2017.

Z rozsáhlého výzkumu zmiňme pouze nejdůležitější zjištění.

V oblasti informovanosti, obav o zdraví a chování populace

- 44 % obyvatel deklarovalo, že informaci o výskytu ¹³¹I zaznamenalo;
- polovina z těch, kteří informaci zaznamenali, si o výskytu ¹³¹I myslela, že jeho zjištěná úroveň může být zdraví nebezpečná, u třetiny z nich (tj. u 15 % z celé populace) vyvolaly informace obavy o zdraví vlastní a zdraví blízkých osob;
- u tří čtvrtin osob s obavami o zdraví (tj. u 11 % z celé populace) obavy dále

Nejčastěji používané zdroje



Obr. 2: Zjištěné nejčastěji používané informační zdroje

přetrvávaly a přes intenzivní kampaň expertů a státních institucí se je nepodařilo rozptýlit:

- jen 7 % osob seznámených s výskytem ¹³¹I deklarovalo snahu získávat informace i jinde než v médiích. Ukázalo se ale, že mnozí z nich nepovažují za médium internet, takže ve skutečnosti informace mimo média shánělo méně než 1 % z dotázaných;
- realizaci opatření na ochranu před ¹³¹I v ovzduší zvažovalo nebo přijalo 17 % populace, z toho 11,5 % by zvolilo opatření neracionální (posilování imunity přijímáním vitaminů, častějším pobytem v přírodě a intenzivním sportováním venku), které by rozhodně nevedlo ke snížení přijaté dávky v případě, že by se v ovzduší objevily skutečně vyšší koncentrace radiojodu. Další 9 % nakoupilo podle svých slov tablety se stabilním jódem, nikdo z respondentů snad nepřistoupil k aplikaci léčiva.

Podle očekávání byly nejčastější informační zdroje zpravodajské servery (viz obrázek 2)

ZJIŠTĚNÁ SPECIFIKA NĚKTERÝCH MÉDIA-TYPŮ

TELEVIZE

- Ti, kteří poprvé zaznamenali informace o výskytu ¹³¹I v TV, vnímali nebezpečí ¹³¹I pro zdraví poněkud méně než ti, co tuto informaci získali poprvé z jiného média. Měli také větší důvěru ve státní instituce zabývající se radiační ochranou.
- Tato zjištění souvisejí se zjištěními obsahové analýzy, že v příspěvcích publikovaných v TV nebyl zaznamenán žádný, který by obsahoval nepravdu nebo podporoval nedůvěru k odborným autoritám či vyzníval ve prospěch názoru, že zjištěná úroveň ¹³¹I může být nebezpečná. Současně v TV (společně s rozhlasovými stanicemi) bylo publikováno nejvíce příspěvků s citací představitelů SÚJB a SÚRO.
- Větší důvěru ve státní instituce zabývající se radiační ochranou mají ti, kteří poprvé zaznamenali informaci o výskytu ¹³¹I v TV.

SOCIÁLNÍ SÍTĚ

- Ti, kteří poprvé zaznamenali informace o výskytu ¹³¹I na sociálních sítích (nebo jsou pro ně kanálem, kde nejčastěji zís-

kávají informace), měli obavy o osobní zdraví způsobené zjištěnou úrovní ^{131}I silnější než ti, kteří tuto informaci primárně získávali z jiného média. Současně častěji předávali informace dalším lidem (propagace případné dezinformace).

- Informace dalším předávali častěji lidé, pro které jsou nejčastějším médiem pro získávání informací sociální sítě, a ti, kteří informaci poprvé získali nevyžádaným emailem.
- Lidé, kteří získávají důležité informace ze sociálních sítí nebo pro ně byly prvním zdrojem o výskytu ^{131}I , vyhledávali další informační zdroje o jeho výskytu mimo média častěji než ostatní.

Za pozitivní z hlediska komunikace státu s veřejností lze považovat tato zjištění:

- Třetina informovaných uvádí, že zaznamenala oficiální stanovisko k výskytu ^{131}I .
- Pro devět desetin z těch, kteří zaznamenali oficiální stanovisko, bylo srozumitelné.
- Stanoviskům institucí zabývajících se jadernou a radiační ochranou důvěřují téměř dvě třetiny informovaných.

ZÁVĚR

I když důvod tohoto v zásadě „úspěšného“ cíleného dezinformačního útoku na ČR je neznámý, ukázal na důležitost proaktivní přípravy na opakování podobné situace. Ukazuje se, že klíčové je včasné zjištění šíření dezinformací a rychlá kompetentní reakce na ně. Oficiální reakce byla českou veřejností přijata velmi dobře, oficiální stanovisko bylo srozumitelné a důvěřovaly mu téměř dvě třetiny informovaných. To je pozitivní z hlediska komunikace státu s veřejností. Je však pravděpodobné, že se v budoucnu může stát terčem útoků údajná nedostatečná informovanost a připravenost občanů na možnou nebo hypotetickou či zcela smyšlenou jadernou událost. Očekáváme, že informovanost občanů v oblasti radiační ochrany je možné zlepšit proaktivním využíváním občanských měření, které se prudce rozvíjejí s překotným vývojem technologií, zejména po havárii ve Fukušimě (2011). Účast občanů na měření může kromě toho napomoci při získávání informací potřebných pro rychlé a efektivní vyhodnocení radiační situace v případě skutečné nehody, nebo při boji s případnými cílenými dezinformacemi.

Ing. Ivana Fojtíková

Ivana.fojtikova@suro.cz



Je absolventkou ČVUT Praha, Fakulty jaderné a fyzikálně inženýrské. V SÚRO působí jako vedoucí odboru přírodních zdrojů a radonového průzkumu budov. Věnuje se dlouhodobě výzkumu vnímání rizika a psychosociálních aspektů v oblasti ochrany před zářením, přípravě a testování informačních materiálů pro zvýšení participace občanů na ochraně před zdroji radioaktivity.

Europe's Sustainable Nuclear Energy Technology Platform (SNETP) – jak nově funguje a co nabízí

Ing. Petr Kadečka

ÚJV Řež, a. s.

22. června 2020 proběhla valná hromada SNETP, která dokončila proces nového uspořádání organizace. SNETP je nyní právnickou osobou, tzn. mezinárodní neziskovou asociací založenou podle belgického práva. V současnosti má 119 členů z 25 zemí.

Evropskou komisí je SNETP uznávána jako Evropská technologická a inovační platforma, která má v rámci odborných jednání, tvorbou referenčních dokumentů, publikováním stanovisek (tzv. position papers) a dalšími cestami potenciál ovlivňovat evropskou energetickou politiku. Současně je její hlavní technická část s rozsáhlým portfoliem výzkumných projektů, připravovaných a realizovaných s podporou SNETP, zdrojem řady detailních odborných informací pro své členy a je i uznávaným partnerem pro další mezinárodní i národní organizace, zabývající se podobnou problematikou.

HISTORIE

SNETP byla založena v roce 2007 pod záštitou Evropské komise s cílem podporovat technologický vývoj, zajišťující bezpečné a konkurenceschopné využití technologií jaderného štěpení pro potřeby klimaticky neutrálního a udržitelného energetického mixu. Asociace sdružuje různé zainteresované subjekty jako jsou průmyslové podniky, výzkumné organizace a instituce zabývající se bezpečností provozu, nevládní organizace, malé a střední

podniky a další. Asociace působila v rámci tehdejších pravidel pro technologické platformy, její odborná činnost byla postupně rozdělena do tří oblastí výzkumu a vývoje: reaktory II. a III. generace, reaktory IV. generace a kogenerace.

Na začátku roku 2013 vzniká i s podporou SNETP nezisková mezinárodní asociace NUGENIA, zaměřená na výzkum a vývoj pro potřeby jaderných elektráren (JE) II. a III. generace. Asociace převzala aktivity výzkumných sítí NULIFE (řízení životnosti a zajištění dlouhodobého provozu JE), SARNET (problematika těžkých havárií) a ENIQ (kvalifikace provozních kontrol). Poté, co NUGENIA doplnila do svého portfolia i ostatní oblasti výzkumu a vývoje pro potřeby JE II. a III. generace, získala od SNETP mandát pro zajištění těchto činností, které SNETP už dále nepokrývalo.

Změna způsobu podpory ze strany Evropské komise i snaha o efektivní fungování ukázaly, že i SNETP je nutné transformovat na právnickou osobu se zodpovědným řízením, zajišťující si zdroje pro své fungování i z členských příspěvků. A protože zde byla již výborně fungující asociace NUGENIA, bylo po dvouletém projednávání a přípravách rozhodnuto změnit stanovy asociace NUGENIA a změnou názvu, předmětu podnikání i organizačního uspořádání ji transformovat na mezinárodní neziskovou asociaci SNETP.

Změnu stanov schválila valná hromada NUGENIA v roce 2019 a volby do řídicích i dalších orgánů asociace, které proběhly během poslední výše zmíněné valné hromady, proces transformace dokončily.

ŘÍZENÍ SNETP

Technická část činností je vykonávána v rámci takzvaných tří pilířů NUGENIA, ESNII a NC2I, které jsou podporovány řídicí strukturou.

Nejvyšším řídicím orgánem je valná hromada, tvořená zástupci členů asociace. Každý zástupce disponuje jedním hlasem – bez ohledu na velikost a typ organizace, kterou zastupuje. Členské poplatky se (pro co nejsnazší dostupnost členství) pohybují pro roky 2020 až 2021 od 500 EUR ročně pro malé a střední podniky do 7 000 EUR pro průmyslové podniky.

Na nejvyšší úrovni je asociace reprezentována prezidentem a viceprezidentem, kdy jeden vždy zastupuje průmysl a druhý výzkum. Aktuálně zvoleným prezidentem je Bernard Salha z EDF a viceprezidentem Peter Baeten z SCK.

SNETP je mezi valnými hromadami řízeno a monitorováno řídicím výborem (Governing Board), který zodpovídá za realizaci rozhodnutí valné hromady. Část členů je volena valnou hromadou s rovným zastoupením vědeckých a průmyslových organizací a je doplněna o tři zástupce jednotlivých pilířů, zajišťujících hlavní technickou část práce asociace.

Práce všech těchto útvarů je podporována sekretariátem (Support Office), ve kterém pracují jednak pracovníci z externí firmy financované asociací, jednak pracovníci nominovaní těmi členy asociace, kteří chtějí dobrovolně podpořit její provoz.



TŘI PILÍŘE TECHNICKÉ ČINNOSTI SNETP

Technická práce organizace probíhá v rámci takzvaných tří pilířů a je bezplatně vykonávána odborníky nominovanými nebo vyslanými jednotlivými členy asociace.

NUGENIA je zaměřena na oblast výzkumu a inovací jaderné energetiky reaktorů II. a III. generace s cílem zlepšit jejich bezpečnost, konkurenceschopnost a podpořit roli jádra v bezuhlíkovém energetickém mixu s obnovitelnými zdroji.

Aktivity NUGENIA se dělí do osmi technických oblastí (Technical Areas – TA), které pokrývají problémy a potřeby provozovaných či budovaných JE: Bezpečnostní analýzy a hodnocení rizik JE (TA1), Těžké havárie (TA2), Podpora provozu JE (TA3), Hodnocení integrity systémů, konstrukcí a komponent (TA4), Nakládání s odpady a vyhořelým palivem, vyřazování elektráren z provozu (TA5), Inovativní konstrukce a technologie lehkovodných reaktorů (TA6), Harmonizace (TA7) a Evropská síť pro provozní kontroly a jejich kvalifikaci – ENIQ (TA8).

Řízení pilíře je zajišťováno koordinačním výborem, složeným z vedoucích jednotlivých technických oblastí a dalším reprezentantem každé technické oblasti. S řízením prací v rámci TA, které se pravidelně samostatně scházejí, pomáhají i vedoucí podoblastí, na které je každá oblast rozdělena. Všichni včetně vedoucích TA jsou voleni v rámci svých oblastí.

ESNII (European Sustainable Nuclear Industrial Initiative) je zaměřeno na demonstraci možnosti využití reaktorů Gen IV založených na technologiích využívajících rychlé neutrony.



Řízení ESNII je dvouúrovňové. Využívá koordinační výbor složený z reprezentantů uvažovaných technologií a pracovní skupiny organizované podle potřeby z různých členů asociace. V roce 2019 ESNII obnovilo diskuzi týkající se hodnocení vyzrálosti ESNII projektů s uvažováním dvou kritérií: úrovně technologické připravenosti (celosvětově) a pokroku v jednotlivých evropských projektech. I když není příprava technologie reaktorů chlazených tekutými kovy olovo-bismut světově rozšířená, měl by být podle hodnocení projekt MYRRHA vzhledem k jeho pokročilosti a dobré budoucí perspektivě považován za evropský projekt číslo jedna. Projekty sodíkem chlazeného reaktoru ASTRID a olovem chlazeného reaktoru ALFRED jsou řazeny na druhé místo, i když je projekt ASTRID zrušen, tak reaktory chlazené sodíkem jsou na mezinárodní úrovni referenční technologií a projekt ALFRED je perspektivní, i když je vývoj jeho technologie v počátcích. Technologie plynem chlazeného rychlého reaktoru ALLEGRO je považován za alternativu vyžadující ještě dlouhou dobu vývoje.

NC2I (Nuclear Cogeneration Industrial Initiative) je zaměřeno na kogeneraci elektřiny a tepla s možností využití pro vytápění, odsolování, výroby vodíku atd. Cílem pro rok 2030 je uvedení do provozu prvního vysokoteplotního plynem chlazeného reaktoru (HTGR) v Evropě jako zdroje tepla pro průmyslové využití. NC2I je řízeno koordinačním výborem zvoleným ze zainteresovaných členů SNETP.

SLUŽBY SNETP

PŘÍPRAVA A AKTUALIZACE ROADMAP

Již při zahájení činnosti jednotlivých pilířů byly vytvořeny rozsáhlé a detailní tzv. cestovní mapy – roadmaps, které jsou využívány při odborné komunikaci a tvoří podklad pro

různé dokumenty vydávané SNETP s cílem informovat průmysl, politiky (policy makers) a výzkumné organizace o stavu poznání, potřebách výzkumu a jeho prioritních tématech.

V současnosti je připravováno vydání dokumentu SNETP Strategic Research and Innovation Agenda (SRIA), která klade důraz na předpokládaný evropský energetický mix, na „Joint Programming“ s cílem lepšího využití veřejných zdrojů vydávaných na vědu a výzkum v Evropě a na témata řešená například různými projekty a vědními obory „Cross Cutting Topics“.

PODPORA PROCESU VYTVÁŘENÍ PROJEKTŮ

NUGENIA využívala pro potřeby efektivního návrhu a přípravy projektů databázový nástroj NOIP (Nugenia Open Innovation Platform), který byl od svého spuštění v roce 2014 využit pro rozpracování 198 návrhů projektů. Nyní je na webu SNETP spuštěna tato platforma pro potřeby SNETP. Kterýkoliv zaregistrovaný člen SNETP tu může v souladu se schváleným postupem podat návrh na projekt, který je posouzen s cílem vyloučit duplicitu a návrhy nespádající do technického záběru SNETP a následně zpřístupněn ostatním členům, aby se k němu v případě zájmu připojili odborně, organizačně ho rozpracovali a navrhli způsob financování.

Projekt může po rozpracování žádat o schválení „SNETP Label“ které všem potenciálním spolupracovníkům, investorům a konečným zákazníkům sděluje, že jde o smysluplný a prestižní institucí doporučený projekt, což má samozřejmě svoji váhu.

ŠÍŘENÍ VĚDECKÝCH POZNATKŮ A KOMUNIKACE

Členové SNETP mohou využívat služby a komunikace dostupné na stránkách SNETP jako informace o konferencích, seminářích, soutěžních výzvách a dalších možnostech financování vědeckých projektů.

Je možné se zúčastnit pravidelných setkání technických oblastí a vyslechnout anebo si bez účasti stáhnout prezentace z jednání.

Prezentace zástupců SNETP na konferencích a kurzech umožňují šíření poznatků a prezentaci expertízy jednotlivých členů.

NETWORKING

SNETP pořádá během roku řadu pracovních setkání a odborných konferencí na různých místech. Jednou za rok se pak schází dříve NUGENIA nyní SNETP Forum, kterého se pravidelně účastní přes 200 odborníků. Forum se v hlavní náplni postupně posunulo od detailního prezentování výsledků projektů z SNETP portfolia k prezentaci nových témat, potřeb průmyslu a možných inovací. Paralelně jsou vždy prezentovány a projednávány návrhy nových projektů, pro které je v programu i místě konference vytvořen dostatečný prostor.

Činnost probíhající pod hlavičkou SNETP je velmi rozsáhlá. Informace je možné získat na webu asociace na adrese www.snetp.eu.

Z českých organizací jsou v asociaci nejaktivnější Skupina ÚJV a ČEZ. ÚJV Řež pracovala a pracuje na desítkách projektů připravených v rámci asociace. Je však nutné konstatovat,

že to vyžaduje značné nasazení pracovníků v rámci všech činností SNETP. Autor příspěvku věří, že i organizace mající co nabídnout, která se zaměří na aktivní práci v rámci jedné vybrané technické oblasti (aktivní činnost jednoho až dvou pracovníků) může profitovat z projektů připravovaných a realizovaných v této oblasti.

Koronavirová pandemie poměrně významně zasáhla i do činnosti asociace. Hlavní konference (SNETP Forum) byla z dubna 2020 přeložena na únor 2021, také byla posunuta většina plánovaných jednání technických oblastí a projektů. Ačkoliv probíhají jednání s využitím online konferenčních prostředků a daří se tak projednat a realizovat podstatné úkoly, otevřenou diskusi nad novými výzvami a příležitostmi umožňující vznik korektních a přátelských vztahů to bohužel nenahradí.

Ing. Petr Kadečka

petr.kadecka@ujv.cz

Autor pracuje na různých expertních pozicích ve společnosti ÚJV Řež, a. s. více než 30 let.

V současné době vede oddělení Investiční projekty a rozvoj podnikání v divizi Integrita a technický inženýring. Na poslední valné hromadě asociace SNETP byl zvolen členem jejího řídicího výboru. Souběžně aktivně pracuje v technické oblasti NUGENIA – Hodnocení integrity systémů, konstrukcí a komponent, kde řídí podoblast zaměřenou na monitorování a zmírňování stárnutí zařízení jaderných elektráren.



Z knihy „Vznik a historie státního dozoru nad jadernou bezpečností“

5. část

Ze vzpomínek Zdeňka Kříže

Tak jak se vyvíjely od poloviny padesátých let jaderné technologie, vyvíjel se i názor na bezpečnost a zejména pravidla v tomto novém odvětví. Prvotní linie byla zaměřena především na nešíření jaderných zbraní, vznikla Mezinárodní atomová agentura (MAAE), ale začínaly se formovat i národní dozory. V Československu vznikla Československá atomová komise (ČSKAE) a skupinka jaderných inženýrů kolem Ing. Jiřího Beránka a Ing. Zdeňka Kříže začala formulovat první pravidla jaderné bezpečnosti.

O počátcích jaderného dozoru v Československu poutavě píše Ing. Zdeněk Kříž, z jehož knihy „Vznik a historie státního dozoru nad jadernou bezpečností Československé komise pro atomovou energii (1970–1992)“ vám přinášíme některé vzpomínky na začátky tohoto mladého, ale dynamicky se rozvíjejícího odvětví.

PRVNÍ VSTUP

DO JADERNÉ LEGISLATIVY

V roce 1976 probíhala novelizace stavebního zákona a jeho prováděcích vyhlášek, o čemž se útvár jaderné bezpečnosti a záruk dozvěděl náhodně. Byl na to upozorněn spřáteleným právníkem dr. Jiřím Švábem. Jeho kolega (dr. Jiří Hegenbart) na Federálním ministerstvu pro technický a investiční rozvoj (FMTIR) byl odpovědný za zpracování zákona. Informace byla získána na poslední chvíli, takže text do návrhu zákona a prováděcích vyhlášek musel být předán zpracovatelům v řádu několika dnů. Tak se historicky dostal do české legislativy § 120 stavebního zákona č. 50/1976 Sb., [1], [5] O schvalování staveb s jaderným zařízením.

Na stavební zákon č. 50 z roku 1976 navazovaly dvě prováděcí vyhlášky. První byla vyhláška FMTIR č. 83 o obecných technických požadavcích na výstavbu [2], [6]. V § 88 této vyhlášky (oddíl stavby pro průmysl) bylo stanoveno, že ČSKAE určí stupeň ochrany umístění stavby

s jaderně energetickým zařízením stanovením ochranného pásma. Ochranné pásmo je zde poprvé definováno takto: „V ochranném pásmu jaderně energetického zařízení se mohou zřizovat jen stavby nezbytné pro provoz tohoto zařízení a stavby dopravních a rozvodných sítí s výjimkou dálnic, rychlostních silnic, celostátních drah a veřejných vodovodů.“

Druhou byla vyhláška FMTIR č. 85 o podrobnější úpravě územního řízení a stavebního řádu [3], [7]. Zde se v paragrafu 5 objevuje definice jaderného zařízení a v paragrafech 7, 20 a 39 se poprvé objevuje v legislativě pojem zadávací, předběžná a předprovozní bezpečnostní zpráva se základními rysy jejich obsahu. Poprvé se objevily termíny program zajištění jakosti, limity a podmínky bezpečného provozu a fyzická ochrana jaderných materiálů.

V souladu se stavebním zákonem byly i pro stavby jaderným zařízením stanoveny tři fáze schvalovacího procesu (územní rozhodnutí,

stavební povolení a kolaudační rozhodnutí) a v prováděcí vyhlášce byl rámcově stanoven obsah bezpečnostních zpráv (zadávací, předběžné, předprovozní).

Z dnešního pohledu to není mnoho, ale v té době to byl první vstup jaderné bezpečnosti do československé legislativy.

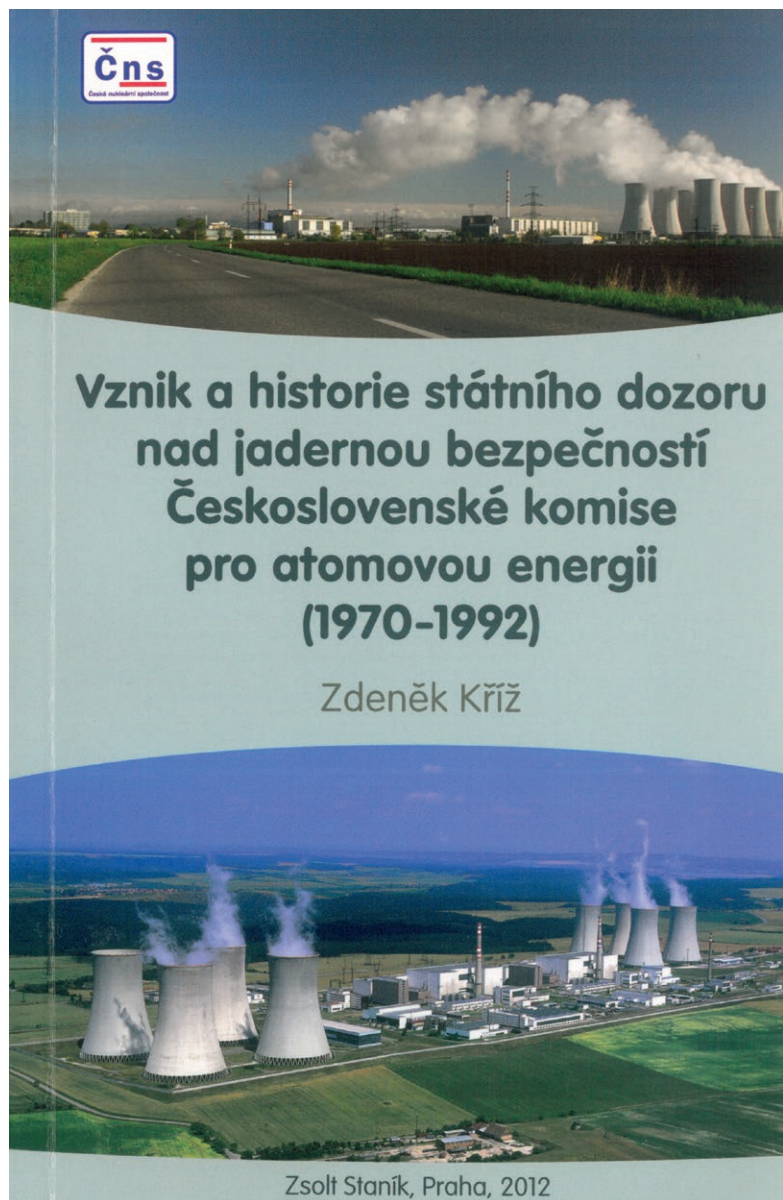
Stavební zákon platil až do vydání jeho novely č. 183/2006 Sb., ale přesto jeho obsah ani po 30 letech nezestárl a byl prakticky používán. S novelou stavebního zákona mělo oddělení OJBZ štěstí, ale to přeje především připraveným. Z důvodu toho, že první vstup do legislativy se uskutečnil přes stavební zákon, existovalo a nadále existuje u nás určité specifikum ve schvalovacím procesu pro jaderná zařízení.

Spočívá v tom, že konečný souhlas stejně jako ve stavebním zákoně vydával pro všechny stavby místně příslušný okresní stavební úřad (od malé chaty nebo garáže až po velký průmyslový podnik), nikoliv orgán dozoru, ministerstvo nebo dokonce vláda či parlament, jak je to nastaveno v mnoha jiných zemích.

Další legislativní postup zaznamenal budoucí státní dozor ČSKAE vydáním usnesení předsednictva vlády č. 195/1977 o státním technickém dozoru [8], na jehož základě mohla ČSKAE, republikové úřady bezpečnosti práce – ČÚBP a SÚBP – provádět inspekce jaderných elektráren a ve výrobních závodech. To byl významný pokrok, který umožnil zahájit a postupně rozvíjet inspekční činnost na lokalitách jaderných zařízení. Legislativní postup dále pokračoval a v roce 1979 následovalo usnesení předsednictva vlády č. 156/1979 Sb. [9], které umožnilo vydávat další předpisy pro zajištění jaderné bezpečnosti. Tímto usnesením bylo rovněž uloženo vypracování návrhu zákona o státním dozoru jaderné bezpečnosti jaderných zařízení.

VZNIK JADERNÝCH DOZORŮ VE SVĚTĚ

Jak již bylo uvedeno, všechna zásadní rozhodnutí týkající se československého jaderného programu byla činěna na plénu ČSKAE.



Plénium ČSKAE byl kolektivní orgán (cca 15–20 členů) z doby počátků rozvoje jaderné oblasti, který tvořili náměstci resortů a centrálních orgánů státní správy.

Jeho úkolem bylo posuzovat a doporučovat návrhy dalšího rozvoje československého jaderného programu, tedy role podporující (promotion) jadernou oblast.

V začátcích jaderné éry měla národní atomovou komisi převážná většina zemí včetně USA i bývalého SSSR. Jejím úkolem byla podpora rozvoje mírového (v zemích jaderných velmocí i vojenského) využívání jaderné ener-

gie včetně podpory výzkumu v této oblasti a k tomu měla k dispozici potřebné finanční prostředky. S nástupem činnosti dozoru bylo nutné tyto dvě neslučitelné funkce (promotion a regulation) rozdělit. K tomu začalo docházet v řadě západních zemí, budujících jadernou energetiku, v polovině 70. let.

Prvním významným signálem k zahájení těchto změn byl tzv. Reorganisation Act v roce 1974 v USA, kde původní americká atomová komise (US Atomic Energy Commission – USAEC) byla rozdělena na ministerstvo energetiky – Department of Energy (DOE), které se zabývá podporou a rozvojem mírového a vojenského jaderného programu v USA, a orgán státního dozoru Nuclear Regulatory Commission (NRC), který zajišťuje nezávislou kontrolu jaderné bezpečnosti v oblasti mírového využívání. Tento příklad následovaly ostatní státy jako Francie, Anglie, Německo, Švédsko a další. Postavení NRC a její nezávislost jsou velmi dobře zajištěny. Předseda NRC a její čtyři komisaři jsou jmenováni přímo prezidentem USA a NRC podává zprávy o své činnosti přímo Kongresu USA.

Novelou kompetenčního zákona [4] z roku 1988 nebyly kompetence pléna ČSKAE změněny a jeho úkoly byly potvrzeny.

K potřebné právní úpravě a reorganizaci u nás došlo až v roce 1993 s rozdělením ČSFR, kdy se nový Státní úřad pro jadernou bezpečnost (SÚJB) stal plně nezávislým orgánem státní správy výhradně pro oblast dozoru (regulace) nad jadernou bezpečností. Existence obou kompetencí v rámci ČSKAE byla nepochybně dlouhodobou brzdou rozvoje činnosti dozoru u nás. Nutno konstatovat, že ani jeden ze tří předsedů ČSKAE v období 1970–1993 (Jan Neumann, Stanislav Havel, Karel Wagner) nepředložil vládě návrh, aby byla situace změněna. A tak dvě neslučitelné funkce – podpora jaderného programu (promotion) a kontrola jaderné bezpečnosti (regulation) – zůstávaly ve stejné organizaci, tj. v ČSKAE, až do roku 1993.

Seznam odkazů:

- [1] Zákon č. 50/1976 Sb., O územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon)
- [2] Vyhláška FMTIR č. 83/1976 Sb., O obecných technických požadavcích na výstavbu
- [3] Vyhláška FMTIR č. 85/1976 Sb., O podrobnější úpravě územního řízení a stavebním řádu
- [4] Zákon č. 194/1988 Sb., O působnosti federálních orgánů státní správy (novela kompetenčního zákona)
- [5] Zákon č. 50/1976 Sb., O územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon) (§ 126 – ČSKAE)
- [6] Vyhláška FMTIR č. 83/1976 Sb., O obecných technických požadavcích na výstavbu (§ 88 – ČSKAE)
- [7] Vyhláška č. 85/1976 Sb., O podrobnější úpravě územního rozhodnutí a stavebním řádu (§ 7, § 20, § 39 – ČSKAE)
- [8] Usnesení předsednictva vlády ČSSR č. 195/1977 Sb., O státním technickém dozoru v oblasti jaderné energetiky
- [9] Usnesení předsednictva vlády ČSSR č. 156/1979 Sb., O vydání předpisů o jaderné bezpečnosti jaderných elektráren

Ing. Zdeněk Kríž



Ukončil s vyznamenáním v roce 1964 studium na Fakultě technické a jaderné fyziky ČVUT jako jaderný inženýr. Po ukončení studia nastoupil do Ústavu jaderného výzkumu v Řeži (ÚJV), kde pracoval jako výzkumný pracovník v úseku jaderné energetiky. V roce 1970 přešel do nově vzniklého oddělení jaderné bezpečnosti a záruk Československé komise pro atomovou energii (ČSKAE). Zde se aktivně podílel na rozvoji a prosazování státního dozoru nad jadernou bezpečností. Postupně prošel různými funkcemi až po funkci hlavního inspektora jaderné bezpečnosti (1989–1992). V roce 1993 přijal nabídku pracovat v Mezinárodní agentuře pro atomovou energii (MAAE) ve Vídni. Zde jeho hlavními úkoly bylo využívání provozních zkušeností prostřednictvím systému IRS a podpora činnosti orgánů dozoru v jaderné energetice. Podílel se na přípravě několika doporučení a účastnil se řady misí MAAE. Kromě několika výzkumných zpráv je autorem asi čtyřiceti prezentací, článků a publikací věnovaných dozorní činnosti. Po návratu z MAAE v roce 2001 nastoupil opět do ÚJV Řež jako vedoucí vědeckého sekretariátu. V období 2001–2011 byl předsedou Poradního výboru pro jadernou bezpečnost předsedkyně SÚJB Dany Drábové a od roku 2004 externím členem Výboru pro bezpečnost jaderných zařízení ČEZ, a. s.

Aktuality

VR-2 bude mít na co navazovat

V prosinci 2020 jsme si připomenuli 30 let od spouštění školního reaktoru VR-1 „Vrabec“ na FJFI ČVUT. Tento reaktor je pilířem jaderného vzdělávání v České republice a na Slovensku. V průběhu let se kolem reaktoru vybudovala velmi široká a silná skupina akademických uživatelů z celého světa i proto, že výuka na reaktoru VR-1 patří do světové špičky a snese srovnání i s nejlepšími americkými univerzitami. Na reaktor pravidelně přijíždějí američtí studenti z University of Tennessee a Middlebury Institute of International Studies at Monterey, studenti z britské Defence Academy a studenti z konsorcia britských univerzit NTEC a výuku zde také pravidelně absolvuji studenti ze Slovenska a z Německa. Školní reaktor kromě toho navštěvují studenti z celého světa v rámci jednorázových stáží a výukových pobytů. Aktuálně během semestru „jede“ VR-1 na 90–95 % své výukové kapacity (někdy i na 100 %) a zájem o praktickou výuku se stále zvyšuje. I proto se odborníci z FJFI ČVUT rozhodli pro výstavbu nového jaderného zařízení – podkritického reaktoru VR-2.

Projekt nového reaktoru VR-2 získal na počátku listopadu 2020 povolení SÚJB k umístění jaderného zařízení. Palivo pro tento reaktor darovala již před dvěma lety finská Aalto University, která s FJFI dlouhodobě spolupracuje.

Koncepce podkritického reaktoru VR-2 je založena na bazénovém uspořádání reaktorové nádoby s aktivní zónou obsahující kombinaci jaderného paliva (palivových proutků) s 10% obohacením U^{235} a s přírodním uranem, to vše moderované lehkou vodou. Konfigurace aktivní zóny bude za jakýchkoliv podmínek podkritická, takže k udržení



štěpné reakce bude nutný externí neutronový zdroj – tím bude neutronový generátor typu D-D. V případě jeho vypnutí, se zastaví i štěpení v zóně reaktoru.

Projekt reaktoru VR-2 vlastními silami kompletně zajišťuje FJFI, vypracovává dokumentaci pro SÚJB a zpracovává technickou dokumentaci pro dodávku a výrobu komponent reaktoru. Hlavní komponenty jsou postupně dodávány na základě výběrových řízení širokým spektrem domácích společností. Již vloni dodala společnost Watek s.r.o. demineralizační stanici, společnost VF, a.s. radiační monitorovací systém a společnost MICO, spol. s r.o. modulární betonové stínění. Letos bude vyhlášeno výběrové řízení na dodávku reaktorové nádoby, vnitřní vestavby a systému vodního hospodářství.

Dokončení projektu VR-2 a spuštění reaktoru je plánováno v roce 2022, do té doby se jistě k celému projektu podkritického reaktoru VR-2 vrátíme podrobným technickým popisem.

Jan Rataj, Aleš John

V CVŘ běží unikátní experiment

Koncem minulého roku nastal v „dějinách“ výzkumného reaktoru LR-0 v Řeži malý historický okamžik. Po více než třiceti letech bylo kvůli chystanému experimentu sejmuto jeho krycí otočné hliníkové víko. Víko, které má průměr tři a půl metru a váží kolem čtyř tun, se za pomoci jeřábu a čtyř úvazků majestátně vzneslo nad vlastní nádobu reaktoru. Mnohým z nás to připomnělo americký sci-fi film Den nezávislosti či přinejmenším létající talíř. Víko chvíli tiše levitovalo nad reaktorem a poté bezpečně dosedlo na jeho pojízdné betonové krycí plošiny.

Proč vlastně bylo nutné víko sejmut? V reaktoru LR-0 se připravuje unikátní experiment související s výzkumem MSR reaktorů (Molten Salt Reactor), v nichž je použito jaderné palivo ve formě roztavené fluoridové soli, která zároveň zajišťuje potřebný přenos tepla. Pro účely experimentu byla v dílnách Centra výzkumu Řež vytvořena speciální sestava několika navzájem do sebe zasunutých modulů, uvnitř které se bude nacházet nádoba ze specializované oceli INCONEL obsahující přibližně šedesát kilogramů roztavené směsi fluoridových solí o teplotě cca 700–800 °C. Teplota na povrchu celé sestavy bude maximálně 50 °C, aby nedošlo k poškození paliva v aktivní zóně reaktoru. Pro bezpečnou manipulaci s jednotlivými moduly jsme také v našich dílnách zkonstruovali a vyrobili originální držák.

Cílem experimentu je posouzení vlivu zahřátí solí na tzv. kritičnost reaktoru, jednoho z neutronově fyzikálních parametrů důležitých pro jeho provoz. Na začátku letošního



roku – přesně na svátek Tří králů – začala probíhat v reaktoru LR-0 tzv. „studená fáze“ experimentu při provozu za normální teploty, tj. cca 20 °C. Následovat bude vlastní „horká fáze“, kdy bude doprostřed zmíněné sestavy umístěna nádoba se solemi zahřátá ve speciálně vyrobené peci na vysokou teplotu, samozřejmě s tepleným stíněním, které zajistí jak udržení teploty solí, tak i maximální teplotu na povrchu sestavy.

Výsledek experimentu bude použit pro ověření výpočetního modelu reálného MSR reaktoru, na jehož vývoji se Centrum výzkumu Řež podílí s Oak Ridge National Laboratory v USA.

Evžen Novák



Aktuality

JE Dukovany – třicet pět let provozu



V závěru roku 2020 – přesně 3. listopadu – uplynulo 35 let od spuštění prvního bloku Jaderné elektrárny Dukovany do trvalého provozu. Připomeňme si, co se tehdy v roce 1985 a v následujících letech na EDU vlastně dělo.

Tzv. fyzikální spouštění reaktoru bylo po všech zkouškách a testech zahájeno na Silvestra roku 1984 zavezením první palivové kazety do reaktoru. K této události se sešlo několik desítek pracovníků přímo na reaktorovém sále. To zde již bylo zřízeno kontrolované pásmo s radiační kontrolou, celý první blok byl oddělen od bloku druhého, na kterém probíhaly stavební a montážní

práce. Byly zprovozněny hygienické smyčky a pracovníci, kteří šli pracovat do „primáru“, se museli převlékat do bílých montérek s lampasy a byli dozimetricky monitorováni. Zavážení paliva bylo ukončeno v druhé polovině ledna 1985, reaktor byl zkompletován, uzavřen a zatěsněn. Proběhly náhřevy, tlakové a pevnostní zkoušky, předepsané testy a všechno se připravovalo na první spuštění štěpné reakce. Dalším cílem bylo dosažení tzv. MKV – minimálního kontrolovaného výkonu, tedy stavu, kdy již probíhající řetězová štěpná reakce je udržována a regulována na výkonu zlomků procenta nominálního výkonu reaktoru.

Na chvíli předcházející dosažení tohoto významného milníku dne 12. února 1985 ve 23.11 hodin vzpomíná Ing. Miroslav Trnka, tehdy vedoucí reaktorového bloku:

Podle odhadu rychlosti vododovýmění a snižování koncentrace kyseliny borité se očekávalo zahájení štěpení až mezi druhou a čtvrtou hodinou ranní následujícího dne, a tak všichni nepotřební, ale veledůležití, kterých se na blokové dozorně při spouštění motalo dost a dost, odešli konečně na odpočinek. Zůstala jen osádka a dva ruští poradci. Před 23. hodinou přišel Ing. Bohumil Vincenc, tehdejší ředitel EDU. Seděli jsme u stolku a povídali si. Operátor reaktoru Ing. Štefan Spurný přejížděl zrovna z velké vodovýmění na malou vodovýmění. Najednou se začala prudce zkracovat frekvence zvukového indikátoru: „tut --- tut -- tut - tut, tut, tut ...“. Stačil jsem jen řediteli říct: „A jsme tam!“ a utíkal jsem k pultu, kde byla tlačení. Blikla signálka HO3, ale to již krátce předtím čísi ruce zatáhly regulační kazety o kousek dolů. Reaktor běžel stabilizován na kritickém stavu a my jsme si oddechli.

Po dosažení MKV a testech na této výkonové úrovni se postupně zvyšoval výkon reaktoru. 24. února 1985 byla přivedena pára na turbínu a na výkonu cca 20 % byl první blok EDU připojen k síti a začal do ní dodávat elektrickou energii. Následovalo další zvyšování výkonu reaktoru, spousta dalších testů a zkoušek. 26. března 1985 byl výkon reaktoru zvýšen až na úroveň 100 %, proběhly další zkoušky a testy na nominálním výkonu. A konečně 3. května 1985 byl ukončen průkazný 144hodinový chod a blok byl formálně převeden do fáze zkušebního provozu. Zkušební provoz pak byl ukončen 3. listopadu 1985 a první blok EDU tím přešel do trvalého provozu. A po prvním bloku následovaly bloky druhý a třetí a v roce 1987 konečně blok čtvrtý. První blok EDU byl předán do trvalého užívání po úspěšném zakončení zkušebního provozu a následné kolaudaci v roce 1988.

Podle plánů ČEZ počítá s provozem dukovanských bloků až do doby spuštění nového – pátého bloku, který má ty současné nahradit. Na to si ale budeme muset počkat nejméně do roku 2035.

Aleš John



Aktuality

Online konference, poradíme si

Současná covidová situace neumožňuje pořádat konference, semináře, přednášky a v podstatě jakékoliv akce, kde by se mělo na jednom místě setkat větší než nadlimitní množství lidí. Všichni to víme a respektujeme. Přesto hledáme cesty, jak se alespoň přiblížit té předcovidové době, kdy bylo ročně pořádáno mnoho různých setkání, konferencí workshopů a seminářů.

A tak se oprášíl fenomén „online“ konferencí. Žádný velký problém, počítač má každý, inter-

netové připojení také a zbývá z přehršle různých SW vybrat ten pravý, ať již Teams, Zoom, nebo Skype, či cokoliv možná ještě lepšího.

A tak se organizátoři takových konferencí pustili do díla. Nepochybně je pozitivní to, že se nemusí nikam cestovat a člověk tak stihne za den vyřídit mnohem větší množství setkání. Dopoledne tak stihne konferenci v Praze, v poledne se zastaví na semináři v třeba v Košicích a večer, až se zeměkoule otočí, může zahajovat celoplanetární konfe-



renci v New Yorku. A to, prosím pěkně, bez jet legu a štrapáce leteckého či automobilového cestování. A tak v jednom prostém domácím oblečení a bačkorách. Někdy doplněném o sako s kravatou. Informačně a věcně taková online konference není žádný problém a zejména nejmladší generace, která se pohybuje ve virtuálním světě s elegancí špičkového tanečníka, to možná dokonce uvítá.

Na druhou stranu, nám dříve narozeným fyzický osobní kontakt přece jen chybí a nechceme se nechat opít rohlíkem televizního či internetového spojení. Sám jsem připravoval a moderoval několik takových online konferencí. Mluvím tedy z vlastní zkušenosti. Jak to vypadalo?

Ve velkém sále jsme se pohybovali maximálně dva vystupující a jeden moderátor, a to s velkým vzájemným odstupem několika metrů. Všichni zakukleni do roušek. Daleko od nás byl kameraman s kamerou, další dálkově ovládaná kamera, a ještě jedna kamera na jeřábu. A spousta monitorů a v sousední místnosti technický štáb s baterií digitální audiovizuální techniky.

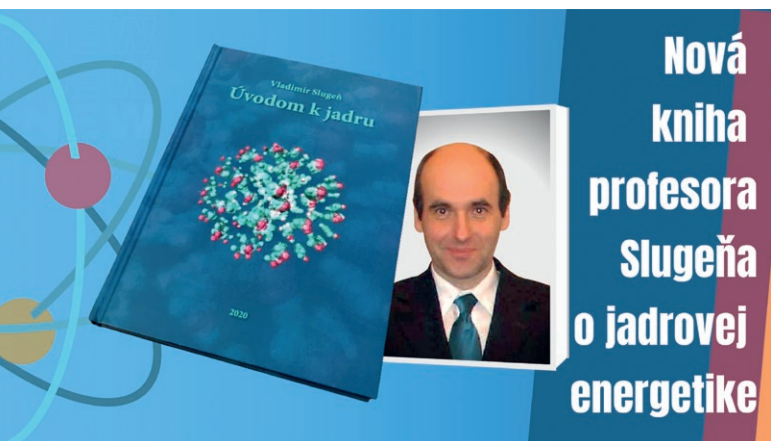
A pak to na vteřinu přesně s avizovaným začátkem vypuklo. Ale nevíme, jsou-li vůbec připojeni nějací posluchači, ale věřme, že ano. Posléze technika hlásí, že první vzdáleně připojený vystupující je připojen a jako moderátor ho tedy představuji a uděluji mu slovo. Tak se konference pomalu rozjížděla.



Obraz jako brus, zvuk na úrovni Hi-Fi, jen to pokašlávání posluchačů, vrtění se na židlích a občasný zvuk mobilního telefonu chyběly. Což je možná docela pozitivní. Nicméně chvíli jsem si jako moderátor kladl otázku „je tam vůbec někdo?“, ale i tato obava se vytratila, když jsem od techniků dostal zprávu „dobré je to, máme 187 připojení“. Tak to je opravdu dobré!

Jen jedna věc mi v té technické dokonalosti chybí. Takové to klábosení s kolegy, to káfičko na stojáka o přestávce, to povídání a vzpomínky a nápady, co bychom ještě mohli a měli udělat – to IT technologie nenahradí. Ono takové povykládání ve dvou či ve třech nebo čtyřech nelze nahradit žádným sofistikovaným technickým prostředkem. No, alespoň jsme udrželi kontinuitu a těšíme se, že se situace zase vrátí k normálu.

Aleš John



Nová kniha profesora Vladimíra Slugeňa

Profesor Vladimír Slugeň z Ústavu jadrového a fyzikálneho inžinierstva Slovenskej technickej univerzity v Bratislave vydal knihu s názvom Úvodom k jadru. Pohľad na jadrovú energetiku s otvorenou myslou mapuje 15 rokov vývoja a súvislostí v tejto oblasti. Zbierka úvodníkov, textov a úvah ponúka pohľad na jadrovú energetiku vo forme netriviálneho oddychového čítania.

Aleš John

V příštím čísle vám představíme
pížeňskou Škodou JS, která letos osla-
ví pětasedesáté narozeniny. V me-
dailonku významných osobností
si připomeneme profesora Josefa
Bečváře, zakladatele dnešní katedry
teorie a konstrukce energetických
zařízení na Fakultě strojní ZČU.
Detailně se zaměříme na uplatňo-
vání nových technologií ve Škodě
JS, dopravbu JE Mochovce a servis
jaderných zařízení. Vysvětlíme vám,
k čemu slouží pokročilý software
Biorad. Seznámíte se se systémem
managementu jakosti na Úradě ja-
drového dozoru SR a se zaváděním
akčních úrovní pro potřeby identifi-
kace vzniku RMU. Těšit se samozřej-
mě můžete i na aktuality z oblasti
jaderné energetiky.