

# 1/4 2020

ročník 1 [66] 2020

V tomto čísle vás seznámíme s novým vydavatelem časopisu *Jaderná energie/Jadrová energia*, podíváme se do historie programu solných reaktorů v České republice i do minulosti a současnosti jaderného vzdělávání na ZČU v Plzni. Představíme vám nejmodernější zobrazovací techniku nukleární medicíny – pozitronovou emisní tomografii a knihu Ing. Zdeňka Kříže o vzniku a historii státního dozoru nad jadernou bezpečností v České republice. Najdete zde informace o chystaných konferencích a workshopech, podělíme se s Vámi i o zkušenosti ze 3D měření těsnicích drážek a protilehlých ploch na víku reaktoru JE Temelín. Dozvíte se o novém palivu pro VVER i dostavbě jaderné elektrárny Mochovce a na následujících stránkách se budeme věnovat i tématu malých modulárních reaktorů.

## jaderná energie

## jadrová energia

# 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 300 výtisků a v elektronické podobě, která je volně dostupná na adrese [jadernaenergie.online](http://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](mailto:redakce@jadernaenergie.online)  
+420 775 374 384  
Mgr. Tereza Smékalová, Ing. Jiří Kuf,  
Ing. Jan Procházka.

### 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, 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 2336-4157.

### Číslo 1/2020, ročník 1 [66]

Vychází 20. 1. 2020

# editorial

## Vážení a milí čtenáři,

vítejte na stránkách časopisu Jaderná energie/Jadrová energia, který je ideovým pokračovatelem časopisu, jehož historie sahá až do poloviny šedesátých let minulého století.

Jako studijní pomůcku v oboru využití atomové energie pro energetické účely určenou pro podniky tehdejšího Ministerstva energetiky začal v září 1955 vydávat Energetický ústav Praha VII vědecko-technický časopis Jaderná energetika.

S posláním přispívat k udržení vysoké kultury jaderné bezpečnosti v oblasti mírového využívání jaderné energie časopis pokračoval i po rozdělení Československa v roce 1993. Novými vydavateli se staly Státní úřad pro jadernou bezpečnost České republiky a Úřad jadrového dozoru Slovenskej republiky a časopis byl přejmenován na Bezpečnost jaderné energie/Bezpečnost jadrovej energie. Spolupráce SÚJB a ÚJD SR trvala až do července 2019.

V říjnu 2019 převzala od SÚJB pomyslnou vydavatelskou štafetu společnost Centrum výzkumu Řež, kterou vám představujeme hned na následujících stránkách. Spoluúčast Úřadu jadrového dozoru Slovenskej republiky při vydávání časopisu zůstává beze změny.

Naším cílem je udržet vysokou odbornou úroveň publikovaných příspěvků a zůstat i nadále respektovaným a recenzovaným periodikem. Nově bude časopis vycházet pod názvem Jaderná energie/Jadrová energia, který lépe vystihuje zaměření původního časopisu a dává větší prostor při tvorbě obsahové části, již bude sestavovat nově ustanovená redakční rada.

Oborově rozmanitější obsah časopisu chceme podpořit také novým layoutem. Naším záměrem bylo vytvořit časopis s jednoduchým čistým stylem, moderní a výraznou typografií a zajímavými technicistními prvky, které by

akcentovaly jeho působivou historii a zároveň neodváděly pozornost od textové části. Posudte sami, jak se nám tuto vizi podařilo naplnit...

Časopis bude i nadále vycházet v tištěné podobě, nově bude celobarevný a na kvalitním křídovém papíře. Jednotlivá čtyři čísla v každém roce se budou lišit nejen obálkou, ale i barevným schématem.

Už od prvního čísla budete mít k dispozici i elektronickou verzi časopisu ve formátu PDF. Na webových stránkách jadernaenergie.online (případně jadernaenergie.cz nebo jadrovaenergia.sk) budou vždy ke čtení i ke stažení nejenom aktuální vydání, ale i předešlá čísla časopisu. Pro letošek bychom také rádi vytvořili a zpřístupnili kompletní elektronický archiv historických čísel, která jsou pro vás „jaderníky“ jakýmsi rodinným stříbrem.

Obsah webových stránek chceme v následujících měsících rozšířit nejen o další rubriky, ale i technické vymoženosti. Připravujeme například modul pro automatický odběr novinek – po vyplnění jednoduché registrace vám již neunikne žádné nové číslo časopisu. V budoucnu bychom rádi časopis rozšířili i o multimediální obsah a pomyslně tak oddělili elektronickou verzi, které nabízí výrazně větší možnosti pro publikování, od klasické verze tištěné.

Dovolte mi, abych vám jménem redakce a redakční rady popřál úspěšný rok 2020 a příjemné čtení.

**Michal Šafránek**

šéfredaktor



*Michal Šafránek*

# obsah

Centrum výzkumu Řež, nový vydavatel časopisu Jaderná energie / Jadrová energia Ing. Daneš Burket, Ph.D.	06
Jsou jaderné reaktory VVER-440 minulostí? A co jejich palivo? Ing. Josef Běláč	10
3D měření těsnicích drážek reaktoru a protilehlých ploch na víku reaktoru JE Temelín Ing. Jaroslav Brom, Ing. Jan Patera, Pavel Zahrádka	14
Historie programu výzkumu a vývoje solných reaktorů v České republice Ing. Jan Uhlíř, CSc.	18
Nástup malých modulárních reaktorů a jejich implementace do energetického mixu Ing. Marek Ruščák	25
Dostavba 3. a 4. bloku atómovej elektrárne Mochovce Ing. Peter Andraško	28
20 let pod vlajkou PET – aneb nová kapitola nukleární medicíny v ČR Ing. et Ing. Jan Adam, Ph.D.	34
Normalizace odchylky aneb co má společného havárie Costy Concordie s vyloupením amerického muzea a českou kauzou svary? (1. část) Mgr. Marek Bozenhard	36
Historie a současnost jaderného vzdělávání na Západočeské univerzitě v Plzni Ing. Jan Zdebor, CSc.	42
Z knihy „Vznik a historie státního dozoru nad jadernou bezpečností“ 1. část Ing. Zdeněk Kříž	45
Z domova a ze světa	48
Kalendář akcí	50

06

## **Centrum výzkumu Řež, nový vydavatel časopisu Jaderná energie / Jadrová energia**

Centrum výzkumu Řež s.r.o. bylo založeno v roce 2002 jako 100% dceřiná společnost ÚJV Řež, a.s. Je výzkumnou organizací, která navazuje na tradici jaderně energetického výzkumu v řežském údolí a rozšiřuje jej do nových oblastí.

Ing. Daneš Burket, Ph.D.

25

## **Nástup malých modulár- ních reaktorů a jejich implementace do ener- getického mixu**

Malé modulární reaktory jsou stále častěji skloňované nejen v kruzích výzkumu a vývoje, ale také mezi státními regulačními úřady, elektrárenskými společnostmi, majiteli distribučních sítí a v neposlední řadě mezi možnými koncovými zákazníky.

Ing. Marek Ruščák

28

## **Dostavba 3. a 4. bloku atómovej elektrárne Mochovce**

Článek opisuje proces a stav projektu dostavby 3. a 4. bloku v Mochovciach. Vývoj a implementácia vylepšení z neho z pohľadu jadrovej bezpečnosti urobili projekt porovnateľný s jadrovými elektrárnami, ktoré sú momentálne vo výstavbe vo svete.

Ing. Peter Andraško

42

## **Historie a současnost jaderného vzdělávání na Západočeské univerzitě v Plzni**

V článku je stručně popsána historie a současnost jaderného vzdělávání na Západočeské univerzitě v Plzni. Počátky jaderného vzdělávání na bývalé Vysoké škole strojní a elektrotechnické jsou spojené s osvojováním jaderné technologie ve Škodovce.

Ing. Jan Zdebor, CSc.

# Centrum výzkumu Řež - nový vydavatel časopisu **Jaderná energie** **/ Jadrová energia**

**Ing. Daneš Burket, Ph.D.**

Centrum výzkumu Řež s.r.o. (CVŘ) bylo založeno v roce 2002 jako 100% dceřiná společnost ÚJV Řež, a.s. Je výzkumnou organizací, která navazuje na tradici jaderné energetického výzkumu v řežském údolí a rozšiřuje jej do nových oblastí. CVŘ provozuje dva výzkumné reaktory LVR-15 a LR-0 a další rozsáhlou infrastrukturu pro výzkum a vývoj nejen jaderných technologií.

Naše společnost se významným způsobem zapojila do mezinárodního projektu výstavby nejmodernějšího evropského výzkumného reaktoru Jules Horowitz (JHR) v jihofrancouzské Cadarache. Návrhem, konstrukcí a dodávkou horkých komor pro tento reaktor se CVŘ zařadilo také mezi několik společností ve světě, které jsou schopny vyrobit a dodat takovéto náročné technologie.

Významným nakročením k vytvoření robustního znalostního centra se stal projekt Udržitelná energetika (Sustainable Energy, SUSEN), financovaný v rámci operačních programů Výzkum a vývoj pro inovace a Výzkum, vývoj, vzdělávání. V rámci projektu SUSEN byly investovány bezmála tři miliardy korun do výstavby komplexu unikátních výzkumných infrastruktur, které posunuly CVŘ mezi světovou špičku ve svém oboru.

Centrum výzkumu Řež, díky podstatnému rozšíření své výzkumné infrastruktury, je dnes schopné kompletně pokrýt výzkum a vývoj pro aplikace v jádře - není na světě mnoho společností, které by dokázaly na jednom místě ozářit daný materiál v jaderném reaktoru, současně ho v případě potřeby exponovat v in-pile smyčce například v prostředí PWR, následně v horkých komorách připravit vzorky a provést na tomto materiálu širo-

ké spektrum mechanických zkoušek včetně například autoklávových nebo creepových a poté na špičkově vybaveném pracovišti elektronových mikroskopů studovat vliv radiace a médií na mikrostrukturu materiálů.

Velkou výhodou CVŘ je skutečnost, že disponuje i projekčními, konstruktérskými kapacitami a moderně vybavenými dílnami, takže je schopno si potřebná experimentální nebo testovací zařízení samo vyrábět nebo upravovat. Naši projektoví i obchodní partneři tak oceňují nejen špičkové vybavení a vysokou úroveň znalostí a zkušeností, ale i velkou míru flexibility.





Zařízení LOCA pro testování a kvalifikaci komponent pro LOCA havárie

V oblasti současných generací jaderných technologií (Gen II, III, III+) se CVŘ zaměřuje především na studium degračních jevů v materiálech a komponentách v průběhu provozu jaderných zařízení, vývoj metod jejich posouzení a predikci jejich dalšího vývoje s cílem zajistit bezpečné a spolehlivé provozování jaderných zařízení po celou dobu jejich životnosti.

Horké komory plně vybavené pro hodnocení vlastností a mikrostruktury materiálů, mechanická zkušebna pro zkoušky v širokém pásmu provozních teplot nebo laboratoř pro výzkum, vývoj a testování materiálů a komponent v oblasti interakcí s prostředím pro všechny provozní a havarijní (LOCA) režimy jsou příklady pracovišť, kde jsme schopni tuto problematiku pojmout komplexně.

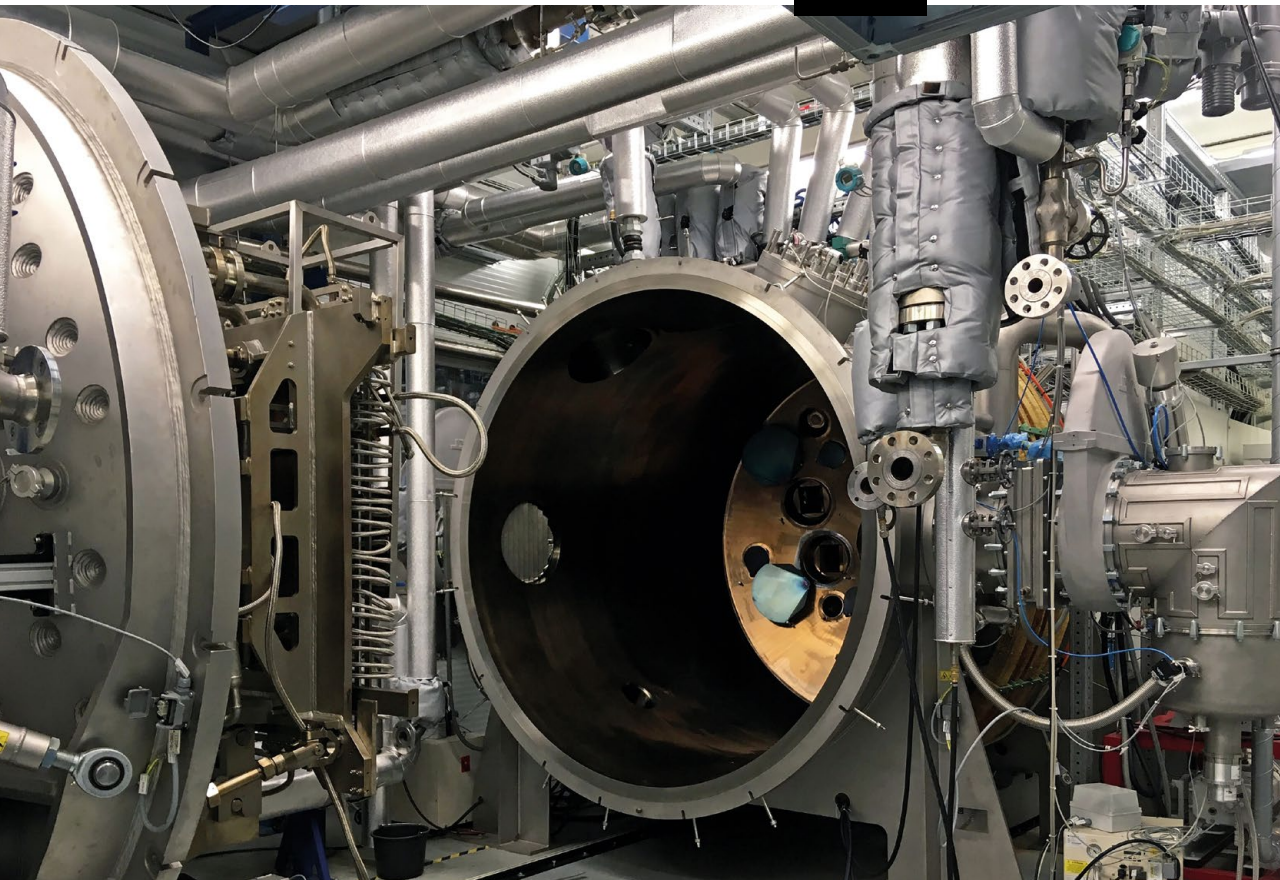
Jednou z vlajkových lodí výzkumu a vývoje v CVŘ je oblast nedestruktivních metod testování. Výzkum a vývoj se soustřeďuje na ultrazvukové metody – především na metodu phased array, která v porovnání s klasickým ultrazvukem umožňuje hledat vady v celém objemu a ve všech směrech – jde tedy zjednodušeně řečeno o 3D ultrazvuk. Velmi perspektivní je metoda 3D laserového skenování. Disponujeme technologií, která je schopna nejen naskenovat za pomoci laseru daný předmět, ale díky vysokému rozlišení můžeme na vzorcích nebo dokonce celých komponentách hledat vady mikroskopických rozměrů. V CVŘ jsme v rámci této technologie vyvinuli metodu identifikace korozních důlků na lopatkách parních turbín nebo identifikace kavitací na lopatkách vodních turbín, tyto metody jsme v praxi využili jako

první na světě. Jejich nespornou výhodou je fakt, že lze komponenty testovat bez nutnosti jejich demontáže – můžeme tak naskenovat například celé oběžné kolo turbíny a hledat na něm vady, aniž by bylo nutné turbínu rozebrat. Abychom mohli poskytovat opravdu komplexní služby v oblasti nedestruktivních metod, rozvíjíme vedle ultrazvuku a laseru i využití magnetické metody, metody vířivých proudů a ve spolupráci s kolegy ze Západočeské univerzity v Plzni i metodu využívající



Měření hlavní dělicí roviny reaktoru JE Temelín za účelem monitorování velikosti otlaků od těsnění

rentgenu. Můžeme tak pokrýt v podstatě celé spektrum metod nedestruktivního testování a tím i velké portfolio možných aplikací – od malých kovových vzorků přes potrubí a velké nádoby až po betony či velké



ocelobetonové konstrukce. Velmi důležitou kompetencí, kterou v CVŘ disponujeme, je výroba umělých vad v testovacích tělesech. Umělé vady se následně využívají například pro ověřování a kvalifikaci nově vyvinutých nedestruktivních metod. Ve spojení s naší laboratoří pro materiálové testování tak můžeme nabízet služby pro velkou škálu průmyslových aplikací – od nedestruktivního testování a kontrol až po mechanické a materiálové testy zaměřené například na korozi, creep či únavu materiálů. Současně nabízíme i podporu v případě řešení poruchových stavů, jako jsou například trhliny na potrubích nebo lopatkách turbín, kde jsme schopni do 24 hodin v případě neaktivních a do 48 hodin v případě aktivních vzorků dopravit takový materiál do našich laboratoří a provést všechny potřebné analýzy a testy pro určení příčin poruchy, včetně návrhu na řešení.

Centrum výzkumu Řež má potřebné znalosti a dovednosti nejen v materiálové oblasti, ale například i v chemii a podpoře provozních režimů jaderných elektráren. Velmi úzce

spolupracujeme s chemiky na elektrárnách, iniciovali jsme například projekt, který by měl vyřešit problém se „zahušťováním“ chladicích vod na jaderné elektrárně Dukovany. Díky dlouholetým zkušenostem našich pracovníků a díky vybavení našich analytických laboratoří dokážeme nabídnout i komplexní řešení v oblasti water managementu, zpracování odpadů nebo moderních separačních metod pro odstraňování nežádoucích prvků z chladicích okruhů.

Velmi významnou oblastí, které se v CVŘ věnujeme, je zadní část palivového cyklu jaderných elektráren – především oblast skladování a dlouhodobého ukládání radioaktivních odpadů a použitého jaderného paliva. CVŘ provozuje dvě experimentální linky pro vývoj a testování metod zpracování a optimalizace složení a objemu radioaktivních nebo toxických materiálů a zařízení pro vývoj nových metod fixace těchto materiálů. Dlouhodobě spolupracujeme například na vývoji obalových souborů pro ukládání použitého paliva, v naší geotechnické laboratoři studujeme vliv



prostředí v hlubinném úložišti nebo migraci izotopů v horninovém prostředí. Na základě našich kompetencí jsme od Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy obdrželi mandát být za Českou republiku oficiální research entitou pro účast ve společných evropských programech zaměřených na dlouhodobé ukládání radioaktivních odpadů a použitého paliva a také od Ministerstva průmyslu a obchodu máme mandát podílet se na aktivitách v rámci naplňování Konceptce nakládání s radioaktivními odpady a vyhořelým jaderným palivem v České republice. Díky tomu jsme se stali partnerem Správy úložišť radioaktivních odpadů a ve velkých evropských projektech, kterých se účastníme, zastupujeme oficiálně Českou republiku.

CVŘ zaměřuje svůj výzkum a vývoj i na koncepty reaktorů 4. generace, kde se nám díky širokému portfoliu našich experimentálních technologických smyček (vysokoteplotní helium, superkritická voda, tekuté olovo, fluoridové soli, superkritické CO<sub>2</sub>) podařilo získat pevné místo v silných evropských konsorciích, které se věnují vývoji těchto moderních konceptů. Získané zkušenosti se snažíme aplikovat i do stávající energetiky a nejaderných technologií, například při vývoji konceptů pro akumulaci energie. Perspektivní oblastí jsou také vodíkové technologie, kde se CVŘ zaměřuje především na dnes nejefektivnější způsob výroby vodíku – na vysokoteplotní elektrolýzu.

Nesmíme opomenout ani technologie, které najdou uplatnění v delším časovém horizontu, proto se CVŘ významně podílí i na výzkumu a vývoji v oblasti termojaderné fúze. Máme svoje pevné místo v evropském programu EUROfusion, kde CVŘ řeší významné úkoly, ale postavili jsme například i unikátní experimentální zařízení HELCZA (High Energy Load Czech Assembly), které dokáže vyvinout tepelný tok až 20 MW/m<sup>2</sup>. Díky tomu jsme získali kontrakt se společností Fusion for Energy a budeme realizovat jeden z příspěvků České republiky k mezinárodnímu projektu ITER – všechny panely první stěny (tedy komponenty, které budou umístěny ve fúzním reaktoru ITER a budou v přímém kontaktu s plazmatem), budou testovány právě na našem zařízení HELCZA.

Centrum výzkumu Řež se za svoji relativně krátkou historii stalo významnou výzkumně vývojovou organizací uznávanou nejen u nás a v Evropě, ale například i v USA, Japonsku, Kanadě, Číně a dalších zemích. Svědčí o tom například kontrakty na výzkum a vývoj metod pro řešení následků fukušimské havárie pro společnosti jako Hitachi, Mitsubishi Heavy Industries a další. CVŘ je členem významných mezinárodních seskupení a platform, jakými jsou například NUGENIA či EERA (European Energy Research Alliance), je zastoupeno v programech OECD NEA, v řídicích radách JHR, Fusion for Energy a mnoha dalších.

Skutečnost, že je Centrum výzkumu Řež respektovanou společností v oblasti energetického výzkumu a vývoje potvrzuje i fakt, že jsme byli iniciátory vzniku Národního centra pro energetiku, kde jsme zodpovědní za oblast Účinnost, spolehlivost, bezpečnost energetických celků.

## Ing. Daneš Burket, Ph.D.



Po absolvování Fakulty jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT v Praze v roce 1994 pracoval postupně na různých pozicích v Jaderné elektrárně Dukovany, kde nakonec vedl oddělení Reaktorová fyzika. Od roku 2007 působil jako ředitel sekce Technická podpora na centrále společnosti ČEZ, kde byl kromě jiného zodpovědný za zavádění programů řízení životnosti na jaderných i klasických elektrárnách a za přípravu dokumentace pro prodloužení životnosti JE Dukovany. Od roku 2016 je ředitelem sekce Výzkum a vývoj v energetice v Centru výzkumu Řež.

Daneš Burket získal titul Ph.D. v oboru jaderné inženýrství, působil ve vědecké radě Fakulty jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT v Praze a v dozorčí a vědecké radě Výzkumného a zkušebního ústavu Plzeň. Byl členem týmů WANO (World Association of Nuclear Operators) Peer Review v japonské společnosti TEPCO a jaderných elektrárnách Fukushima Daiichi a Kashiwazaki Kariwa a v čínské jaderné elektrárně Tianwan. Od roku 2010 je prezidentem České nukleární společnosti.

# Jsou jaderné reaktory VVER-440 minulostí? A co jejich palivo?

**Ing. Josef Běláč**

Krátký historický přehled vývoje paliva pro reaktory VVER-440, současný stav a perspektivy dalšího rozvoje. Článek shrnuje výsledky modernizací vyvolaných tlakem konkurenčního prostředí v 90. letech minulého století a motivace k dalšímu zlepšování konstrukčních a provozních parametrů paliva v podmínkách současného trhu s elektřinou.

Short overview of VVER-440 fuel evolution, current status and perspectives of further development is presented. Article summarizes results of design improvements motivated by new market competition pressures in 1990s and incentives for further enhancements of fuel design and performance characteristics in the current electricity market conditions.

Přestože na výsluní zájmu jaderné energetiky a výstavby nových bloků se v současnosti vyhřívají novější generace reaktorů VVER výkonové řady 1000 a 1200 MWe, bloků s reaktory VVER-440 je v provozu k dnešnímu celkem 22 a je prakticky jisté, že více než dva nové (Mochovce 3 a 4) nepřibudou. Na poli výroby a vývoje jaderného paliva pro tyto bloky je stále, a nyní možná více než kdy v minulosti, velmi živo. Nabídka typů a modifikací paliva pro tyto bloky je v současnosti velmi pestrá.

## ČÍM TO JE?

Předně je třeba si říci, že 18 ze zmíněných 22 bloků je provozováno mimo území Ruské federace celkem v pěti zemích, z nichž čtyři jsou členy Evropské unie, což sebou nese velmi individuální specifika národního trhu s elektřinou a tím i požadavky na optimální charakteristiky jaderného paliva pro tyto reaktory.

Druhým faktorem, který významně přispěl ke vzniku stávajícího stavu, je dlouholetá spolupráce v současnosti jediného skutečného dodavatele paliva pro tyto bloky se zákazníky a jejich podpůrnými organizacemi na vývoji samotného paliva.

## TROCHA HISTORIE

Reaktory VVER-440 měly své předchůdce nižších výkonů postavené na lokalitě v Nové Voroněži a staly se první sériovou řadou tlakovodních reaktorů v tehdejší Sovětské svazu. V 70. letech minulého století se staly vývozním produktem a základním kamenem rozvoje jaderné energetiky nejen tehdejšího socialistického tábora zemí Varšavské smlouvy a Kuby, ale i Finska.

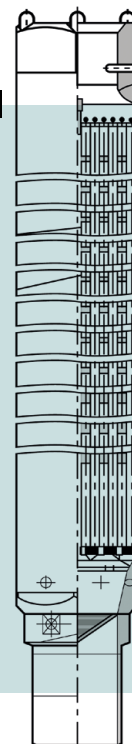
Na konci 80. let před pádem železné opony byla v provozu flotila více než 30 reaktorů to-

hoto typu ve verzi V230 a V213. Ve výstavbě pak byly ještě 4 bloky JE Mochovce na Slovensku, další v Polsku a na Kubě. Po roce 1989 byla výstavba bloků na Kubě a v Polsku zcela zrušena, bloky JE Greifswald ve sjednoceném Německu byly odstaveny a vyřazeny z provozu. V období následujících 20 let byly do provozu uvedeny bloky 1 a 2 JE Mochovce, z politických důvodů pak byly dále odstaveny čtyři bloky JE Kozloduj v Bulharsku a 2 bloky elektrárny V1 v Jaslovských Bohunicích.

Prakticky všechny bloky VVER-440, které jsou v současnosti v provozu, mají – podobně jako jiné lehkovodní reaktory ve světě – za sebou úspěšné obhájení prodloužení provozu o 10-20 let oproti původně plánované životnosti a vývoj v oblasti jaderného paliva na tom má významný podíl.

Vlivem vzniku konkurenčního prostředí v 90. letech minulého století došlo i k významnému posunu ve vývoji paliva pro reaktory VVER. Zemím bývalé RVHP (Rada vzájemné hospodářské pomoci) se otevřel trh s jaderným materiálem, s nabídkou výroby a dodávek paliva pro reaktory VVER přišli BNFL, Framatome, Siemens a Westinghouse. Provozovatelé jaderných elektráren hledali cesty, jak

Obr. 1: Palivový soubor VVER-440 (1. generace). [1] - reprodukce



zefektivnit palivový cyklus při zachování požadované úrovně jaderné bezpečnosti. Nastoupila éra výběrových řízení na dodavatele paliva a spolu s ní i optimalizace jeho konstrukce.

Ve výsledku se na trhu etablovali pouze dva výrobci paliva pro reaktory VVER-440, původní ruský TVEL a britská společnost BNFL. BNFL uzavřela kontrakt s provozovatelem finské JE Loviisa a mezi lety 1998-2007 vyráběla a dodávala jaderné palivo pro tuto elektrárnu. V průběhu tohoto období se BNFL stala vlastníkem americké společnosti Westinghouse, pod jejíž značku převedla celou svoji výrobu jaderného paliva (včetně VVER), a v roce 2006 prodala celý Westinghouse japonské Toshiba. V roce 2008 Westinghouse oznámil ukončení výroby a podpory paliva pro reaktory VVER-440 a současně soustředila všechnu svoji evropskou výrobu do švédského Västerås (původně se palivo pro JE Loviisa vyrábělo ve španělském závodě společnosti ENUSA).

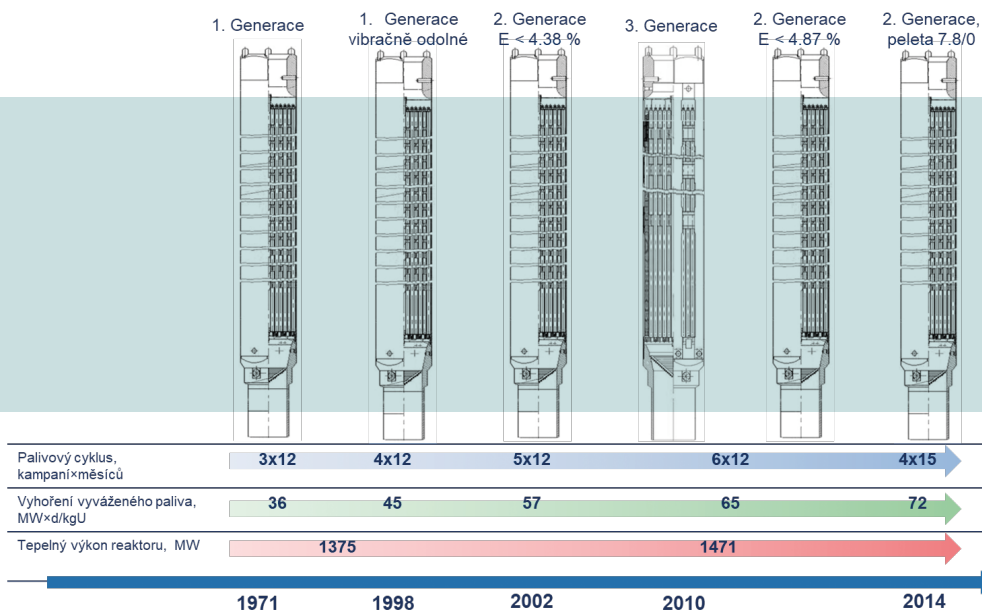
V reakci na ruskou anexi Krymu v roce 2014 iniciovala Evropská komise projekt ESSANUF, v rámci kterého Westinghouse obnovil a inovoval konstrukční dokumentaci a připravenost výroby tohoto paliva ve svém švédském závodě. Inovovaná konstrukce vychází přímo z paliva pro JE Loviisa, ale využívá předchozí zkušenosti s jeho provozem.

### JAK VLASTNĚ PALIVO REAKTORŮ VVER-440 VYPADÁ?

Palivové soubory reaktorů VVER-440 [Obr. 1] obsahují palivové proutky s povlakem ze zirkoniové slitiny a keramickými peletami z dioxidu uranu ( $UO_2$ ) uspořádané do svazku v trojúhelníkové mříži umístěného do šestihorného obalu vyrobeného rovněž ze zirkoniové slitiny. Koncové prvky palivového souboru (patice a hlavice) jsou vyrobeny z nerezové oceli stabilizované titanem.

Unikátním prvkem reaktorů VVER 440 jsou tzv. tandemové regulační tyče, které jsou složeny z absorpční a z palivové části, přičemž palivová část je konstrukčně podobná palivovému souboru. Tento prvek sebou přináší specifické požadavky na konstrukci, neboť palivo musí navíc odolat namáhání při pádu regulačních tyčí do aktivní zóny při rychlém odstavení reaktoru. Celkový přehled vývoje paliva VVER-440 ruského výrobce TVEL je znázorněn na Obr. 2.

První generace paliva byla navržena pro provoz reaktorů v základním zatížení s tříletým palivovým cyklem, nominálním obohacením 3,6%  $^{235}U$ , a středním vyhořením vyváženého paliva ~36 MWd/kgU. [Tab. 1] Tabletky s průměrem 7,6 mm a centrálním otvorem o průměru 1,6 mm byly umístěny do povlakových



Obr. 2: Etapy vývoje paliva VVER-440 výrobce TVEL. [1]

Tab. 1: Hlavní parametry palivového cyklu pro různé typy paliva výrobce TVEL. [1]

	před 1998	od 1998	od 2003	od 2010	od 2014
Typ palivového souboru	Generace 1	Generace 1	Generace 2	Generace 3 – bez obálky	Generace 2+
Typ palivového svazku	unifromní	profilovaný	profilovaný, U-Gd palivo	profilovaný, U-Gd palivo	profilovaný, U-Gd palivo
Obohacení čerstvého paliva, % U235	3,60	3,82	4,25 / 4,38	4,87	4,38 / 4,76
Počet čerstvých PS v překládce AZ, ks	105	84	66	60	66 / 60
Střední vyhoření vyváženého paliva, MW-d/kgU	36	45	57	65	65
Palivový cyklus	3 letý	4 letý	5 letý	6 letý	5 letý
Spotřeba přírodního uranu, tHM/GW-d	0,256	0,209	0,184	0,180	0,182

trubek o vnějším průměru 9,1 mm a tloušťce stěny 0,67 mm. Toto palivo bylo v reaktorech VVER-440 používáno téměř po tři desetiletí. Jediným známým technickým problémem byla jeho nižší odolnost vůči vyššímu vibračnímu zatížení, ke kterému docházelo v reaktorech první generace typu V230. To vedlo k občasnému výskytu netěsností palivových proutků. Na tuto slabinu reagoval výrobce vyvinutím vibračně odolnější varianty paliva první generace. Řešení spočívalo v úpravě a doplnění distančních mřížek ve spodní části palivového svazku. Tato modifikace byla do provozu nasazena v roce 1998.

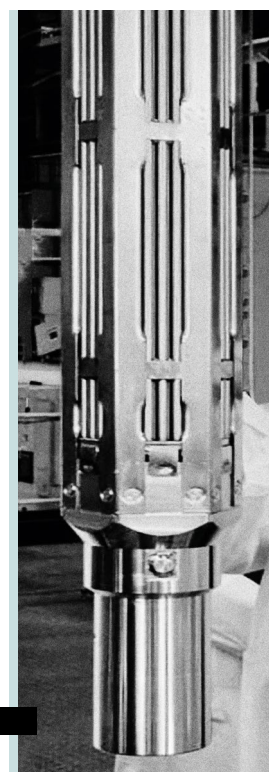
V rámci procesu optimalizace konstrukce a využití uranu byly postupně zaváděny do výroby další nové prvky. Došlo k nahrazení ocelových distančních mřížek mřížkami ze zirkoniové slitiny E110 a zavedení profilace obohacení po průřezu palivového svazku, snížení tloušťky obalové trubky palivového souboru z 2 mm na 1,2 mm, zvětšení kroku trojúhelníkové mřížky. To umožnilo přechod na čtyřletý palivový cyklus a zvýšení středního vyhoření na úroveň 46 MWd/kgU. S touto generací byly rovněž do přechodového uzlu mezi palivovou a absorpční částí regulačních kazet zavedeny hafniové plátky, které svojí absorpcí snížily lokální nevyrovnání rozložení výkonu v okolních palivových souborech při pohybu regulačních tyčí a tím i jejich cyklické zatěžování.

Dalším krokem bylo zavedení vyhořívajících absorbátorů na bázi gadolinia, snížení průměru centrálního otvoru na 1,2 mm a prodloužení palivového sloupce. To umožňuje palivu Generace 2 a 2+ spolu se zvýšeným obohacením pracovat v pětiletém palivovém cyklu s vyho-

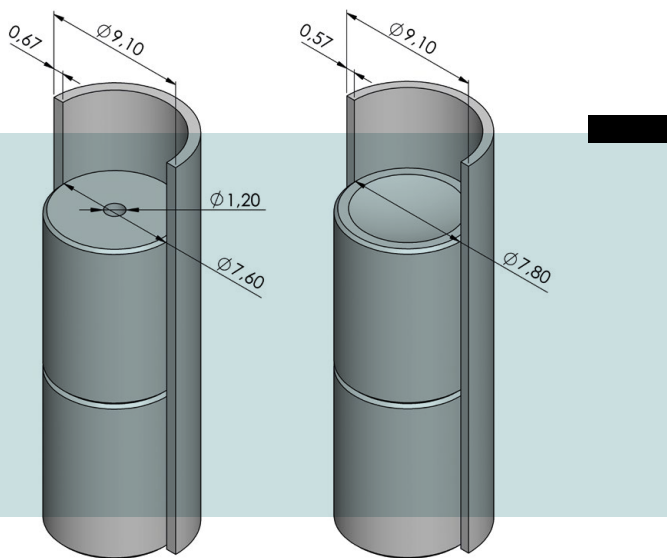
řením ~ 57-65 MWd/kg i na zvýšené hladině nominálního výkonu rektoru v cyklech o délce 330-450 efektivních dní. Palivo Generace 2 a 2+ je provozováno na většině v současnosti provozovaných reaktorů.

Třetí generace paliva TVEL [Obr. 4] pro reaktory VVER-440 byla vyvinuta pro provoz v šesti-letém palivovém cyklu. Toto palivo je od roku 2010 zkušebně nasazeno v provozu na 3. bloku JE Kola a podstatně se liší od předchozích typů především konstrukcí palivového svazku. Na základě zkušeností z konstrukce a provozu paliva typu TVSA v reaktorech VVER-1000 byla vnější obálka palivového souboru nahrazena skeletem svařeným z distančních mřížek a rohových úhelníků ze zirkoniové slitiny.

Nejmodernější varianty paliva jsou v současnosti nasazeny na blocích JE Dukovany a JE Paks, a jsou odlišné konstrukce. Palivo Generace 2 pro JE Paks má typový palivový proutek ale vyšší obohacení pro provoz v cyklech o délce 15 měsíců, zatímco palivo Generace 2+ pro JE Dukovany má palivové proutky s tenčí stěnou pokrytí (standardní u západních tlakovodních reaktorů) a tabletky o větším průměru bez centrálního otvoru s vybráním (tzv. dishing) na čelních plochách pro kompenzaci teplotní roztažnosti a napuchání (swelling) během provozu. Rozdíl mezi oběma typy je znázorněn na Obr. 5.



Obr. 4: Palivový soubor TVEL Generace 3. [1]



Obr. 5: Palivový proutek Generace 2 a Generace 2+ na JE Dukovany. [1] - reprodukce

## KAM SE UBÍRÁ SOUČASNÝ VÝVOJ?

Vývoj paliva pro reaktory VVER-440 se nezastavil a ve spolupráci s elektrárenskými společnostmi jde dále k vyšší bezpečnosti a efektivnosti jeho využití.

Ve vývoji a plánovaném nasazení jsou v současnosti celkem tři inovované typy paliva. Prvním je již zmíněný palivový soubor od společnosti Westinghouse navržený v rámci projektu ESSANUF Obr. 6. Konstrukce palivových proutků tohoto paliva je v podstatě shodná s proutky Generace 2+ na JE Dukovany, s tím, že jejich vnější průměr je 9,144 mm (standardní proutek Westinghouse). Další dva typy jsou pak vyvíjeny firmou TVEL.

První je označován jako tzv. „slim rod“ tedy proutek s tenčím pokrytím vyrobeným tak, že vnitřní průměr je shodný se současným standardním proutkem, a tedy vnější průměr proutku je 8,9 mm. To při zachování kroku míří zvyšuje poměr mezi vodou (moderátorem) a palivem (uranem) a přispívá k vyššímu využití uranu k výrobě energie. Toto palivo by mělo být nasazeno na JE Paks a JE Loviisa.

Druhý inovovaný typ paliva dosahuje stejného efektu jinou cestou a je založen na kombinaci paliva Generace 3 a 2+, ale se skeletem s velmi širokými úhelníky, takže prakticky zůstává zachována obálka palivového souboru, jako v případě paliva Generace 2 s jen velmi malými přetoky chladiva mezi palivovými soubory. To je důležité z hlediska kontroly provozu aktivní zóny a paliva během kampaně. Díky

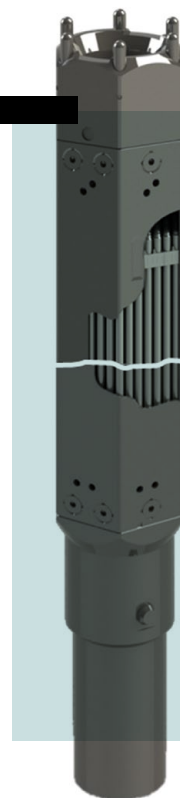
vyššímu obsahu uranu v palivovém souboru bude podporovat provoz v až šestiletém palivovém cyklu. Toto palivo by mělo být jako první nasazeno na JE Dukovany.

Všechny inovované typy paliva musí ale nejdříve projít nutnými předprovozními zkouškami a licencováním u příslušných orgánů státního dozoru nad jadernou bezpečností.

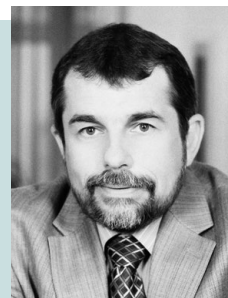
Rozvoj v oblasti palivového cyklu pomáhá reaktorům VVER-440 držet krok se světovou konkurencí a pomoci jim v ještě dlouholetém provozu v budoucnosti.

Jaderné reaktory VVER-440 nejsou minulostí. Tvoří významnou část nejen české, ale i světové, a především evropské jaderné energetiky a rozhodně ještě neřekly své poslední slovo. Sortiment jaderného paliva pro tyto reaktory je dnes nejširší v celé historii jejich provozu. Z pohledu provozní spolehlivosti představuje toto palivo nejvyšší standard v odvětví.

Obr. 6: Palivový soubor Westinghouse



## Ing. Josef Běláč



Absolvoval studium na Českém vysokém učení technickém v Praze, na Fakultě jaderné a fyzikálně-inženýrské, obor Teorie a technika jaderných reaktorů. V letech 1989-1997 pracoval v Českých energetických závodech, později ČEZ, a.s., na různých pozicích v oblasti reaktorové fyziky a palivového cyklu jaderných elektráren. V letech 1998-2006 působil v Ústavu jaderného výzkumu Řež jako směnový vědecký vedoucí spouštění JE Temelín a vedoucí oddělení reaktorové fyziky. V letech 2007-2017 působil jako ředitel obchodní skupiny ve společnosti ALTA, a.s. Od roku 2012 působí na pozici výkonného ředitele a nyní předsedy představenstva společnosti ALVEL, a.s.

Během své praxe se mimo jiné podílel na vývoji a zavádění jaderného paliva VVANTAGE 6 (Westinghouse) a TVSA-T (TVEL) na JE Temelín a vývoji a nasazení systému monitorování aktivní zóny SCORPIO-VVER pro JE Dukovany a JE Jaslovské Bohunice.

### Reference:

- [1] V. L. Molchanov, „Nuclear power fuel for NPP's, 20 years of development“, 13th International Conference on WWER Fuel Performance, Modeling and Experimental Support; Nessebar, Bulgaria, September 2019.
- [2] Sabina Kristensson, Jan Höglund, Westinghouse, Sweden "ESSANUF - European Supply of Safe Nuclear Fuel", 12th International Conference on WWER Fuel Performance, Modeling and Experimental Support; Nessebar, Bulgaria, September 2017.

# 3D měření těsnicích drážek reaktoru a protilehlých ploch na víku reaktoru JE Temelín

**Ing. Jaroslav Brom, Ing. Jan Patera, Pavel Zahrádka**

Článek je zaměřen na aplikaci 3D profilometrie na zařízení jaderných elektráren typu VVER. Tato metoda se v energetice stále více používá a nahrazuje konvenční metody, jako jsou měření mikrometry apod. Jednou z největších výhod je přesné zaznamenávání 3D profilu měřeného povrchu a možnost jeho srovnání s výrobní dokumentací nebo s výsledky z předchozích měření. CVŘ používá 3D laserový skener s měřícím ramenem. Tato metoda byla úspěšně použita např. pro měření profilu těsnicí drážky na hlavní dělicí rovině tlakové nádoby reaktoru a otisku těsnění do povrchu víka reaktoru. Výsledky používá provozovatel ČEZ, a. s., jako jeden z podkladů pro ověření shody stavu reaktoru a víka reaktoru s technickou dokumentací a také pro řízení životnosti tlakové nádoby reaktoru.

The paper is focused on application of 3D profilometry on VVER type Nuclear power plants equipment. This method is becoming increasingly used in power industry and replaces conventional methods such as micrometer measurements etc. One of the greatest benefits is the accurate recording of the 3D profile of the measured surface and the possibility of its comparison with the production documentation or with the results from previous measurements. CVŘ uses 3D laser scanner with measuring arm. This method was successfully used e.g. for profile measurement of sealing groove on the main dividing plane of reactor pressure vessel and the seal imprint into the reactor head surface. The results are used by the operator ČEZ, a. s., as one of the documents for verification of conformity for reactor and reactor head with technical documentation and for the lifetime management of the reactor pressure vessel as well.

## 1. CÍLE MĚŘENÍ

Cílem 3D měření těsnicích drážek reaktoru a protilehlých ploch na víku reaktoru je zmonitorování změn geometrie drážek hlavní dělicí roviny reaktoru (HDR R) a otlaků na víku tlakové nádoby reaktoru (víku R) hlavních výrobních bloků jaderné elektrárny Temelín.

Postup vyhodnocení je volen tak, aby umožnil v porovnání se stávajícím způsobem měření zhodnotit stav drážek HDR R a vyhodnotit přípustnost otlaků na víku R. Při minimálně dvou měřeních lze stanovit trend měřených parametrů.

## 2. POPIS STÁVAJÍCÍHO MĚŘENÍ

V dnešní době se provádí následující kontroly obou drážek (viz obr. 1):

- Na HDR R se provádí kontrola převýšení kuličky  $\varnothing 5$  mm v místě každého třetího závitového hnízda (viz obr. 1).
- Na víku R se měří otlacení těsnicí plochy víka horního bloku od niklového drátu pomocí úchylkoměru na osmi místech (viz obr. 2 a 3).

Nevýhodou těchto měření je, že se nemusí měřit vždy ve stejném místě a vlastní měření může být ovlivněno pracovníkem realizujícím kontrolu.

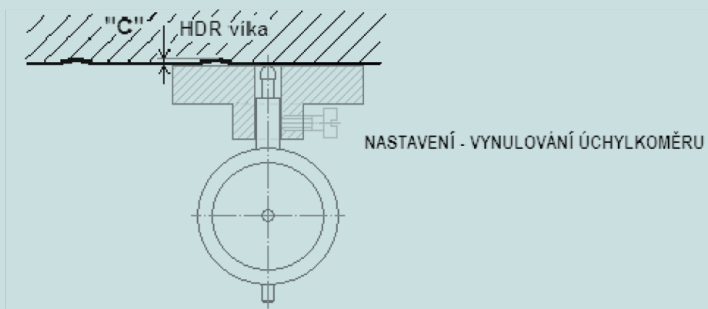
11.06.08. MSZHCRCR021rev.004	<b>Z-bod:</b>	Kontrola převýšení kuličky průměr 5mm $\pm 0,005$ mm v obou drážkách HDR .Provést v osách závitových hnízd M170 č.1, 4, 7, 10, 13, 16, 19, 22, 25, 28, 31, 34, 37, 40, 43, 46, 49, 52. Celkem 2 x 18 měřících míst								
	<b>Kriterium:</b>	Nestanoveno. Z měření vystavit protokol o zjištění stavu a zaslat zástupcům výrobce reaktorového zařízení. Protokol bude sloužit k určení velikosti průměru niklového drátu pro výrobu nového těsnění HDR								
		1	4	7	10	13	16	19	22	25
	Vnitřní	1,50	1,52	1,52	1,55	1,54	1,52	1,52	1,50	1,51
	Vnější	1,51	1,51	1,52	1,55	1,53	1,52	1,50	1,51	1,52

Obr. 1: Příklad protokolu z hodnocení stavu drážek HDR R. |

**11.06.07.**  
M52H16CRO21rev.004

**Z-bod:** Kontrola velikosti otláčení „C“ těsnící plochy víka HB od niklového drátu. Měření provést pomocí přípravku v osách víka reaktoru a v polovině vzdálenosti mezi osami. Celkem 8 měřících míst. Provede pracovník OŘJ. O kontrole vystavit protokol a provést zápis do PKZ.

**Kriterium:** Maximální povolená velikost otláčení je 0,3mm.



	I <sub>R</sub>	I <sub>R</sub> / I <sub>IR</sub>	II <sub>R</sub>	II <sub>R</sub> / II <sub>IR</sub>	III <sub>R</sub>	III <sub>R</sub> / IV <sub>R</sub>	IV <sub>R</sub>	IV <sub>R</sub> / I <sub>R</sub>
Vnitřní	0,14	0,14	0,16	0,15	0,15	0,14	0,14	0,14
Vnější	0,13	0,13	0,14	0,15	0,16	0,16	0,13	0,13

Obr. 2: Příklad protokolu z hodnocení stavu otlaků víka R.



Obr. 3: Fotografie z měření otlaků ve víku R.

### 3. POPIS 3D MĚŘICÍHO ZAŘÍZENÍ

3D měření je realizováno pomocí sedmiosého měřicího ramene Hexagon Romer Arm s laserovým 3D skenerem typu RS4 (obr. 4 a 5). Skener emituje viditelný laserový paprsek o 7 520 bodech, lineárně orientovaný pomocí polygonového zrcadla, kterým snímá povrch s frekvencí 100 Hz. Měření profilu probíhá pomocí principu triangulace, kdy se dopadající laserové světlo odráží od povrchu objektu do kamery skeneru. Přesná prostorová poloha 3D skeneru je měřena pomocí úhlů v kloubech měřicího ramene.

Hlavní parametry 3D skeneru:

Rychlost skenování: 752 000 bodů/s  
 Pracovní vzdálenost: 165 mm  
 Minimální rozestupy bodů: 0,011 mm  
 Přesnost (2σ): 0,028 mm  
 Provozní teplota: 5 °C – 40 °C



Obr. 4: Obrázek měřicího ramene.

Pro upevnění pozice zkušebního zařízení se používá trojhranná ocelová destička stojící na třech šroubech.

### 4. POPIS 3D MĚŘENÍ

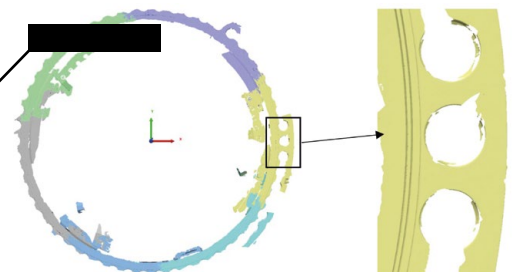
Měření dělicí roviny probíhá z cca šesti pozic a měření víka z cca osmi pozic, ve kterých se provádí desítky skenů. Mezi jednotlivými pozicemi dochází k fyzickému přesunutí skenovacího zařízení. Jednotlivé skeny jsou následně softwarově spojeny a vytvořen celkový sken hlavní dělicí roviny a víka tlakové nádoby (obr. 6).

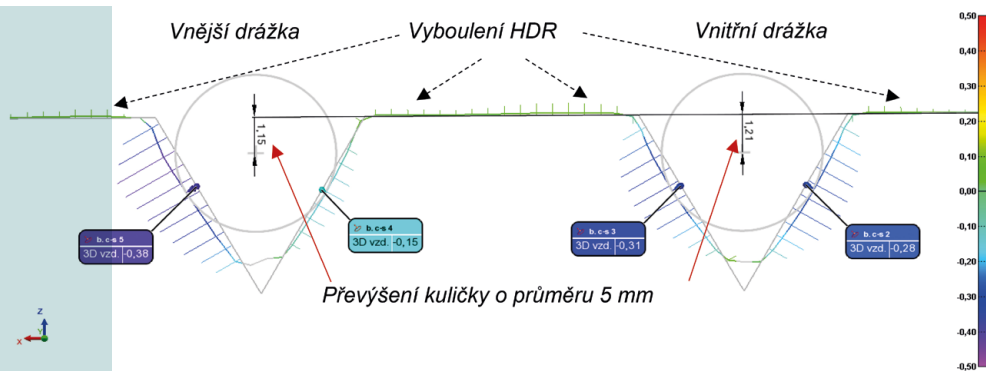


Obr. 5: Fotografie z 3D měření HDR a víka reaktoru JE

Během těchto měření jsou naskenována i místa, která se nacházejí v okolí obou drážek hlavní dělicí roviny reaktoru a otlaky od těsnění na víku reaktoru. Pomocí okrajů závitových hnízd M170 je možno určit polohu všech měřených míst s vysokou přesností.

Obr. 6: Naskenovaná plocha hlavní dělicí roviny. Celkový pohled s barevně vyznačenými dílčími skeny (vlevo) a detail v místě závitového hnízda M170 č. 1 (vpravo).





Obr. 7: Příklad vyhodnocení převýšení kuličky o průměru 5 mm v řezu HDR R středem závitového hnízda. Šedá barva znázorňuje CAD model použitý při vyhodnocení a vepsanou kružnici  $\varnothing$  5 mm. Pomocí barevné mapy jsou vyznačeny odchylky v naskenovaném povrchu.

## 5. VÝSLEDKY Z 3D MĚŘENÍ DRÁŽEK HDR R

### 5.1 POROVNÁNÍ SE STÁVAJÍCÍM MĚŘENÍM

Vyhodnocení 3D měření HDR R probíhá smluvně v celkem 27 řezech po  $13,33^\circ$ , ve středu každého druhého závitového hnízda. Při vyhodnocení je kontrolováno převýšení kuličky o průměru 5 mm v obou drážkách HDR. Kvůli porovnání se stávajícím způsobem měření je stav drážek kontrolován v předem stanovených řezech, a to pomocí kružnice o průměru 5 mm vepsané do 3D skenu řezu drážky, následně je měřena vzdálenost středu vepsané kružnice od hlavní dělicí roviny a získaný rozdíl je odečten od poloměru vepsané kružnice, tj. 2,5 mm (viz obr. 7).

Příklad vyhodnocení je uveden v tabulce 1.

Poznámka:

Toto měření je náchylné na chybu zarovnání dělicí roviny vznikající v důsledku jejího vyboulení u drážek (řádově v desetínách mm).

M170 č.	1	3	5
vnější d [mm]	1,35	1,3	1,35
vnitřní d [mm]	1,29	1,29	1,35

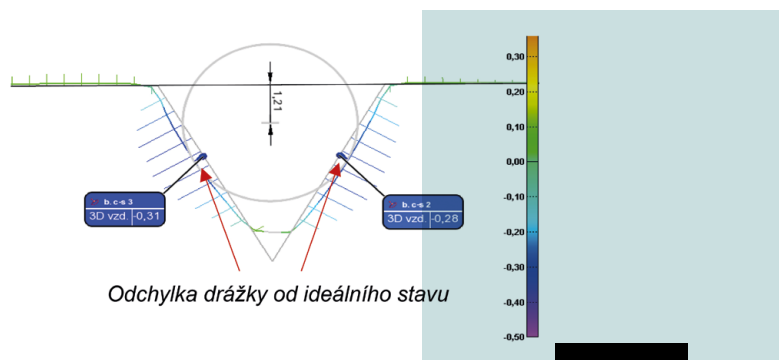
Tab. 1: Příklad vyhodnocení měření převýšení kuličky  $\varnothing$  5 mm v místě středu závitových míst číslo 1, 3 a 5.

### 5.2 MĚŘENÍ ODCHYLKY DRÁŽEK OD IDEÁLNÍHO TVARU

Druhým způsobem vyhodnocení, vyvinutým v CVŘ, je měření odchylky od ideálního tvaru přímo v drážkách, v místech jejich dotyku

s vepsanou kružnicí. Vzhledem k úhlu  $30^\circ$ , který svírají stěny drážek s hlavní dělicí rovinou, je tento typ vyhodnocení, oproti vyhodnocení převýšení kuličky, 2x méně náchylný na chybu zarovnání dělicí roviny vznikající v důsledku jejího vyboulení. Z odchylek na obou stranách drážky je vytvořen průměr, který je zaokrouhlen na desetiny a zanesen do tabulek. Např. z výsledků pro 1. blok JE Temelín činí pro tento parametr průměrná hodnota  $-0,27 \pm 0,01$  mm pro vnější drážku a  $-0,29 \pm 0,01$  mm pro vnitřní drážku (viz obr. 8 a příklad v tabulce 2).

Při vyhodnocení hlavní dělicí roviny bylo provedeno srovnání se stavem naměřeným v předchozím roce. Nárůst otlaků v drážkách za období 2018–2019 je minimální, v průměru  $-0,01 \pm 0,01$  mm pro vnější i vnitřní drážku (viz příklad v tabulce 3).



Obr. 8: Měření odchylek drážky od ideálního tvaru.

M170 č.	1	3	5
vnější d. [mm]	-0,27	-0,29	-0,27
vnitřní d. [mm]	-0,3	-0,3	-0,27

Tab. 2: Příklad odchylek drážek HDR vůči ideálnímu tvaru v místě středu závitových míst číslo 1, 3 a 5.



M170 č.	1	3	5
vnější d [mm]	1,35	1,3	1,35
vnitřní d [mm]	1,29	1,29	1,35

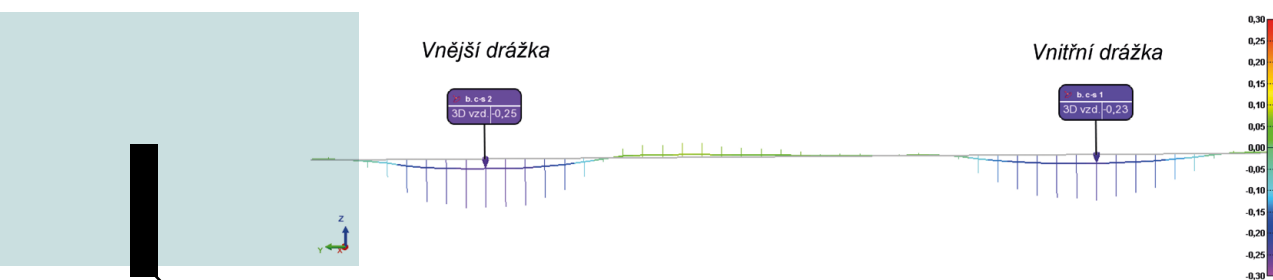
Tab. 3: Příklad nárůstu otlaků v drážkách HDR v místě středu závitových míst číslo 1, 3 a 5 za období 2018–2019.

## 6. VÝSLEDKY Z 3D MĚŘENÍ NA VÍKU R

Druhou částí kontroly je hodnocení hloubky otlaků na víku od těsnění, které se nachází v obou drážkách HDR. Pro účely porovnání se stávajícím způsobem měření HDR je stav obou otlaků na víku kontrolován v celkem 27 předem stanovených řezech po 13,33°, vedených středem každého druhého svor-

níku. Při vyhodnocení je měřena maximální odchylka otlaků od ideální roviny (viz obr. 9 a příklad v tab. 4).

V rámci vyhodnocení stavu víka lze provést srovnání se stavem naměřeným v roce 2018. Např. pro 1. blok JE Temelín je nárůst otlaků na víku za období 2018–2019 minimální, průměrná hodnota činí  $-0,005 \pm 0,01$  mm pro vnější i vnitřní drážku.



Obr. 9: Řez víka R středem závitového hnízda. Šedá barva znázorňuje ideální rovinu, pomocí barevné mapy jsou vyznačeny odchylky v naskenovaném povrchu.

## 7. ZÁVĚRY Z MĚŘENÍ NA JE TEMELÍN

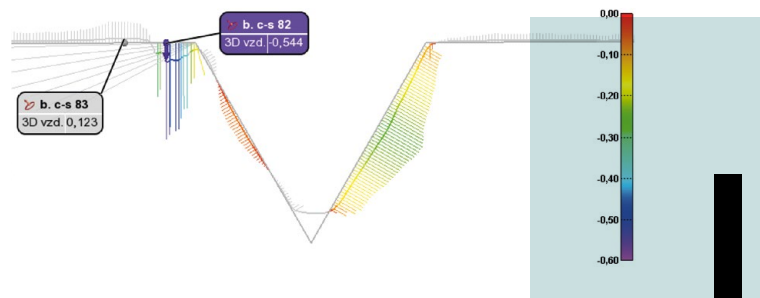
1. Na hlavní dělicí rovině R je pro porovnání se stávajícím způsobem hodnocení stavu drážek měřeno a hodnoceno převýšení kuličky o průměru 5 mm.
2. Bylo vyvinuto přesnější hodnocení monitorování změn – jsou vyhodnocovány otlaky přímo v drážkách. Na HDR R mají otlaky průměrnou hodnotu  $-0,28 \pm 0,01$  mm a jejich meziroční nárůst činí přibližně 0,01 mm. Na víku byly nalezeny otlaky o průměrné velikosti  $-0,27 \pm 0,02$  mm; jejich meziroční nárůst činí přibližně 0,005 mm.
3. Vedlejším výstupem z 3D měření je stanovení velikosti případných defektů v místě HDR R (vznikají pravděpodobně během

- odstávky po kontaktu s cizím tělesem). Hodnotí se změny již změřených defektů a naměřené nové defekty (viz obr. 10).
4. V rámci ověření přesnosti 3D skenování byly odebrány dvě silikonové repliky drážek HDR R. Replika byla přímo na místě naskenována. Výsledky srovnání 3D skenu drážek a jejich repliky prokazují vynikající shodu a odchylky obou způsobů měření se pohybují na úrovni chyby měření tj. 0,01 mm.
5. Získané skeny slouží jako reference pro monitorování drážek hlavní dělicí roviny a otlaků na víku pro 3D měření při dalších odstávkách.

Poznámka: V 09/2019 proběhlo pilotní měření těsnících drážek HDR R a ploch víka R na JE Dukovany.

Reference:

- [1] Zahrádka, Patera: 3D skenování hlavní dělicí roviny a víka tlakové nádoby HVB 2 ETE. č. 3206 (2019)
- [2] Patera, Matějčiek: 3D skenování hlavní dělicí roviny a víka tlakové nádoby HVB 1 ETE. č. 3086 (2019)
- [3] Zahrádka, Patera, Matějčiek: 3D skenování hlavní dělicí roviny a víka tlakové nádoby ETE TG 2 č. 2074 (2018)
- [4] Zahrádka, Patera, Matějčiek: Protokol z měření hlavní dělicí roviny a víka tlakové nádoby 1 bloku JE Temelín č. 1962 (2018)
- [5] Patera, Zahrádka: Protokol z měření hlavní dělicí roviny a víka tlakové nádoby elektrárny Temelín č.1752 (2017)



Obr. 10: Příklad hodnocení řezu defektem. Šedá barva znázorňuje CAD model, pomocí barevné mapy jsou vyznačeny odchylky v naskenovaném povrchu.

# Historie programu výzkumu a vývoje solných reaktorů v České republice

**Ing. Jan Uhlíř, CSc.**

Článek pojednává o historii výzkumu a vývoje technologie solných reaktorů typu MSR (Molten Salt Reactor) v České republice. MSR je neklasický reaktor s kapalným palivem ve formě taveniny fluoridových solí, který může efektivně pracovat jakožto množivý systém v thorium-uranovém palivovém cyklu. Reaktor byl zařazen mezi pokročilé reaktorové typy 4. generace. V České republice probíhá výzkum a vývoj jeho technologie od konce 90. let a v oblasti vývoje technologie a jejího experimentálního ověřování má Česká republika celosvětově jednu z nejvýznamnějších pozic.

The article deals with the history of research and development of Molten Salt Reactor (MSR) technology in the Czech Republic. MSR is a non-classical liquid fuel reactor where the liquid fuel is in the form of a fluoride salt melt. MSR can be effectively operated as a breeding system working in the thorium-uranium fuel cycle. The reactor was included among the advanced reactor systems of the GEN-4. The Czech Republic has been active in research and development of its technology since the late 1990s, and the country has one of the most important positions worldwide in the area of MSR technology development and its experimental verification.

Solné reaktory neboli reaktory s kapalným palivem na bázi taveniny fluoridových solí jsou reaktorovým systémem, jehož výzkum a vývoj se stal v poslední době poměrně velmi moderním a zapojuje se do něj celá řada institucí a výzkumných organizací, které ještě před několika lety neprojevovaly o vývoj tohoto reaktorového systému žádný zájem. Systém solného reaktoru (ang. Molten Salt Reactor – MSR) byl v roce 2000 zařazen sdružením Generation Four International Forum mezi šestici reaktorových systémů tzv. 4. generace jakožto jeden z pokročilých jaderných reaktorů, které by měly postupně nahrazovat dosavadní reaktorové typy. Vzhledem k tomu, že se jedná o reaktorový typ s kapalným palivem, byl tento reaktor nazván též tzv. neklasickým reaktorovým systémem. Do skupiny reaktorů 4. generace byl reaktor MSR zařazen také proto, že se jednalo o reaktor, jehož princip byl v 50. a 60. letech minulého století úspěšně odzkoušen v USA v Oak Ridge National Laboratory (ORNL). Zde byl v roce 1954 poprvé uveden v rámci vojenského programu na krátkou dobu do provozu malý solný reaktor o výkonu 2,5 MWt s palivem na bázi taveniny fluoridu sodného, zirkoničitého a uraničitého, který prokázal, že jaderné reaktory je možno

provozovat i s kapalným palivem. V šedesátých letech byl pak v ORNL v rámci projektu Molten Salt Reactor Experiment (MSRE) poměrně široce ověřen systém solného reaktoru provozem reaktoru MSRE v letech 1965-1969. Jednalo se o experimentální reaktor o výkonu 7,8 MWt, kde palivo-chladivovou směsí byla tavenina fluoridu lithného, berylnatého, zirkoničitého a uraničitého (později pouze  $\text{LiF} - \text{BeF}_2 - \text{UF}_4$ ), kde zpočátku štěpným materiálem byl uran U-235, od roku 1968 pak, jako vůbec poprvé, uran U-233. Reaktorový systém MSR byl totiž svými autory (Weinberg, Wigner, Betis) navrhován jakožto množivý reaktorový systém pracující v thorium-uranovém palivovém cyklu ( $^{232}\text{Th} - ^{233}\text{U}$ ). Přestože provoz reaktoru MSRE byl velmi úspěšný, tehdejší Americká atomová komise program solných reaktorů v sedmdesátých letech zastavila a dala přednost vývoji rychlých množivých reaktorů chlazených kapalnými kovy, aby pak ovšem koncem sedmdesátých let byl prakticky veškerý další vývoj reaktorových systémů s uzavřeným palivovým cyklem v USA zastaven. Rozhodnutím US Atomic Commission tak byl výzkum a vývoj solných reaktorů na přibližně 30 let přerušeno. Tým ORNL však ještě před zastavením programu solných reaktorů stačil připravit

návrh energetického reaktoru MSBR – Molten Salt Breeder Reactor o výkonu 2 250 MWt / 1 000 MWe s on-line přepracováním kapalného paliva a pracujícím v thorium-uranovém palivovém cyklu. Tento návrh solného reaktoru se pak v roce 2000 stal referenčním projektem MSR v rámci Generation Four International Forum.

Jestliže však po ustavení Generation Four International Forum probíhal ve světě, jak v rámci této aktivity, tak i mimo ni, v první dekádě tohoto století výzkum technologie MSR velmi omezeně, v České republice tomu bylo zcela jinak. Aktivní teoretický a především experimentální výzkum a vývoj technologie solných reaktorů u nás probíhá již od roku 1999 a od roku 2000 s významnou státní podporou. Impulsem, k zahájení tohoto výzkumu a vývoje byl několikaměsíční pobyt Ing. Miloslava Hrona v Los Alamos National Laboratory v roce 1995. Zde se technologie solných reaktorů diskutovala ve skupině Dr. Charlese Bowmana jakožto vhodná pro transmutaci transuranových prvků na stabilní isotopy v kombinaci systému podkritického reaktoru s kapalným palivem a lineárním urychlovačem. Pobyt v LANL a práce ve skupině Ch. Bowmana na Ing. Hrona silně zapůsobily a uvědomil si, že v Ústavu jaderného výzkumu jsou pro výzkum a vývoj reaktorů s palivem na bázi fluoridových tavenin velmi dobré podmínky i díky tomu, že zde existovalo Oddělení fluorové chemie, jehož jsem byl v té době vedoucí a kde se jak s plynným fluorem, tak s fluoridovými taveninami běžně pracovalo. Koncem 90. let tak Ing. Hron okolo sebe shromáždil skupinu odborníků z Ústavu jaderného výzkumu Řež, Katedry jaderných reaktorů FJFI ČVUT Praha, Ústavu jaderné fyziky AVČR a dokonce i z firmy ŠKODA JS, která připravila návrh domácího projektu výzkumu a vývoje technologie transmutačního solného reaktoru. Návrh projektu byl hotov v roce 1998, v roce 1999 byl předložen Ministerstvu průmyslu a obchodu, které tento výzkum začalo podporovat od roku 2000. Dílčí, drobnější výzkumné části projektu zaměřené především na studii transmutačního systému však byly již před tím předloženy Správě úložišť radioaktivních odpadů, která od konce 90. let tyto práce v omezeném rozsahu také podporovala. Velkým impulsem k domácímu výzkumu a vývo-

ji reaktorových systémů s kapalným palivem bylo uspořádání mezinárodní konference ADTTA'99 v Praze-Průhoncích v roce 1999. Na tuto konferenci přijela celá řada významných mezinárodních vědeckých kapacit. Bezsporu největší osobností byl dr. Alvin Weinberg, ale přijeli i další špičkoví světoví vědci a výzkumníci – z USA např. Charlie Bowman z LANL, Mac Toth a David Williams z ORNL, ze Spojeného království Peter Wilson z BNFL, z Ruské federace prof. Vladimír Prusakov z Kurčatovského ústavu.



Skupinová fotografie větší části účastníků konference ADTTA 99. Ve druhé řadě od spodu první zleva Charlie Bowman, ve stejné řadě první zprava Alvin Weinberg, v poslední řadě čtvrtý zprava Miloslav Hron – hlavní organizátor konference, před ním vlevo Vladimír Prusakov a pod ním autor textu Jan Uhlíř.

Konference ADTTA99, která sice byla především zaměřena na využití podkritických systémů pro transmutaci dlouhodobých radioaktivních produktů vyhořelého paliva, tenkrát poskytla značnému počtu domácích účastníků osobně se seznámit s názory předních světových expertů na problematiku kapalného paliva a thorium-uranový palivový cyklus. Vedle odborných rad Alvina Weinberga není možno opomenout ještě jednu radu osobní, kterou dal Ing. Hronovi. „Be careful! – Budte opatrní!“, řekl mu na závěr rozhovoru při vzpomínce na své osobní těžkosti, které měl jakožto ředitel ORNL při jednáních s US Atomic Commission, když se v sedmdesátých letech marně pokoušel přesvědčit většinu jejích členů o přednostech kapalného paliva a průběžného odstraňování štěpných produktů.

Lze konstatovat, že ucelený aktivní program vývoje solných reaktorů běží v České republice od roku 2000, a to zprvu zcela nezávisle na výzkumných aktivitách v jiných zemích, které, s výjimkou Francie, zahájily výzkum, po většinou však pouze na teoretické úrovni, až o několik let později, pod vlivem zařazení reaktoru MSR mezi reaktorové systémy 4. generace. V prvním čtyřletém období, tedy v letech 2000-2003 probíhal v České republice výzkum a vývoj technologie MSR v rámci projektu s názvem „Experimentální ověření vybraných variant transmutační technologie a vydání podkladů pro projektování základních komponent demonstračního transmutoru LA-10“ (zkráceně „Transmutor LA-10“), který byl řešen jakožto součást programu MPO „Centrum jaderných technologií“. Projekt byl řešen konsorciem českých výzkumných, akademických a průmyslových organizací a vysokých škol pod vedením Ústavu jaderného výzkumu Řež a jeho rozpočet činil 130 mil. Kč. Projekt byl zprvu zcela zaměřen na využití podkritických systémů, ale v průběhu jeho řešení jsme si postupně uvědomovali technickou a technologickou obtížnost tohoto řešení a naopak výhody klasické technologie solných reaktorů tak, jak byl tento systém navržen v Oak Ridge National Laboratory. Velkým přínosem byla, vedle několika návštěv Charlieho Bowmana, v roce 2001 návštěva Dr. Dicka Engela a Dr. Mac Totha z Oak Ridge, kteří byli v šedesátých letech jedněmi z vedoucích osob projektu MSRE. Dr. Engel byl v letech 1962-1969 hlavním inženýrem projektu MSRE a kromě toho byl zodpovědný za celou chemickou technologii reaktoru. Dr. Toth byl pak v rámci projektu MSRE zodpovědným za analýzy palivové směsi a za tzv. vlastní chemii paliva v reaktoru. Jejich zkušenosti z období projektu MSRE, jejich praktické rady a materiály, které nám předali, pro nás měly tehdy vysokou hodnotu. V té době ještě nebyla knihovna ORNL digitalizována, a tak jsme měli k dispozici pouze část reportů ORNL o výsledcích programu MSRE, které byly dříve zveřejněny v agenturním systému INIS.

V průběhu řešení projektu došlo na mezinárodní scéně k podstatné změně v nahlížení na solné reaktory. V roce 2000 bylo ustaveno Generation Four International Forum, jehož

charta byla podepsána v roce 2001. V roce 2003 se ke GIF připojil EURATOM, díky čemuž jsme i my získali přístup k novým materiálům o MSR zpracovaným pro GIF. V roce 2001 jsme se také zapojili do řešení prvního evropského projektu zaměřeného na problematiku solných reaktorů s názvem MOST, o jehož realizaci jsme se společně s Francií zasloužili. V letech první dekadě tohoto století byly Česká republika a Francie prakticky jediné dvě evropské země, které měly domácí podporu výzkumu a vývoje týkajícího se MSR. Ve Francii to byla Electricité de France, kde byl řešen výzkumný projekt AMSTER (Actinide Molten Salt Transmuter), který následně položil základy veškerých dalších francouzských aktivit v oblasti MSR. Na rozdíl od nás však francouzský projekt neobsahoval tehdy žádné experimentální práce a byl zaměřen výhradně na studii možnosti spalování transuranových prvků v kritickém systému MSR. Tehdejší výlučnou pozici České republiky v rámci výzkumu a vývoje technologie solných reaktorů dokumentuje nejlépe to, že prvním reprezentantem EURATOMu v System Steering Committee of MSR System of the Generation Four International Forum byl zvolen Ing. Hron.

V rámci našeho domácího projektu „Transmutor LA-10“ se postupně vytvořila v té době světově ojedinělá experimentální základna pro vývoj technologie solných reaktorů. V Ústavu jaderného výzkumu Řež na reaktorech LR-0 a LVR-15 proběhly první neutronické a ozařovací testy s ampulemi BLANKA plněnými fluoridovými solemi. Tyto náplně byly připravovány v Oddělení fluorové chemie ÚJV Řež a ve spolupráci se ŠKODA JS zde byly postaveny těž první menší materiálové solné smyčky a solné testovací kanály. V Oddělení fluorové chemie byly též zahájeny experimentální studie elektrochemických separačních metod z prostředí fluoridových tavenin, jejichž cílem bylo laboratorní ověření elektrochemických metod pro tzv. on-line přepracování kapalného paliva solných reaktorů. Od počátku experimentálních prací jsme se však potýkali s problematikou konstrukčního materiálu. Pro technologie fluoridových tavenin jsou hlavním konstrukčním materiálem speciální niklové slitiny. Pro americký projekt reaktoru MSRE byla v 50. letech v ORNL vyvinuta slitina INOR-8, jejíž výrobu

v 60. letech převzala společnost Haynes, která tuto slitinu pro reaktor MSRE vyráběla pod názvem Hasteloy-N. Po skončení projektu MSRE však byla produkce Hasteloy-N zastavena. Když jsme se po roce 2000 na společnost Haynes obrátili se zájmem o plechy, tyče a trubky z této slitiny, bylo nám řečeno, že by byli ochotni produkci obnovit pouze za předpokladu objednávek přesahujících stovky tun. Řešení, které jsme v rámci projektu zvolili, tak byl vývoj vlastní české slitiny, za který v rámci projektu odpovídala ŠKODA JS a který byl zpočátku řešen ve společnosti Škoda výzkum. Touto cestou tak vznikla česká niklová superslitina MONICR, jejíž korozní vlastnosti splňovaly základní požadavky pro použití v prostředí fluoridových tavenin. V rámci projektu došlo ještě k jednomu významnému kroku v oblasti výuky studentů na Katedře jaderných reaktorů FJFI ČVUT. Z impulsu vedoucího katedry prof. Karla Matějky zde byl otevřen volitelný předmět „Kapalná jaderná paliva“, který od té doby umožňuje studentům získat základní informace o technologii solných reaktorů.

Na projekt „Transmutor LA-10“ pak v roce 2004 navázal nový projekt „Jaderný transmutační systém SPHINX s kapalným palivem na bázi roztavených fluoridů“, který byl řešen jako součást programu MPO „TANDEM“. Projekt SPHINX byl řešen opět konsorciem organizací (ÚJV Řež, ÚJF AVČR, ŠKODA JS, FJFI ČVUT, Energovýzkum Brno) v letech 2004-2008 ve finančním rozsahu 128 mil. Hlavním řešitelem projektu byl opět Ing. Miloslav Hron. Projekt SPHINX byl rozdělen na následující hlavní etapy:

- aktivní zóna a primární okruh
- příprava paliva a jeho přepracování
- experimentální blanket a jeho řízení
- sekundární okruh a jeho komponenty
- konstrukční materiály
- demonstrační transmutor – systémové řešení
- experimentální transmutor nulového výkonu – realizační příprava

V rámci projektu pokračoval experimentální program zaměřený na neutroniku kapalného paliva, fyziku aktivní zóny solného reaktoru, na reaktoru LR-0 byla provedena neutronic-

ká měření vložných zón s fluoridovými solemi a s grafitovou vestavbou, pokračoval další vývoj slitiny MONICR včetně korozních, materiálových a ozařovacích testů a byla ověřena příprava fluoridu uraničitého a fluoridu thoričitého (součástí paliva solných reaktorů) v laboratorním a následně i v poloprovozním měřítku.

Vedle projektu SPHINX byl od roku 2006 v Ústavu jaderného výzkumu řešen též projekt „Fluoridové přepracování paliva reaktorů 4. generace“. Jedna část tohoto projektu se týkala vývoje technologie Frakční destilace fluoridů – metody vhodné pro přepracování pevného paliva rychlých množivých reaktorů, druhá část však byla zaměřena na vývoj elektro-separačních pyrochemických metod vhodných pro separaci uranu, thoria a štěpných produktů z kapalného paliva solných reaktorů. Projekt byl řešen v období let 2006-2011 v rámci programu MPO „Trvalá prosperita“ a měl finanční rozsah 112 mil. Kč. Zpočátku byl projekt řešen pouze Ústavem jaderného výzkumu, v letech 2010 a 2011 se na řešení podílelo ještě nově vzniklé Centrum výzkumu Řež a společnost COMTES FHT, kam se v té době přesunul další vývoj niklové slitiny MONICR.

Souběžně s domácím výzkumným programem jsme se aktivně účastnili i výzkumu v evropských projektech zaměřených na studium technologie solných reaktorů a jakožto reprezentanti EURATOMu jsme působili i ve struktuře Generation Four International Forum.

V průběhu řešení projektu SPHINX bylo postupně prakticky zcela upuštěno od prvotní představy podkritického solného reaktoru a studie byly dále směřovány na problematiku kritického reaktoru MSR pracujícího ve spektru termálních neutronů – tj. na systém principiálně totožný s původní představou solného reaktoru navrhovanou v 60. letech v Oak Ridge. Pro experimentální práce v rámci řešení projektů SPHINX i „Fluoridové přepracování“ bylo třeba mít k dispozici fluoridovou taveninu odpovídající složení kapalného paliva MSR, tj. taveninu o složení  $\text{LiF} - \text{BeF}_2 - \text{UF}_4 - \text{ThF}_4$ . Zatímco fluorid lithný byl na trhu běžně k dispozici v potřebných množstvích i čistotě a přípravu fluoridu uraničitého a thoričitého jsme v ÚJV zvládali, fluorid berylnatý nebyl v kilo-

gramových množstvích na trhu nikde dostupný. S pomocí kolegů ze společnosti ČEZ se však podařilo kontaktovat kazašskou společnost Kazatomprom a následně dovést od této firmy několik desítek kilogramů fluoridu berylnatého. Jednalo se o poměrně komplikovaná obchodní jednání a mimořádný dovoz, jelikož firma běžně fluorid berylnatý, který je poloproduktem při výrobě kovového beryllia, nenabízela. I přesto, že po roce 2005 již i některé university ve Francii studovaly a v laboratorních podmínkách ověřovaly procesy separace štěpných produktů z prostředí fluoridových tavenin, byli jsme v té době v ÚJV jediným pracovištěm, které pro studium technologií solných reaktorů nepoužívalo náhrady nosné palivové soli MSR a pracovalo s taveninou „FLIBE“ – směsí fluoridu lithného a berylnatého. (Ostatní pracoviště, pokud vůbec experimenty s fluoridovými taveninami prováděla, se práci s toxickým berylliem vyhýbala.) V té době nám zbývalo vyřešit jen poslední problém se složením palivové soli pro reaktorové experimenty. Experimentální neutronické studie byly totiž na reaktoru LR-0 dělány s nosnou taveninou FLIBE obsahující ve fluoridu lithném přírodní lithium – tedy směs izotopů Li-6 a Li-7. Solné reaktory však vyžadují, aby lithium v tavenině FLIBE obsahovalo pouze izotop Li-7, který, na rozdíl od Li-6, má malý účinný průřez a nespotřebává tak neutrony potřebné pro štěpnou reakci. Shodou okolností jsme s Ing. Hronem v roce 2008 referovali o výsledcích českého výzkumu a vývoje technologie solných reaktorů v USA na výročním mítinku Americké nukleární společnosti a po našich referátech nám byla prof. Petersonem z University of California Berkeley, dr. Forsbergem z MIT a dr. Holcombem z ORNL nabídnuta spolupráce při vývoji technologie MSR a FHR (Fluoride-salt-cooled High-temperature Reactor – vysokoteplotní reaktor s TRISO palivem chlazen fluoridovou solí). Spolupráce nám byla nabídnuta s tím, že USA by poskytly originální chladičovou sůl FLIBE (ještě ze zásob projektu MSRE) obsahující lithium Li-7 v čistotě 99,995 % a česká strana by pro společnou studii neutronických vlastností poskytla služby reaktoru LR-0. Koncem roku 2009 tak byla uzavřena dohoda mezi ORNL a ÚJV Řež

a následně jsem s dr. Holcombem z ORNL připravil transport kontejneru Li-7 FLIBE z ORNL do ÚJV Řež. Asi měsíc před plánovaným termínem dovozu kontejneru však US – Department of Energy dohodu zrušil a transport soli zakázal. Důvodem bylo to, že US-DOE nesohlasil s tím, aby na takovémto výzkumném programu spolupracovala národní laboratoř USA řízená vládou USA se soukromou institucí ÚJV Řež. Pro tento typ spolupráce vyžadoval US-DOE odpovídající garanci českého státu.

Obrátil jsem se tedy počátkem roku 2010 na MPO, konkrétně na tehdejšího náměstka ministra Ing. Tomáše Hünera a na ředitele odboru elektroenergetiky Ing. Romana Portužáka a oba udělali pro realizaci spolupráce s USA tenkrát maximum. Navrhli, aby připravovaná deklaráce (Joint Declaration) mezi MPO a US – Department of Commerce, týkající se spolupráce v jaderné energetice, byla rozšířena i o spolupráci s US – Department



Transport sudu s kontejnerem FLIBE na letišti v Praze-Ruzyni, přepouštění taveniny FLIBE z transportního kontejneru do nádoby vložné zóny a vkládání naplněné instrumentované nádoby FLIBE do experimentálního kanálu před vložením do reaktoru LR-0.

of Energy, což se nakonec v prosinci 2010 podařilo. Podpisem deklarace byla vyřešena podmínka US-DOE a po několika vzájemných česko-amerických jednáních, zahrnujících i návštěvu náměstka ministra energetiky pro jadernou energii dr. Petera Lyonse v Řeži, bylo v prosinci 2012 podepsáno mezi MPO a US-DOE „Memorandum o porozumění“, na jehož základě byl v květnu 2013 do ÚJV Řež a Centra výzkumu Řež přivezen z ORNL kontejner s 75 kg ztuhlé taveniny FLIBE obsahující lithium ve formě izotopu Li-7 o čistotě 99,995%. V období let 2012 až 2013 však nebyl výzkum a vývoj technologie solných reaktorů v České republice podporován žádným dostatečně velkým projektem, a tak mohl být společný česko-americký program experimentů se solí FLIBE zahájen až koncem roku 2014, kdy byly, na žádost MPO, na tento výzkumný projekt uvolněny dostatečné finance, nejprve zálohově z vlastních prostředků ÚJV a Centra výzkumu Řež. Hlavní neutronické experimenty s dovezenou solí se pak uskutečnily na reaktoru LR-0 v letech 2015 a 2016. Před tím však musela být v laboratoři fluorové chemie postavena stáčecí a přepouštěcí aparatura na taveninu FLIBE (bod tání FLIBE je cca 460 °C) a v dílnách Centra výzkumu Řež vyrobena speciální vložná zóna pro reaktor LR-0. Jednalo se o speciální dutou nádobu s kanály pro instrumentaci a palivové proutky vloženou do pouzdra (experimentálního kanálu) nahrazujícího jeden palivový soubor VVER. Po naplnění taveninou FLIBE a potřebné instrumentaci byla na reaktoru LR-0 realizována s touto zónou neutronická měření. Zóna byla umístěna místo jednoho palivového souboru v centrální části reaktoru LR-0, palivové soubory VVER okolo byly zdrojem neutronů pro tato měření. Měření probíhala při běžné laboratorní teplotě – tedy se ztuhlou taveninou FLIBE. Části vlastních experimentů a následného vyhodnocování se účastnili též pracovníci ORNL, výsledkem byly nejen reporty Centra výzkumu Řež a ORNL, ale též společné publikace a referáty na mezinárodních konferencích.

Podpora průmyslového výzkumu a vývoje z prostředků MPO po roce 2012 postupně končila, a tak další odpovídající financování výzkumu a vývoje technologie solných reaktorů bylo možné v podstatě pouze z prostředků



Technologické agentury České republiky. Od roku 2013 je tudíž vývoj technologie solných reaktorů podporován TAČR, nejprve v rámci programu Alfa, následně v rámci programu Epsilon 2. Současný projekt s názvem „Výzkum a vývoj technologie jaderných reaktorů chlazených fluoridovými solemi“, který běží od roku 2017, navazuje na výsledky předchozích výzkumů a měl by dále posunout vývoj technologie solných reaktorů v České republice. Nedílnou součástí projektu je i pokračování spolupráce s USA při studiu neutronických vlastností nosné soli FLIBE a kapalného paliva MSR. Tyto experimenty by měly v roce 2020 vyvrcholit společnými měřeními na reaktoru LR-0 s „horkou“ vložnou zónou FLIBE, jejíž výroba v současné době probíhá v Centru výzkumu Řež. Zóna, která včetně nosných částí a tepelné izolace zabere v reaktoru místo sedmi palivových souborů by měla umožnit měření při pracovních teplotách MSR v rozmezí 500-750 °C, kdy tavenina je v kapalném stavu. Vedle těchto neutronických studií jsou součástí stávajícího projektu i další experimentální studie elektroseparační technologie, pokračuje materiálový výzkum se slitinou MONICR, smyčkový program a vývoj čerpadel a těsnění pro prostředí fluoridových tavenin. Projektu se opět účastní konsorcium institucí a firem: Centrum výzkumu Řež, ÚJV Řež, COMTES FHT, MICO a ŠKODA JS.



Zpracování MONICRového ingotu ve společnosti COMTES FHT a pohled na materiálovou smyčku FLIBE v Centru výzkumu Řež



Česká republika hraje ve vývoji technologie solných reaktorů velmi významnou roli. V období let 2000 až 2015 jsme byli jednoznačně vedoucí silou v experimentálním výzkumu a vývoji této technologie. Po roce 2015 jsme ovšem o tuto pozici do značné míry přišli. V roce 2011 se totiž do výzkumu a vývoje solných reaktorů s mimořádnou intenzitou zapojila Čínská lidová republika. Na čínském projektu TMSR (Thorium Molten Salt Reactor), za který odpovídá Shanghai Institute of Applied Physics se zde přímo podílí několik set lidí a zapojeny jsou dále do ně

ještě dalších čínské výzkumné a průmyslové organizace. V současné době probíhá, po vzoru MSRE, výstavba experimentálního solného reaktoru TMSR-LF1 o výkonu 2 MWt, který by měl být uveden do provozu již koncem roku 2020, další experimentální solný reaktor o větším výkonu by měl být postaven po roce 2025 a následně energetický MSR po roce 2030. S Čínou sice při vývoji technologie solných reaktorů soutěžit nemůžeme, ale může nás těšit, že Čína má na spolupráci s námi při vývoji této technologie zájem. Je to dáno právě tím, že jsme se, na rozdíl od celé řady jiných evropských i amerických společností, institucí a firem (z nichž některé jsou bez jakéhokoliv experimentálního zázemí), které v současné době předkládají množství koncepčních stu-

dií různých solných reaktorů, soustředili významnou měrou na experimentální výzkum a vývoj a že jsme při tomto výzkumu a vývoji vycházeli z technologie, jejíž základy byly ověřeny provozem reaktoru MSRE v šedesátých letech v Oak Ridge.

Věřím, že výzkum a vývoj technologie solných reaktorů bude v České republice pokračovat, že si Česká republika udrží své současné postavení a že Čína nebude jedinou zemí, která bude jaderné elektrárny se solnými reaktory stavět a provozovat. Kapalně palivo a thorium-uranový cyklus přinášející nezanedbatelné výhody v oblasti bezpečnosti jaderných reaktorů a v požadavcích na uložení radioaktivních odpadů. Navíc, na rozdíl od plutonia z rychlých reaktorů, uran U-233 produkovaný v solných reaktorech, svým charakterem prakticky vylučuje vojenské použití. Pokud bude dosavadní výzkum a vývoj v České republice dále pokračovat, české organizace a firmy by se mohly podílet na budoucích dodávkách podstatných částí technologie solných reaktorů.

## Ing. Jan Uhlíř, CSc.



Je zaměstnán v Centru výzkumu Řež s.r.o. Předtím působil od roku 1978 v Ústavu jaderného výzkumu Řež (nyní ÚJV Řež, a.s.), v letech 1990 až 2012 jako vedoucí oddělení fluorové chemie. Jeho profesní kariéra je orientována na výzkum a vývoj pyrochemických fluoridových separačních metod, přepracování vyhořelého paliva a na technologii palivového cyklu solných reaktorů typu MSR.

Ing. Jan Uhlíř je zástupcem České republiky v pracovní skupině jaderného palivového cyklu OECD-NEA a je členem několika expertních skupin a komisí OECD-NEA a IAEA. Je reprezentantem EURATOMu v System Steering Committee of the Molten Salt Reactor System of the Generation Four International Forum a reprezentuje též Českou nukleární společnost v High Scientific Council of the European Nuclear Society. Významnou měrou se spolupodílel na programu vývoje technologie solných reaktorů v České republice a na mezinárodní spolupráci v této oblasti.

Ing. Jan Uhlíř, CSc. získal v roce 1978 titul Ing. na VŠCHT Praha v oboru chemického inženýrství a v roce 1989 hodnost CSc. taktéž na VŠCHT Praha v oboru Technologie jaderných paliv.



# Nástup malých modulárních reaktorů a jejich implementace do energetického mixu

**Ing. Marek Ruščák**

Malé modulární reaktory jsou stále častěji skloňované nejen v kruzích výzkumu a vývoje, ale také mezi státními regulačními úřady, elektrárenskými společnostmi, majiteli distribučních sítí a v neposlední řadě mezi možnými koncovými zákazníky. Jaderný průmysl je dlouhodobě ve světě znevýhodněn v důsledku vysokých pořizovacích nákladů a dlouhých investičních období. Následkem je snížení konkurenceschopnosti jaderných elektráren. Malé modulární reaktory jsou v současné době brány jako naděje na zvrácení tohoto trendu. Zároveň zrealizují jadernou energii jako jedno z řešení pro snížení produkce skleníkových plynů.

Small modular reactors are increasingly mentioned not only in the research and development circles, but also among government regulators, utilities, distribution network owners and, last but not least, among potential end customers. The nuclear industry has suffered a long-term disadvantage in the world due to high acquisition costs and long investment periods. As a result, the competitiveness of nuclear power plants is reduced. Small modular reactors are currently viewed as a chance to reverse this trend. At the same time, they make nuclear energy a reality as one of the solutions to reduce greenhouse gas production.

## 1. ÚVOD

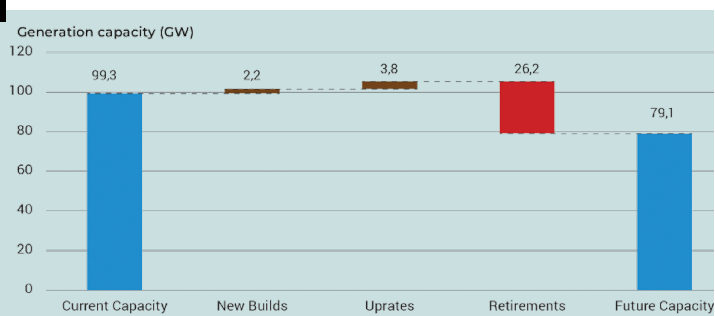
V posledních deseti letech zažívá jaderný průmysl zásadní přeměnu dlouhodobé strategie, a to především jako odpověď na nízké ceny zemního plynu a rychlý nástup obnovitelných zdrojů energie (OZE). Ve Spojených státech amerických se dlouhodobě předpokládá snižování celkové instalované kapacity jaderné energie právě ve prospěch zemního plynu, solárních a větrných elektráren. Možnou reakcí jaderného průmyslu je zaměření se na snižování pořizovací ceny, ale především na zkrácení investičního období. Tato nutnost vede ve výsledku ke kompletnímu přetvoření nejen procesu výstavby a výroby komponent jaderné elektrárny, ale také k nutné optimalizaci samotných technologií. Současné jaderné elektrárny generace 3 a 3+ jsou stále velmi složité komplexy skládající se z velkého množství systémů a komponent. Koncept těchto elektráren se dá popsat zjednodušeně jako stavba elektrárny kolem reaktorové nádoby. Cesta ke snížení nákladů je právě ve změně tohoto přístupu.

Malé modulární reaktory (SMR) představují nejen snahu o zefektivnění procesu výroby a výstavby, ale také snahu o posílení důvěry veřejnosti v jaderné technologie. V současné

době je v jakési pomyslné nabídce několik druhů SMR pracujících na principu různých technologií, lišících se výkonem a také využitím. Co mají ovšem společného, je snaha o zjednodušení a integraci kritických komponent do celků. Díky tomu je možné nejen zefektivnit samotnou výrobu komponent, ale snížit množství samostatných systémů a v neposlední řadě zmenšit celou elektrárnu. Designéři malých modulárních reaktorů spoléhají zejména na jednoduchou, rychlou, a především masovou produkci svých zařízení. Tento přístup umožňuje významně snížit náklady na další reaktory (Next of a Kind, NOAK) v porovnání s prvním prototypem (First of a Kind, FOAK). Současně bude možné v rámci jednotek let dodat elektrárnu, a tedy v co možná nejkratší době vyrábět elektrinu. U mnohých navrhovaných řešení se vyskytuje prvek nám známý již z VVER-440, tedy větší množství jaderných reaktorů v jedné budově. Na rozdíl od VVER-440 bude ovšem možné reaktorové nádoby nejen postupně instalovat, ale také po uplynutí celkové životnosti je vyměnit. Tím se právě mění koncept z předchozí generace: postavíme elektrárny, do kterých můžeme reaktorové nádoby vkládat a měnit dle aktuální potřeby.

Obr. 1: Předpokládané změny v kapacitě výroby jaderné energie v USA (2017-2050) podle předpokladů referenčního případu.

Dle posledních predikcí amerického Ministerstva energetiky (US DOE) dojde v následujících třiceti letech k výraznému poklesu celkových jaderných kapacit z 99,3 GW na 79,1 GW (Obrázek 1). Tyto hodnoty vycházejí z referenčního modelu DOE [1], který má uvažovanou nejistotu 20 %.



Porovnáme-li ovšem metodologicky stejnou predikci pro ostatní zdroje elektrické energie (Obrázek 2), mimo uhlí a vodní elektrárny všechny ostatní zaznamenávají zásadní růst, a to zejména zemní plyn a solární panely. Tyto predikce ovšem nezahrnují právě malé modulární reaktory. Firma NuScale Power [2] [3] očekává v roce 2020 stanovisko americké Jaderné regulační komise US NRC, na základě kterého bude moct postoupit k licenčnímu řízení.

## 2. PŘÍSTUP K LICENCOVÁNÍ

Jednou ze zásadních otázek kolem malých modulárních reaktorů je otázka licencování. V současné době se WENRA (Western European Nuclear Regulators Association) zabývá změnou současných bezpečnostních cílů (Safety objectives), tak aby dokázaly reflektovat změnu technologického přístupu

k jaderné bezpečnosti. Jednou z výhod SMR je možnost maximalizace inherentních bezpečnostních opatření, tedy využívání fyzikálních vlastností a specifik daných designů pro zajištění jaderné bezpečnosti. Díky nim lze nahradit současné aktivní bezpečnostní systémy i s jejich nutnými zálohami. Protože se přednosti a omezení různých technologií liší, je velmi důležitý přístup k hodnocení bezpečnosti takových systémů. Z tohoto důvodu byl Českou republikou do WENRA navržen nový systém klasifikace SMR.

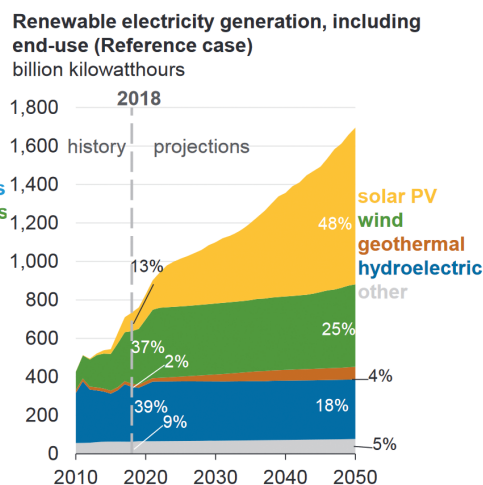
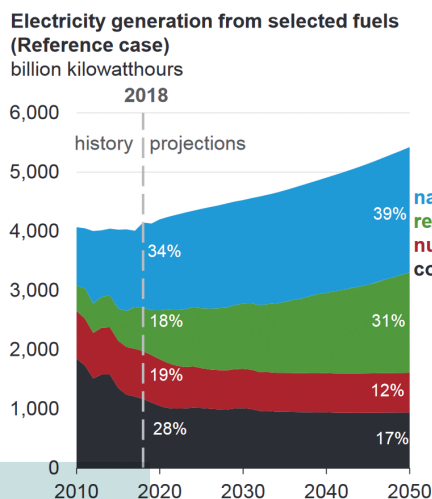
Dle definice Mezinárodní agentury pro atomovou energii (MAAE/IAEA) je malý modulární reaktor definován maximálním elektrickým výkonem 300 MWe (tedy v závislosti na technologii zhruba 700 MWt). Vzhledem k současnému portfoliu SMR je tato klasifikace příliš všeobecná. Proto bylo navrženo vytvořit tři podkategorie:

- Large-scale SMR 150-300 MWe
- Medium-scale SMR 50-150 MWe
- Small-scale SMR 1-50 MWe

Výše uvedené rozdělení je nejen vhodné pro SMR, ale umožní definování zvláštních pravidel i pro experimentální reaktory, které by spadaly do kategorie Small-scale. V současné době česká legislativa nerozlišuje mezi experimentálním a energetickým reaktorem, což se často ukazuje jako nejen nepraktické, ale také problematické.

Druhým parametrem, či kategorizací, kterou je nutné mít u SMR na mysli, je jejich předpokládané využití. Tento parametr má pak zásadní vliv na posuzování především umístění

Obr. 2: Předpokládané změny v kapacitě výroby elektrické energie z různých zdrojů v USA. Jednotlivé segmenty odpovídají stejné pozici popisů. [1]



Zdroje:

- [1] U.S. EIA, Annual Energy Outlook 2019 with projections to 2050, 24/01/2019, U.S. Energy Information Administration Office of Energy Analysis U.S. Department of Energy Washington, DC 20585
- [2] S. M. Modro, J. et al., Multi-Application Small Light Water Reactor Final Report, Idaho National Engineering and Environmental Laboratory, Idaho Falls, Idaho, 12/2003
- [3] D.T. Ingersoll et al., NuScale Small Modular Reactor for Co-Generation of Electricity and Water, Desalination, 340, 84-93, 2014
- [4] IAEA, A Supplement to: IAEA Advanced Reactors Information System (ARIS) – A Supplement to: IAEA Advanced Reactors Information System (ARIS), 2018
- [5] M. Ruščák et al., Energy Well: Koncepční návrh malého modulárního reaktoru chlazeného roztavenou solí jako příležitost pro český průmysl, Bezpečnost jaderné energie, 05-06/2018

elektrárny. Znovu, dle současného SMR portfolia, se nabízí tři kategorie.

- Velké energetické komplexy zajišťující výrobu elektrického proudu na národní úrovni.
- Středně velké energetické komplexy zajišťující výrobu elektrického proudu na regionální úrovni.
- Malé energetické komplexy zajišťující výrobu elektrického proudu a tepla (chladu) na lokální úrovni.

Třetí a nejdůležitější klasifikací SMR je rozdělení podle technologie. Toto rozlišení je zásadní nejen z hlediska očividné kategorizace, ale různé technologie mají v souvislosti s předchozími rozlišeními různé nároky vzhledem k důrazu na pasivní bezpečnost. Protože malé modulární reaktory nemusí být vytvořeny pouze na bázi tzv. Gen IV principů, ale může se jednat i o lehkovodní reaktor. Z tohoto důvodu je nezbytné se při hodnocení bezpečnosti nezaměřovat pouze na instalovaný výkon zařízení, protože i lehkovodní reaktor o výkonu například 50 MWe má vyšší bezpečnostní nároky, než kupříkladu reaktor chlazený tavenou solí (FHR). [4]

### 3. ČESKÝ SMR - ENERGY WELL

Skupina ÚJV v reakci na tento trend již několik let vyvíjí malý modulární reaktor typu FHR s označením Energy Well [5]. Tento reaktor dle výše uvedeného zařazení patří mezi malé energetické komplexy do 50 MWe (konkrétně 8,5 MWe) typu FHR. Možná užití tohoto reaktoru jsou tedy především pro lokální odběratele. Tento koncept využitelnosti umožňuje zásadní změnu koncepce, jakou známe nyní ve spojitosti s jaderným reaktorem. Malé lokální jednotky mohou sloužit jako dodavatel nejen elektrického proudu, ale také tepla, chladu nebo vodíku pro využití v dopravě.

Jednou z hlavních výzev z pohledu jaderné bezpečnosti a licenčního řízení je problematika umístování. U současných velkých jednotek se hledá nejvhodnější umístění pro specifický typ elektrárny. U takto malých jednotek jsou ovšem požadavky odlišné, protože jsou to právě specifické lokace, které malý reaktor vyžadují a je tedy nutné přizpůsobit design

pro zajištění maximální ochrany nejbližšího okolí. Přestože jsou malé modulární reaktory relativně novým trendem, umístování reaktorů v blízkosti velkých měst je již osvědčená praxe. V České republice jsou v okruhu dvaceti kilometrů kolem hlavního města Prahy hned tři jaderné reaktory, z nich nejstaršímu je již přes šedesát let, a operuje na polovině plánovaného výkonu reaktoru Energy Well. Jednotlivé regulační orgány v rámci Evropské unie se v současné době zabývají právě otázkou kvalifikace designu jaderného reaktoru, která by umožnila jejich výstavbu v přímé blízkosti hustě obydlených oblastí. Je to nezbytný krok pro umožnění implementace jaderné energie to širší energetické koncepce, která se stále více opírá o širokou distribuci obnovitelných zdrojů energie.

### 4. ZÁVĚR

Malé modulární reaktory prošly v posledních pěti letech změnou v odborném vnímání od silné nedůvěry, přes opatrnou akceptaci až po optimistickou naději nad druhou renesancí jaderné energetiky. Hlavní impuls jde ze Spojených států amerických, kde jaderný průmysl čelí výrazně větší výzvě než v EU, v podobě levného zemního plynu. Postupně se ale tyto technologie dostávají do ostatních zemí světa a jeví se, že kombinace inherentní pasivní bezpečnosti a výrazně přívětivějšího systému financování je pádný argument pro současné i nové potenciální provozovatele.

## Ing. Marek Ruščák



Obdržel bakalářské vzdělání v oboru matematika a fyzika z Přírodovědecké fakulty Univerzity Hradec Králové a Master in nuclear engineering z Polytechnické univerzity v Barceloně. Od roku 2017 je vedoucí oddělení jaderné bezpečnosti v Centru výzkumu Řež a současně působí jako vedoucí oddělení hodnocení jaderné bezpečnosti ve Státním ústavu radiační ochrany. Od roku 2016 se podílí na vývoji malého modulárního reaktoru Energy Well, jehož vývoj vede od roku 2018.

# Dostavba 3. a 4. bloku atómovej elektrárne Mochovce

**Ing. Peter Andraško**

Článok opisuje proces a stav projektu dostavby 3. a 4. bloku v Mochovciach. Vývoj a implementácia vylepšení z neho z pohľadu jadrovej bezpečnosti urobili projekt porovnateľný s jadrovými elektrárnami, ktoré sú momentálne vo výstavbe vo svete. V jednotlivých kapitolách článku je poukázané na súčasný stav dostavby, ktorý vplyvom legislatívnych požiadaviek a taktiež účasti medzinárodných expertných misií dospel do etáp uvádzania tohto jadrového zariadenia do prevádzky. The article describes the process and status of the project of construction completion of Units 3 & 4 in Mochovce. Development and implementation of improvements have made it from the nuclear safety point of view a project, comparable to nuclear power plants which are at the present time under construction in the world. The individual chapters of the article point to the current state of completion, which, under the influence of legislative requirements and the involvement of international expert missions, reached the stages of commissioning of this nuclear facility.



## PROJEKT A JEHO VYLEPŠENIA

Projekt AE Mochovce vychádza z koncepcie prevádzkovo overených reaktorov VVER-440 typ V-213. V súčasnosti sú v Slovenskej republike prevádzkované štyri reaktory typu VVER 440/V213, dva v elektrárni V2 v Jaslovských Bohuniciach a dva v Mochovciach.

Revidovaný úvodný projekt 3. a 4. bloku (MO34) vychádza z pôvodného úvodného projektu MO34 a zo zmien prijatých v priebehu predchádzajúcej výstavby MO34, kedy boli vypracované niektoré vykonávacie projekty a ich dodatky, čiastočne realizované pred pokračovaním vo výstavbe v roku 2008.

V revízií úvodného projektu boli využité aj overené realizované bezpečnostné opatrenia v AE EMO12. Použili sa aj vybrané zmeny overené v iných AE podobného typu.

Zmeny projektu boli schválené Úradom jadrového dozoru Slovenskej republiky. Vylepšený projekt elektrárne spĺňa alebo dokonca prekračuje súčasné medzinárodné bezpečnostné požiadavky a je porovnateľný s jadrovými reaktormi, ktoré sú v súčasnosti vo výstavbe v EÚ.

Medzi najvýznamnejšie modifikácie patria:

- systém riadenia ťažkých havárií
- najmodernejší digitálny systém kontroly a riadenia
- vylepšenie seizmickej odolnosti blokov

- zvýšenie kvality systému požiarnej ochrany
- zapracovanie najlepších prevádzkových skúseností do projektu

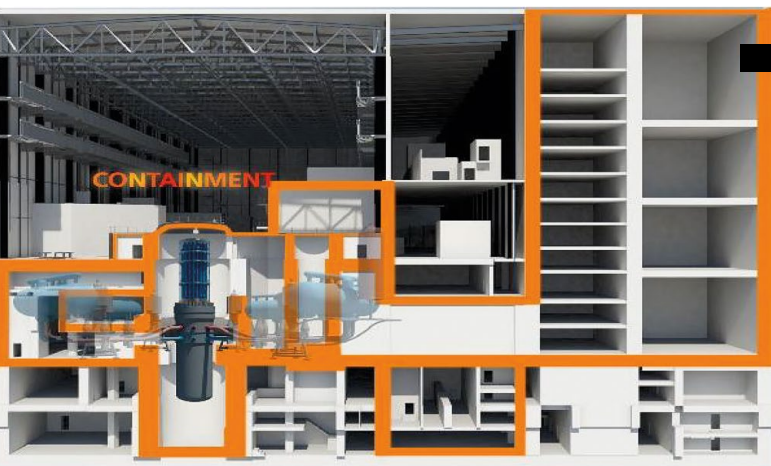
Projekt 3. a 4. bloku preverila aj nezávislá medzinárodná Bezpečnostná komisia zložená z medzinárodne uznávaných expertov na jadrovú bezpečnosť. Pozitívne stanovisko k 3. a 4. bloku AE Mochovce vyjadrila aj Európska komisia podľa Zmluvy o Euratome.

Úpravy a zlepšenie projektu MO34 sú z hľadiska ich obsahu a charakteru rozdelené na zmeny súvisiace s plnením legislatívnych požiadaviek v zákonoch a vykonávacích právnych predpisoch, zmeny vyplývajúce z náhrady technologických komponentov (strojných, elektrických zariadení, atď.) pri nezmenenej



funkcii, ale so zvýšením úrovne kvality, spoľahlivosti, životnosti meneného technologického komponentu, zmeny technologických komponentov so zmenou funkčnosti a so zvýšením úrovne bezpečnosti, kvality, spoľahlivosti, životnosti technologického komponentu, systémové zmeny - zámena, výmena

celého systému so zreteľom na zvýšenie bezpečnosti, spoľahlivosti, informovanosti obslužného personálu a zvýšenie komfortu obsluhy jednotlivých technologických zariadení, zmeny a odporúčania vyplývajúce z riešenia bezpečnostných opatrení, zmeny súvisiace so zmierňovaním následkov ťažkých havárií.



Obr. 2: Kontajment |

## UVÁDZANIE JADROVÉHO ZARIADENIA DO PREVÁDZKY A JEHO PREVÁDZKA

Proces uvádzania jadrového zariadenia do prevádzky pozostáva z viacerých etáp, pričom samotná prevádzka jadrového zariadenia sa člení na skúšobnú prevádzku a prevádzku. Začiatok uvádzania do prevádzky a prevádzka jadrového zariadenia si vyžaduje separátne povolenia ÚJD SR a ostatných relevantných orgánov štátnej správy. Proces podávania žiadosti tak ako v prípade stavebných povolení kombinuje režim atómového a stavebného zákona. Aplikácia stavebného zákona na uvádzanie jadrového zariadenia do prevádzky je spôsobená skutočnosťou, že stavebný zákon upravuje nielen výstavbu zariadení, ale aj proces schvaľovania použitia stavby na zamýšľaný účel.

Uvádzanie jadrového zariadenia do prevádzky sa začína zavezením prvého palivového článku do jadrového reaktora – v zmysle Atómového zákona a povolením na predčasné užívanie v zmysle Stavebného zákona. Povolenie začať uvádzanie jadrového zariadenia do prevádzky sa považuje za oprávnenie obmedzené časom, ktoré nahradí súhlas na skúšobnú prevádzku (a súhlas na dočasné užívanie stavby na účely skúšobnej prevádzky) a následne vlastné kolaudačné rozhodnutie pre stavbu.

Súhlas na skúšobnú prevádzku podľa Atómového zákona sa udeľuje spolu s vydaním súhlasu na dočasné užívanie stavby na skúšobnú prevádzku. Skúšobná prevádzka má umožniť ÚJD SR posúdiť schopnosť jadrového zariadenia plniť zamýšľaný účel. Po úspešnom ukončení skúšobnej fázy môže SE požiadať o povolenie na prevádzku jadrového zariadenia. Povolenie na prevádzkovanie jadrového zariadenia umožňuje využívať jadrové zariadenie na jeho určený účel. Ostatné oprávnenia pokrývajú niektoré činnosti, ktoré súvisia s uvádzaním jadrového zariadenia do prevádzky, ako nakladanie s jadrovými materiálmi vnútri a mimo jadrového zariadenia, dovoz a vývoz jadrových materiálov, špeciálnych materiálov a zariadení, preprava rádioaktívnych materiálov, preprava rádioaktívnych odpadov alebo odborná spôsobilosť personálu.

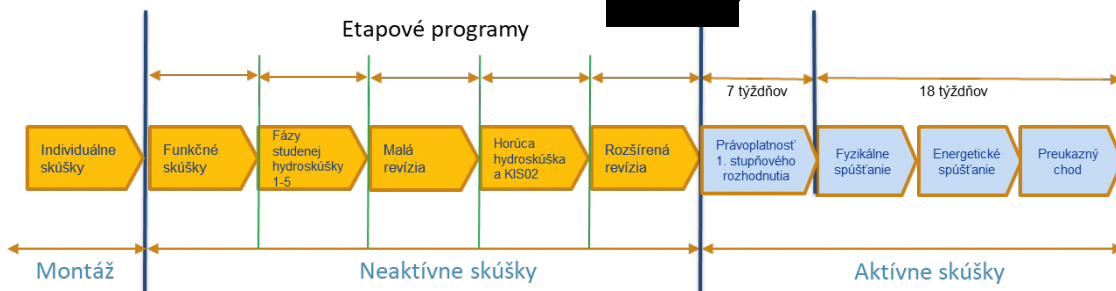
JE Mochovce 3-4 je tzv. "evolučným projektom" (ako ho definuje IAEA-TECDOC 936), podobne ako všetky takzvané reaktory generácie III, pretože vychádza z osvedčených a pevne konsolidovaných technológií v súčasnosti prevádzkovaných jadrových elektrární a pretože podľa vhodnosti zavádza významné bezpečnostné a výkonnostné modernizácie, uplatňuje poučenia z prevádzkových skúseností, aby sa zabezpečil súlad najnovšími medzinárodnými bezpečnostnými požiadavkami a praktikami, pričom sa kladie silný dôraz na zachovanie osvedčeného projektu, aby sa minimalizovali technologické riziká.

Projekt Mochovce 3-4 je podstatne zdokonalený v porovnaní s referenčnou elektrárnou Mochovce 1-2, a tiež v porovnaní s ostatnými jadrovými zariadeniami typu VVER-440 v súčasnosti v prevádzke v EÚ. Spĺňa alebo prevyšuje všetky súčasné relevantné medzinárodné bezpečnostné požiadavky (IAEA, WENRA) a je porovnateľný s jadrovými elektrárnami, ktoré sú dnes vo výstavbe kdekoľvek na svete. V MO34 sú zavedené najnovšie komerčne dostupné systémy riadenia a kontroly.

Projekt reaktorov typu VVER-440 vo všeobecnosti vykazuje špecifické vlastnosti, ktoré sú zásadne pozitívne pre jadrovú bezpečnosť, ako napríklad malý výkon, malá aktívna zóna, veľký objem chladiaceho média v primárnom aj sekundárnom okruhu.

<b>Počet prevádzkových blokov</b>	2
<b>Menovitý elektrický výkon bloku</b>	440 MWe
<b>Typ reaktora</b>	VVER-440/V-213 (tlaková voda)
<b>Vlastná spotreba</b>	35 MW (8 % z menovitého výkonu)
<b>Tepelný výkon reaktora</b>	1 375 MWt
<b>Účinnosť bloku</b>	29,50 %

Tab. 1:Všeobecné technické parametre bloku EMO34 |



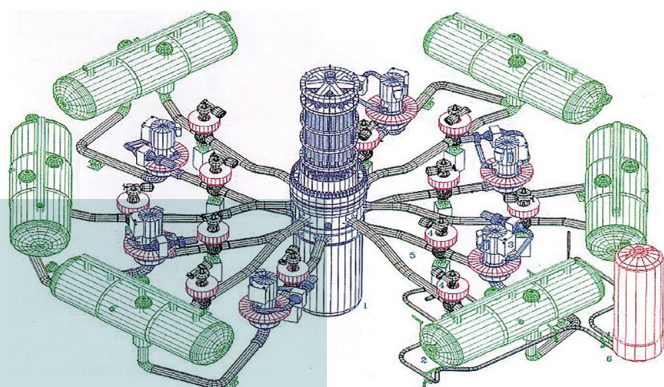
### AKTUÁLNY STAV A POSTUP PRÁČ NA JEDNOTLIVÝCH BLOKCH

3. blok je vo fáze prípravy na zavedenie paliva, t.j. po ukončení etapových programov neaktívnych skúšok ako sú studená hydroskúška, malá revízia, horúca hydroskúška a rozšírená revízia. Rovnako boli ukončené všetky plánované predprevádzkové kontroly, ktorých výsledky boli následne potvrdené Materiálovou komisiou a umožnili vytvoriť podmienky na zavedenie paliva.

#### STUDENÁ HYDROSKÚŠKA

Studená hydroskúška je jednou z najdôležitejších častí procesu uvádzania elektrárne do prevádzky. Začala sa 16. júla 2018 a trvala 38 dní. Hlavným cieľom studenej hydroskúšky bolo preukázať tesnosť systémov a zariadení elektrárne, ako sú tlakové nádoby, potrubia a ventily jadrového aj konvenčného ostrova a prečistiť hlavné cirkulačné potrubia.

Primárny okruh bol pri skúške natlakovaný až na 13,7 MPa (čo je viac ako 111 % prevádzkového tlaku) a zahriaty na 120 °C. Následne boli odkúšané parogenerátory zo sekundárnej strany a potrubia napájajúcej vody a ostrej pary na tlak až 7,65 MPa (166 % prevádzkového tlaku).



Obr. 4: Primárny okruh |

Počas studenej hydroskúšky boli otestované všetky hlavné cirkulačné čerpadlá na primárnom okruhu, hlavné napájacie čerpadlá na sekundárnom okruhu, parogenerátory, potrubia, čerpadlá a ďalšie komponenty na primárnom aj sekundárnom okruhu, vrátane bezproblémového prevádzkovania viacerých pomocných systémov. Všetky zariadenia, ako potrubia, ventily, zvary a prírubové spoje museli byť skontrolované pri presne definovaných tlakoch. Dôležitou skúškou bola skúška tesnosti ochrannéj obálky primárneho okruhu, ktorú tvoria až 1,5 m hrubé železobetónové steny. V poslednej etape studenej hydroskúšky sa vykonáva takisto 1. kontrolná integrálna skúška tesnosti hermetického priestoru podtlakom na -5 kPa a pretlakom na 50 kPa s vyhovujúcim výsledkom.

#### HORÚCA HYDROSKÚŠKA

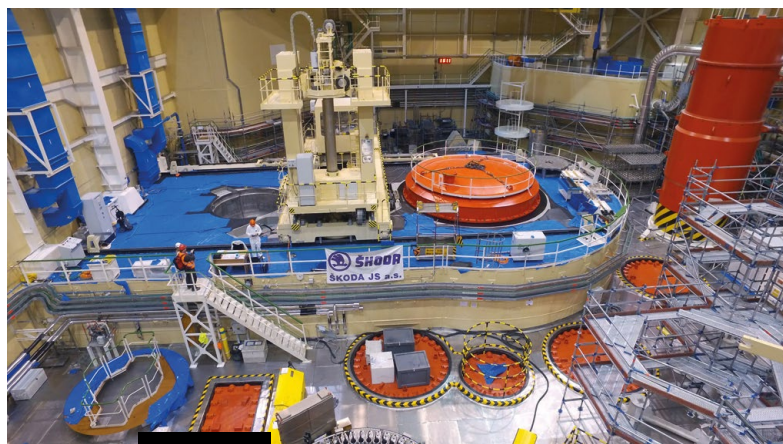
Horúca hydroskúška sa skladala z piatich podetáp, počas ktorých boli úspešne vykonané tlakové a tesnostné skúšky primárneho okruhu a reaktora pri nominálnych prevádzkových parametroch, teplote 265 °C a tlaku od 0,5 po 19,12 megapascalov (MPa), čo je jeden a pol násobok tlaku počas bežnej prevádzky bloku. Slovenské elektrárne vykonali aj funkčné skúšky zariadení primárneho okruhu a sekundárneho okruhu, skúšky bezpečnostných systémov, vzduchotechniky, elektročastí, systémov kontroly a riadenia, ako aj ďalších systémov. Preverili aj systémy a opatrenia vyplývajúce zo záťažových testov. Všetky získané údaje porovnávali s údajmi v projektovej a sprievodnej dokumentácii zariadení. Program horúcej hydroskúšky Slovenské elektrárne splnili v plnom rozsahu. Realizovali definované testy a splnili kritéria ich úspešnosti. Celý priebeh horúcej hydroskúšky sledovali inšpektori Úradu jadrového dozoru. Oproti harmonogramu trvala horúca hydroskúška o mesiac a pol dlhšie najmä z dôvodu neplánovanej falošnej aktivácie hasiaceho systému.



Obr. 5: Bloková dozorná 3. bloku |

Z činností k opakovanému nahriatiu primárneho okruhu zostáva ešte dokončiť drobné stavebné práce a dočistenie miestností v hermetickej zóne, parogenerátory sú v procese suchej konzervácie a po povolení na uvádzanie do prevádzky sa zrealizuje finálna montáž tlakovej nádoby reaktora. Opakovanie náhrevu primárneho okruhu bude trvať 3 týždne.

Slovenské elektrárne po horúcej hydroskúške úspešne vykonali aj takzvanú integrálnu skúšku pevnosti a tesnosti hermetickej zóny 3. bloku, jeden z najdôležitejších testov v procese prípravy na uvádzanie do prevádzky. Pri tomto teste sa hermetická zóna natlakovala na 150 kilopascalov (úroveň tlaku vody v hĺbke 15 metrov) a merala sa pevnosť stien a stropov na hranici hermetickej zóny a jej odolnosť voči únikom plynov. Dosiahnuté výsledky skúšky tesnosti hermetickej zóny boli dvojnásobne lepšie ako limity stanovené Úradom jadrového dozoru a sú doteraz najlepšie zo všetkých prevádzkovaných blokov typu VVER.



Obr. 6: Reaktorová sála 3. bloku |

#### MALÁ A ROZŠÍRENÁ REVÍZIA

Účelom malej a rozšírenej revízie sú predprevádzkové nedeštruktívne kontroly vybraných zariadení a čas na odstraňovanie vád a nedorobkov identifikovaných v priebehu studenej resp. horúcej hydroskúšky. Rozšírená revízia je zároveň poslednou fázou neaktívnych skúšok pred uvádzaním bloku elektrárne do prevádzky. Počas nej vykonali Slovenské elektrárne predpísané predprevádzkové kontroly všetkých dôležitých systémov a zariadení. Veľká revízia je nevyhnutným predpokladom pre začatie fyzikálneho a energetického spúšťania.

Pre zabezpečenie pripravenosti prevádzky k zavezeniu paliva je nutné zopakovať náhrev primárneho okruhu a ukončiť skúšky vzduchotechniky, ktoré boli zrealizované v hermetickej zóne a pokračujú vo vzduchotesnej zóne. Momentálne prebieha odstraňovanie vád a nedorobkov pred opakovaným náhrevom bloku, z celkového počtu 10 200 vád a nedorobkov zostáva odstrániť približne 1,5 %.

K dosiahnutiu pripravenosti bloku na zavezenie paliva v zmysle Stavebného zákona je potrebné získať povolenie na predčasné užívanie stavby. Tento proces zahŕňa inšpekciu určených stavebných objektov za účasti Úradu jadrového dozoru, Inšpektorátu práce, Úradu verejného zdravotníctva a Hasičského a záchranného zboru. Inšpekcie už boli vykonané na približne 70 % z požadovaných stavebných objektov a plán je ukončiť všetky inšpekcie do konca novembra 2019. Zároveň prebieha odstraňovanie závad zistených v priebehu inšpekcií.

4. blok sa nachádza vo fáze ukončovania montážnych prác a prípravy na odovzdanie jednotlivých systémov z etapy montáže do etapy neaktívnych skúšok. V priebehu leta sa podarilo oživiť systém kontroly riadenia, teda systému ktorý umožňuje realizáciu funkčných skúšok jednotlivých technologických systémov a ich vzájomnú spoluprácu. Momentálne bolo odovzdaných približne 10% systémov do funkčných skúšok a tie aktuálne prebiehajú na ôsmich systémoch.





K začatiu preplachov potrubí je potrebné zabezpečiť oživenie SKR (distribúovaného systému riadenia) a jeho príslušných záloh, ktoré je naplánované na november. Napriek tomuto chýbajúcemu napájaniu sa už podarilo zrealizovať časť preplachov na jadrovom ostrove, a to približne v rozsahu 38 % z dočasného napájania z 3. bloku. Avšak s preplachmi na nejadrovom ostrove sa z dôvodu vylúčenia korózie ešte nezačalo.

Následne po ukončení funkčných skúšok sa budú na 4. bloku realizovať etapové programy neaktívnych skúšok rovnako ako v prípade 3. bloku avšak v menšom rozsahu, nakoľko všetky systémy spoločné pre prevádzku oboch blokov už boli otestované v procese skúšok na 3. bloku.

#### MEDZINÁRODNÉ KONTROLY

Za posledných šesť rokov sa uskutočnilo jednásť technických podporných a expertných misií odborníkov z Svetovej asociácie jadrových prevádzkovateľov (WANO), Medzinárodnej agentúry pre atómovú energiu (MAAE) a Nezávislého poradného výboru pre jadrovú bezpečnosť (NSAC), ktorých výsledkom je súbor zistení a odporúčaní pre manažment.

#### PRE-OSART

Pred uvádzaním 3. bloku do prevádzky je naplánovaná predprevádzková misia Medzinárodnej agentúry pre atómovú energiu, tzv. Pre-OSART, ktorá sa uskutoční v novembri/decembri 2019. Súčasťou prípravy tejto misie bola prípravná návšteva v dňoch 16. 7. 2019 až 18. 7. 2019 za účasti vedúceho preverovacieho tímu a jeho zástupcu. Počas prípravnej návštevy neboli vznesené žiadne námietky proti misii. Následne sa plánuje samotná previerka v období od 18. 11. 2019 do 5. 12. 2019. Previerky sa zúčastnia experti zo 14 krajín, predmetom inšpekcie bude 11 oblastí, pravidlá vykonávania previerky sú definované štandardmi MAAE. ÚJD SR bude o jej priebehu a výsledku pravidelne informovaný. Výsledky misie budú tiež komunikované verejnosti.

#### WANO

V januári 2020 prebehne dôležitá predprevádzková partnerská previerka Svetovej asociácie jadrových prevádzkovateľov (WANO), expertov z jadrových elektrární, ktoré sú členom WANO. Spolu preveria pripravenosť personálu, zariadení a nastavených procesov ešte pred uvedením jadrového bloku do prevádzky.

Táto predprevádzková previerka má dve časti, prvou je previerka výkonnosti personálu blokovej dozorne, počas ktorej experti kontrolujú spôsob výcviku a pripravenosť personálu blokovej dozorne na prevádzku 3. bloku. Zamerajú sa na oblasť kvality predpisov, kvality simulátorového výcviku a činnosti personálu blokovej dozorne. Preveria základné kompetencie našich odborníkov, teda dôslednosť monitorovania procesov, presné riadenie, konzervatívne rozhodovanie, ale aj tímovú prácu, znalosti a profesionálne návyky. Druhá, hlavná časť previerky je plánovaná na január 2020. Počas nej príde do Mochoviec vyše 30 expertov z Francúzska, Česka, Ruska, Ukrajiny, Maďarska a ďalších krajín, ktorí preveria štrnásť oblastí, konkrétne organizáciu a riadenie, prevádzku, stav a konfiguráciu elektrárne, údržbu, riadenie prác, inžiniersku podporu, spoľahlivosť zariadení, radiačnú ochranu, prevádzkovú skúsenosť, chémiu, výcvik, tréning, požiarnu ochranu, havarijnú pripravenosť a správu o významných prevádzkových skúsenostiach.

### Ing. Peter Andraško



Slovenský jaderný expert Peter Andraško se narodil 18. března 1959 v Košicích. Vystudoval Slovenskou technickou univerzitu v Bratislavě, po níž nastoupil do jaderné elektrárny Mochovce. Od roku 1997 koordinoval dostavbu prvních dvou bloků jaderné elektrárny. Osm let stál v čele divize údržby Mochovců. Od roku 2007 je ředitelem jaderné části projektu dostavby 3. a 4. bloku jaderné elektrárny Mochovce. Peter Andraško získal v roce 2004 certifikát společnosti Deloitte k řízení projektů, je držitelem certifikátu Cambridgeské jazykové školy a v roce 1993 absolvoval jaderný trénink na Argonne National Laboratory ve Spojených státech.

# 20 let pod vlajkou PET – aneb nová kapitola nukleární medicíny v ČR

**Ing. et Ing. Jan Adam, Ph.D.**

Pozitronová emisní tomografie, nejmodernější zobrazovací technika nukleární medicíny, představuje letos v České republice 20 let své existence. Od pilotního projektu MAAE Praha v roce 1999 se metoda PET kvalitativně i kvantitativně rozvíjela a zahrnuje patnáct zobrazovacích center, současně byla vybudována spolehlivá síť výroby a distribuce radiofarmak pro tato pracoviště.

The positron emission tomography, a state-of-the-art imaging technique of nuclear medicine method marks its 20 years of existence in Czech Republic in this year. Since the pilot IAEA project of PET Centre Prague in 1999, the PET as method developed both qualitatively and quantitatively, spanning fifteen imaging centers, simultaneously with building a reliable supply network that provides fluorodeoxyglucose and other tracers to the physicians.

Rok 2019 je pro věci jaderné v ČR rokem důležitějšího výročí. Před dvaceti lety, konkrétně dne 25. srpna 1999, bylo v pražské Nemocnici Na Homolce poprvé provedeno vyšetření s pomocí metody PET, pozitronové emisní tomografie. Jednalo se o přelomový moment, a to nejen pro Českou republiku – toto datum značí první použití této metody nukleární medicíny v postkomunistické Evropě.

Neméně unikátní pak bylo i místo, kde se tak stalo. Takzvané PET Centrum Praha, pracoviště vybudované v druhé půli devadesátých let za spolupráce Nemocnice Na Homolce a tehdejšího Ústavu jaderného výzkumu Řež, a.s. (dnes ÚJV Řež, a.s.), bylo ve své výstavbě extenzivně podporováno Mezinárodní agenturou pro atomovou energii (IAEA), pro kterou

se jednalo o modelový a pilotní projekt ve středoevropském východním bloku. Úspěšná realizace projektu pak i pro další země otevřela možnosti dalšímu rozvoji metody. Centrum obsahovalo jak diagnostickou část pod patronátem nemocnice, tak část výrobní pod správou Ústavu.

Pro Ústav jaderného výzkumu Řež se na poli nukleární medicíny jednalo o počátek nové éry. Radiofarmaka měla v původním výzkumném ústavu AV ČR a posléze i v jeho následnické akciové společnosti pestrou historii, první látky pro klinické použití zde byly připraveny již v sedmdesátých letech dvacátého století. Jednalo se nicméně o látky používané pro terapeutiku, paliativu nebo pro diagnostické metody jako je scintigrafie či jednofotonová emisní tomografie (SPECT), historicky předcházející PET.

V čem tedy spočíval onen přelom? Pro nalezení odpovědi na tuto otázku je nutno začít zešíroka. Podobně jako její předchůdkyně využívá metoda PET k diagnostice ionizujícího záření. Pacientovi je nitrožilně podána látka obsahující ve své struktuře atom podléhající radioaktivní přeměně. Podaná látka se v pacientově těle hromadí na různých místech, podle své povahy. Taková místa lze pak v těle pacienta identifikovat pomocí snímání záření, které z něj vychází (s pomocí takzvaného PET skeneru, v současné době kombinovaného s výpočetní tomografií nebo magnetickou rezonancí do tzv. hybridních skenerů PET/CT nebo PET/MRI), a na základě zjištěného rozložení radiofarmaka v těle je možné vyvozovat klinické závěry. Zjednodušeně lze konstatovat, že místa, která „září“ více, než je obvyklé, jsou podezřelá. Tento



Obr. 1: Cyklotron IBA |



Obr. 2: Diagnostický PET/CT skener

princíp je ovšem společný všem diagnostickým metodám nukleární medicíny.

Pozitronová emisní tomografie oproti svým předchůdkyním poskytuje přesnější a ostřejší diagnostiku, nicméně za určitou cenu. Tou je nesmírně vysoká organizační a logistická náročnost. Radionuklidy používané pro značení PET radiofarmak mají krátké poločasy přeměny, pro nejpoužívanější fluór-18 je to pouhých 109 minut. Výroba a zacházení s takovým radiofarmakem je proto permanentní bitvou s časem – doba výroby, kontroly kvality, přepravy k pacientovi a aplikaci musí být maximálně optimalizována a ideálně zbavena všech potenciálních prostojů, a vyrobené farmakum samozřejmě nelze skladovat pro pozdější použití. Prvotním zdrojem radioaktivního nuklidu je částicový urychlovač – cyklotron, kterým musí být každé z výrobních center vybaveno, a kapacita využitelnosti vyrobeného radiofarmaka je nepřímo úměrná době transportu do místa použití. V praxi to znamená, že se PET radiofarmaka vyrábí každý den s minimálním odstupem od aplikace (případně i vícekrát), dle aktuální potřeby, a dovážet je ze zahraničí je mimo bezprostředního okolí s rozumnou dobou transportu prakticky fyzikálně vyloučeno.

PET Centrum Praha v Nemocnici Na Homolce bylo prvním svého druhu v České republice, jak částí výrobní, tak diagnostickou. Spádovou oblastí pro vyšetřování byla tehdy doslova celá republika. Později se metoda začala rozšiřovat i do dalších měst – Brno, Olomouc, Hradec Králové. Jak rostl počet pacientů a tedy i vyšetření, bylo zřejmé, že kapacita pražského výrobního centra nebude brzy dostačovat, proto ÚJV Řež vybudovalo (za příspěví dotačních fondů EU) druhé výrobní centrum při Masarykově onkologickém ústavu v Brně – PET Centrum Brno. To zahájilo provoz v roce 2008, a umožnilo jednak optimalizaci dodávek do východní části země, jednak zvýšilo spolehlivost a dostupnost metody. Perspektiva budoucího vývoje pak zavedla příčinu k výstavbě třetího centra přímo v prostorách ÚJV Řež v Husinci-Řeži u Prahy.

Jak tedy vypadá situace dnes, po dvaceti letech od prvního PET vyšetření v České republice? Aktuálně figuruje v ČR sedmáct PET/CT či PET/MRI skenerů na čtrnácti pracovištích, a minimálně dvě až tři další pracoviště jsou v plánu. Ročně se v ČR provede kolem 35 000 vyšetření pomocí metody PET – primárně u pacientů s onkologickým onemocněním, ale najdeme i aplikace jiné – například lokalizace zánětlivých ložisek v těle, diagnostiku Alzheimerovy demence, neurologických poruch (například epilepsie) a dalších. Metoda PET má v současnosti nezastupitelné místo nejen v primární diagnostice a lokalizaci nádorových onemocnění, ale také v hodnocení jejich závažnosti, vyhodnocení reakce na léčebné postupy a celkový management léčby, a přispívá tak ke zvýšení efektivity i kvality léčebné péče.

Tři centra, která provozuje ÚJV Řež v současnosti dodávají přes 90 % objemu radiofarmak pro tato vyšetření použitých – kromě nejčastěji používané látky FDG – fluorodeoxyglukosa – také fluorid sodný pro diagnostiku kostních poruch nebo fluorochoin pro diagnostiku karcinomu prostaty či nádorů příštítných tělísek. Další látky, například pro diagnostiku mozkových nádorů, jsou v plánu, kontinuálně se tak snažíme rozšiřovat nabídku dostupných PET radiofarmak pro pacienty v ČR. Cesta, která začala před dvaceti lety, tak stále pokračuje.

## Ing. et Ing. Jan Adam, Ph.D.



Vzdělání: Univerzita Pardubice, Fakulta chemicko-technologická, obory Fyzikální chemie a Ekonomika a management chemického a potravinářského průmyslu, doktorát: Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta, Biomolekulární chemie. Od roku 2007 výzkumník na Masarykově onkologickém ústavu v Brně, zaměření radiofarmaka pro pozitronovou emisní tomografii (PET), od roku 2010 ÚJV, od roku 2012 manažer výzkumu a vývoje divize Radiofarmaka ÚJV.

Zabývá se rozvojem oboru radiofarmak pro PET v ČR, strategickým rozvojem aktivit divize, zaváděním nových látek do klinické praxe a zpřístupňováním širší škály diagnostik pacientům.

# Normalizace odchylky

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

### (1. část)

**Mgr. Marek Bozenhard**

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 nejučinněji 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.

Ve čtyřech po sobě jdoucích číslech časopisu se seznámíte s problematikou, která ovlivňuje lidský život každý den. Ovlivňuje chování, jednání, rozhodování, vnímání rizika, může mít tedy vliv i na jadernou bezpečnost a zabezpečení, radiační ochranu a technickou bezpečnost, což se již v minulosti stalo. Pokusím se vysvětlit důvody, proč se může měnit lidské chování zejména ve větších korporacích, ale i v občanské společnosti a běžném životě, u skupin lidí s podobnými cíli a podobnou motivací, i u politiků. Dále v následujících číslech časopisu uvedu několik příkladů událostí, které byly způsobeny „normalizací odchylky“.

Z hlediska bezpečnosti jde o alarmující stav, který po čase nemusí být vůbec odhalitelný z pohledu organizace a jedince, který je součástí této organizace. A především – bývá velmi obtížně odstranitelný.

Pojem „normalizace odchylky“ (normalization of deviance) použila americká socioložka Di-

ane Vaughan, která se zabývala tématy jako „napětí v soukromém životě“ a „odchylky v organizacích“. Uvádí, že běžná rutinní neshoda, chyby a katastrofa jsou systematicky vytvářeny propojením prostředí, organizací, poznáním a výběrem. Tyto vzorce zesilují to, co je známo o sociální struktuře a mají důsledky pro teorii, výzkum a politiku. Jednou z teorií Diane

Vaughan týkajících se pochybení ve velkých organizacích je normalizace odchylky.

Pokud máme pochopit význam sousloví „normalizace odchylky“, je nutné si uvědomit význam jednotlivých slov.

„Odchylka“ je jednání nebo chování, které porušuje normy nebo formálně přijatá pravidla. „Norma“ je potřeba nebo očekávání, které je stanoveno, obecně se předpokládá nebo je závazné. „Skupinové normy“ se pak liší od kultury ke kultuře. Například v jedné společnosti, která porušuje společenskou normu, může být spáchán deviantní akt, který může být normální pro jinou společnost. Příkladem může být podání ruky či dresscode. Poté existují „skupinové normy chování“, což jsou nepsaná pravidla/zásady chování v určitých situacích, které skupina jako celek akceptuje. Nejedná se o formální normy stanovené organizací, ale o neformální pravidla chování, která členové sdílejí, jejichž dodržování je ve skupině „odměňováno“ a nedodržování „trestáno“. Zde již může docházet k porušování psaných norem „vůdčí osobností“, která v tomto smyslu působí na své okolí. Nutno zmínit, že vůdčí osobností vůbec nemusí být nadřízený pracovník, může to být kdokoli, kdo dokáže ovlivňovat kulturu ve skupině. Odměny či sankce mají především citový charakter – k těm, kteří normy dodržují, se ostatní členové organizace chovají vstřícně a přátelsky. Chtějí-li tedy být členové určité kultury či subkultury ostatními akceptováni, mají tendenci chovat se v souladu s nepsanými normami chování, které jsou ve skupině přijaty.

Odchylku jako porušení normy charakterizovali sociologové jako jakoukoli myšlenku, pocit nebo činnost, kterou členové konkrétní společnosti porušují své hodnoty a postoje.

V tuto chvíli je nutné si uvědomit, jaké existují syndromy, vedoucí k odchýlenému chování:

**POCIT, ŽE PRAVIDLA JSOU HLOUPÁ A NEÚČINNÁ!**

Čím je složitější systém, tím zpravidla existuje více pravidel, ať již formálních či neformálních. Do složitých systémů je zapojeno velké

množství rozličných osob s různými osobními charakteristikami, existují složité organizační struktury a vazby.

Při oslabené kultuře bezpečnosti a nedostatečném povědomí o zranitelnosti dochází ve složitých systémech/organizacích k posunu ve vnímání rizik. Individuální vnímání se posouvá k vnímání kolektivnímu, které má svá vlastní specifika a bude uvedeno dále.

U psaných pravidel dochází k používání trpných rodů, odpovědnosti nejsou konkretizovány, pravidla a jejich výklad se stává postupně složitější, některá pravidla, činnosti a procesy mohou začít být protichůdné.

Ve chvíli, kdy dochází k nepochopení smyslu a cíle pravidla jednotlivci, mohou být tato pravidla těmito jednotlivci vnímána jako hloupá. Pokud v organizaci tento názor sdílí jediný člověk, nepředstavuje velké riziko. V případě, že jde o mínění většího množství osob, jsou „postiženy“ celé útvary a vzniká stav, který může být pro budoucnost organizace velmi nebezpečný. Nereagování na tento stav vede postupně k systematickému porušování, ohýbání a zjednodušování pravidel až do chvíle, kdy již nikdo nepocituje, že se chová odchýleně. Dochází k postupnému normalizování odchylky, tedy společnost (nebo její část) přechází do nového stavu, který však již není postaven na původních hodnotách a postojích. Neřízeně se vytvořily hodnoty nové a těm odpovídají i nové postoje. Další normalizace může probíhat i formou úpravy vlastní dokumentace obsahující nová pravidla společnosti, její postoje a strategie.

V tuto chvíli je již prakticky nemožné normalizovanou odchylku zevnitř organizace odhalit, jde jen o čekání na fatální selhání systému či nehodu. Odchylku může vidět pouze vnější pozorovatel, který je dostatečně odborně kvalifikovaný a identifikuje rozdíl v tom, „jak by se to mělo dělat“ a „jak se to dělá“.

**NA MĚ SE PRAVIDLA NEVZTAHUJÍ, MŮŽETE MI VĚŘIT!**

Vytváření „slepé“ důvěry – tento problém může vytvářet řada jednotlivců nebo i jen je-

den dominantní jedinec, který je pro společnost „důvěryhodný“ a je ukazován jako příklad, vzor nebo osoba, kterou je vhodné následovat, a který formálně nedodrжуje pravidla. To vede k domněnce, že na určité osoby, jsou-li „vzorem“, se pravidla nevztahují. Z hlediska firemní, organizační či bezpečnostní kultury jde o velmi nebezpečný syndrom.

Je nutné zdůraznit, že odchylka nemusí být nutně záporná ve vztahu k bezpečnosti či kultuře.

Mohou existovat jednotlivé případy, kdy nedodržení formálních, ale i neformálních pravidel vede k lepším výsledkům. Může tak být např. odhaleno nesprávně nastavené pravidlo. V těchto případech je však nutné pravidlo změnit (například zpřísnit). Dlouhodobě odchýlné chování je nežádoucí, byť by mělo jít o pozitivní deviaci.

#### LIDÉ SE BOJÍ MLUVIT / BOJÍ SE ZEPTAT

Jedná se o další z problémů, který dokáže vyvolat odchylku. Analyzujeme následující reálný příklad ze zdravotnictví – předesílám, že jméno primáře není s ohledem na GDPR skutečné:

*Primář Novák často píše nečitelně a je urážlivý, když se ho kdokoli dotazuje, co vlastně napsal. Je ale vynikající odborník. Takže než se ho ptát, je lepší zkusit rozluštit jeho rukopis pomocí více sester nebo se zeptat nějakého medika na stáži, co asi tak pan primář zamýšlel.*

Hlavní odchylkou (příčinou) je fakt, že Dr. Novák píše nečitelně; to, co následuje, jsou další odchýlená jednání – generování dalších odchylek, které mohou vyústit až ve fatální dopady.

Dalšími příčinami odchylek mohou být strach z odvetných opatření, nezáměr na konfrontaci, přesvědčení, že to není „moje práce“ nebo nízká důvěra, že komunikace něco vyřeší. Odchýlné jednání zpravidla časem vede k „odchýlně normalizovanému“ přesvědčení, že otevřenost si mohou lidé jen uškodit a může vyústit až ve fatální selhání. Ve zdravotnictví

může dojít ke špatné diagnóze, medikaci, změnění testů, chybám u operací, vše ze zmíněného může mít osudové dopady pro jednotlivce nebo více jedinců, přičemž v případě chemického, leteckého či jaderného průmyslu mohou být důsledky nedozírné.

Pokud se lidé bojí na odchylku upozornit, je téměř jisté, že se odchylka postupně prohloubí a stane se tak na dlouhý čas novou „odchýlenou“ normou, tedy normalizovanou odchylkou.

#### LEADERSHIP – ŘEDĚNÍ PROBLÉMŮ

Příčinou řady odchylek je snaha (zpravidla managementu) prezentovat výsledky společností/útvárů tak, aby byly vždy veskrze pozitivní. Důraz je tedy kladen na skutečnosti (mnohdy i uměle vytvořené), které se vyzdvihují jako pozitivní a skutečnosti negativní jsou „ředěny“ na koncentraci „přijatelnou“, která neodráží skutečný stav a jejíž míra je závislá jen na osobě konkrétního manažera.

Pro analýzu uvádím příklad z komunikace vrcholného managementu jedné velké americké společnosti:

*V loňské zprávě pro představenstvo bylo vy-píchnuto šest pozitiv a tři negativa. Ve zprávě jsme zároveň vyhlásili otevřený boj s negativy. Letošní zpráva tak musí být lepší než ta loňská, ale nejhůře stejná, co se týče negativních zjištění; pokud by to tak nemělo vycházet, musíme negativa sdružovat či opsat jiným způsobem.*

Tato normalizovaná odchylka je velmi rozšířená, protože je široce podporována akcionáři, politiky a většinou veřejnosti. Smyslem tohoto odchýlného jednání je nárůst hodnoty společnosti, podpora veřejnosti, přízeň politiků – manažerů zároveň stoupají (falešně) na své ceně... Jde o domnělý celospolečenský přínos, dopad do kultury organizace však může být (a zpravidla bývá) opět fatální.

Minimálně někteří zaměstnanci vědí nebo tuší, co společnost trápí a dost často to bývají právě ti, kteří se snaží o pozitivní změny. Zmíněné „ředění“ problémů je často příčinou je-

jich demotivace cokoli v organizaci dále měnit.

Další mohou přijmout za normální fakt, že stavění „Potěmkinových vesnic“ není něco, co by odporovalo jakémusi všeobecnému názoru či postoji. Kdo jiný než management by měl znát důvody, proč jedná odchylně?

Přední americký vědec Marc Gerstein (MIT) uvedl v knize „Flirting by disaster“ své přesvědčení, že:

*Pro organizace, které jsou pod tlakem na výkonnost, může být prezentace spolehlivých a nefiltrovaných informací prostřednictvím vedení nemožná.*

#### SYNDROM SKUPINOVÉHO MYŠLENÍ (GROUPTHINK)

Podle profesora Irvinga Janise, předního amerického sociálního psychologa je „groupthink“ způsob myšlení, kterému lidé propadnou, jsou-li členy vysoce soudržné skupiny, v níž snaha po dosažení jednomyslnosti zvítězí nad motivací k věcnému hodnocení možnosti jednat jinak.

Jinými slovy jde o způsob myšlení jednotlivců, kteří usilují o zachování shody ve skupině za každou cenu. Skupinové myšlení v zájmu shody skupiny potlačuje nezávislost rozhodování jedince a jeho samostatnost, dochází k tlaku na uniformitu a sebecenzuru. Soudržnost a solidarita ve skupině se stává důležitější než reálné zvažování faktů. „Groupthink“ může způsobit, že skupina (typicky výbor nebo velká organizace) učiní špatná nebo nerozumná rozhodnutí, o kterých by každý člen mohl individuálně usoudit, že nejsou moudrá.

Jaké jsou možné příčiny:

- Vysoký stres, vnější hrozby a nízká naděje na lepší řešení, než nabídl vůdce. Opět zdůrazňují, že vůdce nemusí být nutně vedoucí pracovník, ale jde o člověka, který je ve skupině dominantní.
- Vysoká skupinová soudržnost. Pokud je skupina jednotná, může být „groupthink“ snadno dosažen touto jednotností.
- Přesvědčivá síla vůdce skupiny. Čím je vůdce silnější/přesvědčivější, tím význam-

něji působí na skupinu. Historie zná celou řadu takových lídrů.

- Izolace skupiny od informací zvnějšku. Tento bod je velmi důležitý – aby skupina dokázala nesprávně vnímat rizika a činit nesprávná rozhodnutí, je vhodné, aby přestala vnímat okolní svět a realitu. Informace, s kterými skupina disponuje, je z hlediska „groupthink“ nevhodné rozšiřovat. Rozhodnutí musí být zdánlivě jednoduché a snadno zdůvodnitelné. Jakékoli vnější informace nejsou z tohoto hlediska přínosné.
- Skupina je pod tlakem, protože k rozhodnutí je třeba dojít rychle. Pokud nastane tato realita, je zřejmé, že musí být rozhodováno z minima alternativ. Dochází k rozhodnutí ad-hoc, nezvažují se další možné varianty. Tento bod je příznačný pro jakákoli kritická a rychlá rozhodnutí, nicméně ho nelze brát jako něco, co je vyloženě chybné či špatné v dané chvíli. (krizové rozhodování).

Je vhodné zdůraznit i symptomy skupinového myšlení:

Vzniká iluze nezranitelnosti, tedy stav, kdy skupina nevnímá nebo si nepřipouští rizika. Ta jsou potlačena z mnoha důvodů. Jedním z nich je např. přídavný stres, který vzniká při výběru vhodného řešení a obecný strach z daného rizika.

Nepochybná víra ve vlastní morálku skupiny – zpravidla vůdčí pracovník vyhodnocuje jednotu a morálku a nehodnotí alternativy, pokud nenarazí na aktivní odpor.

Racionalizace, kolektivní odůvodnění rozhodnutí skupiny – i zmíněné nesprávné rozhodnutí je „racionálně“ zdůvodněno. Pokud je rozhodnutí provedeno rychle a je odůvodněno, znamená to minimum šancí jej oponovat. Sdílené stereotypy a pohledy zvláště na oponenty, vnímání oponenta jako slabého, neschopného – pokud jsou aktivní oponenti rozhodnutí v menšině, dochází k degradaci jejich názorů i samotných oponentů.

Autocenzura; členové eliminují kritiku – pokud dojde k degradaci oponentních názorů, jsou tito oponenti zcela ignorováni, nedochá-



zí k posunu výstupu/rozhodnutí ke kompromisní variantě a kritici jsou cenzurováni v plném spektru. Na „disidenty“ je činěn nátlak, aby se přizpůsobili.

Iluze jednomyslnosti (falešná shoda) – jde o stav, kdy z mnoha rozličných důvodů nikdo nezpochybňuje řešení, které nabídl vůdce. Zde je nutné poznamenat, že se rozhoduje mezi silou „vůdce“ a angažovaností ostatních. Samozvaní členové chrání skupinu před negativními informacemi.

Uvedl jsem nejčastější syndromy, které vedou k odchylkám a mohou dospět až do normalizace odchylky. Pokud chceme začít normalizované odchylky v systémech vyhledávat, je nutné znát jejich příčiny a projevy. Jsme-li úspěšní, dokážeme odchylku pojmenovat, určit její příčiny a navrhnout nápravu. Ta však

bývá zpravidla velmi náročná, neboť normalizovaná odchylka je velmi často spjata s kulturou celé organizace nebo její části, pokud v organizaci existují subkultury. Jak tedy odstraňovat normalizované odchylky? Musí se pracovat s kulturou celé organizace.

Naprosto zásadní pro omezování normalizace odchylek jsou kroky managementu. Vedoucí pracovníci musí požadovat, aby zaměstnanci důsledně dbali například na bezpečnost, pokud jde o organizaci, která pracuje s rizikem. Bohužel, tento požadavek je snadno deklarovatelný ve veřejné rétorice organizace, avšak v praxi může být zcela ignorován. Zvýrazněné nápisy „Bezpečnost na prvním místě“ na každé nástěnce bezpečnost automaticky nezajistí. Vedoucí pracovníci tak musí jít každodenně sami příkladem, musí si uvědomovat své kroky a důvody, proč nepoužívat odchyleného



jednání. Namátkově musí prověřovat jednotlivé činnosti a při odhalení odchýleného jednání o něm musí v rámci organizace otevřeně komunikovat a snažit se zajistit nápravu. Naopak správný postup musí umět náležitě a veřejně ocenit.

Nezávislé audity/kontroly mohou být účinné jen v těch případech, kdy auditoři dokonale znají potenciální rizika procesů, činností, postupů a chování a jsou si vědomi zranitelnosti organizace. Auditoři/kontroloři sami musí znát pravidla, která mají být dodržována a ta porovnávat s předpisy platnými ve vyšetřované organizaci.

Vedoucí musí umět naslouchat zaměstnancům (zvláště nově příchozím) a vyhodnotit jejich sdělení, které nesmí podceňovat.

Zcela obecně platí, že proaktivní správný přístup a otevřená komunikace může normalizované odchylky odhalit/narušit.

Všichni musí být znalí potenciálních rizik a mít povědomí o zranitelnosti. O odchýleném jednání musí být vedena intenzivní diskuse a musí se provádět rázné kroky k odstranění odchýleného jednání dříve, než dosáhnou normalizace.

Nutno si uvědomit skutečnost, že se odchylky ve většině prostředí vyskytují. Vždy tomu tak bylo, a i v budoucnu bude. Člověk a jeho mozek nefunguje jako vačkový automat, neboť při svém rozhodování vždy zvažuje alternativy. Ti, kteří jednájí odchýleně, velmi zřídka zamýšlejí škody, spíše se snaží dosáhnout vyšší efektivity a zajistit lepší výsledky sobě i organizaci. Nicméně na pracovištích pracujících s rizikem je vždy nutné u odchylek zvýšit pozornost a na odchylky reagovat.

Odchylky musí být identifikovány, vyšetřovány a zastavovány, nebezpečné odchylky nesmí být tolerovány.

**Pracovat s odchylkou je jako hrát ruskou ruletu. Po každém stisku spouště, kdy nedojde**

**k výstřelu, dochází k úlevě. Se stoupajícím počtem stisků spouště se napětí uvolňuje, začínají se vytvářet pochybnosti, jestli je vůbec v bubínku pistole náboj, ty eskalují v přesvědčení, že zbraň není nabita, tedy ani odchylka neexistuje. Ve složitých systémech je to však hraní ruské rulety se zbraní, která má v bubínku neznámý počet nábojů...**

Tolik na úvod do problematiky. V příštích číslech časopisu se dozvíte více o událostech, které mají jako hlavní příčinu „normalizaci odchylky“. Půjde o ztroskotání velké výletní lodě, loupež uměleckých děl s astronomickou škodou, havárii raketoplánu a kazu svary, která jadernou komunitu zaměstnává od roku 2015.

## **Mgr. Marek Bozenhard**



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.

# Historie a současnost jaderného vzdělávání na Západočeské univerzitě v Plzni

**Ing. Jan Zdebor, CSc.**

V článku je stručně popsána historie a současnost jaderného vzdělávání na Západočeské univerzitě v Plzni. Počátky jaderného vzdělávání na bývalé Vysoké škole strojní a elektrotechnické jsou spojené s osvojováním jaderné technologie ve Škodovce. Připomíná významnou roli zakladatele oboru prof. Josefa Bečváře a další osobnosti československé a české jaderné energetiky. Současné jaderné vzdělávání na Západočeské univerzitě je rovněž spojeno s významnými průmyslovými partnery. V ČR zejména s firmou ŠKODA JS a provozovatelem českých jaderných elektráren – společností ČEZ. Článek připomíná i významnou mezinárodní spolupráci při výchově nové generace jaderných odborníků s ukrajinskou společností NAEK Energoatom.

The article briefly describes the history and present of nuclear education at the University of West Bohemia in Pilsen. The origins of nuclear education at the former University of Mechanical and electrical engineering are associated with the acquisition of nuclear technology in Škoda. It recalls the important role of the founder of the branch of Prof. Josef Bečvář and other personalities of Czechoslovak and Czech nuclear energy. Current nuclear education at the University of West Bohemia is also linked to significant industrial partners. In the Czech Republic, especially with ŠKODA JS and the operator of Czech nuclear plants – ČEZ company and also recalls the important international cooperation in the education of a new generation of nuclear specialists with Ukrainian company NAEK Energoatom.

Západočeská univerzita (ZČU), která v tomto roce slaví 70 let od začátku vysokého technického školství v Plzni, patří mezi několik českých vysokých škol, které vzdělávají nové odborníky pro jadernou energetiku od samého počátku osvojování JE v ČR. Výuka energetiky se rozběhla na plzeňské vysoké technické škole v roce 1952, tedy již dva roky po jejím založení a tři roky po zahájení výuky v Plzni.

Samostatný studijní obor Stavba jaderných energetických zařízení, zaměřený na jadernou energetiku, byl otevřen v roce 1963. Výuku odborných předmětů vedli především přední odborníci ze závodu Škoda Jaderné strojírenství sídlícího v Plzni, kteří se v té době podíleli na přípravě a realizaci projektu první čs. jaderné elektrárny A1. Pro zajištění experimentálních prací při vývoji JE A1 a pro přípravu spouštěcích prací byl v podniku ŠKODA vyprojektován, vyroben a uveden do provozu druhý československý výzkumný reaktor, ale první vlastní konstrukce ŠKODA, používající sovětské palivo ŽK-10. Po zapojení do řady experimentálních prací v programu VVER byl reaktor rekonstruován na sovětské palivo IPT-M a přejmenován na „ŠR-0“. Na reaktoru, který byl v Plzni v provozu od svého spuštění v r. 1970 do odstavení a likvidace v r. 1992 vyrostla řada předních československých ja-

derných odborníků, kteří se podíleli na výuce nové generace jaderníků. Mezi prvními Škodováky, kteří se podíleli na výuce byli Ing. Josef Kott, CSc., který později již jako profesor vedl Katedru energetických strojů a zařízení (KKE), Ing. Karel Wagner, CSc., který byl kromě jiného posledním předsedou Československé komise pro atomovou energii a další. V roce 1975 posílil KKE ještě Ing. Jan Němec, který po studiích v bývalém SSSR byl jeden rok zaměstnán ve Spojeném ústavu jaderných výzkumů v Dubně (SSSR).

S počátky výuky jaderných oborů v Plzni je spojena osoba profesora Josefa Bečváře (1900-1969), doyena jaderné energetiky v Československu a jaderného vzdělávání v Plzni. Původně pracoval v konstrukčním oddělení parních turbín v tehdejších Škodových závodech v Plzni, ale krátce po založení

Obr. 1: Zleva – prof. Ing. Josef Bečvář, Ing. Josef Hauer (zakladatel „jádra“ ve Škodovce a první ředitel ŠKODA JS) a Ing. Karel Wagner, CSc.



vysoké technické školy v Plzni, přešel do akademické sféry. V roce 1955 se jako československý delegát zúčastnil 1. celosvětové konference o jaderné energii v Ženevě. V roce 1957 se stal vedoucím Katedry stavby turbín a tepelné techniky (později KKE), kterou vedl až do své smrti v roce 1969. Založil zde pro studenty jaderně energetické zaměření, včetně postgraduálních kurzů. Kromě pedagogické činnosti, která měla nepostradatelný význam pro naši jadernou energetiku, významně zasahoval i do podoby technického řešení první československé jaderné elektrárny A1.

Z blízkosti podniků jaderného strojírenství těží ZČU dodnes a je tak jedinečná významnou účastí odborníků z praxe ve výuce. Studenti navazujícího magisterského studia absolvují stáže, praxe a trainee programy u průmyslových partnerů, během kterých řeší reálné projekty z praxe. Mezi nejvýznamnější partnery ZČU v jaderném oboru patří firmy ŠKODA JS a.s., DOOSAN ŠKODA POWER s.r.o., ZAT a.s. a ČEZ, a. s. Kromě partnerů z průmyslových podniků se dnes na výuce podílí i významní odborníci, kteří své zkušenosti získávali na všech českých a slovenských jader-

ných elektrárnách. Za všechny je možné uvést doc. Ing. Františka Hezoučkého, Ph.D.

Dnes se výuka jaderných oborů na ZČU dělí mezi Katedru energetických zdrojů a zařízení (KKE) na Fakultě strojní a Katedru elektroenergetiky a ekologie (KEE) na Fakultě elektrotechnické. Na výuce se podílí také Fakulta aplikovaných věd. Výuka je orientována jak teoreticky, tak i na potřeby českého výzkumu, výroby a provozu jaderně energetických zařízení. Studenti jsou vzděláváni jak v oblasti matematiky, fyziky, reaktorové fyziky, tak i v oblasti reaktorových technologií, elektrotechniky a dalších. ZČU je nedílnou součástí sdružení Czech Nuclear Educational Network (CENEN), které propojuje jednotlivé vysoké školy vyučující jaderné obory a podniky z praxe v ČR a také členem ENEN v rámci EU.

Pod hlavičkou ZČU vzniklo strategické konsorcium Centrum pokročilých jaderných technologií (CANUT), které spojuje mezinárodně uznávané výzkumné instituce a průmyslové podniky s dlouhou historickou tradicí. Jedná se o komplexně pojatý dlouhodobý výzkumný záměr v oblasti jaderných technologií pro

Obr. 2: Jaderné dny 2018, část expozice



stávající i nová jaderná zařízení. Zabývá se například inovací jaderných palivových cyklů, systémů kontroly a řízení, vývojem obalových souborů pro dlouhodobé skladování vyhořelého jaderného paliva, vývojem manipulátorů pro kontrolu tlakové nádoby a zřízení primárního okruhu, zvyšováním účinnosti a bezpečnosti jaderných zařízení a dalším. Výzkum je podporován z prostředků Technologické agentury České republiky a do řešení jednotlivých projektů jsou zapojeni také studenti ZČU.

Rozvoj výuky jaderných oborů na ZČU je v posledních letech podporován pravidelnou účastí studentů na letních jaderných školách, pořádaných firmou ČEZ a také na letní škole jaderného inženýrství, kterou každoročně pořádá CENEN. Výbornou spoluprací při vzdělávání budoucích odborníků pro JE se podařilo navázat s ukrajinskou státní společností NAEK Energoatom, která je provozovatelem všech ukrajinských jaderných elektráren. Studenti ZČU se od roku 2016 pravidelně účastní letní jaderné školy na jedné z ukrajinských jaderných elektráren, kterou NAEK Energoatom pořádá. Účast našich studentů na Ukrajině umožňuje smlouva o spolupráci při výchově odborníků pro JE, uzavřená mezi NAEK Energoatom a ZČU.

Na popularizaci mírového využívání jaderné energie a podpoře výuky jaderných oborů se významně podílí i akce, nazvaná Jaderné dny. Ta je pod záštitou rektora ZČU pravidelně pořádána v prostorách Fakulty strojní



Obr. 3: Studentky ZČU na Letní škole na Rovenské JE na Ukrajině v roce 2019

s významnou podporou firmy ŠKODA JS a dalších českých i zahraničních firem a je doprovázena řadou odborných celostátních i mezinárodních seminářů a přednášek. Pravidelnou součástí Jaderných dnů jsou rovněž odborné přednášky pro studenty středních škol. Od zahájení letošního akademického roku jsou pro studenty a za pomoci studentů na KKE po několikaleté přestávce opět vydávány Týdenní zprávy z jaderné energetiky, které pravidelně přináší informace o novinkách v oboru pro studenty i zaměstnance ZČU.

## Ing. Jan Zdebor, CSc.



V r. 1975 ukončil studium Vysoké školy strojní a elektrotechnické v Plzni, obor Stavba jaderných zařízení. Po nástupu do koncernu ŠKODA pracoval jako konstruktér a později vedoucí Vývoje a Konstrukce, kde vedl vývoj nových generací mechanismů řídicích tyčí JR pro reaktory VVER-1000 i VVER-440 a jejich realizaci zejména na ukrajinských JE. V letech 2008 až 2012 pracoval jako technický ředitel společnosti ŠKODA JS a.s. Po odchodu do penze působí dosud jako technický poradce generálního ředitele ŠKODA JS a.s. Je spoluautorem řady vynálezů a průmyslových vzorů. Publikoval desítky odborných článků na mnoha mezinárodních konferencích a v odborných časopisech.

Na Západočeské univerzitě je členem vědecké rady Fakulty elektrotechnické ZČU a vědecké rady Technologického centra ZČU a proděkanem pro spolupráci s praxí Fakulty strojní, kde přednáší. Přednáší také na FS ČVUT v Praze.

Je členem redakční rady časopisu Jaderná energie/Jadrová energia a časopisu All for Power. Je rovněž členem Inženýrské akademie ČR, členem České nukleární společnosti a spolku Jaderní veteráni ČR.

# Z knihy „Vznik a historie státního dozoru nad jadernou bezpečností“ 1. 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)“, kterou vydala v roce 2012 Česká nukleární společnost ve Vydavatelství a nakladatelství Zsolt Staník vám budeme přinášet některé vzpomínky na začátky tohoto mladého, ale dynamicky se rozvíjejícího odvětví.

*Návrh napsat knížku paměti o vzniku a historii dozoru nad jadernou bezpečností u nás vznikl při pravidelné předvánoční schůzce bývalých pracovníků úseku hlavního inspektora Československé komise pro atomovou energii (ČSKAE). Všichni, kteří v tomto útvaru v období 1970-1992 pracovali, jej považují za jedno z nejzajímavějších období v jejich pracovním životě.*

*Volba, kdo by měl paměti napsat, padla na mne. Byl jsem na ČSKAE od roku 1970 a prožil zde celé období budování dozoru, v posledním období ve funkci hlavního inspektora.*

*Protože od počátku popisovaného období uplynulo již více než 40 let, musel jsem se zpočátku při psaní spoléhat hlavně na svoji paměť a konzultovat vzpomínky se svým dlouhodobým šéfem Jirkou Beránkem a také s mým nejbližším kolegou Mirkem Hrehorem. S postupujícím časem bylo možné se při psaní opřít o různé dokumenty z té doby (předpisy, usnesení vlády, dokumenty*

*MAAE apod.). Od roku 1984 jsem využil roční zprávy ČSKAE o výkonu státního dozoru nad jadernou bezpečností. Lze proto říci, že se knížka zakládá v maximální možné míře na faktech.*

*V šedi socialismu a za trvajících izolace od ostatního světa v oblasti jaderné bezpečnosti jsme měli možnost v popisovaném období vytvářet základy jaderné bezpečnosti a jejího kontrolního režimu.*

*To znamenalo v pravém slova smyslu boj s protichůdnými zájmy resortu energetiky, ale i s malou podporou a nepochopením v mateřské organizaci ČSKAE, které bylo nutno překonávat. Neexistovala ani podpora politická, neboť dozor nad jadernou bezpečností nepřicházel současně s technologií země dodavatele – Sovětského svazu.*

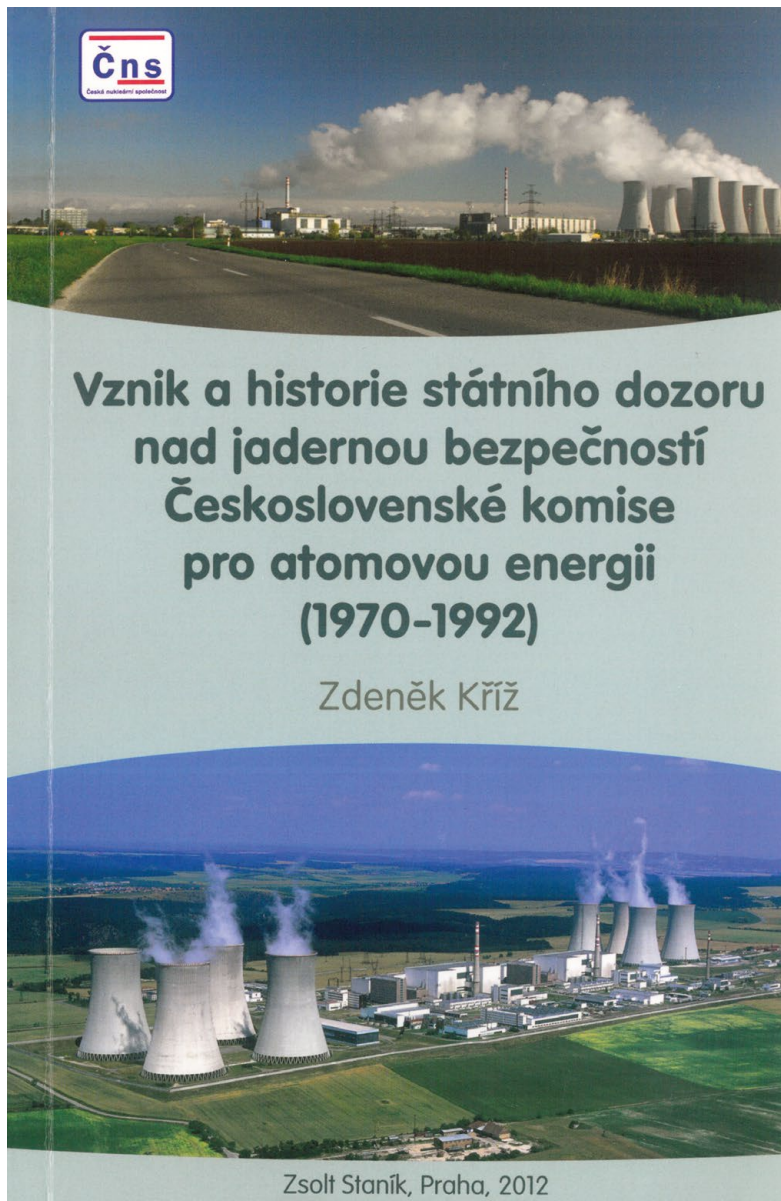
*Od počátku všichni pevně věřili, že naše myšlenky prosadíme. Ke správnému a účinnému postupu bylo třeba mnoho otevřených a náročných diskusí, které se na domácí půdě*

odehrávaly téměř permanentně v místnosti č. 408 v budově ve Slezské ulici č. 9 na pražských Vinohradech.

Pochopili jsme, že pro prosazení jaderné bezpečnosti bude důležitá legislativa. Měli jsme i trochu štěstí, ale to přeje připraveným. První „zářezy“ do legislativy se nám podařilo udělat již ve druhé polovině 70. let, mnohem dříve než našim partnerům ze zemí, které jako my provozovaly reaktory VVER. Pak přišly dva významné milníky: vydání zákona č. 28 o státním dozoru nad jadernou bezpečností v roce 1984 a havárie v Černobylu v roce 1986.

Havárie v Černobylu dále urychlila náš postup, neboť všichni včetně mocných v našem státě byli konfrontováni s tragickou realitou a obavami běžných občanů. Této situace jsme využili ve prospěch jaderné bezpečnosti a posílení naší vlastní pozice v usnesení vlády č. 309. Svoji připravenost prosazovat, ale i hájit jadernou bezpečnost jsme museli brzo prokázat. Po listopadu 1989, kdy došlo k politickému uvolnění a demokratizaci naší společnosti, jsme jako nezávislý státní orgán museli reagovat na útoky oponentů jaderné energetiky hlavně z Rakouska. Naše odborná jaderná komunita se těmto kritikám postavila technickými argumenty. Reakcí na tuto kritiku bylo provedení komplexního hodnocení bezpečnosti jaderné elektrárny V-1 v Jaslovských Bohunicích na počátku 90. let a návrhy na zvýšení její bezpečnosti.

S rozpadem federace bylo nutné federální dozor rozdělit na dva nové národní orgány dozoru v ČR a v SR. Byl to unikátní proces, kterého jsme se zhostili se ctí. Nově vzniklé orgány dozoru měly rozhodně na co ve své činnosti navázat. Oba předsedové nových národních dozorů – Ján Štuller (SÚJB) a Jozef Mišák (ÚJD) – to bezesporu ocenili. Koncem roku 1992 toto vzpomínání končí. Nelze vyložit, že někteří čtenáři nebudou se všemi závěry a komentáři v knížce plně souhlasit. To je přirozené, protože jaderná bezpečnost se vyvíjela na základě střetů bezpečnostních požadavků dozoru se zájmy provozovatele. Formulace v knize reprezentují názory dozo-



ru, a tedy i moje. Kniha je určena všem, kteří mají zájem seznámit se vznikem a historií jaderného dozoru u nás.

Mojí snahou, jako autora knížky, je přiblížit čtenářům nelehké začátky jaderného dozoru u nás a množství práce a úsilí na jeho budování, které již upadají s časem do zapomnění. Snad se mi to podařilo.

#### **OBDOBÍ PŘÍPRAVY PRO VZNIK JADERNÉHO DOZORU U NÁS (1968-1976)**

S nástupem velké vlny výstavby jaderné energetických reaktorů 1. a 2. generace v 60. a zejména v 70. letech se nejen přední jaderné země, ale i MAAE začala zabývat potřebou vydávání požadavků pro oblast jaderné bezpečnosti jaderných elektráren.

V té době byla kromě toho v roce 1970 podepsána Smlouva o nešíření jaderných zbraní (Non Proliferation Treaty – NPT), ke které bývalé Československo přistoupilo. Bylo nutné urychleně začít připravovat Dohodu o uplatnění záruk mezi MAAE a ČSSR a zahájit její plnění. Smlouva NPT měla zajistit, aby se počet vlastníků jaderných zbraní k datu 1. 7. 1967 (USA, Sovětský svaz, Anglie, Francie, Čína) s rozvojem jaderné energetiky ve světě již dále nerozšiřoval. Velmoci měly totiž oprávněnou obavu, že se s rozvojem jaderné energetiky počet vlastníků jaderné zbraně může zvýšit a tím by se mohla zvýšit hrozba světové války, ve které by byly jaderné zbraně použity. Smlouva požadovala, aby se země nevlastnící jaderné zbraně zavázaly o jadernou zbraň neusilovat a souhlasily podrobit se mezinárodní kontrole ze strany MAAE.

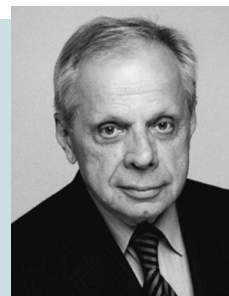
Úplné začátky jaderné bezpečnosti a dozoru nad jadernou bezpečností v bývalém Československu jsou spojeny s návratem Ing. Jiřího Beránka z MAAE v roce 1969, kde pracoval v divizi jaderné energetiky. Ing. Beránek v průběhu svého působení v MAAE

pochopil, že zajištění jaderné bezpečnosti bude nutnou podmínkou dalšího rozvoje jaderné energetiky nejen ve světě, ale i u nás. Proto navrhl po svém návratu z MAAE vedení ČSKAE vytvořit samostatné oddělení jaderné bezpečnosti a záruk (OJBZ), které by nové činnosti – kontrolu jaderné bezpečnosti a kontrolu jaderných materiálů – zajišťovalo na úrovni centrálního orgánu. Návrh byl přijat a pravděpodobně v té době nejsilnějším argumentem na zřízení tohoto útvaru byly záruky za jaderné materiály tzv. safeguards, což byl úkol spojený s plněním mezinárodního závazku ČSSR, a tedy úkol i politického charakteru. Proto v úplně prvních letech existence tohoto malého oddělení byly aktivity jaderná bezpečnost a záruky za jaderný materiál (plnění Smlouvy NPT) zhruba na stejné úrovni významu. V roce 1970 mělo v roce toto oddělení dohromady tři pracovníky (Ing. Jiří Beránek, Ing. Zdeněk Kříž, Ing. Oldřich Žoch).

## Ing. Zdeněk Kříž

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.



# Z domova i ze světa

## Dny radiační ochrany 2019

Specialisté ÚJV Řež, divize Radioaktivní odpady a vyřazování, se jako každý rok zúčastnili již 41. ročníku tradiční česko-slovenské konference Dny radiační ochrany DRO 2019. Konference se konala v týdnu od 4. do 8. 11. 2019 v Mikulově, městě vína. Za ÚJV Řež se dále zúčastnili zástupci úseku Správa a provoz a divize Radiofarmaka. Vzhledem k tomu, že několik příspěvků bylo prezentováno zahraničními účastníky (např. Mikhail Zarubin z Dubny, RF), bylo by možné konferenci začít zvat „mezinárodní“. Letošní DRO byly svou kvalitou na podobné, ne-li vyšší úrovni, než v předchozích letech – z našeho subjektivního pohledu byla vysoká kvalita přednášek i přednášejících.

Divize Radioaktivní odpady a vyřazování se prezentovala přednáškou „Sanace ekologické zátěže na překladišti RAO“, zaměřenou na dokončení likvidace radioaktivních odpadů v objektu 211/6 „Překladiště“, kde byly skladovány po několik desetiletí odpady kontaminované širokou škálou dlouhodobých radionuklidů, včetně radionuklidů emitujících záření alfa (Pu, Am, U). Vyjmutí a zpracování těchto odpadů vyžadovalo značnou dávku pozornosti a opatrnosti s náročným systémem zajištění ochrany zdraví při práci a ochrany životního prostředí. Přednášku měl Jakub Záruba, který

se likvidace zmíněných RAO účastnil jako jeden z pracovníků řídicích radiační ochranu při manipulaci s odpady.

Z ostatních přednášek bychom vyzdvihli přehledové přednášky Lucie Súpupové „Odkud přicházíme a kam jdeme – aneb krátký průlet světem radiodiagnostiky“ a Aleše Froňky „Aktuální trendy a výzvy v oblasti výzkumu ozáření od radonu a jeho produktů přeměny ve vnitřním prostředí budov a na pracovištích“ nebo zajímavou přednášku Michala Fejgla „Zavedení sítě automatických monitorovacích stanic pro stanovení umělé gama aktivity v povrchových vodách na území České republiky“.

Pro odreagování od celodenního sezení na přednáškách byl ve středu společenský večer a ve čtvrtek dopoledne volný program s prohlídkou lednického zámku. Po odpoledních přednáškách čtvrteční program vyvrcholil skvělým večerním koncertem souboru Solitutticelli Cello Ensemble z Brna a zábavným divadelním představením Návštěvní dny pod vedením Radima Možnara.

Již dnes se těšíme na shledanou při dalším ročníku, tentokráté pořádaném na Slovensku.

Karel Svoboda,  
vedoucí oddělení Měření a laboratoře,  
ÚJV Řež, a. s.

## Konference NERS 2019 – „Jaderná energie je ideální pro řešení změny klimatu“

Ve středu 6. listopadu 2019 se v Kaiserštejnském paláci na Malé Straně konal již dvánáctý ročník energetické konference NERS (Nuclear Energy Renewable Sources), kterou jako každoročně uspořádala agentura JMM.

Letošní ročník byl tematicky zaměřen na problematiku globálních klimatických změn a na to, jak jaderná energetika přispívá

ke snížení uhlíkové stopy. O jaderné energii se v současnosti znovu uvažuje jako o bezuhlíkovém zdroji energie, tematické zaměření konference proto bylo skutečně na místě.

Cíle konference definoval v zahajovacím projevu její ředitel, publicista a známý popularizátor jaderné energetiky Jiří Marek.



V první části konference, kterou moderovala emeritní ministryně životního prostředí Rut Bízková, představil náměstek ministra průmyslu a obchodu René Neděla státní energetickou koncepci rozvoje jaderné energetiky a aktuální stav jejího naplňování.

Následoval příspěvek doktorandů z českých technických univerzit (ZČU v Plzni, ČVUT v Praze, VUT Brno), který obsahoval přehled německé energetické politiky (Energiewende a odstoupení od jádra v Německu), bilanční pohled na plánovanou energetickou koncepci Německa a možné dopady do celkových energetických bilanci v Evropě. Zástupce vedoucího oddělení „Radiální ochrana a jaderná bezpečnost“ v ředitelství D (Jaderná energie, bezpečnost a ITER) GR pro energetiku Evropské komise Jan Jilek seznámil posluchače se základním přístupem EK k rozvoji jaderné energetiky. Euratom Treaty je základem pro hodnocení nových jader-

ných projektů v členských státech z hlediska bezpečnostních a dalších technických požadavků pro notifikaci.

V odpolední části programu, moderované doc. Radkem Škodou ze ZČU, pak Michal Macenauer z EGÚ Brno prezentoval různé výsledky možných modelů vývoje elektroenergetiky – Česko (a nejen Česko) bude potřebovat jaderné elektrárny, bez jádra ČR dekarbonizovat nepůjde.

V poslední části konference vystoupili zástupci jaderného průmyslu z Francie, Japonska, Jižní Koreje, Číny a Ruska (EDF, MHI, KHNP, CGN, Rosatom).

Byla to dobře připravená a provedená konference s jasně vysloveným závěrem, který zní: „Jestli to skutečně myslíme se zastavením klimatických změn vážně, bez jádra to prostě nepůjde.“

Ing. Aleš John, MBA,  
předseda redakční rady časopisu  
Jaderná energie/Jadrová energia.

## **Kongres Evropské asociace nukleární medicíny – EANM 2019 Barcelona**

Tak jako každý rok se v říjnu konal kongres Evropské asociace nukleární medicíny. Hostitelským městem byla po Vídni a Düsseldorfu opět katalánská metropole Barcelona. V tradici stále se zvyšujícího počtu účastníků letos na kongres dorazilo téměř 6 000 návštěvníků z řad lékařů, zdravotnických pracovníků a odborníků na poli produkce radiofarmak či zobrazovací techniky. Ti zde letos prezentovali formou přednášek nebo posterů více než 2 200 příspěvků. Nedílnou součástí kongresu byla také výstava společností působících v oboru – letos se jednalo celkem o 160 vystavujících firem včetně českých, či s Českou republikou spojených. Své produkty tak zde nabízeli výrobci urychlovačů, syntézních zaří-

zení, skenerů, dodavatelé vstupních surovin, poradenské firmy, dodavatelé prostředků radiální ochrany apod. Samostatný prostor byl rovněž vyhrazen prezentacím národních společností nukleární medicíny a dalších podpůrných organizací. Letos poprvé zde představila vlastní stánek také Česká společnost nukleární medicíny.

Z odborného hlediska byl letošní ročník věnován hlavně pokrokům v diagnostice rakoviny prostaty a pokrokům na poli takzvané theranostiky – přístupu využívajícího látek značených radioaktivními nuklidy se speciálními vlastnostmi, které umožňují jejich použití jak pro terapeutický, tak pro diagnostický efekt.

Ing. Patrik Špátal, MBA,  
ředitel divize Radiofarmaka, ÚJV Řež, a. s.

# Kalendář akcí

## **XXX. Seminář energetiků**

**21. 01. 2020 - 23. 01. 2020**

Hotel Harmonie, Luhačovice

Témata semináře: Zhodnocení a další vývoj energetiky ČR. Udržitelné finance a jejich budoucí vliv na energetiku. Dopad evropské legislativy na českou energetiku. Příprava nového energetického zákona...

Více informací na

[www.tot.cz/xxx-seminar-energetiku-2020](http://www.tot.cz/xxx-seminar-energetiku-2020)

## **Konference Zoom At Technology**

**04. 02. 2020 od 14.00 hodin**

On-line nebo v sídle společnosti ZAT a.s.,  
K Podlesí 541, Příbram

Druhý ročník on-line konference Zoom At Technology pořádá společnost ZAT, dodávající systémy měření a regulace vlastní konstrukce, známé pod obchodním názvem SANDRA. Konference bude rozdělena do tří témat – energetika, monitorování internetu věcí a bezpečnostní požadavky.

Více informací na

[www.zoomattechnology.com](http://www.zoomattechnology.com)

## **Konference Malé jaderné reaktory 2020**

**13. 02. 2020, 9.00 - 21.00 hodin**

velká aula FJFI ČVUT, Břehová 7, Praha 1

Šestý ročník konference věnované problematice malých modulárních jaderných reaktorů, tzv. SMR, pořádá společnost EventEra spolu s Fakultou jadernou a fyzikálně inženýrskou ČVUT. Letošní ročník má podtitul *Od koncepcí k reálným projektům SMR*.

Více informací na <http://malereaktory.cz>

## **20. energetický kongres ČR**

**13. 02. 2020, 8.30 - 17.00 hodin**

The President hotel,  
Náměstí Curieových 1/100, Praha 1

Letošní ročník energetického kongresu pořádaného společností Business Forum, s.r.o. pod záštitou Ministerstva životního prostředí ČR nese podtitul Snaha EU o klimatickou neutralitu – hrozba nebo příležitost pro českou energetiku.

Více informací na [www.business-forum.cz](http://www.business-forum.cz)

## **XXIV. Jarní konference AEM**

**25. 02. 2020 - 26. 02. 2020**

Hotel Belvedere Praha,  
Milady Horákové 19, Praha 7

Tématem čtyřicetého ročníku konference pořádané Asociací energetických manažerů je *Zimní balíček - Čistá energie pro všechny Evropany?*

Více informací na <http://www.aem.cz/>

## **World Sustainable Energy Days**

**04. 03. 2020, 9.00 h. - 06. 03. 2020, 17.00 h.**

Stadthalle Wels, Pollheimerstrasse 1,  
Wels/Austria

The clean energy transition is taking on a new dynamic in Europe and worldwide. „Energy efficiency first“ and „global leadership in renewables“ are at the centre of this transformation process. This requires strong policies, competitive businesses, technology innovation, investments and the involvement of the citizens.

More information on the website  
[www.wsed.at/en/world-sustainable-energy-days.html](http://www.wsed.at/en/world-sustainable-energy-days.html)

## **Nový jaderný zdroj pro ČR - stav přípravy v r. 2020**

**15. 04. 2020, 10.00 h. - 16. 04. 2020, 12.30 h.**

Fakulta strojní, Západočeská univerzita  
v Plzni, Univerzitní 2762/22, Plzeň 3

Celostátní odborná konference pořádaná v rámci zahájení akce Jaderné dny 2020.

Více informací na [www.jadernedny.cz](http://www.jadernedny.cz)

## **Jaderné dny 2020**

**15. 04. 2020 - 20. 05. 2020**

Fakulta strojní, Západočeská univerzita  
v Plzni, Univerzitní 2762/22, Plzeň 3

10. ročník akce, která má za cíl přiblížit různé oblasti využívání jaderné energie zejména studentům středních a vysokých škol, ale také široké veřejnosti bude zahájena dvou-denní konferencí. Po celou dobu trvání budou Jaderné dny 2020 doprovázeny přednáškami a soutěžemi

Více informací na [www.jadernedny.cz](http://www.jadernedny.cz)



**V příštím čísle vám představíme společnost ÚJV Řež a její divize, detailně se podíváme na systém hodnocení výpočetních programů pro analýzy jaderné bezpečnosti v ČR a na Aarhuskou úmluvu a její výzvy v oblasti využívání jaderné energie.**

**Seznámíme vás s infrastrukturou horkých komor Centra výzkumu Řež,**

**Národním centrem pro energetiku i plovoucí jadernou elektrárnou Akademik Lomonosov. Najdete v něm informace o letní škole jaderného inženýrství, kalendář akcí i postřehy**

**z proběhlých konferencí a kongresů. Dozvíte se, co má společného havárie Costy Concordie s vyloupením amerického muzea a českou kauzou svary a v příštím čísle se budeme věnovat i procesu EIA v souvislosti se záměrem výstavby nového jaderného zdroje v lokalitě Dukovany.**