



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

Jaroslav Brom  
Jan Patera  
Pavel Zahradka

Centrum výzkumu Řež

Květen 2019



## Cíl prezentace



1. Základní informace o CVŘ s.r.o.
2. Cíle měření
3. Popis stávajícího měření
4. Popis 3D měřicího zařízení
5. Popis 3D měření
6. Výsledky z 3D měření
7. Závěry
8. Fotodokumentace z měření



## 1. Základní informace o CVŘ s.r.o.



- Výzkumná organizace založená 9. října 2002 jako 100% dceřiná společnost ÚJV Řež, a. s.
- Významná výzkumná a experimentální infrastruktura včetně výzkumných reaktorů LVR-15 a LR-0 a technologických experimentálních smyček
- Výzkum, vývoj a inovace v oboru energetiky, zejména jaderné, primárně předkomerční výzkum pro ÚJV
- Od 2012 – projekt SUSEN v rámci Operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace Evropského fondu pro regionální rozvoj – významný rozvoj infrastruktury a celé společnosti (> 95 mil. EUR)
- Zapojení do mezinárodního projektu výstavby výzkumného reaktoru Jules Horowitz Reactor
- 400 zaměstnanců, z toho 325 na hlavní pracovní poměr



## 1. Základní informace o CVŘ s.r.o.



Výzkumná organizace vyvíjející myšlenky, technologie a řešení v energetickém průmyslu, zaměřená zejména na jaderné technologie.



## 1. Základní informace o CVŘ s.r.o.

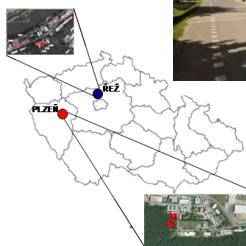


Kde nás najdete:

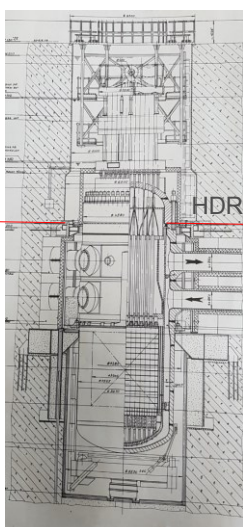


Areál Vědeckotechnického parku Plzeň  
Morseova 1244/4, Plzeň

Areál ÚJV group a.s.  
Hlavní 130  
250 68 Husinec-Řež



## 2. Cíle měření



Cílem měření 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 umožňuje zhodnotit, zda otlaky na víku nepřesahují dovolenou hloubku, rovněž umožňuje stanovit velikost těsnění, které je třeba použít pro utěsnění vzniklých otlaků na drážkách a víku, a při minimálně dvou měřeních umožňuje stanovit trend měřených parametrů.



### 3. Popis stávajícího měření



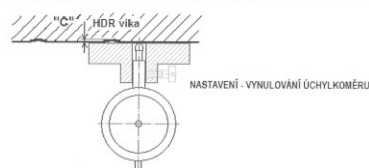
V dnešní době se provádí následující kontroly obou drážek (viz obr. 1):

- Na HDR R se provádí kontrola převýšení kuličky  $\varnothing 5$  mm v místě každého 3. závitového hnízda.
- Na víku R se měří otlacení těsnící plochy víka horního bloku od niklového drátu pomocí úchytkoměru na 8 místech.

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

11.06.08.	<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> Nestanovení. Z měření vystavit protokol o zjištění stavu a zaslat zástupcům výroby 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	

11.06.07. Měření otlacení víka	<b>Z-bod:</b> Kontrola velikosti otlacení „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. Proveďte pracovník ORÚ. O kontrole vystavte protokol a provést zápis do PKZ. <b>Kriterium:</b> Maximální povolená velikost otlacení je 0,3mm.							
-----------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--



	k	k/fk	fk	fk/fk	fk	fk/fk	fk	fk/fk
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

Obrázek 1: Příklad protokolu z hodnocení stavu drážek HDR a víka reaktoru



### 4. Popis 3D měřicího zařízení



3D měření je realizováno pomocí sedmiosého měřicího ramene Hexagon Romer Arm s laserovým 3D skenerem typu RS4. Skener emituje viditelný laserový paprsek o 7520 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 ( $2\sigma$ ):	0,028 mm
Provozní teplota:	5 °C – 40 °C

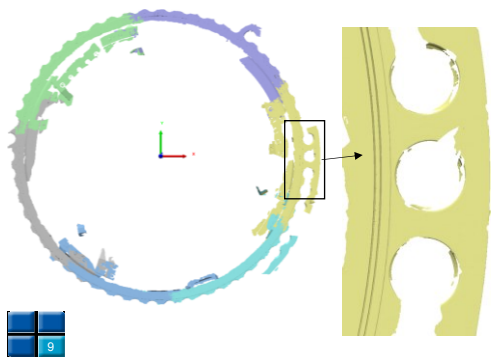
Pro upevnění pozice zkušebního zařízení se používá trojhranná ocelová destička stojící na třech šroubech.



5. Popis 3D měření



Měření dělicí roviny probíhá z cca 6 pozic a měření víka z cca 8 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 (obr. 2) a víka tlakové nádoby. 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.



Obrázek 2: Naskenovaná plocha hlavní dělicí roviny. Celkový pohled s barevně vyznačenými dílčími skeny (vlevo) a detail v místě závitového hnízda M170 č. 1 (vpravo).

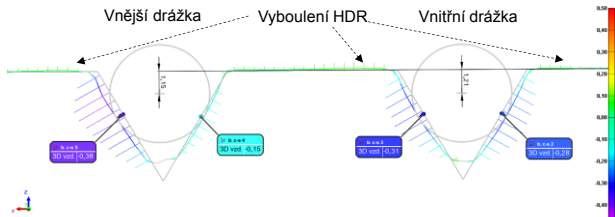


6. Výsledky z 3D měření HDR R:  
a) porovnání se stávajícím měřením



Vyhodnocení 3D měření HDR R probíhá smluvně v celkem 27 řezech po 13,33°, 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 (obr. 3).

*Toto měření je náchylné na chybu zarovnání dělicí roviny vznikající v důsledku jejího vyboulení u drážek.*



Obrázek 3: Řez hlavní dělicí roviny středem závitového hnízda. Šedá barva znázorňuje CAD model použitý při vyhodnocení a vepsanou kružnici Ø 5 mm, pomocí barevné mapy jsou vyznačeny odchylky v naskenovaném povrchu

M170 č.	1	3	5
vnější d. [mm]	1,35	1,30	1,35
vnitřní d. [mm]	1,29	1,29	1,35

Tabulka 1: Příklad vyhodnocení měření převýšení kuličky Ø 5 mm



6. Výsledky z 3D měření - HDR R:  
b) měření odchylky drážek od ideálního tvaru

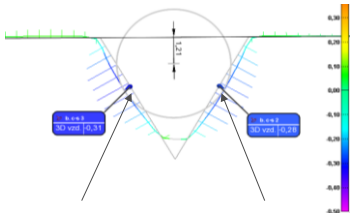


Druhým způsobem vyhodnocení je měření odchylky od ideálního tvaru přímo v drážkách, v místech jejich dotyku s vepsanou kružnicí. Vzhledem k úhlu 30°, který svírají stěny drážek s hlavní dělicí rovinou, je tento typ vyhodnocení, oproti vyhodnocení převýšení kuličky, 2× méně náchylný na chybu zarovnání dělicí roviny vznikající v důsledku jejího vyboulení. Odchylky po obou stranách drážky jsou zprůměrovány, zaokrouhleny na desetiny a zaneseny do tabulek. Např. z výsledků pro 1. blok JE Temelín činí průměrná hodnota  $-0,27 \pm 0,01$  mm pro vnější drážku a  $-0,29 \pm 0,01$  mm pro vnitřní drážku (viz obr. 4 a příklad v tab. 2).

Při vyhodnocení hlavní dělicí roviny bylo provedeno srovnání se stavem naměřeným v roce 2018. 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 tab. 3)

M170 č.	1	3	5
vnější d. [mm]	-0,27	-0,29	-0,27
vnitřní d. [mm]	-0,30	-0,30	-0,27

Tabulka 2: Příklad odchylek drážek HDR vůči ideálnímu tvaru



Obrázek 4: Měření odchylek drážky od ideálního tvaru.

M170 č.	1	3	5
vnější d. [mm]	-0,04	-0,03	0,01
vnitřní d. [mm]	-0,04	-0,02	0,01

Tabulka 3: Příklad nárůstu otlaků v drážkách HDR za období 2018–2019

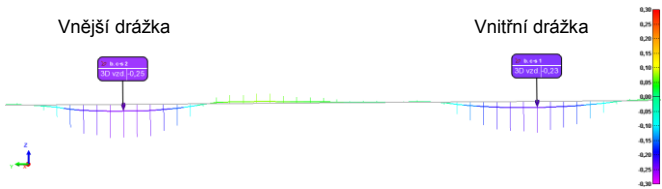


6. Výsledky z 3D měření - na víku reaktoru



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 svorníku. Při vyhodnocení je měřena maximální odchylka otlaků od ideální roviny (viz obr. 5 a příklad v tab. 4).

V rámci vyhodnocení 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.



Obrázek 5: Řez víka středem svorníku. Šedá barva znázorňuje ideální rovinu, pomocí barevné mapy jsou vyznačeny odchylky v naskenovaném povrchu.

M170 č.	1	3	5
vnější otlak [mm]	-0,25	-0,26	-0,27
vnitřní otlak [mm]	-0,23	-0,24	-0,27

Tabulka 4: Příklad hloubky otlaků na víku TNR

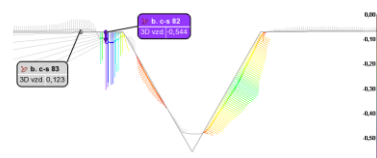
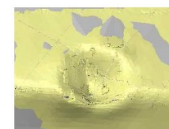




## 7. Závěry z měření na JE Temelín



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 hodnocení nových defektů (viz obr. 6).
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.



**Obrázek 6: Řez defektem.** Šedá barva znázorňuje CAD model, pomocí barevné mapy jsou vyznačeny odchylky v naskenovaném povrchu.

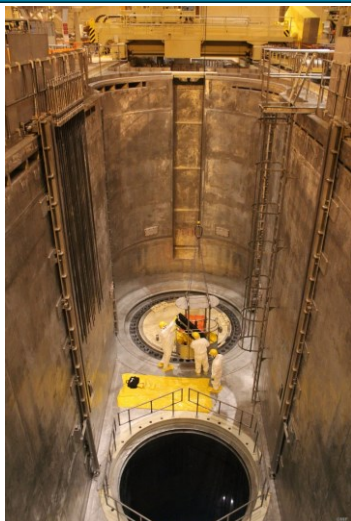
Poznámka: V 09/2019 proběhne pilotní měření těsnících drážek HDR R a ploch víka R na JE Dukovany.



## 8. Fotodokumentace ze stávajícího způsobu měření



## 8. Fotodokumentace 3D měření HDR a víka reaktoru JE Temelín



Děkujeme za pozornost  
<http://cvrez.cz/>

