

# VÝVOJ A VÝROBA MĚŘÍCÍHO SYSTÉMU PRO ZJIŠŤOVÁNÍ ZMĚN GEOMETRIE PLÁŠTĚ AKTIVNÍ ZÓNY VČR VVER 1000 VYVOLANÉ DEGRADAČNÍM MECHANISMEM RADIAČNÍ BOBTNÁNÍ

## DEVELOPMENT AND MANUFACTURE OF MEASURING SYSTEM FOR DETERMINATION GEOMETRY CHANGES BY CORE BAFFLE, REACTOR INTERNALS TYPE OF VVER 1000 CAUSED BY RADIATION SWELLING

Petr Vlček, Petr Vomáčka a Miroslav Žamboch

ÚJV Řež, a. s.

### Abstrakt

Za současného působení toku rychlých neutronů a vysokých teplot vzniká degradační mechanismus (DM) „radiační bobtnání“. Tento degradační mechanismus u reaktorů typu VVER 1000 způsobuje makroskopické deformace pláště aktivní zóny (PAZ) reaktoru, a následně změnu geometrie PAZ. V současné době je tento DM v ČR hodnocen pouze výpočtově, pro průkaz dlouhodobého provozu je vhodné verifikovat rozvoj radiačního bobtnání (a creepu) a stav vlastní komponenty měřením přímo na díle.

Pro stanovení aktuálních rozměrů a pozdějších změn geometrie PAZ je v ÚJV Řež, a. s. vyvíjen unikátní systém pro měření rozměrů PAZ reaktorů VVER 1000. Měřicí systém je založen na měření absolutní vzdálenosti vybraných protilehlých ploch PAZ pomocí optických vláken a dotykových indukčních čidel. Měření je nutné provádět s velkou přesností (řádově desetin milimetru) na vzdálenost 3,3 m ve specifických podmínkách jaderného reaktoru.

### Abstract

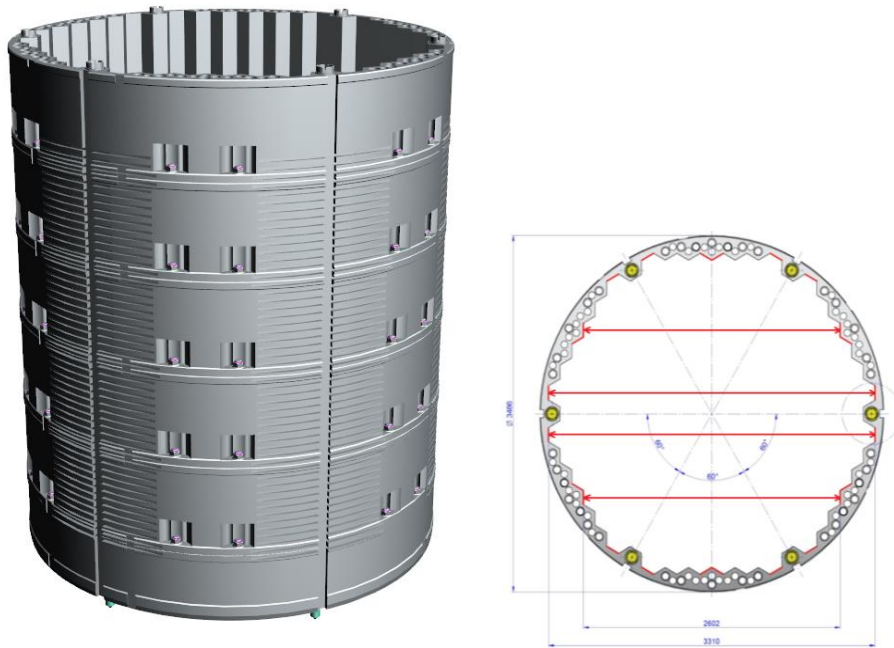
Degradation mechanism of radiation swelling is formed under the influence of fluxes of fast neutrons and high temperatures. Core baffle, part of RPV internals of VVER 1000 type, is affected of this degradation mechanism to lead of geometry change. In Czech Republic, change of core baffle geometry is currently determined only by computation modelling. Measurement of geometry change is necessary for long term operation.

A unique measuring system for measuring of core baffle geometry is being developed in UJV Řež, a. s. Measuring system is based on measurement the absolute distance of the core baffle opposed surface by using optical fibers and touch inductive sensors. Measurements must be made with great accuracy (tenths of a millimeter) over 3.3 m under specific conditions of the nuclear reactor.

### Úvod

Degradační mechanismus (DM) „radiační bobtnání“ je relativně nově zjištěný degradační mechanismus, který je významně zkoumán až poslední dvě desetiletí. Požadavek na znalost o jeho rozvoji a projevech narůstá s požadavkem na zvyšování výkonů jaderných reaktorů, a tudíž i provozních parametrů, za kterých jsou provozovány. Rozvoj degradačního mechanismu radiační bobtnání je podmíněn výskytem vysoké teploty a velkou intenzitou ionizujícího záření v materiálu.

Podmínky pro jeho vznik u reaktorů typu VVER 1000 nastávají pouze u pláště aktivní zóny (PAZ) reaktoru (obr. 1). V současné době je tento DM v ČR hodnocen pouze výpočtově, ale při dlouhodobém provozu je potřebné verifikovat jeho projevy prostřednictvím měření na díle.



Obr. 1: Plášť aktivní zóny reaktoru VVER 1000 – ETE

Na základě výpočtů provedených firmami Gidropres [1] a ÚJV Řež, a. s. [2] byly predikovány projevy radiálního bobtnání u vnitřních částí reaktoru (VČR) pro 1. a 2. blok ETE. Předpokládá se, že tento jev způsobí nerovnoměrnou deformaci PAZ po výšce, ale především po obvodě prstenců PAZ. Vlivem nerovnoměrného působení pnutí a plastické deformace v jednotlivých segmentech PAZ může dojít k vychýlení části pláště AZ směrem k povrchu šachty nebo k palivovým souborům (dojde ke změně kruhovitosti).

Podle současných modelů a předpokládaného rozložení fluence radiace a teplot dle "modelové vsázky" ETE je rizikovým místem štěrбина mezi PAZ a šachtou. Dle provedeného hodnocení deformace PAZ vlivem radiálního bobtnání je předpovídána výraznější deformace PAZ směrem k šachtě, kde posun PAZ směrem k šachtě je zvýšen ještě vlivem teplotní roztažnosti (teplota PAZ je následkem gama ohřevu výrazně vyšší než teplota tenkostěnného válce šachty). Minimální vzdálenost mezi PAZ a šachtou je podle projektových výkresů stanovena 2,5 mm. Vlivem deformace dochází k uzavření této mezery přibližně při 28. kampani [2]. Toto platí pro „studený“ stav reaktoru při odstávce.

Posun PAZ směrem k palivovým souborům není podle výpočtů tak významná. Časový vývoj radiálního posunutí (ve směru k ose reaktoru) nejhoršího uzlu na vnitřním povrchu PAZ předpokládá posun do 3 mm za 60 let provozu, kdy mezera mezi palivovým souborem a vnitřním povrchem PAZ je 4 mm.

Na základě predikovaných radiálních deformací PAZ je navrženo provést měření skutečného stavu v místech, kde je predikován největší radiální posun směrem k ose a od osy reaktoru. Podle těchto hodnot bude ověřen celkový stav PAZ a verifikováno výpočetní hodnocení.

## Design měřícího zařízení

Změna geometrie způsobená radiálním bobtnáním (a radiálním creepem) se projevuje zejména změnou kruhovitosti prstenců PAZ. Pro stanovení změn geometrie jsou využitelné různé techniky měření. Jedná se o měření kontaktní (mechanické) nebo bezkontaktní, které využívá k měření laser, ultrazvuk, případně jiné metody.

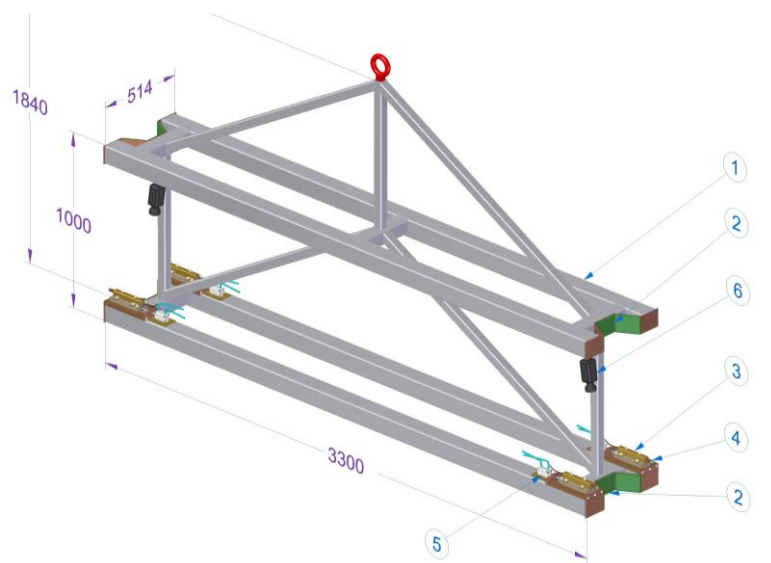
Pro volbu metody a způsobu měření je rozhodující splnění požadavků, které jsou kladené na vlastní měření, tj. přesnost a opakovatelnost měření, a realizovatelnost měření za podmínek, při kterých bude měření probíhat, tj. měření pod vodou za vysoké radiace. Dále měřicí systém musí splňovat podmínky a požadavky kladené na technologie používané pro měření v reaktoru. Důležitým faktorem je i cena měřicího systému.

Pro stanovení radiační zátěže na měřicí zařízení bylo provedeno měření dávkového příkonu ve středu aktivní zóny (ose reaktoru). Na základě těchto zjištěných hodnot byly dopočítány hodnoty dávkového příkonu pro jednotlivá místa uvnitř aktivní zóny reaktoru a u povrchu PAZ.

Zařízení je navrženo pro následující pracovní podmínky:

- Přesnost měřicího systému: min.  $\pm 0,25$  mm pro vzdálenost 3,5 m (předpoklad  $\pm 0,1$  mm).
- Pracovní teplota: 35–40 °C (max. 50 °C)
- Pracovní tlak: max. 0,15 MPa
- Prostředí: voda I.O. (roztok kyseliny borité) s radiací
- Radiační příkon u stěny PAZ: řádově 1000 Sv/hod

Na základě posouzení technik a informací dostupných v roce 2014/2015 bylo zvolena koncepce měření absolutní vzdálenosti protilehlých rovnoběžných ploch PAZ (obr. 2). Pro zajištění požadované přesnosti měření byla zvolena kombinace měření používající indukční dotyková čidla a optické délkové senzory.



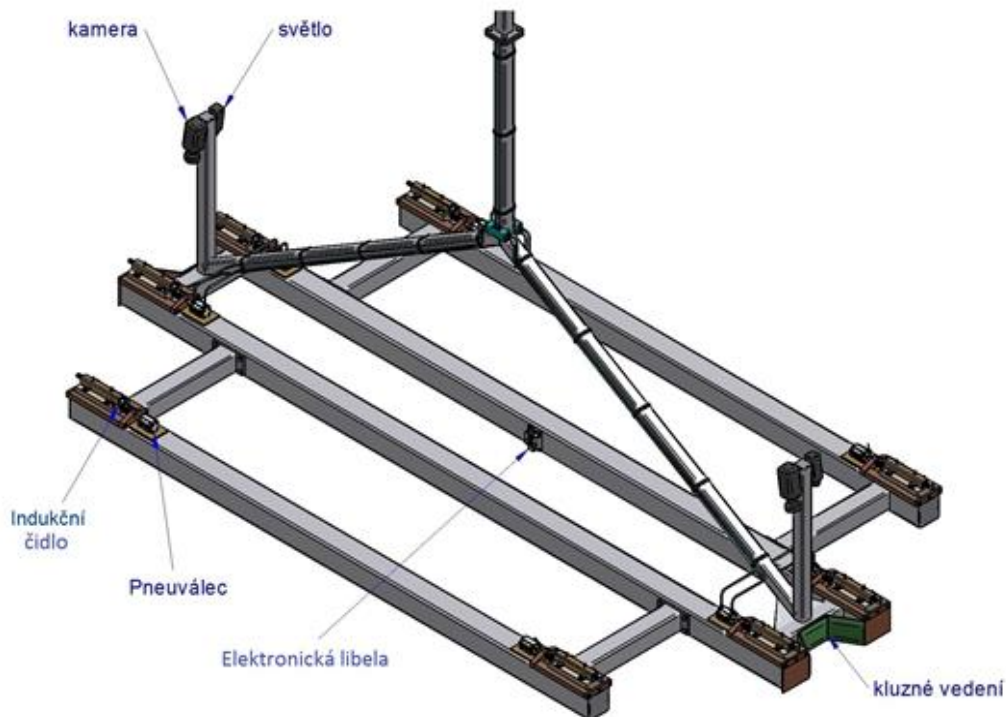
Obr. 2: Návrh měřicího zařízení z roku 2015

Měření vzdálenosti protilehlých ploch je současně prováděno na 4 měřících ramenech z nerezových hranolů, na kterých jsou připevněna měřicí čidla. Ramena jsou vzájemně spojena a jsou připevněna k transportní konstrukci (obr. 3).

Měření vzdálenosti je zajištěno použitím dvou indukčních dotykových čidel, které měří vzdálenost mezi měřicím zařízením (indukčním čidlem) a stěnou PAZ, a optického senzoru měřící vzdálenost mezi protilehlými indukčními čidly. Pozice měřicího zařízení, resp. náklon v ose měření je kontrolován elektronickou libelou. Měřená vzdálenost je ovlivněna i teplotou konstrukce a média v místě měření, proto jsou součástí měřicího systému teplotní čidla a při měření je prováděna teplotní kompenzace.

Pro manipulaci a kontrolu polohy jsou na každé straně měřicí konstrukce umístěny kamery. Informace ze všech přístrojů včetně obrazů z kamer jsou svedeny do řídicí jednotky, zpracované vstupy následně do počítače. Výsledkem je schematizované zobrazení polohy měřicí sestavy

vzhledem k PAZ se zobrazenými údaji od jednotlivých čidel a celková naměřená vzdálenost mezi protilehlými plochy PAZ.



Obr. 3: Desing vyráběného měřicího zařízení pro měření geometrie PAZ

### Postup měření

Měření bude probíhat při revizi HCČ, kdy je vodní hladina v TNR upuštěna na úroveň spodních nátrubků HCP. Měřicí zařízení bude transportováno pomocí jeřábu do reaktoru, kde bude spuštěn na úroveň horní roviny PAZ. Pomocí kamerového systému bude zařízení v horizontální rovině úhlově natočeno do správné polohy pro měření a stanovena počáteční nulová poloha (pro osu Z-hloubku). Poté následuje spuštění měřicího zařízení do pozice pro měření. Zde dojde k vysunutí dotykových hrotů a změření vzdálenosti čidel na všech 4 ramenech.

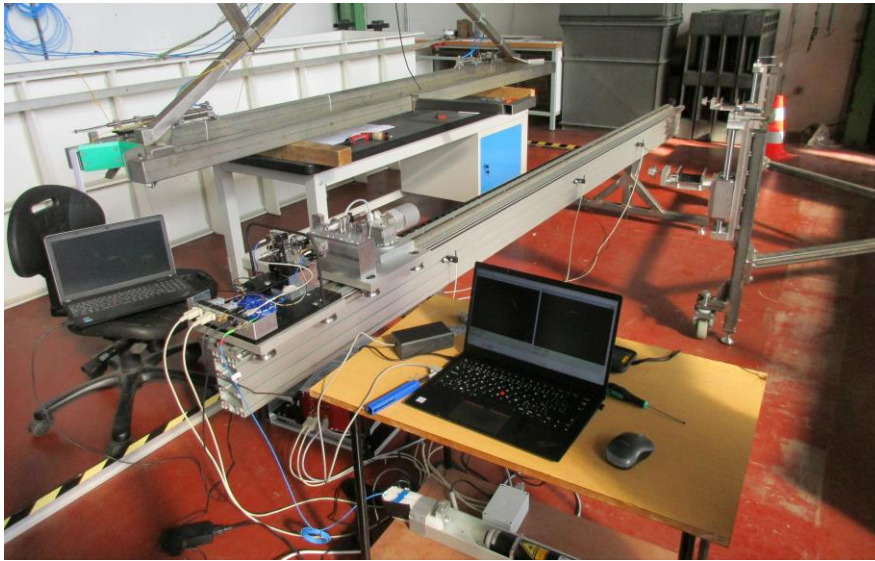
Měření vnitřního rozměru PAZ bude prováděno ve zvolených výškových úrovních – dle současného návrhu bude každý prstenec PAZ proměřován minimálně na 4 výškových úrovních. Po proměření rozměrů po celé výšce PAZ bude provedeno vyzvednutí měřicího zařízení nad horní plochu PAZ a horizontální pootočení o  $60^\circ$  a následné měření po celé výšce PAZ. Pootočení  $2 \times 60^\circ$  zajistí změření po celém obvodu prstenců PAZ.

### Kalibrace

Pro zajištění požadované přesnosti a opakovatelnosti měření je nutné před každým měřením na díle provést kalibraci měřicího systému. Ve spolupráci s ÚPT AV ČR byla navržena technologie pro kalibraci měřicího systému, resp. prototypu pro měření PAZ.

Vývoj vlastního kalibrační jednotky a provádění kalibrace bude realizovat ÚPT AV ČR, v.v.i., který disponuje zařízením pro stanovení přesnosti vyvíjeného měřicího zařízení, resp. prototypu. Kalibrační systém využívá pro kalibraci měřicího systému PAZ metody inkremen-

tální laserové interferometrie. Přesnost kalibračního systému je řádově vyšší než u navrženého měřicího systému a měření dosahuje přesnosti s odchylkou pod 5  $\mu\text{m}$ .



Obr. 4: Prototyp testovaný v maketě PAZ

### Harmonogram projektu

Vypracování studie realizovatelnosti a návrh koncepce měření probíhalo v letech 2014 až 2015.

Realizace projektu na vývoj a konstrukci měřicího systému pro rozměrovou kontrolu PAZ byla schválena v roce 2015. Projekt je realizován v letech 2016–2020. V první fázi projektu je konstruován prototyp měřicího zařízení, na kterém je ověřována navržená konstrukce a zvolená technologie měření.

Základní etapy projektu:

- 2016 – příprava projektu, úprava koncepce a výkresová dokumentace pro konstrukci prototypu, nákup a testování indukčních čidel,
- 2017 – výroba prototypu, zadání konstrukce hardware a vývoje software, konstrukční úpravy,
- 2018 – kompletace prototypu, zprovoznění elektroniky, hardwaru a aktivace software části, ověření radiační odolnosti součástí a komponent měřicího systému,
- 2019 – připojení kamerového systému, zprovoznění pneumatického systému, testování prototypu, kalibrace zařízení, výroba finálního zařízení.

Po kompletaci a oživení měřicího prototypu bylo provedeno testování za sucha v bazénu s maketou PAZ. Testy byly zaměřeny za ověření měřicího systému opakovaně provádět rozměrovou kontrolu a schopnost s prototypem manipulovat a umístit jej do makety PAZ.

Plán dalších činností:

- 2020 – dokončení konstrukce, testování měřicího zařízení, výroba transportních přípravků a beden pro uložení, tvorba dokumentace pro měření na JE,
- 2021-2023 – vlastní měření na ETE (mimo projekt).

## Závěr

V ÚJV Řež, a. s. je vyvíjen a konstruován měřicí systém, který bude schopen průkazně dokumentovat stav a změny geometrie pláště aktivní zóny reaktorů typu VVER 1000 během provozu, a především při provozu za projektovou životností VČR.

Tento měřicí systém je unikátní schopností přesně měřit délku na poměrně velkou vzdálenost cca 3,5 m ve zcela specifických podmínkách, které se vyskytují v reaktoru.

Naměřené hodnoty, které budou získány při měření PAZ po více než 20 letech provozu, budou vzhledem k velmi pomalému rozvoji radiačního bobtnání a creepu referenčními hodnotami pro stanovení tzv. nultého stavu PAZ a umožní sledovat změny geometrie PAZ způsobené uvedenými degradačními mechanismy v průběhu dalšího provozu. Naměřené výsledky budou jedním z průkazů o stavu VČR při prodlužování provozu bloku za projektovou životnost.

Výsledky měření budou i základem pro validaci výpočetního hodnocení DM radiačního bobtnání a následnou predikci tohoto degradačního mechanismu pro následný provoz.

## Literatura

- [1] Мохов, В. А. (2011): *Повышение мощности реакторной установки блоков 1 и 2 АЭС «Темелин»: Расчет прочности и формоизменения выгородки в процессе эксплуатации*. Отчет, 01-ТЕМ-ЕQ-12, Гидропрес.
- [2] Pištora, V., Lauerová, D., Anděl, J. (2014): *Hodnocení VČR ETE (plášť aktivní zóny) s uvažováním creepu a swellingu*. Technická zpráva, DITI 2301/332, rev. 2, ÚJV Řež, a. s., Řež.