



PROJEKT CANUT A AUTOMATIZACE NDT CANUT PROJECT AND AUTOMATION OF NDT

Zdeněk SKÁLA, Jan VÍT, Jindřich FORMAN, Lukáš STAINER

ŠKODA JS a.s.

Contact e-mail: zdenek.skala@skoda-js.cz

Abstrakt

V rámci projektu CANUT (Centrum pokročilých jaderných technologií) je řešena i automatizace nedestruktivního zkoušení součástí jaderných elektráren. Při řešení této problematiky ŠKODA JS a.s. úzce spolupracuje se Západočeskou univerzitou v Plzni (ZČU), fakultou aplikovaných věd (FAV). Výsledkem této spolupráce jsou dva dokončené manipulátory a jeden manipulátor rozpracovaný. V příspěvku jsou uvedeny cíle, současný stav a dosažené výsledky tohoto projektu v oblasti automatizace NDT a přínosy spolupráce mezi firmou ŠKODA JS a.s. a Západočeskou univerzitou.

Klíčová slova: *Automatizace, manipulátor, ultrazvuk, vířivé proudy, tlaková nádoba reaktoru, svary potrubí*

Abstract

Non-destructive testing of nuclear power plants automation is solved within the framework of CANUT (Centre for Advanced Nuclear Technologies) project. ŠKODA JS a.s. co-operates closely University of West Bohemia in Pilsen, Applied Sciences Faculty. Results of this co-operation comprise two finished manipulators and one manipulator under development. The paper presents goals, present status and results of this project in the field of NDT automation and benefits of mutual co-operation between ŠKODA JS a.s. and University of West Bohemia.

Key words: *Automation, manipulator, ultrasonics, eddy currents, reactor pressure vessel, piping welds*

1. Úvod

V roce 2012 byl v rámci programu Technologické agentury ČR na podporu rozvoje dlouhodobé spolupráce ve výzkumu, vývoji a inovacích mezi veřejným a soukromým sektorem „Centra kompetence“ zahájen na Západočeské univerzitě projekt Centrum pokročilých jaderných technologií (CANUT - Centre for Advanced Nuclear Technologies). Do projektu CANUT je zapojeno konsorcium, jehož členy jsou

- Západočeská univerzita v Plzni
- Vysoké učení technické v Brně
- České vysoké učení technické v Praze
- Centrum výzkumu Řež s.r.o.
- ÚJV Řež a.s.
- ŠKODA JS a.s.
- ZAT a.s.
- ČKD ELEKTROTECHNIKA, a.s.

Tento projekt číslo TE01020455 je řešen s finanční podporou TA ČR a předkládaný příspěvek vznikl v rámci tohoto projektu.

CANUT se zabývá celkem sedmi výzkumnými tématy označovanými jako pracovní balíčky. ŠKODA JS a.s. se zapojila do pěti pracovních balíčků, ve dvou je vedoucím řešitelem. Jedním z nich je pracovní balíček 7 „Zařízení pro kontroly součástí primárního okruhu tlakovodních jaderných reaktorů“.

2. Cíle projektu

Cílem pracovního balíčku 7 je vývoj zařízení, která zvýší kvalitu a zkrátí dobu provádění nedestruktivního zkoušení součástí primárního okruhu jaderných elektráren s tlakovodními reaktory při zachování rozsahu kontrol. Výstupem tohoto pracovního balíčku jsou návrhy zařízení pro automatizované nedestruktivní zkoušení a postupy zkoušení těmito zařízeními, kvalifikované podle metodiky ENIQ používané v jaderné energetice. Výroba a kompletace navržených zařízení nejsou z projektu CANUT financovány a musejí být pořízeny z prostředků ŠKODA JS a.s.

Projekt CANUT a tedy i pracovní balíček je rozdělen do dvou období – 2012 až 2015 a 2016 až 2019.

V prvním období byly řešeny dva úkoly – zařízení pro zkoušení tlakových nádob reaktorů z vnitřního povrchu a manipulátor pro zkoušení svarů potrubí s omezeným přístupem.

Cílem prvního úkolu bylo nahradit dosud používané zařízení SKIN tak, aby mohl být rozšířen rozsah zkoušení při zachování či zlepšení jeho kvality. Dalším důležitým požadavkem bylo zkrácení doby zkoušení, zkrácení doby použití jeřábu při montáži manipulátoru a možnost použití zařízení i na jiných typech jaderných reaktorů, než jsou v ČR v současné době v provozu.

Cílem druhého úkolu bylo vyvinout manipulátor použitelný k automatizovanému zkoušení svarů potrubí při co nejmenších rozměrech manipulátoru tak, aby jím bylo možné zkoušet svary nedostupné pro manipulátory dosud používané společností ŠKODA JS a.s. Zkoušení bude prováděno ultrazvukem, třemi technikami – impulsní

odrazovou, difrakční TOFD a Phased array. Rozměry manipulátoru měly umožnit zkoušení svarů na potrubí o vnějším průměru od 200 mm do 1200 mm, přičemž v okolí některých svarů jsou v extrémním případě překážky vzdálené 70 mm v radiálním směru a 60 mm ve směru osy potrubí.

Pro druhé období byl po dohodě s ČEZ a.s. vybrán vývoj zařízení pro automatizované zkoušení svarů nátrubků víka reaktoru VVER 1000. Cílem tohoto úkolu má být zařízení pro automatizované zkoušení, které nahradí vizuální kontrolu a zkoušení kapilární metodou, které jsou dosud prováděny manuálně.

3. Průběh prací

Do pracovního balíčku 7 jsou zapojeny tři subjekty, ŠKODA JS a.s., Západočeská univerzita a ZAT a.s. Protože všechny úkoly řešené v pracovním balíčku 7 se týkají automatizace nedestruktivního zkoušení, je v něm Západočeská univerzita zastoupena Fakultou aplikovaných věd, Katedrou kybernetiky, jejíž pracovníci mají teoretické znalosti i praktické zkušenosti s vývojem automatizovaných zařízení.

Automatizované zkoušení tlakových nádob reaktorů z vnitřního povrchu provádí ŠKODA JS a.s. od roku 1982 a zařízení SKIN pro toto zkoušení již úspěšně vyvinula a provozuje. Práce na novém zařízení s názvem MKS byly zahájeny ještě před spuštěním projektu CANUT [1, 2] a tak i podrobný návrh mechaniky manipulátoru [3], systému řízení [4], postupů zkoušení [5], a zkoušek celého zařízení [6, 8, 9], provedli pracovníci ŠKODA JS a.s. Na Západočeské univerzitě byl vytvořen virtuální model sloužící pro odladění funkce systému řízení [7]. Celé zařízení bylo vyrobeno a odzkoušeno, nedostatky zjištěné při zkouškách byly odstraněny a po úspěšném provedení kvalifikačních zkoušek bylo připraveno k nasazení na jaderných elektrárnách.

Svary potrubí ŠKODA JS a.s. zkouší automatizovaně již od roku 1997 zařízeními zakoupenými od externích dodavatelů a nemá zkušenosti z vývoje vlastního zařízení. Uvítala proto možnost zapojit do vývoje manipulátoru pro zkoušení svarů potrubí s omezeným přístupem, nazvaného MOPS, další členy konsorcia.

Práce na manipulátoru MOPS byly zahájeny v roce 2013. Nejprve byl zpracován přehled svarů na obou jaderných elektrárnách, které by měly být vyvíjeným manipulátorem zkoušeny. V tomto přehledu byla uvedena i prostorová omezení v okolí těchto svarů. Návrhu konstrukčního řešení se ujali pracovníci ZČU, kteří již měli zkušenosti s vývojem malých manipulátorů a robotů. Zpracovali dvě varianty konstrukce manipulátoru a jeho uchycení ke zkoušenému potrubí [11].



Obr. 1 Návrh obvodového pojezdu manipulátoru pro zkoušení svarů potrubí

Fig. 1 Lay-out of circumferential car of manipulator for piping welds testing

Pro další vývoj byla vybrána varianta sestávající z vozíku, který se pohybuje po odvodu potrubí a lineárního posuvu ve směru osy potrubí [12]. Vozík je osazen dvěma motory a je uchycen k potrubí pomocí ozubeného řemene s volnými konci. Dopínání řemene za provozu manipulátoru je realizováno pomocí rozdílných otáček každého z motorů, resp. je stanovena tažná síla, která má být vyvinuta na upínací řemen. Toto dopínání zajišťuje řídicí software. Bylo nutné konstrukčně vyřešit vedení ozubeného řemene kladkami vozíku a přizpůsobení vozíku různým průměrům potrubí.

Po dokončení návrhu byl vyroben prototyp manipulátoru, vypracován program jeho zkoušek [13] a tyto zkoušky zahájeny.

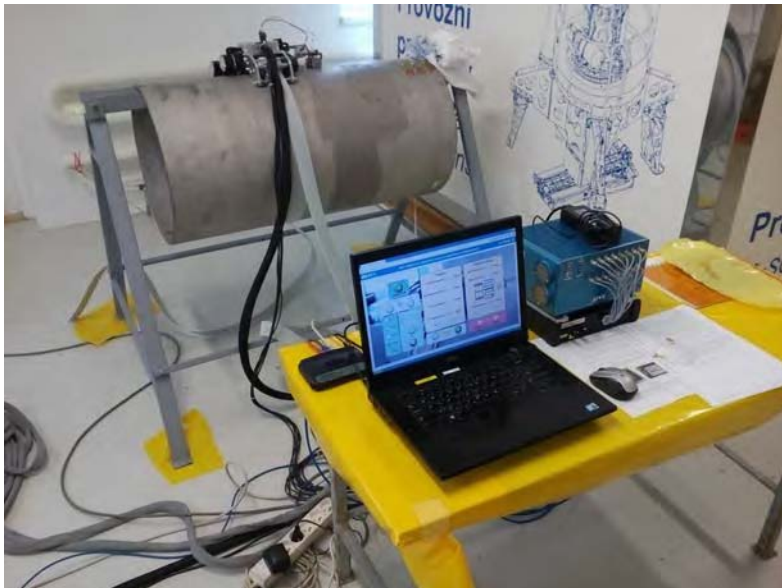
Práce na zařízení pro zkoušení svarů nátrubků víka reaktoru VVER 1000 byly zahájeny v roce 2016 posouzením možností zkoušení a stanovením základních požadavků na manipulátor [13]. Byly rozpracovány dvě varianty koncepce manipulátoru, o dalším pokračování bude rozhodnuto po jejich porovnání.

4. Dosažené výsledky

Zařízení MKS bylo již plně odzkoušeno a nasazeno při kontrolách jaderných elektráren Temelín i Dukovany. První zkušenosti s nasazením tohoto zařízení byly obsahem příspěvku na konferenci Defektoskopie 2015 [10]. Nasazení na jaderných elektrárnách prokázalo splnění některých cílů stanovených před zahájením vývoje.

Zlepšila se kvalita a zkrátila doba zkoušení při zachování jeho rozsahu, snížil se počet montáží a čas na jejich provedení a zkrátila se doba použití jeřábu.

Manipulátor MKS získal v ČR od Úřadu průmyslového vlastnictví osvědčení o užitém vzoru č. 28120 a patent č. 306034, oboje s názvem „Manipulační kontrolní zařízení“. Patentovou ochranu již získal tento manipulátor v Rusku a na Ukrajině a jeho další průmyslově právní ochrana v zahraničí je v jednání.



Obr. 2 Zkoušky manipulátoru MOPS na modelu potrubí o průměru 500 mm

Fig. 2 Tests of MOPS manipulator on a mockup of OD 500 mm piping

První prototyp manipulátoru MOPS byl vyroben a byly zahájeny jeho zkoušky na vzorcích potrubí. Dosud byl manipulátor odzkoušen na potrubí o vnějším průměru 500 mm a 270 mm, zkoušení bude pokračovat na vzorku potrubí o vnějším průměru 1100 mm. I když tento prototyp je menší, než dosud používané manipulátory, nebude jím možné v plném rozsahu zkoušet některé svary potrubí, v jejichž okolí jsou překážky. Hlavního cíle – zkoušení svarů dosud nepřístupných pro používané manipulátory – bylo ale dosaženo.

Manipulátor získal v ČR osvědčení o průmyslovém vzoru č. 29605 s názvem „Manipulátor pro zkoušení potrubí, zejména pro kontrolu svarů s omezeným přístupem“ a patent č. 306666 s názvem „Manipulátor pro zkoušení potrubí, zejména

pro kontrolu svarů s omezeným přístupem, a způsob uchycení manipulátoru k tomuto potrubí“. Jeho průmyslově právní ochrana v zahraničí je v jednání.

Pro zkoušení svarů nátrubků víka reaktoru VVER 1000 byly vytipovány možné metody a postupy zkoušení a navržen koncept manipulátoru pro zkoušení z vnitřního povrchu. Byl také vytvořen model čtvrtiny víka reaktoru VVER 1000 se simulovanými nátrubky, který slouží k odzkoušení mechaniky a systému řízení manipulátoru a bude využit i pro zkoušky postupů zkoušení.

Vzhledem k tomu, že i pro toto zařízení bude vyřizována průmyslově právní ochrana, nelze v současné době poskytnout více informací.

5. Přínosy

Zapojení do projektu CANUT a spolupráce s Fakultou aplikovaných věd Západočeské univerzity přinesly pracovníkům ŠKODA JS a.s. možnost seznámit se s posledním vývojem hardwaru i softwaru používaných v řídicích systémech manipulátorů a využít znalostí a zkušeností pracovníků této fakulty i vybavení laboratoří. To vedlo ke zrychlení vývoje nových zařízení, tvorbě simulačních modelů vyvíjených manipulátorů, inovativnímu řešení mechaniky manipulátorů a použití ověřených prvků a algoritmů v systémech řízení manipulátorů.

Pracovníkům ZČU přinesla spolupráce na projektu možnost seznámit se osobně s prostředím na jaderných elektrárnách, ve kterém navrhované manipulátory budou pracovat. Získávají také informace o chování manipulátorů a jejich řídicích systémech v praxi a o případných problémech a možných vylepšeních.

6. Závěr

Spolupráce společnosti ŠKODA JS a.s. se Západočeskou univerzitou se osvědčila, vede k rychlejší aplikaci moderních postup řízení manipulátorů i k využití inovativních koncepcí mechanické konstrukce zařízení pro automatizované zkoušení součástí jaderných reaktorů. Zkoušky navržených manipulátorů a jejich praktické nasazení odhalily nedostatky a problémy, jejichž řešení a odstranění vede ke zlepšení původních návrhů a slouží jako zpětná vazba konstruktérům a tvůrcům softwarového vybavení.



Obr. 3 Maketa čtvrtiny víka reaktoru VVER 1000

Fig. 3 Mockup of one quarter of VVER 1000 reactor cover head

Literatura

- [1] Rausch I.: *Modulární kontrolní systém – Technická studie, výzkumná zpráva (Ae 12255/Dok)*, Škoda JS a.s., Plzeň, 2007.
- [2] Rausch I.: *Modulární kontrolní systém – Popis úvodního návrhu, výzkumná zpráva (Ae 13253/Dok)*, Škoda JS a.s., Plzeň, 2010.
- [3] Suchý J.: *Modulární kontrolní systém – Technický popis projektu, technická zpráva (Ae 14910/Dok)*, Škoda JS a.s., Plzeň, 2013.
- [4] Beneš V.: *Systém řízení polohy manipulátoru MKS, pracovní režimy, komunikace s obsluhou a výstupy pro NDT přístroje, technická zpráva (Ae 15316/Dok)*, Škoda JS a.s., Plzeň, 2013.
- [5] Forman J., Samek J.: *Přístroje, zařízení a postupy nedestruktivního zkoušení tlakových nádob reaktorů z vnitřního povrchu, technická zpráva (Ae 15188/Dok Rev 0)*, Škoda JS a.s., Plzeň, 2014.

- [6] Šmolík P. a kol.: Předkomplexní a komplexní vyzkoušení manipulátoru MKS, technická zpráva (Ae 15349/Dok Rev. 2), Škoda JS a.s. Plzeň, 2015.
- [7] Severa O., Jáger A., Štětina M.: Virtuální model manipulátoru MKS, Report, ZČU v Plzni, FAV/KKY, 2013.
- [8] Vít J. a kol.: Porovnání výsledků ultrazukového zkoušení kvalifikačního bloku KB 190 manipulátory SKIN a MKS, technická zpráva (Ae 15882/Dok Rev. 0), Škoda JS a.s. Plzeň, 2015.
- [9] Forman J. a kol: Ověření způsobilosti systému MKS k provádění provozních kontrol vřivými proudy, technická zpráva (Ae 15920/Dok Rev. 0), Škoda JS a.s., Plzeň, 2015.
- [10] Skála Z., Stainer L., Vít J.: První zkušenosti s MKS – novým zařízením pro zkoušení tlakových nádob reaktorů, konference Defektoskopie 2015, Brno, 2015
- [11] Čechura T., Švejda M.: Případová studie navrhovaných architektur manipulátorů pro NDT svarů potrubí, Průběžná zpráva, ZČU v Plzni, FAV/KKY, 2014.
- [12] Čechura T., Jáger A.: Návrh vozíku s obvodovým pojezdem manipulátoru pro zkoušení obvodových svarů s omezeným přístupem, technická zpráva (ZČU v Plzni, FAV/KKY, 2014.
- [13] Sedláček R. a kol: Předkomplexní a komplexní vyzkoušení manipulátoru pro zkoušení svarů potrubí s omezeným přístupem, technická zpráva (Ae 16354/Dok Rev. 0), Škoda JS a.s., Plzeň, 2015
- [14] Forman J. a kol: Nedestruktivní zkoušení nátrubků LKP, KNI a TK víka tlakové nádoby reaktoru VVER 1000 typ V-320/Č, technická zpráva (Ae 16632/Dok Rev. 0), Škoda JS a.s., Plzeň, 2016