



AUTOMATED ULTRASONIC TESTING OF WWER REACTOR PRESSURE VESSELS

AUTOMATIZOVANÉ ZKOUŠENÍ TLAKOVÝCH NÁDOB REAKTORŮ TYPU VVER ULTRAZVUKEM

Lukáš FAIT ¹⁾, Zdeněk SKÁLA ²⁾, Jan VÍT ²⁾

ŠKODA JS a.s., ¹⁾ ZLDEF a ²⁾ ZLPK

Contact e-mail: jan.vit@skoda-js.cz

Abstract

At present time the operators of nuclear power plants increase the installed output of units with pressurised water reactors in operation and plan to prolong their safe and reliable operation over a period originally anticipated by project documents. The reactor pressure vessel is the device, which in WWER (Water-Water Energetic Reactor) type nuclear power plants has the crucial impact on the nuclear and technical safety and fundamentally determines the life time of the whole primary circuit. The status of pressure vessel is monitored in regular intervals by in-service inspections, which are a part of planned outages necessary for refuelling and reconfiguration of nuclear fuel in the reactor core.

The paper gives not only the description of inspection systems for the automated non-destructive testing of WWER reactor pressure vessels, but also a short excursion into the history of thirty years of automated ultrasonic testing, which ŠKODA JS has round off this year.

Keywords: reactor pressure vessel, nuclear power plant, ultrasonic testing, automated testing

Abstrakt

Provozovatelé jaderných elektráren v současné době zvyšují instalovaný výkon provozovaných bloků s tlakovodními reaktory a plánují jejich bezpečný a spolehlivý provoz po dobu delší, než původně předpokládal projekt. Tlaková nádoba reaktoru je u bloků jaderných elektráren typu VVER (vodo-voďanój energetičeskij reaktor) zařízením, které má rozhodující vliv na jadernou i technickou bezpečnost a zásadním způsobem určuje životnost celého primárního okruhu. V pravidelných intervalech je monitorován stav tlakové nádoby při provozních kontrolách, které jsou součástí plánovaných odstávek nezbytných pro výměnu a překládání jaderného paliva v aktivní zóně reaktoru.

Příspěvek obsahuje nejen popis zkušebních systémů pro automatizované nedestruktivní zkoušení tlakových nádob reaktorů typu VVER, ale i krátkou exkurzi do historie třiceti let automatizovaného zkoušení ultrazvukem, které ŠKODA JS a.s. v letošním roce završila.

Klíčová slova: tlaková nádoba reaktoru, jaderná elektrárna, zkoušení ultrazvukem, automatizované zkoušení

1. TLAKOVODNÍ REAKTORY

Základní koncepce tlakovodních reaktorů se od spuštění první velké komerční elektrárny s blokem PWR (Yankee, USA, 1961, 175 MWe) prakticky nezměnila. Konstrukce reaktorové části navazovala na tlakovodní reaktor elektrárny Shippingport-1 (USA, 1957), který byl původně plánován jako prototyp pohonného systému pro jaderné ponorky.

Podobnosti základních projektů tlakovodních reaktorů jsou mnohem výraznější než jejich jednotlivé rozdíly. Velmi rychlý a úspěšný komerční vývoj těchto reaktorů je v neposlední řadě důsledkem faktu, že naprostá většina ledoborců, válečných lodí a ponorek na jaderný pohon byla a stále je poháněna reaktory právě tohoto typu.

Moderátorem i chladičem tlakovodních reaktorů je upravená lehká voda (H_2O), která se v aktivní zóně ohřívá pouze pod mez sytosti. To vyžaduje vysoké tlaky a silnostěnné tlakové nádoby reaktorů, v nichž je aktivní zóna uložena.

Typické znaky tlakovodních reaktorů jsou:

- Parogenerátory oddělený primární a sekundární okruh, tím je radioaktivita omezena teoreticky pouze na primární okruh.
- Použití kyseliny trihydrogenborité (H_3BO_3) v primárním okruhu jaderné elektrárny (JE) ke dlouhodobé kompenzaci reaktivity.
- Vysoký tlak chladicí vody v primárním okruhu vyžaduje silné stěny komponent, zejména reaktorové nádoby reaktoru.

2. ZÁKLADNÍ PROJEKTOVÁ HAVÁRIE

Každá jaderná elektrárna zaručuje svoji bezpečnou funkci i v podmínkách při určité havárii (poruše) až do tzv. základní projektové havárie (DBA). K nejhorším důsledkům může vést na jaderných elektrárnách s tlakovodními reaktory havárie spojená se ztrátou chladiva (LOCA). Všechny moderní tlakovodní reaktory mají základní projektovou havárii stanovenou jako úplné roztržení hlavního cirkulačního potrubí (HCP) v nejnebezpečnějším průřezu s následným výtokem primárního chladiva oběma konci porušeného potrubí (tzv. gilotinový efekt) při současné úplné ztrátě napájení JE ze sítě. Porušení tlakové nádoby reaktoru (TNR) se neuvažuje. Žádný z dnes provozovaných bloků PWR (VVER) není projektován na porušení celistvosti TNR, i když se v současné době intenzivně řeší problematika tzv. nadprojektové havárie, která se týká tavení AZ a tím v některých případech také porušení integrity TNR.

U jaderných elektráren s tlakovodními reaktory je logicky zcela zásadní otázkou celistvost tlakové nádoby reaktoru po celou dobu provozu. Proto je u jaderných elektráren typu PWR, respektive VVER, věnována zvýšená pozornost provozním kontrolám (prohlídkám) tlakových nádob reaktorů.

3. TLAKOVÁ NÁDOBA REAKTORU (TNR)

Tlakové nádoby reaktorů patří k nejtěžším a také k nejrozměrnějším zařízením jaderných elektráren. Požadavky na ně kladené – pokud jde o vysoký provozní přetlak, pracovní teploty, materiál a provozní bezpečnost – jsou mimořádně vysoké a podstatně přesahující požadavky kladené na tlakové nádoby používané v jiných průmyslových odvětvích. Zcela novým důležitým faktorem v projekci, konstrukci i v provozu TNR je působení ionizujícího záření, jehož účinky na konstrukční materiál jsou nepříznivé (objemový vývin tepla, aktivace a radiační poškození).

Tlaková nádoba jaderného reaktoru plní podle několika důležitých úkolů:

- Odděluje prostor aktivní zóny a chladicího média od okolí.
- Je ústřední nosnou částí aktivní zóny s příslušenstvím.
- Představuje druhou bariéru bránící úniku (šíření) produktů štěpení do okolí.

Vzhledem k primárnímu okruhu je TNR pevným bodem uložení, ostatní součásti primárního okruhu, tj. hlavní cirkulační čerpadla, parogenerátory a případně i hlavní uzavírací armatury, musejí být uloženy tak, aby se na TNR nepřenášely žádné velké přídavné síly.

Komplet reaktoru typu VVER tvoří:

- Těleso tlakové nádoby.
- Horní blok reaktoru (tj. víko včetně pohonů regulačních mechanismů).
- Těsnění přírubového spoje.
- Hlavní šroubový spoj (svorníky, matice, závitová lůžka a podložky). M 140x6 (VVER 440) nebo M 170x6 (VVER 1000).
- Vnitřní části reaktoru (např. BOT, KAZ nebo PAZ, ŠR, případně DŠ).

Těleso tlakové nádoby má válcový tvar, ve spodní části je uzavřeno poloeliptickým dnem a v horní části je ukončeno obvykle pevnou přírubou. V horní části tělesa jsou umístěna hrdla pro připojení primárního potrubí a těsně pod spodními hrdly TNR je systém opěr nádoby. Osazení na vnitřní straně příruby tělesa a soustava konzol („klínů“) a vodících per uvnitř tlakové nádoby slouží k zavěšení vnitřních částí reaktoru.

Tlakové nádoby typu VVER jsou vyráběny z celokovaných prstenců. Celý vnitřní povrch je obvykle opatřen výstelkou z austenitické korozivzdorné oceli.

Svarové spoje jsou nejvíce citlivé na radiační poškození, a proto jsou umísťovány co nejdále od aktivní zóny. Válcovou část TNR v oblasti aktivní zóny tvoří tedy prsteneček, jehož výška (limitovaná velikostí ingotu) je volena tak, aby svary sousedních prstenců byly pokud možno umístěny souměrně od horizontální roviny symetrie AZ. U reaktorů typu VVER jsou pracovní teploty pod oblastí, v níž je nutno uvažovat tečení.

Charakteristickým rysem TNR typu VVER je možnost jejich transportu po železnici. Z toho vyplývají jejich rozměry (zejména průměr) a některá konstrukční řešení – např. tzv. nástavce hrdel u TNR typu VVER 440.

Příspěvek je věnován především automatizovanému (mechanizovanému) zkoušení TNR typu VVER ultrazvukem. Proto se dále budeme věnovat těm částem kompletu TNR, kde je toto zkoušení v praxi používáno.

Vnitřní části reaktoru jsou vyrobeny téměř výhradně z austenitické oceli značky 08Ch18N10T. Hlavní metodou NDT je zde vizuální zkoušení (VT) a to jak přímé, tak i nepřímé zkoušení pomocí televizních kamer.

Při zkoušení elementů hlavního šroubového spoje je věnován důraz na povrchové metody (VT, ET a MT). Logicky je hlavní pozornost věnována nosným závitům M 140x6 a M 170x6, které jsou zkoušeny automatizovaným způsobem vířivými proudy (ET). Ultrazvukové zkoušení je stručně pospáno v následujícím odstavci.

4. HLAVNÍ ŠROUBOVÝ SPOJ

Uzel hlavního přírubového spoje tlakové nádoby zajišťuje těsnost tlakové nádoby reaktoru ve všech provozních režimech.

Sférické víko dosedá na přírubu tělesa tlakové nádoby. Utěsnění místa styku přírub víka a tělesa TNR je provedeno pomocí profilového těsnění z niklového prutu. Víko je k přírubě připevněno 60 kusy svorníků M 140x6 (VVER 440) nebo 54 kusy svorníků M 170x6 (VVER 1000). Svorníky jsou zeslabeny centrálním otvorem (průměr 35 mm) pro měřicí tyčku. Pod maticemi svorníků jsou dvě kulové podložky – vydutá a vypuklá.

Závitová hnízda (lůžka) v přírubě TNR a matice v axiálním směru se zkoušejí ultrazvukem přímými sondami zpravidla ručním způsobem.

Podložky se zkoušejí pouze povrchovými metodami (VT a MT).

Svorníky M 140x6 (M 170x6) lze nedestruktivně zkoušet automatizovaně (mechanizovaně) ultrazvukem ze středového vývrtu. Výhodou je, že oba typy svorníků mají středový vývrt o stejném průměru a že i jejich délka je přibližně stejná. Není obtížné pro jejich zkoušení používat jeden univerzální manipulátor.

Při nedestruktivním zkoušení svorníků M 140x6 (M 170x6) se hlavní pozornost věnuje necelistvostem, které korespondují s vnějším povrchem. Takové necelistvosti jsou zjištělné především povrchovými metodami NDT (zejména metodou vířivých proudů) na povrchu nosných závitů, v oblasti výběhu nosných závitů a i na povrchu hladké části díku svorníku. Ultrazvuková metoda vhodně doplňuje povrchové metody NDT. Zaměřuje se na detekci a určování pravděpodobných (skutečných) velikostí povrchových necelistvostí nacházejících se v hladké části díku svorníku. Kromě toho je ultrazvukem prozvučován také prakticky celý vnitřní objem materiálu svorníku. Výskyt vnitřních necelistvostí je minimalizován středovým vývrtem o průměru 35 mm, což potvrzují výsledky všech zatím provedených provozních (předprovozních) kontrol.

Poloha svorníků M 140x6 (M 170x6) při automatizovaném (mechanizovaném) zkoušení může být dvojí:

- Vertikální.
- Horizontální.

V našich „zeměpisných šířkách“ se preferuje vertikální uspořádání. Příkladem může být manipulátor KOMAŠ II (Škoda JS, Česko). Snímek z provozní kontroly svorníků M 140x6 (Jaderná elektrárna DUKOVANY) je na Obrázku 1.

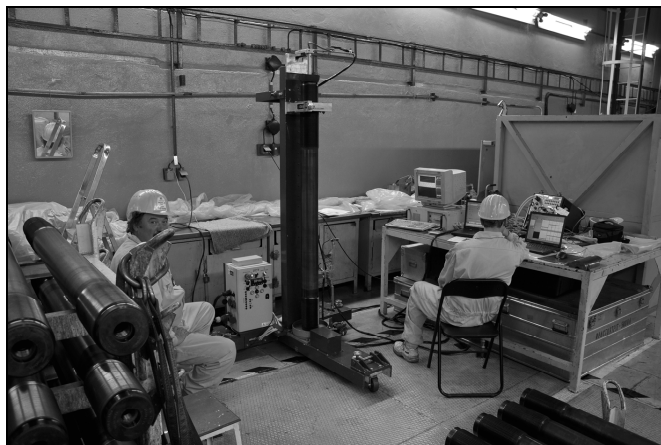


Fig. 1: Manipulator KOMAŠ II (Škoda JS, Czech Republic)
Obr. 1: Manipulátor KOMAŠ II (Škoda JS, Česko)

Příkladem méně rozšířeného zkoušení svorníků v horizontální poloze je zkušební systém SK 33 ruské firmy NIKIMT – viz Obrázek 2.

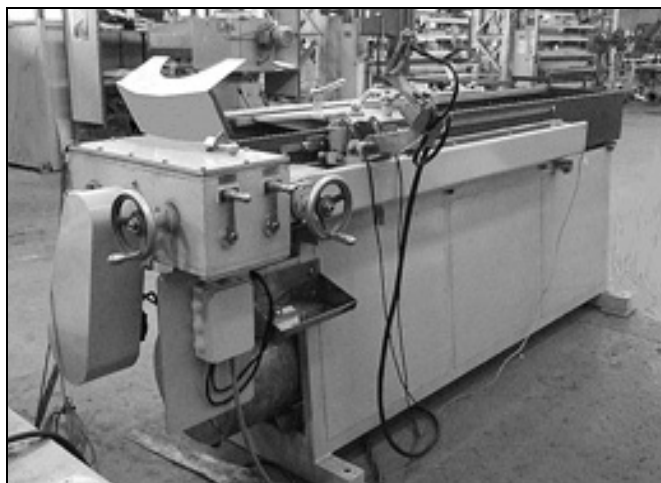


Fig. 2: Manipulator SK-33 (NIKIMT, Russia)
Obr. 2: Manipulátor SK-33 (NIKIMT, Rusko)

Pro stručný popis metodiky ultrazukového zkoušení je dále popisován způsob zkoušení ve vertikální poloze. Hlavní částí manipulátoru KOMAŠ II je stojan, do kterého se upíná svorník M 140x6 (M 170x6) ve svislé poloze. Stojan vyvoluje rotační pohyb svorníku a současně podélný posuvný pohyb nosičů sond. Oba pohyby jsou vzájemně vázané, jedné otáčce svorníku odpovídá vertikální posun o 6 mm (stoupání závitu). Další podrobnosti lze nalézt např. v Ae 13691 / Dok [1].

Ultrazukové sondy jsou umístěny v tyči, která se vkládá do středového vývrtu tělesa svorníku. Vývrt je dole utěsněný na otočném talíři a je vyplněný vodou s inhibitorem koroze, která slouží jako vazební prostředek.

Svorníky jsou prozvučovány v axiálním směru úhlovými ultrazukovými sondami příčných vln s jmenovitou frekvencí 4,0 MHz. Dvojice tzv. sdružených sond (každá představuje dvě jednoduché úhlové sondy, otočené vůči sobě o 180°) umožňuje prozkoušet celý objem materiálu svorníku při jednom skenu. Horní sdružená sonda prozvučuje horní polovinu svorníku, dolní sdružená sonda analogicky polovinu spodní. Sdružené sondy jsou v tyči odpružené pomocí pružin. V případě jednoduchého manipulátoru, jako je např. KOMAŠ II, mohou být ultrazukové trasy tvořeny koaxiálními kabely, protože zde lze jednoduše eliminovat případné rušení ultrazukového signálu.

Snímek sdružené ultrazukové sondy je Obrázku 3.

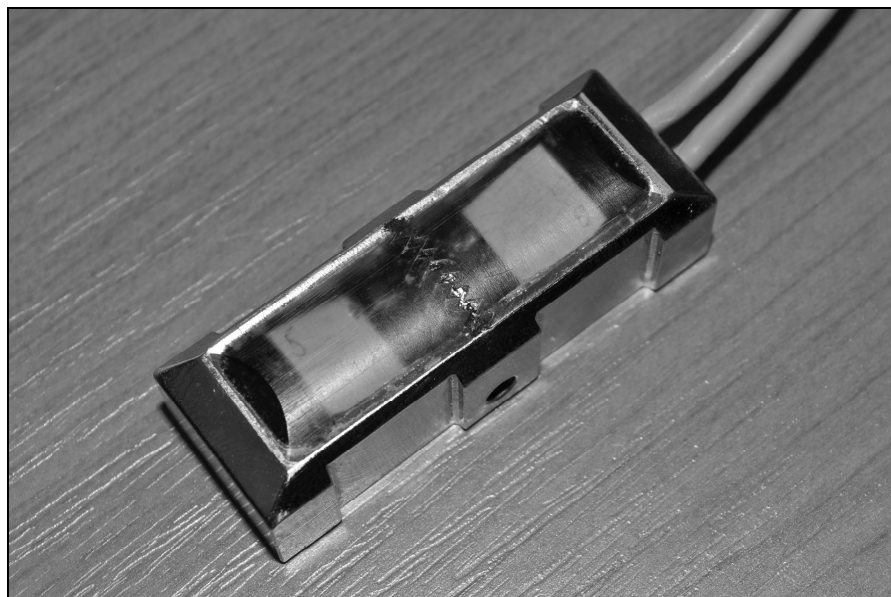


Fig. 3: Multi Element Probe
Obr. 3: Sdružená ultrazuková sonda

5. VÍKO TNR

Automatizovaným způsobem se zkouší nejčastěji obvodový svar víka TNR. Jako příklad bude dále uvedeno zkoušení obvodového svaru víka VVER 440.

Víko TNR typu VVER 440 je vyrobeno z materiálu 15Ch2MFA (18Ch2MFA). Obvodový svar byl u starších TNR realizován elektrostruskovým způsobem, u novějších jsou svary úzkomezerové (šířka 34 mm). Svary mají jmenovitou tloušťku 200 mm a jsou na vnitřním povrchu TNR překryty austenitickým ochranným návarem o nominální tloušťce 8 mm. Osa svarového spoje je 120 mm nad přírubou víka TNR. Svarový spoj se zkouší nedestruktivními metodami z vnějšího povrchu. Kromě povrchových metod (VT, MT nebo ET) je hlavní zkušební metodou NDT ultrazvuk.

Zkušební systémy (manipulátory) pro zkoušení obvodového svaru víka TNR můžeme rozdělit podle principu do dvou skupin:

- Manipulátory s magnetickými kolečky.
- Manipulátory s pohybem po pomocné vodící kolejnici.

5.1. Manipulátory s magnetickými kolečky

Modifikovaný manipulátor MIMIC (Sonomatic, Velká Británie) používá Škoda JS od roku 1996. MIMIC je jednoduchý dvounápravový vozík (magnetická kolečka) s příčným skenerem. Umožňuje nesení dvojice ultrazvukových sond, případně i sond pro zkoušení vířivými proudy. Snímek manipulátor MIMIC je Obrázku 4.

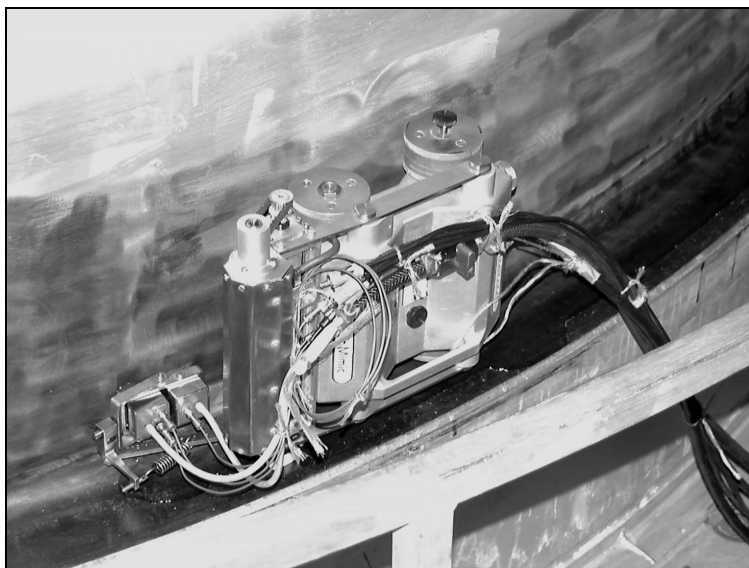


Fig. 4: Manipulator MIMIC
Obr. 4: Manipulátor MIMIC

Obvodový svar víka TNR je prozvučován dvojicí úhlových sond příčných vln ve všech čtyřech směrech a také dvojicí přímých sond (jednoduchou i dvojitou). To vyžaduje celkem pět objездů svarového spoje kolem dokola, což je při vnějším průměru 3440 mm časově náročné. Pokud se zkouší i metodou vířivých proudů (ET), potom se celkový počet objездů zvýší na šest. Každý objезд kolem dokola je rozdělen po čtvrtinách na jednotlivé skeny. Hlavním důvodem je dosažení co nejlepší přesnosti souřadnice v obvodovém směru. V axiálním směru se manipulátor MIMIC opírá o hlavní přírubu víka TNR, tím se zaručena poloha k ose svarového spoje.

MIMIC je ovládán přímo ultrazvukovým přístrojem Microplus I nebo Microplus II. Ultrazvukové sondy jsou speciálně navrženy a vyrobené pro automatizované zkoušení. Mají pouzdro z nerezavějící oceli (pūdorys 30x30 mm), jsou opatřeny rozvodem kontaktní kapaliny a z odolněny proti opotřebení. Sonden se po zkušební povrchu pohybují meandrovitým způsobem – hlavní přímochař vratný měřící pohyb je v axiálním směru. Jmenovitá frekvence ultrazvukových sond je 2,0 MHz. Citlivost zkoušení odrazovou technikou je stejná nebo i vyšší než při výrobních kontrolách [2].

Přístupnost svarového spoje víka TNR umožňuje využívat tzv. podmíněné zkoušení ultrazvukem. Základem provozní kontroly je zkoušení odrazovou technikou. Indikace necelistvostí, které podléhají analýze (posouzení) jsou dále ověřovány odrazovou technikou ručním způsobem. Pro určení charakteru, typu necelistvostí a jejich pravděpodobných (skutečných) rozměrů se dále podle potřeby využívá difrakční technika ToFD nebo technika Phased Array (PA).

5.2. Manipulátory s pohybem po pomocné vodící kolejnici

Na víko TNR VVER 440 lze upevnit pomocnou vodící kolejnici, po které se může pohybovat manipulátor podobný tomu, který se používá při zkoušení obvodových svarů TNR VVER 440 typ V-213 v oblasti hrdlových prstenců. Tento typ manipulátoru (tzv. traktor) bude podrobněji popsán v kapitole 6.

Škoda JS poprvé nasadila v letošním roce manipulátor „Traktor HB“ při provozní kontrole 2. bloku EDU. Pro sběr dat i řízení manipulátoru byl použit ultrazvukový přístroj Microplus II (Sonomatic, Velká Británie).

Hlavními výhodami je přesnější snímání polohy v obvodovém směru, větší rozměry sond (pūdorys 40x40 mm), rozšíření rozsahu zkoušení, více sond ve zkušební hlavici (v našem případě šest) a z toho vyplývající menší počet objездů kolem dokola – stačí pouze dva. I přes nutnost montáže a demontáže pomocné vodící kolejnice dochází k celkovému zkrácení celkové času, který je potřebný pro provedení provozní (předprovozní) kontroly.

Prakticky stejná jmenovitá tloušťka obvodového svaru víka TNR a obvodových svarů TNR v oblasti hrdlových prstenců umožňuje sjednotit metodiky zkoušení a používat shodné ultrazvukové sondy i sondy vířivých proudů.

Objězdy manipulátorem kolem dokola víka TNR jsou rozděleny opět po čtvrtinách obvodu na skeny.

Rozměry a nosnost manipulátoru umožňují automatizovat (mechanizovat) také případné zkoušení difrakční technikou ToFD nebo technikou PA.

Snímek zkušebního systému (manipulátoru) Traktor HB je Obrázku 5.

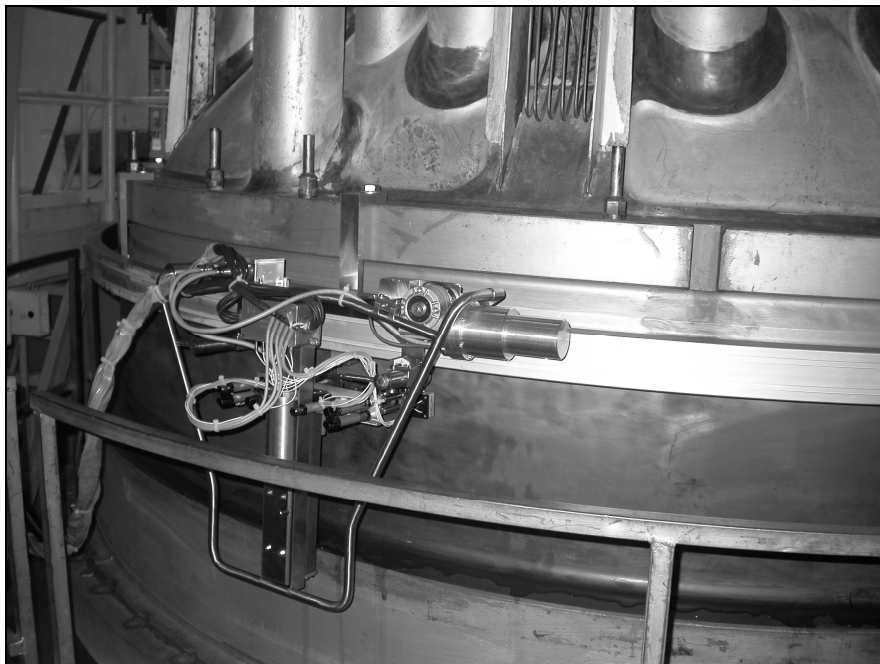


Fig. 5: Manipulator Traktor HB (Škoda JS, Czech Republic)
Obr. 5: Manipulátor Traktor HB (Škoda JS, Česko)

6. TĚLESO TNR

Vzhledem k rozsahu provozních kontrol TNR typu VVER bude hlavním pozornost věnována nedestruktivnímu zkoušení obvodových svarových spojů ultrazvukem.

TNR typu PWR se téměř výhradně zkoušejí ultrazvukem z jejich vnitřního povrchu. JE s reaktory VVER 440 typ V-213 (např. EDU, EBO, EMO, Paks a Loviisa) i s reaktory VVER 1000 typ V-320 (např. ETE) umožňují zkoušet TNR z obou jejich povrchů. Je možné zvolit různé varianty provádění provozních kontrol – střídání zkoušení z vnitřního a vnějšího povrchu v plném rozsahu nebo kombinaci zkoušení z obou povrchů v různém rozsahu. Stanovení intervalu a rozsahu provozních kontrol je dnes plně v kompetenci provozovatelů JE a celý proces podléhá schválení orgánům státního dozoru (u nás SÚJB).

V Rusku platí program provozních kontrol ATPE-2-2005 [3], který stanovuje pro ultrazvukové zkoušení TNR typu VVER 440 interval max. 30000 provozních hodin (4 roky). Zkoušení ultrazvukem se provádí vždy pouze z jednoho povrchu a to podle zkušebního systému (manipulátoru), který je na konkrétní JE k dispozici.

6.1. Zkoušení z vnitřního povrchu TNR

Pro automatizované nedestruktivní zkoušení TNR typu VVER (PWR) z vnitřního povrchu se používají dálkově ovládané systémy (manipulátory), které umožňují kontrolu nejen válcové části TNR, ale i hrdel, dna a v některých případech i příruby TNR. Konstrukční provedení jednotlivých manipulátorů se od sebe liší; dnes používané manipulátory můžeme rozdělit do čtyř skupin:

- Manipulátor s výsuvným teleskopickým sloupem.
- Manipulátor s centrálním (pevným) sloupem.
- Manipulátor s decentrálním (excentrickým) sloupem.
- Ponorka (ROV ... Remotely Operated underwater Vehicle).

6.1.1. Manipulátor s výsuvným teleskopickým sloupem

Skupinu manipulátorů s výsuvným teleskopickým sloupem můžeme dále rozdělit do tří podskupin. Jejich názvy jsou zjednodušeně zvoleny tak, aby co nejlépe vystihovaly charakteristický znak konstrukce manipulátoru:

- **Trojnožka.**
V závitových hnízdech hlavní dělicí roviny TNR je ustavena pevná část manipulátoru charakteristického tvaru. Rotační pohyb vykonává pouze teleskopický sloup s hlavicemi. Např. zkušební systémy firmy Tecnatom (Španělsko) a Škoda JS – MKS (Česko).
- **Kolejnice.**
Na hlavní dělicí rovině TNR je umístěna kolejnice (kruhová dráha), po které se pohybuje manipulátor jako celek. Např. zkušební systémy firem TRC (Švédsko) a Škoda JS – SKIN (Česko).
- **Stínící deska.**
Součástí manipulátoru je stínící deska (překrytí TNR). Zkušební systém je opět položen na hlavní dělicí rovině TNR. Např. zkušební systémy firmy NIKIMT (Rusko).

Manipulátory na principu trojnožky jsou ve světě velmi rozšířené, ale jsou zatím využívány pouze při kontrolách reaktorů typu PWR.

V roce 1993 ověřovala firma Tecnatom (Španělsko) možnost nasazení tohoto typu manipulátoru na maďarské JE Paks (VVER 440 typ V-213). Ilustrativní snímek manipulátoru firmy Tecnatom je na Obrázku 6.

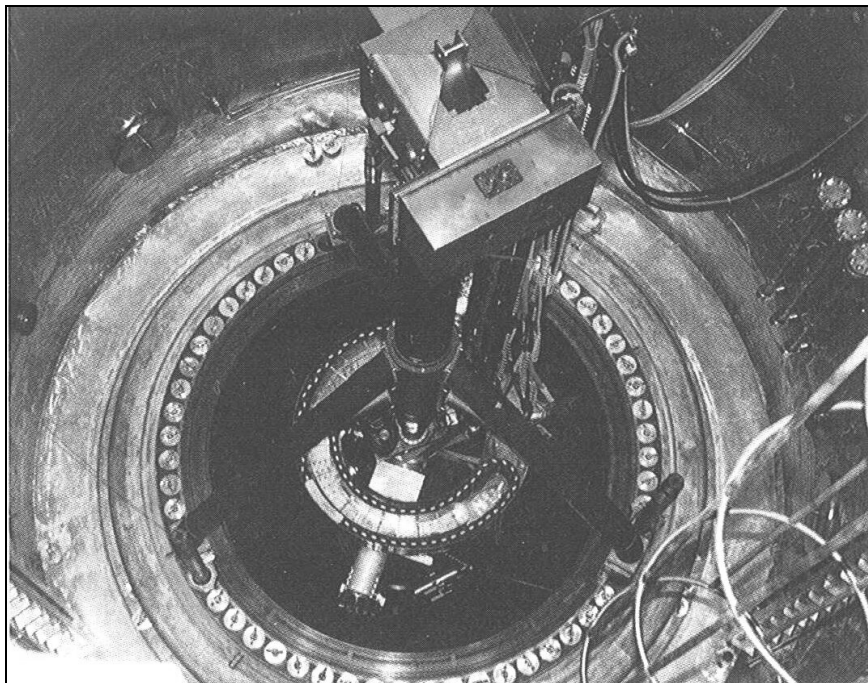


Fig. 6: Manipulator Tecnatom (Spain)
Obr. 6: Manipulátor Tecnatom (Španělsko)

Škoda JS v současné době dokončuje vývoj a vyrábí nový zkušební systém (manipulátor) MKS („Modulární kontrolní systém“), který bude také této koncepce. Jeho první nasazení při provozních kontrolách TNR typu VVER je plánováno na rok 2014.

Hlavním cílem projektu MKS je zkrácení celkové doby provozních (předprovozních) kontrol TNR oproti stávajícímu zařízení SKIN. Zachovává možnost zkoušení TNR typu VVER 440 a VVER 1000 a navíc rozšiřuje použitelnost i pro TNR typu VVER 1200 (MIR) a AP 1000. Vzhledem k velké odlišnosti rozměrů (průměru) TNR typu EPR 1600 v oblasti hlavního přírubového spoje není možné použít univerzální portál manipulátoru. Konstrukce MKS však umožňuje použití na TNR typu EPR 1600 náhradou opěrných komponent.

Schéma manipulátoru MKS je na Obrázku 7.

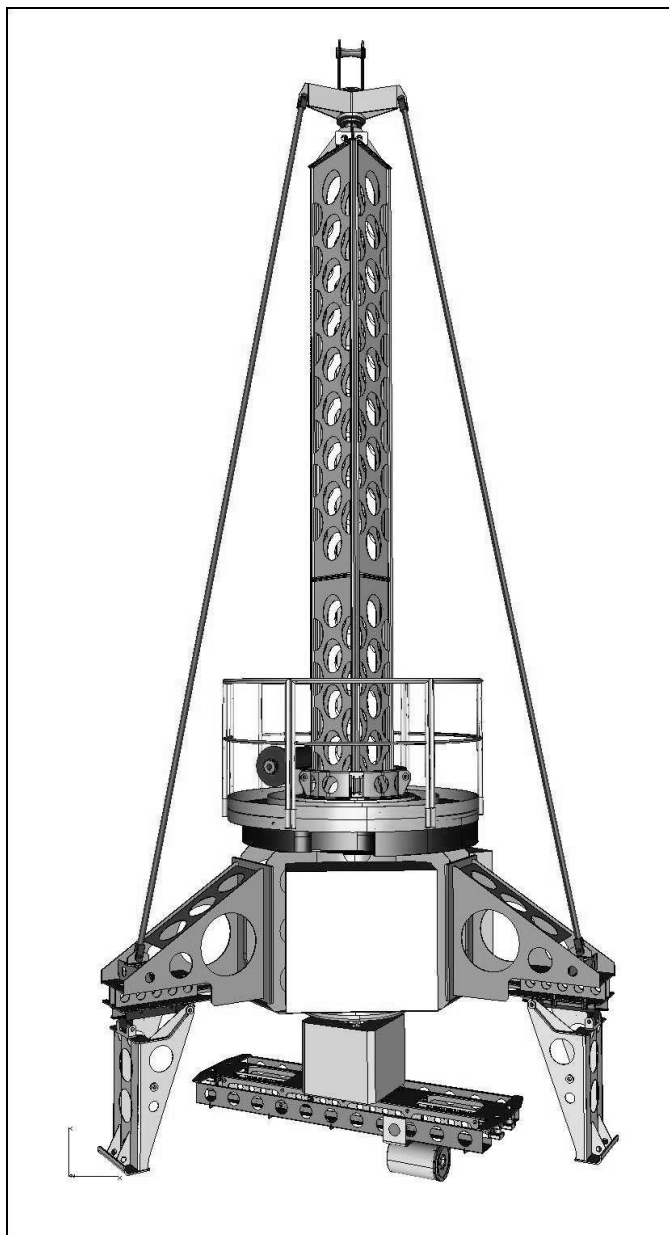


Fig. 7: Manipulator MKS (Škoda JS, Czech Republic)
Obr. 7: Manipulátor MKS (Škoda JS, Česko)

ŠKODA JS a.s. má třicetileté zkušenosti s provozem zkušebních systémů (manipulátorů) s výsuvným teleskopickým sloupem na principu kolejnice.

Zkušební systém švédské firmy TRC nesl plný název Škoda REACTORTEST TRC a byl v letech 1982÷92 použit celkem při 31-ti provozních (předprovozních) kontrolách tlakových nádob reaktorů pouze typu VVER 440. Snímek manipulátoru TRC je na Obrázku 8.

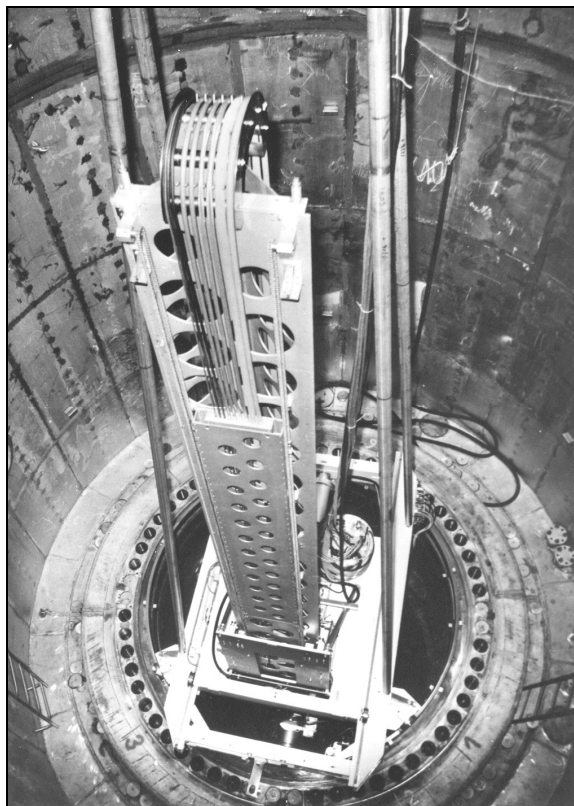


Fig. 8: Manipulator TRC (Sweden)
Obr. 8: Manipulátor TRC (Švédsko)

Zkušenosti z provozu manipulátoru Škoda REACTORTEST TRC byly plně využity při vývoji, konstrukci a výrobě nového manipulátoru SKIN. Od roku 1992 byl manipulátor SKIN zatím použit při 37-ti provozních (předprovozních) kontrolách TNR typu VVER 440 a VVER 1000. V době konání konference Defektoskopie 2012 právě probíhá provozní kontrola 2. bloku Arménské JE (VVER 440 typ V-270) tímto zkušebním systémem. Půjde-li vše podle plánu, tak to bude jeho derniéra a tím i konec dvacetileté kariéry. Snímek manipulátoru SKIN na Obrázku 9.

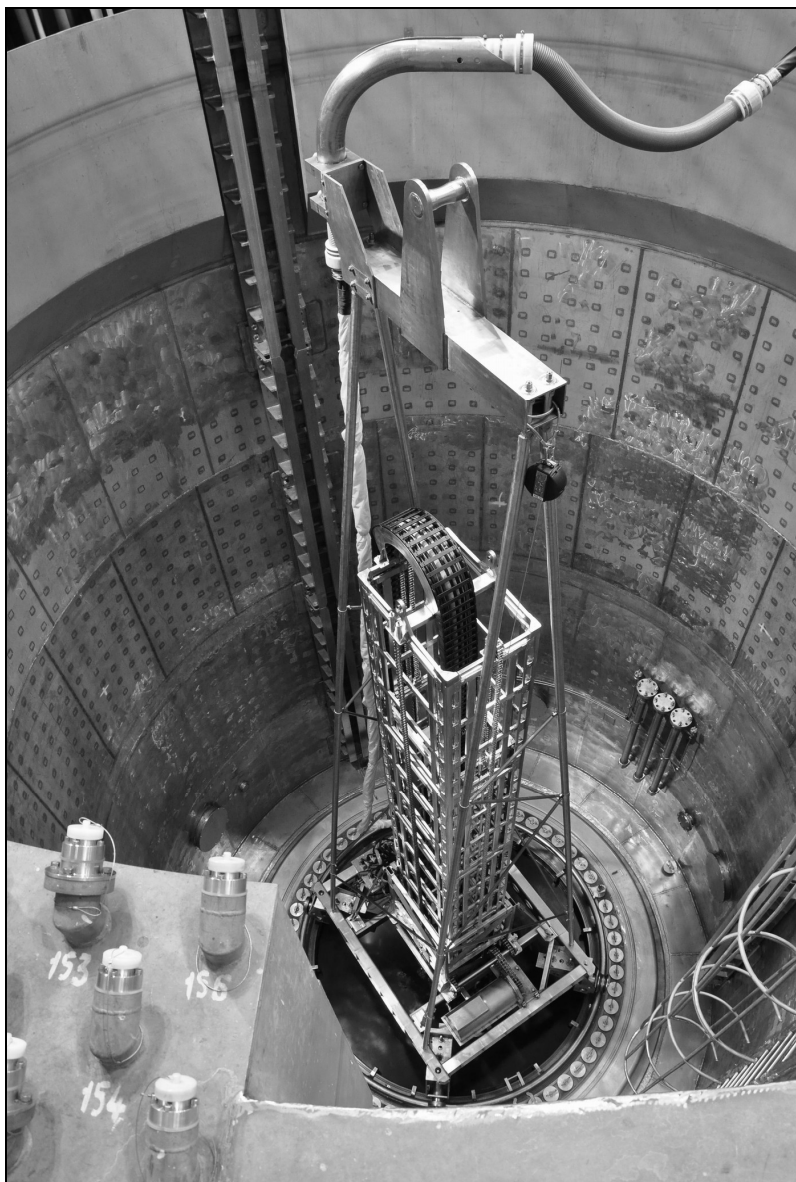


Fig. 9: Manipulator SKIN (Škoda JS, Czech Republic)
Obr. 9: Manipulátor SKIN (Škoda JS, Česko)

Manipulátory na principu stínící desky vyrábí a používá pouze ruská firma NIKIMT. Autorům příspěvku se nepodařilo získat kvalitní snímek, proto je zde ukázán všeobecný výkres – viz Obrázek 10. Charakteristickým rysem těchto manipulátorů je vysoká hmotnost (cca 40 t). Manipulátor SK-27 byl použit např. při předprovozních kontrolách na čínské JE Tianwan (VVER 1000 typ V-428). Na tomto zkušebním systému je stále využívána ultrazvuková technika TTL – viz příspěvek [4].

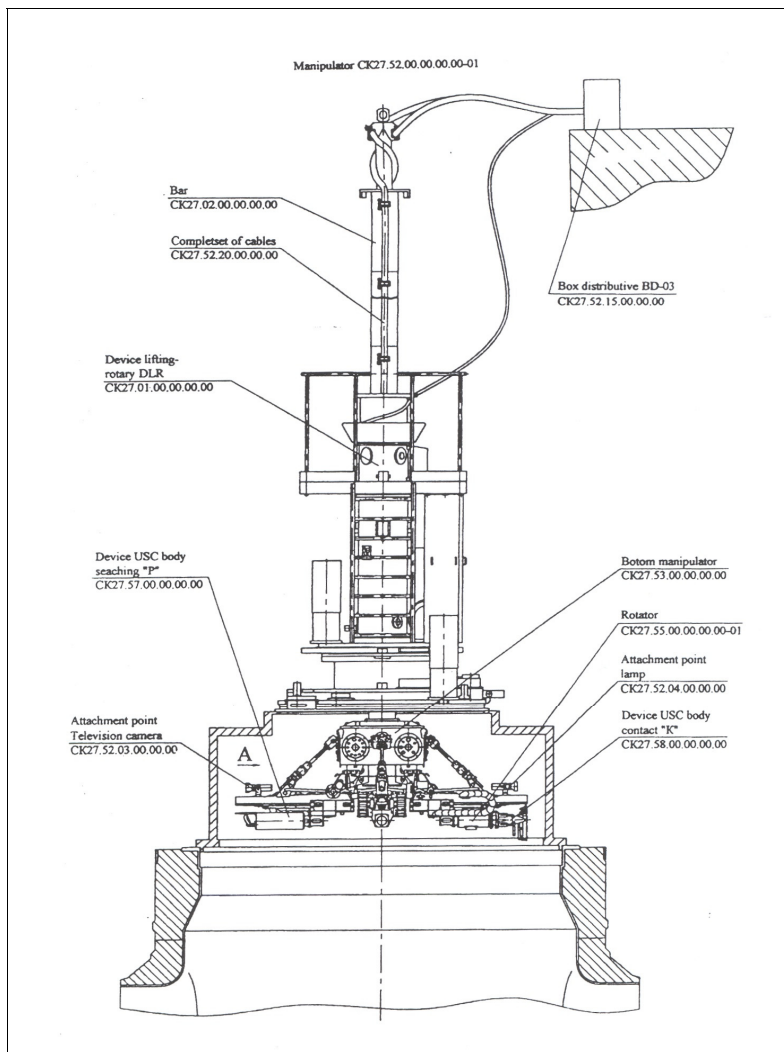


Fig. 10: Manipulator SK-27 (NIKIMT, Russia)
Obr. 10: Manipulátor SK-27 (NIKIMT, Rusko)

6.1.2. Manipulátor s centrálním (pevným) sloupem

Pro laickou i odbornou veřejnost je manipulátor s centrálním (pevným) sloupem spojen s německou firmou KWU (Siemens) – systém ZMM (Zentral Mast Manipulator) a to i navzdory faktu, že prototyp a první generaci těchto manipulátorů vyrobila firma MAN (Německo). Snímek manipulátoru ZMM (viz Obrázek 11) sice není z kontroly reaktorů typu VVER, ale to na principu jistě nic nemění. Poprvé byl tento manipulátor použit při provozních kontrolách TNR typu VVER 440 na JE NORD (býv. NDR) v roce 1987.

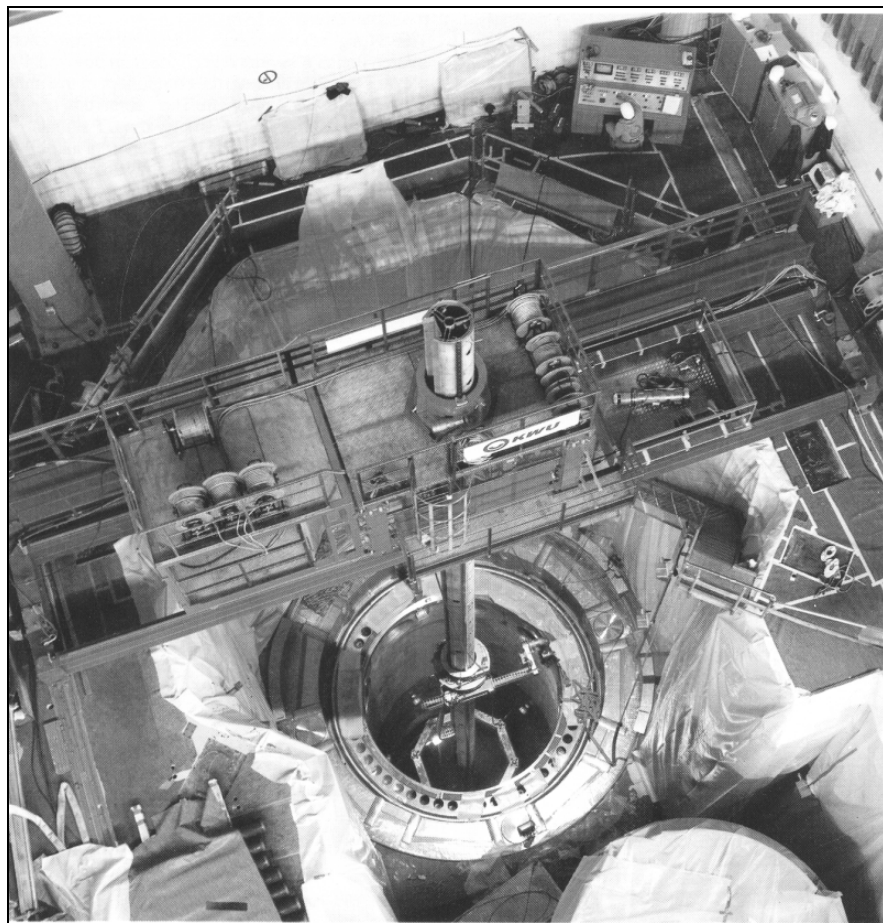


Fig. 11: Manipulator ZMM (Siemens – KWU, Germany)
Obr. 11: Manipulátor ZMM (Siemens – KWU, Německo)

Zkušební systém firmy INETEC (Chorvatsko) je představitelem relativně subtilního a lehkého manipulátoru s centrálním (pevným) sloupem. Snímek tohoto manipulátoru v transportní poloze je na Obrázku 12 (JE Loviisa, Finsko). Loviisa je jedinou provozovanou JE s reaktory typu VVER 440, která je vybavena ochrannou obálkou (kontejnmentem).

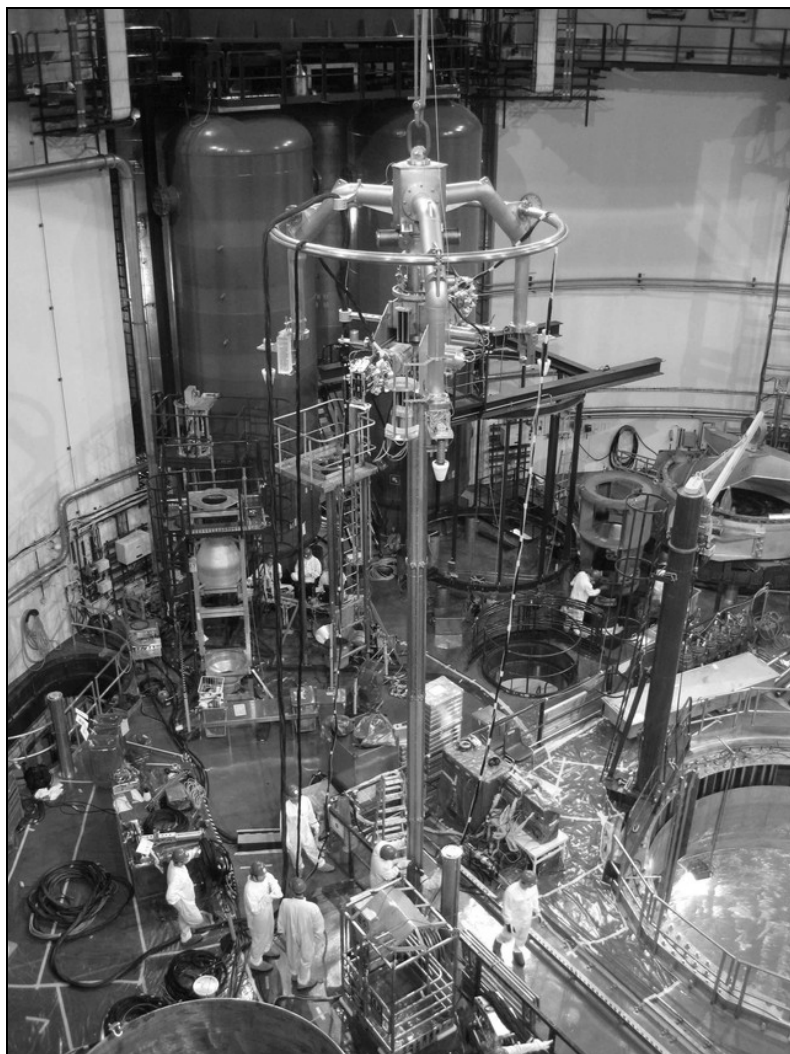


Fig. 12: Manipulator INETEC (Croatia)
Obr. 12: Manipulátor INETEC (Chorvatsko)

6.1.3. Manipulátor s decentrálním (excentrickým) sloupem

První zkušební systém s decentrálním (excentrickým) sloupem PIONEER byl vyvinut firmou MAN (Německo) koncem 80. let minulého století, když firma General Electric (USA) hledala spolupráci při provozních kontrolách starších bloků JE s reaktory typu PWR. Při provozních (předprovozních) kontrolách TNR typu VVER zatím nebyly manipulátory tohoto typu použity.

V září 2010 přeložila švédská firma AF Kontroll (koncern DEKRA) návrh zkušebního systému pro zkoušení TNR typu VVER 1000 [5], který můžeme vidět na Obrázku 13.

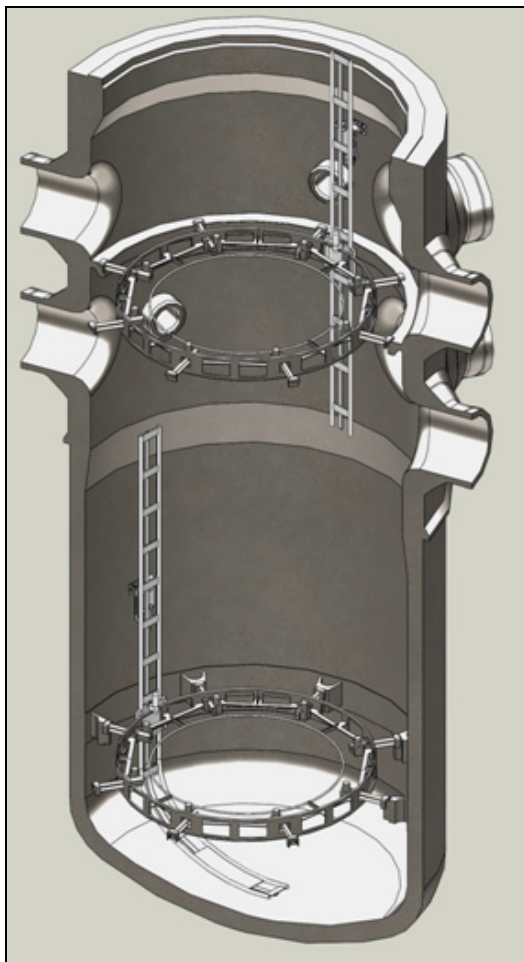


Fig. 13: Manipulator AF Kontroll (Sweden)
Obr. 13: Manipulátor AF Kontroll (Švédsko)

6.1.4. Ponorka (ROV ... Remotely Operated underwater Vehicle)

Ponorky (ROV) zatím nebyly použity při provozních kontrolách TNR typu VVER, protože jejich hlavní zkušební metodou NDT je VT. Pro příklad zde uvádíme nezávislý TV inspekční systém SUSI 420 (AREVA NP GmbH, Německo), který byl primárně vyvinutý pro dálkové vizuální zkoušení komponent primárního okruhu pod vodou, včetně zkoušení TNR – viz Obrázek 14.



Fig. 14: ROV SUSI 420 (Germany)
Obr. 14: ROV SUSI 420 (Německo)

Japonská firma IHI používá pro ultrazvukové zkoušení podvodní zkušební robot, který nese označení AIRIS 21 a je použitelný pro zkoušení jak TNR typu PWR, tak i TNR typu BWR. AIRIS 21 můžeme vidět na Obrázku 15.

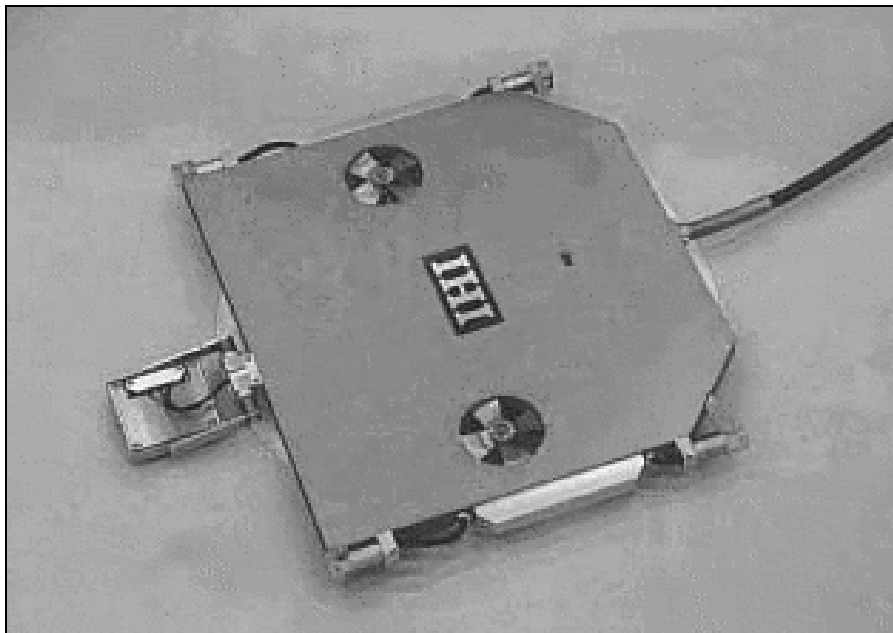


Fig. 15: ROV IHI (Japan)
Obr. 15: ROV IHI (Japonsko)

6.2. Zkoušení z vnějšího povrchu TNR

Tlakové nádoby reaktorů typu VVER jsou zavěšeny na osazení (systém opěr nádoby) pod spodními hrdly TNR. Tím je nedestruktivní zkoušení TNR z vnějšího povrchu rozděleno na dvě zcela odlišné oblasti:

- Spodní hladká válcová část a dno TNR.
- Oblast hrdel (nátrubků) TNR.

Spodní hladká válcové část a dno TNR se zkouší nedestruktivními metodami automatizovaným způsobem buď přenosnými manipulátory s magnetickými kolečky (např. ASK-172) nebo pomocí stabilních zkušebních systémů, které byly přímo součástí dodávky kompletů TNR (např. USK-213 a SK-187).

Zařízení (zkušební systém) ASK-172 je určeno pro zkoušení reaktorů VVER 1000 z vnějšího povrchu. Bylo vyvinuto a vyrobeno v ruské firmě Atomenergoremont. Zkušební systém se skládá z jednotlivých manipulátorů (podsystémy), které se pohybují po zkušebním povrchu pomocí magnetických koleček. První prototyp, ještě pod označením ASK-133, byl poprvé použit v roce 1988 při provozní kontrole na Kalininské JE (Rusko). Schéma zkušebního systému ASK-172 je na Obrázku 16.

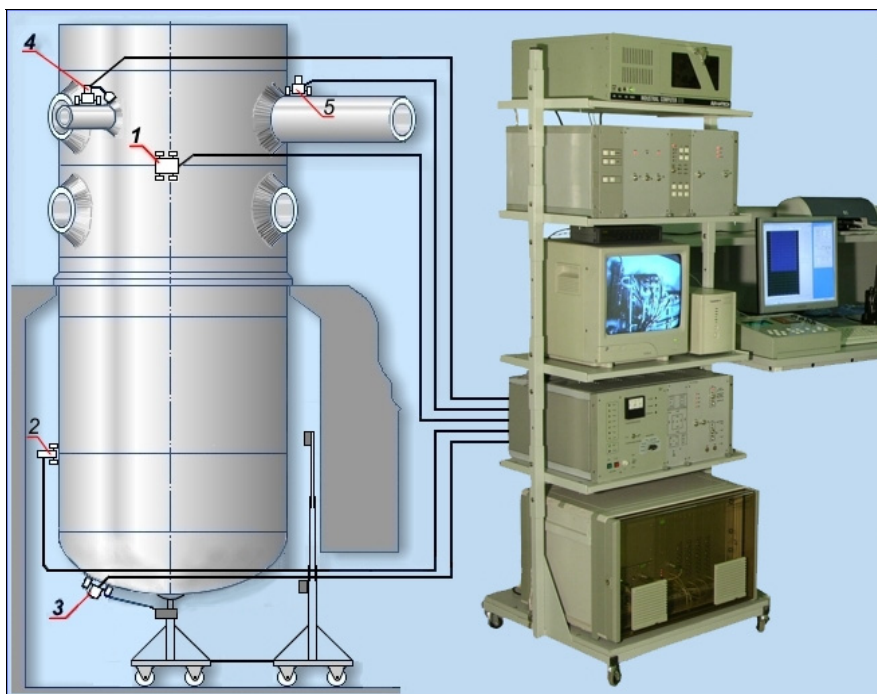


Fig. 16: System ASK-172 (Atomenergoremont, Russia)
Obr. 16: Systém ASK-172 (Atomenergoremont, Rusko)

Daleko rozšířenější způsob nedestruktivního zkoušení hladké válcové části a dna TNR je pomocí stabilních zkušebních systémů (manipulátorů) firmy NIKIMT (Rusko) – USK-213 (VVER 440) a SK-187 (VVER 1000).

Pro zkoušení hladké válcové části TNR se využívá teleskopický sloup, který se vysouvá do mezery mezi TNR a biologickým stíněním. Sloup nese zkušební hlavici, včetně TV kamer.

Zkušební systémy USK-213 a SK-187 byly dodány jako součást kompletů TNR. Prakticky všichni provozovatelé JE nebo dodavatelé provozních (předprovozních) kontrol tyto zkušební systémy průběžně modernizují.

Zajímavou součástí původních (nemodernizovaných) systémů bylo použití ultrazvukové techniky TTL – viz příspěvek [4] – pro prozvučování obvodových svarových spojů v oblasti aktivní zóny.

Snímek manipulátoru SK-187 – modernizovaného podsystému pro zkoušení spodní hladké válcové části a dna TNR typu VVER 1000 (ETE) je na Obrázku 17. Modernizace manipulátoru byla provedena ve firmě Škoda JS. Manipulátor (tzv. tančík) je vyfocen v parkovací poloze před zajištěním do prostoru pod TNR.

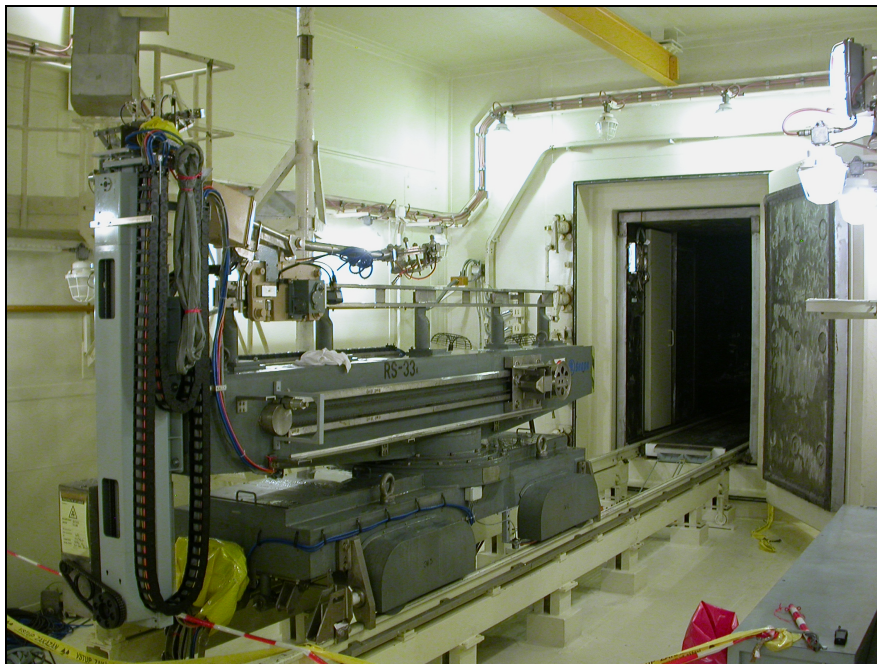


Fig. 17: System SK-187 (NIKIMT, Russia / Škoda JS, Czech Republic)
Obr. 17: Systém SK-187 (NIKIMT, Rusko / Škoda JS, Česko)

Zkoušení oblasti hrdel (nátrubků) automatizovaným způsobem je usnadněno faktem, že jsou v této oblasti na vnějším povrchu TNR upevněny vodící kolejnice, které umožňují pohyb podsystémů pro nedestruktivní zkoušení obvodových svarů TNR. Obdobné manipulátory se používají pro zkoušení víka TNR – viz kapitola 5.2.

Manipulátory, které pocházejí z původních zkušebních systémů USK-213 a SK-187, se slangově nazývají „traktory“. Procházejí také průběžně modernizacemi, liší se zejména rozsahem pohybu pohybového mechanismu (skeneru), který vykonává přímočarý vratný pohyb.

Svarové spoje TNR v oblasti hrdel lze zkoušet i ručním způsobem; radiační situace to při odstávce s rozšířenou výměnou paliva umožňuje. Standardně se zde provádí přímá vizuální kontrola (VT).

Zkušební systém USK-213 byl na maďarské JE Paks po modernizaci přejmenován na systém Trias. Snímek je na Obrázku 18.

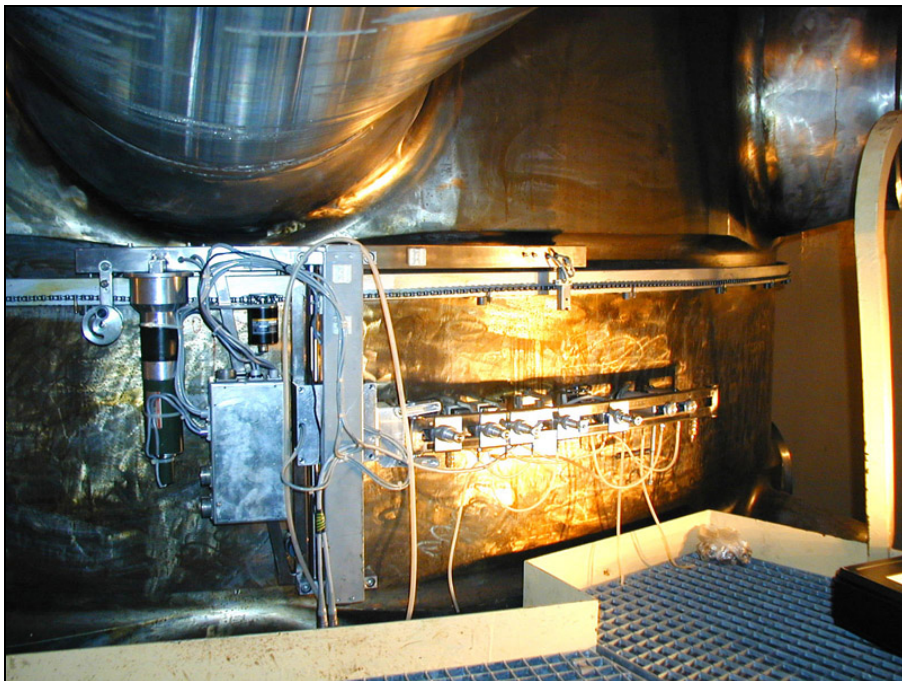


Fig. 18: System Trias (PA Zrt, Hungary)
Obr. 18: Systém Trias (PA Zrt, Maďarsko)

6.3. Metodika ultrazvukového zkoušení

Metodický přístup k provádění a vyhodnocování výsledků ultrazvukové zkoušení TNR při provozních kontrolách je dvojí – buď se vychází stále z požadavků a kritérií pro výrobní kontroly nebo existují speciální předpisy pouze pro kontroly provozní. Citlivost zkoušení se zvyšuje, běžně se používají difrakční technika ToFD nebo technika PA a jsou zohledňovány požadavky z tzv. technických kvalifikací. Celé problematice byla věnována již řada příspěvků – např. na konferenci Defektoskopie 2010 [6] nebo i v loňském roce [7].

7. STATISTIKA

Odbor Provozní prohlídky a prohlídky (Škoda JS, divize Servis JE) realizoval za uplynulých 30 let celou řadu předprovozních a provozních kontrol tlakových nádob reaktorů (TNR), svarů hlavního cirkulačního potrubí (HCP), vnitřních částí reaktorů (VČR) a parogenerátorů (PG) typu VVER automatizovaným (mechanizovaným) způsobem.

Zde jsou uvedeny souhrnné počty k dnešnímu dni:

- **66** kontrol **TNR** typu VVER z **vnitřního** povrchu (od roku 1982)
- **77** kontrol svorníků, matic a závitových hnízd (lůžek) **TNR** typu VVER 440 a VVER 1000 (od roku 1982)
- **49** kontrol **TNR** typu VVER z **vnějšího** povrchu (od roku 1986)
- **74** kontrol **smyček** (á 6 svarů) **HCP** typu VVER 440 (od roku 1996)
- **16** kontrol svaru **víka** **TNR** typu VVER 440 (od roku 1999)
- **28** kontrol **větví** (á 5 svarů) **HCP** typu VVER 1000 (od roku 2000)
- **20** kontrol **VČR** typu VVER 1000 (od 2003)
- **2** odběry **vzorků z TNR** typu VVER 440 (od roku 2005)
- **11** kontrol **teplosměnných** trubek (á 1 kolektor) **PG** typu VVER 440 a VVER 1000 (od roku 2011)

8. ZÁVĚR

Autoři příspěvku pouze naznačili problematiku nedestruktivního zkoušení TNR typu VVER. Uvedené příklady vycházejí především z již třicetiletých zkušeností s automatizovaným (mechanizovaným) nedestruktivním zkoušením, které Škoda JS v letošním završila. Při orální prezentaci budou všechny obrázky předvedeny v lepší kvalitě a pochopitelně barevně. Další informaci o nedestruktivním zkoušení TNR typu VVER naleznou případní zájemci v příspěvcích z předcházejících konferencí „Defektoskopie“, kde byla publikována celá řada informací, které v tomto příspěvku nebyly z prostorových a časových důvodů uvedeny.

POUŽITÁ A SOUVISEJÍCÍ LITERATURA

- [1] Ae 13691 / Dok Rev. 2
Technické zdůvodnění zkoušení svorníků M 140x6 ultrazvukovou metodou kolektiv autorů, ŠKODA JS a.s., výzkumná zpráva, Plzeň, 2011.
- [2] Ae 13367 / Dok Rev. 1
Zkoušení obvodového svaru víka TNR VVER 440 z vnějšího povrchu ultrazvukem – odrazová technika kolektiv autorů, ŠKODA JS a.s., technický postup (instrukce), Plzeň, 2012.
- [3] ATPE-2-2005
Tipovaja programma kontrolja za sostojaniem osnovnogo metalla i svarnyh soedinenij oborudovanija i truboprovodov atomnyh elektrostancij s reaktornoj ustanovkoj VVER 440 pri ekspluatácii FGUP koncern „Rosenergoatom“, Moskva, 2005.
- [4] Technika TLL („Tandem“)
kolektiv autorů, konference Defektoskopie 2009, příspěvek, Praha, 2009.
- [5] Delivery of Manipulators for Inspection of Reactor Pressure Vessel and Nozzles for WWER 440 and WWER 1000 kolektiv autorů, AF Kontroll, prezentace, Temelín, 2010.
- [6] Automatizované zkoušení TNR typu VVER ultrazvukem kolektiv autorů, konference Defektoskopie 2010, příspěvek, Plzeň, 2010.
- [7] Optimalizace ultrazvukového zkoušení TNR typu VVER při provozních kontrolách kolektiv autorů, konference Defektoskopie 2011, příspěvek, Ostrava, 2011.

