POŽADAVKY NA DETEKCI ÚNIKŮ CHLADIVA Z PRIMÁRNÍHO OKRUHU REAKTORU PŘI APLIKACI METODY

„ÚNIK PŘED ROZTRŽENÍM (LBB)“

Dne 1.7.1997 vstoupil v platnost zákon č. 18/1997 Sb. „Atomový zákon“, který v § 4 odst. 3 a 7 ukládá každému kdo provádí činnosti související s využíváním jaderné energie povinnost postupovat tak, aby byla přednostně zajišťována jaderná bezpečnost a dále povinnost zavést systém jakosti způsobem a v rozsahu stanoveném vyhláškou SÚJB č. 214/1997 Sb.

„Atomový zákon“ dále každému držiteli povolení k provozu jaderného zařízení ukládá dle § 18 odst. 1 písm a) povinnost sledovat, měřit, hodnotit, ověřovat a zaznamenávat veličiny, parametry a skutečnosti důležité z hlediska jaderné bezpečnosti v rozsahu stanoveném prováděcími předpisy.

Ve vyhlášce č. 214/1997 Sb. v § 20 odst. 6 se stanoví, že ověřování návrhu jaderných zařízení musí být zajištěno vhodnými metodami, mimo jiné aplikací vhodného zkušebního programu. V § 21 odst. 7 písmeno c) se požaduje zajistit ověřování návrhu vybraných zařízení pro normální, abnormální a havarijní podmínky, včetně uvažovaných nadprojektových událostí z hlediska jaderné bezpečnosti a ochrany před ionizujícím zářením vzhledem k namáhání, spolehlivosti, funkční schopnosti a životnosti vybraných zařízení.

Vzhledem k faktu, že je potřebné zavést do oblasti monitorování integrity potrubních systémů primárního okruhu mezinárodní praxi, pověřil předseda Státního úřadu pro jadernou bezpečnost (SÚJB) Ing. Ján Štuller náměstka pro jadernou bezpečnost vydat tento návrh návodů a doporučení pro „Systémy detekce úniku chladiva z primárního okruhu jaderného reaktoru z hlediska vhodnosti využití pro metodiku „únik před roztržením““.

Návody a doporučení budou sloužit jako vodítko určené držiteli povolení k vypracování bezpečnostní dokumentace podle přílohy k zákonu č.18/1997 Sb. část D, E a F pro oblast průkazů týkajících se připravenosti a funkceschopnosti zařízení důležitých z hlediska jaderné bezpečnosti za definovaných podmínek. Návrh „Návodů a doporučení …“ bude podkladem ke zpracování konečné verze, kterou SÚJB vydá ve formě „Bezpečnostních návodů“ na základě připomínek a komentářů odborné veřejnosti.

Pokud se bude po vydání konečné verze držitel povolení řídit „Systémy detekce úniku chladiva z primárního okruhu jaderného reaktoru z hlediska vhodnosti využití pro metodiku „únik před roztržením““, bude považována příslušná část bezpečnostní zprávy za vyhovující a požadavky právních předpisů za splněné.

Ing. Karel B ö h m

náměstek pro jadernou bezpečnost

OBSAH

ÚVOD…… 4

1. PŘEDMĚT NÁVODU A DOPORUČENÍ A OBLAST POUŽITÍ…… 5

2. ROZDĚLENÍ ÚNIKŮ…… 5

3. METODY DETEKCE ÚNIKU CHLADIVA V OCHRANNÉ OBÁLCE….. 6

3.1. URČOVÁNÍ HMOTNOSTNÍ BILANCE CHLADIVA……. 7

3.2. MĚŘENÍ MNOŽSTVÍ NÁTOKU VE SBĚRNÝCH JÍMKÁCH……. 8

3.3. MĚŘENÍ AKUSTICKÉHO SIGNÁLU……. 8

3.4. MĚŘENÍ RADIOAKTIVITY OVZDUŠÍ V OCHRANNÉ OBÁLCE…….. 8

3.5. MĚŘENÍ VLHKOSTI OVZDUŠÍ V OCHRANNÉ OBÁLCE……. 8

3.6. MĚŘENÍ VLHKOSTI V IZOLACI POTRUBÍ…….……. 9

3.7. MĚŘENÍ MNOŽSTVÍ ZKONDENZOVANÉ VODY V CHLADIČÍCH VZDUCHOTECHNICKÝCH SYSTÉMŮ…… . 9

4. DETEKCE MEZISYSTÉMOVÝCH ÚNIKŮ…… 8

5. POŽADAVKY NA DETEKCI ÚNIKU CHLADIVA ……... 9

6. NÁVRH OBSAHU PROVOZNÍCH PŘEDPISŮ …… 10

LITERATURA…….. 12

ÚVOD

V roce 1991 publikovala ČSKAE v dokumentu „Požadavky pro sestavení a obsah bezpečnostních zpráv a jejich dodatků“ (č. 1/1991) metodu „únik před roztržením“, běžně označovanou zkratkou LBB (Leak Before Break), která umožňuje prokázat extrémně nízkou pravděpodobnost postulovaného gilotinového roztržení potrubí primárního okruhu při splnění definovaných podmínek.

Metoda „únik před roztržením“ je založena na analýze prokazující metodami lomové mechaniky, že rozvoj trhliny skrze stěnu potrubí způsobí únik chladiva, který může být s využitím diagnostických systémů elektrárny monitorován dlouho před tím, než tato průchozí trhlina doroste do velikosti kdy je nestabilní. Zjištěný únik chladiva převyšující specifikovaný limit umožní operátorovi zasáhnout dle pokynů provozních předpisů. Nezbytným předpokladem pro využití metody z pohledu detekce úniku je prokázání schopnosti diagnostických systémů monitorovat úniky chladiva.

Dokument ČSKAE č. 1/1991 sestává ze dvou částí; první část je věnována postupu pro stanovení průkazu LBB. Druhá část dokumentu s názvem „Detekční systémy úniku z tlakového chladícího okruhu jaderného reaktoru“ byla prakticky převzata z dokumentu U.S. Atomic Energy Commission, Regulatory Guide 1.45 „Reactor Coolant Pressure Boundary Leakage Detection Systems“, který byl vydán v roce 1973. RG 1.45 byl zpracován pro aplikace LBB pro primární okruhy reaktorů typu PWR a odpovídá svou úrovní době vydání. Od doby vydání RG 1.45 došlo v oblasti systémů detekce úniků k významnému technickému pokroku; to se mimo jiné odrazilo ve zvýšené citlivosti, přesnosti a spolehlivosti používaných metod. Tato fakta spolu s výsledky analýz a experimentů, které byly provedeny na potrubích primárních okruhů reaktorů typu VVER umožnily přikročit k dokonalejší formulaci požadavků na detekční systémy.

1. PŘEDMĚT NÁVODU A DOPORUČENÍ A OBLAST POUŽITÍ

Detekce úniků chladiva umožňuje včas upozornit na děje, které jsou svázány s porušením těsnosti primárního okruhu jaderného reaktoru. Množství unikajícího chladiva je zapotřebí kontrolovat zejména během provozu bloku JE na výkonu, kdy jsou potrubí a zařízení vystaveny působení vysoké teploty a tlaku chladiva. Odstavováním bloku končí činnost systémů detekce pro potřeby LBB. Včasná detekce unikajícího chladiva může zabránit možnému porušení integrity potrubních systémů včetně případných následků a přispívá tak ke zvýšení bezpečnosti provozu jaderných elektráren (JE).

Tento dokument stanoví základní požadavky na systémy detekce úniku chladiva z hlediska současných poznatků a současného stavu techniky přičemž byly vzaty v úvahu některé odlišnosti primárních okruhů reaktorů typu VVER. Dokument bude podkladem pro inovaci druhé části publikace ČSKAE č. 1/1991 „Detekční systémy úniku z tlakového chladícího okruhu jaderného reaktoru“. Pokud se držitel povolení k provozu rozhodne postupovat v souladu s první částí publikace ČSKAE č. 1/1991 „Postup pro stanovení průkazu „únik před roztržením““ (Leak Before Break – LBB) bude muset pro detekci úniků zvolit řešení, které vyhoví požadavkům uvedeným v tomto dokumentu.

2. ROZDĚLENÍ ÚNIKŮ

Úniky z primárního okruhu lze rozdělit primárně na úniky organizované a neorganizované.

Organizovaný únik je:

1) Únik do uzavřených systémů těsněním čerpadel či těsněním armatur. Musí být změřen jeho průtok.

2) Únik do ochranné obálky z takových zdrojů, kdy lze přesně určit místo úniku a změřit jeho množství. Jedná se většinou o úniky z těsnících vřeten ventilů, těsnění hřídelů cirkulačních čerpadel a dalších zařízení, která nelze vyrobit absolutně těsná.

Neorganizované úniky jsou všechny ostatní úniky chladiva. Neorganizovaný únik může být:

1) Únik trhlinou v potrubním systému do ochranné obálky, resp. uzavřených prostorů (únik přes tlakové rozhraní)

2) Únik těsněním přírubových spojů do ochranné obálky, resp. uzavřených prostorů

3) Únik mezisystémový, např. z primárního okruhu do sekundárního trhlinami v parogenerátorových trubkách.

Organizované úniky musí být zachyceny a svedeny do jímky nebo sběrné nádrže.

Neorganizované úniky lze dále rozdělit podle velikosti na úniky relativně malé, které nezpůsobují pokles parametrů chladiva v primárním okruhu a na úniky relativně velké, při kterých systémy doplňování nestačí udržovat parametry chladiva (zejména tlak). Aplikace metodiky "únik před roztržením" vyžaduje detekovat množství chladiva menší nebo rovno 3.8 l/min, což se považuje za únik relativně malý.

Tento dokument se týká neorganizovaných úniků primárního chladiva trhlinou v potrubním systému o takové velikosti, která nezpůsobuje okamžitý pokles parametrů primárního chladiva.

3. METODY DETEKCE ÚNIKU CHLADIVA V OCHRANNÉ OBÁLCE

Při vzniku neorganizovaného úniku se část chladiva dostává mimo potrubní systém. Při průchodu chladiva trhlinou v potrubí nebo těsněním přírubových spojů se generuje akustický signál, který se šíří materiálem potrubí. Část chladiva se okamžitě vypaří. Množství chladiva, které se okamžitě vypaří závisí na teplotě a tlaku chladiva uvnitř potrubního systému. Pro JE s bloky VVER je to přibližně 40% [3]. Chladivo, které se nevypaří okamžitě se může pozvolna vypařovat při kontaktu s horkými povrchy potrubí a pod. Část vypařeného chladiva může následně kondenzovat na chladnějším povrchu různých zařízení a stěn uvnitř ochranné obálky. Spolu s chladivem se dostávají mimo potrubí i radioaktivní látky, které jsou v chladivu obsaženy. Jedná se o aktivované příměsi chladiva, upravující vodní režim primárního okruhu, produkty koroze, produkty vznikající rozpadem paliva aj. Zdrojem produktů rozpadu paliva v chladivu jsou zpravidla stopová znečištění vnějšího povrchu palivových tyčí při jejich plnění oxidem uranu a případné netěsnosti obálky paliva. Část radioaktivních příměsí zůstane v nevypařeném chladivu, část se dostane do ovzduší ochranné obálky ve formě aerosolů a plynů.

Jako detekční systémy pro aplikaci LBB mohou být použity systémy instalované speciálně pro aplikaci LBB nebo již existující systémy detekce úniků chladiva, které sice byly primárně instalovány pro jiné účely, ale lze je využit rovněž pro účely LBB (je to např. systém pro určování hmotnostní bilance chladiva v primárním okruhu). Systémy detekce zahrnují detektory, síť přenosu informací a vyhodnocovací jednotky.

Navzájem mohou být různé způsoby detekce z technického hlediska nezávislé, tj. nevyužívají stejných technických komponent (např. detektorů) a dále mohou být nezávislé z hlediska fyzikálního principu využitého pro detekci, tzn. detekují se různé následky unikajícího chladiva. Za nezávislé způsoby detekce jsou v tomto dokumentu považovány pouze ty systémy, které jsou nezávislé technicky i fyzikálně (tzn. přijímá se princip redundance a diversifikace).

Z hlediska potřeb zajištění detekce úniku primárního chladiva mohou detekční metody:

- detekovat únik, tj. zjistit, že únik nastal,
- kvantifikovat únik, tj. zjistit, že únik nastal a určit jeho velikost,
- lokalizovat únik, tj. zjistit, že únik nastal a určit jeho přibližné místo.

Důležitými charakteristikami detekčních metod jsou:

- minimální velikost úniku, kterou je možno danou metodou určit,
- čas, za jaký je možno daný únik zjistit,
- přesnost měření.

3.1 URČOVÁNÍ HMOTNOSTNÍ BILANCE CHLADIVA

Malý únik a organizované úniky jsou kompenzovány systémem doplňování. Je-li známo množství organizovaných úniků a množství doplňovaného chladiva, lze zjistit velikost úniku. Přesnost této metody je závislá na době měření. Nevýhodou této metody je fakt, že lze s její pomocí určit únik až po určité době; požadovaná přesnost měření tedy závisí na čase.

3.2 MĚŘENÍ MNOŽSTVÍ NÁTOKU VE SBĚRNÝCH JÍMKÁCH

Část unikajícího chladiva se nevypaří a odtéká do jímek. Této metody lze použít pro detekci úniku, pokud jsou jímky vybaveny detektory výskytu chladiva (např. detektory nátoku aj.). Pokud je množství chladiva v jímkách měřeno (např. hladinoměry), lze této metody využít i pro kvantifikaci úniku.

3.3 MĚŘENÍ AKUSTICKÉHO SIGNÁLU

Pro detekci úniku je využíváno měření akustického signálu, vznikajícího při průtoku chladiva trhlinou. Korelace naměřeného akustického signálu s množstvím unikajícího chladiva se musí stanovit experimentálně. Při instalaci dostatečného množství čidel akustické emise lze únik detekovat, lokalizovat i kvantifikovat ve velmi krátké době, což je velkou výhodou této metody. Přesnost měření je ovlivněna hodnotou akustického pozadí v místě měření.

3.4 MĚŘENÍ RADIOAKTIVITY OVZDUŠÍ V OCHRANNÉ OBÁLCE

Pro detekci úniku se nejčastěji používá měření aktivity radioaktivních aerosolů, plynného jódu a radioaktivních vzácných plynů v ovzduší ochranné obálky. Je možné též využít měření i jiných radioaktivních látek, např. tritia. Při použití této metody je zapotřebí znát množství daných příměsí v chladivu. Určité množství radioaktivních látek se dostává do ovzduší rovněž z organizovaných úniků, což může vést ke generaci falešných poruchových signálů.

3.5 MĚŘENÍ VLHKOSTI OVZDUŠÍ V OCHRANNÉ OBÁLCE

Okolo 40% množství unikajícího chladiva se vypaří ihned po úniku z potrubí, čímž se zvyšuje vlhkost ovzduší v ochranné obálce. Čidla vlhkosti je výhodné umístit v místech, kde je zaručeno proudění vzduchu a v místech, kde lze únik očekávat (kritická místa). Na počtu použitých čidel, jejich umístění a přesnosti závisí doba potřebná na detekci úniku a přesnost kvantifikace úniku.

3.6 MĚŘENÍ VLHKOSTI V IZOLACI POTRUBÍ

Toto měření je prováděno pomocí trubky s malými otvory po délce. Trubka je uložena podél sledovaného potrubí. Při výskytu úniku se vlhkost malými otvory dostane do trubky. Periodicky je vzduch z měřící trubky odsáván a je měřena vlhkost. Pomocí této metody je možno detekovat i lokalizovat únik.

3.7 MĚŘENÍ MNOŽSTVÍ ZKONDENZOVANÉ VODY V CHLADIČÍCH VZDUCHOTECHNICKÝCH SYSTÉMŮ

Vzduch z ochranné obálky je chlazen výměníky tepla v systémech úpravy vzduchu. Při ochlazování se kondenzuje část vlhkosti, která se do ovzduší dostává např. z organizovaných úniků. Sledováním množství kondenzátu lze zjistit neorganizovaný únik. Toto měření by mělo být doplněno měřením teploty chladící vody výměníků tepla, pokud lze očekávat její kolísání (odstranění falešných poruchových signálů).

4. DETEKCE MEZISYSTÉMOVÝCH ÚNIKŮ

Pro mezisystémové úniky, při kterých chladivo uniká do omezeného prostoru lze použít pro detekci bilanci chladiva, tj. nárůst hladiny vody v nádržích, vzrůstající teplotu, popř. monitorování radioaktivity prostředí (např. měření aktivity radionuklidu dusíku ^{16}N v parovodech k určení průniku primárního chladiva do sekundárního okruhu parogenerátorem).

5. POŽADAVKY NA DETEKCI ÚNIKU CHLADIVA

Metody detekce úniku při aplikaci LBB musí být vybrány tak, aby splňovaly následující požadavky:

a) Citlivost kvantifikace úniku. Každá metoda detekce úniku musí být schopna detekovat únik minimálně o velikosti 3.8 l/min.

b) Přesnost kvantifikace úniku. Přesnost kvantifikace vychází z předpokladu, že je nutné zabezpečit detekci úniku 3,8 l/min. Proto musí být tolerance pouze záporná; určená

hodnota úniku charakterizuje maximální možný únik. Velikost tolerančního pásma je závislá např. na způsobu detekce. Při příliš velikém tolerančním pásmu lze očekávat příliš velkou konzervativitu a možnost následných falešných poruchových signálů.

c) Doba odezvy. Doba odezvy detekce úniku musí být maximálně jedna hodina po vzniku úniku 3.8 l/min. Během této doby musí být takto velký únik detekován.

d) Kvalifikace na prostředí. Požadavky na kvalifikaci na prostředí vyplývají z hlavního významu detekce úniků, tj. musí odpovídat podmínkám při práci bloku JE na výkonu při normálním a abnormálním provozu, tj. při podmínkách, které nevyžadují odstavení bloku JE. Požadavky na kvalifikaci na prostředí pro jednotlivé detektory musí respektovat výše uvedené a jsou závislé na konkrétním umístění jednotlivých systémů.

e) Kalibrace systémů detekce úniků. Systémy musí být schopny možnosti testování provozuschopnosti a kalibrace tak, aby byla zajištěna jejich maximální přesnost a spolehlivost během provozu elektrárny. V technické specifikaci musí být uveden rozsah detekce úniku daným přístrojem a musí být též popsány provozní podmínky, při kterých je možno detekci provádět. Metody detekce, založené na monitorování radioaktivity jsou zpravidla v době náběhu reaktoru na výkon po delší odstávce nepoužitelné z důvodů nízké aktivity chladiva.

f) Vyhodnocení detekovaného úniku. Údaje o všech poruchových signálech od detekčních systémů musí být svedeny do hlavní blokové dozorny. V hlavní blokové dozorně musí být k dispozici též údaje o kvantifikaci úniku a procedury k převodu údajů různých detekčních systémů na společnou jednotku úniku.

g) Počet systémů detekce. Vzhledem k důležitosti včasné detekce začínajícího úniku a vzhledem k různé schopnosti detekce používaných metod a systémů pro detekce úniků je zapotřebí mít informace o úniku z několika zdrojů. Splnění podmínek metodiky LBB nastává v tomto případě:

Jsou k dispozici minimálně dvě nezávislé metody detekce úniků, které splňují všechny výše uvedené požadavky. Dále je k dispozici alespoň jedna metoda detekce úniku, která umožňuje pouze únik detekovat bez kvantifikace. Únik je považován za prokázaný, pokud je detekován alespoň dvěmi metodami, z nichž alespoň jedna musí splňovat všechny požadavky. Minimálně dvě metody detekce úniku (z toho jedna musí splňovat všechny výše uvedené požadavky) musí být k dispozici při náběhu reaktoru na výkon.

6. NÁVRH OBSAHU PROVOZNÍCH PŘEDPISŮ

Provozní předpisy musí obsahovat popis činnosti operátora při zjištění úniku chladiva z primárního okruhu jednou z metod detekce úniku, aby bylo zabezpečeno:

1) Potvrzení úniku jinou metodou

2) Zjištění množství unikajícího chladiva

3) Při překročení limitní hodnoty úniku (3,8 l/min), po stanovenou dobu zabezpečit snížení úniku (např. odstavení jedné smyčky - pokud je to možné), pokud to nelze provést, zahájit odstavování reaktoru

Provozní předpis stanovuje dobu, mezi detekcí nadlimitního úniku a zahájením odstavování, případně závislost mezi velikostí detekovaného úniku a touto dobou.

LITERATURA

1) Standard Reviev Plan 3.6.3, NUREG - 75/087, December 1986

2) L.Pečínka, J.Žďárek: Lessons learned from application of the LBB concept to the NPP´s with VVER 440 type 213 reactors, referát v PVP-Vol.313-1, International Pressure Vessels and Piping Codes and Standards: Volume 1 - Current Applications ASME 1995

3) V.Krhounek, J.Žďárek: Podkladová zpráva k „Návrh návodu SÚJB - Detekční systémy úniku z tlakového chladícího okruhu jaderného reaktoru“.