

UTILIZATION OF ICE CONDENSER CONTAINMENTS IN NUCLEAR POWER PLANTS

Josef Svoboda

Master Degree Programme (1), FEEC BUT

E-mail: xsvobo90@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Karel Katovský

E-mail: katovsky@feec.vutbr.cz

Abstract: Nuclear power plants provided more than 10 % of electricity production last year. Due to its low cost of production and enough fuel reserves, nuclear power plants are irreplaceable source of energy in short term view. The negative side of using fission chain reaction for production of energy is local disaster in a case of accident due to harmful radiation. To ensure adequate security of operation the containment has to be used. One of the containment design used is the ice condenser containment (ICND). Selected positives of ICND usage are a reduced price and built-up area - especially for PWR (west conception). Utilization of ICND for WWER was carried out for improved safety. The need of continuous cooling of ice and problems with melting process has forced to think about modern materials for utilization in condenser containment. The Czech Republic represented by Faculty of Electrical Engineering and Communication and Faculty of Mechanical Engineering within cooperation of the U.S. university in College Station (TAMU) are dealing with a project about Phase Change Materials and their possibility of utilization in condenser containments.

Keywords: Ice condenser, containment, nuclear power plant, latent heat of ice, PCM

1. ÚVOD

Při výrobě elektrické energie v jaderných elektrárnách (JE) je hlavním aspektem konkurenceschopnosti její bezpečnost. Průměrná cena vyrobené MWh je v lehkovodních reaktorech bezkonkurenčně nejnižší. V případě nedodržení již stanovených bezpečnostních pokynů a zásad může tento koncentrovaný zdroj energie (reaktor) napáchat velké lokální škody nejen na majetku (viz 2011 havárie na JE Fukušima), ale především na životech (viz 1986 havárie na JE Černobyl). Bezpečnost JE se neustále zvyšuje. Při projektování JE lze vybrat z několika možností bezpečnostních bariér. Poslední bariérou mezi únikem při havárii a atmosférou je kontejnment zastoupený různými variantami.

2. KONTEJNMENT S LEDOVÝM KONDENZÁTOREM

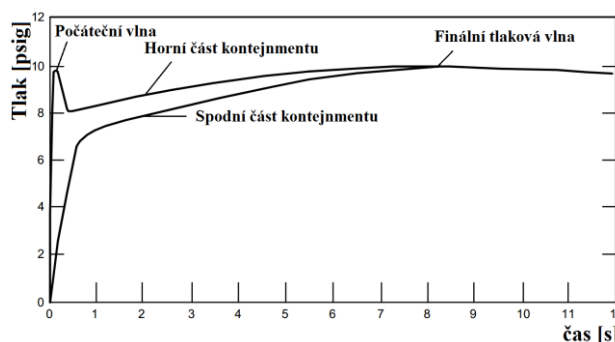
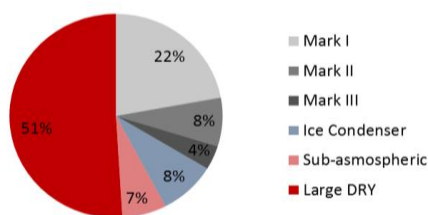
Kontejnment neboli ochranná obálka reaktoru je hermeticky uzavřená ocelobetonová konstrukce okolo primárního okruhu. Hlavním úkolem kontejnmentu je chránit okolí JE před účinky záření jak v provozu běžném, tak havarijním [2]. Kontejnment musí odolat mechanickému zatížení způsobenému vnitřním přetlakem dimenzovanému až po maximální projektovou havárii LOCA (Loss of Coolant Accident). Stejně tak vnějším vlivům, jako je zemětřesení, tlaková vlna výbuchu, extrémní vítr, pád letadla a další. V případě havárie kontejnment zadrží většinu uvolněných produktů štěpení. Jedná se tedy o poslední stupeň ochrany před únikem do atmosféry a životního prostředí [2].

2.1. DRUHY KONTEJNMENTŮ

Pro menší výkony se u tlakovodních reaktorů východní koncepce většinou kontejnmentu nevyužívá a bezpečnost je zajištěna ekonomičtější variantou [2]. Výjimku tvoří například JE Loviisa (VVER V-213) ve Finsku, která z důvodu zvýšení bezpečnosti v případě havárie s prasknutím primárního potrubí využívá kontejnment s ledovým kondenzátorem. Kontejnmenty mohou být obecně rozděle-

ny do dvou základních skupin na suché a mokré. Suché kontejnmenty dosahují větších rozměrů a vyšších navrhovaných přetlaků. Mokré kontejnmenty využívají akumulaci uvolněné energie akumulací látkou, především vodou. U lehkovodních reaktorů se využívá 6 druhů kontejnmentů. Pro PWR jsou to tzv. *Large DRY* (velký objem, vysoké náklady, přetlak 275-420 kPa [1]), *sub-atmosférické* (podtlak 35 kPa [5] zajistí včasné zjištění případné netěsnosti, vlastnosti podobné jako *Large DRY*) a *kontejnmenty s ledovým kondenzátorem* (snížení nákladů a zastavěné plochy, přetlak 83-172 kPa) [1]. Pro varné reaktory (BWR) se využívají mokré kontejnmenty Mark I., II. a III. s vodní nádobou určenou pro potlačení přetlaku. Porovnání zastoupení jednotlivých kontejnmentů v USA, kde podíl elektrické energie vyrobené z jaderných elektráren k celkové výrobě elektrické energie dle statistiky IAEA činí 19 %, lze sledovat v Obrázek 1.

Podíl jednotlivých typů kontejnmentů v USA v roce 2012



Obrázek 1: Podíl jednotlivých typů kontejnmentů v USA v roce 2012, data z: [5]

Obrázek 2: Tlaková vlna a její ustálení v ICND, podklady dat z: [3], *pzn. 10 psig ≈ přetlak 69 kPa*

Ledový kondenzátor se používá pro snížení nákladů na výstavbu, zmenšení zastavěné plochy, resp. objemu až o polovinu a snížení tlakové vlny (viz Obrázek 2) v kontejnmentu na maximálně 105 kPa. Úspory jsou pravidlem pro západní koncepci reaktoru, tedy PWR od firmy Westinghouse E.C., jelikož východní koncepce VVER využívá horizontální parogenerátory (PG) vedoucí k větší zastavěné ploše kontejnmentu na rozdíl od JE s horizontálními PG u západní koncepci PWR [3].

2.2. HISTORIE A SOUČASNOST

Ledové kontejnmenty byly vyvíjeny pod záštitou společnosti Westinghouse Electric Company od roku 1965 (patent 1969) [3], [4]. První elektrárnou s ICND byla JE Donald Cook-1, připojena na síť roku 1975. Princip funkčnosti spočívá v rozdělení kontejnmentu na 3 hlavní části. Spodní prostor obsahující reaktor, horní prostor pro nezkondenzované plyny a ledový kondenzátor umístěný v prstencovém mezikruží pod úhlem 300° v oblasti mezi vnitřní a vnější obálkou kontejnmentu.

Dle IAEA je na světě v provozu celkem 13 jaderných bloků s ledovým kontejnmentem a jeden je ve výstavbě. Převážná většina (9 bloků) je situována na území USA, 2 bloky v Japonsku a 2 bloky ve Finsku. Reaktory v USA a Japonsku jsou západní koncepce PWR. Zástupcem východní koncepce je JE Loviisa ve Finsku, kde byl ledový kontejnment zvolen z důvodu zvýšení bezpečnosti [2]. Pro návrh této elektrárny byl vytvořen speciální projekt s výzkumným zařízením, jelikož patent firmy Westinghouse je typizován pouze pro reaktor západní koncepce PWR o výkonu 1100 MWe.

2.3. DETAILNÍ POPIS KONDENZÁTORU A TLAKOVÉ VLNY

Led o teplotě $-9,7^\circ\text{C}$ až $-2,8^\circ\text{C}$ je umístěn ve speciálních koších, které jsou uspořádány ve 24 sekcích, přičemž jedna sekce má 81 košů, tj. 9 košů v řadě a 9 košů ve sloupci. Koše jsou podepřeny ze spodní strany podlahou a ze shora vnitřní zdí chránící proti mechanickému namáhání košů např. při seismické aktivitě. Průměr jednoho koše je asi 30,5 cm, výška 14,6 m a obsahuje led ve formě vloček o maximálním rozměru 0,3 cm. Hmotnost ledu v koši se pohybuje od 450 kg do 540 kg a prázdný koš váží asi 250 kg. Led je tvořen vodou s příměsí tetraboritanu sodného o pH 9,0-9,5, kde příměs boru tvoří asi 1800-2500 ppm [3] a [4].

Každá sekce obsahuje vertikální dveře na spodní části, které jsou v případě havárie (zvýšení tlaku) otevřeny a pára prochází přes koše plněné ledem a kondenzuje. Zkapalněné chladivo pak stéká do spodní nádoby, kde je současně smícháno s borovou vodou z tajícího ledu. Nezkondenzovaná pára vyvolá zvýšení tlaku v horní části kondenzátoru, čímž otevře horní vertikální dveře. Následně se zchladuje další cirkulací v horní části kontejnmentu. Dveře jsou speciálně uzpůsobeny k maximální spolehlivosti i v extrémních podmínkách mrazu.

V případě havárie není nejdůležitější volný objem kontejnmentu, ale především poměr volného objemu ve spodní a horní části kontejnmentu. Horní část kontejnmentu má objem asi 18 500 m³ a spodní část asi 7 500 m³ [4]. Tlakovou vlnu v prvních 10 sekundách u zkušebního kontejnmentu LOTIC - Finsko, lze pozorovat v Obrázek 2.

2.4. BUDOUCNOST PCM KONDENZÁTORŮ

Dvě fakulty VUT (FEKT a FSI) spolupracují s partnery z USA pod záštitou projektu LH12063 na výzkumu materiálů využitelných pro nový druh kondenzátoru v jaderných elektrárnách. Tyto materiály měnící skupenství se označují jako PCM (z anglického Phase Change Material). Princip funkce je podobný ledovým kontejnmentům. Materiály jsou vhodnější z důvodu vyšší teploty tání s dostatečným skupenským teplem, tedy bez nutnosti aktivního chlazení. Tato technologie má nadějně možnosti využití především v pasivní bezpečnosti budoucích malých a středních modulárních reaktorů. Stejně tak může být využita pro pasivní odvod tepla u bazénů s vyhořelým palivem (reakce na havárii v JE Fukušima) a pro nové koncepce kontejnmentů více využívajících pasivní bezpečnost.

3. ZÁVĚR

Ačkoli jsou ledové kontejnmenty světově zastoupeny pouze ve 13 jaderných blocích, myšlenka akumulace energie skupenským teplem v případě havárie má v budoucnosti rozsáhlé možnosti využití. Tento článek je pouze výňatkem rozsáhlé rešeršní práce využívané při řešení projektu LH12063. Rešeršní práce poskytuje řešitelům komplexní zhodnocení dosud využívaných ICND v jaderné energetice. Projekt využívá práci k analýze problematiky akumulace tepla, k seznámení se s již řešenými problémy kondenzace úniku chladiva do kontejnmentu a již proběhlými výzkumy.

PODĚKOVÁNÍ

Výzkum kontejnmentů s ledovými kondenzátory na FEKT a FSI je podpořen projektem Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy č. LH12063 „Výzkum a charakteristika materiálů s možnostmi akumulace tepla v kontejnmentech lehkovodných jaderných reaktorů při efektivním snižování vnitřního tlaku během havárií“.

REFERENCE

- [1] IAEA. *Design of reactor containment systems for nuclear power plants: safety guide* [online]. Vienna: IAEA, 2004 [cit. 2014-03-01]. ISBN 92-010-3604-3. Dostupné z: http://www.pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1189_web.pdf
- [2] RAČEK, J.: *Jaderná zařízení*. Brno: NOVOPRESS, 2009
- [3] WEEMS, S. J., W. G. LYMAN a P. B. HAGA. The Ice-Condenser Reactor Containment System. *Nuclear Safety*. 1970, roč. 11, č. 3, s. 215-222.
- [4] LIPARULO, N. J., C. G. TINKLER a J. A. GEORGE. The Ice-Condenser System for Containment Pressure Suppression. *Nuclear Safety*. 1976, roč. 17, č. 6, s. 710-716.
- [5] ANDREWS, A. a P. FOLGER. Nuclear Power Plant Design and Seismic Safety Considerations. *Congressional Research Service* [online]. 2012, s. 38 [cit. 2014-03-01]. Dostupné z: <http://www.fas.org/sgp/crs/misc/R41805.pdf>