(c) Juraj Rizman, 2007

# Posouzení možnosti zvýšení úrovně jaderné bezpečnosti na zamýšlené dostavbě 3. a 4. bloku Jaderné elektrárny Mochovce

Dalibor Stráský

GREENPEACE
SÍRIUS wise

# Dalibor Stráský

Pochází z Českých Budějovic, kde se v roce 1961 narodil. Vystudoval obor jaderné inženýrství na fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské Českého vysokého učení technického v Praze, specializaci teorie a technika jaderných reaktorů (diplomová práce : Analýza těžkých havárií reaktorů VVER). Po ukončení studia v roce 1985 působil jako projektant v Energoprojektu Praha na staveništi Jaderné elektrárny Dukovany. Později pracoval na této elektrárně jako operátor sekundárního okruhu. Dalším působištěm byla Jaderná elektrárna Temelín, oddělení přípravy výroby. Od roku 1990 do roku 1997 se věnoval energetickému poradenství v nevládní neziskové organizaci Calla, kterou spoluzakládal. Šlo o poradenství domácím i zahraničním nevládním organizacím, ale i samosprávným a státním orgánům zejména v otázkách jaderné energetiky, zmírnění důsledků činnosti uranového průmyslu, ochrany před radioaktivním zářením, později též v oboru energetických koncepcí a politiky, energetické legislativy a využití obnovitelných zdrojů energie. Od roku 1998 do roku 2005 pracoval na Ministerstvu životního prostředí jako poradce ministra pro otázky energetického hospodářství a byl současně předsedou poradního orgánu ministra s názvem Rada pro energetiku. Na přelomu let 1998 a 1999 člen vládní mezinárodní komise posuzující ekonomiku projektu dostavby Jaderné elektrárny Temelín. V dubnu 1999 předseda expertního týmu Ministerstva životního prostředí pro vypracování varianty zastavení dostavby Jaderné elektrárny Temelín pro jednání vlády České republiky. V současnosti pracuje ve společnosti EM Consult, s.r.o. jako energetický konzultant.

## Obsah


O autorovi 3
Obsah 4
Úvod 6
1. Požadavky na pravděpodobnost výskytu těžké havárie jaderné elektrárny 7
1.1. Pravděpodobnost výskytu těžké havárie v JE Mochovce 8
2. Jaderná elektrárna Mochovce 9
3. Bezpečnostní problémy reaktorů VVER 440/213 11
3.1. Nástroje pro posuzování úrovně bezpečnosti 11
3.2. Klasifikace bezpečnostních problémů reaktorů VVER 440/213 11
3.2.1. Problémy kategorie III 12
3.2.1.1. Kvalifikace zařízení 12
3.2.1.2. Nedestruktivní zkoušky 12
3.2.1.3. Ucpávání síta jímky bezpečnostního systému chlazení aktivní zóny 13
3.2.1.4. Spolehlivost dodávky napájecí vody 14
3.2.1.5. Chování barbotážního systému při maximálním tlakovém rozdílu možném za podmínek po havárii LOCA 15
3.2.1.6. Požární prevence 16
3.2.1.7. Riziko prasknutí vysokoenergetických potrubí 17
3.2.1.8. Seismická opatření 18
3.2.2. Problémy kategorie II 19
3.2.2.1. Klasifikace komponent 19
3.2.2.2. Spolehlivostní analýzy systémů bezpečnostní třídy 1 a 2 19
3.2.2.3. Prevence nekontrolovaného naředění kyseliny borité 19
3.2.2.4. Integrita tlakové nádoby reaktoru 20
3.2.2.5. Švihnutí hlavního cirkulačního potrubí 21
3.2.2.6. Integrita primárního kolektoru parogenerátorů 21
3.2.2.7. Integrita parogenerátorových trubek 22
3.2.2.8. Ochrana před natlakováním primárního okruhu za studena 22
3.2.2.9. Zmírnění následků roztržení primárního kolektoru parogenerátoru 23
3.2.2.10. Chlazení ucpávek hlavního cirkulačního čerpadla 24
3.2.2.11. Kvalifikace odlehčovacích a pojistných ventilů kompenzátoru objemu pro průtok vody 24
3.2.2.12. Integrita sacích potrubí systémů havarijního chlazení aktivní zóny 25
3.2.2.13. Integrita výměníků tepla v systémech havarijního chlazení aktivní zóny 25
3.2.2.14. Kvalifikace odlehčovacích a pojistných ventilů parogenerátoru pro průtok vody 26
3.2.2.15. Funkce odlehčovacích a pojistných ventilů parogenerátoru za nízkého tlaku 26
3.2.2.16. Ventilace na blokové dozorně 26
3.2.2.17. Systém odstraňování vodíku 27
3.2.2.18. Ventilace primárního okruhu za havarijních podmínek 27

3.2.2.19. Systém technické vody důležité 28
3.2.2.20. Systém kontroly a řízení 28
3.2.2.21. Přehled o signálech iniciujících rychlé odstavení reaktoru 29
3.2.2.22. Ergonomie blokových dozoren 29
3.2.2.23. Fyzické a funkční oddělení blokové a nouzové dozorny 30
3.2.2.24. Diagnostický systém primárního okruhu 31
3.2.2.25. Systém monitorování úniků z víka reaktorové nádoby 31
3.2.2.26. Pohavarijní monitorování 32
3.2.2.27. Centrum technické podpory 32
3.2.2.28. Napájení elektrárny v havarijních podmínkách 32
3.2.2.29. Doba vybíjení havarijních baterií 33
3.2.2.30. Termodynamické chování barbotážního systému 34
3.2.2.31. Netěsnosti hermetické zóny 34
3.2.2.32. Maximální tlakový rozdíl na stěnách mezi jednotlivými boxy hermetické zóny 35
3.2.2.33. Systematická analýza požárního rizika 35
3.2.2.34. Detekce požáru a hašení 35
3.2.2.35. Zmírnění následků požáru 36
3.2.2.36. Externí události způsobené člověkem 37
3.2.2.37. Rozsah a metodika havarijních analýz 37
3.2.2.38. Počítačové kódy a validace modelů elektráren 38
3.2.2.39. Přechodové stavy s podchlazením ve vztahu k tepelnému šoku pod tlakem 38
3.2.2.40. Analýza roztržení kolektoru parogenerátoru 38
3.2.2.41. Havárie při nízkém výkonu a za podmínek odstavení reaktoru 39
Závěr 40
Prameny 42
Příloha 43
Příloha 1: Funkce barbotážního systému 44
Příloha 2: Dva příklady neobvyklých řešení jaderných elektráren s VVER-440/213 46
Sponzori 48

## Úvod

Sovětský projekt elektráren s reaktory VVER 440/213, kterými je vybavena elektrárna Mochovce, vznikal v sedmdesátých letech, kdy již bylo nevyhnutelné, aby se bezpečnostní standard sovětských reaktorů přiblížil standardům uznávaným v západních zemích. Elektrárny tak byly vybaveny bezpečnostními systémy, které mají zvládnout havárii vyvolanou prasknutím hlavního cirkulačního potrubí primárního okruhu - požadavek obvyklý i u dnešních jaderných elektráren. Předchozí generace elektráren s reaktory VVER 440/230 není na zvládnutí takové havárie ani projektována (na Slovensku první dva bloky v Jaslovských Bohunicích) a je vedle reaktorů „černobylského" typu považována za nejnebezpečnější ve střední a východní Evropě. Na rozdíl od již tehdy běžných typů jaderných elektráren západních výrobců však ani tato tzv. druhá generace nebyla vybavena ochrannou obálkou - kontejnmentem, která má za úkol jednak chránit okolí elektrárny před únikem radioaktivních látek a jednak chránit zařízení před účinky zvenčí (např. pád letadla, tlaková vlna apod.). Jedinou výjimku vytvořil projekt jaderné elektrárny Loviisa ve Finsku, kde byly tyto reaktory opatřeny ochrannou obálkou.

Právě finská JE Loviisa je dokladem toho, že již v polovině sedmdesátých let si byli odborníci vědomi nutnosti opatřit elektrárny s reaktory VVER 440 ochrannou obálkou a bylo známo, jak tento záměr realizovat. Proto je nanejvýš zvláštní, jestliže se v Mochovcích zařízení bez ochranné obálky uvádělo do provozu ještě na konci tisíciletí a počítá se s dalšími bloky v druhém tisíciletí.

Elektrárna byla vybavena místo ochranné obálky tzv. barbotážním systémem, který má za úkol po havárii s prasknutím primárního potrubí potlačit v systému hermeticky uzavřených kobek se zařízením primárního okruhu tlak a teplotu tak, aby nedošlo k destrukci stavby a úniku radioaktivity do životního prostředí. Funkce ochrany před účinky zvenčí ale není naplněna.

Reaktory tohoto typu byly vybaveny kromě československých i jaderné elektrárny v SSSR (Rovno 1,2, Kola 3,4), v Maďarsku (Paks 1 - 4), v Bulharsku (Kozloduj 3,4) a v bývalé NDR (Greifswald 5 - 8 - výstavba a provoz zastaveny po sjednocení německých států z bezpečnostních důvodů). Další zařízení tohoto typu se stavělo v Polsku (Žarnoviec 1 - 4), kde ovšem byla výstavba zastavena.

Zařízení bylo prodáno i do Finska (Loviisa 1,2). Finsko muselo z důvodů zvláštních hospodářských vztahů objednat jadernou elektrárnu v SSSR. Finští odborníci ovšem trvali již při objednávání na požadavku, že klíčová bezpečnostní zařízení budou dodána západními dodavateli podle jejich standardů. Tak byly reaktory vybaveny kontejnmentem s tzv. ledovým kondenzátorem podle amerického principu, nové nouzové chladící systémy a novou regulační technikou ze SRN (Siemens).

Rovněž zařízení dodávaná na Kubu (Cienfuegos 1,2 - předpokládané uvedení do provozu 1993 a 1996 nenastalo, stavba z finančních důvodů byla zastavena) byla vybavena kontejnmentem.

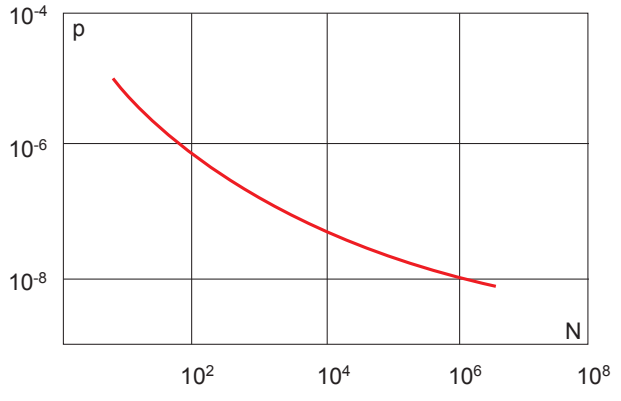
## 1. Požadavky na pravděpodobnost výskytu těžké havárie jaderné elektrárny

Existující rizika plynoucí z provozu stávajících jaderných elektráren, jimž je společnost vystavena, lze snižovat zdokonalováním bezpečnostních systémů a zvyšováním nákladů na ochranná zařízení. Tento postup má však své meze a v konkrétních případech vzniká otázka, jak velká je přípustná pravděpodobnost vzniku závažných havárií.

Otázku maximálně přípustného rizika lze řešit čistě ekonomickým hodnocením, porovnáme-li na jedné straně náklady na zdokonalení bezpečnostních zařízení a na druhé straně ztráty, které v případě závažné havárie vznikají. I když odhlédneme od problémů, které takové nelidské hodnocení přináší, je zřejmé, že současný stav veřejného mínění naštěstí vyžaduje komplexnější přístup.

Je proto nutné přistupovat k řešení problému bezpečnosti reaktorů tak, aby pravděpodobnost výskytu i jediné havárie s únikem radioaktivních látek do okolí byla prakticky zanedbatelná. Jelikož v představách o rozvoji jaderné energetiky roste počet reaktorů a celková doba jejich provozu, musí se nutně snižovat pravděpodobnost výskytu těžké havárie s únikem radioaktivních látek vztažená na jeden reaktor.

Očekávaná hodnota výskytu těžké havárie jednoho reaktoru v jednom roce musí být dostatečně malá. Takovým požadavkem může být např. havárie jednoho reaktoru jednou za sto let, tedy alespoň o řád nižší, než je řád životnosti reaktoru. Právě za takového předpokladu (hodnota výskytu těžké havárie jednoho reaktoru v jednom roce < 10-2) je sestrojen graf na obr. č. 1 (HEŘMANSKÝ).




***Obr. č. 1:*** *Střední maximální dovolená pravděpodobnost závažných havárií p v závislosti na celkovém počtu reaktorroků N*

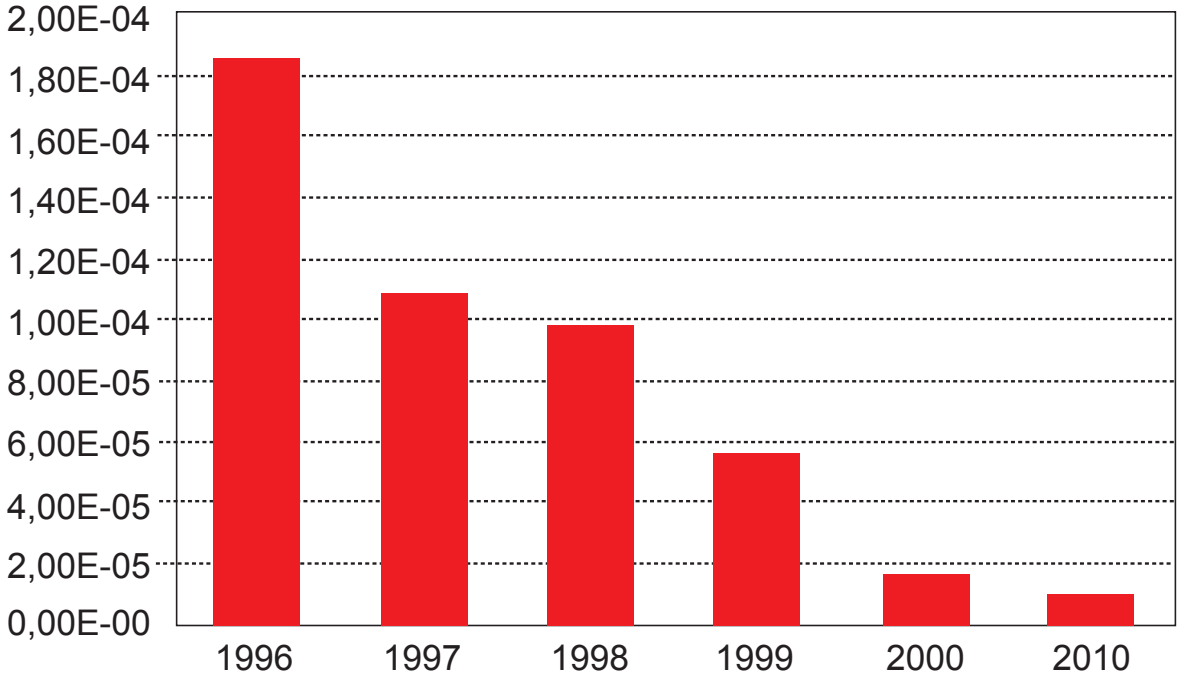
Současné lehkovodní reaktory dosahují pravděpodobnosti výskytu těžké havárie s tavením aktivní zóny 10-3 - 10-5/reaktorrok při počtu reaktorroků v řádu 104 reaktorroků. Jestliže by mělo dojít k dalšímu rozvoji provozu jaderných elektráren (N > 104 reaktorroků), pak by tato pravděpodobnost měla klesnout až na méně než 10-7/reaktorrok. Je tedy zřejmé, že bezpečnostní úroveň současných reaktorů by měla být ještě nejméně stokrát vyšší než ve skutečnosti je. U nejstarších reaktorů s vyšší pravděpodobností výskytu jejich těžké havárie pochopitelně ještě o dva řády vyšší. Skutečná četnost výskytu těžkých havárií během čtyřicetileté historie jaderné energetiky poukazuje na správnost uvedené úvahy.

Je tedy zcela na místě kriticky posuzovat bezpečnostní úroveň zařízení v Jaderné elektrárně Mochovce, kde se ještě v této době zvažuje možnost instalace reaktorů podle projektu, jehož kořeny sahají do 70. let minulého století.

### 1.1. Pravděpodobnost výskytu těžké havárie v JE Mochovce

Údaje o pravděpodobnosti výskytu těžké havárie s tavením paliva v JE Mochovce nejsou k dispozici. Hodnotu CDF (Core Damage Frequency) pro zařízení v JE Mochovce však lze alespoň odhadnout na základě srovnání s JE Dukovany, kde výsledky potřebných výpočtů k dispozici jsou. Srovnání dovoluje typová shodnost zařízení obou jaderných elektráren.

Z diagramu na obrázku č. 2 (MPO) je patrné, že tzv. modernizační program s cílem prodloužit životnost JE Dukovany začal na hodnotě CDF 1,84.10-4/reaktorrok. V té době byly práce na výstavbě 3. a 4. bloku JE Mochovce zastaveny. Lze tedy soudit, že nižší hodnoty CDF zařízení dosahovat mohlo jen sotva. Uvedenou hodnotu můžeme brát za výchozí i pro další úvahy. Pokud se budou při případné dostavbě obou bloků realizovat opatření podle koncepce (EGP), hodnota CDF se patrně sníží. Nelze ovšem očekávat, že by snížení výrazně překračovalo hodnoty, s nimiž se počítá v JE Dukovany po modernizaci. Vůči požadavkům uvedeným v předchozí kapitole je hodnota CDF i po tzv. modernizaci hluboce pod přijatelnou úrovní z hlediska jaderné bezpečnosti.




***Obr. č. 2 :*** *Pravděpodobnost poškození ativní zóny*
*CDF (1/reaktor rok) JE Dukovany*

## 2. Jaderná elektrárna Mochovce



JE Mochovce sa nachází v jihozápadním regionu Slovenské republiky (Nitranský kraj), mezi Levicemi a Nitrou.

Uvedení prvních dvou reaktorů v jaderné elektrárně Mochovce do provozu (léto 1998 a konec roku 1999) představuje ve vývoji jaderné energetiky v evropských podmínkách zvláštní krok. Tato jaderná elektrárna by totiž jen sotva mohla dostat povolení k provozu v zemích, které mají na jadernou bezpečnost náročnější měřítka.

Chronologie výstavby 3. a 4. bloku JE Mochovce dle majitele zařízení (SE):

1980 Územní rozhodnutí
1987 Stavební povolení – začátek výstavby
1992 Útlum stavebně-montážních činností
1993 Začátek konzervačních a ochranných prací
2000 Odsouhlasení strategického plánu konzervace, údržby a ochrany
2002 Převzetí dodávek do majetku SE, a.s.
2007 Zpracování studie proveditelnosti
2007 Konečné rozhodnutí o dostavbě
2008 Rozběh dokončovacích prací
2012 Uvedení 3. bloku do provozu
2013 Uvedení 4. bloku do provozu

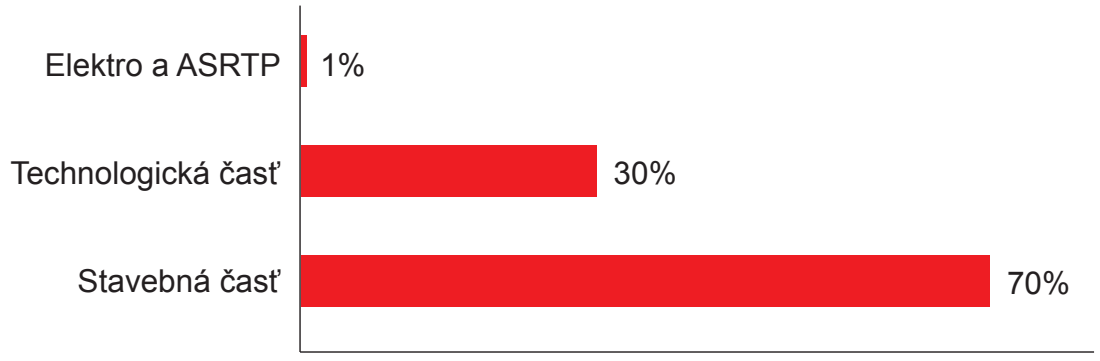
Když se v roce 1981 začaly v lokalitě Mochovce zemní práce jako příprava na výstavbu Atómových elektrární Mochovce (EMO), počítalo se s postupným dokončením všech 4 plánovaných reaktorových bloků. Už začátkem devadesátých let, když sa projevil nedostatek financí pro výstavbu EMO, bylo jasné, že dostavba se rozdělí do dvou etap. V první etapě se všechna snaha zaměřila na dokončení prvních dvou bloků.

Stavební práce na 3. a 4. bloku jsou již od roku 1992 pozastaveny a od té doby se pozornost věnovala realizaci konzervačních a ochranných prací na zařízení tak, aby bylo v případě rozhodnutí o dostavbě okamžitě připraveno.

Aby sa umožnilo pokračovat ve výstavbě 3. a 4. bloku ihned po rozhodnutí o dostavbě, byl v roce 2000 zpracovaný „Strategický plán konzervácie, údržby a ochrany 3. a 4. bloku AE Mochovce“, který obsahoval následující požadavky:

- Konzervováním a ochranou udržet zařízení v kvalitě, kterou vyžadují dozorné orgány SR a doporučuje MAAE
- Ochranou dat z projektu zajistit celou potřebnou dokumentaci a technické údaje
- Kategorizaci a specifikaci jednotlivých technologických zařízení a stavebních konstrukcí

3. a 4. blok komplexu v Mochovcích přímo navazuje na provozovaný 1. a 2. blok a má využívat některé už vybudované a zprovozněné pomocné systémy společné pro všechny 4 bloky. Stavba prakticky představuje druhou polovinu využití projektované kapacity výroby s výhledově nižšími časově porovnatelnými finančními náklady, než byly použité pro první polovinu. Plyne to z toho, že všechny ostatní stavby, jakož i další vyvolané, související a vlastní investice budované pro účely výstavby a provozu jsou již vybudované.




***Obr. č. 3 (SE) :*** *Rozestavěnost 3. a 4. bloku JE Mochovce podle původního projektu*

Údaje o rozestavěnosti je třeba brát s určitou rezervou, neboť bude snaha je nadsazovat, aby se mohlo argumentovat již vynaloženými prostředky a malými náklady na dostavbu. Tato taktika slavila úspěch při prosazení dostavby JE Temelín, byť se operovalo zcela nereálnými čísly, která se navíc stále měnila. Není tedy důvodu, aby slovenská veřejnost nebyla vystavena podobné demagogii jako veřejnost česká.

Skutečně v roce 1994 (SE&EDF) udávají rozestavěnost 3. a 4. bloku ve výši 40% resp. 30%. Na druhé straně, pokud by se uvedené vyšší údaje o rozestavěnosti alespoň blížily pravdě, do velké míry by předurčovaly provedení reaktoru, který by měl být instalován.

V roce 2006 byl vytvořen dokonce tzv. SAFETY BOARD MO34. Ten se schází jednou za měsíc a jeho úlohou je zhodnotit adekvátnost rozhodnutí týkajících se inženýrských činností na přípravě projektu 3. a 4. bloku na mezinárodní úrovni. Členové (SE) :

- p. Maurizio Cumo - Itálie – předseda
- p. Ivo Tripputi - Itálie – tajemník
- p. Miroslav Lipár – Slovensko
- p. Helmut Böck – Rakousko
- p. Adolf Birkhofer – Německo
- p. Leonid A. Bolšov – Rusko
- p. Annick Carnino – Francie

# 3. Bezpečnostní problémy reaktorů VVER 440/213

## 3.1. Nástroje pro posuzování úrovně bezpečnosti

Reaktory VVER-440 tvoří poměrně specifickou skupinu reaktorů zejména co se týče výkonové řady. Bylo by tedy diskutabilní pro posuzování jejich bezpečnostní úrovně používat postup běžný pro posuzování reaktorů vyšší výkonové řady, který spočívá v porovnávání řešení v jednotlivých elektrárnách nebo zkoumání souladu se stavem vědy a techniky v dané oblasti. Porovnávání je korektní pouze v rámci elektráren vybavených těmito reaktory. Protože tyto reaktory představují již několik desítek let prakticky uzavřenou vývojovou etapu, je odůvodnitelné použití dokumentů staršího data.

Základními pracemi, které vytvořily jistý standard pro posuzování bezpečnosti reaktorů VVER 440/213 jsou

- bezpečnostní analýza 5. bloku německé JE Greifswald (GRS)
- klasifikace bezpečnostních problémů jaderných elektráren s reaktory VVER 440/213 (IAEA).

Na práci (GRS) se podílel též francouzský a ruský dozorný orgán nad jadernou bezpečností, jakož i ruské projektantské organizace. Francouzský dozorný orgán pracoval na základě kritérií, norem, standardů a praktik aplikovaných na sérii francouzských tlakovodních reaktorů s výkonem 900 MW (série CPY) (SE&EDF).

Práce (SE&EDF) prohlašuje, že bezpečnostní opatření navrhovaná pro 1. a 2. blok JE Mochovce vycházejí z požadavků obsažených v (GRS). Koncepce (EGP) má již zahrnovat zohlednění požadavků z dokumentu (IAEA). Tato koncepce představuje dnes zřejmě jediný přehled opatření ke zvýšení jaderné bezpečnosti, která by se měla aplikovat na 3. a 4. blok JE Mochovce. Při posuzování záměru dostavby z něj vychází i slovenský Úrad jadrového dozoru (ÚJD).

## 3.2. Klasifikace bezpečnostních problémů reaktorů VVER 440/213

Pro posouzení závažnosti jednotlivých bezpečnostních problémů reaktorů VVER (existuje klasifikace i pro VVER 1000) se většinou používá dokument (IAEA). Ten definuje celkem čtyři kategorie:

I – jde o problémy, které reflektují odchylku od uznávaných mezinárodních praktik

II - problémy s vlivem na bezpečnost. Je snížena tzv. ochrana do hloubky.

III - problémy s vysokým vlivem na bezpečnost. Ochrana do hloubky je nedostatečná a jsou nezbytná nápravná opatření. Opatření alespoň prozatímní by mohla být rovněž nezbytná.

IV - problémy s největším vlivem na bezpečnost. Úroveň ochrany do hloubky je neakceptovatelná. K vyřešení problému je nutná okamžitá akce. Je třeba zavést kompenzační opatření, dokud nebude rozhodnuto o bezpečnostním problému.

Na rozdíl od reaktorů VVER 1000, kde byly některé problémy zařazeny do IV. kategorie, neshledala (IAEA) u reaktorů VVER 440/213 žádný z problémů tak závažný, aby jej do této kategorie zařadila. 8 problémů přiřadila do III. kategorie, 41 do kategorie II. a 26 do kategorie I.

### 3.2.1. Problémy kategorie III

#### 3.2.1.1. Kvalifikace zařízení

Kvalifikace zařízení důležitých z hlediska bezpečnosti je potřebná k průkazu jejich schopnosti splnit požadované funkce. Tento požadavek kvalifikace se týká podmínek normálního provozu, havarijních podmínek a podmínek za interních a externích událostí. Praxe v zařízeních s reaktory VVER-440/213 ukazuje, že kvalifikace zařízení buď zcela chybí nebo není průkazná. Příkladem může být kvalifikace elektrických zařízení, přístrojového vybavení a kontrolních zařízení pro podmínky havárie se ztrátou chladiva (LOCA). Na jaderných elektrárnách nebývá k dispozici ani specifikace týkající se testovacích procedur, ani originální zprávy o testech. Kromě toho bezpečnostní zprávy ukázaly, že původně instalované kabelové spojky nemusí odolávat extrémním podmínkám a selhávají za podmínek havárie LOCA.

Dalším příkladem může být absence kvalifikace systémů důležitých z hlediska bezpečnosti (ventilace, čerpadla bezpečnostních a požárních systémů) pro seismické podmínky.

Řešení pro 3. a 4. blok JE Mochovce

Návrhy (EGP) tento problém v obecné rovině neřeší s výjimkou několika konkrétních komponent, jejichž kvalifikace je ovšem předmětem samostatného bodu v klasifikaci (IAEA) (viz dále).

#### 3.2.1.2. Nedestruktivní zkoušky

Nedestruktivní zkoušky systému chlazení reaktoru se provádějí v souladu s předpisy jednotlivých států, které v podstatě vycházejí z původních sovětských kódů a standardů (s výjimkou Finska). Byly odhaleny nedostatky v prohlídkách reaktorové nádoby zvenčí, testování oblasti pod výstelkou nádoby, v prohlídkách kolektorů a trubkoví parogenerátorů, v omezené přístupnosti některých svarů tlakové nádoby, víka reaktoru, průchodek víkem reaktoru, svarů potrubí, svarů nástaveb parogenerátorů a nátrubků. Je zaznamenána nedostatečná spolehlivost používaných nedestruktivních metod, přístrojů i personálu.

Řešení pro 3. a 4. blok JE Mochovce

Koncepce (EGP) předpokládá modernizaci subsystémů diagnostiky primárního okruhu (jmenovitě monitorování víka tlakové nádoby reaktoru) a doplnění nových subsystémů potřebných pro vyhodnocování LBB (Leak Before Break).

Lze očekávat, že uplatnění koncepce LBB narazí na problém zjištění historie daných komponent (dokumentace k výrobě, skladování, testování atd.).

### 3.2.1.3. Ucpávání síta jímky bezpečnostního systému chlazení aktivní zóny



Během havárie s únikem chladiva může proud unikající vody nebo páry strhat tepelnou izolaci s povrchu zařízení. Minerální vlna s vodou se shromažďuje na podlaze příslušné kobky a může ucpat vtok do jímky v místnosti. To může zabránit dodávce vody k čerpadlům bezpečnostního systému v recirkulační fázi a výsledkem může být neschopnost chladit aktivní zónu reaktoru.

Podobná nehoda se stala v červenci roku 1992 ve Švédsku. Bezpečnostní ventil byl omylem otevřen během náběhu bloku a unikající pára odtrhla tepelnou izolaci, která byla unášena do nádrže kondenzátu. Došlo k zablokování bezpečnostního systému chlazení aktivní zóny reaktoru. Pokusy ve Finsku a na JE Záporoží potvrdily, že v případě strhání tepelné izolace může být zablokována jímka, z níž čerpají chladivo havarijní systémy chlazení aktivní zóny.

Řešení pro 3. a 4. blok JE Mochovce

Vstupní otvor do jímky je na prvních dvou blocích vybaven mříží s velikostí oka 10x10 mm s drátem o průměru 2 mm. Za touto mříží je instalováno 7 sít za sebou s velikostí oka 2x2 mm s drátem o průměru 0,63 mm. Nástavby dvou sběrných jímek ze tří jsou chráněny stěnami, avšak přímo nad nimi jsou vedena vysokoenergetická potrubí – potrubí z hydroakumulátorů (trvalý tlak 6 MPa) a vysokotlaké vstřikovací trasy (testovací tlak 13,5 MPa). Nástavba třetí jímky je umístěna přímo mezi dvěma čerpadly systému chlazení reaktoru. Potrubí smyček hlavního cirkulačního potrubí mají být zabezpečena pro případ roztržení proti švihu, ale v případě prasknutí uvedených potrubí je reálné poškození jímek proudem unikajícího média a letícími úlomky (SE&EDF). Následky by byly zřejmě stejné, jako je ucpání vtoku do jímky.

Podle návrhů bezpečnostních opatření (EGP) má být změněna konstrukce síta na základě experimentálního programu na stendech v Ruské federaci a v Tlmačích. Program měl za cíl zjistit chování tepelných izolací v podmínkách po havárii typu LOCA (destrukce izolace, únos, plavání, zachytávání na sítech). Pokud se použije stejné tepelné izolace jako na prvních dvou blocích JE Mochovce (minerální vlna), navrhuje se rekonstrukce sít tak, aby byly zvětšeny průtočné plochy sít, čímž se při zachování půdorysných rozměrů sníží rychlost proudící kapaliny na sítech a sníží se zanášení sít. Sítové stěny mají být odkloněny o 20° proti proudu kapaliny, čímž se má docílit samočistící schopnosti sít při nulovém průtoku přes síto. Ucpání sít má být signalizováno v dozornách. Dále se navrhuje umožnit v systému řízení zastavení průtoku a provést spolehlivostní výpočty pro navržené řešení.

Variantou je použití jiného materiálu pro tepelnou izolaci (SE&EDF).

Navrhované řešení se zaměřuje pouze na problém ucpání vtoku do jímky v důsledku zanesení sít zbytky tepelné izolace. Neřeší vyřazení jímek z provozu v důsledku švihnutí vysokonergetických potrubí v hermetickém boxu a v důsledku tryskání média unikajícího z roztrženého potrubí.

### 3.2.1.4. Spolehlivost dodávky napájecí vody

V jaderných elektrárnách s reaktory VVER 440/213 je odvod tepla z dochlazování reaktoru uspořádán přes sekundární okruh za všech podmínek s výjimkou havárie LOCA.

Po odstavení reaktoru je zbytkové teplo odváděno parou přes by-pass turbíny (přepouštěcí stanicí do kondenzátoru) nebo technologickým kondenzátorem. Pokud není k dispozici, přes přepouštěcí stanici do atmosféry. Parogenerátory jsou zásobovány hlavním nebo pomocným (havarijním) systémem napájecí vodou.

V případě ztráty funkčnosti těchto dvou systémů napájecí vody jsou parogenerátory napájeny vodou z tzv. superhavarijního napájení.

V případě výpadku napájení elektřinou zvenčí jsou dochlazovací systémy napájeny havarijními systémy – dieselgenerátory a akumulátory.

V případě prasknutí hlavního parního kolektoru se automaticky uzavřou všechny rychločinné armatury a zbytkové teplo odvádějí přepouštěcí stanice. Analýzy však ukázaly, že za jistých okolností se při takové havárii nemusí zformovat signál na uzavření rychločinných armatur.

Systém superhavarijního napájení vodou je umístěn ve strojovně. Tím jsou komponenty systému (čerpadla, armatury, potrubí) vystaveny nebezpečí havárie ze společné příčiny – požár, zaplavení strojovny, zemětřesení. Potrubí může být navíc poškozeno roztržením potrubí parního nebo potrubí napájecí vody.

Zařízení pro odvod zbytkového tepla, zejména elektrické pohony ventilů, není kvalifikováno pro podmínky rostoucí vlhkosti a teploty, která přichází v úvahu po roztržení vysokotlakých potrubí. Uniklá voda může vniknout do nižšího podlaží s místnostmi s elektrickými a kontrolními systémy.

<u>Řešení pro 3. a 4. blok JE Mochovce</u>

Podle návrhu (EGP) má být zpracováno nové dispoziční seismické vedení potrubních tras superhavarijního napájení mimo kritický prostor podlaží +14,7 m s koncentrací vysokoenergetických potrubí. Potrubí superhavarijního napájení má být vedeno v novém seismickém kanále do prostoru pod barbotéry a k boxům parogenerátorů, kde se napojí na stávající hrdla. Kromě změny dispozičního řešení má být zjednodušeno i potrubní schéma v počtu sériově zapojených armatur. Nové řešení chce respektovat i nezávislost a fyzické oddělení jednotlivých systémů i z hlediska elektrického napájení. Kromě toho má být systém superhavarijního napájení prověřen i z hlediska možných záplav, požární a seismické odolnosti, extrémních klimatických podmínek a pádu letadla.

Otázkou zůstává, do jaké míry ovlivní již provedené stavební práce skutečně důslednou realizaci navrženého opatření.

Navíc, jak ze srovnání s vytýkanými nedostatky v předchozím odstavci plyne, řešení se týká pouze části celého vějíře problémů.

### 3.2.1.5. Chování barbotážního systému při maximálním tlakovém rozdílu možném za podmínek po havárii LOCA

Mechanické provedení barbotážního systému (zdi a poklopy) je neuspokojivé a tím je dáno nebezpečí selhání kovových struktur v případě okamžitého gilotinového lomu hlavního cirkulačního potrubí.

Účinnost systému hermetických kobek po takové velké havárii závisí na působení barbotážního systému. Jestliže struktury barbotážního systému selžou v počáteční fázi havárie, může voda z barbotážních žlabů přetékat do barbotážní věže. To může zapříčinit náhlou kondenzaci páry a pokles tlaku v hermetických prostorech, tím se ale také ztratí voda z barbotážních žlabů a v pozdějších fázích procesu nebude barbotážní systém schopen plnit funkci podle projektu.

Výpočty diskutované v rámci Mezinárodní agentury pro atomovou energii (MAAE) ukázaly, že řada prvků barbotážního systému musí být zesílena (nosníky, zpevňovací žebra stěn).

Za účelem přezkoušení projektového tlaku a teploty byly provedeny analýzy s ohledem na maximální projektovou nehodu (prasknutí hlavního cirkulačního potrubí Js 500) a s různými okrajovými podmínkami (GRS).

Podle výsledků těchto výpočtů byly pro tuto havárii v závislosti na okrajových podmínkách maximální projektové parametry pro tlak a teplotu hermetického prostoru (245 kPa, 127°C) dosaženy, popř. mírně překročeny.

Analýzy ukázaly, že velmi významnou roli hraje celistvost poklopů v barbotážních žlabech s ohledem na tlak při havárii. Již při selhání omezeného množství těchto poklopů v jednom žlabu během procesu probublávání parovzdušné směsi z hermetického prostoru (více než 2 poklopy) bude projektový tlak překročen. Selhání 12 poklopů v jednom žlabu již vede k tlaku ekvivalentnímu takové hodnotě tlaku, který by vznikl, kdyby v celém barbotážním systému nebyla vůbec žádná voda ve žlabech. Je tedy nutné přehodnotit pevnost poklopů při různých dynamických zatíženích.

Analýzy dále ukázaly, že jsou k dispozici jen velmi omezené, popř. vůbec žádné bezpečnostní rezervy a že selhání pouze několika poklopů v barbotážních žlabech vede již k překročení projektových hodnot tlaku a teploty.

Pro dimenzování hermetického prostoru se předpokládalo, že za 30 minut po prasknutí hlavního cirkulačního potrubí se nastaví v hermetickém prostoru opět podtlak oproti okolí v důsledku kondenzace parovzdušné směsi. Tento předpoklad dosud nemohl byt ověřen, protože dosud nebyly předloženy dostatečné výpočty k dlouhodobému chování výtoku z protrženého potrubí.

Fakt, že barbotážní systém nebyl vyzkoušen na nějakém zkušebním stendu (1:1), napadají všechny analýzy bezpečnosti JE s reaktory VVER-440/213.

Řešení pro 3. a 4. blok JE Mochovce

Je překvapivé, že tento problém návrh opatření zvyšující jadernou bezpečnost vůbec nezmiňuje. Se zásahem do barbotážního systému se vůbec nepočítá a to ani v maximální variantě (EGP).

### 3.2.1.6. Požární prevence

Bezpečnostní zprávy o jaderných elektrárnách s reaktory VVER identifikovaly řadu slabých stránek v požární prevenci, které se v mnohých případech odchylují od bezpečnostního předpisu MAAE NUSS Safety Guide 50-SG-D2.

Jde o to, že redundatní zařízení, komponenty a kabelové trasy bezpečnostně významných systémů jsou v některých úsecích umístěny bez dostatečné fyzické separace a nejsou chráněny před šířením požáru. To vyplývá z nedostatků jako je:

- absence protipožárních dveří a bariér s příslušnou kvalifikací
- absence požárního skrápění ve ventilačních kanálech
- redundantní kabelové trasy probíhají příliš těsně vedle sebe
- absence kvalifikace penetračních nátěrů
- chybějící požární odolnost povlaku kabelů.

Požár by tedy mohl vést ke ztrátě více než jedné redundance bezpečnostně významného systému. Například významné části systémů potřebných pro odvádění zbytkového tepla z reaktoru, jako jsou čerpadla napájecí vody, havarijní čerpadla napájecí vody, oddělovací a bezpečnostní armatury na hlavním parovodu, armatury na trasách napájecí vody jsou umístěny v otevřeném prostoru ve strojovně společné pro dva bloky a jsou tedy vystavené nebezpečí požáru olejového systému turbíny.

Společná strojovna pro dva bloky představuje nepříliš šťastné řešení právě s ohledem na požární bezpečnost a možnost ovlivnění zařízení nepřislušejících bloku, na němž se vyskytla mimořádná situace. Z důvodu umístění velkého požárního potenciálu v oblasti turbíny (např. 25 m3 turbínového oleje s bodem vzplanutí 180°C v hlavní olejové nádrži pro jednu jedinou turbínu, tedy 100 m3 v celé strojovně, kabelové izolace, atd.) a velkého množství možných ohnisek zapálení nelze vyloučit velkoplošný požár. Protože ve strojovně se nachází řada bezpečnostně významných zařízení (napájecí systém bloku s nouzovým napájením), může velký požár vést k výpadku více zařízení, která nejsou od sebe vzájemně požárně technicky oddělena.

Obecně platí, že v jaderných elektrárnách s reaktory VVER-440/213 neexistuje striktní separace mezi kabelovými trasami redundantních systémů. V některých prostorech jsou silové kabely a kabely kontrolních systémů redundantních komponent umístěny ve stejných požárních úsecích. V takových případech by mohl mít požár následky pro bezpečnost způsobené havárií ze společné příčiny. Kabelové prostory pod blokovou dozornou i nouzovou dozornou obsahují značné množství kabelů spojujících dozorny s bezpečnostními systémy, které prostupují stropy do těchto dozoren. Segregace kabelů příslušejících redundantním bezpečnostním trasám je nedostačující. To je vážný problém, neboť požár v jednom z těchto prostorů by mohl vést ke ztrátě kontroly nad všemi třemi bezpečnostními systémy. Není jasné, zda by požár kabeláže v blokové dozorně nemohl vyřadit z funkce též nouzovou dozornu.

Další problém se týká nedostatečné ochrany proti vzplanutí oleje. Zařízení naplněná olejem nejsou vždy vybavena záchytnou nádobou k zachycení oleje v případě jeho úniku. Přírubové spoje olejového potrubí nemají těsnící vložky a pouzdra. Uzavírací armatury na vzdu-

chovodech vedoucích do místností s olejovými nádržemi jsou navrhovány bez ochrany před jiskřením. V těchto místnostech se nemonitorují topná zařízení a požární dveře nejsou dimenzovány proti tlaku vyvolaném explozí oleje.



Specifická záležitost ve vztahu k požárům oleje je olejové mazání hlavních cirkulačních čerpadel. Na blocích s reaktory VVER-440/213 mají hlavní a pomocná cirkulační čerpadla vlastní olejové hospodářství. Místnosti s olejovými nádržemi a olejovými čerpadly a místnost s motorem hlavního cirkulačního čerpadla nejsou v původním projektu chráněny. Možnost úniku oleje a přítomnost komponent s vysokou teplotou vytvářejí velmi vysoké riziko vzniku požáru.

Řešení pro 3. a 4. blok JE Mochovce

Požární ochrana zatím detailní a definitivní podobu nemá.

Má se kontrolovat soulad požadavků a realizace opatření proti šíření požáru mezi požárními úseky uvnitř sekundárního okruhu i mezi sekundárními okruhy obou bloků (EGP). Jedná se především o zajištění dostatečné požární odolnosti nosných a požárně dělících konstrukcí, požárních dveří a jejich dýmotěsnosti, požárních klapek, utěsnění průchodek, požární izolaci vzduchotechnických kanálů, požární utěsnění dilatačních spár uvnitř sekundárního okruhu atd. Použity mají být požární klapky s ovládáním od elektropožární signalizace a v seismicky odolném provedení.

Z hlediska požární ochrany má být oddělena bloková a nouzová dozorna.

Nutnost opatření pro místní oddělení kabelů, opatření na oddělení redundancií a ochrana propojení blokové a nouzové dozorny bude teprve prověřena.

Dalším z důležitých opatření je snížení rizik z úniku oleje a úplné uzavření (požární buňka) olejové nádrže každé turbíny s krytem a záchytná jímka.

Centrální olejové hospodářství má být požárně odděleno.

Opatření na podlaží +14,7 m mají být teprve navrhována na základě vyhodnocení vlivu požáru na zařízení umístěná na tomto podlaží.

Upraveny mají být zásady pro oddělování kabelových tras příslušejících k různým divizím bezpečnostních systémů.

Požární ochrana zdá se být ještě ve vývoji. Nicméně srovnáním dostupných údajů lze usoudit, že zcela důsledně požadavky (IAEA) naplněny zřejmě nebudou.

### 3.2.1.7. Riziko prasknutí vysokoenergetických potrubí

Je vypočteno, že prasknutí vysokoenergetických potrubí (tlak > 2 MPa a teploty > 100°C) může mít následující dynamické efekty

- švihnutí potrubí v důsledku reaktivních sil
- náraz proudu páry nebo kapaliny tryskající z prasklého potrubí.

Švihnutí potrubí nebo výtrysk v důsledku prasknutí vysokoenergetického potrubí by nemělo způsobit zhoršení iniciační poruchy (což je prasknutí potrubí) nebo poškození zařízení s vli-

vem na bezpečnost, jež má zvládat iniciační poruchu. Dynamické efekty havárie by neměly zabránit vyvedení reaktoru mimo provoz a jeho setrvávání v tomto stavu po iniciační havárii. Sekundární okruh je tomuto riziku vystaven. Zóna mezi strojovnou a reaktorovnou (podélná etažérka) je zranitelná v důsledku nahromadění zařízení jako je hlavní parní kolektor, potrubí napájecí vody, potrubí havarijního napájení, atd. na podlaží 14,7 m a pod ním.

Jde o riziko mnohonásobného selhání systémů s vlivem na bezpečnost. Ochrana integrity tlakové nádoby reaktoru a ztráta napájecí vody je jedním z největších bezpečnostních problémů jaderných elektráren s reaktory VVER.

Za účelem předejití nadměrnému vychlazení a souvisejícímu dopadu na reaktorovou nádobu jakož i předejití možnosti rekritikality je nezbytné studovat havárii s roztržením hlavního parního kolektoru a určit počet parogenerátorů, které mohou být postiženy a budou napájet roztrženou část potrubí. Nutné je rovněž zahrnutí případů, kdy švihnutí potrubí způsobí poškození jiných potrubí nebo armatur na nich. Poškození havarijního napájení může vést až ke ztrátě chlazení na sekundární straně.

Řešení pro 3. a 4. blok JE Mochovce

Počítá se (EGP) s opatřeními zabraňujícími švihu prasklého potrubí. Kritická místa potrubí mají být vytipována za použití metodiky uplatněné na prvním dvojbloku. Technická řešení mají být snáze realizovatelná s ohledem na skutečnost, že technologie na druhém dvojbloku zatím nebyla instalována.

Právě z uvedených důvodů vzniká otázka, proč nemůže být aplikována praxe ze zemí s vyspělou kulturou jaderné bezpečnosti, totiž fyzické, stavební oddělení ohrožených úseků. Omezovače švihu totiž sice mohou omezit nebo zamezit švihnutí, ale neřeší problém následků tryskání média z poškozeného potrubí.

### 3.2.1.8. Seismická opatření

Seismická opatření včetně vstupních parametrů pro analýzy v zásadě nejsou v souladu s mezinárodní praxí. Výsledné struktury, komponenty a rozvodné systémy nemají dostatečnou rezervu pro případ zemětřesení na úrovni projektem předpokládaného (IAEA).

Řešení pro 3. a 4. blok JE Mochovce

Řešení stavebních detailů pro seismické zodolnění (typy příček, kotvení obvodových plášťů) má zohledňovat současný stav rozestavěnosti stavby (EGP).

Specifikace rozsahu prací a cenové odhady jsou stanoveny za předpokladu zachování stávajících parametrů seismického zadání pro lokalitu JE Mochovce, tj. zachování maximální hodnoty zrychlení v úrovni terénu 0,1g a určení frekvenčního obsahu spektrem NUREG. Jakékoliv zvýšení nad hodnotu 0,1g by znamenalo výraznou změnu rozsahu zodolnění a růst nákladů ve stavební a technologické části (EGP).

Do této kategorie spadá též úmysl přetrasování potrubních tras na podlaží +14,7 m a parovodů v boxech parogenerátorů.

Seismická opatření se zdají být případem, kdy stupeň rozestavěnosti podmiňuje úroveň bezpečnosti. Jakékoli konkrétní seismické opatření proto musí být posuzováno s vědomím, že se na něm může projevit snaha o úspory nákladů na stavbu na úkor jaderné bezpečnosti.



### 3.2.2. Problémy kategorie II

#### 3.2.2.1. Klasifikace komponent

Komponenty pro jaderné elektrárny s reaktory VVER-440/213 byly projektovány na základě sovětského bezpečnostního předpisu OPB-73. Podle tohoto předpisu byly komponenty důležité z hlediska bezpečnosti klasifikovány do pěti tříd. V červenci 1990 nabyl platnosti předpis OPB-88, který definoval novou klasifikaci. Komponenty zařazené do stejné třídy vyžadovaly dodržení stejné kvality při jejich projektování a výrobě. Překlasifikování komponent přineslo nejednotnost v požadavcích na zajištění kvality.

Řešení pro 3. a 4. blok JE Mochovce
(EGP) navrhuje zpracovat seznam vybraných zařízení, projednat jej s Úradom jadrového dozoru s cílem omezení jeho rozsahu (!) a zpracovat klasifikaci komponent z hlediska jaderné bezpečnosti a seismické odolnosti.

#### 3.2.2.2. Spolehlivostní analýzy systémů bezpečnostní třídy 1 a 2

Analýzy spolehlivosti systémů bezpečnostní třídy 1 a 2 jsou nezbytné pro potvrzení, že systémy jsou spolehlivé tak, jak předpokládal projektant. Důležitý je rovněž sběr dat o spolehlivosti komponent během provozu, aby se potvrdila platnost původních analýz. Některé elektrárny nemají ani hotovou analýzu spolehlivosti během fáze výstavby, ani systematický sběr dat o spolehlivosti realizovaný během provozu.

Řešení pro 3. a 4. blok JE Mochovce
(EGP) slibuje zpracování spolehlivostní analýzy systémů pomocí metody stromu poruch s uvážením nejistot a faktorů rizika.

#### 3.2.2.3. Prevence nekontrolovaného naředění kyseliny borité

Hlavní způsoby, kterak může dojít k předchodovému stavu v důsledku naředění kyseliny borité v chladivu jsou

- jestliže se připojí zpět k systému původně odstavená smyčka primárního okruhu,
- naředění chemickým systémem a systémem kompenzace objemu zejména po výpad ku hlavního cirkulačního čerpadla po ztrátě napájení,
- v důsledku úniku ve výměníku tepla systému havarijního chlazení aktivní zóny.

Mimovolné naředění se normálně detekuje pomocí měření neutronového toku. V takovém případě je doba na reakci operátora poměrně krátká a je bezpečnější detekovat naředění dříve pomocí měření obsahu bóru. Aby byl tento způsob efektivní, musí být odezva krátká (zhruba do 10 minut) a přesnost dostatečná (ne více než 100 ppm).

Kontinuální měření koncentrace bóru se provádí na základě bóroměru, který není dostatečně přesný a má časové zpoždění mezi aktuální a indikovanou hodnotou. Monitorování neutronového toku je během odstávky reaktoru nebo ve fázi jeho najíždění obtížné, protože jeho úroveň v ionizačních komorách je velmi nízká (104 – 103 n/cm2.s) a nemůže být snímána existujícím zařízením (AKNP-3). Monitorování vychází z akustického signálu. Z uvedených důvodů se obyčejně raději používá neutronový zdroj v aktivní zóně za účelem zvýšení úrovně toku neutronů během odstávky reaktoru nebo ve fázi jeho najíždění (dobrá mezinárodní praxe).

Řešení pro 3. a 4. blok JE Mochovce

(EGP) míní podrobně rozebrat možnosti neúmyslného ředění kyseliny borité v primárním okruhu a sestavit možné scénáře pokrývající celé zjištěné spektrum. Mají být formulována kritéria přijatelnosti ve vztahu k pravděpodobnosti výskytu události na základě návodů MAAE. Dále má být provedena podrobná pravděpodobnostní analýza výskytu vytipovaných událostí. Na základě této analýzy se mají navrhovat zlepšení.

#### 3.2.2.4. Integrita tlakové nádoby reaktoru

Tlakové nádoby reaktorů VVER-440/213 jsou vystaveny poměrně vysokému neutronovému toku. Jde zejména o obvodový svar nádoby naproti aktivní zóně.

Pro monitorování zkřehnutí materiálu nádoby se využívá svědečných vzorků. Vzorky jsou umístěny v pouzdrech instalovaných na vnějším povrchu koše aktivní zóny. Pouzdra jsou uspořádána do šesti dvojitých řetězců, sadu tvoří každý pár. Vzorky reprezentují základní materiál nádoby, svaru a materiál ovlivněný žárem. V pouzdrech se monitoruje tok (fólie ze železa, mědi, niobu a kobaltu) a teplota (diamantový prášek).

Největší problém pro integritu tlakové nádoby představuje tepelný šok pod tlakem, který může být způsoben aktivací havarijního chlazení aktivní zóny nebo vzrůstem odběru tepla v sekundárním okruhu. Za účelem ochrany integrity tlakové nádoby je třeba přijmout opatření k omezení namáhání tepelným šokem pod tlakem. Voda v nádržích systémů havarijního chlazení aktivní zóny se podle původního projektu nevyhřívá. Analýzy ukázaly, že vstřik chladné vody do reaktorové nádoby po jejím zkřehnutí může vést k nepřípustnému riziku. Doporučuje se tedy nádrže systémů havarijního chlazení aktivní zóny vyhřívat.

Řešení pro 3. a 4. blok JE Mochovce

(EGP) shledává standardní programy ověřování stavu svědečných vzorků nedostatečné. Navrhuje se proto realizovat modifikovaný program, který má nedostatky odstranit. Má zabezpečit získání informací o hodnotách toku neutronů uvnitř pouzder se svědečnými vzorky a vně tlakové nádoby s přesností 20%, zavést měření ozařovací teploty pomocí tavných monitorů a termočlánků, zabezpečit fixovanou polohu vzorků vůči aktivní zóně, umožnit hodnocení pro-

cesů radiační degradace přímými metodami a dodávat spolehlivé údaje o radiačním poškození materiálu tlakové nádoby během životnosti bloku.

Ochrana před tepelným šokem pod tlakem se neřeší. Lze předpokládat, že nádrže systému havarijního chlazení aktivní zóny budou vyhřívány, jako je tomu na prvním dvojbloku (SE&EDF).



### 3.2.2.5. Švihnutí hlavního cirkulačního potrubí

Hlavní cirkulační potrubí je zhotoveno z austenitické nerezové oceli a je svařeno mnoha různými svary. Omezovače švihu byly na mnohých elektrárnách shledány jako nekompletní – chyběly rozpěrky jinak specifikované v projektu. Takové omezovače švihu nejsou schopny splnit požadovanou funkci.

Řešení pro 3. a 4. blok JE Mochovce

Místo nekompletních omezovačů švihu má být navržena koncepce LBB. Pro zajištění spolehlivé detekce úniků z primárního okruhu mají být instalovány tři nezávislé systémy na měření úniků.

Jak již bylo v kapitole 3.2.1.2. uvedeno, lze očekávat, že uplatnění koncepce LBB narazí na problém zjištění historie daných komponent (dokumentace k výrobě, skladování, testování atd.). (EGP) však chce statut LBB založit na systému detekce úniků a na výsledcích předprovozních a provozních kontrol. Detekce úniků však již sama o sobě předpokládá, že požadavky statutu LBB jsou splněny.

### 3.2.2.6. Integrita primárního kolektoru parogenerátorů

Každý reaktor VVER-440 má 6 parogenerátorů, v nichž dva válcovité kolektory (horká a studená větev) tvoří hranici mezi primárním a sekundárním okruhem. K těmto kolektorům jsou připojeny teplosměnné trubky. Kolektory jsou zhotoveny z austenitické nerezové oceli. Na potrubí primárního okruhu jsou instalovány hlavní uzavírací armatury, které zajišťují v případě havárie oddělení pragenerátoru. S výjimkou JE Loviisa však tyto uzavírací armatury nejsou klasifikovány jako bezpečnostně významná zařízení.

Na některých provozovaných elektrárnách bylo pozorováno korozní popraskání v oblasti svarů na primární straně způsobené pravděpodobně chemickým režimem chladiva. Dále bylo pozorováno nadzdvihnutí krytu kolektoru během provozu způsobené korozním praskáním ve svorníkovém spoji. Možná příčina pozorovaných jevů je nevhodný chemický režim, nevhodné chemické složení použitého maziva na šrouby a postupy údržby.

Řešení pro 3. a 4. blok JE Mochovce

(EGP) hodlá provést pravděpodobnostní analýzy odtržení víka primárního kolektoru parogenerátoru v různých modifikacích, výpočty pevnosti a životnosti rozebiratelných spojů kolektoru a výpočty zbytkových napětí po zaslepení netěsné trubky. Mají být vypracovány průkaz-

né dokumentace hodnotící vliv navržených opatření na životnost závitových hnízd, opatření na zkvalitnění údržbářských postupů a zhodnocení vlivu na bezpečnost a zbytkovou životnost parogenerátoru.

### 3.2.2.7. Integrita parogenerátorových trubek

Degradované parogenerátorové trubky s trhlinami prostupujícími jistou část tloušťky stěny jsou zpravidla zaslepeny nebo opatřeny návlekem na základě kritérií vyvinutých za pomocí výsledků šumové analýzy. Originální metoda zjišťování stavu parogenerátoru je monitorování bublinek kamerou uvnitř kolektoru, zatímco sekundární část je vydrenážována a natlakována plynem. Měří se též aktivita sekundárního chladiva. Tyto metody neodhalí degradovanou trubku, dokud trhlina v ní neprostoupí celou stěnu a nedovolují sledování a predikci chování defektu během inspekce. Zavádí se testování pomocí vířivých proudů. Technicky odůvodněná kritéria pro zaslepování trubek a limity pro úniky nejsou zavedena ve všech elektrárnách.

Řešení pro 3. a 4. blok JE Mochovce
(EGP) vychází z opatření přijatých již na prvním dvojbloku. Byly provedeny analýzy pravděpodobnosti roztržení teplosměnných trubek parogenerátoru, výpočty pružně plastických deformací trubek v případě vzniku průchozí trhliny. Byly stanoveny charakteristiky pomalého růstu korozních trhlin a lomových charakteristik trubek.

K jakým opatřením tyto analýzy a výpočty vedly, dostupné materiály neuvádějí.

### 3.2.2.8. Ochrana před natlakováním primárního okruhu za studena

Během vychlazování zařízení nebo za podmínek odstavení elektrárny existuje možnost natlakování primárního okruhu za studena. To může mít nepříznivé efekty na integritu tlakové nádoby reaktoru.
Příčinami natlakování za studena může být

- falešná aktivace systémů havarijního chlazení aktivní zóny,
- náhodné otevření pojišťovacích ventilů, náběh systémů havarijního chlazení aktivní zóny a naplnění reaktorové nádoby studenou vodou, uzavření pojišťovacích ventilů a vzestup tlaku na nízké teplotě systému chlazení reaktoru,
- chyba operátora během hydrozkoušek.

V případě úniku ze systému chlazení reaktoru vyžaduje havarijní postup co nejrychlejší lokalizaci úniku. Reaktor však není chráněn proti natlakování ve studené fázi, které se může pravděpodobně vyskytnout jako následek postupu během havárie. Studie zabývající se tepelným šokem pod tlakem indikují riziko.

Na elektrárnách s reaktory VVER-440 byla přijata řada opatření zabraňujících studené natlakování primárního okruhu. Ty ovšem spočívají ponejvíce na administrativních postupech a na lidském zásahu. Na západních elektrárnách ochrana spoléhá nejen na akci operátora, ale

i na činnost automatických armatur.



Řešení pro 3. a 4. blok JE Mochovce

(EGP) hodlá definovat a zavést předpisy tak, aby bylo zabezpečeno odstranění iniciačních událostí vedoucích k přechodovým procesům při natlakování za studena. Dále má v úmyslu definovat a zavést automatický kontrolní systém, který bude schopen zabránit tlakově tepelným šokům při přechodových procesech a garantovat integritu tlakové nádoby reaktoru. Řešení má spočívat v automatickém odstavení zařízení, které by mohlo způsobit v průběhu najíždění nebo odstavování bloku zvýšení tlaku v primárním okruhu až na hodnotu blízkou hodnotám křivky křehkého lomu tlakové nádoby reaktoru. Jde o vysokotlaká čerpadla systému havarijního chlazení, doplňovací čerpadla, vysokotlaká čerpadla bórového koncentrátu a elektroohříváky kompenzátoru objemu. Řešení počítá i s automatickým otevřením odlehčovacího, případně pojišťovacího ventilu kompenzátoru objemu na základě měření tlaku a teploty primárního okruhu.

### 3.2.2.9. Zmírnění následků roztržení primárního kolektoru parogenerátoru

Unikátním řešením na parogenerátorech jaderných elektráren s VVER-440 je válcovitý primární kolektor se šroubovanou přírubou. Nelze vyloučit prasknutí této komponenty (víko se otevřelo na JE Rovno v roce 1982). Iniciační události mohou být:

- Oscilace hladiny vody a lokální vzkypění tak, že úroveň hladiny dosáhne oblasti víka primárního kolektoru s následujícím nahromaděním nečistot na šroubech a odpovídající korozí. Tento jev lze pozorovat zejména v blízkosti horkého kolektoru.
- Opotřebování šroubení v důsledku časté údržby. V JE Rovno byly šrouby utaženy velmi těsně z důvodu eliminace úniků přes těsnění víka kolektoru.
- Hydraulický šok během přechodového stavu iniciovaného ztrátou tlaku v systému chlazení reaktoru. Pára uvolňující se z aktivní zóny v takovém případě proudí a hromadí se v horní části kolektoru parogenerátoru. V případě vstřiku vody ze systémů havarijního chlazení aktivní zóny a úspěšné izolace místa úniku se tlak v systému chlazení reaktoru zvýší, vede ke kondenzaci páry a hydraulickému šoku v hlavě kolektoru parogenerátoru.

Zdvihnutí víka vede k úniku z primárního okruhu s ekvivalentním průměrem 100 mm (do okruhu sekundárního). Tento únik může způsobit by-pass systému hermetických boxů s barbotážním systémem, protože chladivo primárního okruhu se uvolňuje přímo do životního prostředí, jestliže pojišťovací ventily otevřou a selže jejich uzavření. Během přechodového procesu se ztrácí i voda dodávaná ze systémů havarijního chlazení aktivní zóny místo toho, aby se jímala na podlaze hermetických boxů a byla vracena do okruhu. Navíc vstřik vody ze systémů havarijního chlazení aktivní zóny tenduje k udržení tlaku v systému chlazení reaktoru. Protože pojišťovací ventily parogenerátorů nejsou kvalifikovány pro průtok parovodní směsi, mohou selhat při opětovném uzavírání. V takovém případě je nastavena přímá cesta úniku primárního chladiva do ovzduší. Tím unikají do atmosféry i radioaktivní látky z paliva, které se z něj mohou uvolňovat během tohoto přechodového procesu.

V původním projektu není taková havárie brána v úvahu, a proto nejsou ani definována žádná protiopatření.

Řešení pro 3. a 4. blok JE Mochovce

(EGP) navrhuje doplnění pomocné trasy vstřiku chladiva do kompenzátoru objemu od doplňovacích čerpadel s regulační a uzavírací armaturou. Dále má být instalován měřící systém detekce radioaktivity na sekundární části parogenerátoru.

### 3.2.2.10. Chlazení ucpávek hlavního cirkulačního čerpadla

Během normálního provozu cirkuluje voda chladící těsnění hlavního cirkulačního čerpadla (HCČ) v autonomním okruhu. Navíc další ucpávkovou vodu dodává zvyšovací čerpadlo.

V případě ztráty napájení na některých jaderných elektrárnách se zastaví i zvyšovací čerpadla, protože nejsou napájena z náhradního zdroje (dieselgenerátorová stanice). Za této situace zajišťuje chlazení těsnění HCČ cirkulace vody primárního okruhu chlazené vodou, která chladí komponenty (jedno oběhové čerpadlo patří ke každému HCČ, tento autonomní vstřikový okruh zabraňuje horké vodě dosáhnout ložisko HCČ). V případě výpadku jednoho z těchto oběhových čerpadel není těsnění příslušného HCČ chlazeno. Iniciační událost může potom vést k úniku primárního chladiva přes těsnění, není-li dlouhodobě chlazeno. Poškozeným těsněním uniká voda do místnosti s motorem HCČ mimo hermetickou zónu a tak se ztrácí pro případ recirkulační fáze havarijního chlazení aktivní zóny.

Experimenty ukázaly, že přes těsnění může unikat ne více než 50 litrů za 24 hodin.

Řešení pro 3. a 4. blok JE Mochovce

(EGP) navrhuje úpravu systému organizovaných úniků na hlavním cirkulačním čerpadle tak, aby drenáž paluby HCČ byla odvedena do boxu parogenerátorů, tam jímána a využita pro systém havarijního chlazení aktivní zóny.

### 3.2.2.11. Kvalifikace odlehčovacích a pojistných ventilů kompenzátoru objemu pro průtok vody

Za určitých havarijních podmínek mohou ventily kompenzátoru objemu pracovat s tokem parovodní směsi. V případě selhání zpětného uzavření může dojít k malé havárii typu LOCA. Kvalifikace ventilů pro průtok parovodní směsi je tedy důležitou pro prevenci havárie typu LOCA.

Řešení pro 3. a 4. blok JE Mochovce

Cílem je dosažení kvalifikace pro dlouhodobý provoz při průtoku parovodní směsi a vody. Má toho být dosaženo záměnou solenoidových ventilů za ventily s elektrickým pohonem, doplněním nového, řídícího ventilu pro odlehčovací ventil a zvětšení dimenze potrubí odlehčovacího ventilu. Dalším opatřením v rámci řešení je změna dispozice a dimenze výfukového potrubí pojišťovacích ventilů kompenzátoru objemu (PV KO), doplnění odvzdušnění přívodního potrubí PV KO a přívod dusíku do výfuku PV KO (EGP).

### 3.2.2.12. Integrita sacích potrubí systémů havarijního chlazení aktivní zóny

Jímky systému jsou situovány v reaktorovně na spodním podlaží hermetické zóny. Sací potrubí prochází podlahou hermetické zóny a vede do místnosti s nádržemi bórované vody zhruba o 6 m níže. Poté sací potrubí prochází podlahou této místnosti a vede k výměníkům tepla, umístěným více než 12 m pod podlahou hermetické zóny. Tato část každé trasy je vybavena oddělovací armaturou.

V případě prasknutí sacího potrubí se může voda ztratit z hermetické zóny, v důsledku čehož selže systém havarijního chlazení aktivní zóny. To může vést k obnažení aktivní zóny a k těžké havárii.

Řešení pro 3. a 4. blok JE Mochovce

(EGP) navrhuje realizovat opatření přijatá již na prvním dvojbloku. Jejich cílem je zbránit úniku vody z hermetické zóny.

(SE&EDF) hovoří o instalaci dvojitého potrubí na prvním dvojbloku. Není však zřejmé, zda tento návrh byl skutečně přijat a řešení realizováno.

### 3.2.2.13. Integrita výměníků tepla v systémech havarijního chlazení aktivní zóny

Zbytkové teplo je za podmínek po havárii typu LOCA odváděno pomocí výměníků tepla systému nízkotlakého havarijního doplňování. Ty jsou chlazeny technickou vodou důležitou, která teplo transportuje přímo do rozstřikovacích nádrží nebo do chladících věží. Neexistuje uzavřený chladící meziokruh. Protože výměníky tepla jsou trvale napájeny surovou vodou, existuje riziko jejich znečištění a degradace chlazení. To může též zvyšovat riziko úniků v tepelném výměníku.

V případě úniku ze systému havarijního chlazení aktivní zóny mimo něj, se mohou radioaktivní látky dostat do životního prostředí.

Nepozorovaný průnik vody ze systému technické vody důležité do systému havarijního chlazení aktivní zóny ve výměníku tepla může vést k naředění roztoku kyseliny borité a eventuálně k vytvoření kapsy čisté vody na straně systému havarijního chlazení aktivní zóny ve výměníku tepla. Na počátku recirkulační fáze se pak tato čistá voda může dostat do aktivní zóny a tam zanést významnou pozitivní reaktivitu.

Řešení pro 3. a 4. blok JE Mochovce

(EGP) navrhuje zpracovat řešení se systémem cirkulace vody mezitrubkového prostoru přes měřící čidlo, které by v případě netěsnosti výměníku signalizovalo změnu vodivosti média. Po prověrce laboratorním měřením z odběru vzorků by v případě potvrzení průniku technické vody do kyseliny borité operátor odstavil a dochladil blok a výměník by byl opraven.

### 3.2.2.14. Kvalifikace odlehčovacích a pojistných ventilů parogenerátoru pro průtok vody

Odlehčovací ventil – přepouštěcí stanice do atmosféry (PSA) – a dva pojistné ventily jsou instalovány před hlavní rychločinnou armaturou. V případě úniku z primárního do sekundárního okruhu může voda z primárního okruhu rychle naplnit parogenerátor a parovod až k PSA, kterou není možno oddělit. Absence kvalifikace odlehčovacích a pojistných ventilů pro práci s vodou nebo parovodní směsí může vést k jejich selhání v otevřené poloze. Pak by šlo o bypass hermetické zóny s únikem radioaktivních látek z primárního okruhu. Dlouhodobé chlazení může být ohroženo ztrátou chladiva do atmosféry.

Řešení pro 3. a 4. blok JE Mochovce

Cílem návrhů (EGP) je doložit kvalifikaci pro průtok parovodní směsi a vody včetně ověření pevnostní odolnosti potrubí parovodu.

V technologické části má být zohledněn požadavek na dodatečné kotvení armatur přepouštěcí stanice do atmosféry (PSA). V části stavební se má jednat o přepočet kotvení jednotlivých plošin PSA pro přenos nového zatížení od omezení vertikálního posuvu PSA a z toho plynoucích konstrukčních úprav. Zároveň mají být zahrnuty stavební úpravy plynoucí z posílení seizmické odolnosti a švihu potrubí.

### 3.2.2.15. Funkce odlehčovacích a pojistných ventilů parogenerátoru za nízkého tlaku

Na většině elektráren nedovoluje současné provedení odlehčovacích a pojistných ventilů odvod zbytkového tepla cestou vypouštění páry do atmosféry za nízkých tlaků (pod 3 MPa) v případě uzavření oddělovacích armatur na parovodu. Pojistné ventily otevírají a zavírají při tlacích kolem 5,7 MPa a 4,7 MPa. Využívají systém stlačeného vzduchu. Otevírací tlak může být redukován na hodnotu kolem 3 MPa, nikoli však menší. Odlehčovací ventil je poháněn motorem a může se otevřít při jakémkoli tlaku, ale na většině elektráren jsou tyto ventily instalovány na hlavním parovodu za oddělovací armatury, takže jsou za podmínek havárie odděleny od parogenerátoru. Toto řešení limituje potenciál k vychlazování.

Řešení pro 3. a 4. blok JE Mochovce

Návrhy (EGP) se tímto problémem nezabývají.

### 3.2.2.16. Ventilace na blokové dozorně



Původní řešení blokové dozorny nepočítá s vybavením ventilačním systémem schopným filtrovat vstupující vzduch v případě jeho zamoření radioaktivními látkami. Riziko vdechování kontaminovaného vzduchu v blokové dozorně v případě vážných havárií je vysoké. Obyvatelnost blokové dozorny musí být zajištěna i pro případy havárií s vážnými následky.

Řešení pro 3. a 4. blok JE Mochovce
(EGP) navrhuje zcela nový systém vzduchotechniky na blokové dozorně.



### 3.2.2.17. Systém odstraňování vodíku

Během delší doby po havárii typu LOCA se vyvíjí vodík chemickou reakcí kovu s vodou a radiolýzou v aktivní zóně. Za podmínek maximální projektové havárie je to dlouhodobý proces, který v závislosti na produkovaném množství vede dříve nebo později (během týdnů) ke koncentraci vodíku překonávající zápalný bod (>4%). V případě těžkých havárií může být akumulace vodíku mnohem rychlejší. Jedním z největších zdrojů uvolňování vodíku je reakce vody s hliníkovým krytem tepelné izolace komponent primárního okruhu. Nehomogenní distribuce vodíku může vést k lokálně vyšším koncentracím, které dosáhnout zápalného bodu dříve než při homogenní distribuci. Původní projekt elektráren nezahrnuje opatření ke zvládání uvedeného jevu uvnitř hermetické zóny.

Řešení pro 3. a 4. blok JE Mochovce
Podle (EGP) má být nasazen monitorovací a vyhodnocovací systém s 8 čidly a pasivní katalytické rekombinátory v počtu 16 kusů. Pro řešení dlouhodobých pohavarijních procesů se uvažuje s doplněním systému zapalovači (jiskřiči).

### 3.2.2.18. Ventilace primárního okruhu za havarijních podmínek

Jedním z důležitých poznatků z poučení z havárie na JE Three Miles Islands v roce 1979 byl ten, že během přechodového procesu s poklesem tlaku se mohou uvolňovat nezkondenzovatelné plyny a vodík. Dodatečně se v případě vlití vody z akumulátorů havarijního chlazení aktivní zóny do reaktoru za nízkého tlaku uvolňuje i dusík, kterým je nasycena voda v akumulátorech. Tyto plyny se shromáždí v nejvyšším bodě primárního okruhu (nejvýše položená místa smyček primárního okruhu, prostor pod víkem reaktoru). V analýzách maximální projektové havárie se předpokládá, že kulové uzávěry hydroakumulátorů mohou zabránit vniknutí dusíku do primárního okruhu po vyprázdnění akumulátorů (nad vodní hladinou v akumulátorech se udržuje dusíkový polštář). Pokud tento předpoklad neplatí, významné množství nezkondenzovatelných plynů může proniknout do horní části reaktorové nádoby. Plyn může zablokovat cirkulaci primárního chladiva a vést k přehřátí aktivní zóny. Problém může nastat během malé LOCA např. po úniku na parní straně kompenzátoru objemu. Řešením problému může být instalace ventilačního systému pro odvětrání prostoru pod víkem reaktoru a jiných nejvýše umístěných bodů na primárním okruhu.

Řešení pro 3. a 4. blok JE Mochovce
Návrhy (EGP) se tímto problémem nezabývají.

### 3.2.2.19. Systém technické vody důležité

Všechna bezpečnostně významná zařízení a komponenty jsou chlazena tzv. technickou vodou. Přes tento význam pro bezpečnost není jisté, že systém je na všech elektrárnách adekvátně chráněn proti všem zdrojům výpadků ze společné příčiny včetně vnějších rizik. Například redundantní trasy technické vody jsou vedeny bez separace nebo jsou umístěny v blízkosti vysokoenergetických potrubí.

Řešení pro 3. a 4. blok JE Mochovce
(EGP) se sice zabývá systémem technické vody, avšak nikoli problémy vytýkanými v (IAEA). Řeší možný výpadek systému, zanášení výměníků, jejich korozi a regulaci teploty v bazénech ventilátorových věží s navržením ochrany vestavby těchto věží při extrémních zimních klimatických podmínkách.

### 3.2.2.20. Systém kontroly a řízení

Spolehlivost systému kontroly a řízení zahrnuje dva aspekty:

*1) Dostupnost zařízení*
Zařízení systému kontroly a řízení použitá na jaderných elektrárnách s VVER-440/213 pocházejí, co se týče technické úrovně, z počátku 70. let v SSSR a jejich spolehlivost je sporná. Jde o horší kvalitu, stárnutí, obtížnou údržbu a potřebu časté péče.

*2) Dimenzování systému kontroly a řízení*
Odolnost proti jednoduché poruše není naplněna všude a na některých systémech není adekvátní fyzická separace redundantních komponent.
Panely havarijních ochran obsahují dvě redundantní trasy, které jsou však umístěny v jedné místnosti. To může vést k úplné ztrátě systému v případě poruchy ze společné příčiny, např. v důsledku požáru.

V některých úsecích běží kabely všech systémů společně, např. pod blokovou dozornou, což vede k riziku pro případ vniknutí vody do prostoru. Voda může proniknout ke kabelům nikoli pouze v případě prasknutí vodovodu, ale rovněž v důsledku úniků z klimatizace, což se na jedné elektrárně skutečně stalo. Proniknutí vody nebo požár mohou vést k úplnému vyřazení systému ochrany reaktoru.

Protože kabeláž nebyla původně odolná proti požáru, na některých elektrárnách byla opatřena protipožární vrstvou dodatečně. To ovšem zvýšilo hmotnost kabelů na kabelových lávkách a v podstatě zabránilo jakékoliv výměně stávajících kabelů za nové.



Řešení pro 3. a 4. blok JE Mochovce
Systém kontroly a řízení má být řešen nově (EGP). Koncepce se liší zásadně od řešení na prvním dvojbloku. Systém má integrovat na vyšší úrovni funkce ochranné, řídící a informační. Má zahrnovat jak subsystémy ochran a řízení reaktoru a vnitroreaktorová měření, tak řízení bezpeč-

nostních systémů a systémů souvisejících s jadernou bezpečností. Systémy řízení normálního provozu mají zahrnovat informace a provozní řízení při ustálených a definovaných přechodových stavech stejně jako regulace důležitých parametrů bloku a technologických ochran komponent.



Předpokládá se použití moderního víceúrovňového sběrnicového modulárního systému. Ten má maximálně využívat počítačové techniky. Pro bezpečnostní funkce a zásahy má být zálohován více „klasickým" řízením s vazbou do elektročásti. Má disponovat autodiagnostickými funkcemi ve výrazně vyšším rozsahu než u zařízení a systémů uvažovaných původním projektem. Tím se má zvýšit spolehlivost provozu a pohotovosti jak bezpečnostního řízení, tak i prostředků řízení normálního provozu.

V části snímačů se předpokládá využití sdílení snímačů, čímž se sníží jejich počet. To se dále projeví v jednotnosti nastavení mezí pro zapůsobení vzájemně se zálohujících se systémů a ke snížení nákladů na jejich pořízení, kalibraci a údržbu. Je ovšem otázka, jestli se tím na druhé straně nesníží odolnost proti poruchám ze společné příčiny.
Použití nového systému znamená též nové řešení blokové dozorny.

### 3.2.2.21. Přehled o signálech iniciujících rychlé odstavení reaktoru

Bezpečnostní analýzy braly v úvahu efekty signálů havarijních ochran typu HO-2 nebo HO-3, které iniciují omezení výkonu nebo jeho redukci zasouváním havarijně regulačních kazet do aktivní zóny. V případě selhání HO-2 nebo HO-3 je třeba, aby byl generován signál pro aktivaci ochrany HO-1.

Řešení pro 3. a 4. blok JE Mochovce
Podle (EGP) by měly být rozšířeny prvopříčiny působení HO-1 o vysokou teplotu v horkých větvích smyček, vysokou hladinu v kompenzátoru objemu a vysoký tlak chladiva primárního okruhu.

V rámci modernizace systému ochran reaktoru má dojít také k fyzickému a funkčnímu oddělení. Současně má být vyřešena autodiagnostika systému včetně snímačů a výstupy informací obsluze na blokovou a nouzovou dozornu a do informačního systému.

### 3.2.2.22. Ergonomie blokových dozoren

Blokové dozorny jaderných elektráren s VVER-440 umožňují kontrolu a indikaci nezbytnou pro operátory k provedení akcí požadovaných během normálního provozu a odstavování elektrárny. Jde o klasické rozdělení na podsystémy se „slepými" schématy každého podsystému s kontrolkami čerpadel a armatur signalizujícími jejich odpovídající funkční pozici. Tento typ organizace vedl k provozním problémům, ponejvíce známým z havárie JE Three Mile Island, protože pozornost operátora se zaměřuje na specifickou věc a operátor má náchylnost k nevšímavosti vůči interakcím mezi systémy.

Existují však i jiné nedostatky v ergonomice ve srovnání s moderní praxí. Indikátory růz-

ných typů měření provozních hodnot, např. průtok a tlak, nejsou rozeznatelné jinak než pomocí legendy. Vypínače čerpadel, armatur atd. mají stejnou formu ovladače. Indikátory zprostředkovávající data důležitá pro vyhodnocení operátorem o stavu bezpečnosti bloku nejsou odlišeny od indikátorů používaných pro normální provoz. Velkou část cenného prostoru na panelech, které jsou přímo naproti operátorově pohledu, zabírá indikace málo frekventovaných aktivit, které se týkají najíždění bloku a kontrolního testování.

Podle původního projektu jsou signály rozděleny do dvou skupin – havarijní a varovné. Tyto skupiny jsou odlišené rozmístěním. Jsou rozlišeny též barevně a zvukově. Kromě toho v systému odstavení reaktoru je rozhodující první signál určité aktivity. Nicméně množství signálů v blokové dozorně je nadměrně vysoké a prioritizace není dostatečná.

Provedení informačních displejů v blokové dozorně nedává operátorovi rychlý přehled o informacích týkajících se aktuálního stavu elektrárny a bezpečnosti reaktoru jako celku. To zvyšuje riziko vzniku lidské chyby.

Řešení pro 3. a 4. blok JE Mochovce

Řešení blokové dozorny má být kvalitativně úplně jiné, neboť bude projektováno pro nový integrální systém řízení, jehož výstupními zařízeními jsou především obrazovkové displeje (EGP). Předmětem řešení bude formulace požadavků na prostorové řešení a dodávky zařízení tak, aby výsledkem byl kompaktní návrh vycházející z funkční analýzy rozdělení funkcí mezi člověka a stroj a vybavení prostředky pro styk s obsluhou. Výstupem řešení mají být data pro řešení podmínek prostředí pro techniku i obsluhu a posouzení možných vlivů prostředí a obsluhy. Ve stavební části se úpravy týkají konstrukcí pro seismické uchycení pultů a panelů, zajištění elektropožární signalizace, osvětlení a řešení obkladů stěn a stropu.

### 3.2.2.23. Fyzické a funkční oddělení blokové a nouzové dozorny

V případě události, která způsobí neprovozuschopnost blokové dozorny, musí být zajištěna použitelnost dozorny nouzové.

V případě požáru nebo zkratu v blokové dozorně existuje potenciální riziko, že takové selhání může být přeneseno do dozorny nouzové (nebo obráceně) a že z tohoto důvodu odpadnou obě dozorny.

Obě dozorny musejí být fyzicky i funkčně odděleny berouc v úvahu kritérium poruchy ze společné příčiny. Zatím není jistota, že tato separace je kompletní. Nebyly identifikovány evidentní chyby, avšak chybí komplexní analýza, která by předložila pozitivní výsledky.

Řešení pro 3. a 4. blok JE Mochovce

(EGP) slibuje oddělit blokovou a nouzovou dozornu z hlediska funkčního i fyzického, zejména z hlediska elektrického oddělení. Není však specifikováno jakým způsobem. Z dostupných podkladů vyplývá, že se uvažuje s variantami, z nichž jedna zahrnuje přemístění nouzové dozorny do jiného objektu, avšak ani tento není specifikován.

### 3.2.2.24. Diagnostický systém primárního okruhu

V původním projektu jaderné elektrárny s VVER-440/213 nebyl předpokládán žádný diagnostický systém, který by monitoroval potenciální ohrožení integrity primárního okruhu a umožňoval včasné varování při výskytu defektu na tlakovém rozhraní systému chlazení reaktoru. Bez takového diagnostického systému má operátor velmi omezenou možnost rozeznat přítomnost netěsnící části systému chlazení reaktoru a potenciální nebezpečí lokálního přehřátí aktivní zóny nebo ztrátu integrity tlakového rozhraní systému chlazení reaktoru.

Systém detekující úniky dává včasnou výstrahu na počínající anomálii na tlakovém rozhraní jako je poškození těsnění HCČ nebo malý únik.

Stávající systém monitorování neprostupnosti na komponentách primárního okruhu se šroubovanými spoji byl shledán nefunkčním v důsledku koroze, ucpání atd., čímž je dána nemožnost detekovat poškození.

Řešení pro 3. a 4. blok JE Mochovce

(EGP) navrhuje v rámci opatření „Monitorování podmínek prostředí strojních zařízení" taktéž doplnění monitorovacího systému únavy materiálu primárního okruhu. Bez podrobností.

### 3.2.2.25. Systém monitorování úniků z víka reaktorové nádoby

Blok ochranných trub pohonů havarijně regulačních kazet, instrumentace atd. je připevněn k průchodkám skrz víko tlakové nádoby reaktoru pomocí šroubovaných spojů (přírub). Každý spoj je utěsněn dvěma paralelními niklovými těsnícími kroužky. Trubička pro sběr pronikající vody má velmi malý průměr, může se snadno ucpat, v důsledku čehož přestane dávat použitelnou informaci. Systém detekující úniky není testován nebo kontrolován periodicky. Systém monitorování vlhkosti v horním bloku reaktoru není dostatečně citlivý, aby umožnil detekci úniků z přírub.

Nepozorovaný únik primárního chladiva obsahujícího kyselinu boritou může vést k rozsáhlé korozi víka reaktoru zvenčí. Víko reaktoru je pokryto kovovou strukturou naplněnou keramickými kuličkami a její vrchní povrch tak není způsobilý k tomu, aby rutinní kontrola odhalila korozní poškození.

Některá víka nádob byla opravována v důsledku koroze na jaderných elektrárnách s VVER-1000.

Řešení pro 3. a 4. blok JE Mochovce

(EGP) navrhuje nějakou blíže nespecifikovanou studii přehodnotit s cílem minimalizace na nutný rozsah a potřebné vybavení systému diagnostiky (!). Slibuje řešení, které bude splňovat požadavky na statut LBB. Konkrétní problém monitorování úniků z víka reaktoru se zdá být řešen v rámci vylepšení dignostiky celého primárního okruhu.

### 3.2.2.26. Pohavarijní monitorování

Pohavarijní monitorování se používá za účelem informování operátora o bezpečnostně významných parametrech spojených s konceptem ochrany do hloubky. Taková informace je nezbytná pro řádnou aplikaci procedur týkajících se bezpečnosti, redukují pravděpodobnost chybné akce.

Na jaderných elektrárnách s VVER-440/213 takový systém není k dispozici.

Řešení pro 3. a 4. blok JE Mochovce

Rovněž u tohoto opatření považuje (EGP) za nutné přehodnotit rozsah monitorovaných parametrů. Řešení se má zásadně odlišovat od koncepce uplatněné na prvním dvojbloku. Má být doplněno i kvalifikované meření hladiny v nádobě reaktoru. Systém pohavarijního monitorování bude řešen jako součást celého nového systému kontroly a řízení.

### 3.2.2.27. Centrum technické podpory

Osvědčenou praktikou je zřízení místa, kde se shromažďují aktuální data o elektrárně a o jejím stavu pro zobrazení technickým expertům, kteří podporují operátory během zvládání havarijního stavu. Tato místnost je oddělena od blokové dozorny.

Řešení pro 3. a 4. blok JE Mochovce

(EGP) problém neřeší. Lze vyslovit domněnku, že řešení spadá do celkové záměny automatického systému řízení technologických procesů.

### 3.2.2.28. Napájení elektrárny v havarijních podmínkách

Napájení dieselgenerátory je určeno pro bezpečnostní systémy, které jsou nezbytné pro zvládnutí maximální projektové havárie. Rozsah systémů napájených dieselgenerátory je ovšem omezen ve srovnání s mezinárodním standardem a napájení nepokrývá některé systémy, jejichž úkolem je redukovat riziko těžkých havárií.

Příklady bezpečnostně významných systémů, které na některých elektrárnách s VVER-440/213 nemají zajištěno nouzové napájení z dieselgenerátorů:

- zvyšovací čerpadla ucpávkové vody pro HCČ
- dobíjecí systém pro baterie, které zajišťují nepřerušované napájení systémů kontroly a řízení a technologické počítače,
- chladící systém havarijně regulačních kazet,
- kontrolní panel měření radioaktivity,
- telefonní spojení pro komunikaci mezi blokovou dozornou a elektrárnou,
- čerpadla pro plnění nádrží paliva pro dieselgenerátory (nádrže mají palivo na 8 hodin provozu),
- bezpečnostně významné systémy ve strojovně.

Uvedené systémy jsou potřebné pro zvládání události, která způsobila úplnou ztrátu napájení, a vynutila si vychlazování bloku. Význam napájení zvyšovacích čerpadel ucpávkové vody HCČ je popsán v kapitole 3.2.2.10. Navíc funkční zvyšovací čerpadla ve svém důsledku urychlují dosažení potřebné koncentrace kyseliny borité v odstavovaném reaktoru (chladivo neuniká). Napájení uvedených systémů nemůže být zajištěno z dieselgenerátorů, protože jejich kapacita je vyčerpána jinými spotřebiči.

Tato slabina byla identifikována v provozu jaderných elektráren s VVER-1000, znatelně při havárii na JE Kozloduj (bloky 5 a 6) v září 1992.

Řešení pro 3. a 4. blok JE Mochovce

(EGP) navrhuje zpracování analýzy a návrhu řešení ve strojně technologické části. Mají být využity dieselgenerátory ze sousedního bloku propojením shodných systémových rozvoden 6 kV II. kategorie zajištěného napájení. Využít se má též turbogenerátoru, který zreguloval na vlastní spotřebu. Spotřebiče by měly být napájeny též ze zdrojů ve vnější síti.

(EGP) přiřazuje tento problém do I. kategorie.

### 3.2.2.29. Doba vybíjení havarijních baterií

Baterie jsou posledním zdrojem energie na elektrárně a jejich vysoká spolehlivost a kapacita jsou proto hlavním cílem. Každá elektrárna s VVER-440/213 má tři redundantní baterie k zajištění energie pro životně důležité spotřebiče. Projektová doba jejich vybití je zpravidla 30 minut. Tato situace není v souladu s moderními požadavky. V případě úplné ztráty napájení jsou akumulátory posledním zdrojem energie pro elektrárnu. Jejich vyšší kapacita udržuje v provozu systém kontroly a řízení a osvětlení blokové dozorny. Měla by umožňovat monitorování základních parametrů elektrárny a manévrovatelné by měly zůstat motorem poháněné bezpečnostně významné armatury. Reaktor musí být kontrolován a udržován v bezpečných podmínkách. Zvýšená doba vybíjení baterií by vedla ke zvětšení lhůty, kterou mají operátoři k rozhodování o dalších akcích.

Reaktory VVER-440 mají výhodu v tom, že jsou schopny přestát delší dobu výpadek napájení bez poškození aktivní zóny v důsledku velkého objemu vody v primárním a sekundárním okruhu. Za účelem naplnění užitku z této výhody by operátoři měli být schopni mít elektrárnu pod kontrolou po dobu nezbytnou k obnovení zdrojů napájení elektrárny elektřinou. Mnohé elektrárny přistoupily k výměně baterií za účelem zvýšení jejich kapacity, avšak toto opatření nebylo realizováno všude.

Dalším nedostatkem je absence monitorování systému akumulátorů. Dále baterie nejsou přiměřeně izolovány od betonové podlahy a nemohou odolat seismické zátěži. Zemětřesení může vést ke ztrátě baterií a tím ke ztrátě nepřerušeného napájení.

Řešení pro 3. a 4. blok JE Mochovce

(EGP) navrhuje zrušit rozvod 24 V stejnosměrných. V požadavcích na dodávku nových systémů kontroly a řízení má být předepsáno, že napájení těchto systémů a veškeré jejich návaznosti na elektročást budou organizovány výhradně na napětí 220 V stejnosměrných nebo 380 příp.

220 V střídavých. Tím se má zvýšit spolehlivost, provozní pružnost a vnitřní redundance systémů zajištěného napájení. Zátěž napájená ze systému zajištěného napájení I. kategorie má být redukována (např. nouzové osvětlení vnějších neseismických objektů má být převedeno na zdroje III. kategorie). Baterie systému zajištěného napájení mají být dimenzovány tak, aby zajistily napájení zátěže minimálně po dobu 120 minut.

(EGP) tento problém řadí do I. kategorie.

### 3.2.2.30. Termodynamické chování barbotážního systému

Informace o chování barbotážního systému za přechodových stavů jsou nedostatečné. Doplňující informace jsou základem pro definování slabých míst a pro přijetí opatření k jejich odstranění.

Termohydraulické parametry o činnosti barbotážního systému byly verifikovány při oddělených testech v redukovaném měřítku, které neindikovaly žádné nebezpečné jevy. Zkušenosti nasbírané během testů nádrží varných reaktorů a potvrzené událostí na jedné německé elektrárně ukázaly, že proces kondenzace páry v nádrži je spojen s jevy, které vedou k silným tlakovým oscilacím a mohou poškodit dlouhé trubky vedoucí páru pod vodní hladinu.

Geometrie poklopů barbotéru je na různých elektrárnách různá. Projektanti jsou toho názoru, že jejich testy v malém měřítku a teoretické výpočty potvrzují, že k výše uvedeným jevům nedojde. Výsledky testů ve velkém měřítku však chybějí. Takové testy provedené za podmínek reprezentujících podmínky na elektrárně, mohou indikovat výskyt tlakových oscilací s mnohem vyšším tlakem a interakce mezi médiem a kovovými vestavbami nebezpečné pro integritu a funkci barbotážního systému.

Taková zátěž nebyla vzata v úvahu při projektování mechaniky barbotážního systému (zdí). Existuje nebezpečí selhání kovových vestaveb za podmínek po havárii typu LOCA, které může vést k selhání celého systému.

Je třeba provést plnorozsahové termohydraulické experimenty za účelem průkazu, že nemůže dojít k nepředvídaným tlakovým oscilacím a k interakcím mezi médiem a kovovými vestavbami, které by ohrožovaly integritu barbotážního systému během havárie. Provozovatelé elektráren ale zdůrazňují, že projektování systému bylo dosti konzervativní a nepřipouštějí možnost výskytu jevů, které by vážně ohrožovaly funkci systému.

<u>Řešení pro 3. a 4. blok JE Mochovce</u>
(EGP) tento problém neřeší.

### 3.2.2.31. Netěsnosti hermetické zóny



Na většině elektráren s VVER-440/213 dosahovaly hodnoty úniků z hermetické zóny kolem 10% objemu za den při maximálním přetlaku 0,25 MPa. Přestože je hodnota pod limitem, její snížení je žádoucí pro zvýšení ochrany životního prostředí v případě havárie. Hodnotu by mohlo snížit použití citlivějších metod a zařízení k detekci úniků během testů a zvýšení kvality práce.

Řešení pro 3. a 4. blok JE Mochovce
(EGP) tento problém neřeší.

### 3.2.2.32. Maximální tlakový rozdíl na stěnách mezi jednotlivými boxy hermetické zóny

Je třeba prověřit stabilitu vnitřních příček a stropů hermetických boxů, aby se vyloučilo riziko destrukce bezpečnostně významných zařízení (měřící přístroje, kabeláž, impulsní trubičky) v důsledku zřícení stěn nebo stropů. Nejsou provedeny analýzy tlakových rozdílů.

Řešení pro 3. a 4. blok JE Mochovce
(EGP) tento problém neřeší.

### 3.2.2.33. Systematická analýza požárního rizika

Analýzy požárního rizika jsou potřebné pro verifikaci lokalizace a separace bezpečnostně významných zařízení, požadované požární odolnosti hranic požárních úseků, požadavků na hasící zařízení a dalších záležitostí potřebných k naplnění požadavků požární ochrany. Pro elektrárny ve výstavbě je třeba zpracovat tyto analýzy před uvedením do provozu. Provozované elektrárny by měly takové analýzy zpracovávat periodicky.

Řešení pro 3. a 4. blok JE Mochovce
Analýza rizik na druhém dvojbloku bude řešena teprve na základě analýzy situace na 1. a 2. bloku (EGP). Do její revize pro 3. a 4. blok mají být zahrnuty dílčí odlišnosti v řešení požární bezpečnosti vyplývající z rozdílů mezi oběma dvojbloky zejména z pohledu řešení kabelových rozvodů.

### 3.2.2.34. Detekce požáru a hašení

Bezpečnostní analýzy elektráren s VVER identifikovaly některé slabiny v oblasti detekce požáru a jeho likvidace, které představují odchylky od mezinárodních standardů.

Jednou z těchto záležitostí je funkční způsobilost systému detekce a signalizace požáru za abnormálních podmínek. Zařízení systému detekce a signalizace požáru byla navrhována v souladu s konvenčními průmyslovými standardy bez způsobilosti odolávat zemětřesení nebo jiným abnormálním podmínkám charakterizovaným mechanickými, tepelnými, chemickými a jinými efekty, které mohou nastat jako následek projektových nehod. V případě takových abnormálních podmínek systém nemusí být schopen detekovat požár nebo vyhlásit poplach.

Druhá věc se týká aktivace systému dodávky požární vody. V projektu elektráren s VVER-440/213 existují tři nezávislé trasy požární vody. V případě požáru na jedné trase (místnosti)

bezpečnostního systému se automaticky aktivuje pouze jedna trasa požární vody. Jestliže tato trasa selže, je třeba redundantní trasy najet ručně. Předpisy (včetně sovětských) vyžadují simultánní aktivaci všech tras požární vody.

Další záležitost spočívá ve skutečnosti, že bloková i nouzová dozorna a další místnosti se zařízením kontroly a řízení vybavené elektrickými a elektronickými přístroji s plochou více než 20 m2 nemají automatický plynový hasící systém. To rovněž odporuje předpisům (včetně sovětských).

V původním projektu nebyla oddělená požární detekce a systém potlačení požáru v místnostech s HCČ a zvyšovacími čerpadly.

Řešení pro 3. a 4. blok JE Mochovce

Stávající elektropožární signalizace má být vyměněna za zařízení ESSER včetně návrhu rozmístění požárních hlásičů v jednotlivých stavebních objektech elektrárny a jejich připojení k novým požárním ústřednám v neoperativní části blokových dozoren a v požární stanici (EGP).

Možný rozsah požáru má být opatřeními omezen v místnostech systému ochran reaktoru a navrhuje se zvažovat (!) lokální systém hašení jednotlivých skříní. Skříně elektroniky se mají hasit plynem ze stabilního hasícího zařízení. Posouzena má být též instalace stabilního hasícího zařízení na pěnu v dieselgenerátorových stanicích. Systém stabilního hasícího zařízení trafostanic má být dovybaven a má se změnit hasící médium pro hašení olejové nádrže turbogenerátoru. Hydranty mají být zapojeny na seismicky odolný rozvod.

Na druhém dvojbloku mají být instalována HCČ nové generace bez olejového hospodářství, čímž odpadne jedno z požárních rizik.

Aktivace tras požární vody se neřeší.

### 3.2.2.35. Zmírnění následků požáru

Bezpečnostní analýzy elektráren s VVER identifikovaly některé slabiny v oblasti zmírnění následků požáru, které představují odchylky od mezinárodních standardů.

Jedna záležitost se týká zdrojů požární vody pro hašení uvnitř hermetické zóny. Na některých elektrárnách se požární voda pro tyto systémy odebírá ze systému technické vody nedůležité častěji než ze systému technické vody důležité. To představuje odchylku od předpisů (včetně sovětských).

Další věc spočívá v tom, že místnosti s potenciálním ohrožením požárem a evakuační koridory nejsou vybaveny zařízením pro odsávání kouřových plynů v případě požáru. To ohrožuje operativní personál a mohlo by vést k velkým problémům v evakuaci personálu. Jde rovněž o odchylku od předpisů (včetně sovětských).

Ocelový strop strojovny má limitovanou schopnost odolávat vlivu velkého požáru ve strojovně. Pod vlivem vývinu tepla ztratí tato konstrukce svou mechanickou pevnost a strop se může zřítit a ohrozit bezpečnostně důležitá zařízení. Havárie s požárem ve strojovně ukázaly důležitost požární odolnosti stropních ocelových konstrukcí.

Koridor na podlaží 14,7 m, kde jsou umístěny pojistné ventily parogenerátorů, oddělo-

vací armatury na parovodu a regulační ventily napájení parogenerátoru, tvoří společný prostor se strojovnou. V případě požáru ve strojovně není k dispozici žádná ochrana tohoto koridoru. Teplota na něm nastoupá během 10 minut na 120 – 140°C v důsledku vysokého tepelného toku. Taková vysoká teplota by mohla vést k poškození zde umístěných zařízení. Tím může být ohroženo i chlazení reaktoru.



Řešení pro 3. a 4. blok JE Mochovce
Na chráněných únikových trasách má být zajištěna dostatečná výměna vzduchu (EGP). Ve vzduchotechnických rozvodech mají být instalovány požární klapky, které zabrání šíření kouře do prostorů požárem nezasažených. Má být navržen systém odvodu kouře a tepla ze strojovny pro případ požáru v ní. Olejová nádrž turbogenerátoru má být oplášťována za účelem omezení šíření kouře při požáru. Ve stěně na podlaží +14,7 m mají být provedena opatření na eliminaci vlivů požáru na zařízení bezpečnostních systémů.

### 3.2.2.36. Externí události způsobené člověkem

Jaderné elektrárny s VVER-440/213 jsou zranitelné vůči vnějšímu působení. To je zapříčiněno tím, že monolitická betonová část reaktorovny je projektována na interní extrémní události a neexistuje vnější konstrukce kontejnmentu, který může odolávat impaktům zvenčí. Lokality elektráren byly většinou vybírány tak, že pravděpodobnost pádu letounu na zařízení nebo externích explozí je nízká, ale kompletní analýzy nebyly provedeny na všech elektrárnách. Snížení pravděpodobnosti podobných událostí je možné pomocí administrativních opatření.

Řešení pro 3. a 4. blok JE Mochovce
(EGP) tento problém přímo neřeší. Lze vyslovit domněnku, že řešení vyplyne ze zpracovávané pravděpodobnostní bezpečnostní analýzy, kterou naopak (EGP) vyžaduje.

### 3.2.2.37. Rozsah a metodika havarijních analýz

Havarijní analýzy, které byly zpracovány původně, nekorespondují s mezinárodní praxí. Tyto původní analýzy byly revidovány v letech 1991 – 1992. Rozsah analyzovaných havárií byl rozšířen stejně jako doba, pro kterou se výpočty prováděly, a kvalita prací se zvýšila.

Ačkoli jaderné elektrárny s VVER-440/213 jsou si velmi podobné, nelze přejímat výsledky havarijních analýz z jedné na druhou. Je tedy nutné prověřovat kompletnost havarijních analýz na každé elektrárně zvlášť. Je potřebný též systematický přehled analytických metod.

Řešení pro 3. a 4. blok JE Mochovce
(EGP) tento problém přímo neřeší. Lze vyslovit domněnku, že řešení vyplyne ze zpracovávané pravděpodobnostní bezpečnostní analýzy, kterou naopak (EGP) vyžaduje.

### 3.2.2.38. Počítačové kódy a validace modelů elektráren

Důvěra ve výsledky havarijních analýz je odůvodněná pouze v tom případě, že analýza byla provedena s výpočtovými kódy a modely validovanými pro danou havárii a pro danou elektrárnu. Validace kódu a modelu nemůže být posuzována odděleně, musí být provedena pro danou kombinaci kódu a modelu.

Aplikovatelnost kódů používaných pro analýzy havárií reaktorů západního typu na reaktory VVER pravděpodobně nebude problém. Základní fyzikální jevy nejsou různé. Pásmo, v němž se používají jisté korelace, však může být pro oba typy rozdílné a validita korelací v pásmu VVER se musí překontrolovat.

Existují však důležité rozdíly v konstrukci VVER a západních typů tlakovodních reaktorů. Tyto rozdíly vyžadují specifické techniky modelování. Jde hlavně o

- horizontální parogenerátory
- palivová část regulačních kazet
- hexagonální geometrie paliva
- opláštění palivových souborů

Řešení pro 3. a 4. blok JE Mochovce

(EGP) tento problém přímo neřeší. Lze vyslovit domněnku, že řešení vyplyne ze zpracovávané pravděpodobnostní bezpečnostní analýzy, kterou naopak (EGP) vyžaduje.

### 3.2.2.39. Přechodové stavy s podchlazením ve vztahu k tepelnému šoku pod tlakem

Jestliže nastane přechodový proces s podchlazením v době, kdy nádoba reaktoru již byla vystavena vysokému toku neutronů a tlak v primárním okruhu je značně vysoký, zvýší se pravděpodobnost, že dopravená studená voda způsobí tepelný šok dolnímu svaru reaktorové nádoby. Tím vzniká nebezpečí pro integritu reaktorové nádoby v důsledku jejího zkřehnutí. Riziko se zvyšuje se stářím elektrárny a zkřehnutím materiálu reaktorové nádoby.

Řešení pro 3. a 4. blok JE Mochovce

(EGP) tento problém přímo neřeší. Lze vyslovit domněnku, že řešení vyplyne ze zpracovávané pravděpodobnostní bezpečnostní analýzy, kterou naopak (EGP) vyžaduje.

### 3.2.2.40. Analýza roztržení kolektoru parogenerátoru

Roztržení kolektoru parogenerátoru je havárie vysoké bezpečnostní závažnosti ze dvou hlavních důvodů v případě, že selže uzavření přepouštěcí stanice do atmosféry (PSA) :

- by-pass hermetické zóny a únik do životního prostředí přes PSA
- hrozba pro dlouhodobé chlazení aktivní zóny v případě ztráty chladiva přes PSA.

Řešení pro 3. a 4. blok JE Mochovce

(EGP) tento problém přímo neřeší. Lze vyslovit domněnku, že řešení vyplyne ze zpracovávané pravděpodobnostní bezpečnostní analýzy, kterou naopak (EGP) vyžaduje.



### 3.2.2.41. Havárie při nízkém výkonu a za podmínek odstavení reaktoru

Pokud je reaktor odstaven z důvodů údržby a výměny paliva, jsou některé bezpečnostní systémy vypnuty nebo izolovány. Navíc se od operátora vyžaduje z různých důvodů velký počet akcí. Z hlediska bezpečnosti to představuje méně bariér a ochran před událostí, která se může vyvinout v havárii.

Analýzy týkající se situací za odstávky a při výměně paliva na elektrárnách s VVER-440/213 nejsou k dispozici vůbec nebo existují jen částečně.

Výsledky studií prováděných ve světě ukazují, že riziko havárie ve fázi odstávky reaktoru a výměny paliva je vysoké. Důležitý příspěvek k tomuto riziku dává možnost zředění kyseliny borité, ztráta odvodu zbytkového tepla systémem chlazení reaktoru za podmínek redukovaného množství média, ztráta primárního chladiva, ztráta napájení, požáry a lidská chyba.

Řešení pro 3. a 4. blok JE Mochovce

(EGP) navrhuje zpracovat rozsáhlou bezpečnostní studii o haváriích při provozu na nízkém výkonu a při odstaveném reaktoru. Rizika mají být ohodnocena deterministickým přístupem. V dalším kroku má být zpracována pravděpodobnostní bezpečnostní analýza pro provoz na nízkém výkonu a při odstaveném reaktoru.

(EGP) neřadí tento problém do kategorie II.

## Závěr

Pro posouzení možnosti zvýšení úrovně jaderné bezpečnosti na zamýšlené dostavbě 3. a 4. bloku Jaderné elektrárny Mochovce je v prvním kroku zapotřebí definovat standard, jímž se navrhovaná opatření mohou poměřovat. V případě zařízení s reaktory VVER-440 by nebylo korektní s ohledem na jejich poměrně specifickou výkonovou třídu a stáří projektu používat srovnávání se současnými typy jaderných elektráren. Že 3. a 4. blok JE Mochovce nemůže dosáhnout jejich úrovně, připouští jak slovenský státní dozor nad jadernou bezpečností (ÚJD), tak projektant (EGP).

Z tohoto důvodu byla za standard vzata klasifikace bezpečnostních problémů reaktorů VVER-440/213 (IAEA). Navíc materiály MAAE představují autoritu v jaderně energetické branži a citovaná práce je poměrně kritická. Je samozřejmě možné diskutovat o tom, zda přiřazení jednotlivých problémů do kategorií dostatečně vystihuje jejich význam pro jadernou bezpečnost. To konec konců dělá i (EGP) a v několika případech řadí některé problémy do kategorií podle vlastního úsudku. Předkládaná práce se této diskusi vyhýbá tím, že pojednává nejvýznamnější kategorie se stejnou vahou.

Jediným dostupným seriózním materiálem popisujícím zamýšlená opatření pro zvýšení bezpečnostní úrovně je koncepce (EGP). Její nevýhodou pro účely předkládané práce je skutečnost, že se jedná o nepříliš detailní návrhy řešení jednotlivých problémů. Řada těchto návrhů se týká pouze analýzy daného problému s tím, že konkrétní opatření vyplynou až z této analýzy. Nelze proto vyloučit, že konkrétní opatření nakonec nebude odpovídat požadavku klasifikace (IAEA). Toto podezření posilují i zmínky o snaze přehodnotit některá řešení za účelem snížení nákladů (sdílené snímače, rozsah měřených parametrů, seismická opatření apod.). Předkládaná práce proto představuje určité první přiblížení. Pro přiblížení vyššího řádu by bylo nutné znát konkrétní návrhy řešení problémů, z nichž by mohly vyplynout další nedostatky dnes nezachycené ani v (IAEA), ani v (GRS).

Již první přiblížení nicméně ukazuje, že při dostavbě 3. a 4. bloku JE Mochovce se nepočítá ani s dosažením standardu požadovaného pro reaktory VVER-440/213 klasifikací (IAEA).

**Z osmi** problémů kategorie III (dle (IAEA)) řeší návrh (EGP) (s nejistotou vyplývající z nekonkrétnosti návrhů)

- **zcela dva** problémy – nedestruktivní zkoušky, seismická opatření
- **částečně pět** problémů – kvalifikace zařízení, ucpávání síta jímky bezpečnostního systému chlazení aktivní zóny, spolehlivost dodávky napájecí vody, požární prevence, riziko prasknutí vysokoenergetických potrubí
- vůbec jeden problém - chování barbotážního systému při maximálním tlakovém rozdílu možném za podmínek po havárii LOCA.

Z **jedenačyřiceti** problémů kategorie II (dle (IAEA)) řeší návrh (EGP) (s nejistotou vyplývající z nekonkrétnosti návrhů)

- **zcela 28** problémů – Klasifikace komponent, Spolehlivostní analýzy systémů bezpečnostní třídy 1 a 2, Integrita tlakové nádoby reaktoru, Ochrana před natlakováním primárního okruhu za studena, Zmírnění následků roztržení primárního kolektoru parogenerátoru, Chla-

zení ucpávek hlavního cirkulačního čerpadla, Kvalifikace odlehčovacích a pojistných ventilů kompenzátoru objemu pro průtok vody, Integrita sacích potrubí systémů havarijního chlazení aktivní zóny, Integrita výměníků tepla v systémech havarijního chlazení aktivní zóny, Kvalifikace odlehčovacích a pojistných ventilů parogenerátoru pro průtok vody, Ventilace na blokové dozorně, Systém odstraňování vodíku, Systém kontroly a řízení, Přehled o signálech iniciujících rychlé odstavení reaktoru, Ergonomie blokových dozoren, Fyzické a funkční oddělení blokové a nouzové dozorny, Diagnostický systém primárního okruhu, Systém monitorování úniků z víka reaktorové nádoby, Pohavarijní monitorování, Centrum technické podpory, Napájení elektrárny v havarijních podmínkách, Doba vybíjení havarijních baterií, Systematická analýza požárního rizika, Zmírnění následků požáru, Rozsah a metodika havarijních analýz, Počítačové kódy a validace modelů elektráren, Analýza roztržení kolektoru parogenerátoru, Havárie při nízkém výkonu a za podmínek odstavení reaktoru

- **částečně 6** problémů - Prevence nekontrolovaného naředění kyseliny borité (analýza), Švihnutí hlavního cirkulačního potrubí, Integrita primárního kolektoru parogenerátorů (analýzy), Integrita parogenerátorových trubek (analýzy), Systém technické vody důležité, Detekce požáru a hašení
- **vůbec 7** problémů - Funkce odlehčovacích a pojistných ventilů parogenerátoru za nízkého tlaku, Ventilace primárního okruhu za havarijních podmínek, Termodynamické chování barbotážního systému, Netěsnosti hermetické zóny, Maximální tlakový rozdíl na stěnách mezi jednotlivými boxy hermetické zóny, Externí události způsobené člověkem, Přechodové stavy s podchlazením ve vztahu k tepelnému šoku pod tlakem.

Nápadné je zejména ignorování problému spolehlivosti barbotážního systému a ochraně tařízení před účinky zvenčí (chybějící kontejnment). Vysvětlení je možné hledat v praktické neproveditelnosti zásadních vylepšení za vynaložení přijatelných nákladů.

Jak je předvedeno v kapitole 1, ani plná realizace požadavků a doporučení MAAE by nepřivedla JE Mochovce k takové úrovni bezpečnosti, která by odpovídala nárokům vyplývajícím ze skutečnosti, že je na světě více než 400 reaktorů, které jsou v provozu 12.000 reaktorroků. Případná dostavba 3. a 4. bloku této elektrárny by tedy přispěla k rizikům, navíc výrazně, kterým provozovatelé jaderných elektráren svévolně a zištně zatěžují společnost.

**Prameny**


(HEŘMANSKÝ) Heřmanský, B.: Těžké havárie tlakovodních reaktorů s tavením paliva, ÚJI, Praha, prosinec 1990

(SE) <www.seas.sk/elektrarne/jadrove-zariadenia/>

(SE&EDF) Anonymus: Program zvýšenia jadrovej bezpečnosti v Slovenskej republike, zvýšenie bezpečnosti a dokončenie blokov 1 a 2 Jadrovej elektrárne Mochovce, Slovenské elektrárne, Electricité de France, Bratislava, Paris, december 1994

(GRS): Anonymus: Sicherheitsbeurteilung des Kernkraftwerks Greifswald, Block 5 (WWER-440/W-213), GRS-83, Gesellschaft für Reaktorsicherheit mbH, August 1991

(IAEA) Anonymus: Safety Issues and their Ranking for WWER-440 Model 213 Nuclear Power Plants, IAEA-EBP-WWER-03, International Atomic Energy Agency, April 1996

(EGP) Anonymus: Koncepce dostavby 3. a 4. bloku JE Mochovce, Energoprojekt Praha, a.s., Praha, červenec 2002

(ÚJD) Šimončič, A.: Stavebné povolenie – zmena podmienky, Úrad jadrového dozoru, Trnava, 8.7.2004

(MPO) Anonymus: Informace o průběhu modernizačního programu v Jaderné elektrárně Dukovany, Ministerstvo průmyslu a obchodu, Praha, červen 2001

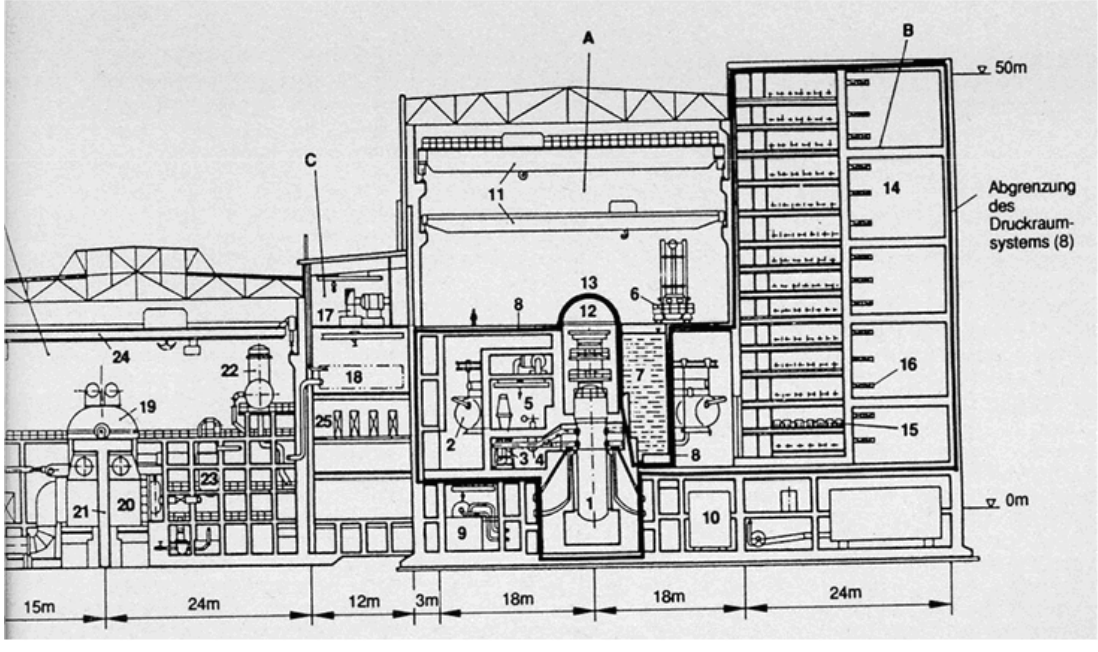
# Příloha

Příloha 1:

## Funkce barbotážního systému

Reaktor s cirkulačními smyčkami, které přivádějí a odvádějí chladící vodu z aktivní zóny reaktoru a do ní, je umístěn v tzv. hermetických boxech, propojených koridorem s barbotážní věží (pozice B na obr. č. P1). Tlaková hranice tohoto systému je na obr. č. P1 vyznačena silnou lomenou čarou. Tyto hermetické boxy jsou podtlakovány a jejich těsnost je pravidelně kontrolována.

Maximální projektovou nehodu představuje úplný lom hlavního cirkulačního potrubí s oboustranným výtokem chladiva z přerušeného potrubí. Z porušené smyčky by v důsledku náhlého poklesu tlaku v systému primárního okruhu okamžitě unikala radioaktivní pára, která by velmi rychle natlakovala hermetické prostory. Destruktivním účinkům tohoto děje má bránit propojení hermetických prostor s barbotážní věží koridorem. Parovzdušná směs proudící z natlakovaných hermetických boxů zkondenzuje při průchodu přes barbotážní žlaby, naplněné roztokem kyseliny borité (pozice 15 na obr. č. P1). Nezkondenzované plyny jsou jímány v záchytných plynojemech (pozice 14 na obr. č. P1).

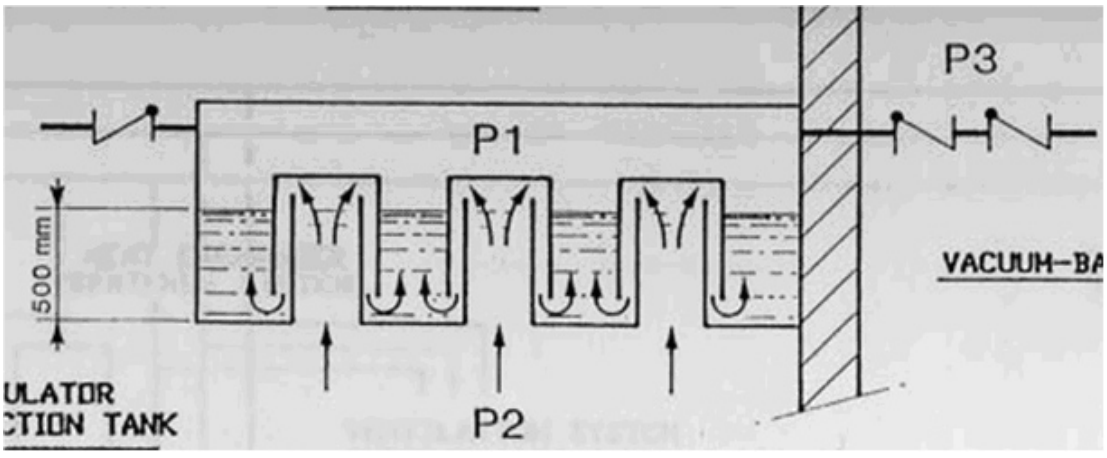



***Obr. č. P1:*** *Řez elektrárnou s VVER-440/213 (GRS)*

Barbotážní systém je složen z 12 barbotážních žlabů naplněných do výšky hladiny 500 mm vodným roztokem kyseliny borité (12 g/l) a hydrazinu (0,1 g/l). Celkem je v systému 114 m3 roztoku o teplotě 35°C – 40°C. Vždy jeden prostor s umístěnými třemi žlaby je zpětnou klapkou napojen na jednu komoru plynojemu. Zachycené plyny se později vzduchotechnickým systémem s filtry vypouštějí do ovzduší.

Systém doplňuje čerpadlo pro odvod roztoku ze žlabů na očistku a chladič roztoku.

Systém je podle limitů a podmínek provozuschopný s 11 žlaby naplněnými na hladinu 500 mm.




***Obr. č. P2:*** *Schéma funkce barbotážního systému (SE&EDF)*

Pokud je rozdíl tlaků p2-p1 menší než 5 kPa, klesne hladina v hydrouzávěru a stoupne ve žlabu. Je-li tento rozdíl větší než 5 kPa, hydrouzávěr je profouknut, parovzdušná směs z hermetických boxů probublává roztokem, ochlazuje se a kondenzuje nad hladinou a v tomto prostoru stoupá tlak (p1). Dosáhne-li rozdíl tlaků p1-p3 hodnoty vyšší než 0,5 kPa, otevře se zpětná klapka a nezkondenzované plyny se přepustí do plynojemu.

V další fázi pohavarijního stavu působí v hermetických boxech sprchový systém, čímž v nich klesá tlak. Jakmile poklesne rozdíl tlaků p2-p1 pod 5 kPa, probublávání parovzdušné směsi se přeruší, poklesne rozdíl tlaků p1-p3 a zpětná klapka uzavře. Nezkondenzované plyny zůstanou uzavřeny v plynojemu.

Pokud tlak p2 dále klesá a rozdíl tlaků p2-p1 poklesne pod nulu a zároveň tlak p2 bude větší než 165 kPa, roztok se ze žlabů vyleje (sprchování barbotážní věže po dobu vyrovnávání tlaků v hermetické zóně a barbotéru). Při tomto tlaku (je to tlak v hermetických boxech) je zablokováno otevření zpětné klapky ZK 2 (viz obr. č. P2). Při tlaku p2 menším než 165 kPa (a tlaku p1 vyšším než p2) se prostor s tlakem p1 odtlakuje přes zpětnou klapku ZK 2. V důsledku toho se roztok ze žlabů nevyleje.
Při maximální projektové havárii projekt nepočítá s tlakem v hermetických boxech vyšších než 245 kPa.

Výhrady k funkčnosti a spolehlivosti má jak (GRS), tak (IAEA). Jsou shrnuty v kapitole 3.2.1.5. a 3.2.2.30. Jejich společným jmenovatelem je výtka, že systém nebyl podroben plnorozsahovým testům a jeho spolehlivost se odvozuje pouze od modelových výpočtů a dílčích testů v redukovaném měřítku.

Je zcela zřejmé, že funkcí barbotážního systému není a být nemůže ochrana zařízení před účinky zvenčí. Přesto se v řadě materiálů hovoří o tom, že barbotážní systém nahrazuje ochrannou obálku - kontejnment. Barbotážní systém je pasivní bezpečnostní systém, jehož úkolem je snížit tlak a teplotu v hermetických boxech po havárii s prasknutím hlavního cirkulačního potrubí a zachytit nezkondenzovatelné radioaktivní plyny uniklé po havárii z primárního okruhu. S funkcí ochranné obálky před účinky zvenčí nemá nic společného.

Příloha 2:

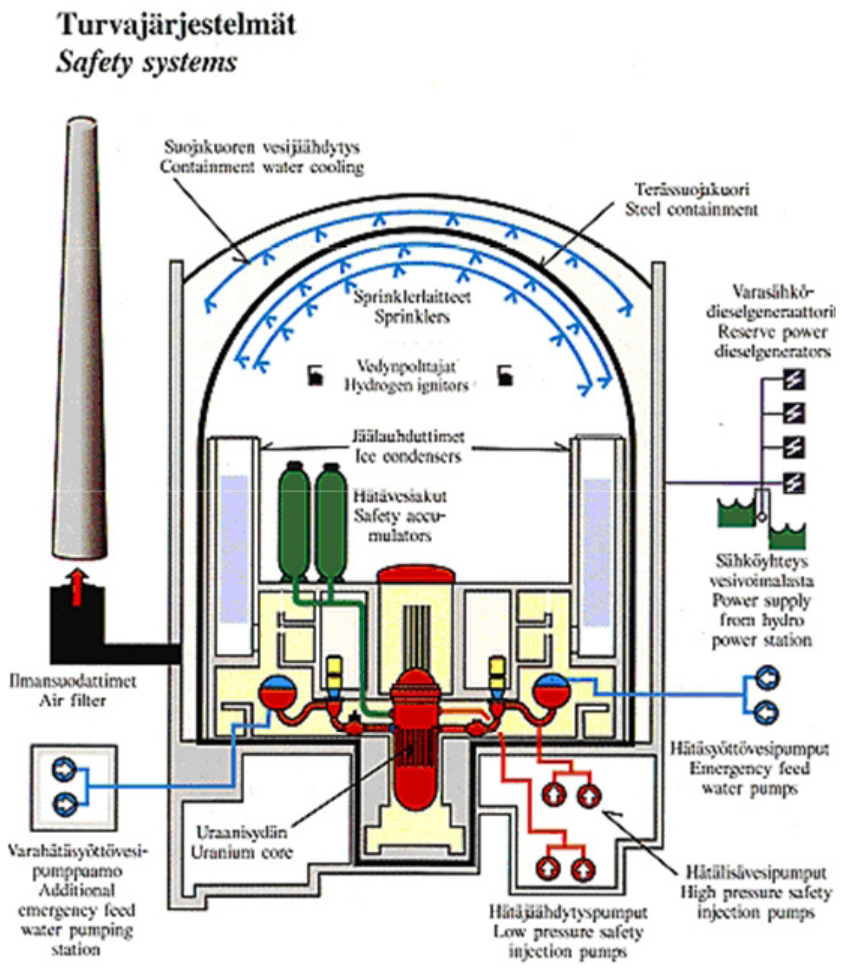
## Dva příklady neobvyklých řešení jaderných elektráren s VVER-440/213

### Jaderná elektrárna Loviisa

Jedinou elektrárnou s VVER-440/213 vybavenou skutečnou ochrannou obálkou je finská JE Loviisa. Její dva reaktory byly vybaveny kontejnmentem firmy Westinghouse s ledovým kondenzátorem a systémem kontroly a řízení firmy Siemens a uvedeny do provozu v roce 1977 a 1980. Reaktory, turbíny, generátory a další hlavní komponenty dodali výrobci ze Sovětského svazu. Podíl domácích dodavatelů činil zhruba 50%.

***Obr. č. P3 :*** *Pohled na JE Loviisa*

Zvláštností řešení ochranné obálky je nejen ledový kondenzátor, ale i její dvouplášťové provedení s chlazením vnitřní ocelové obálky z meziprostoru (viz obr. č. P4). Takové řešení nebylo aplikováno ani na reaktorech VVER třetí generace (VVER–1000) ! Vnitřní ocelový plynotěsný plášť je chráněn proti účinkům zvenčí železobetonovým pláštěm.




***Obr. č. 4:*** *Bezpečnostní systémy JE Loviisa*

## Jaderná elektrárna Greifswald

Čtyři bloky s reaktory VVER-440/213 byly stavěny rovněž v bývalé NDR na lokalitě Greifswald (Lubmin).

Zvýšení bezpečnosti zařízení nutné podle německých předpisů po sjednocení německých států v souvislosti s tehdejším přebytkem kapacit v Německu se jevilo investorům příliš nákladné, a proto stavba tří bloků s VVER-440/213 byla v prosinci 1990 zastavena a provozované bloky (4 bloky s VVER-440/230 a 1 blok s VVER-440/213) odstaveny. K rozhodnutí jistě přispěl odpor občanských ekologických a lidskoprávních sdružení v lokalitě a požár na 5. bloku dne 24.11.1989. Havárie byla zapříčiněna zkušebním přemosťováním elektrického okruhu, přičemž v důsledku zkratu vznikl požár kabeláže. Havárie podobná havárii ze 7.12.1975 na prvním bloku, kdy ze stejné příčiny vznikl požár, který zapříčinil zničení napájení a řízení pěti hlavních cirkulačních čerpadel.

Od roku 1995 probíhá likvidace elektrárny.

Táto publikácia bola vydaná vďaka finančnej podpore Nadácie **Ekopolis**.

ekopolis
nadácia

**Greenpeace Slovensko** je pobočkou medzinárodnej organizácie ochrancov životného prostredia, ktorá vznikla v roku 1971 v Kanade. Počas svojej vyše 35 ročnej činnosti sa Greenpeace stal jednou z najväčších a najrešpektovanejších ekologických organizácií na svete. Pobočky Greenpeace dnes fungujú vo vyše 40 krajinách. Greenpeace sa zameriava hlavne na problémy celosvetového významu ohrozujúce životné prostredie a ľudské zdravie, a to najmä odstránenie nebezpečných chemikálií, ochrana pred geneticky manipulovanými organizmami, bezpečná energia, ochrana prirodzených lesov, ochrana veľrýb, morí a oceánov, a celosvetové odzbrojenie.

Greenpeace Slovensko, P.O.BOX 58, 814 99 Bratislava
tel./fax: 02 / 5477 1202
info@greenpeace.sk, www.greenpeace.sk

GREENPEACE

**Sírius,** základná organizácia Slovenského zväzu ochrancov prírody a krajiny, je mimovládna nezisková organizácia, ktorej hlavnou prioritou je ochrana životného prostredia. Sírius sa zaoberá zhromažďovaním, analýzou a publikovaním dôležitých informácií o životnom prostredí a jeho poškodzovaní, ako aj šírením environmentálnej osvety a výchovy k trvalo udržateľnému
spôsobu života.

ZO SZOPK Sírius č. 17, Godrova 3/b, 811 06 Bratislava
sirius@changenet.sk

SÍRIUS

**WISE Slovensko** (World Information Service on Energy - Svetový informačný servis o energii) funguje ako súčasť medzinárodnej siete organizácií WISE bojujúcich proti využívaniu jadrovej energie. Organizácia WISE bola založená v roku 1978 v Amsterdame. Hlavné oblasti jej pôsobenia v protijadrovom hnutí sú výskum, vydávanie štúdií a prevádzkovanie archívu v oblasti energetiky, ako aj vydávanie dvojtýždenníka WISE/NIRS Nuclear Monitor.



WISE Slovensko, Godrova 3/b, 811 06 Bratislava
wise@wise.sk, www.wise.sk

wise