

Ústav energetiky

**Koncepce provozních režimů pro reaktor
typu VVER 1000 pro rozšířené projektové
podmínky bloku (DEC)**

**Concept of operating regimes for VVER
1000 reactor type for design extended
conditions of the unit (DEC)**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2022

Bc. Jan DLABAČ

Studijní program: N 3951 Jaderná energetická zařízení
Studijní obor: 3907T011 Jaderná energetická zařízení
Vedoucí práce: doc. Ing. Václav Dostál, Ph.D.

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Dlabač** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **437332**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav energetiky**
Studijní program: **Jaderná energetická zařízení**
Studijní obor: **Jaderná energetická zařízení**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Koncepce provozních režimů pro reaktor typu VVER 1000 pro rozšířené projektové podmínky bloku

Název diplomové práce anglicky:

Concept of operating modes for VVER 1000 reactor type for design extended conditions of the unit

Pokyny pro vypracování:

Práce bude obsahovat:

1. Rešerše

Stanovení základních pojmů a definic zejména vzhledem k rozšířeným projektovým podmínkám bloku. Definování podmínek pro jednotlivé stavy bloku a požadavky na plnění projektových funkcí v těchto stavech. Významné historické události, vývoj mezinárodní a české legislativy ve vztahu k rozšířeným projektovým podmínkám DEC (vývoj terminologie: nadprojektové události, těžké havárie), stress testy a povinnosti provozovatelů v ČR dle Národního akčního plánu. Rozšířené projektové podmínky z pohledu současné legislativy a proces implementace do projektové dokumentace pro reaktory typu VVER 1000.

2. Popisy typických scénářů vstupu do DEC

Vstupy do rozšířených projektových podmínek bloku – typické scénáře. Požadavky na plnění projektových funkcí. Požadavky na činnost systémů v DEC.

3. DEC na reaktorovém bloku

Podrobnější řešení pro reaktor, BSVP, SVJP (OS) a prakticky vyloučené události.

4. Provozní režimy, návody a předpisy

Koncept provozních režimů pro DEC. Definice a vztah provozních předpisů a režimů. Čím a podle čeho se v jednotlivých stavech postupuje (EOPs a SAMG).

5. Popis jednotlivých opatření a systémů pro DEC

Popis jednotlivých opatření pro zmírnění DEC, jejich využitelnost v typických scénářích DEC, obnova ZBF, klasifikace opatření, Požadavky na časovou dostupnost opatření, způsob inicializace a řízení, nároky na provozní personál a na dobu provozu těchto opatření. Popis cílového stavu bloku v jednotlivých scénářích po využití opatření a systémů pro DEC.

Seznam doporučené literatury:

Seznam použité literatury

1. ČESKO. vyhláška č. 329/2017 Sb., o požadavcích na projekt jaderného zařízení - znění od 1. 11. 2017. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2022 [cit. 6. 3. 2022]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2017-329>.

2. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Considerations on the Application of the IAEA Safety Requirements for the Design of Nuclear Power Plants [online]. International Atomic Energy Agency, Vídeň, Rakousko, 2016 [cit. 2022-03-20]. ISSN 1011-4289. Dostupné z: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-1791_web.pdf.

3. ČESKO. zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon - znění od 1. 2. 2022. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2022 [cit. 6. 3. 2022]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-263>.

4. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Safety of Nuclear Power Plants: Design [online]. IAEA Safety Standards Series No. SSR2/1 (Rev.1). International Atomic Energy Agency, Vídeň, Rakousko, 2016 [cit. 2022-03-20]. ISSN 1020-525X. Dostupné z: <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1715web-46541668.pdf>.

5. ÚJV REŽ: DIVIZE ENERGOPROJEKT PRAHA. Celoelektřárenská/bloková projektová vychodiska, interní dokument. Praha, 2020.

6. STATNÍ ÚŘAD PRO JADERNOU BEZPEČNOST, Po fukušimský Národní Akční Plán (NAcP) na posílení jaderné bezpečnosti jaderných zařízení v České republice. [online]. SÚJB, Praha, 2019 [cit. 2022-03-27]. Dostupné z: https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/jaderna-bezpecnost/Cesky_NAcP_Rev4_final.pdf.

7. Dostál, Václav. Prezentace k předmětu Jaderná bezpečnost - Three Mile Island - 2. Praha: FS ČVUT ústav energetiky.

8. Dostál, Václav. Prezentace k předmětu Jaderná bezpečnost - Havárie na JE Fukušima Sekvence událostí. Praha: FS ČVUT ústav energetiky.

9. Černobyl vs. Fukušima: Která jaderná katastrofa více otlásla světem?. Elektrina.cz [online]. [cit. 2022-04-18]. Dostupné z: <https://www.elektrina.cz/cernobyl-vs-fukusima-ktera-jaderna-katastrofa-byla-horsi>.

10. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Safety of Nuclear Power Plants: Design [online]. IAEA Safety Standards Series No. SSR 2/1 (Rev.1). International Atomic Energy Agency, Vídeň, Rakousko, 2016 [cit. 2019-06-23]. ISSN 1020-525X. Dostupné z: <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1715web-46541668.pdf>.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

doc. Ing. Václav Dostál, Ph.D. ústav energetiky FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **21.04.2022**

Termín odevzdání diplomové práce: **03.06.2022**

Platnost zadání diplomové práce: **31.12.2023**

doc. Ing. Václav Dostál, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

doc. Ing. Miroslav Španěl, CSc.
podpis oškaru(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem: „Koncepce provozních režimů pro reaktor typu VVER 1000 pro rozšířené projektové podmínky bloku (DEC)“ vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Václava Dostála, Ph.D. a s použitím literatury uvedené na konci mé diplomové práce v seznamu použité literatury.

V Praze

.....

Bc. Jan Dlabač

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě chci poděkovat vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Václavu Dostálovi, Ph.D. za odborné vedení práce. Děkuji také Ing. Václavu Haklovi za odbornou pomoc a vedení při psaní této práce. Mé poděkování patří i kolegům z ÚJV Řež divize Energoprojekt Praha za odborné rady. V neposlední řadě bych rád poděkoval své rodině za podporu při studiu.

ANOTAČNÍ LIST

Jméno autora:	Bc. Jan Dlabač
Název DP:	Koncepce provozních režimů pro reaktor typu VVER 1000 pro rozšířené projektové podmínky bloku (DEC)
Anglický název:	Concept of operating regimes for VVER 1000 reactor type for design extended conditions of the unit (DEC)
Rok:	2022
Studijní program:	Jaderná energetická zařízení
Obor studia:	Jaderná energetická zařízení
Ústav:	Ústav energetiky
Vedoucí DP:	doc. Ing. Václav Dostál, Ph.D.
Bibliografické údaje:	Počet stran 85
	Počet obrázků 4
	Počet tabulek 13
	Počet příloh 1
Klíčová slova:	DEC, rozšířené projektové podmínky, provozních režimů, základní bezpečnostní funkce, EOP, SAMG, jaderná elektrárna
Keywords:	DEC, Design Extension Conditions, operating modes, basic safety functions, EOP, SAMG, nuclear power plant
Anotace:	Tato diplomová práce se zabývá sestavením provozních režimů pro reaktor typu VVER 1000 pro rozšířené projektové podmínky bloku. V práci jsou popsány stavy DEC, typické scénáře vstupu do těchto stavů a zasahující systémy. Dále je popsán průběh stavů DEC a opatření pro návrat do bezpečného stavu. Byly sestaveny požadavky na tvorbu předpisů EOP a SAMG.
Annotation:	This thesis deals with the design of operating modes for a VVER 1000 reactor for Design Extension Conditions of the reactor unit. The thesis describes the DEC states, typical scenarios of entering these states and the intervening systems. Furthermore, the progression of DEC states and measures for returning to a safe state are described. Requirements for the development of EOP and SAMG regulations have been compiled.

OBSAH

Prohlášení	1
Poděkování	2
Anotační list	3
Obsah.....	4
Seznam použitých zkratk.....	7
1. Úvod	11
2. Rešerše	13
2.1. Pojmy	13
2.1.1. Stav jaderného zařízení podle legislativy ČR	13
2.1.1.1. Provozní stavy	14
2.1.1.1.1. Normální provoz (NO)	14
2.1.1.1.2. Abnormální provoz (AOO)	14
2.1.1.2. Havarijní stavy	15
2.1.1.2.1. Základní havarijní stav (DBA).....	15
2.1.1.2.2. Rozšířené havarijní stavy (DEC).....	16
2.1.1.3. Prakticky eliminované stavy	17
2.1.2. Ochrana do hloubky (DiD)	17
2.1.3. Další pojmy dle legislativy ČR	18
2.1.3.1. Jaderná bezpečnost	18
2.1.3.2. Základní bezpečnostní funkce (ZBF) zařízení s reaktorem	18
2.1.3.3. Bezpečný stav	18
2.1.3.4. Stabilizovaný podkritický stav	18
2.1.3.5. Limity a podmínky	19
2.1.3.6. EOP	19
2.1.3.7. SAMG	19
2.1.4. Další pojmy mimo rámec legislativy.....	19
2.1.4.1. Uzlový bod (UB)	20
2.1.4.2. Funkční skupina (FSK).....	20
2.2. Významné historické události	20
2.2.1. Po fukušimský Národní Akční Plán (NACP) na posílení jaderné bezpečnosti jaderných zařízení v České republice.....	21
2.2.2. Three Mile Island	21
2.2.3. Fukushima Daiichi	24
3. Popisy typických scénářů vstupu do DEC.....	28
3.1. DEC-A	30
3.2. DEC-B	33
4. DEC na reaktorovém bloku	35
4.1. Lokální DEC-A	35
4.1.1. Nehoda na I.O.....	35

4.1.1.1.	LOCA havárie při současné ztrátě jednotlivých systémů HSCHZ	35
4.1.1.2.	Neřízený pokles hladiny nebo ztráta cirkulace v reaktoru při chlazení otevřeného reaktoru nebo při výměně paliva.....	37
4.1.2.	Nehoda na II.O.....	38
4.1.2.1.	Úplná dlouhodobá ztráta napájecí vody.....	38
4.1.2.2.	Prasknutí parovodu spojené s prasknutím trubek PG	40
4.1.2.3.	Ztráta vakua v kondenzátoru.....	41
4.1.3.	Ztráta chlazení BSVP	42
4.1.4.	Reaktivita v reaktoru.....	43
4.1.4.1.	Neřízené ředění koncentrace kyseliny borité v reaktoru.....	43
4.1.4.2.	Nekontrolované vytažení skupiny regulačních orgánů a selhání ROR.....	44
4.2.	Globální DEC-A.....	45
4.2.1.	SBO a v kombinaci s LUHS	45
4.2.2.	Scénáře rozvoje a zvládnutí SBO.....	46
4.3.	DEC-B	47
4.3.1.	Okrajové podmínky.....	48
5.	Provozní režimy, návody a předpisy.....	50
5.1.	Požadavky na tvorbu předpisů	50
5.2.	Požadavky na tvorbu EOP a SAMG.....	54
5.2.1.	Požadavky na tvorbu SAMG	55
5.3.	Předpisy pro vnější rizika.....	55
5.4.	Předpisy pro globální nehody	56
6.	Popis jednotlivých opatření a systémů pro DEC.....	58
6.1.	DEC-A	58
6.1.1.	Využití základní projektové prostředky v DEC-A	58
6.1.2.	Systémy pro DEC-A	59
6.1.2.1.	Odtlakování I.O.....	60
6.1.2.2.	Diverzní systém doplňování odtlakovaného I.O./BSVP/GA201	60
6.1.2.3.	AAC DGS	62
6.1.2.4.	Dodávka vody do PG	63
6.1.2.5.	Diverzní ochranný systém	64
6.2.	DEC-B	64
6.2.1.	Odtlakování I.O.....	64
6.2.2.	Znovuzaplavení PG.....	66
6.2.3.	Systém po havarijní likvidace vodíku v ochranné obálce – PAR.....	67
6.2.4.	Chlazení a stabilizace degradované AZ uvnitř TNR.....	69
6.2.5.	Dlouhodobý odvod tepla z ochranné obálky	72
6.2.6.	Filtrovaný venting	74
6.2.7.	Alternativní mobilní zdroje elektrického napájení pro DEC.....	76
6.2.8.	Radiační prostředky	77

7. Závěr	79
Seznam použité literatury	80
Seznam obrázků	81
Seznam tabulek	81
Seznam příloh.....	81
Příloha I. Charakteristika pěti úrovní ochrany do hloubky	82

Seznam použitých zkratk

AAC	Alternative Alternate Current - náhradní zdroj (nebo síť) střídavého elektrického napájení
AAC DG	Objekty AAC dieselgenerátorů
ALT	Alternativní prostředky
AOO	Abnormální provoz
AOPs	Abnormální postupy
ATWS	Anticipated Transient Without Scram - očekávané přechodové procesy bez rychlého odstavení reaktoru
AZ	Aktivní zóna
BA	Bezpečnostní analýzy
BD	Bloková dozorna
BN	Barbotážní nádrž
BNKO	Barbotážní nádrž kompenzátoru objemu
BS	Bezpečnostní systém
BSVP	Bazén skladování vyhořelého paliva
ČS TVD	Čerpací stanice technické vody důležité
DBA	Design Basis Accident - základní projektová havárie
DBC	Design Basis Conditions - základní projektové podmínky
DEC	Design Extension Conditions - rozšířené havarijní stavy (podmínky)
DEC-A	Rozšířené havarijní stavy bez tavení paliva
DEC-B	Rozšířené havarijní stavy s tavením paliva
DG	Dieselgenerátor
DGČ	Dieselgenerátorové čerpadlo
DGS	Dieselgenerátorová stanice
DiD	Defence in Depth - ochrana do hloubky
DIV	Diverzní prostředky
DN	Diamètre Nominal - jmenovitý vnitřní průměr potrubí
DNBR	Zásoba do krize varu
DPS	Diverse Protection System - diverzní systém ochrany reaktoru
EDU	Jaderná elektrárna Dukovany
EMI	Electromagnetic Interference - elektromagnetické rušení
EOP	Emergency Operating Procedures - havarijní postupy
ETE	Jaderná elektrárna Temelín
ExVC	Ex vessel coolability - strategie lokalizace taveniny mimo tlakovou nádobu reaktoru

FCVS	Filtered containment venting system - systém filtrované ventilace hermetické obálky
FSK	Funkční skupina
GA 201	Nádrž - jímka
H3BO3	Kyselina boritá
HCČ	Hlavní cirkulační čerpadlo
HDA	Hydroakumulátor
HNČ	Havarijní napájecí čerpadlo
HO	Hermetická obálka
HSCHZ	Havarijní systém chlazení aktivní zóny
HVB	Hlavní výrobní blok
HZS	Hasičský záchranný sbor
HZSp	Hasičský záchranný sbor podniku
I.O.	Primární okruh
IAEA	International Atomic Energy Agency - mezinárodní agentura pro atomovou energii
II.O.	Sekundární okruh
IU	Iniciační událost
IVR	In Vessel Retention - zachycení taveniny v nádobě reaktoru
IVR-Ex	In Vessel Retention - zachycení taveniny v nádobě reaktoru s dodávkou chladiva mimo TNR
IVR-In	In Vessel Retention - zachycení taveniny v nádobě reaktoru s dodávkou chladiva do TNR
JE	Jaderná elektrárna
KO	Kompenzátor objemu
KP	Kritérium přijatelnosti
KTMT	Kontejment
LBLOCA	Large break LOCA - Velká havárie se ztrátou chladiva
LOCA	Loss Of Coolant Accident - havárie se ztrátou chladiva
LOOP	Loss Of Offsite Power - ztráta vnějších zdrojů el. napájení
LRKO	Laboratoř radiační kontroly okolí
LUHS	Loss Of Ultimate Heat Sink - ztráta koncového jímače tepla
MČS	Mobilní čerpací stanice
mDG	Mobilní dieselgenerátor
MMS	Mobilní monitorovací skupina
NACp	Národní Akční Plán

ND	Nouzová dozorna
NN	Napájecí nádrž
NO	Normální provoz
NTTQ	Nízkotlaký systém havarijního doplňování chladiva do reaktoru
NV	Napájecí voda
OVKO	Odlehčovací ventil kompezátoru objemu
PAMS	Post Accident Monitoring System - pohavarijní monitorovací systém
PAR	Pasivní autokatalytický rekombinátor
PG	Parogenerátor
PIU	Postulovaná iniciační událost
PNČ	Pomocná napájecí čerpadla
PNVS	Pracovní napájení vlastní spotřeby (elektrický zdroj či síť)
PP	Provozní předpis
PRPS	Primary Reactor Protection Systém - primární systém ochrany reaktoru
PS	Palivový soubor
PSA	Přepouštěcí stanice do atmosféry
PSK	Přepouštěcí stanice do kondenzátoru
PSR	Periodical safety review
PTTQ	Systém vysokotlakého vstřikování chladiva do reaktoru
PVKO	Pojistný ventil kompenzátoru objemu
PVPG	Pojistný ventil parogenerátoru
Ra	Radioaktivní, radioaktivita
RB	Reaktorový blok
RČA	Rychločinná armatura
RK	Radiační kontrola
RNVS	Rezervní napájení vlastní spotřeby
RTS	Reactor Trip System - systém rychlého odstavení reaktoru
RZV TG	Rychlozávěrné ventily turbogenerátoru
SAMG	Severe Accident Management Guidelines
SBO	Station Blackout - úplná ztráta zdrojů střídavého napájení VS
SEOPs	Havarijní postupy pro odstavené stavy
SKK	Systém, konstrukce, komponenta
SKŘ	Systém kontroly a řízení
SRDGS	Společná dieselgenerátorová stanice
SRKO	Systém radiační kontroly okolí

SS	Sprchový systém
SSB	Systém související s bezpečností
SZN	Systém zajištěného elektrického napájení
ŠP	Štěpný produkt
TB50	Diverzní systém doplňování odtlakovaného I.O./BSVP/GA 201
TB60	Systém pro zaplavení AZ v TNR a dlouhodobý odvod tepla z KTMT
TBN	Turbonapajecí čerpadlo
TG	Turbogenerátor, nebo systém chlazení bazénu a vyhořelého paliva
TH	Těžká havárie (s tavením jaderného paliva)
TK	Systém doplňování a odpouštění I.O. a borité regulace
TL99	Systém po havarijní likvidace vodíku
TMI	Three Mile Island
TNR	Tlaková nádoba reaktoru
TQ	Havarijní systémy
TVD	Technická voda důležitá
TX	Systém havarijního napájení PG
UB	Uzlový bod
UJ	Požární systém
ÚZNVS	Úplná ztráta napájení vlastní spotřeby (ztráta PNVS a RNVS)
VF90	Systém dlouhodobého odvodu tepla z ochranné obálky
VS	Vlastní el. spotřeba (el. napájení bloku)
VTTQ	Vysokotlaký systém doplňování chladiva do reaktoru
VVER	Vodo-Vodyanoi Energeticheskyy Reactor - vodo-vodní energetický reaktor
VZT	Vzduchotechnika, vzduchotechnický
WENRA	Western European Nuclear Regulators' Association - asociace západoevropských jaderných dozorců
YR	Systém havarijního odvodu paroplynné směsi z I.O.
ZBF	Základní bezpečnostní funkce
ZBF1	Základní bezpečnostní funkce - řízení reaktivity
ZBF2	Základní bezpečnostní funkce - zajištění odvodu tepla z AZ
ZBF3	Základní bezpečnostní funkce - zamezení úniku Ra látek do ŽP
ZPP	Základní projektové prostředky
ZSM	Základní stanice mobilní
ŽP	Životní prostředí

1. Úvod

Jaderná elektrárna stejně jako jakákoliv další jaderná zařízení se může vyskytovat v několika různých stavech s ohledem na iniciační událost. Tyto stavy lze rozlišovat jako provozní a havarijní.

Při provozu se elektrárna nachází v normálních stavech. V reakci na poruchy a havárie přechází do havarijních stavů. Naprostá většina elektráren se za dobu svého provozu neseťká s havarijním stavem, tedy většina personálu na jaderných elektrárnách s havarijním stavem nikdy nepřijde do styku mimo přípravu na simulátorech. Pravděpodobnost vzniku havarijních stavů je relativně malá. Přesto, že se jaderný průmysl setkává s havarijními stavy výjimečně, jejich možné následky jsou ovšem rozsáhlé. Je důležité s takovými riziky počítat a připravit se na ně.

Na základě bezpečnostních analýz proto projekční týmy v druhé generaci jaderných elektráren přepokládaly vznik některých havárií. Projekty elektráren obsahovaly prostředky, kterými v uvažovaných stavech mohly bezpečně obnovit základní bezpečnostní funkce.

S nárůstem počtu reaktorů a doby jejich provozování se lidstvo postupně setkalo s různými haváriemi, které se blížily uvažovaným haváriím. Dobře projektově připravené elektrárny s dobrou kulturou bezpečnosti se dovedly s takovými stavy vypořádat bez vážnějších dopadů. Jaderný průmysl se z takových havárií poučil. Zodpovědní provozovatelé přijali opatření, aby se podobné nehody nemohly opakovat.

Projekční týmy dále zdokonalovaly z pohledu bezpečnosti nabízené elektrárny a postupně vznikla generace III. a III.+. Ovšem ne všechna opatření byla zpětně implementována do předchozích generací. Některá opatření implementována být ani nemohou například z důvodu nedostatku prostoru. Další nárůst provozních zkušeností ukázal, že může nastat i nepravděpodobný stav, se kterým se v projektech II. generace neuvažovalo. Tyto stavy se označovaly jako nadprojektová havárie. Tento stav nastal například v jaderné elektrárně Fukushima.

Severovýchodní pobřeží Japonska bylo 11. března 2011 zasaženo vlnou tsunami. Ačkoliv se na dotčeném pobřeží vyskytuje několik jaderných elektráren, Koncepce provozních režimů pro reaktor typu VVER 1000 pro rozšířené projektové podmínky bloku (DEC)

nejzávažnější důsledky byly v elektrárně Fukushima, respektive v jejích nejstarších nemodernizovaných blocích. Následky byly závažné. Z hlediska celosvětové jaderné bezpečnosti tato havárie přinesla velké množství zásadních zkušeností. Zároveň tak vznikl významný impulz ke kontrole stavu současných JE a z odolnění jejich slabín. Termín nadprojektová havárie byl nahrazen rozšířenými havarijními stavy. Tyto stavy se začaly podrobněji uvažovat v projektovaných elektrárnách a zároveň se na tyto stavy začaly připravovat i starší elektrárny. Největší reakce na fukušimskou havárii vznikla v Evropské unii.

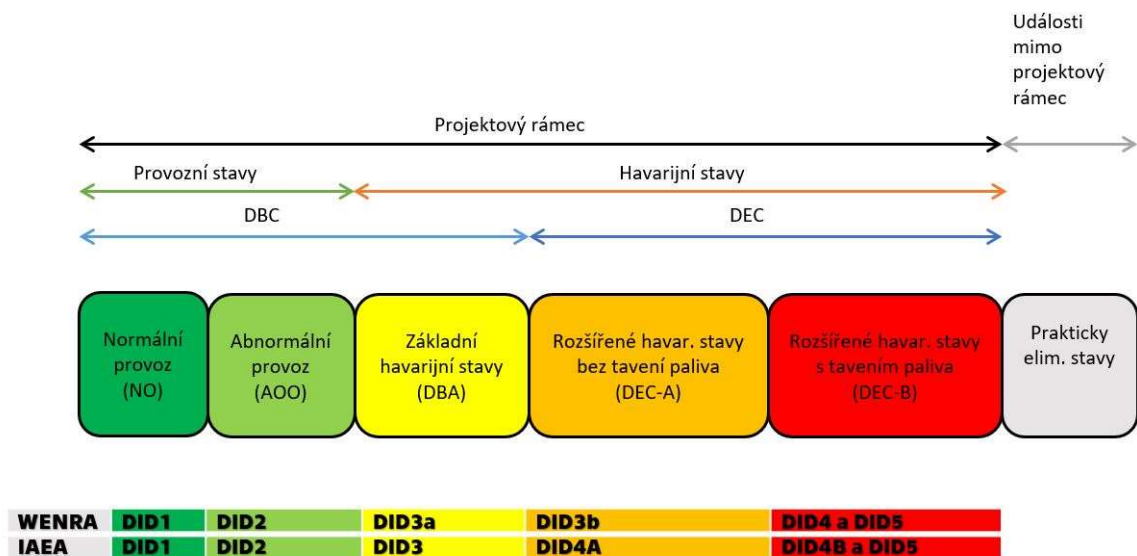
Jaderná elektrárna typu VVER 1000 V320 je představitelem III. generace. Tyto reaktory jsou provozovány v Rusku, na Ukrajině, v České republice a v Bulharsku. Pravděpodobně s ohledem na členství v EU a přístup k jaderné bezpečnosti se lze setkat s největšími úpravami pro DEC právě v České republice.

Z výše uvedeného důvodu a z důvodu dostupnosti podkladů tato diplomová práce v některých oblastech vychází ze studií, projektů a skutečného stavu jaderné elektrárny Temelín. Některé popsané prostředky jsou na Temelínské elektrárně již implementovány, jiné jsou ve fázi příprav. Dá se předpokládat, že podobné úpravy budou postupně implementovány i na Ukrajině a v Bulharsku.

2. Rešerše

2.1. Pojmy

Každé jaderné zařízení se za dobu svého životního cyklu může nacházet v následujících definovaných stavech. Stavy lze rozlišit několika způsoby. Tyto způsoby se navzájem překrývají. Pro lepší orientaci v rozsahu jednotlivých stavů jsou tyto stavy zakresleny v Obr. 1.



Obr. 1 Stavy jaderného zařízení

Projekt JE definuje projektový rámec a události mimo projektový rámec. Ačkoliv většina původních projektů JE nezahrnovala závažnější nehodu než DBA, tak postupem času byly do projektů dodatečně doplněny i další opatření proti DEC. Rozsah projektového rámce zahrnuje všechny stavy a události, ve kterých se JE může nacházet s ohledem na přiměřenou míru pravděpodobnosti. V havarijních stavech zajišťuje u konzervativně navrženého projektu JE eliminaci stavů a událostí, které by vedly k časným nebo velkým únikům radioaktivity, nebo tyto události tvoří zbytkové (akceptovatelné) riziko. Události mimo projektový rámec jsou pak všechny další události.

2.1.1. Stavy jaderného zařízení podle legislativy ČR

Stavy jaderného zařízení lze základně rozlišit dle § 2 vyhlášky č. 329/2017 Sb. o požadavcích na projekt jaderného zařízení (1) na provozní a havarijní stavy.

2.1.1.1. Provozní stavy

„Provozním stavem je stav jaderného zařízení, který je normálním provozem nebo abnormálním provozem.“ (1)

Tento stav se dále rozlišuje na:

2.1.1.1.1. Normální provoz (NO)

„Normálním provozem je stav jaderného zařízení, při kterém jsou dodrženy limity a podmínky.“ (1)

Normální provozní stavy jsou všechny stavy a operace plánovaného provozu jaderně energetického zařízení při dodržení (plnění, čerpání) provozních limitů a podmínek pro jeho bezpečný provoz.

Jsou to zejména: ustálený provoz na výkonu a za odstávky, plánované odstávování/najíždění bloku, zvyšování a snižování jeho výkonu (včetně jeho regulace), jeho částečné a plné zatížení, udržení stability při lokálních a systémových poruchách v elektrizační soustavě, stavy a režimy související s revizemi, s údržbou, s opravami a výměnou paliva.

Blok běžně setrvává v normálním provozním stavu a do jiných stavů (abnormálních, havarijních) přechází pouze v reakci na výskyt některých PIU.

2.1.1.1.2. Abnormální provoz (A00)

„Abnormálním provozem je stav jaderného zařízení odchylovající se od normálního provozu, který nevede k závažnému poškození systémů, konstrukcí nebo komponent s vlivem na jadernou bezpečnost a po kterém je jaderné zařízení bez opravy schopno normálního provozu.“ (1)

Abnormální provozní stavy jsou stavy, operace a události (včetně poruch), odklánějící se od normálního provozu. Jsou neplánované, ale jejich výskyt lze při provozu bloku očekávat. Abnormální provozní stavy lze charakterizovat zejména jako zásahy limitačního systému reaktoru nebo jako výpadky zařízení významné z hlediska bloku jako celku. Jedná se např. o náhlý pokles zatížení TG, výpadek TG nebo hlavních pohonů (typicky HCČ), ztrátu pracovních nebo i rezervních zdrojů el. napájení VS, zhoršení odvodu tepla z reaktoru resp. I.O., atp. Další typickou skupinou jsou výpadky a poruchy SKK, a to včetně výpadků některé divize BS (SZN, TVD, VZT). Jde ale také o stavy, kdy není iniciována žádná automatická

funkce, ale pro návrat do normálního provozního stavu musí být provedeny činnosti řízené personálem.

Tyto události jsou maximálně ukončeny zásahem RTS (bez aktivace bezpečnostních systémů zajišťujících ZBF2 od technologických příčin). Četnost výskytu je pro AOO větší než 10^{-2} události na reaktor a rok. (2)

2.1.1.2. Havarijní stavy

„Havarijními podmínkami je stav jaderného zařízení, který není provozním stavem.“ (1)

Tento stav se dále rozlišuje na:

2.1.1.2.1. Základní havarijní stav (DBA)

„Základní projektovou nehodou jsou havarijní podmínky, při kterých správná funkce bezpečnostních systémů zajistí, že nedojde k překročení odpovídajících referenčních úrovní nebo limitů ozáření.“ (1)

Jedná se o postulované nehody, se kterými počítá (původní) projekt JE. Nejčastěji je nejhorší předvídanou událostí v generaci II LOCA havárie. Pro tento stav je možné setkat se i s označením „projektová nehoda“.

Základní havarijní stavy (DBA) jsou odchylky od normálního provozu, které jsou méně časté a závažnější, než jsou abnormální provozní stavy. Základní havarijní stavy jaderného bloku jsou všechny události způsobené jednoduchými postulovanými iniciačními událostmi (PIU). Jsou to zejména události charakterizované selháním nebo porušením stavebních konstrukcí, technologických souborů a zařízení vnitřními vlivy, vnějšími vlivy nebo chybami obsluhy, které negativně ovlivňují bezpečnost provozu jaderně energetického zařízení. Tyto události a poruchy mohou způsobit porušení palivových článků v rámci kritérií přijatelnosti pro BA.

Základní havarijní stavy jsou projektem jaderného bloku postulované havarijní stavy uvažované v projektových východiscích, pro které je zařízení projektováno v souladu se zavedenými konstrukčními kritérii a konzervativní metodikou. U základních havarijních stavů nejsou porušena kritéria přijatelnosti BA (hodnoty parametrů, jejichž splněním je prokázáno spolehlivé plnění základních bezpečnostních funkcí projektu, zachování alespoň jedné fyzické bariéry proti

úniku radioaktivity a při nichž nedojde k překročení odpovídajících referenčních úrovní nebo limitů ozáření).

Základní havarijní stavy jsou základem pro návrh bezpečnostních systémů (BS). Do základního havarijního stavu přechází blok v důsledku PIU s malou četností výskytu, ale s velkými potenciálními následky na jaderný blok. Četnost výskytu je pro DBA mezi 10^{-2} - 10^{-6} události na reaktor a rok. (2)

2.1.1.2.2. Rozšířené havarijní stavy (DEC)

„Rozšířenými projektovými podmínkami havarijní podmínky vyvolané scénáři závažnějšími než základní projektová nehoda, které jsou zohledněny při projektování jaderného zařízení.“ (1)

Rozšířené havarijní stavy jsou postulované havarijní stavy, které nejsou projektem jaderného bloku zahrnuty a zohledněny v rámci DBA, ale které jsou zohledněny při projektování jaderného bloku (a JE) v souladu s metodou nejlepších odhadů a u kterých se uvažované úniky radioaktivního materiálu udržují v přijatelných mezích. DEC jsou havarijní stavy, při kterých se uvažuje s porušením nebo překročením projektových kritérií DBA.

Účelem začlenění rozšířených havarijních stavů (DEC) do projektového rámce je další zvýšení jaderné bezpečnosti a schopnosti JE a jejich bloků zvládat havarijní podmínky, které jsou závažnější než podmínky DBA.

Do stavů DEC přechází blok v důsledku závažnějších IU nebo jejich kombinace s velice malou četností výskytu, ale s velmi velkými potenciálními následky na jaderný blok, jadernou elektrárnu a její okolí. Výskyt rozšířených havarijních stavů u jaderného bloku se během života JE neočekává, ale je v rámci konzervativního projektu postulován.

DEC se dále rozlišuje na:

- DEC-A rozšířené havarijní stavy bez tavení paliva
- DEC-B rozšířené havarijní stavy s tavením paliva.

Četnost výskytu je pro DEC-A mezi 10^{-4} - 10^{-6} události na reaktor a rok a pro DEC-B je četnost výskytu menší než 10^{-6} události na reaktor a rok. (2)

Dříve byl tento stav (DEC) označován jako „nadprojektová havárie“. S ohledem na postupnou modernizaci JE a přípravu opatření pro nadprojektové havárie došlo ke zpětnému začlenění těchto událostí do projektů. Toto označení proto přestalo vystihovat skutečnost a název byl změněn na rozšířené havarijní stavy.

Pojem „těžká havárie“ (TH) se dříve označoval místo současného označení DEC-B. Jednalo se o havárii s vážným poškozením a nevratnou ztrátou struktury AZ v souvislosti s tavením jaderného paliva. Tento termín je v legislativě stále zachován.

„Těžkou havárií jsou havarijní podmínky, při kterých dochází k vážnému poškození jaderného paliva, a to vážným poškozením a nezvratnou ztrátou struktury aktivní zóny jaderného reaktoru (dále jen „aktivní zóna“) nebo systému pro skladování jaderného paliva poškozením palivových souborů v důsledku tavení jaderného paliva.“ (1)

2.1.1.3. Prakticky eliminované stavy

„Prakticky vyloučenou skutečností je podmínka, stav nebo událost, jejichž výskyt je považován za fyzikálně nemožný nebo které jsou s vysokým stupněm věrohodnosti velmi nepravděpodobné.“ (1)

2.1.2. Ochrana do hloubky (DiD)

„Ochranou do hloubky způsob ochrany založený na několika nezávislých úrovních stupňovitě bránících vzniku možnosti ozáření pracovníků a obyvatelstva, šíření ionizujícího záření a úniku radioaktivních látek do životního prostředí.“ (3)

DiD používá v různých úrovních rozdílné projektové prostředky, které jsou uvedeny níže. Při posunutí do vyšší úrovně se uvažuje ztráta, případně nefunkčnost předchozích prostředků.

- NO – hlavní regulace bloku
- AOO – limitační systém
- DBA – bezpečnostní systémy
- DEC – diverzifikované a mobilní prostředky, využití funkčních provozních prostředků

Ochrana do hloubky má dva způsoby rozlišení úrovní podle agentury WENRA a IAEA. V obou případech se jedná o pět úrovní, z nichž jsou některé dále rozlišeny. Členění do jednotlivých úrovní podle obou agentur je uvedeno v příloze I. (4) Z Obr. 1 je potom patrný vztah mezi stavy jaderného zařízení a DiD. V této práci je preferováno dělení podle WENRA.

2.1.3. Další pojmy dle legislativy ČR

2.1.3.1. Jaderná bezpečnost

„Jadernou bezpečností je stav a schopnost jaderného zařízení a fyzických osob obsluhujících jaderné zařízení zabránit nekontrolovatelnému rozvoji štěpné řetězové reakce nebo úniku radioaktivních látek anebo ionizujícího záření do životního prostředí a omezit následky nehod.“ (3)

2.1.3.2. Základní bezpečnostní funkce (ZBF) zařízení s reaktorem

„Jaderné zařízení s jaderným reaktorem musí od zahájení výstavby až do vyřazení z provozu:

- a) umožňovat v případě potřeby okamžitě a bezpečně odstavit jaderný reaktor a udržovat jej v podkritickém stavu,*
- b) zabránit nekontrolovanému rozvoji štěpné řetězové reakce,*
- c) fyzikálně znemožnit vznik kritického a nadkritického stavu mimo vnitřní prostor jaderného reaktoru,*
- d) zajišťovat odvod tepla vytvářeného jaderným palivem a technologickými systémy a*
- e) zajistit stínění a zabránit úniku radioaktivní látky a šíření ionizujícího záření do životního prostředí.“ (3)*

2.1.3.3. Bezpečný stav

„Bezpečným stavem jaderného zařízení je stav jaderného zařízení, ve kterém je dlouhodobě zajištěno plnění základních bezpečnostních funkcí.“ (1)

2.1.3.4. Stabilizovaný podkritický stav

„Stabilizovaným podkritickým stavem ustálený stav jaderného zařízení dosažený v abnormálním provozu a v havarijních podmínkách působením systémů určených projektem jaderného zařízení, ve kterém je jaderný reaktor

podkritický, a jsou po dobu potřebnou pro uplatnění opatření k dosažení bezpečného stavu jaderného zařízení zajištěny základní bezpečnostní funkce.“ (1)

2.1.3.5. Limity a podmínky

„Limity a podmínkami jsou soubor požadavků, při jejichž plnění je výkon činnosti považován za bezpečný.“ (3)

2.1.3.6. EOP

„Emergency Operating Procedures

Soubor předpisů specifických pro danou JE, které tvoří komplexní celek a obsahují instrukce pro personál BD k provedení opatření zabraňujících poškození AZ jak při projektové, tak nadprojektové nehodě.“ (5)

EOP jsou tedy předpisy pro řízení havárií v oblasti před významnou degradací palivových tyčí (tzn. DBA a DEC-A) viz. Tab. 1.

Tab. 1 Přehled řídicí dokumentace

Stavy bloku	Normální provoz	Abnormální provoz	Základní proj. nehody (DBA)	DEC-A	DEC-B
	Provozní stavy			Rozšířené proj. podmínky	
	Provozní stavy		Havarijní podmínky		
PP	PP pro normální provoz	AOPs (abnormální postupy)	EOPs (havarijní postupy) SEOPs (pro odst. stavy)	SAMG (návod)	

2.1.3.7. SAMG

„Severe Accident Management Guidelines

Komplexní soubor návodů specifický pro danou JE obsahující návody k provedení zásahů pro zmírnění těžkých havárií za účelem

- *navrácení AZ do kontrovaného stabilního stavu;*
- *udržování nebo navrácení kontejntentu do kontrovaného stabilního stavu;*
- *ukončení úniku ŠP do okolí JE.“ (5)*

SAMG jsou tedy návody pro řízení havárií v oblasti významné degradace palivových tyčí (DEC-B) viz. Tab. 1.

2.1.4. Další pojmy mimo rámec legislativy

Tyto pojmy nejsou zavedeny v závazné legislativě, ale lze se s nimi setkat v odborné literatuře, v předpisech, nebo mezi odbornou veřejností.

2.1.4.1. Uzlový bod (UB)

Uzlovým bodem je stav bloku JE, do kterého musí být blok převeden po vzniku PIU. K převedení dojde automaticky pomocí režimových automatik, limitačních systémů a/nebo ochranných systémů. V UB musejí být splněny následující požadavky:

- musí být zajištěna jaderná bezpečnost,
- provoz bloku v UB musí být stabilizován (tj. proces musí probíhat prakticky kvazistacionárně) a musí být k dispozici dostatečné množství informací o stavu a funkci zařízení,
- způsob provozování zařízení v UB nesmí být příčinou pro vznik další iniciační události,
- setrvání bloku v UB musí být zabezpečeno automaticky,
- doba setrvání v UB musí umožnit obsluhu výběr a provedení optimálního zásahu. (6)

2.1.4.2. Funkční skupina (FSK)

Funkční skupina je soubor SKK, které vykonávají všechny činnosti potřebné k zajištění funkce, skládající se obecně ze SKK výkonných, ochranných a řídicích, podpůrných, které jsou odolné nebo chráněné proti postulované iniciační události vyvolávající požadavek na plnění této funkce.

2.2. Významné historické události

Tři nejvýznamnější a nejznámější jaderné havárie Three Mile Island (1979), Černobyl (1986) a Fukushima (2011) měly významný vliv na jadernou bezpečnost, a to jak na konkrétní opatření, tak na provozní a havarijní režimy. V neposlední řadě se projevily i stress testy a PSR.

Z pohledu režimů a stavů došlo k navýšení počtu úrovní v DiD na 5. Koncepce DiD měla původně pouze tři úrovně. Po havárii ve Fukušimě byla vytvořena rozšířená koncepce DiD. Důležitou změnou bylo nahrazení pojmu nadprojektová havárie.

2.2.1. Po fukušimský Národní Akční Plán (NAcP) na posílení jaderné bezpečnosti jaderných zařízení v České republice

Tento národní akční plán byl vytvořen v reakci na již zmíněnou havárii v JE Fukushima. Cílem bylo analyzovat bezpečnost jaderných elektráren v ČR (EDU a ETE) z pohledu mimořádných vnějších vlivů. Hlavní úvahy byly směřovány ke ztrátě elektrického napájení a koncového jímače tepla, případně k jejich kombinaci. Dále se posuzovala doba před poškozením AZ. (7) Byl aplikován globální přístup k haváriím (predikovaná havárie může postihnout celou lokalitu). V souvislosti s tím byly identifikovány hranové efekty, které mají často globální dopad.

Celkem bylo navrženo 84 opatření, která se průběžně implementují do obou elektráren. (7) Mezi hlavními opatřeními bylo dodatečné zajištění zdrojů elektrického napájení. To je zajištěno pomocí mobilních DG a vzájemné pomoci bloků. Dále byla řešena rekombinace vodíku, odtlakování a odvod zbytkového tepla z krátkodobého i dlouhodobého hlediska a filtrovaný venting.

2.2.2. Three Mile Island

Dne 28. března 1979 došlo k havárii na druhém bloku JE Three Mile Island (TMI). Jedná se o jednu z nejzávažnějších havárií na jaderné elektrárně. Došlo k roztavení významné části paliva a k úniku radioaktivního plynu mimo oblast JE. Celkový dopad na obyvatelstvo byl především psychologický z důvodu špatné mediální komunikace.

TMI je tlakovodní JE, která se od současných elektráren liší uspořádáním svých systémů i konstrukcí jednotlivých komponent. Celkově tento projekt obsahoval závažné nedostatky, které umožnily rozvoj výpadku kondenzátních čerpadel až k tavení paliva. Na rozvoji této události se podílely rovněž chyby operátorů, které byly způsobené nedostatečným výcvikem a špatným rozhraním člověk – stroj. (8)

V době havárie neexistovalo současné rozlišení provozních stavů, klasifikace této události tak v tomto směru nebyla možná. Níže je uvedena přibližná osa časových událostí (8), ke kterým jsou **tučným textem** doplněny změny provozního stavu dle současného pohledu.

0:00:00 (4:00:37) - Výpadek kondenzátních čerpadel (způsoben patrně výpadkem turbíny) následovaný výpadkem hlavních napájecích čerpadel. Automatické spuštění tří čerpadel nouzového napájení.

S ohledem na to, že není jiná alternativa pro doplňování chladiva do PG, jsou čerpadla nouzového napájení bezpečnostním systémem. Spuštěním bezpečnostního systému se JE ocitá v Základní havarijním stavu. Tedy ihned při IU se RB ocitá v DBA. Podle dostupných informací docházelo k „zaskočení“ hlavních napájecích čerpadel čerpadly nouzového napájení na těchto elektrárnách relativně často. Obě tyto skutečnosti jsou z dnešního pohledu jaderné bezpečnosti velmi zarážející. Není tedy náhoda, že v jednom případě došlo k dalšímu rozvoji události.

0:00:03 - otevření OVKO

0:00:08 - bezpečnostní odstavení reaktoru v důsledku vysokého tlaku v I.O.

0:00:13 – tlak v I.O. pokles pod uzavírací hodnotu OVKO - nedošlo ovšem k jeho uzavření, dochází tak k trvalému úniku páry do BNKO (malá LOCA)

0:00:14 - čerpadla nouzového napájení dosáhla normálního výstupního tlaku

0:00:38 - Hladina vody na sekundární straně PG A dosáhla nastavené minimální hodnoty 0,762 m, kdy se otevírají ventily nouzového napájení. Na přívodní trase od čerpadel nouzového napájení však zůstaly uzavřené armatury. Tyto armatury byly při prověrce systému napájecí vody před 14 dny uzavřeny a z nedbalosti nebyly po skončení prověrky opět otevřeny. Voda se tak nedostane do PG.

0:01:45 - vysušení sekundární strany obou parních generátorů - v tuto dobu je již systém prakticky bez odvodu tepla

0:02:04 - Automaticky nastartovalo čerpadlo vysokotlakového vstřikování chladicí vody z důvodu úbytku chladiva v I.O.

0:03:12 - Otevřel se pojistný ventil na barbotážní nádrži. Po otevření ventilu se chladivo primárního okruhu dostává do prostoru ochranné obálky.

0:04:38 - Operátoři vypínají čerpadlo vysokotlakového vstřikování. Mylně se domývají že vody je v I.O. hodně.

Vypnutím čerpadla vysokotlakového vstřikování operátory dojde k odstavení bezpečnostního systému. Tento systém plní bezpečnostní funkci doplňováním chladiva do I.O., kterého je v této fázi události málo. Následně dochází k odhalení AZ. S ohledem na horší tepelnou vodivost páry dojde ke skokovému nárůstu teploty v proutcích a dochází k jejich poškozování. Posouváme se tak mimo původní projektový rámec do stavu DEC-A. V tomto období JE nejsou nijak připraveny dalšími systémy na podobné situace. Není tedy další způsob, jak doplňovat chladivo (do neodtlakovaného reaktoru) mimo provozní a havarijný systém vysokotlakého doplňování.

0:06:00 – AZ dochází k varu následkem špatného odvodu tepla z I.O.

0:07:31 – Spustilo se čerpadlo přepouštěcího okruhu, které odvádělo kontaminovanou vodu z jímky ochranné obálky do nádrží v pomocné budově reaktoru. Později došlo k přeplnění nádrží v pomocné budově a následně k úniku plynných látek do atmosféry.

0:08:00 - Operátoři zjistili, že uzavírací ventily nouzového systému napájení jsou uzavřené. Otevřeli je a uvedli nouzové napájení v činnost. Studená voda však ve vysušených parních generátorech způsobila tepelný šok a trhliny. Radioaktivní voda unikala z primárního do sekundárního okruhu. Když byl tento stav zjištěn, musely být parní generátory střídavě odstavovány, a poté byl vadný parní generátor ve smyčce B zcela vyřazen z provozu. K dalšímu odvodu tepla z aktivní zóny použil zbývající parní generátor smyčky A.

0:14:15 - Dochází k protržení pojistné membrány BNKO. Volný výtok do ochranné obálky způsobil nárůst tlaku, řídicí systémy byly ovšem nastaveny na vyšší tlak. Nedošlo tak k uzavření lokalizačních skupin a pokračoval únik z kontejmentu.

0:38:10 - Byla zastavena čerpadla odvodu vody z ochranné obálky.

1:13:29 – Operátoři ručně odstavují postupně obě HCČ smyčky B z důvodu vysokých vibrací způsobených vnikáním páry do sání čerpadla.

1:40:37 - Operátor ručně odstavuje obě zbývající HCČ smyčky A ze stejného důvodu.

2:12:00 - Teplota horké větve smyčky B se zvyšuje až na 326,7 °C. Teplota studené větve klesla na 65,6 °C. Uvedené teploty ukazují, že nevznikla přirozená cirkulace mezi reaktorem a PG. Pravděpodobně dochází k poškození paliva.

Přirozená cirkulace je způsob, jak odvádět teplo z reaktoru po vypnutí HCČ. V projektu je uvažována její funkčnost. Vlivem špatné konstrukce I.O. však nedojde k jejímu zprovoznění. Projekty JE totiž v této době neumožňují havarijní odvodu plynů v I.O., které brání přirozené cirkulaci. Jako reakce na tuto skutečnost byla následně přijata opatření umožňující odvod paroplynné směsi.

2:22:00 - Zaseknutý přepouštěcí ventil byl izolován uzavíracím ventilem. Tímto zásahem byl ukončen únik vody z primárního okruhu. Tímto zásahem bylo zamezeno úniku energie do prostoru kontejmentu. V BN se začíná hromadit vodík, který později vybuchuje nebo hoří.

cca 3:44:00 – Dochází k postupnému tavení paliva. Palivo stéká na dno tlakové nádoby. Celkově bylo roztaveno více než 50 % paliva.

Tavením paliva se RB posouvá do nejvyššího možného stavu DEC-B.

2.2.3. Fukushima Daiichi

Dne 11. března 2011 došlo k zasažení JE Fukušima vlnou tsunami, která vznikla následkem silného zemětřesení. Vlna zasáhla japonské pobřeží a poškodila veškerou infrastrukturu až několik desítek km do vnitrozemí. S ohledem na obrovské škody se záchranné složky soustředily na pomoc zničeným obcím a elektrárna si musela především z počátku pomoci sama.

Událost poškodila všechny bloky této JE, nejvíce byly zasaženy bloky 1-4, které byly nejnižší. Před zemětřesením byly v provozu bloky 1-3, ostatní bloky 4-6 byly v odstávce. Provozované bloky byly automaticky odstaveny před příchodem vlny tsunami v důsledku zemětřesení. Bylo tak zapotřebí především odvádět zbytkové teplo z bloků 1-3, které bylo nejvyšší s ohledem na nedávné odstavení. (9)

Následkem postupné eskalace na 1. a 3. RB došlo k obnažení a tavení paliva. Tím došlo k výraznému růstu teplot paliva a tvorbě vodíku při exotermické reakci zirkonia s vodní párou. Vzniklý vodík unikl z reaktorové nádoby a hromadil se ve vrchním patře budovy, kde později explodoval. Výbuch na 1. RB poškodil budovu

2. RB. Vodík z 3. RB se dostal do 4. RB, kde explodoval. Z 1.-4. RB unikaly radioaktivní látky do okolí. Postupně muselo být evakuováno obyvatelstvo až v okruhu 20 km. Odhaduje se, že došlo k úniku až 520 PBq radioaktivních izotopů. (10) Únik je tedy přibližně desetinový oproti úniku z JE Černobyl.

K největším následkům došlo na provozovaných RB, proto je v níže uvedené části rozebrány právě tyto bloky. Obdobně jako u TMI je uvedena přibližná osa časových událostí (9) (11), ke kterým jsou **tučným textem** doplněny změny provozního stavu dle současného pohledu.

14:46 – Zemětřesení o síle 8,9 stupně Richterovy škály zasáhlo severovýchodní pobřeží Japonska. Všechny tři provozované RB byly automaticky odstaveny (pomocí RTS). V důsledku pádu elektrického vedení přišla JE o vnější zdroj napájení. Bloky byly chlazeny a řízeny pomocí elektřiny z DG, které se automaticky spustily. Do příchodu vlny tsunami se situace stabilizovala.

Zásah RTS od seismické aktivity a výpadku TG mění provozní stav bloku z NO na AOO. Stejně jako ztráta pracovních i rezervních zdrojů el. napájení VS a využití DG jako zdroje elektřiny.

15:35 – Po zásahu vlnou tsunami dochází k úplné ztrátě napájení. Záložní napájení pomocí DG je nefunkční z důvodu jejich zaplavení. BD 2. RB se ocitá v úplné tmě. Nefungují některá měření, není možné určit v jakém stavu (tlak, teplota a hladina vody) jsou jednotlivé bloky. Důležitá měření jsou postupně obnovována pomocí malých mobilních diesel generátorů a později i pomocí autobaterií.

Ztrátou všech provozních rezervních a havarijních zdrojů elektřiny nemá JE možnost odvodu zbytkového tepla, měřit veličiny a případně ovládat zařízení a PK. JE se tak dostává rovnou do stavu DEC-A. Zde je jasně patrný hranový efekt, pokud by elektrárna byla zasažena vlnou menší než 5 m (bariéra byla projektována právě pro tuto hodnotu), k žádnému dalšímu rozvoji by patrně nedošlo a elektrárna by setrvala v provozním stavu AOO.

18:00 – Hladina vody klesla na horní okraj paliva. Operátoři na 1. RB nemají jasný přehled o situaci na bloku. Vlivem špatné znalosti systému izolačního

kondenzátoru a několika špatných rozhodnutí operátoři zabránili izolačnímu kondenzátoru v jeho funkci. Palivo tak není chlazeno.

19:30 – Palivo je plně odhaleno. Po několika hodinách se začalo tavit a do 12.3. 7:00 většina paliva spadla do vody na dně TNR.

Tavením paliva se 1. RB posouvá do nejvyššího možného stavu DEC-B.

Během noci z 11.3. na 12.3. je připravováno odtlakování reaktoru 1. bloku. Zároveň jsou připraveny hasičské vozy pro doplňování chladiva do reaktoru. Ty jsou následně připraveny i pro další bloky.

12.3. 15:36 – Na 1. RB dochází k výbuchu vodíku. Výbuch poškodí kontejnment 1. a 2. bloku. Zároveň dochází k poškození připraveného doplňování mořské vody do reaktorů.

Následkem výbuchu vodíku dochází velkému a časnému radiačnímu úniku. Z pohledu DiD dochází k posunu na úroveň 5.

13.3. 2:42 – Parní turbína doplňovacího systému 3. RB je manuálně odstavena z důvodu poklesu jejích otáček. Operátoři plánují odtlakovat I.O. pomocí přetlakového ventilu. Ten se ale při příkazu neotevře v důsledku nedostatečného tlaku dusíku, kterým je armatura otevírána. Znovu zprovoznění systému doplňování není možné z důvodu vybité baterie.

13.3. cca 5:30 – Na 3. RB dochází k odhalení paliva.

13.3. – V ranních hodinách dochází k poškození a později i tavení paliva v 3. RB.

Tavením paliva se 3. RB posouvá do nejvyššího možného stavu DEC-B.

13.3. 9:25 – Začíná doplňování chladiva do 3. RB pomocí hasičských vozů. I.O byl předtím odtlakován otevřením přetlakového ventilu.

14.3. 11:01 – Na 3. RB dochází k výbuchu vodíku. Výbuch poškodí kontejnment. Zároveň dochází opět k poškození doplňování mořské vody do reaktoru.

14.3. 13:25 – Na 2. RB dochází k výpadku parní turbíny pohánějící systém doplňování chladiva. Obsluha elektrárny se rozhoduje provést nejprve odtlakování budovy kontejnmentu, a teprve následně odtlakování reaktoru. Kvůli vysokému

tlaku v I.O. tak není možné doplňovat vodu pomocí připravených hasičských vozů. Rozhodnutí je později změněno, ale dochází ke ztrátě potřebného času, během kterého dojde k odhalení paliva.

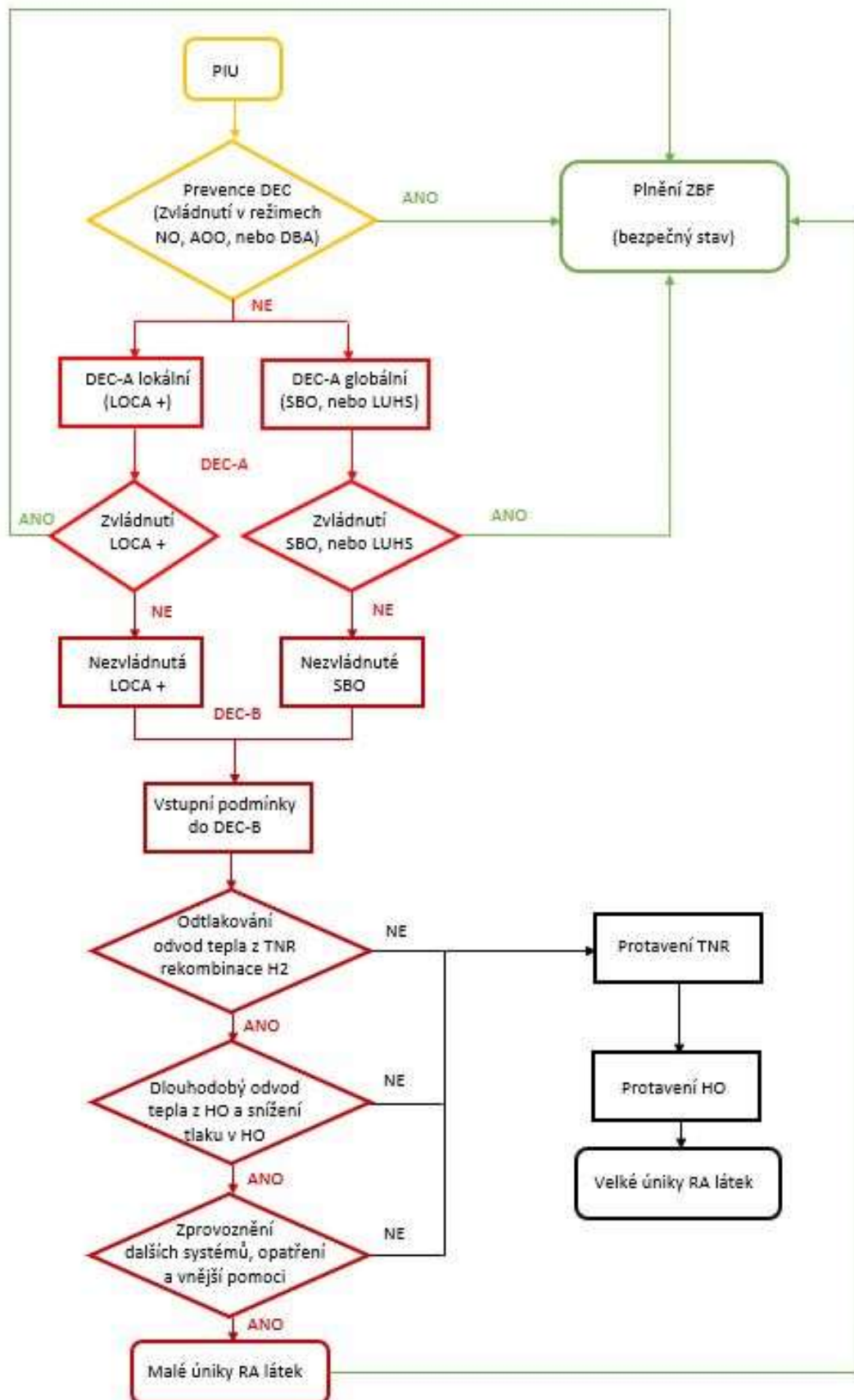
14.3. 19:12 – V důsledku neobnovení chlazení AZ dochází k poškození a následně tavení paliva na 2. RB.

Tavením paliva se 2. RB posouvá do nejvyššího možného stavu DEC-B.

3. Popisy typických scénářů vstupu do DEC

Scénářů vstupu do DEC-A je nekonečně mnoho. K řešení se proto využívají typické scénáře, které pokrývají jednotlivé varianty havárií. Tyto scénáře jsou popsány níže v příslušných podkapitolách. Scénáře DEC-B navazují na rozvoj události v předchozím stavu a jsou řešeny pomocí dvou typových scénářů. Rozlišení vstupních scénářů je důležité z hlediska rozdílných požadavků na zasahující členy, rychlost rozvoje události a dopad na další bloky. Celý vývoj události od PIU až po konečný stav je znázorněn na Obr. 2.

U všech PIU se předpokládá vznik ÚZNVS, tedy pokud není definováno jinak.



Obr. 2 Schéma prevence a mitigace v podmínkách DEC

3.1. DEC-A

V kapitole 2.1.1.2.2 byl definován termín DEC-A. Hlavním cílem je obnovit ZBF a zabránit rozvoji stavu do DEC-B.

Z pohledu řešení událostí DEC-A lze výchozí stav bloku dělit na provoz na výkonu a odstavený blok. Výchozí stav bloku má vliv na volbu FSK složených v daném stavu bloku, z dostupných a použitelných technických prostředků a organizačních opatření pro plnění výše uvedených cílů.

Ve stavu odstaveného bloku je důležité, zda je I.O. roztěsněn nebo nikoliv. Pokud je I.O. utěsněný, je možné využít odvod zbytkového tepla přes PG prostřednictvím přirozené cirkulace. Pokud je I.O. již roztěsněný, je nutné rozlišovat, zda je reaktor otevřen, nebo je I.O. pouze odtlakován otevřením odvodu.

V případě otevřeného reaktoru je důležitým údajem výška hladiny vody nad AZ. Z časového hlediska je nejhorším případem, pokud je hladina v reaktoru v ose studených nátrubků. Z důvodu malé zásoby chladiva, a tedy nutnosti rychlého řešení PIU. Opačným případem je výměna paliva, kdy je bazén výměny spojen s BSVP a obojí je zaplaveno na úroveň horní hladiny. Tato situace je rovněž přivětivá pro samotný BSVP. V rámci řešení DEC-A je nutné v jakémkoliv stavu bloku konzervativně uvažovat s vyhořelým jaderným palivem v BSVP.

RB se může dostat do stavu DEC-A v důsledku postulovaných vícenásobných (komplexních) poruchových událostí. V této práci jsou uvažovány následující typy DEC-A:

- závažnější IU než u DBA, která může vyvolat situaci převyšující kapacity a schopnosti bezpečnostních systémů určených pro DBA
- stejná IU jako u základních havarijních stavů v kombinaci s přísnějšími (náročnějšími) okrajovými podmínkami (větší magnitudo zátěže, kombinace více zátěží atd.)
- vícenásobné poruchy (například CCF redundantních divizí BS), které zabraňují vykonat požadované bezpečnostní funkce. (SBO, ATWS atd.)

- kombinace více IU (např. LBLOCA a současně prasknutí trubek PG nebo vícenásobné roztržení potrubí systému ostré páry a napájecí vody apod.)
- náhlá a velká změna stavu bloku (JE) v důsledku vzniku hranového efektu (zejména pokud hranový efekt ovlivňuje parametry mnoha SKK). Může se jednat i o složité a nepředvídatelné působení současné komplikované techniky v kombinaci s prakticky stále stejnými lidskými schopnostmi
- chyby obsluhy (operátora) a další negativní působení lidského faktoru
- kombinace výše uvedených typů poruchových událostí

Skupiny PIU a příklady typických událostí (postulované komplexní poruchové události) charakteristické pro stavy DEC-A:

- ztráta podpůrných funkcí: (2), (3)
 - úplná dlouhodobá ztráta vnitřních a vnějších zdrojů elektrického napájení (SBO),
 - událost LUHS,
 - kombinace LUHS a SBO (ve smyslu příčiny a následků).
- porucha/nehoda v primárním okruhu (3)
 - havárie LOCA při současné ztrátě havarijního chlazení AZ,
 - neřízený pokles hladiny nebo ztráta cirkulace v reaktoru při chlazení otevřeného reaktoru nebo při výměně paliva*,
 - ztráta systému odvodu zbytkového tepla.
- porucha/nehoda v sekundární okruhu (3)
 - úplná dlouhodobá ztráta NV,
 - vícenásobné porušení trubek z PG,
 - prasknutí parovodu + prasknutí trubek PG,
 - uzavření armatur hlavních parovodů.
- porucha/nehoda v BSVP* (3)

- ztráta chlazení bazénu skladování
- reaktivita v reaktoru (2), (3)
 - neřízené ředění koncentrace H_3BO_3
 - ATWS – jedná se o události s vyšší četností výskytu spadající pod abnormální provoz (AOO, četnost $>10^{-2}$) vyžadující odstavení reaktoru ochranou, které ale selže v důsledku komplexní poruchové události:
 - AOO + mechanické zablokování pádu odstavných skupin
 - AOO + porucha SKŘ ochranných systémů odstavení reaktoru

Základním cílem projektu při řešení havarijní stavu DEC-A je prevence přechodu do DEC-B a zároveň omezení radiačního dopadu na okolí. Tedy ochrana personálu, obyvatelstva a životního prostředí před ozářením. K tomu je zapotřebí omezit únik radioaktivních látek a ochránit fyzické bariéry zabráňující úniku radiace. Cílem je rovněž zvládnutí DEC-A způsobem, který umožní případný návrat bloku do NO.

V rámci projektu je nutné zajistit plnění všech ZBF i ve stavu DEC-A, tím bude zajištěno plnění výše uvedených cílů. Nejdůležitějším principem projektu pro DEC-A je prevence poškození paliva v AZ a BSVP. Je tedy nutné zajistit odvod zbytkového tepla v případě, že je to možné s ohledem na geometrii chlazení. V takovém případě bude zajištěna integrita ochranné bariéry pokrytí paliva.

Projekt musí obsahovat technické a organizační prostředky, které plněním následujících požadavků zabrání rozvoji DEC-A do DEC-B:

- umožnit řízení, ovládání, detekci a identifikaci stavu SKK, ochranných barier a události
- zajistit technické prostředky a FSK pro zvládnutí různých scénářů rozvoje havarijních podmínek a zajištění včasného zásahu personálu pomocí FSK při zhoršení, popř. rozvoji havarijní situace
- zajistit technické prostředky pro identifikaci narušení ZBF, včetně prostředků pro obnovení plnění ZBF

– umožnit dosažení stabilizovaného podkritického stavu a následné převedení bloku do bezpečného stavu, ve kterém jsou dlouhodobě plněny ZBF a bezpečnostní cíle

Havarijní události lze rozdělit do dvou skupin:

Lokální komplexní poruchové události typické pro jeden blok. V těchto situacích se jedná především o zvládnutí postulovaných selhání určitých kategorií bezpečnostních systémů v situaci, kdy je projektem vyžadován jejich zásah v rámci abnormálních stavů nebo DBA. V této situaci se uvažuje časná mobilizace ostatních systémů daného bloku. Lze uvažovat i s pomocí sousedních bloků a také s vnější pomocí.

Globální komplexní poruchové události mohou postihnout více bloků nebo celou lokalitu JE. Obvykle se jedná o události typu SBO, LUHS, případně jejich kombinace. Využití vzájemné pomoci bloků je v těchto případech výrazně omezeno, nebo není možné. Tato skutečnost silně závisí na IU, jejich účincích na bloky a okolní infrastrukturu. V této situaci se uvažuje nasazení diverzních a alternativních prostředků spolu s BS a SSB, které jsou po události stále provozuschopné.

3.2. DEC-B

V kapitole 2.1.1.2.2 byl definován termín DEC-B. Stejně jako u předchozího stavu je cílem projektu JE obnovit ZBF. U události DEC-B je cílem především plnění ZBF3, tedy zamezení vzniku časně, nebo velké radiační události. Za tímto účelem je zapotřebí udržet integritu kontejnmentu jako poslední funkční bariéry vzhledem ke ztrátě předchozích bariér (pokrytí paliva a I.O.). Projektová opatření zajišťující tyto cíle musí být navržena s dodržением principů DiD a FSK. Tato opatření musí být podpořena a koordinována s vnějšími a vnitřními havarijními opatřeními.

Projekt musí analyzovat všechny scénáře DBA a DEC-A, které mohou svým rozvojem dospět až do DEC. Postulují se dva typové scénáře vzniku stavu DEC. Na základě vlastností těchto scénářů je potřebné koncipovat základní koncepci projektových opatření:

DEC-B jako důsledek nezvládnuté (velké) LOCA. Tento scénář je charakteristický vyšší rychlostí rozvoje. Nízkotlaký scénář, kdy došlo během události ke snížení tlaku v I.O., typicky ale postihuje jeden blok.

DEC-B jako následek nezvládnutého SBO. Tento scénář má nižší rychlost rozvoje. Má ale vysoký potenciál postihnout více bloků na dané lokalitě a omezit tak možnost jejich vzájemné pomoci při zmírňování následků. Jedná se o vysokotlaký scénář, kdy nedošlo ke snížení tlaku v I.O.

V obou případech došlo k selhání prevence, udržení vzniklého stavu a znovu obnovení ZBF ve stavu DEC-A. Tato událost je přímo spojena s tavením paliva. V projektu musí být implementovány soubory technických prostředků a organizačních opatření pro zmírnění následků události DEC-B. Vznik takovéto události s tavením paliva se v projektu uvažuje, nehledě na preventivní opatření aplikovaná v předchozích stavech a úrovních DiD.

Při postulování DEC-B musí projekt počítat s tím, že výše uvedené typové scénáře se mohou přihodit na jednom bloku, nebo i současně na více blocích, včetně různých scénářů na různých blocích. Projektová opatření v tomto stavu postupují nezávisle na předchozích zásazích a havarijních systémech. Důvodem je totiž úvaha, že pokud tyto systémy fungují správně, tak by se RB neocitl ve stavu DEC-B. Je tedy zřejmé, že některé systémy předchozích úrovní z neznámého důvodu nezafungovaly.

S ohledem na čas a stav RB není možné identifikovat příčiny a zjednat odstranění těchto závad. Po prostředcích pro zabránění rozvoje v DEC-B se požaduje, aby byly nezávislé na předchozích havarijních prostředcích. V případě funkčnosti prostředků z předchozích úrovní DiD je možné jejich využití.

4. DEC na reaktorovém bloku

Tato kapitola, není-li uvedeno jinak, je sepsána na základě informací obsažených v dokumentu DBD1 K1 – ETE. (6)

V této kapitole jsou popsány koncepce zvládnutí DEC. Jedná se o charakteristické události, které uvádějí typické příklady poruch/nehod v důležitých oblastech jaderné a sekundární části, BSVP a OS.

Pro řízení SKK a monitorování potřebných parametrů je uvažováno využití systémů SKŘ z nižších úrovní DiD, případně jejich ruční řízení z BD, nebo ND a zajištění jejich elektrického napájení. Pro vykonání veškerých činností musí postačovat kapacity provozního směnového personálu.

S ohledem na rozsah postulovaných komplexních událostí jsou tyto události rozčleněny na několik kapitol.

4.1. Lokální DEC-A

4.1.1. Nehoda na I.O.

4.1.1.1. LOCA havárie při současné ztrátě jednotlivých systémů HSCHZ

Při této události se v projektu uvažují všechny velikosti LOCA pro tři základní typy scénáře havárie:

- LOCA při současné ztrátě všech divizí VTTQ
- LOCA při současné ztrátě všech divizí NTTQ
- LOCA při současné ztrátě všech HDA

Vznik a scénář PIU

Prasknutí potrubí I.O. má za následek ztrátu chladiva I.O. Chladivo uniká do KTMT a mění své skupenství na plynné. Tím dochází k nárůstu tlaku v KTMT, k poklesu tlaku v I.O. a hladiny v KO. Odstavení reaktoru a spuštění bezpečnostních systémů je provedeno pomocí PRPS. Nedostupnost jednotlivých systémů HSCHZ (VTTQ, NTTQ, nebo HDA) je uvažována technologickou poruchou ze společné příčiny.

Systémy a prostředky pro zvládnání události

Předpokládá se, že v rámci jedné ze tří uvedených havárií jsou ostatní systémy funkční. Prakticky se uvažuje, že jsou k dispozici minimálně 3 ze 4 HDA (mimo

událost ztráty HDA) a alespoň 1 ze 3 divizí VTTQ a NTTQ (mimo událost ztráty VTTQ, respektive NTTQ). Pro přehlednost jsou jednotlivé typy scénářů uvedeny v Tab. 2, respektive Tab. 3 a Tab. 4.

Tab. 2 LOCA při současné ztrátě všech divizí VTTQ

Výpadek systému	Zasahující prostředky	Kritéria přijatelnosti
VTTQ	3 ze 4 HDA 1 ze 3 divizí NTTQ všechny PSA	nepřekročení max. teploty pokrytí palivového proutku hloubka oxidace pokrytí palivového proutku množství generovaného vodíku při oxidaci pokrytí palivového proutku

Ve všech případech jsou konzervativní předpoklady pro zpracování analýzy a dané události téměř identické jako podmínky použité pro bezpečnostní analýzy LOCA v DBA. Jediný důležitý rozdíl je nedostupnost všech divizí uvedeného systému.

Tab. 3 LOCA při současné ztrátě všech divizí NTTQ

Výpadek systému	Zasahující prostředky	Kritéria přijatelnosti
NTTQ	3 ze 4 HDA 1 ze 3 divizí VTTQ	nepřekročení max. teploty pokrytí palivového proutku hloubka oxidace pokrytí palivového proutku množství generovaného vodíku při oxidaci pokrytí palivového proutku

Opatření a postupy zvládnání pro uvažovanou událost musí být v projektu řešeny následujícím způsobem:

- jaderné palivo musí svými vlastnostmi umožnit poskytování záporné zpětné vazby
- záporná reaktivita, odvod tepla a zásoba chladiva musí být zajištěna pomocí základních projektových prostředků (ZPP)
- možný zásah operátora do 30 minut od vzniku události z důvodu odvodu tepla přes II.O.
- integrita KTMT nesmí být narušena

Tab. 4 LOCA při současné ztrátě všech HDA

Výpadek systému	Zasahující prostředky	Kritéria přijatelnosti
HDA	1 ze 3 divizí VTTQ 1 ze 3 divizí NTTQ	nepřekročení max. teploty pokrytí palivového proutku hloubka oxidace pokrytí palivového proutku množství generovaného vodíku při oxidaci pokrytí palivového proutku

4.1.1.2. Neřízený pokles hladiny nebo ztráta cirkulace v reaktoru při chlazení otevřeného reaktoru nebo při výměně paliva

Vznik a scénář PIU

Příčinou události neřízeného poklesu hladiny během chlazení otevřeného reaktoru v odstaveném stavu může být ztráta cirkulace vody v aktivní zóně v důsledku výpadku dochlazovacích čerpadel TQ12(22,32) s napojením do studených smyček I.O., nebo roztržení potrubí dochlazování. Obě události vedou ke ztrátě odvodu zbytkového tepla a k následnému poklesu hladiny vody v reaktoru postupným vypařováním vody. Po ztrátě odvodu zbytkového tepla se voda v reaktoru ohřívá až do teploty varu. Vlivem varu dojde k poklesu hladiny postupným vyvařováním vody. V případě roztržení dochlazovací trasy nastává rychlá ztráta vody v reaktoru na dolní úroveň zaústěných studených větví, a dále stejný, ovšem rychlejší proces ohřevu a vyvaření vody v reaktoru. Pokud by

nenastalo doplňování chladiva do reaktoru, došlo by za cca 2 hodiny k celkovému vysušení AZ a k překročení KP pro max. teplotu na pokrytí palivového proutku.

Systémy a prostředky pro zvládnání události

V rámci dané události se předpokládá funkčnost prostředků uvedených v Tab. 5. Ve zmíněné tabulce jsou rovněž KP pro tuto událost.

V rámci události je nutné zajistit plnění ZBF (2), které lze zajistit pomocí uvedených ZPP. V případě, že nebudou uvedené ZPP k dispozici z důvodu dané události, lze zajistit plnění ZBF (2) pomocí DIV (systém TB50) nebo ALT prostředky (HZSp, hadicový vůz, cisterna). Jedná se o nové požadavky na DIV a ALT systémy/prostředky. V případě otevřeného reaktoru musí projekt zajistit víceúrovňové prostředky pro prevenci poškození paliva. Nouzové doplňování do I.O. pomocí DIV systému TB50 je v této situaci jednodušší. Důvodem je již odtlakovaný I.O., navíc je možno ihned přistoupit ke gravitačnímu zaplavování AZ pomocí HDA. Dodávat chladivo do otevřeného reaktoru lze rovněž ALT prostředky – nátrubky pro připojení HZS na ZPP potrubí pro dodávku vody do reaktoru.

Tab. 5 Neřízený pokles hladiny nebo ztráta cirkulace v reaktoru při chlazení otevřeného reaktoru nebo při výměně paliva

Výpadek systému	Zasahující prostředky	Kritéria přijatelnosti
čerpadla TQ12(22,32), nebo roztržení potrubí dochlazování	3 ze 4 HDA 1 ze 3 divizí VTTQ 1 ze 3 divizí NTTQ	nepřekročení max. teploty pokrytí palivového proutku hloubka oxidace pokrytí palivového proutku množství generovaného vodíku při oxidaci pokrytí palivového proutku

4.1.2. Nehoda na II.O.

4.1.2.1. Úplná dlouhodobá ztráta napájecí vody

Vznik a scénář PIU

Jako iniciační události se uvažují pro úplnou ztrátu napájecí vody PG následující dva scénáře:

- A. Ztráta funkce ZPP (TBN, PNČ, HNČ) je způsobená ztrátou pracovních a rezervních zdrojů elektrického napájení s neumožněným najetím všech zdrojů nouzového napájení (systémových i nesystémových DG). Jedná se o událost SBO. V rámci této události dojde k přerušení odvodu tepla z I.O do II.O. Odvod tepla je zajištěn přes PSA a PVPG po dobu, než dojde k vysušení PG na straně II.O. Je tedy nutné zajistit obnovu doplňování PG, a tím bude zajištěno plnění ZBF 2. Nejprve je využita zásoba vody v NN, která je gravitačním způsobem pomocí drenáže NN vpuštěna do příslušných PG. Po vyčerpání zásob v NN je nutné zajistit doplňování vybraného PG mobilním požárním čerpadlem s výtlačkem zaústěným do výtlačného potrubí HNČ čerpadel a se sáním z nádrží HNČ.
- B. Jako PIU se uvažuje ATWS, tj. ztráta napájení parogenerátorů vodou z důvodu výpadku TBN způsobené technologickou příčinou postihující všechny TBN a se selháním ROR. Výpadek TBN vede k rychlému poklesu průtoku napájecí vody do PG. Hlavním důsledkem je pak zhoršení odvodu tepla II.O. z důvodu klesající hladiny v PG. PNČ, které nabíhají hned po výpadku TBN, nemají dostatečnou kapacitu k udržení hladiny v PG. S poklesem hladiny v PG klesá i odvod tepla z I.O, a proto narůstá tlak a teplota chladiva v I.O. Pokles reaktivity vlivem záporné zpětné vazby od poklesu hustoty chladiva je v první fázi události částečně kompenzován vysouváním skupiny regulačních orgánů. Dále je již skupina regulačních orgánů plně vysunuta v horní koncové poloze, pokles reaktivity již není možné dále kompenzovat a výkon AZ rychle klesá. ROR není aktivován.

Systémy a prostředky pro zvládnutí události

V rámci dané události se předpokládá funkčnost prostředků uvedených v Tab. 6. V uvedené tabulce jsou rovněž KP pro tuto událost.

Tab. 6 Úplná dlouhodobá ztráta napájecí vody

Výpadek systému	Zasahující prostředky	Kritéria přijatelnosti
TBN, PNČ, HNČ	PSA a PVPG NN mobilní požární čerpadlo	nepřekročení max. teploty pokrytí palivového proutku a max. teploty jaderného paliva, nepřekročení max. tlaku v I.O a II.O
TBN + ROR	OVKO, PVKO a PSK 2. divize HNČ	nepřekročení max. teploty pokrytí palivového proutku a max. teploty jaderného paliva, nepřekročení max. tlaku v I.O a II.O

4.1.2.2. Prasknutí parovodu spojené s prasknutím trubek PG

Vznik a scénář PIU

Předpokládá se PUI s gilotinovým roztržením hlavního parního potrubí současně s roztržením tří trubek trubkovnice postiženého PG. Úplné roztržení hlavního parního potrubí PG způsobí výrazné zvýšení odvodu páry ze II.O. Únik primárního chladiva do PG činí přibližně 100 kg/s. V rámci události se uvažuje nefunkčnost ROR a nedostupnost RČA na postiženém parovodu z důvodu poruchy na daném parovodu.

Systémy a prostředky pro zvládnutí události

V rámci dané události se předpokládá funkčnost prostředků uvedených v Tab. 7. V uvedené tabulce jsou rovněž KP pro tuto událost. Systém VTTQ zajistí doplňování unikajícího chladiva do I.O., HNČ zajišťují obnovu dodávky vody do PG.

Tab. 7 Prasknutí parovodu spojené s prasknutím trubek PG

Výpadek systému	Zasahující prostředky	Kritéria přijatelnosti
roztržení hlavního parního potrubí + RČA roztržení tří trubek PG selhání ROR	3 divize VTTQ RZV TG, PSA HNČ	nedosažení krize varu (DNBR) nedosažení teploty tavení paliva

4.1.2.3. Ztráta vakua v kondenzátoru

Vznik a scénář PIU

Předpokládá se PUI se ztrátou vakua v kondenzátoru v kombinaci se selháním ROR. Vzhledem k tomu, že je tato událost hodnocena především z hlediska maximálních dosažených tlaků v I.O a II.O, uvažuje se konzervativně případ s uzavřením RZV TG a neuvažováním otevření PSK, což vede k většímu nárůstu tlaku v II.O., a tím i k horšímu odvodu tepla z I.O., který se projevuje nejen nárůstem primárního tlaku.

Systémy a prostředky pro zvládnání události

V rámci dané události se předpokládá funkčnost prostředků uvedených v Tab. 8. V uvedené tabulce jsou rovněž KP pro tuto událost.

Tab. 8 Ztráta vakua v kondenzátoru

Výpadek systému	Zasahující prostředky	Kritéria přijatelnosti
ztráta vakua v kondenzátoru selhání ROR	OVKO PVPG a PSA RZV TG HNČ	nedosažení krize varu (DNBR) nepřekročení max. teploty pokrytí palivového proutku nepřekročení max. tlaku v I.O a II.O

4.1.3. Ztráta chlazení BSVP

Vznik a scénář PIU

PIU pro případ úplného výpadku chlazení BSVP je vícenásobná porucha v technologické části systému chlazení BSVP. SBO se v této události jako příčina neuvažuje. Po úplném výpadku průtoku systémem TG chlazení BSVP dojde k zastavení odvodu tepla z BSVP. Následuje růst teplot vody a palivových souborů uložených v BSVP. Odpařováním vody z BSVP do prostoru KTMT dojde ke zvýšení teploty, vlhkosti a aktivity v KTMT. Pro zajištění ZBF (2 a 3) musí být zajištěno doplňování vody do BSVP a uzavření KTMT pro zamezení úniku RA do ŽP.

Systémy a prostředky pro zvládnání události

V rámci dané události se předpokládá funkčnost prostředků uvedených v Tab. 9. V uvedené tabulce jsou rovněž KP pro tuto událost.

V případě nedostupnosti havarijního chlazení BSVP je možné zajistit doplňování vody do BSVP pomocí DIV systému TB50 (2x100%). Jako zdroj vody lze použít nádrže TB (ZPP).

V případě nedostupnosti DIV systému TB50 lze doplňování vody do BSVP zajistit pomocí ALT prostředků (T – kus na libovolnou divizi TG potrubní trasy mimo KTMT, HZS a cisternu s vodou nebo nádrže HNČ).

Z této události za podmínek DEC-A vyplývají nové požadavky na ZPP, DIV a ALT.

Tab. 9 Ztráta chlazení BSVP

Výpadek systému	Zasahující prostředky	Kritéria přijatelnosti
výpadek chlazení BSVP	1 divize TQ TQ výměník chlazený TVD RZV TG HNČ	nedosažení odhalení hlavic paliva nedosažení teploty pokrytí paliva

4.1.4. Reaktivita v reaktoru

4.1.4.1. Neřízené ředění koncentrace kyseliny borité v reaktoru

Vznik a scénář PIU

V této PIU se předpokládá neřízené ředění koncentrace kyseliny borité při plném výkonu reaktoru. Dojde tak k neřízenému dodání reaktivity do aktivní zóny reaktoru, které je způsobené snížením koncentrace kyseliny borité v chladiivu primárního okruhu. Tato situace nastane v důsledku chybného spuštění čerpadel systému doplňování a bórové regulace (TK).

Důvodem může být chyba operátora nebo selháním regulace v systému doplňování a bórové regulace. Uvažuje se, že čerpadla TK pracují s maximální možnou kapacitou a dodávají do I.O. čistý kondenzát. Nekontrolovaným ředěním koncentrace borité v chladiivu bude docházet k zavádění kladné reaktivity. Dále dojde ke zvýšení hustoty toku neutronů v aktivní zóně, a tím i ke zvýšení výkonu reaktoru. V případě neřízeného snižování koncentrace kyseliny borité v chladiivu dojde v důsledku zvýšeného výkonu k aktivaci PRPS. Povelem z PRPS dochází k pádu havarijních a regulačních klastrů do dolních koncových poloh. Uvažuje se “zaseknutí” neúčinnějšího regulačního klastru ve své horní pozici. V důsledku pádu havarijních a regulačních klastrů dojde v zóně reaktoru k zavedení záporné reaktivity, a tím i k utlumení počátečního nárůstu výkonu. Reaktor se nachází v podkritickém stavu a výkon reaktoru dosahuje úrovně zbytkového tepla.

Dále dochází k pozvolnému nárůstu výkonu v důsledku kladné zpětné vazby od snižování koncentrace kyseliny borité v chladiivu. Reaktor může dosáhnout opětovné kritičnosti. V takovém případě dojde k opětovnému nárůstu jeho výkonu. Rychlost zvyšování výkonu reaktoru může být tak velká, že zpětnovazební reaktivní účinky nebudou dostačující. Je možné, že tepelný tok v palivu dosáhne takových hodnot, které povedou k porušení palivového proutku.

Systémy a prostředky pro zvládnutí události

V rámci dané události se předpokládá funkčnost prostředků uvedených v Tab. 10. V uvedené tabulce jsou rovněž KP pro tuto událost.

Tab. 10 Neřízené ředění koncentrace kyseliny borité v reaktoru

Výpadek systému	Zasahující prostředky	Kritéria přijatelnosti
Chybné dodání chladiva s nízkou koncentrací H ₃ BO ₃ z TK do I.O.	OVKO PSA, RZV TG HNČ	nedosažení krize varu (DNBR) nepřekročení max. teploty paliva nepřekročení max. teploty pokrytí palivového proutku nepřekročení celkové lokální oxidace povlaku paliva nepřekročení radiálně středované entalpie v palivové tabletce

4.1.4.2. Nekontrolované vytažení skupiny regulačních orgánů a selhání ROR

Vznik a scénář PIU

PIU pro případ neřízeného vysouvání skupiny regulačních svazků na výkonu reaktoru je definována jako neřízené dodání reaktivity do aktivní zóny reaktoru. To je způsobeno vysunutím skupiny regulačních svazků. Tento proces by mohl být způsoben chybou operátora nebo selháním v systému řízení regulačních svazků. Zavedení vyšší reaktivity vyvolané vysouváním skupiny regulačních svazků způsobí zvýšení hustoty toku neutronů v aktivní zóně, a tím i zvýšení tepelného výkonu reaktoru. Z hlediska tohoto scénáře je konzervativní stav reaktoru na nízkém výkonu, kde může být neřízeným vysouváním skupiny regulačních svazků dodáno nejvyšší množství reaktivity do aktivní zóny reaktoru. Zvýšení tepelného výkonu AZ vede k nárůstu tlaku a teploty v I.O. Působením zpětnovazebních koeficientů dojde k dosažení ustáleného stavu v UB. Po vyhodnocení stavu bloku je následně v delším časovém horizontu dosaženo bezpečného stavu zabórováním I.O. prostřednictvím VTTQ spuštěných ručně operátorem.

Systémy a prostředky pro zvládnutí události

V rámci dané události se předpokládá funkčnost prostředků uvedených v Tab. 11. V uvedené tabulce jsou rovněž KP pro tuto událost.

Tab. 11 Nekontrolované vytažení skupiny regulačních orgánů a selhání ROR

Výpadek systému	Zasahující prostředky	Kritéria přijatelnosti
Chybné vysunutí skupiny regulačních svazků	Zařízení ZPP s výjimkou ROR	<p>nepřekročení max. teploty paliva</p> <p>nepřekročení max. teploty pokrytí palivového proutku</p> <p>nepřekročení celkové lokální oxidace povlaku paliva</p>

4.2. Globální DEC-A

4.2.1. SBO a v kombinaci s LUHS

Projektové řešení počítá s prostředky a postupy ke zvládnutí SBO. Spolu s SBO je uvažována LUHS. LUHS je jednou z možných příčin SBO z důvodu ztráty schopnosti chlazení DG následkem ztráty TVD.

SBO po Fukušimských stress testech

- všechny bloky JE jsou postiženy ztrátou napájení vlastní potřeby (LOOP) z vnějších sítí 400kV a 110kV a z vlastních turbogenerátorů z důvodů:
 - kolapsu vnější sítě (přetížení, systémové poruchy apod.)
 - účinků extrémních povětrnostních podmínek a jiné události ve venkovním prostředí (vítr, sníh, námraza, mráz, horko, údery blesku, EMI)
 - závady na zařízení, chyby v projektovém řešení, chyby operátorů při spínacích operacích apod.)
 - zemětřesení
 - požárů
 - záplav
- ve všech blocích JE žádný DG zajištěného napájení SZN 1,2,3 nebyl uveden do provozu z důvodu:

- poruchy ze společné příčiny DG (koncepce a projektové řešení všech diesel-generátorů jsou shodné)
- nedostačující odolnosti proti výše uvedeným extrémním vnějším jevům a závadám
- na všech blocích zůstává provozuschopné pouze napájení z akubaterií,
- přímo před nebo při SBO nevznikla žádná projektem uvažovaná iniciační událost DBA (např. LOCA)
- systémy JE, které jsou odolné, robustní nebo chráněné před zmíněnými vnějšími událostmi, ovšem s výjimkou systémů, které zapříčinily ztrátu napájení vlastní spotřeby, jsou v provozu nebo jsou funkce schopné. To znamená, že systémy a zařízení jednotlivých SZN, které splňují tyto podmínky, mohou být použity ve FSK a v postupech zvládnutí SBO.
- vnější infrastruktura v okolí JE je poškozena, takže bezpečnostní funkce musí být zajištěny z vnitřních zdrojů JE (bez podpory z vnějšku), a to minimálně po dobu prvních 72 hodin na základě výsledků stress testů a doporučení IAEA. Vnější elektrická síť může být mimo provoz dokonce déle - až několik dnů.

4.2.2. Scénáře rozvoje a zvládnutí SBO

Uvažuje se několik typových scénářů. Tyto scénáře byly navrženy v rámci po fukušimských opatření. Hlavním cílem je zamezení přechodu bloku do DEC-B, omezení radiačních následků a navrácení do normálního stavu bloku. Základními prostředky jsou DIV, ALT a postupy pro zvládnutí DEC. Způsoby zvládnutí SBO jsou:

- podání napájení z AAC DG 6kV (DIV) svého reaktorového bloku různými napájecími cestami
- podání napájení z AAC DG 6kV (DIV) sousedního reaktorového bloku různými napájecími cestami postiženému bloku – využití systémových DG 1,2,3 sousedního bloku přes AAC síť postiženému bloku
- podání elektrického napájení z mDG 0.4kV, dodávka napájecí vody mobilními ALT prostředky

Projekt definuje dvě diverzní skupiny FSK, označené jako FSK A (základní) a FSK B (záložní). Přičemž záložní FSK je vytvořena na principu jiné divize BS než základní FSK, rozsah systémů je přitom odpovídající.

4.3. DEC-B

V kapitole 3.2 byly popsány dva typové scénáře z důvodu požadavků na prostředky a doby pro zvládnutí. U obou scénářů je společný jmenovatel tavení paliva.

Obecně jsou k dispozici pro PWR tři různé strategie k zadržení taveniny:

- ExVC – ke stabilizaci taveniny dojde vně TNR (Lapače taveniny)
- IVR – ke stabilizaci taveniny dojde uvnitř TNR, tuto strategii lze dále rozlišit podle způsobu chlazení na:
 - IVR-Ex – chlazení vnějšího povrchu
 - IVR-In – chladivo je přímo vstříkováno do TNR

Uvedené strategie byly seřazeny podle nároků na prostředky. ExVC lze považovat za pasivní a spolehlivý systém, oproti IVR, kde musí být plněno několik požadavků. Do stávajících projektů není zpravidla možné s ohledem na rozměry a zásah do stavby aplikovat metodu ExVC. Významnou roli u metody IVR-Ex hraje tvar a rozměry dna TNR, objem AZ vůči TNR a konstrukce šachty reaktoru. Pro projekt ETE byla zvolena metoda IVR-In z důvodu nejistoty průkazu schopnosti odvodu zbytkového tepla z taveniny přes TNR metodou IVR-Ex.

V další část této kapitoly se bude věnovat metodě IVR-In. Jak už bylo popsáno, tato strategie vstříkuje chladivo do TNR. Cílem je zaplavit TNR před úplnou relokací taveniny na dno a udržení alespoň částečně chladitelné geometrie AZ. Odvod tepla je zajištěn vypařováním chladiva do KTMT.

Odpařování chladiva za účelem odvodu tepla ovlivňuje reaktivitu a přestup tepla. Většina solí zůstává v kapalném chladivu. Dochází tak k postupnému zahušťování. Tento jev je důležitý především ve vztahu ke kyselině borité. V případě pozdějšího chlazení čistou vodou nehrozí okamžité obnovení štěpné reakce. V opačném případě z důvodu vysokých koncentrací bude docházet k vysrážení kyseliny borité na nejteplejších místech (zbylé palivo, tavenina), tím

dojde ke zhoršení přestupu tepla. Opětovně se tak navýší teplota v tavenině a ve zbylém palivu.

Doplňování chladiva do TNR zajišťuje na ETE systém TB60. Jedná se o ALT prostředek. Diesel čerpadlo využívá k plnění vodu z nádrží TB nebo z havarijní jímky GA 201. Podrobný popis je uveden v kapitole 6.2.4.

Čerpadlo TB60 nemá dostatečný výtlak k přetlačení nominálního tlaku I.O. Aby bylo možné využít metodu IVR-In, musí být TNR odtlakována. Pokud je vstupní událostí nezvládnutá LOCA, tak k odtlakování již došlo při samotné události. V případě nezvládnuté SBO nemusí být TNR odtlakována v závislosti na předchozích činnostech. V takovém případě musí nejprve dojít k odtlakování.

Po stabilizaci RB a po následném převedení do bezpečného stavu bude následovat trvalé odstavení a poté decommissioning.

Pro případ otevřeného reaktoru je nutné rozlišit, zda je reaktor propojen s BSVP. V takovém případě je chlazení zajištěno pomocí ALT prostředků přes T – kus instalovaný na dostupnou potrubní trasu, která nebyla využita v DEC A. Pokud reaktor není propojen s BSVP, je možné pro doplňování chladiva použít systém TB60.

Chlazení PS v BSVP musí být zajištěno použitím ALT prostředků přes T – Kus na jinou divizi potrubní trasy TG systému než v DEC A.

4.3.1. Okrajové podmínky

Při určování výchozího stavu bloku pro DEC-B vycházíme z typového scénáře zahrnujícího DEC-B jako důsledek nezvládnuté LOCA, nebo jako následek nezvládnuté SBO.

Pro použití technických prostředků v DEC-B musí být jasná informace o nezvládnutí stavu DEC-A pomocí DiD. Zároveň musí být poskytnuta dostatečná doba pro přípravu technických prostředků v DEC-B. Vstup do DEC-B je charakterizován nárůstem teploty na výstupu z AZ. Pokud není možné měřit teplotu na výstupu z AZ (otevřený reaktor), lze použít hodnotu dávkového příkonu v ochranné obálce.

Pro další postup jsou podstatné informace o stavu prostředí uvnitř v kontejnmentu (teplota, tlak, aktivita), které se uvažují v okrajových podmínkách.

Dále se předpokládá, že na základě vnějších vlivů (např. seismicity) může být v lokalitě omezen, nebo zamezen přístup k některým systémům (trosky budov a technologie, aktivita). Vlivem úniku mohou na lokalitě nastat zvýšené radiační podmínky.

U globálních havárií se nepředpokládá pomoc z dalších bloků z důvodu jejich zasažení. Z důvodů zasažení okolí elektrárny, poškození civilních budov a infrastruktury se uvažuje, že poskytnutí vnější pomoci dojde 72 hodin od IU.

5. Provozní režimy, návody a předpisy

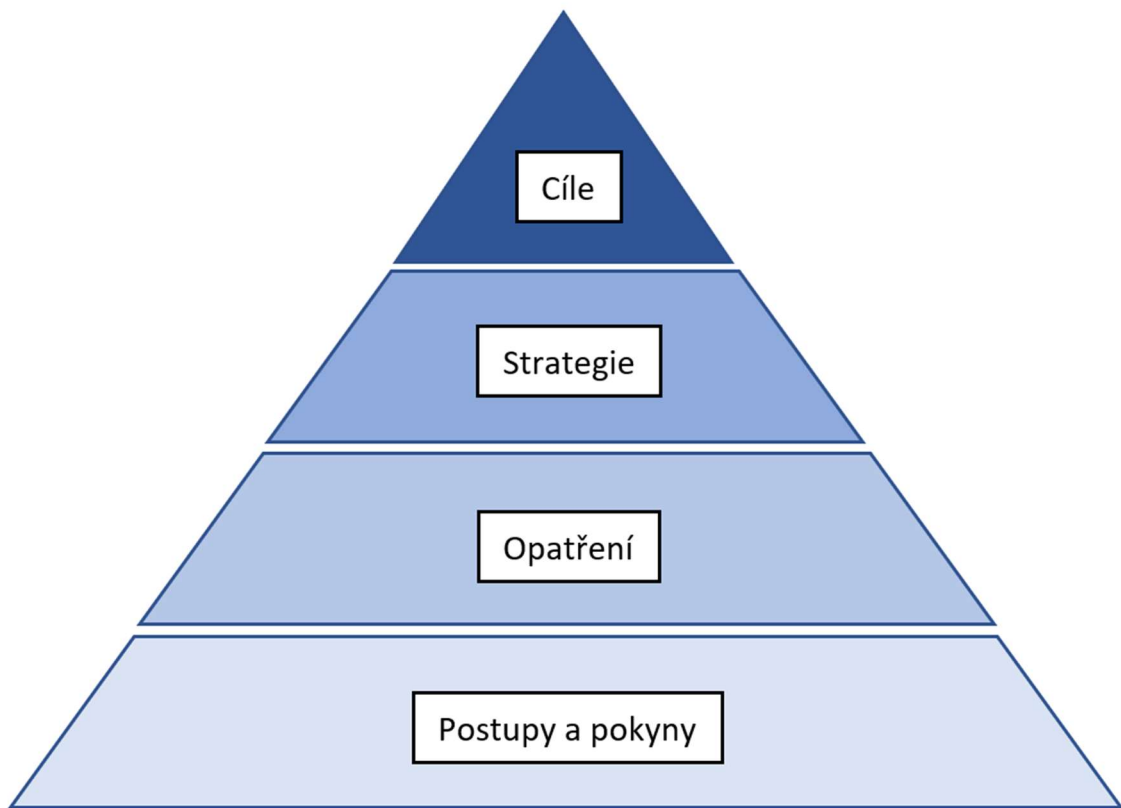
Tato kapitola, není-li uvedeno jinak, je sepsána na základě informací obsažených v dokumentu Accident Management Programmes for Nuclear Power Plants (SSG-54). (12)

5.1. Požadavky na tvorbu předpisů

Návody a předpisy pro rozšířené projektové stavy pro zvládnutí nehod se skládají ze všech činností a procesů vypracovaných a prováděných za účelem splnění požadavků pro prevenci a zmírnění následků nehod.

Předpisy pro rozšířené projektové stavy by se měly zabývat všemi stavy a veškerým možným umístěním paliva včetně BSVP. Zároveň by se měly brát v úvahu možné kombinace událostí, které by mohly vést k havárii. Předpisy by měly rovněž zohlednit vnější rizika závažnější než ty, které se uvažují v projektu a jsou odvozeny z nebezpečí v lokalitě. (13)

K vypracování předpisů pro rozšířené projektové stavy musí být použit strukturovaný přístup shora dolů, který je znázorněn na Obr. 3. Tento přístup shora dolů musí mít na začátku vytyčené cíle spolu s identifikací problémů a zranitelných míst elektrárny. Dále budou následovat strategie k dosažení cílů, po nichž by měla následovat opatření k provádění strategií. V kombinaci s tím by tyto strategie a opatření měly zahrnovat zohlednění schopností zařízení. Nakonec v projektu musí být vypracovány postupy a PP pro zvládnutí DEC k provádění těchto strategií a opatření. PP pro zvládnutí DEC musí zahrnovat jak preventivní, tak i zmírňující oblast.



Obr. 3 Strukturovaný přístup pro řešení havárií

V projektu musí být určeno více strategií, které musí být vyhodnoceny a v případě potřeby vypracovány k dosažení cílů řízení havárií, které zahrnují:

- (a) prevenci nebo oddálení poškození palivových elementů
- (b) okamžité zabránění poškození paliva ihned po iniciaci
- (c) udržení integrity tlakové nádoby reaktoru, aby se zabránilo jejímu roztavení, zejména při vysokém tlaku
- (d) udržení celistvosti kontejnmentu a zamezení vzniku bypassu (únik přes potrubí procházející kontejnmentem)
- (e) minimalizace úniků radioaktivních látek z paliva nebo na jiných místech, kde by mohlo dojít k úniku radioaktivních látek
- (f) uvedení elektrárny do dlouhodobě bezpečného stabilního stavu, v němž jsou zachovány ZBF

Z několika strategií zvládnutí havárií musí dojít k prioritizaci strategie s přihlédnutím k poškození elektrárny a ke stávajícím a očekávaným problémům.

Základem pro výběr priorit mezi strategiemi zvládnání havárií by mělo být následující:

- (a) Před významnou degradací palivových proutek: Hlavní prioritou je zabránit poškození paliva a druhou prioritou je udržet nebo obnovit integritu kontejnmentu.
- (b) Po významné degradaci palivových proutek: Nejvyšší prioritou je zachování integrity kontejnmentu.

Dále by se při určování priorit strategií u předpisů pro rozšířené projektové stavy měly zohlednit následující skutečnosti:

- (a) časový rámec a závažnosti problémů s bariérami proti úniku radioaktivního materiálu
- (b) dostupnost podpůrných funkcí, jakož i možnosti jejich obnovení
- (c) počáteční provozní režim elektrárny - havárie se může rozvinout v provozních režimech, v nichž již na počátku havárie došlo ke ztrátě jedné nebo více bariér proti štěpným produktům
- (d) obtížnost souběžného provádění několika strategií PP pro DEC

Pokud se strategie předpisů pro rozšířené projektové stavy spoléhají na mobilní prostředky po delší ztrátě veškerého střídavého napájení, je nutné přijmout projektová opatření, která zajistí, aby personál mohl tato zařízení instalovat a obsluhovat v časovém rámci nezbytném k zamezení ztráty základních bezpečnostních funkcí, a to s ohledem na možné nepříznivé podmínky na místě. Musí být k dispozici podpůrné prostředky, jako je palivo pro tyto mobilní prostředky. Rovněž musí být k dispozici prostředky pro zprůchodnění komunikací v případě nepříznivých povětrnostních vlivů.

Při volbě strategie zvládnutí havárie, kterou je potřeba realizovat v určitém časovém prostoru, projekt musí zohlednit nejistotu při přesném určování doby, která uplynula od vzniku havárie.

Ze strategie uvedené v projektu budou odvozena vhodná a účinná opatření pro zvládnání havárií, která odpovídají dostupným fyzickým prostředkům v elektrárně. Důležitou součástí těchto opatření jsou obvykle akce iniciované pracovníky v BD

nebo akce prováděné na jiném místě. Během skutečné havárie by taková opatření zahrnovala použití systémů a zařízení, které jsou stále k dispozici, obnovu selhávajícího zařízení a případně použití mobilních prostředků uložených v areálu nebo mimo areál.

Z projektem určených strategií zvládnání havárií musí být vypracovány příslušné PP pro DEC nebo návody ve formě EOP a SAMG.

PP pro DEC musí být vypracovány pro všechny rozumně předvídatelné události, které by mohly ohrozit ZBF nebo bariéry zamezující úniku radioaktivního materiálu. Vytvořené PP pro zvládnání DEC musí být nedílnou součástí celkových havarijních opatření a zároveň musí být koordinovány s havarijním plánem na pracovišti. Dále musí být stanovena linie odpovědnosti a odpovědnosti za provádění opatření pro případ havárie během provádění pokynů pro zvládnání havárie.

PP pro DEC musí být specifikované počáteční podmínky pro použití EOP a podmínky zařízení, za kterých má být proveden přechod z EOP na SAMG. Počáteční podmínky pro použití EOP a podmínky pro přechod na SAMG musí vycházet z definovaných a zdokumentovaných kritérií.

PP pro DEC se musí zabývat celým spektrem událostí včetně pravděpodobných a relevantních vnitřních i vnějších nebezpečí a možných komplikací během jejich vývoje, které by mohly být způsobeny dalšími selháními hardwaru nebo lidskými a organizačními chybami. Musí být zváženy sekvence nehod zahrnující nevhodné činnosti obsluhy (chyby z opomenutí nebo chyby z nedbalosti) vedoucí k poškození AZ.

PP pro DEC pro hodnocení poškození elektrárny musí být součástí přepisů pro rozšířené projektové stavy a musí být vypracovány tak, aby řešily problémy se ZBF nebo bariérami proti úniku štěpných produktům. Zvláště důležité je hodnocení přístupu do areálu a strukturálního poškození budov v důsledku vnějších nebezpečí závažnějších, než jsou nebezpečí uvažovaná v projektové dokumentaci.

V případě možnosti musí být PP pro DEC založené na přímo měřitelných parametrech zařízení, nebo na informacích odvozených z jednoduchých výpočtů a

musí zohledňovat možnou ztrátu nebo nespolehlivou indikaci základních parametrů u zařízení, která nebyla navržena tak, aby odolala takovým havarijním podmínkám.

5.2. Požadavky na tvorbu EOP a SAMG

Projekt JE požaduje při zpracování EOP a SAMG brát v úvahu potenciální ztrátu struktury řízení a kontroly v důsledku poškozené infrastruktury (např. v důsledku vnějšího nebezpečí, které je závažnější, než jsou nebezpečí uvažovaná v projektu, odvozená z hodnocení nebezpečí v lokalitě) a musí vypracovat související PP pro zvládání DEC, které zohledňují následující skutečnosti:

- (a) počet zasažených bloků (AZ reaktoru a BSVP)
- (b) funkčnost a obyvatelnost řídicích prostor
- (c) poškození základních konstrukcí a budov
- (d) dostupnost střídavého a stejnosměrného proudu potřebného pro provoz systémů elektrárny
- (e) přístup k základním budovám a zařízením
- (f) dostupnost provozního personálu a pracovníků na lokalitě pro provádění postupů a pokynů
- (g) zda mohou být činnosti prováděny personálem bez licence, typicky pomocnou obsluhou
- (h) dostupnost dalších řídicích místností a personálu na místě v samostatných budovách
- (i) schopnost komunikace v rámci struktury krizového řízení a kontroly elektrárny a s organizacemi mimo lokalitu

Projekt požaduje vypracování podpůrných postupů nebo pokynů pro používání přístrojového vybavení a zařízení pro zvládání takových podmínek. V některých situacích mohou být opatření pro řízení odezvy nedostupná. Dále PP pro zvládání DEC musí obsahovat podmínky pro použití takových podpůrných postupů nebo pokynů.

PP pro DEC musí být podpořeny příslušnou popisnou částí. Tato dokumentace by měla popisovat a vysvětlovat důvody jednotlivých částí pokynů pro zvládnání havárií a měla by obsahovat vysvětlení každého kroku, je-li to nutné.

5.2.1. Požadavky na tvorbu SAMG

Dle požadavku projektu musí SAMG obsahovat popis pozitivních a negativních potenciálních důsledků navrhovaných opatření včetně kvantitativních údajů, pokud jsou k dispozici a jsou relevantní. Navržené PP pro zvládnání DEC musí být jednoduché, jasné a jednoznačné. Zároveň musí obsahovat dostatek informací, aby personál elektrárny a pracovníci podpůrných organizací mohli včas rozhodnout o opatřeních, která je třeba přijmout během vývoje závažné havárie.

5.3. Předpisy pro vnější rizika

V programu zvládnání havárií musí být zvažována vnější nebezpečí s úrovní závažnosti přesahující velikost stanovenou v hodnocení lokality nebo jejího ekvivalentu a se střední roční četností přesahující pravděpodobnost havárií stanovenou v projektu elektrárny. V Tab. 12 jsou uvedeny Parametry jevů s dobou návratu 100 a 10 000 let pro ETE.

V pokynech je důležité zohlednit, že v případě vnějších nebezpečí, která jsou závažnější než nebezpečí uvažovaná pro projekt, odvozená z hodnocení nebezpečí pro lokalitu, může dojít k rozsáhlému poškození infrastruktury. V takovém případě zdroje mimo lokalitu nebudou snadno dostupné. Příklady takových zdrojů mimo lokalitu zahrnují lidské zdroje, komunikační prostředky, dodávky elektrické energie, dopravní prostředky a dostupnost náhradních dílů, maziv, stlačeného vzduchu, vody a paliva.

V pokynech musí být zohledněná potřeba odstranění trosek v důsledku vnějších nebezpečí, která jsou závažnější než pro projekt uvažovaná nebezpečí, odvozená z hodnocení nebezpečí v lokalitě. Je důležité zvážit jejich odstranění za špatných povětrnostních podmínek. V takovém případě může být nutné použít těžkou techniku.

Mobilní prostředky je důležité umístit na různorodých místech v takovém rozsahu, aby se předešlo selhání ze společné příčiny v důsledku vnějších nebezpečí, jako jsou zemětřesení a vlna tsunami.

Tab. 12 Parametry jevů s dobou návratu 100 a 10 000 let pro ETE (6)

Událost (klimatický jev) / Parametr	Doba návratu 100 let		Doba návratu 10 000 let	
	Hodnota	Zatížení	Hodnota	Zatížení
Nárazový vítr / rychlost Okamžitá rychlost Rychlost 10 s průměr Rychlost 10 min průměr Základní tlak větru dle čl. 165 ČSN 73 0035 Základní dynamický tlak větru dle čl. 4.5 ČSN EN 1991-1-4	48,00 m/s 38,90 m/s 26,80 m/s	0,94 kN/m ² 0,45 kN/m ²	65,00 m/s 52,70 m/s 36,30 m/s	1,73 kN/m ² 0,82 kN/m ²
Sníh / přepočtený vodní sloupec	109,00 mm	1,09 kN/m ²	189,00 mm	1,89 kN/m ²
Dešťové srážky /vodní sloupec (za 24 hodin)	105,00 mm		180,00 mm	
Maximální teplota Okamžitá hodnota 6hodinový průměr 24hodinový průměr 7denní průměr	42,00 °C 38,50 °C 31,60 °C 27,70 °C		52,00 °C 46,20 °C 38,80 °C 34,50 °C	
Minimální teplota Okamžitá hodnota 6hodinový průměr 24hodinový průměr 7denní průměr	-35,60 °C -30,40 °C -24,30 °C -20,40 °C		-47,00 °C -46,40 °C -37,30 °C -33,10 °C	
Seismicita Horizontální směr a 5% útlum	SL-1 0,5 . SL-2		SL-2 0,1 g	

Musí být zvaženo zajištění více přípojných míst, aby se usnadnilo použití mobilních prostředků během havárie způsobené vnějšími nebezpečími s přihlédnutím k přínosům a možným negativním důsledkům.

5.4. Předpisy pro globální nehody

V případě lokality jaderné elektrárny s více bloky musí předpisy pro zvládání havárií zohledňovat souběžné havárie ovlivňující více bloků. (13) Tuto možnost je důležité zohlednit v pokynech, v požadavcích na množství personálu a jeho schopnosti. Především v případě přírodního nebezpečí v lokalitě nemusí být část personálu dočasně nebo trvale k dispozici.

V případě havárie na více blokové JE musí být stanoveno, v jaké situaci budou další bloky odstaveny. Každý blok více blokové jaderné elektrárny musí mít vlastní bezpečnostní systémy a musí mít vlastní bezpečnostní prvky pro DEC. Dále se požaduje, aby byly v projektu pro zvládnutí havárií zváženy prostředky umožňující propojení mezi bloky více blokové elektrárny. U sdílených systémů musí být zajištěna odpovídající kapacita a provedena identifikace potenciálního dopadu na všechna zařízení nebo systémy. (4) Tyto sdílené systémy musí umožnit odstavení ostatních bloků při havárii na jednom bloku.

6. Popis jednotlivých opatření a systémů pro DEC

V této kapitole je uveden popis systémů využívaných v DEC. Pro lepší přehled jsou systémy rozděleny z hlediska vlivu na jadernou bezpečnost. Využívané systémy byly určeny podle DBD1 K1 – ETE (6). Informace o jednotlivých systémech byly čerpány DBD1 K2 – ETE (14), nebo z dalších uvedených zdrojů.

6.1. DEC-A

Systémy využívané pro prevenci přechodu do DEC-B a omezení radiačních následků se dají rozdělit do dvou skupin, a to na využívané ZPP zahrnuté v původním projektu a systémy doplněné do projektu pro využití v DEC-A.

6.1.1. Využití základní projektové prostředky v DEC-A

S ohledem na to, že se jedná o systémy zahrnuté v původním projektu, jsou v Tab. 13 uvedeny pouze dotčené systémy bez dalších podrobností. V tabulce jsou uvedeny základní informace. Uváděním dalších podrobností o dlouhodobě zavedených systémech by nepřineslo nové informace.

V ZPP jsou zahrnuty BS, SSB a provozní systémy. U ZPP se uvažuje, že část systémů nemusí být vlivem poruchy, nebo havárie funkční. V takovém případě dojde k využití další divize systému, nebo jiného systému.

Tab. 13 ZPP využívané v DEC-A

Název systému	Zkratka	BS/SSB	ZBF
Pasivní systém havarijního chlazení AZ	HDA	BS	ZBF2
Vysokotlaký systém doplňování chladiva do reaktoru	VTTQ	BS	ZBF2
Systém vysokotlakého vstřikování chladiva do reaktoru	PTTQ	BS	ZBF1
Nízkotlaký systém havarijního doplňování chladiva do reaktoru	NTTQ	BS	ZBF2
Sprchový systém	SS	BS	ZBF3
Nádrž – jímka	GA 201	BS	ZBF2, 3
Systém po havarijní likvidace vodíku	TL99	BS	ZBF3

System doplňování do I.O.	TK	SSB	ZBF1, 2
System havarijního odvodu paroplynné směsi z I.O.	YR	BS	ZBF2
Pojistný ventil kompenzátoru objemu	PVKO	BS	ZBF2
Odlehčovací ventil kompenzátoru objemu	OVKO	BS	ZBF2
Přepouštěcí stanice do atmosféry	PSA	BS	ZBF2
Přepouštěcí stanice do kondenzátoru	PSK	-	ZBF2
Pojišťovací ventil parogenerátoru	PVPG	BS	ZBF2
Napájecí nádrž	NN	-	ZBF2
System havarijního napájení PG	TX	BS	ZBF2
Havarijní napájecí čerpadlo	HNČ	BS	ZBF2
Rychlozávěrné ventily turbogenerátoru	RZV TG	-	ZBF3
Technická voda důležitá	TVD	BS	ZBF2, 3
Pracovní napájení vlastní spotřeby	PNVS	-	Podpůrné
Rezervní napájení vlastní spotřeby	RNVS	-	Podpůrné
Diesलगенераторová stanice	DGS	BS	Podpůrné
Společná diesलगенераторová stanice	SRDGS	SSB	Podpůrné
System nepřetržitého napájení (akubaterie)		BS	Podpůrné
Post Accident Monitoring System (pohavarijní monitorovací systém)	PAMS	BS	Podpůrné

6.1.2. Systémy pro DEC-A

Níže jsou uvedeny systémy, které byly do projektu JE doplněny za účelem jejich využití ve stavu DEC-A. Na rozdíl od ZPP (uvedených výše) jsou tyto systémy projektovány s ohledem na podmínky v DEC-A.

6.1.2.1. Odtlakování I.O.

System odtlakování I.O. je primárně navržený pro stav DEC-B, lze ho však využít i ve stavu DEC-A. Podrobný popis je uveden v kapitole 6.2.1.

V případě LOCA havárie se tento systém nevyužívá. Odtlakování proběhne samo IU. Využití odtlakování v DEC-A je možné především za účelem umožnění odvodu tepla z AZ. Po úspěšném odtlakování je možné do I.O. doplňovat chladivo všemi dostupnými BS, provozními, nebo pomocnými systémy, rovněž ALT a DIV systémy. Pokud je I.O. pod plným provozním tlakem, může do něj doplňovat chladivo pouze BS PTTQ a provozní systém TK. Oba systémy nemusí být v DEC-A k dispozici.

V odtlakovaném I.O. se teplo z AZ vypařováním chladiva přenáší do KTMT. Odtlakování I.O. se tak podílí na plnění ZBF2. Personál BD, případně ND, odkud je systém spuštěn, musí zvážit i negativní dopad odtlakování. Tím je aktivace celého prostoru KTMT. Spolu s vypuštěním páry do prostoru KTMT totiž dojde i k vypuštění RA částic. Z toho důvodu bude muset proběhnout nákladná dekontaminace KTMT, která si vynutí dlouhodobou odstávku.

6.1.2.2. Diverzní systém doplňování odtlakovaného I.O./BSVP/GA201

Podkladem pro tuto kapitolu je PrBZ (15) a DBD1 K1 (6).

Diverzní systém doplňování odtlakovaného I.O./BSVP/GA201 označovaný na ETE jako TB50, slouží ve stavu DEC-A k doplňování média do uvedených částí elektrárny. Na Obr. 4 je schematicky znázorněna zelenou barvou část systému TB50.

Hlavní funkcí systému TB50 je doplňování do odtlakovaného I.O. za účelem odvodu tepla z AZ do KTMT pomocí odparu. Tím dochází k plnění ZBF2. Odtlakování je vyžadováno z důvodu maximálního možného tlaku od čerpadel TB50 a pro umožnění odvodu páry do KTMT.

V případě SBO může systém doplňovat vodu i do BSVP, kde bude opět zajišťovat plnění ZBF2. Princip odvodu tepla bude stejný, odparem do KTMT. Při LOCA havárii s neuzavřením cirkulace chladiva zpět do jímky, respektive únik do II.O., je možné TB50 doplňovat médium do jímky GA201.

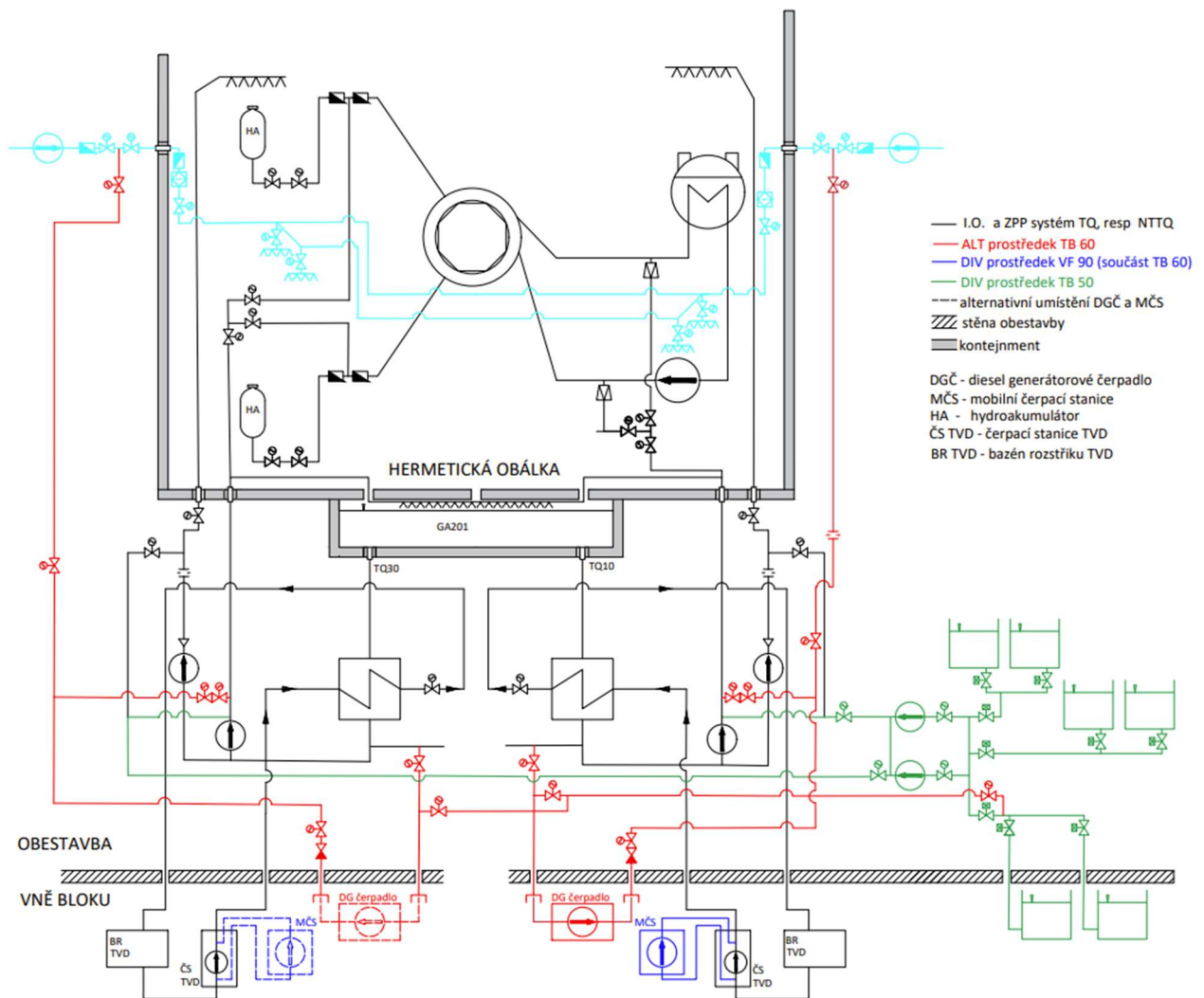
Systém TB50 je tvořen dvěma paralelně zapojenými čerpadly (pro případ výpadku jednoho čerpadla), do kterých je přivedena voda z celkem šesti nádrží. Výtlak čerpadla je přibližně 11,1 kg/s. Z dlouhodobého hlediska je umožněno doplňování pomocí požární techniky přes průchodky umístěné na obestavbě. Výtlak čerpadel je zaveden do 1. respektive do třetí divize havarijních systémů (každá trasa je schopná dodat 100 % požadovaného průtoku).

Hlavní charakteristiky čerpadel TB50 jsou:

- médium: demineralizovaná voda a média s různou koncentrací kyseliny borité do max. 45 g/kg
- průtokové množství: 40 m³/h což odpovídá 11,1 kg/s
- výtlak čerpadla: 1,5 MPa
- teplota média: 1–90 °C
- max. tlak na sání: 0,11 MPa

Hlavními požadavky na DGČ jsou:

- odolnost vůči charakteristickému prostředí v KTMT, vnitřním vlivům a seismicitě.
- odolnost proti vnějším vlivům zajišťuje stavební část.
- dimenzování na spolehlivé doplňování vody do AZ, BSVP a GA201 v DEC-A.
- uvádění do provozu je ručně, a to tlačítky umístěnými na dveřích příslušného rozvaděče.
- zajištěné napájení II. kategorie z AAC sítě, nebo SZN3.



Obr. 4 Schéma ZPP, DIV a ALT prostředků doplňování chladiva do TNR (15)

6.1.2.3. AAC DGS

Podkladem pro tuto kapitolu je DBD1 K2 (14).

AAC DGS slouží jako střídavý diverzní zdroj elektrické energie při ztrátě pracovních rezervních i nouzových zdrojů. Fakticky se tak jedná o SBO ve stavu DEC-A. Elektřina slouží k napájení vybraných spotřebičů v síti SZN II. kategorie, případně kategorie III/II. AAC DGS zároveň zajišťuje dobíjení akumulátorových baterií SZN I. kategorie.

AAC DGS je tvořen třemi kontejnery – zdrojovým, chladícím a technologickým. Samotný dieslgenerátor je umístěn ve zdrojovém kontejneru. Technologický kontejner obsahuje VZT, palivové hospodářství a elektro rozvodnu AAC DGS. Chladicí kontejner zajišťuje chlazení AAC dieslgenerátoru.

Na ETE jsou umístěny dvě AAC DGS. Přitom pro napájení obou bloků stačí jedna AAC DGS. S ohledem na odolnost a možné škody jsou stanice umístěny v dostatečné vzdálenosti od HVB, DGS a zároveň jsou vzdálené sami od sebe. Tím je zajištěno vyřazení ze společné příčiny.

Hlavní požadavky na AAC DGS jsou:

- musí být funkční při seismické události a po ní.
- uložení v seismicky odolné stavbě (kontejneru).
- dispoziční uspořádání v samostatných oddělených prostorech
- dimenzování na spolehlivé napájení SZN II. kategorie, případně kategorie III/II.
- uvádění do provozu je ručně dálkově z BD, nebo z místa v případě úplné ztráty zdrojů elektrického napájení (SBO).
- AAC DGS jsou společné pro všechny bloky.

AAC DGS nepotřebují elektrické napájení ke svému chodu. Je však nutné zajistit včasnou dodávku paliva pro jejich dlouhodobý provoz.

6.1.2.4. Dodávka vody do PG

Dodávka vody do sekundární strany PG je zajištěna pomocí systému havarijního napájení PG a mobilních prostředků. Cílem je zajištění odvodu tepla z AZ do I.O. a dále do okolí. Doplnění vody do PG se tedy podílí na ZBF2.

Odvod tepla z PG probíhá odparem vody. Pára je následně odváděna do kondenzátoru, nebo vypouštěna do atmosféry. Z toho důvodu dochází při vypouštění do atmosféry k úbytku chladiva a je nutné vodu do PG znovu doplňovat. ZPP ve stavu DEC-A nemusí být schopné doplňovat vodu do PG. Z toho důvodu je plánované využití mobilních prostředků. Je však nutné, aby byly příslušné PG odtlakovány s ohledem na maximální možný tlak mobilních čerpadel.

Přenos tepla z AZ do primární části PG probíhá pomocí přirozené cirkulace. Její funkčnost je dána konstrukcí I.O. a rozdílem teploty, respektive hustoty chladiva v AZ a PG. Jejich rozdíl je dán právě odvodem tepla z PG. Přirozená cirkulace může být negativně ovlivněna přítomností paroplynné směsi v I.O.

Proces doplňování a podrobnější popis systému je popsán v kapitole 6.2.2, kde se využívají stejná zařízení a PT, ovšem za jiným účelem.

6.1.2.5. Diverzní ochranný systém

Diverzní ochranný systém (DPS) vznikl na základě požadavku na DIV zálohování nejdůležitějších systémů SKŘ. Tento systém umožňuje havarijní odstavení dochlazení a monitorování reaktoru v případě, že by všechny tři divize projektového systému PRPS selhaly ze společné příčiny. Nejpravděpodobnějším důvodem selhání PRPS ze společné příčiny je softwarová chyba. DPS je proto projektován na odlišných funkčních hardwarových a softwarových základech, než je tomu u PRPS. V případě využití systému DPS se tento systém podílí na všech ZBF.

DPS je tvořen třemi divizemi (vyjma monitorovacích systémů), které ovládají jednotlivé divize BS. V tomto případě není vyžadováno zálohování systému DPS, ale v případě jednoduché poruchy na příslušné divizi BS by DPS neměl prostředky pro zásah.

Tento systém na rozdíl od ostatních uvedených systémů není specificky navržen pro stav DEC-B. Jeho využití se uvažuje v jakémkoliv stavu při selhání PRPS ze společné příčiny.

Technologická čidla jsou sdílená se systémy PRPS a PAMS. Systém DPS je připojen na SZN a skládá se ze čtyř subsystémů:

- DIV systém rychlého odstavení reaktoru (3 divizní)
- DIV bezpečnostního systému (3 divizní)
- DIV monitorovací systém BD (1 divizní)
- DIV monitorovací systém ND (1 divizní)

6.2. DEC-B

6.2.1. Odtlakování I.O.

Podkladem pro tuto kapitolu je DBD1 K1 (6).

Odtlakování I.O. je základní důležitou funkcí při přechodu do DEC-B. Jedná se o nezbytnou funkci při scénáři bez porušení integrity I.O. V závislosti na vstupních podmínkách z nezvládnuté SBO (vysokotlaký scénář) Obr. 4 může být v I.O.

nominální, nebo i vyšší tlak. Vysoký tlak v I.O. zamezuje využití dalších prostředků pro obnovení ZBF2. Tento systém se tedy podílí na obnově ZBF2. V případě nízkotlakého scénáře (nezvládnutá LOCA) dojde k odtlakování samotnou IU a spuštění tohoto systému není nutné.

Z důvodu nezávislosti na ZPP je požadováno odtlakování I.O. pomocí DIV prostředků pro provoz v podmínkách DEC-B. Lze však využít stávajících PT. Je uvažováno využití elektroarmatur s ohledem na spolehlivé otevření a setrvání v otevřeném stavu.

Uvažovaným scénářem těžké havárie je SBO, tj. ztráta střídavého elektrického napájení. Odtlakování I.O je zahájeno s prodlevou 10 min od dosažení teploty na výstupu z AZ 650 °C. Nezávislý soubor prostředků má zabezpečit odtlakování I.O. z počáteční hodnoty 17,4 MPa (abs.) na konečnou hodnotu přetlaku 0,5 MPa oproti tlaku v kontejnmentu během cca 2 hodin. Počáteční teplota v I.O. je předpokládána až 650 °C a proudící médium může v pozdější fázi dosáhnout teploty 1000 °C.

Hlavními požadavky na systém odtlakování jsou:

- Využití DIV prostředků se spolehlivým otevřením a setrváním v otevřeném stavu.
- Odolnost vůči charakteristickému prostředí v KTMT, vnitřním vlivům a seismické činnosti. Stavební část musí zajistit odolnost proti vnějším vlivům.
- Dostatečné dimenzování armatur a potrubí s ohledem na hltnost a dodržení času pro odtlakování – snížení tlaku na 1,2 MPa
- Udržet snížený tlak i po zahájení doplňování chladiva do TNR.
- Řízení armatur bude provedeno ze zařízení umístěného na BD a ND. Zároveň musí být možné řídit armatury z ALT prostředků (přenosný ovládací kufr).
- Napájení bude provedeno ze zdrojů elektrické energie – I. kategorie ze SZN 1,2,3. Případně pomocí ALT prostředků v podobě přenosné elektrocentrály pro napájení drobných spotřebičů.

Snížení tlaku v TNR vede ke snížení škod v případě neúspěchu metody IVR-In. Odtlakování vede ke snížení pnutí v TNR, to prodlouží čas do protavení TNR. Tavenina navíc nebude tlakově vypuzena z reaktoru.

6.2.2. Znovuzaplavení PG

Podkladem pro tuto kapitolu je DBD1 K2 (14).

Znovuzaplavení sekundární strany PG je zajištěno pomocí systému havarijního napájení PG a mobilních prostředků. Cílem je zabránění šíření štěpných produktů z I.O. do ŽP přes II.O. Za tímto účelem je nutné ochránit integritu teplosměnných trubiček jako fyzikální bariéry I.O. Zaplavení PG se tedy podílí na ZBF3 a částečně na ZBF2.

Samotné zaplavení sekundární strany PG zamezuje šíření štěpných produktů do ŽP, zároveň dojde k zamezení creepovému lomu trubiček PG. Pokud jsou PG zaplaveny, dochází k částečnému odvodu tepla z I.O., a tedy i z taveniny.

Doplňování do PG bude realizováno pomocí alternativních mobilních prostředků (mobilní čerpadlo HZSp, hasičské auto). Aby bylo možné doplňovat vodu do PG, musí být PG na sekundární straně odtlakovány. Předpokládané umístění mobilních prostředků při havárii je vně obestavby. Z toho důvodu musí být zajištěny nátrubky na vnější straně obestavby.

Přívod vody do PG může být zajištěn stávajícími trasami systému havarijního napájení PG. Na těchto PT jsou umístěny uzavírací elektro armatury s ohledem na spolehlivé otevření. Jejich řízení bude z BD, nebo z ND. Napájení se vyžaduje pouze pro otevření a může být realizováno pomocí přenosné elektrocentrály. U nátrubků jsou umístěny ruční uzavírací armatury, které v případě potřeby budou otevřeny zasahujícím personálem. Ke zprůchodnění tras pro doplňování PG je tedy zapotřebí zásah z BD, nebo ND a zároveň HZSp.

Mobilní čerpadla HZSp a hasičská vozidla nepotřebují elektrické napájení ke svému chodu. Je však nutné zajistit včasnou dodávku paliva pro jejich dlouhodobý provoz.

Hlavními požadavky na mobilní prostředky pro znovuzaplavení PG jsou:

- Zařízení musí být funkční po seismické události, seismická odolnost ale není definována.

- Mobilní prostředky musí být uloženy v seismicky odolné stavbě.
- Mobilní prostředky musí být dimenzovány tak, aby zajistily spolehlivé doplňování vody a odvod tepla v DEC-B.
- Zařízení jsou uváděna do provozu ručně a jsou společná pro všechny bloky.

Hlavními požadavky na PT a jejich komponenty pro znovuzaplavení PG jsou:

- Odolnost vůči charakteristickému prostředí v KTMT, vnitřním vlivům, vnějším vlivům (nátrubky) a seismické činnosti. Stavební část musí zajistit odolnost proti vnějším vlivům (vyjma nátrubků).
- Dostatečné dimenzování armatur a potrubí s ohledem na hltnost.
- PT a její komponenty musí být těsné.
- Řízení armatur bude provedeno ze zařízení umístěného na BD a ND. Zároveň musí být možné řídit armatury z ALT prostředků (přenosný ovládací kufr).
- Napájení bude provedeno ze zdrojů elektrické energie – kategorie II_DEC (je požadováno napájení z DIV nebo ALT AAC zdroje). Případně pomocí ALT prostředků v podobě přenosné elektrocentrály pro napájení drobných spotřebičů.

Mobilní čerpadla budou do PG doplňovat vodu dodávanou HZSp, nebo je možné využít jednu nádrž havarijního napájení PG. Od této nádrže je vyvedena PT do nátrubku na vnější stěně obestavby RB, kde je možné připojit sání mobilního čerpadla. Systém havarijního napájení PG je tvořen třemi divizemi, z nichž každá obsahuje jednu nádrž. Nádrže je možné propojit. V jedné nádrži je cca 500 m³ demineralizované vody.

6.2.3. Systém po havarijní likvidaci vodíku v ochranné obálce – PAR

Podkladem pro tuto kapitolu je DBD1 K2 (14).

Likvidace vodíku v KTMT je důležitá z hlediska zamezení vzniku třaskavé směsi. V případě detonace hrozí závažné poškození KTMT. Účelem systému je tedy zamezení vzniku výbušné koncentrace vodíku. Výbušná směs je od 4 % až

do 77 % objemu vodíku ve vzduchu. Systém po havarijní likvidace vodíku v ochranné obálce se tak podílí na plnění ZBF3.

Vodík se do KTMT dostane z chladiva I.O. K tomu může dojít při havárii spojené s únikem chladiva do KTMT. Vodík vzniká několika mechanismy:

- oxidací zirkoniového pokrytí paliva přehřátou parou.
- korozí hliníkových komponent při kontaktu s alkalickými sprchovými roztoky.
- korozí zinku při kontaktu s alkalickými sprchovými roztoky.
- uvolněním rozpuštěného vodíku v I.O.
- radiologickým rozkladem vody (chladivo I.O. a havarijní sprchové roztoky).

V případě protavení TNR a vylití taveniny do šachty reaktoru dojde k reakci mezi taveninou a betonem. Při této reakci vzniká významné množství vodíku.

Likvidace vodíku probíhá v Pasivních autokatalytických rekombinátorech (PAR). Jedná se o plně pasivní zařízení bez dodávky vnější energie. PAR katalyticky slučuje vodík s kyslíkem. Vzniká tak vodní pára a teplo. Vzniklé teplo způsobuje v rekombinátoru komínový efekt a urychluje v něm proudění. Jako katalyzátor se využívají paladiové kuličky z oxidu hlinitého (označované jako NIS-PAR), nebo platinové destičky (označované jako PAR FR). Pro začátek reakce v zařízení je potřebná koncentrace H_2 alespoň 0,5 %. Zařízení pracuje automaticky v závislosti na koncentraci H_2 a nelze ho vypnout.

Účinnost PAR závisí na umístění v KTMT. Při umísťování proto musí být proveden výpočet distribuce po havarijního vodíku v KTMT z hlediska jeho množství v jednotlivých částech KTMT. S ohledem na množství vodíku v jednotlivých místech KTMT a výkonu jednotlivých zařízení je nutné stanovit optimální množství PAR a jejich rozmístění. Z pohledu dlouhodobé funkce rekombinátorů je nutné mít v KTMT dostatečný obsah kyslíku. V opačném případě postupně dojde ke snižování koncentrace kyslíku v KTMT, a tím bude snížena i účinnost PAR.

Hlavní požadavky na systém po havarijní likvidace vodíku v ochranné obálce jsou:

- odolnost vůči charakteristickému prostředí v KTMT, vnitřním vlivům a seismicitě.
- dostatečná výkonová rezerva systému s ohledem na nemožnost redundance a divizní uspořádání.
- odolnost proti vnějším vlivům zajišťuje stavební část.
- nejsou žádné požadavky na řízení a napájení zařízení

Původní projekt VVER – 1000 neobsahoval systém po havarijní likvidace vodíku. V případě ETE byl v průběhu výstavby doprojektován systém TL99, který zahrnoval 22 ks PAR FR. Tento systém je považován za BS a je využíván ve stavech DBA, DEC-A a DEC-B. Dimenzování systému proběhlo na základě maximální projektové nehody (MAX. LOCA). Zařízení byla umístěna do předpokládaných míst s nejvyšší koncentrací vodíku.

Později byl do ETE doplněn systém TL88, který obsahuje 62 ks NIS-PAR. Tento systém je považován za DIV a je uvažováno jeho využití pouze ve stavu DEC-B. Z konstrukce a principu zařízení ovšem tyto rekombinátory budou fungovat v jakémkoliv stavu, pokud budou vystaveny dostatečné koncentraci H₂. Dimenzování systému proběhlo s uvažováním stavu DEC-B

6.2.4. Chlazení a stabilizace degradované AZ uvnitř TNR

Tato kapitola je sepsána na základě informací obsažených v dokumentu Dodatečné prostředky pro doplňování I.O. a dlouhodobý odvod tepla z kontejnmentu VVER-1000 ETE – Úvodní projekt (16).

AZ je ve stavu DEC-A chlazena systémem TB50 viz. kapitola 6.1.2.2. Pracovní průtok TB50 je v předpokládaných podmínkách přibližně 11,1 kg/s při 1,6 MPa (abs). Odhad pro stabilizaci AZ ve stavu DEC-B je stanoven na 20 kg/s při protitlaku cca 2 MPa (abs). Je tedy jasné, že DIV systém TB50 nemá dostatečný průtok ani tlak pro použití ve stavu DEC-B.

Za tímto účelem je navrhován ALT systém TB60. Tento systém má za úkol doplňování chladiva do TNR, dojde tak znovu zaplavení AZ a k odvodu tepla do

KTMT. Zároveň zajišťuje dlouhodobý odvod tepla z KTMT. Podílí se tak na plnění ZBF2 a ZBF3.

Hlavním prvkem ALT systému TB60 je mobilní DGČ. Toto čerpadlo se v případě potřeby umístí vně HVB na připravenou pozici. V případě nedostupnosti místa je možné čerpadlo umístit do ALT pozice. V těchto pozicích je čerpadlo napojeno přes průchodku v obestavbě na 1. divizi BS, respektive na 3. divizi. Uvnitř HVB budou doprojektovány nové PT a využity některé stávající PT, které zajistí rozvod čerpaného média. Na Obr. 4 je znázorněno původní uvažované zapojení systému TB60. S ohledem na průtok a tlakové ztráty se uvažuje s potrubím DN200.

Předpokládané hlavní charakteristiky DGČ jsou:

- Teplota chladiva na sání DGČ: 45 °C
- Tlak na sání DGČ: 0,77 MPa (abs)
- Hmotnostní průtok: 65 kg/s (cca 234 m³/h)
- Tlak na výtlaku: 2,5 MPa (abs)
- Maximální teplota na výtlaku DGČ: 50 °C
- Čerpané médium: čistý kondenzát, roztok kyseliny borité 12 g/l – radioaktivní
- Příkon DGČ v tomto režimu: 140 kW

Sání bude zajištěno z havarijní jímky v místnosti GA201 a ze zdrojů chladiva pro TB50 (primární zdroj do vyčerpání). V případě čerpání z jímky GA201 může být teplota média v jímce GA201 s ohledem na maximální tlak v KTMT 0,77 MPa až $T_S = 168,8$ °C. Tato teplota je výrazně nad dovolenou teplotou na sání DGČ. Čerpání teplé vody by výrazně snížilo účinnost odvodu tepla z AZ a sprchování. Z těchto důvodů je sání pro DGČ napojeno až za výměníkem TQ, který zajišťuje odvod tepla z čerpaného chladiva do TVD.

System TVD je tří divizní BS. V případě stavu DEC-B již není zaručena jeho funkčnost. S ohledem na zajištění odvodu tepla z KTMT bude doprojektován subsystém VF90 (který je součástí TB60), tvořený především MČS podrobněji viz. kapitola 6.2.5.

Plánovaná strategie zadržení taveniny IVR-In uvažuje doplňování chladiva přímo do reaktoru. Výtlak je proto zaveden do TNR přes potrubí NT doplňování a potrubí HDA. Oproti minimálnímu požadavku na doplňování do TNR je optimální požadavek mírně navýšen na 25 kg/s. Chladivo se v TNR ohřeje a částečně vypaří. Pára potom opouští I.O. přes roztržené potrubí (LOCA havárie), nebo přes otevřené ventily odtlakování do KTMT.

Režimy provozu čerpadla:

- Teplota chladiva na sání DGČ: 45 °C
- Tlak na sání DGČ: 0,77 MPa (abs)
- Teplota na výtlaku: 50 °C

1. režim – Doplňování I.O.

- Průtok: 25 kg/s
- Maximální tlak na výtlaku: 2,5 MPa (abs)
- Příkon čerpadla: 53 kW

2. režim – Sprchování KTMT

- Průtok:
- Maximální tlak na výtlaku: 1,3 MPa (abs)
- Příkon čerpadla: 21 kW

Spojení obou režimů

- Průtok: 65 kg/s
- Maximální tlak na výtlaku: 2,5 MPa (abs)
- Příkon čerpadla: 140 kW

Předpokládaná časová náročnost přípravy DGČ je cca 1 hod.

Hlavní požadavky na DGČ jsou:

- musí být funkční po seismické události, seismická odolnost ale není definována.
- uložení v seismicky odolné stavbě.

- dimenzování na spolehlivé doplňování vody do AZ a odvod tepla z KTMT v DEC-B.
- uvádění do provozu je ručně a DGČ jsou společná pro všechny bloky.

DGČ nepotřebují elektrické napájení ke svému chodu. Je však nutné zajistit včasnou dodávku paliva pro jejich dlouhodobý provoz.

Hlavní požadavky na PT a jejich komponenty systém TB60 jsou:

- odolnost vůči charakteristickému prostředí v KTMT, vnitřním vlivům, vnějším vlivům (nátrubky) a seismické činnosti. Stavební část musí zajistit odolnost proti vnějším vlivům (vyjma nátrubků).
- dostatečné dimenzování armatur a potrubí s ohledem na hltnost.
- PT a její komponenty musí být těsné.
- řízení armatur bude provedeno dálkově místně z příslušných rozváděčů.
- napájení bude provedeno ze zdrojů elektrické energie – kategorie II_DEC (je požadováno napájení z DIV nebo ALT AAC zdroje). Případně pomocí ALT prostředků v podobě přenosné elektrocentrály pro napájení drobných spotřebičů.

6.2.5. Dlouhodobý odvod tepla z ochranné obálky

Tato kapitola je sepsána na základě informací obsažených v dokumentu Dodatečné prostředky pro doplňování I.O. a dlouhodobý odvod tepla z kontejneru VVER-1000 ETE – Úvodní projekt (16).

Dlouhodobý odvod tepla je zajištěn pomocí systému TB60, který je podrobněji popsán v kapitole 6.2.4 a jeho subsystémem VF90. Ve stavu DEC-B se z dlouhodobého hlediska v KTMT hromadí teplo, které vzniká především ze zbytkového tepla v palivu. Teplo se do prostoru KTMT dostává od paliva nejvíce konvekcí páry. Tato pára se v KTMT hromadí a postupně narůstá tlak. Tlak v KTMT by neměl překročit hodnotu 0,77 MPa. V opačném případě hrozí je roztržení a únik RA látek do ŽP. Dlouhodobým odvodem tepla z ochranné obálky tak zajišťujeme plnění ZBF3.

V režimu DBA je potlačení tlaku zajištěno pomocí sprchového systému, jedná se o BS se třemi divizemi. Ve sprchách dojde pod zvýšeným tlakem a průtokem

k rozprášení vody na jemné kapičky. Pára je potom ochlazována a kondenzuje. Kondenzát spolu s rozstříkovaným médiem stéká do jímky GA 201, nejnižšího bodu KTMT. Odtud je možné kapalinu znovu využít. V případě stavu DEC-B již tento systém nemusí být k dispozici. Proto je navrhován systém TB60 jako ALT prostředek.

Původní návrh systému TB60 uvažoval s využitím požárního systému (UJ) a jeho trysek. Tato varianta je zakreslena na Obr. 4. Původní účel systému UJ je hašení v boxu HCČ. DN PT systému UJ však neumožňuje dostatečný průtok. Využití trysek sprchového systému není možné z důvodu nedostatečného průtoku DGČ. Nízký průtok by nezajistil rozstřík média na jemné kapičky. Ze sprch by v takovém případě voda pouze tekla dolů, čímž by nebyla zajištěna kondenzace páry.

Aktuální návrh řešení uvažuje umístění nového sprchového systému pouze pro účely TB60 na strop reaktorového sálu v KTMT. S ohledem na dvě možné umístění DGČ a dvě různé trasy pro rozvod média je i sprchový systém plánován dvojitě. Předpokládaný průtok je 40 kg/s při tlaku 1,3 MPa (abs) viz. režimy DGČ v kapitole 6.2.4. Kapalina se stejně jako u sprchového systému rozpráší na jemné kapičky a zajistí kondenzaci páry. Následně steče do GA201. Jak bylo již uvedeno z GA 201, lze chladivo čerpat opět za účelem sprchování, nebo za účelem chlazení AZ. Aby byl zajištěn odvod tepla do bazénů rozstříku TVD, je doplněn systém VF90.

ALT systém VF90 je tvořen především MČS. MČS zajišťuje čerpání TVD do výměníku TQ v případě výpadku čerpadel TVD. Následně je voda přivedena do bazénů rozstříku TVD, kde je teplo předáno do okolí. Předpokládá se, že rozstřík v bazénech nefunguje, tzn. předání tepla do okolí je zhoršeno a postupně dojde k nárůstu teploty v bazénech rozstříku.

Předpokládané hlavní charakteristiky MČS jsou:

- Teplota chladiva na sání MČS: 33 °C
- Hmotnostní průtok: 315 kg/s
- Tlak na výtlaku: 0,6 MPa (abs)
- Čerpané médium: demi voda

- Příkon MČS v tomto režimu: 165 kW

MČS bude v případě potřeby umístěno k budově ČS TVD požadovaného bloku a divize BS (s ohledem na umístění DGČ). Doba nutná k připojení a uvedení do provozu je cca 2 hodiny. S ohledem na to, že čerpadla DGČ počátečně využívají vodu z nádrží TB50, je možná časová prodleva na zprovoznění MČS cca 10 hodin. Jejich provoz navíc není nutný pro provoz doplňování chladiva do TNR, je však nutný pro dlouhodobý odvod zbytkového tepla.

Sání čerpadel MČS bude provedeno trasou DN 450 ze stávající sací jímky čerpadel TVD. Výtlačné potrubí bude napojeno na stávající potrubí trasou DN 350. Na Obr. 4 je znázorněno zapojení čerpadel MČS.

Hlavní požadavky na MČS jsou:

- musí být funkční po seismické události, seismická odolnost ale není definována.
- uložení v seismicky odolné stavbě.
- dimenzování na spolehlivé doplňování vody do výměníku TQ a odvod tepla z KTMT v DEC-B.
- uvádění do provozu je ručně a MČS jsou společná pro všechny bloky.

MČS nepotřebují elektrické napájení ke svému chodu. Je však nutné zajistit včasnou dodávku paliva pro jejich dlouhodobý provoz.

6.2.6. Filtrovaný venting

Podkladem pro tuto kapitolu je DBD1 K2 (14).

Filtrovaný Venting KTMT označovaný jako FCVS je systém, který snižuje tlak v KTMT při ztrátě dlouhodobého odvodu tepla z KTMT. Jedná se o řízené a filtrované odpouštění vzdušiny z KTMT do atmosféry. Cílem je zamezit ztrátě integrity KTMT, a tím nekontrolovatelnému velkému úniku RA do ŽP. Při tlaku v KTMT 0,77 MPa (abs) je 5 % pravděpodobnost selhání integrity KTMT. FCVS (na ETE označovaný jako systém TL39) se tak podílí na plnění ZBF3. Zároveň systém FCVS slouží k odvodu nezkondenzovatelných plynů vznikajících především interakcí taveniny s betonem.

FCVS je DIV systém, který je pasivní. Průchod paroplynné směsi přes filtraci ven do atmosféry je umožněn přetlakem v KTMT. V současnosti se uvažují dvě varianty filtrace: mokrá přes scrubber a suchá přes filtrační zařízení. I přes filtraci RA částic může dojít k nízkému úniku RA látek. Tento únik je však zanedbatelný oproti uniku, který by vznikl v případě ztráty integrity KTMT. Navíc FCVS je kontrolovaný únik a v případě vysoké aktivity vypouštěné vzdušiny může obsluha venting uzavřít.

Mokrá varianta FCVS bude využívat scrubber se třemi stupni filtrace. Nejprve bude paroplynná směs probublávat přes vodní lázeň, zde proběhne odlučování RA částic a organického jódu. Vodní lázeň je nutné doplňovat demi vodou. Následně bude filtrované médium zavedeno do druhého stupně tvořeného odlučovačem kapek a filtrem z kovových vláken pro filtraci malých částic aerosolů. Třetí stupeň tvořený molekulovým sítím se sorbentem odstraní zbývající organický jód. S ohledem na rozměry scrubberu je předpokládáno umístění v obestavbě HVB.

Suchá varianta FCVS předpokládá využití třístupňové filtrace složené z předfiltru, aerosolového filtru a sorpčního filtru. Aerosolový filtr zajišťuje filtraci částic aerosolu. Sorpční filtr následně zajišťuje odstranění elementárních a organických částí jódu. Suchá varianta umožňuje dvě různá umístění kombinovaného filtru, a to sice uvnitř anebo vně HO.

Odvod přefiltrovaného vzduchu je zaveden do paty ventilačního komínu, odkud bude parovzdušná směs vypouštěna do atmosféry a monitorována systémem RK.

Systém bude uveden do pohotovostního stavu otevřením uzavíracích armatur na hranici HO z BD/ND. Při nárůstu tlaku na 0,69 MPa (abs) dojde k protržení pojistné membrány k prvnímu otevření filtrovaného Ventingu. Při poklesu tlaku na 0,4 MPa (abs) má dojít k uzavření dříve otevřených uzavíracích armatur. Pokud dojde k opětovnému nárůstu tlaku, musí být armatury otevřeny při tlaku 0,5 MPa (abs). Pokud by došlo k selhání ruční dálkové uzavírací armatury je k dispozici paralelní ruční armatura.

Hlavní požadavky na systém FCVS jsou:

- Odolnost vůči charakteristickému prostředí v KTMT, vnitřním vlivům a seismické činnosti. Stavební část musí zajistit odolnost proti vnějším vlivům.
- Řízení armatur bude provedeno ze zařízení umístěného na BD a ND. Zároveň musí být možné řídit armatury z ALT prostředků (přenosný ovládací kufr).
- Napájení bude provedeno ze zdrojů elektrické energie – I. kategorie ze SZN 1,2,3. Případně pomocí ALT prostředků v podobě přenosné elektrocentrály pro napájení drobných spotřebičů.

6.2.7. Alternativní mobilní zdroje elektrického napájení pro DEC

Podkladem pro tuto kapitolu je DBD1 K2 (14).

Tento ALT systém je tvořen mDG (zdroj 0,4 kV), jeho příslušenstvím a připojovací kabeláží. mDG slouží k napájení projektem stanovených zařízení ve stavech DEC-A a DEC-B. Jedna sestava mDG se skládá ze dvou podvozků – technologického a kabelového.

V případě požadavku na jejich využití je mDG přepraven na předem stanovenou pozici. Z této pozice jsou následně nataženy předem připravené sady pryžových kabelů. Pokládka se předpokládá po zemi a v objektech po podlahách přes otevřené dveře dotčených místností.

Mezi projektem určené SKK, které musí být možné napájet z mDG při DEC-B patří zejména:

- důležité obvody SKŘ (PAMS, ovládací obvody BD/ND)
- důležité elektroarmatury v I.O. popř. II.O.
- čerpadla, která umožňují doplňování I.O.
- VZT BD/ND a projektem určených místností elektro a SKŘ
- osvětlení BD/ND

Na ETE jsou umístěny dva mDG, které se nacházejí ve vybudovaných skladovacích stanovištích uvnitř areálu JE a jsou trvale připojeny na elektrické napájení z důvodu udržování připravenosti mDG ke spolehlivému startu.

Hlavní požadavky na mDG jsou:

- musí být funkční po seismické události, seismická odolnost ale není definována.
- uložení v seismicky odolné stavbě.
- dimenzování na spolehlivé napájení vybraných SKK ve stavu DEC-B.
- uvádění do provozu je ručně a mDG jsou společná pro všechny bloky.

mDG nepotřebují elektrické napájení ke svému chodu. Je však nutné zajistit včasnou dodávku paliva pro jejich dlouhodobý provoz.

6.2.8. Radiační prostředky

Tato kapitola je sepsána na základě informací obsažených v technické zprávě Měření dávkového příkonu v areálu ETE s rádiovým přenosem (17).

V případě stavu DEC-B může dojít k poškození, nebo k výpadku měřících stanic SRKO. V takovém případě by nebylo možné detekovat případný únik RA látek. Z tohoto důvodu byl SRKO doplněn o ZSM s meteostanicí s měřením dávkového příkonu.

ZSM je trvale umístěna ve vozidle MMS, čímž je umožněn transport na požadovanou lokalitu. Vozidlo MMS je umístěno v LRKO v Českých Budějovicích.

ZSM obsahuje:

- anténu pro příjem radiového signálu za jízdy při provozu ZSM za jízdy
- anténu pro příjem radiového signálu při instalaci ZSM mimo vozidlo.
- meteostanici s měřením dávkového příkonu (přenosná sestava do vozidla MMS)
- zařízení pro příjem radiového signálu (mobilní zařízení přepravované a využívané ve vozidle MMS).
- zařízení pro příjem a zpracování dat (přenosné zařízení do vozidla MMS).
- přenosný počítač pro ZSM

- autonomní zdroj elektrické energie (UPS, elektrocentrála a adaptér pro připojení do napájecího rozvodu vozidla)

ZSM může být využita pro příjem, zpracování a prezentaci naměřených dat ze všech detektorů dávkového příkonu. Příjem a zpracování dat je umožněn i za jízdy, což umožňuje využití menší antény. Externí anténa je konstruována pro instalaci a příjem radiového signálu mimo vozidlo.

Zařízení ZSM je možno použít pro instalaci mimo vozidlo. Při použití sestavy mimo vozidlo lze připojit meteostanici s měřením dávkového příkonu. Napájení je zajištěno elektrocentrálou.

7. Závěr

Tato diplomová práce shrnuje rozšířené projektové podmínky na RB. V první části práce jsou definovány pojmy s ohledem na legislativu. Jsou zde uvedeny významné historické události a je posouzen jejich vliv na jaderný průmysl. Především havárie na JE Fukushima vyvolala velké úpravy na jaderných elektrárnách s ohledem na DEC. V ČR vznikl po fukušimský Národní Akční Plán.

Stavy DEC jsou popsány v teoretické rovině i v praktické rovině pro jaderná zařízení s reaktorem. Jaderná zařízení bez reaktoru nejsou v této práci uvažována. S ohledem na téměř nekonečné množství událostí u zařízení s reaktorem a kombinací těchto událostí vedoucích k havarijním stavům jsou stavy DEC typově kategorizovány do skupin s podobným průběhem.

I přes preventivní opatření se uvažuje s možností vzniku havarijních stavů a jejich rozvoje do DEC. Pokud takovéto stavy nastanou, je důležité zamezit rozvoji události a zajistit co nejrychlejší obnovení základních bezpečnostních funkcí. Z toho důvodu je nutné přijmout souhrn opatření, která jsou předem stanovená.

Pro každou typovou událost DEC je nutné nejprve stanovit cíle. Následně je nutné zvážit možné strategie a jejich výhody a nevýhody. K jednotlivým strategiím jsou následně vypracována opatření, ze kterých jsou stanoveny provozní předpisy označované jako EOP a SAMG. V této práci jsou uvedeny požadavky na jejich tvorbu a tvorbu uvedeného řetězce. Takto sestavené provozní předpisy potom využívá provozní personál k řešení stavů DEC.

Samotné příklady provozních předpisů v této diplomové práci nejsou uvedeny, a to s ohledem na rozsah práce a množství těchto předpisů. Navíc každá JE má své vlastní předpisy z důvodu rozdílné konstrukce, odlišného způsobu řízení a specifických zvyklostí. V této práci jsou však uvedeny požadavky na tvorbu provozních předpisů.

Vykonání zásahů pro zmírnění následků DEC je zajištěno pomocí technologických systémů elektrárny. Tyto systémy jsou pro příslušné stavy RB speciálně navrženy tak, aby odolaly možným vnitřním a vnějším vlivům. V této práci jsou uvedeny systémy JE Temelín. Některé z uvedených systémů jsou již na elektrárně implementovány. Další systémy jsou ve fázi příprav, nebo je s jejich implementací do budoucna počítáno.

Seznam použité literatury

1. ČESKO. vyhláška č. 329/2017 Sb., o požadavcích na projekt jaderného zařízení - znění od 1. 11. 2017. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2022 [cit. 6. 3. 2022]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2017-329>.
2. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Considerations on the Application of the IAEA Safety Requirements for the Design of Nuclear Power Plants* [online]. International Atomic Energy Agency, Vídeň, Rakousko, 2016 [cit. 2022-03-20]. ISSN 1011-4289. Dostupné z: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-1791_web.pdf.
3. ČESKO. zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon - znění od 1. 2. 2022. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2022 [cit. 6. 3. 2022]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-263>.
4. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Safety of Nuclear Power Plants: Design* [online]. IAEA Safety Standards Series No. SSR2/1 (Rev.1). International Atomic Energy Agency, Vídeň, Rakousko, 2016 [cit. 2022-03-20]. ISSN 1020-525X. Dostupné z: <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1715web-46541668.pdf>.
5. STATNÍ ÚŘAD PRO JADERNOU BEZPEČNOST, *Požadavky na zavedení provozních předpisů typu EOP a SAMG*. [online]. SÚJB, Praha, 2010 [cit. 2022-08-10]. Dostupné z: https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/dokumenty/publikace/G2_LM_EOPaSAMG_PUBLIKA CE_draftu.pdf.
6. ÚJV ŘEŽ: DIVIZE ENERGOPROJEKT PRAHA. *DBD1-K1 - Celoelektrárenská/bloková projektová východiska, interní dokument*. Praha, 2020.
7. STATNÍ ÚŘAD PRO JADERNOU BEZPEČNOST, *Po fukušimský Národní Akční Plán (NAcP) na posílení jaderné bezpečnosti jaderných zařízení v České republice*. [online]. SÚJB, Praha, 2019 [cit. 2022-03-27]. Dostupné z: https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/jaderna-bezpecnost/Cesky_NAcP_Rev4_final.pdf.
8. Dostál, Václav. *Prezentace k předmětu Jaderná bezpečnost - Three Mile Island - 2*. Praha: FS ČVUT ústav energetiky.
9. Dostál, Václav. *Prezentace k předmětu Jaderná bezpečnost - Havárie na JE Fukušima Sekvence událostí*. Praha: FS ČVUT ústav energetiky.
10. Černobyl vs. Fukušima: Která jaderná katastrofa více otřásla světem?. *Elektrina.cz* [online]. [cit. 2022-04-18]. Dostupné z: <https://www.elektrina.cz/cernobyl-vs-fukusima-ktera-jaderna-katastrofa-byla-horsi>.
11. World Nuclear Association, *Fukushima Daiichi Accident* [online]. World Nuclear Association, London, 2021 [cit. 2022-04-24]. Dostupné z: <https://www.world-nuclear.org/information-library/safety-and-security/safety-of-plants/fukushima-daiichi-accident.aspx>.
12. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Accident Management Programmes for Nuclear Power Plants Specific Safety Guide No. SSG-54* [online]. International Atomic Energy Agency, Vídeň, Rakousko, 2019 [cit. 2022-08-02]. ISSN 1020-525X. Dostupné z: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/P1834_web.pdf.

13. **INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Safety of Nuclear Power Plants: Commissioning and Operation [online]. IAEA SAFETY STANDARDS SERIES No. SSR-2/2 (Rev. 1). International Atomic Energy Agency, Vídeň, Rakousko, 2016 [cit. 2022-08-02]. ISSN 1020–525X. Dostupné z: <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1716web-18398071.pdf>.**
14. **ÚJV ŘEŽ: DIVIZE ENERGOPROJEKT PRAHA. DBD1-K2 - Celoelektrárenská/bloková projektová východiska, interní dokument. Praha, 2020.**
15. **ČEZ. PpBZ1,2 v 16 - Předprovozní bezpečnostní zpráva, interní dokument. Praha, 2015.**
16. **ÚJV ŘEŽ: DIVIZE ENERGOPROJEKT PRAHA. Dodatečné prostředky pro doplňování I.O. a dlouhodobý odvod tepla z kontejmentu VVER-1000 ETE, interní dokument - Úvodní projekt. Praha, 2019.**
17. **AFRAS Energo. Technická zpráva - Měření dávkového příkonu v areálu ETE s rádiovým přenosem, interní dokument. Praha, 2015.**
18. **Brázdová, Klára. Hodnocení úplnosti, robustnosti a nezávislosti v úrovních ochrany do hloubky pro soubor opatření pro zmírňování následků těžkých havárií v rámci Funkčních Analýz ochrany do hloubky na Jaderné elektrárně Temelín. Diplomová práce, FS ČVUT Praha, 2021. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/92841/F2-DP-2020-Brzodova-Klara-DP_Brazdova_2021.pdf?sequence=-1&isAllowed=y.**

Seznam obrázků

Obr. 1 Stavby jaderného zařízení.....	13
Obr. 2 Schéma prevence a mitigace v podmínkách DEC	29
Obr. 3 Strukturovaný přístup pro řešení havárií.....	51
Obr. 4 Schéma ZPP, DIV a ALT prostředků doplňování chladiva do TNR (15).....	62

Seznam tabulek

Tab. 1 Přehled řídicí dokumentace	19
Tab. 2 LOCA při současné ztrátě všech divizí VTTQ	36
Tab. 3 LOCA při současné ztrátě všech divizí NTTQ.....	36
Tab. 4 LOCA při současné ztrátě všech HDA.....	37
Tab. 5 Neřízený pokles hladiny nebo ztráta cirkulace v reaktoru při chlazení otevřeného reaktoru nebo při výměně paliva	38
Tab. 6 Úplná dlouhodobá ztráta napájecí vody.....	40
Tab. 7 Prasknutí parovodu spojené s prasknutím trubek PG	41
Tab. 8 Ztráta vakua v kondenzátoru	41
Tab. 9 Ztráta chlazení BSVP	42
Tab. 10 Neřízené ředění koncentrace kyseliny borité v reaktoru.....	44
Tab. 11 Nekontrolované vytažení skupiny regulačních orgánů a selhání ROR.....	45
Tab. 12 Parametry jevů s dobou návratu 100 a 10 000 let pro ETE (6)	56
Tab. 13 ZPP využívané v DEC-A.....	58

Seznam příloh

Příloha I. Charakteristika pěti úrovní ochrany do hloubky

PŘÍLOHA I. CHARAKTERISTIKA PĚTI ÚROVNÍ OCHRANY DO HLOUBKY

DiD WENRA	DiD IAEA	Cíl	Základní prostředky pro dosažení cíle	Asociované stavy bloku
DiD1	DiD1	Předcházení odchylkám od normálního provozu, předcházení poruchám, prevence přechodu do abnormálního provozu	Konzervativní a řádně zpracovaný a zrealizovaný projekt JE. Inherentní vlastnosti systémů, vedoucí k zajištění jaderné bezpečnosti, kvalita konstrukce a provozu zařízení, systémy kontroly a řízení	Normální provoz
DiD2	DiD2	Identifikace poruch a zvládnání očekávaných provozních událostí (náprava abnormálního provozu), prevence přechodu do DBA	Specifické SKK a příslušné provozní předpisy (organizační opatření)	Abnormální provoz
DiD3a	DiD3	Zvládnání DBA a přechod do stabilizovaného a do bezpečného stavu – zabránění rozvoji poruch a zadržení radioaktivních látek, prevence přechodu do DEC	Bezpečnostní systémy a havarijní předpisy (organizační opatření)	DBA (jednoduché PIU)
DiD3b	DiD4A	Zvládnání DEC A a prevence přechodu do DEC B	Doplňková opatření, včetně některých bezpečnostních a specifických systémů (technické prostředky) a programů pro zvládnání DEC (organizační opatření)	DEC A (PIU s komplexními poruchami)
DiD4	DiD4B	Mitigace (zmírňování) následků DEC B, prevence vzniku časných nebo velkých radiačních havárií	Doplňková opatření, včetně specifických systémů (technické prostředky) a programů pro zvládnání DEC (organizační opatření)	DEC B
DiD5	DiD5	Vnější i vnitřní havarijní plány a opatření, systémy JE zůstávají v DiD4	Opatření na ochranu obyvatelstva a životního prostředí při radiační nehodě (vnitřní a vnější havarijní plány)	DEC B