



Zátěžové testy JE – ČEZ, a. s.,

Ocenění bezpečnosti a bezpečnostních rezerv **JE Dukovany**

(z pohledu skutečností havárie na JE Fukushima)



Evidenční číslo: **ČEZ_EDU_001r00**

Evidenční číslo: ČEZ_EDU_001r00		Datum:	Podpis:
DOPORUČUJE:	ředitel útvaru Bezpečnost DV	19.12.2011	
	ředitel útvaru Centrální Inženýring	20.12.2011	
	ředitel útvaru Asset Management	20.12.2011	
PŘEDKLÁDÁ:	ředitel jaderné elektrárny Dukovany	21.12.2011	
SCHVÁLIL:	ředitel divize Výroba	22.12.2011	

ANOTACE

Zátěžové testy jaderných elektráren požadované Evropskou radou jsou definovány jako cílené hodnocení bezpečnostních rezerv a odolnosti JE, na pozadí skutečností, ke kterým došlo v Japonsku na JE Fukushima-Daiichi, po zemětřesení a následné vlně tsunami dne 11.3.2011. Zadání požaduje analyzovat kombinace extrémních situací, které mohou vést k těžké havárii jaderného zařízení, bez ohledu na jejich nízkou pravděpodobnost. Toto je třeba mít při čtení a studiu popisovaných událostí nestále na zřeteli.

Na základě skutečností o havárii v JE Fukushima-Daiichi byla mezinárodními jadernými institucemi vydána řada závěrů a ponaučení pro jaderný průmysl a národní jaderné dozory, které jsou aplikovatelné pro všechny typy reaktorů. Předkládaná zpráva obsahuje výsledky zátěžových testů, specifikovaných deklarací ENSREG (European Nuclear Safety Regulators Group) ze dne 13. března 2011 „EU Stress Tests Specifications“. Zátěžové testy jsou součástí komplexního hodnocení bezpečnosti JE, které navazuje na mezinárodní dokumenty publikované k dané události, např.:

WANO SOER 2011-2, Fukushima Daiichi Nuclear Station Fuel Damage Caused by Earthquake and Tsunami, March 2011

SOER 2011-3, Fukushima Daiichi Nuclear Station Spent Fuel Pool/Pond Loss of Cooling and Makeup, August 2011

INPO Special Report on the Nuclear Accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Station, November 2011

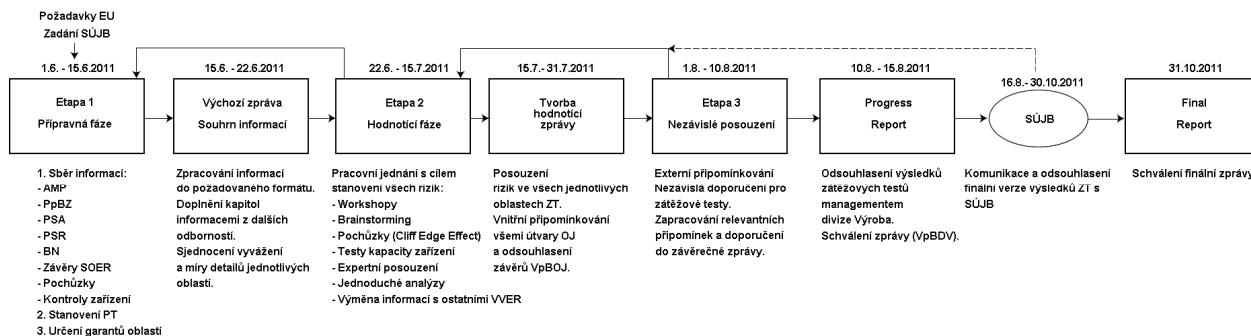
IAEA International fact finding expert mission of the Fukushima-Daiichi NPP accident following the great east Japan earthquake and tsunami, 16. červen 2011

US NRC Recommendation for enhancing reactor safety in the 21th century, 12. červenec 2011

O provedení zátěžových testů byl ČEZ,a.s. požádán dopisem SÚJB ze dne 25. 5. 2011. Provedení zátěžových testů bylo upraveno příkazem ředitele Divize výroba ČEZ,a.s., který specifikoval jejich rozsah a způsob provedení.

Hodnocení bylo provedeno specialisty z oborů jaderné bezpečnosti, projektování jaderných zařízení, managementu havárií, havarijní připravenosti a výzkumu fenomenologie těžkých havárií, plně kvalifikovanými pro tuto činnost. Hodnotitelé postupovali v souladu s deterministickým přístupem předpokládaného postupného selhání všech preventivních opatření při hodnocení extrémních scénářů.

Vzhledem ke krátké době, ve které musely být zátěžové testy provedeny byl jmenován pracovní tým, stanoven pevný harmonogram a definovány výstupy z jednotlivých etap jejich zpracování. K termínu 15.8. byl SÚJB informován o aktuálním stavu a postupu hodnocení formou tzv. Progress reportu.



V průběhu zpracování hodnocení proběhlo několik pracovních setkání se zpracovateli zátěžových testů ostatních JE typu VVER v rámci tzv. klubu VVER (EDU, Paks, Loviisa, Bohunice, Mochovce) a JE Kozloduj. V rámci WANO MC probíhají diskuse i s ostatními provozovateli JE typu VVER mimo země EU.

Pro zabezpečení objektivnosti hodnocení bylo provedeno nezávislé posouzení výsledků nejvýznamnějšími vnějšími dodavateli v oblasti jaderné bezpečnosti, mezi které patří zejména ÚJV Řež a Westinghouse.

Hodnocení popisuje charakteristiku JE Dukovany a její lokality na základě znalostí, které vyplývají z bezpečnostních studií, analýz, průzkumů, historických zkušeností a inženýrského odhadu, a týkají se současného výskytu několika neočekávaných (nadprojektových) a nepravděpodobných situací a poruch, kombinací kterých může dojít k hypotetickému havarijnímu stavu bloku s předpokládanou četností výskytu jedenkrát za 1 000 000 let provozu JE nebo ještě menší.

Hodnocení zahrnuje:

- posouzení projektových požadavků a soulad s jejich plněním,
- posouzení odolnosti, robustnosti vůči nadprojektovým stavům (bezpečnostní rezervy, diverzita, redundance, fyzická separace, atd.) a efektivity systému ochrany do hloubky, včetně identifikace hraničních stavů (cliff edge effects) a případných opatření jak se těmito hraničním stavům vyhnout,
- identifikaci všech prostředků k udržování 3 základních bezpečnostních funkcí (reaktivita, chlazení paliva, omezení úniků) i podpůrných funkcí (elektrické napájení, odvod tepla do koncového jímače) a zvažuje efektivní možnosti k dalšímu zlepšení ochrany do hloubky.

V hodnocení jsou postiženy všechny provozní režimy a stavy jaderných bloků. Konkrétně se zabývá dopady událostí jako je zemětřesení, záplavy, extrémní přírodní vlivy, ztráta vnějších zdrojů el. napájení, úplná ztráta el. napájení a ztráta koncového jímače tepla. Významnou část zprávy tvoří rovněž kapitola „těžké havárie“, jež popisuje procesy a strategie pro jejich zvládnutí v různých fázích. Tato zpráva je hodnotí a popisuje výrazně nad rámec licenčních požadavků stanovených platnou legislativou (Zákon č. 18/1997 Sb.).

Výsledky hodnocení potvrzují skutečnost, že robustnost JE Dukovany poskytuje značné rezervy k odvrácení těžkých havárií. K silným stránkám z pohledu vnějších rizik patří zejména:

- projekt, jež prochází stálou kontrolou a aplikuje relevantní nové poznatky,
- robustnost a konzervativnost projektu připraveného pro náročné podmínky,
- možnost využití diverzních prostředků odvodu tepla (požární čerpadla)
- lokalita s minimálním seismickým rizikem,
- lokalita prakticky vylučující vnější záplavy,
- dvě velké vodní nádrže na doplňování surové vody,
- velká zásoba chladicí vody uvnitř elektrárny,
- kompaktní bazény použitého jaderného paliva zajišťující podkritičnost paliva i při zaplavení čistou vodou,
- velký objem kontejnmentu (barbotážní systém) a relativně menší zdrojový člen (menší výkonové parametry reaktoru).
- velká zásoba chladiva ve žlabech barbotážní věže

Bezpečnost JE Dukovany byla v minulosti potvrzena celou řadou mezinárodních misí posuzujících úroveň zajištění jaderné bezpečnosti, s uvážením zkušeností západních JE. Jednalo se zejména o následující mise:

- Operational Safety Review (OSART), IAEA (1989): hodnocení provozní bezpečnosti JE,
- Operational Safety Review Follow-up (OSART FU), IAEA (1991): plnění doporučení a návrhů z mise OSART v oblasti údržby,
- Assessment of Significant Safety Events (ASSET), IAEA (1993): hodnocení bezpečnostně významných událostí,
- Assessment of Significant Safety Events (ASSET), IAEA (1996): prověření systému vyšetřování přímých a kořenových příčin provozních událostí, přijímání a plnění nápravných opatření spolu se zajištěním zpětné vazby z těchto událostí,

- Technický audit, ENAC (1994 – 1995): posouzení technického stavu systémů EDU (základ Programu obnovy zařízení),
- Safety Issues of WWER 440 Resolution Review, IAEA (1995): posouzení bezpečnostní nálezů z materiálu "Safety issues and their ranking for WWER 440 model 213 Nuclear Power Plants",
- Jaderný pojišťovací Pool, Marsh & McLennan (1996): hodnocení požárních rizik,
- Jaderný pojišťovací Pool, organizován Gradmann & Holler (1996): hodnocení rizika poruch strojního zařízení,
- Jaderný pojišťovací Pool, ČJP (1997): inspekce pojišťovacích rizik (v prosinci 1997 podepsána pojistná smlouva mezi ČEZ, a. s., a ČJP pro krytí odpovědnostních rizik),
- Peer Review, WANO (1997): prověrka systémů a pracovních postupů dle kritérií INPO,
- International Peer Review Service (IPERS), IAEA (1998): hodnocení pravděpodobnostního modelu bezpečnosti JE a stanovení pravděpodobnosti tavení aktivní zóny reaktoru,
- International Physical Protection Advisory Service (IPPAS), IAEA (1998): hodnocení fyzické ochrany jaderných zařízení a ochrany jaderných materiálů a jaderných zařízení,
- Jaderný pojišťovací Pool, ČJP (2000): mezinárodní inspekce pojišťovacích rizik, ověření zachování nastavených podmínek,
- Certifikační audit EMS, Det Norske Veritas (2001): závěrečné posouzení JE Dukovany podle požadavků normy ISO 14001 - Ekologický podnik, pravidelně obhajován každé 3 roky
- Operational Safety Review (OSART), IAEA (2001): hodnocení provozní bezpečnosti ve všech oblastech provozu JE,
- Operational Safety Review Follow-up, (OSART FU), IAEA (2003): následná mise k plnění doporučení z roku 2001,
- Jaderný pojišťovací Pool, ČJP (2006): kontrola plnění doporučení z minulé inspekce,
- Peer Review, WANO (2007): prověrka oblastí provozní bezpečnosti JE ostatními provozovateli jaderných elektráren,
- Safety Assessment Long Term Operation Review (SALTO), IAEA (2008): posouzení připravenosti JE zajistit bezpečnostní aspekty vyplývající z prodlužování životnosti JE,

- Peer Review Follow-up, WANO (2009): následná mise na kontrolu realizovaných nápravných opatření z mise 2007,
- Operational Safety Review (OSART), IAEA (2011): opakované hodnocení provozní bezpečnosti JE mezinárodními experty,

Z pohledu zátěžových testů je významné zejména pozitivní hodnocení lokality. Přestože území České republiky není výrazněji postihováno (s výjimkou záplav) extrémními klimatickými jevy, byla při výběru lokality pro umístění JE Dukovany plně respektována oficiální kritéria IAEA, stanovená od r. 1979 obecně závazným předpisem, který specifikoval umístění budoucích JE právě s ohledem na minimalizaci rizik ve vztahu k vnějším vlivům.

Z tohoto důvodu je možné hodnotit lokalitu JE Dukovany jako vysoce stabilní ve vztahu k seismicitě. Konečným médiem (jímačem koncového tepla) je atmosféra a chlazení je zajištěno odparem v chladicích věžích. Vodu zajišťují vodní nádrže, které jsou umístěny výrazně níže pod úrovní JE, proto ani jejich poškození (např. v případě extrémních záplav, zemětřesení apod.) elektrárnu neohroží.

Hodnocení bezpečnostních rezerv vychází především z výpočtových analýz a případně z kvalifikovaného inženýrského odhadu. Zpráva analyzuje možný dopad kombinované neprovozní schopnosti systémů důležitých pro bezpečnost JE, např. při úplné ztrátě elektrického napájení (station black-out), ztrátě systémů zajišťujících odvod tepla do koncového jímace nebo při ztrátě vnějšího elektrického napájení (např. při rozpadu energetické sítě).

I přes vysokou úroveň bezpečnosti provozu a robustnost JE Dukovany byly, na základě provedených rozborů, identifikovány následující možnosti dalšího zvýšení úrovně bezpečnosti a odolnosti JE Dukovany v preventivní i následné fázi rozvoje extrémních stavů JE:

- doplnění dalších mobilních zdrojů elektrického napájení a mobilních zařízení pro čerpání medií, nezávislých a plně oddělených od stávajících projektových systémů (napájením, dislokací, apod.),
- optimalizace organizace a školení personálu pro řízení extrémních situací (např. při zasažení více bloků JE, při ztrátě řídicích center, systémů komunikace, apod.),
- rozšíření kapacity zařízení pro likvidaci vodíku při těžkých haváriích a tím zvýšení odolnosti kontejnmentu.

V letech 2006 a 2007 bylo provedeno komplexní hodnocení bezpečnosti po 20 letech provozu JE Dukovany (tzv. Periodické hodnocení bezpečnosti pro všech 14 oblastí dle návodu IAEA NS-G-2.10.). Jednalo se o hloubkovou kontrolu plnění požadavků domácích

i mezinárodních legislativních dokumentů, požadavků WENRA definovaných v dokumentu „Reactor Safety Reference Levels“ i dalších mezinárodních doporučení z dokumentů IAEA (Safety Guides, INSAG). Komplexní hodnocení v rámci PSR přitom identifikovalo obdobné příležitosti ke zvýšení bezpečnosti jaké jsou uvedeny v této zprávě. Některé z nich (zvýšení odolnosti projektu EDU na následky těžkých havárií, jehož součástí je zvýšení kapacity systému likvidace vodíku pro těžké havárie a příprava na zaplavení šachty reaktoru) jsou již dnes ve fázi přípravy na implementaci a byly by realizovány i bez ohledu na toto nové hodnocení. PSR přitom předpokládá implementaci odsouhlasených opatření do roku 2015, tj. do doby prodloužení životnosti JE Dukovany.

Výsledky cíleného hodnocení bezpečnostních rezerv a odolnosti JE, požadovaného Evropskou radou, potvrzují efektivitu a správnost dříve přijatých rozhodnutí k implementaci opatření ke zodolnění původního projektu. Nebyl nalezen stav, který je nutné bez prodlení řešit. Elektrárna je schopna bezpečně zvládnout i vysoce nepravděpodobné extrémní havarijní stavy, aniž by došlo k ohrožení jejího okolí.

OBSAH

1	GENERAL DATA ABOUT THE SITES AND NUCLEAR POWER PLANTS.....	19
1.1	Brief description of the sites characteristics.....	19
1.1.1	Charakteristika lokality	19
1.2	Main characteristics of the units	21
1.2.1	General unit description	21
1.2.2	Main Safety Modifications	24
1.3	Systems for providing or supporting main safety function.....	26
1.3.1	Reactivity control.....	31
1.3.1.1	Podkritičnost aktivní zóny	31
1.3.1.2	Podkritičnost bazénu skladování vyhořelého paliva.....	37
1.3.2	Heat transfer from reactor to the ultimate heat sink	38
1.3.2.1	All existing heat transfer means / chains from the reactor to the UHS in different reactor shutdown conditions.	39
1.3.2.2	Lay out information on the heat transfer chains: routing of redundant and diverse heat transfer piping and location of the main equipment. Physical protection of equipment from the internal and external threats.	39
1.3.2.3	Possible time constraints for availability of different heat transfer chains, and possibilities to extend the respective times by external measures (e.g., running out of a water storage and possibilities to refill this storage).	46
1.3.2.4	AC power sources and batteries that could provide the necessary power to each chain (e.g., for driving of pumps and valves, for controlling the systems operation).	47
1.3.2.5	Need and method of cooling equipment that belong to a certain heat transfer chain; special emphasis should be given to verifying true diversity of alternative heat transfer chains	48
1.3.3	Heat transfer from spent fuel pool to the ultimate heat sink	48
1.3.3.1	All existing heat transfer means / chains from the spent fuel pools to the heat sink.....	49
1.3.3.2	Respective information on lay out, physical protection, time constraints of use, power sources, and cooling of equipment.....	50
1.3.4	Heat transfer from the reactor containment to the ultimate heat sink	52
1.3.4.1	All existing heat transfer means / chains from the containment to the heat sink.	53
1.3.4.2	Respective information on lay out, physical protection, time constraints of use, power sources, and cooling of equipment.....	57
1.3.5	AC power supply	57
1.3.5.1	Elektrický systém vně EDU	58
1.3.5.2	Elektrický systém uvnitř EDU	66
1.3.5.3	Normální projektové systémy zajištěného napájení	70
1.3.5.4	Alternativní na JE trvale instalované systémy zajištěného napájení	72
1.3.5.5	Další zdroje a systémy pro řešení nouzových situací	72
1.3.6	Bateriové zdroje pro DC napájení	74
1.3.6.1	Popis bateriových zdrojů	74
1.3.6.2	Napájené spotřebiče	76
1.3.6.3	Uspořádání a rozmístění zdrojů a sítí	76
1.3.6.4	Alternativní možnosti dobíjení baterií.....	76
1.4	Significant differences between units	76
1.5	Scope and main results of Probabilistic Safety Assessments	77
2	EARTHQUAKES	80
2.1	Design basis	80
2.1.1	Earthquake against which the plant is designed	80
2.1.1.1	Characteristics of the design basis earthquake (DBE).....	80
2.1.1.2	Methodology used to evaluate the design basis earthquake.....	80

2.1.1.3	Conclusion on the adequacy of the design basis for the earthquake	86
2.1.2	Provisions to protect the plant against the design basis earthquake	86
2.1.2.1	Identification of SSC that are required for achieving safe shutdown state.....	86
2.1.2.2	Evaluation of SSC robustness in connection with DBE and assessment of potential safety margin	89
2.1.2.3	Main operating provisions to achieve safe shutdown state	89
2.1.2.4	Protection against indirect effects of the earthquake	90
2.1.3	Compliance of the plant with its current licensing basis	91
2.1.3.1	Licensee's processes to ensure that SSC needed for achieving safe shutdown after earthquake remain in operable condition.....	91
2.1.3.2	Licensee's processes to ensure that mobile equipment and supplies are in continuous preparedness to be used.....	91
2.1.3.3	Potential deviations from licensing basis and actions to address those deviations.....	92
2.2	Evaluation of safety margins	92
2.2.1	Range of earthquake leading to severe fuel damage	92
2.2.2	Range of earthquake leading to loss of containment integrity.....	93
2.2.3	Earthquake exceeding DBE and consequent flooding	93
2.2.4	Measures which can be envisaged to increase robustness of the plant against earthquakes.....	93
3	FLOODING	96
3.1	Design basis	96
3.1.1	Flooding against which the plant is designed	96
3.1.1.1	Characteristics of the design basis flood (DBF)	96
3.1.1.2	Methodology used to evaluate the design basis flood.....	97
3.1.1.3	Conclusion on the adequacy of protection against external flooding.....	98
3.1.2	Provisions to protect the plant against the design basis flood.....	99
3.1.2.1	Identification of SSC that are required for achieving safe shutdown state.....	99
3.1.2.2	Main design and construction provisions to prevent flood impact to the plant.	100
3.1.2.3	Main operating provisions to prevent flood impact to the plant.	100
3.1.2.4	Situation outside the plant, including preventing or delaying access of personnel and equipment to the site.....	101
3.1.3	Plant compliance with its current licensing basis	101
3.1.3.1	Licensee's processes to ensure that SSC needed for achieving safe shutdown state after flood remain in operable condition	101
3.1.3.2	Licensee's processes to ensure that mobile equipment and supplies are in continuous preparedness to be used.....	102
3.1.3.3	Potential deviations from licensing basis and actions to address those deviations.....	102
3.2	Evaluation of safety margins	102
3.2.1	Estimation of safety margin against flooding	102
3.2.2	Measures which can be envisaged to increase robustness of the plant against flooding.....	103
4	EXTREME WEATHER CONDITIONS.....	104
4.1	Design basis	104
4.1.1	Reassessment of weather conditions used as design basis	104
4.1.1.1	High winds	106
4.1.1.2	Heavy snowfall and ice.....	106
4.1.1.3	Maximum and minimum temperature	106
4.1.1.4	Consideration of potential combination of weather conditions	106
4.2	Evaluation of safety margins	108
4.2.1	Estimation of safety margin against extreme weather conditions.....	108
4.2.1.1	Estimation of safety margin against high wind	108
4.2.1.2	Estimation of safety margin against heavy snowfall and ice	109

4.2.1.3	Estimation of safety margin against maximum temperature.....	110
4.2.1.4	Estimation of safety margin against minimum temperature.....	111
4.2.2	Conclusion on the adequacy of protection against extreme weather conditions.....	111
4.2.3	Measures which can be envisaged to increase robustness of the plant against extreme weather conditions	112
5	LOSS OF ELECTRICAL POWER AND LOSS OF ULTIMATE HEAT SINK....	113
5.1	Nuclear power reactors	113
5.1.1	Loss of electrical power	113
5.1.1.1	Loss of off-site power	115
5.1.1.2	Loss of off-site power and loss of the ordinary back-up AC power source	118
5.1.1.3	Loss of off-site power and loss of the ordinary back-up AC power sources, and loss of permanently installed diverse back-up AC power sources.....	119
5.1.1.4	Conclusion on the adequacy of protection against loss of electrical power.....	123
5.1.1.5	Measures which can be envisaged to increase robustness of the plant in case of loss of electrical power.....	125
5.1.2	Loss of the ultimate heat sink.....	126
5.1.2.1	Design provisions	126
5.1.2.2	Loss of the primary ultimate heat sink	128
5.1.2.3	Loss of the primary ultimate heat sink and the alternate heat sink.....	131
5.1.2.4	Conclusion on the adequacy of protection against loss of ultimate heat sink....	131
5.1.2.5	Measures which can be envisaged to increase robustness of the plant in case of loss of ultimate heat sink.....	132
5.1.3	Loss of the primary ultimate heat sink, combined with station black out	133
5.1.3.1	Time of autonomy of the site before loss of normal reactor core cooling condition.....	135
5.1.3.2	External actions foreseen to prevent fuel degradation	136
5.1.3.3	Measures, which can be envisaged to increase robustness of the plant in case of loss of primary ultimate heat sink, combined with station black out	136
5.2	Spent fuel storage pools.....	136
5.2.1	Loss of electrical power	136
5.2.1.1	Measures which can be envisaged to increase robustness of the plant in case of loss of loss of electrical power	137
5.2.2	Loss of ultimate heat sink.....	138
5.2.2.1	Measures which can be envisaged to increase robustness of the plant in case of loss of ultimate heat sink.....	139
5.2.3	Loss of ultimate heat sink, combined with station black out.....	140
5.2.3.1	Measures, which can be envisaged to increase robustness of the plant in case of loss of primary ultimate heat sink, combined with station black out	140
6	SEVERE ACCIDENT MANAGEMENT	141
6.1	Organization and arrangements of the licensee to manage accidents.....	141
6.1.1	Organisation of the licensee to manage the accident	141
6.1.1.1	Staffing and shift management in normal operation.....	142
6.1.1.2	Plans for strengthening the site organization for accident management.....	143
6.1.1.3	Measures taken to enable optimum intervention by personnel	146
6.1.1.4	Use of off-site technical support for accident management	152
6.1.1.5	Procedures, training and exercises	156
6.1.1.6	Dependence on the functions of other reactors on the same site	164
6.1.2	Possibility to use existing equipment.....	165
6.1.2.1	Provisions to use mobile devices (availability of such devices, time to bring them on site and put them in operation)	165
6.1.2.2	Provisions for and management of supplies (fuel for diesel generators, water, etc.)	166
6.1.2.3	Management of radioactive releases, provisions to limit them	167
6.1.2.4	Communication and information systems (internal and external).....	169

6.1.3	Evaluation of factors that may impede accident management and respective contingencies	170
6.1.3.1	Extensive destruction of infrastructure or flooding around the installation that hinders access to the site	170
6.1.3.2	Loss of communication facilities / systems	170
6.1.3.3	Impairment of work performance due to high local dose rates, radioactive contamination and destruction of some facilities on site	171
6.1.3.4	Impact on the accessibility and habitability of the main and secondary control rooms, measures to be taken to avoid or manage this situation.....	172
6.1.3.5	Impact on the different premises used by the crisis teams or for which access would be necessary for management of the accident	173
6.1.3.6	Feasibility and effectiveness of accident management measures under the conditions of external hazards (earthquakes, floods).....	173
6.1.3.7	Unavailability of power supply	174
6.1.3.8	Potential failure of instrumentation	174
6.1.3.9	Potential effects from the other neighbouring installations at site, including considerations of restricted availability of trained staff to deal with multi-unit, extended accidents	176
6.1.4	Conclusion on the adequacy of organisational issues for accident management	176
6.1.5	Measures which can be envisaged to enhance accident management capabilities	178
6.2	Accident management measures in place at the various stages of a scenario of loss of the core cooling function	180
6.2.1	Before occurrence of fuel damage in the reactor pressure vessel/a number of pressure tubes (including last resorts to prevent fuel damage)	180
6.2.2	After occurrence of fuel damage in the reactor pressure vessel	181
6.2.3	After failure of the reactor pressure vessel	182
6.3	Maintaining the containment integrity after occurrence of significant fuel damage (up to core meltdown) in the reactor core	184
6.3.1	Elimination of fuel damage / meltdown in high pressure	184
6.3.1.1	Design provisions	184
6.3.1.2	Operational provisions.....	184
6.3.2	Management of hydrogen risks inside the containment.....	184
6.3.2.1	Design provisions, including consideration of adequacy in view of hydrogen production rate and amount.....	184
6.3.2.2	Operational provisions.....	185
6.3.3	Prevention of overpressure of the containment	186
6.3.3.1	Design provisions, including means to restrict radioactive releases if prevention of overpressure requires steam / gas relief from containment.....	186
6.3.3.2	Operational and organisational provisions.....	188
6.3.4	Prevention of re-criticality	188
6.3.4.1	Design provisions	188
6.3.4.2	Operational provisions.....	188
6.3.5	Prevention of basemat melt through.....	189
6.3.5.1	Potential design arrangements for retention of the corium in the pressure vessel.....	189
6.3.5.2	Potential arrangements to cool the corium inside the containment after reactor pressure vessel rupture.....	189
6.3.5.3	Cliff edge effects related to time delay between reactor shutdown and core meltdown.....	190
6.3.6	Need for and supply of electrical AC and DC power and compressed air to equipment used for protecting containment integrity	191
6.3.6.1	Design provisions.....	191
6.3.6.2	Operational provisions.....	191

6.3.7	Measuring and control instrumentation needed for protecting containment integrity	191
6.3.8	Capability for severe accident management in case of simultaneous core melt/fuel damage accidents at different units on the same site	192
6.3.9	Conclusion on the adequacy of severe accident management systems for protection of containment integrity	193
6.3.10	Measures which can be envisaged to enhance capability to maintain containment integrity after occurrence of severe fuel damage	194
6.4	Accident management measures to restrict the radioactive releases	195
6.4.1	Radioactive releases after loss of containment integrity	195
6.4.1.1	Design provisions	195
6.4.1.2	Operational provisions	195
6.4.2	Accident management after uncovering of the top of fuel in the fuel pool	196
6.4.2.1	Hydrogen management	197
6.4.2.2	Providing adequate shielding against radiation	198
6.4.2.3	Restricting releases after severe damage of spent fuel in the fuel storage pools	198
6.4.2.4	Instrumentation needed to monitor the spent fuel state and to manage the accident	198
6.4.2.5	Availability and habitability of the control room	199
6.4.3	Conclusion on the adequacy of measures to restrict the radioactive releases	199
6.4.4	Measures which can be envisaged to enhance capability to restrict radioactive releases	200
7	GENERAL CONCLUSION.....	201
7.1	Key provisions enhancing robustness (already implemented)	201
7.1.1	Robustnost vůči zemětřesení	201
7.1.2	Robustnost vůči záplavám	201
7.1.3	Robustnost vůči ostatním klimatickým podmínkám	202
7.1.4	Robustnost vůči ztrátě elektrického napájení	203
7.1.5	Robustnost vůči ztrátě odvodu tepla do koncového jímače:	204
7.1.6	Robustnost opatření pro zvládání těžkých havárií:	204
7.2	Safety issues.....	206
8	REFERENCES	
PŘÍLOHA		214

Příloha Popis navrhovaných nápravných opatření

Seznam obrázků a tabulek

Obr. 1.1.1-1	Umístění JE Dukovany	19
Obr. 1.1.1-2	Uspořádání objektů JE Dukovany	20
Obr. 1.1.1-3	Letecký pohled na elektrárnu s označením objektů	21
Obr. 1.2.1-1	Technologické schéma EDU.....	23
Obr. 1.3-1	Schéma rozdělení SCC do jednotlivých kategorií	28
Obr. 1.3.1-1	Systém doplňování a bórové regulace	34
Obr. 1.3.1-2	Havarijní systémy chlazení AZ.....	36
Tab. 1.3.2-1	Provozní režimy bloku	38
Obr. 1.3.2-2	Systém napájení PG	40
Obr. 1.3.2-3	Systém dochlazování.....	42
Obr. 1.3.2-4	Systém technické vody důležité.....	45

Obr. 1.3.3-1	Bazény skladování vyhořelého paliva	49
Obr. 1.3.3-2	Systém chlazení BSVP	50
Obr. 1.3.4-1	Řez reaktorovou JE s VVER-440/V213	53
Obr. 1.3.4-2	Havarijní systémy	56
Tab. 1.3.5-1	Úrovně ochrany do hloubky v elektročásti JE	58
Obr. 1.3.5-2	Začlenění JE do elektrizační soustavy ČR.....	59
Tab. 1.3.5-3	Významné poruchy v elektročásti JE	60
Obr. 1.3.5-4	Základní schéma vlastní spotřeby JE	63
Obr. 1.3.5-5	Principiální schéma zdrojů rezervního napájení EDU	65
Obr. 1.3.5-6	Systémy napájení vlastní spotřeby	69
Tab. 1.3.6-1	Vybíjecí doby akubaterií dle projektu	75
Tab. 1.3.6-2	Vybíjecí doby akubaterií v nadprojektovém režimu SBO	75
Obr. 1.4-1	Sifonové uzávěry na trase vzduchotechnických systémů.....	77
Obr. 1.5-1	Vývoj výsledků CDF (vnitřní události, 1. blok)	79
Obr. 2.1.1-1	Tvary makroseismických polí zdrojových oblastí v regionu JE Dukovany	82
Tab. 2.1.1-2	Systém dělení zlomů do tříd a jejich číselné kódování.....	84
Obr. 2.1.1-3	Mapa seismického ohrožení území ČR v hodnotách makroseismické intenzity.....	85
Obr. 2.1.1-4	Mapa seismického ohrožení území ČR v hodnotách PGAH	85
Tab. 2.1.2-1	Stavební objekty EDU zařazené v kategorii „S“	87
Tab. 2.1.2-2	Seznam vybraných strojních systémů	87
Tab. 2.1.2-3	Seznam vybraných systémů elektro	88
Tab. 2.1.2-4	Seznam vybraných systémů SKŘ	88
Tab. 3.1.1-1	Projektové hodnoty maximálních denních úhrnů dešťových srážek.....	97
Tab. 4.1.1-1	Hodnoty odvozených extrémů klimatických podmínek.....	105
Tab. 4.1.1-2	Hodnocení odolnosti proti extrémním meteorologickým vlivům.....	105
Tab. 4.1.1-3	Kombinace extrémních klimatických událostí	107
Obr. 6.1.1-1	Vztah mezi fyzickými bariérami a úrovněmi ochrany do hloubky.....	142
Obr. 6.1.1-2	Struktura OHO s uvedením vzájemných vazeb a toku informací	144
Obr. 6.1.1-3	Vyrozumění vnějších orgánů při vzniku MU	145
Obr. 6.1.1-4	Zóna havarijního plánování	146
Obr. 6.1.1-5	Postup při posuzování typu vzniklé mimořádné události	149
Obr. 6.1.1-6	Zajištění vnější havarijní připravenosti JE.....	155
Obr. 6.1.1-7	Vazby na zdravotnické složky a na externí zdravotnická zařízení.....	156
Obr. 6.1.1-8	Vazba mezi stavem bloku, používanou provozní dokumentací a MU.....	157
Obr. 6.1.1-9	Způsob odezvy operativního personálu	158
Obr. 6.1.1-10	Koncepce řízení bloku v havarijních podmínkách	159
Obr. 6.1.1-11	Vztah mezi bezpečnostními funkcemi.....	160
Obr. 6.1.1-12	Komunikace mezi TPS a provozním personálem při používání EOPs	161
Obr. 6.1.1-13	Vazby mezi EOPs a SAMG	162
Obr. 6.1.1-14	Komunikace mezi TPS a provozním personálem při používání SAMG	163
Tab. 6.1.2-1	Ochranná opatření personálu JE	168

Seznam zkratek:

AAC	Alternative alternate current (Diverzní zdroj střídavého napájení)
AOPs	Abnormal Operating Procedures (Postupy pro řešení abnormálních stavů)
ATWS	Anticipated Transient Without Scram (Přechodové procesy bez zásahu RTS, očekávané přechodové procesy bez rychlého odstavení reaktoru)
AZ	Aktivní zóna reaktoru
BD	Bloková dozorna
BI	Bezpečnostní inženýr
BS	Bezpečnostní systém
BSVP	Bazén skladování vyhořelého paliva
BVP	Bazén výměny paliva
CČS	Centrální čerpací stanice
CDF	Core Damage Frequency (Frekvence, četnost výskytu poškození aktivní zóny)
CCHV	Cirkulační chladící voda
CISRK	Centrální informační systém radiační kontroly
ČEPS	ČEPS, a.s. je akciová společnost provozující ze zákona přenosovou soustavu ČR
ČSJ	Čerpací stanice Jihlava
DG	Dieselgenerátor
E.ON	Holdingová energetická společnost se sídlem v Düsseldorfu
EDA	Elektrárna Dalešice
EDU	Jaderné elektrárny Dukovany
ELS	Emergency Load Sequencer (Automatika postupného spouštění)
EOPs	Emergency Operating Procedures (Postupy pro řešení havarijních stavů)
feed&bleed	Odpouštění a napájení - metoda vychlazování I.O
HČČ	Hlavní cirkulační čerpadlo
HNČ	Havarijní napájecí čerpadlo
HRK	Havarijní, regulační a kompenzační kazeta
HŘS	Havarijní řídicí středisko (HŠ + TPS)
HŠ	Havarijní štáb
HVB	Hlavní výrobní blok

HZS	Hasičský záchranný sbor
HZSp	Hasičský záchranný sbor podniku
CHV	Chladicí věž
I.O	Primární okruh
IAEA	International Atomic Energy Agency (Mezinárodní agentura pro atomovou energii MAAE)
II.O	Sekundární okruh
IZS	Integrovaný záchranný systém
JE	Jaderná elektrárna
KO	Kompenzátor objemu
LOCA	Loss Of Coolant Accident (Havárie se ztrátou/únikem chladiva, max. projektová havárie)
LOOP	Loss of Offsite Power (Ztráta vnějšího elektrického napájení - ztráta pracovních a rezervních zdrojů elektrického napájení)
MPLS WAN ČEZ	MPLS Wide Area Network (Datová síť propojující datová centra s jednotlivými lokalitami ČEZ)
MSK-64	Medveděvova-Sponheuerova-Kárníkova stupnice užívaná v seismologii k vyjádření makroseismické intenzity zemětřesení
MSVP	Mezisklad vyhořelého (použitého) paliva
MU	Mimořádná událost
ND	Nouzová dozorna
NN	Napájecí nádrž
OHO	Organizace havarijní odezvy
OVKO	Odlehčovací ventil kompenzátoru objemu
PAMS	Post Accident Monitoring System (Pohavarijní monitorovací systém, Systém pohavarijního monitorování)
PG	Parogenerátor
PGA	Peak ground acceleration (nejvyšší hodnota zrychlení zemského povrchu)
POHO	Pohotovostní organizace havarijní odezvy
PSA	Probabilistic Safety Assessment (Pravděpodobnostní hodnocení bezpečnosti)
PSA	Přepouštěcí stanice do atmosféry
PSR	Periodic Safety Review

PV PG	Pojišťovací (pojistný) ventil parogenerátoru
PVKO	Pojistný ventil KO
Ra	Radiační, radioaktivní
RČA	Rychločinná armatura
RNVS	Rezervní napájení vlastní spotřeby
RTARC	Real Time Accident Release Consequence (Výpočtový program vyvinutý ve VÚJE pro výpočet a předpověď atmosférického transportu a vnějších radiačních následků pro případ jaderné havárie nebo radiačního nebezpečí v počátečních fázích)
RTS (HO-1)	Reactor Trip System (Systém pro rychlé odstavení reaktoru)
SAG	Severe Accident Guidance (Návody pro řešení těžké havárie)
SAMG	Severe Accident Management Guideline (Návody pro řízení těžkých havárií)
SAOZ	Systém havarijního chlazení AZ
SBO	Station Black Out (Úplná ztráta elektrického napájení)
SCG	Severe Challenge Guideline (Opatření při vážném ohrožení)
SDEOPs	Symptomaticky orientované havarijní postupy pro odstavené stavy
SEJVAL	Systém radiační kontroly výpustí
SHNČ	Superhavarijní napájecí čerpadla
SI	Směnový inženýr
SNB	Systém nedůležitý z hlediska JB
SSB	Systém související s jadernou bezpečností
SSC	System, Structure, Component (viz. SKK)
SUJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
SVP	Sklad vyhořelého paliva
SYRAD	Informační systém radiační kontroly
SZN	Systém zajištěného napájení
TB	Systém doplňování H_3BO_3
TC	Systém kontinuálního čištění vody primárního okruhu
TDS	Teledozimetrický systém
TG	Turbogenerátor
TG	Systém chlazení bazénu skladování vyhořelého paliva
TH	Systém nízkotlakého havarijního chlazení AZ

TJ	Systém vysokotlakého havarijního chlazení AZ
TK	Technologický kondenzátor
TK	Systém normálního doplňování a borové regulace
TL	Ventilační systém
TNR	Tlaková nádoba reaktoru
TPS	Technické podpůrné středisko
TQ	Sprchový systém
TSFO	Technický systém fyzické ochrany
TVD	Technická voda důležitá
UHS	Ultimate Heat Sink (koncový jímač tepla)
UPS	Uninterruptible Power Supply (Source) (Nepřerušitelný zdroj napájení, zálohovací zdroj elektrického napájení)
ÚZNVS	Úplná ztráta napájení vlastní spotřeby
VC	Systém chlazené vody
VE	Vodní elektrárna
VRB	Vedoucí reaktorového bloku
VS	Vlastní spotřeba
VT	Vysokotlaký
VVER	Tlakovodní energetický reaktor (vodovodní energetický reaktor)
XL	Barbotážní systém
ZHP	Zóna havarijního plánování

1 General data about the sites and nuclear power plants

1.1 Brief description of the sites characteristics

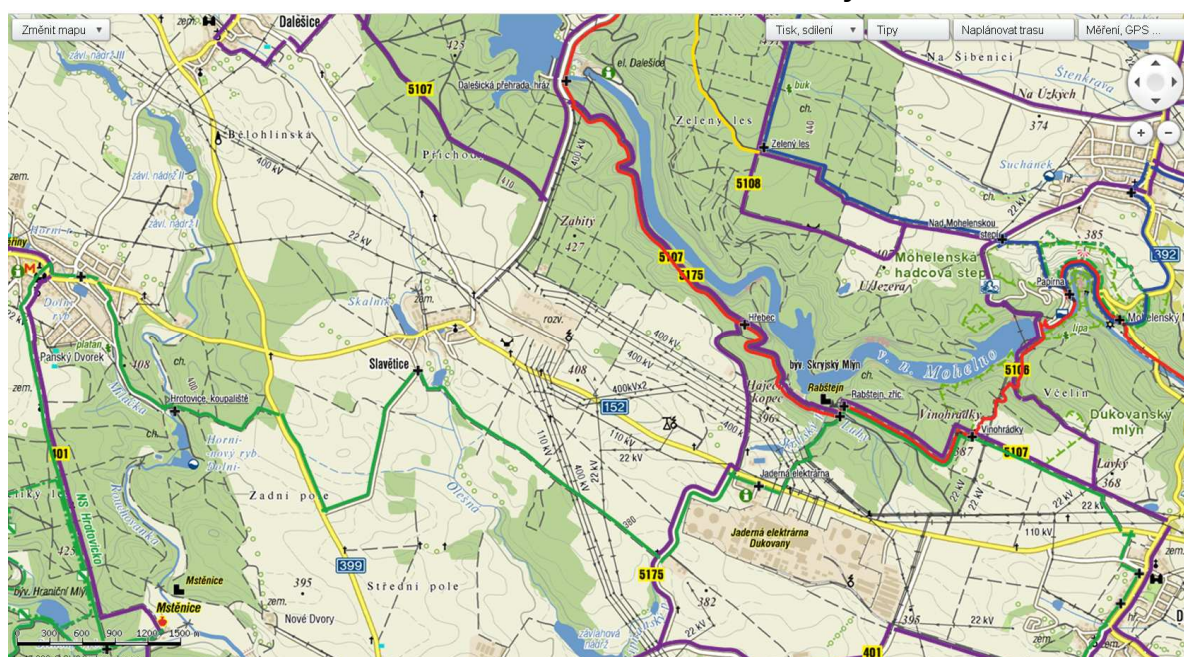
1.1.1 Charakteristika lokality

Jaderná elektrárna Dukovany (EDU) leží jihozápadně od města Brna na upravené rovinné ploše s kótou terénu 389,3 m n. m, která je na severu ohraničena hluboko zaříznutým údolím řeky Jihlavy. Okolní nadmořské výšky se pohybují cca na úrovni 370-395 m n.m. Nejbližšími sídly jsou obce Mohelno, Dukovany, Rouchovany a Slavětice ležící ve vzdálenosti 3-5 km. Severovýchodně od areálu JE prochází silniční komunikace 2. třídy č. 152 Moravské Budějovice - Brno. Na železniční trať je EDU napojena z východního směru vlečkou z přípojové stanice Rakšice na trati ČD Moravský Krumlov - Brno.

Základová půda jednotlivých objektů JE Dukovany je tvořena skalními horninami, případně eluvii těchto hornin, a proto vzhledem ke geotechnickým parametrům výše uvedených materiálů je možné základové poměry ve smyslu ČSN 73 1001, čl. 20a pokládat za jednoduché.

Pro založení objektů se zásadním vlivem na bezpečnost provozu jaderné elektrárny byly využity navětralé a zdravé skalní horniny, v místech tektonických poruch, kde byla hornina rozložena na zeminy charakteru hlinitých písků, byly tyto písky vybrány a nahrazeny plombou z prostého betonu.

Obr. 1.1.1-1 Umístění JE Dukovany

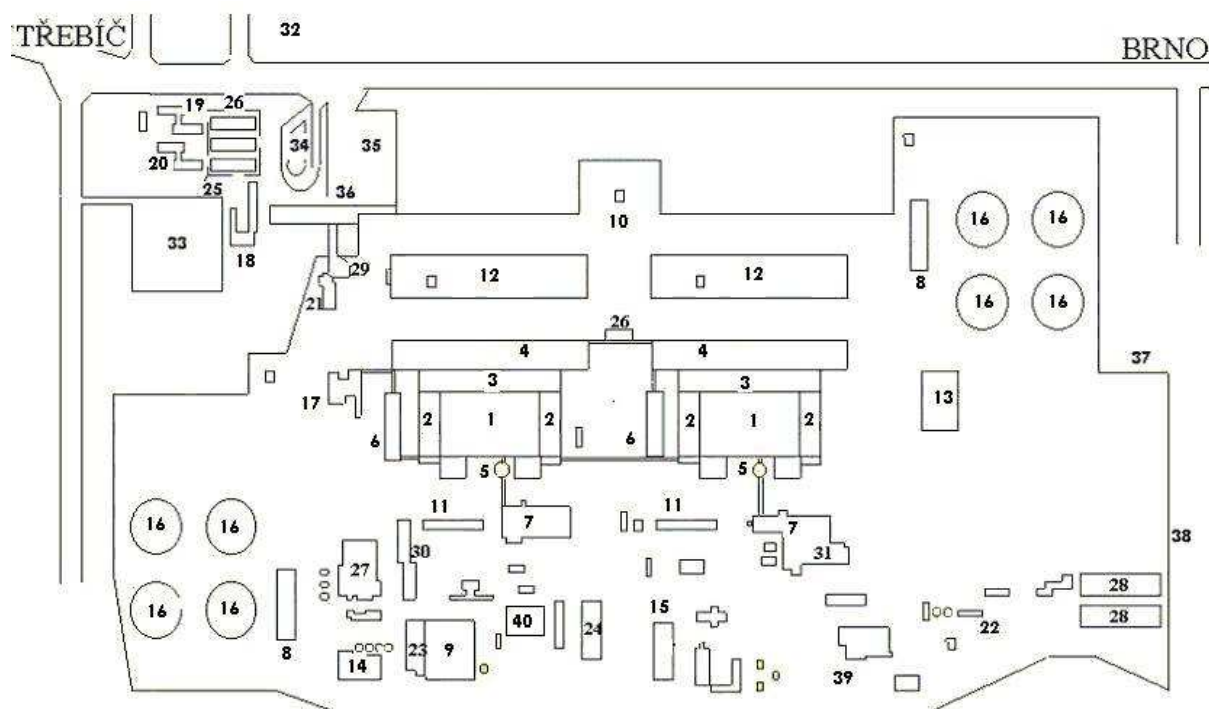


V lokalitě EDU jsou v provozu čtyři jaderné bloky (využívající některá společná zařízení). Bloky jsou identické, stavebně sloučené do dvojbloků.

Na řece Jihlavě je přečerpávací elektrárna Dalešice, která současně slouží jako zásobárna vody pro jadernou elektrárnu. Elektrická energie je z jaderné elektrárny vyvedena do 400kV rozvodny Slavětice.

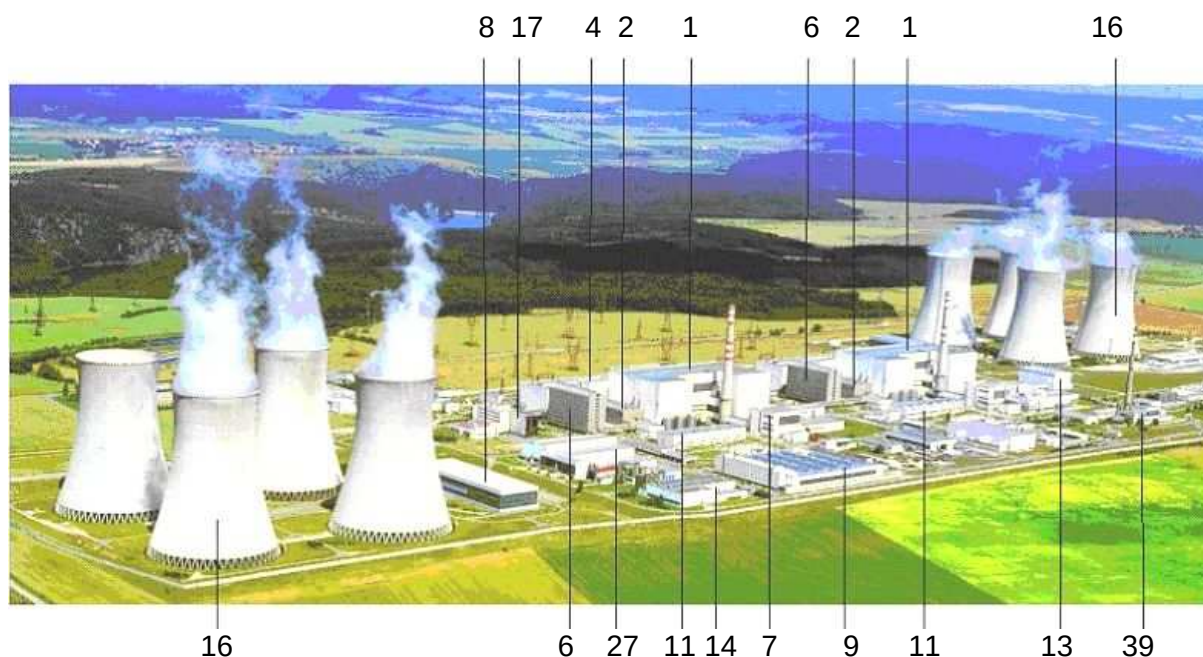
V lokalitě EDU jsou dále umístěny 2 sklady vyhořelého jaderného paliva (MSVP/SVP). Vyhořelé jaderné palivo je skladováno v kontejnerech CASTOR chlazených přirozenou cirkulací vzduchu v MSVP/SVP. Vzhledem k pasivnímu principu chlazení obalových souborů nehrozí ztráta schopnosti plnit bezpečnostní funkci po vzniku iniciační události a tudíž MSVP/SVP není předmětem tohoto hodnocení bezpečnosti a bezpečnostních rezerv.

Obr. 1.1.1-2 Uspořádání objektů JE Dukovany



1-Budova reaktorů, 2-Příčná etažérka, 3-Podélná etažérka, 4-Strojovna, 5-Ventilační komín, 7-Budova pomocných aktivních provozů, 8-Centrální čerpací stanice, 10-Čistící stanice průmyslových vod, 11-Dieselgenerátorová stanice, 12-Rozvodna 400 kV, 13-Mezisklad vyhořelého jaderného paliva a sklad vyhořelého paliva, 14-Chemická úprava vody, 15-Kompresorová stanice a stanice zdroje chladu, 16-Chladicí věž, 17-Administrativní budova 1 (kryt HŘS), 28-Úložiště radioaktivních odpadů, 29-Vrátnice, 30-Hasičský záchranný sbor podniku, 32-Čistící stanice odpadních vod a dvě retenční nádrže

Obr. 1.1.1-3 Letecký pohled na elektrárnu s označením objektů



Držitelem povolení k provozu všech jaderných zařízení umístěných v lokalitě je ČEZ, a. s., Duhová 2/1444, 140 53 Praha 4. Aktuálně platná povolení k provozu EDU byla vydána pro první blok Rozhodnutím SÚJB č. j. 24273/2005 ze dne 16.12.2005, pro druhý blok Rozhodnutím SÚJB č. j. 55714/2006 ze dne 8.12.2006, pro třetí blok Rozhodnutím SÚJB č. j. 30852/2007 ze dne 10.12.2007 a pro čtvrtý blok Rozhodnutím SÚJB č. j. 30853/2007 z 10.12.2007. Platnost všech povolení je na 10 roků.

1.2 Main characteristics of the units

1.2.1 General unit description

Jednotlivé RB EDU obsahují tlakovodní reaktory VVER 440 (typ V-213č) o výkonu 1375 MWt, resp. 1444 MWt. Bloky byly uvedeny do provozu v letech 1985 – 1987.

Reaktor (resp. aktivní zóna reaktoru) je chlazený a moderovaný vodou primárního okruhu, která je čerpána přes aktivní zónu hlavními cirkulačními čerpadly. Teplo akumulované v chladivu je po průchodu reaktorem v parogenerátorech předáváno vodě sekundárního okruhu. Tlak primárního okruhu je udržován kompenzátozem objemu. Systém chlazení reaktoru (primární okruh) je tvořen šesti smyčkami cirkulačního potrubí s hlavním cirkulačním čerpadlem (HCČ) a horizontálním parogenerátorem (PG) s možností oddělení netěsného HCČ nebo PG hlavními uzavíracími armaturami a dále systémem kompenzace objemu.

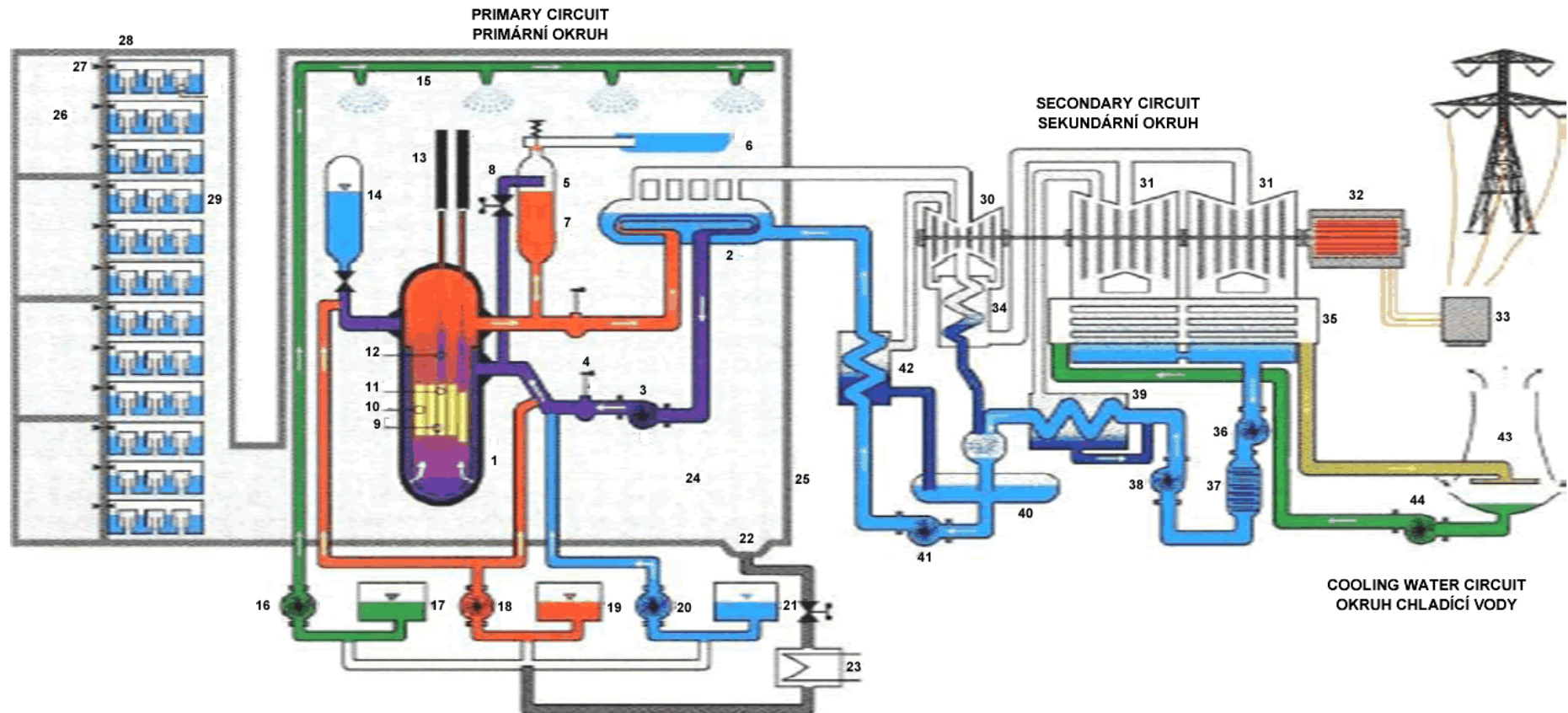
Reaktor a hlavní komponenty primární okruhu jsou umístěny v robustní hermetické zóně - kontejmentu, který tvoří železobetonová konstrukce s hermetickou oblicovkou, a který je bariérou proti úniku radioaktivních látek do okolí. Kontejnment se nachází uvnitř reaktorové budovy, která nad hlavním podlažím na úrovni 18,9 m pokračuje ocelovou konstrukcí tvořící zastřešení. V reaktorové budově jsou umístěny bazény skladování vyhořelého paliva (BSVP), kam se vyváží vyhořelé palivo z aktivní zóny. Odsud je po snížení zbytkového výkonu průběžně odváženo v kontejnerech CASTOR do MSVP/SVP.

Sekundární okruh sestává ze dvou turbogenerátorů pro jeden blok se systémy kondenzace, regenerace, napájecí vody a parovodů. Na sekundární okruh navazují systémy cirkulační chladicí vody a systémy technických vod se čtyřmi chladicími věžemi pro HVB, které jsou někdy sumárně označovány jako terciární systém.

Zbytkové teplo je do atmosféry odváděno za normálního provozu přes parogenerátory, hlavní kondenzátory, cirkulační vodu a chladicí věže, během odstávky přes parogenerátory, technologické kondenzátory, systém technické vody důležité a chladicí věže. Odvod tepla ze systému technické vody důležité do atmosféry je realizován samostatným rozvodem této vody v chladících věžích s přirozeným tahem. Čerpací stanice technické vody důležité je řešena jako samostatný stavební objekt pro dvojblok, celkem jsou tedy dvě čerpací stanice TVD v areálu elektrárny.

Aktivní bezpečnostní systémy mají redundanci $3 \times 100\%$ a jsou vzájemně nezávislé a fyzicky oddělené. Pasivní bezpečnostní systémy (hydroakumulátory uvnitř kontejmentu) mají redundanci $2 \times 100\%$. Je zajištěna seismická odolnost všech redundantních bezpečnostních systémů, včetně elektrického napájení a systémů řízení a dalších pomocných systémů. Nouzové zdroje systémů elektrického napájení a systémů řízení jsou vzájemně nezávislé, fyzicky oddělené a seismicky odolné (podléhající kvalifikaci jako pro bezpečnostní systémy). Projekt disponuje diverzifikovanými systémy pro zajištění plnění tří základních bezpečnostních funkcí 1) zajištění odstavení reaktoru (podkritičnost), 2) odvod tepla (dochlazení) a 3) zamezení únikům (bariéry a izolace kontejmentu) – viz kap. 1.3.

Obr. 1.2.1-1 Technologické schéma EDU



1 - Reaktor, 2 - Parogenerátor, 3 - Hlavní cirkulační čerpadlo, 4 - Hlavní uzavírací armatura, 5 - Kompenzátor objemu - pára, 6 - Barbotážní nádrž, 7 - KO - voda, 8 - Vstřiky KO, 9 - Aktivní zóna, 10 - Palivová kazeta, 11 - Regulační kazeta (HRK), palivová část, 12 - Regulační kazeta (HRK), absorpční část, 13 - Pohony HRK, 14 - Hydroakumulátor, 15 - Sprchový systém, 16 - Sprchové čerpadlo, 17 - Zásobní nádrž sprchového systému, 18 - Nízkotlaké havarijní čerpadlo, 19 - Zásobní nádrž nízkotlakého havarijního systému, 20 - Vysokotlaké havarijní čerpadlo, 21 - Zásobní nádrž VT havarijního systému, 22 - Sání z hermetické zóny, 23 - Chladič sprchového systému, 24 - Kontejnment, 25 - Ochranná obálka kontejnmentu, 26 - Záchytný plynem barbotážní věže, 27 - Zpětná klapka, 28 - Barbotážní věž, 29 - Žlaby barbotážní věže, 30 - VT díl turbíny, 31 - NT díl turbíny, 32 - Elektrický generátor, 33 - Blokový transformátor, 34 - Separátor a přehříváč páry, 35 - Kondenzátor, 36 - Kondenzátní čerpadlo I°, 37 - Bloková úprava kondenzátu, 38 - Kondenzátní čerpadlo II°, 39 - NT regenerace, 40 - Napájecí nádrž, 41 - Elektronapájecí čerpadlo, 42 - VT regenerace, 43 - Chladicí věž cirkulační vody, 44 - Čerpadla CV

1.2.2 Main Safety Modifications

Program obnovy zařízení:

V roce 1998 byl schválen a v následujících letech realizován Program obnovy zařízení tzv. MORAVA (**MO**dernizace - **Re**konstrukce - **Analý**zy - **VA**lidace), který navázal na modernizační akce realizované v rámci Dokompletace EDU. Program Morava měl jako jeden z hlavních cílů dosáhnout úrovně bezpečnosti akceptované v EU, v rámci projektu byla realizována řada bezpečnostně významných akcí řešících tzv. bezpečnostní nálezy IAEA („Safety issues and their ranking for WWER 440 model 213 Nuclear Power Plants“), které byly posuzovány i v rámci EU. S jejich realizací je spojeno i významné snížení hodnoty pravděpodobnosti tavení aktivní zóny reaktoru. Mezi významné bezpečnostní modifikace patří:

- ochrana jímek TQ – modifikace sít jako prevence zanesení sání sprchových čerpadel troskami v průběhu havárie
- modifikace zařízení na PoE +14,7 m – ochrana vysokoenergetických potrubí před letícími předměty
- kompletní obnova systému kontroly a řízení (automatiky RTS, ESFAS, ELS, RST, PAMS atd.)
- přemístění sekčního kolektoru superhavarijních napájecích čerpadel – oddělení bezpečnostního systému od vysokoenergetických potrubí
- doplnění OVKO včetně ochrany TNR proti natlakování zastudena
- doplnění havarijního odvodu TNR a primárních kolektorů PG
- drenážní trasa z A,B 301/1,2 – prevence ztráty chladiva v případě úniku na palubu HCČ
- modifikace pro zvýšení požární ochrany – rozšíření SSZ, instalace požárně odolných dveří, hašení na palubě HCČ
- modifikace projektu „únik před roztržením“ – z odolnění tělesa KO proti kmitům, dostrojení omezovačů švihnutí cirkulačního potrubí
- kvalifikace PVKO a OVKO pro práci s vodním médiem
- kvalifikace PV PG a PSA na parovodech pro práci s vodním médiem
- realizace nátrubků na trasy SHNČ umožňující připojení mobilních čerpadel HZSp
- výměna HNČ za silnější

- kvalifikace bezpečnostně významných komponent
- zvýšení jmenovitého tepelného výkonu reaktorů z původních 1375 MWt na hodnotu 1444 MWt
- úprava geometrie trasy ventilace TL11 v kontejnmentu pro zamezení úplné ztráty chladiva při LOCA . Součástí této akce je i příprava nátokového otvoru pro možnost chlazení TNR zvenku
- implementace symptomaticky orientovaných havarijních předpisů (EOPs) a návodů pro zvládání těžkých havárií (SAMG)

Periodic Safety Review:

Na JE Dukovany bylo provedeno PSR po 20 letech provozu v období 1/2006 – 6/2007. Proces zpracování PSR EDU byl řízen tak, aby byl zachován obecný soulad s návodem IAEA NS-G-2.10 a principy WENRA pro PSR definovanými v dokumentu „Reactor Safety Reference Levels“. PSR EDU bylo realizováno v rozhodující míře pracovníky ČEZ, a. s., což je v souladu s uvedeným návodem IAEA NS-G-2.10.

Účelem PSR dle návodu IAEA NS-G-2.10 bylo pomocí důkladného posouzení stavu klíčových oblastí ovlivňujících bezpečnost

- určit, do jaké míry elektrárna splňuje současné mezinárodně uznávané bezpečnostní standardy a praxe,
- ověřit platnost licenční dokumentace,
- určit, zda se uplatňují odpovídající opatření k udržení bezpečnosti elektrárny až do příštího PSR,
- určit zlepšení v oblasti bezpečnosti, které by měly být provedeny, aby byly vyřešeny identifikované bezpečnostní odchylky.

Pro provedení PSR byla v předstihu připravena dokumentace zahrnující zejména Metodiky a Kritéria, které vychází z legislativních dokumentů České Republiky a z dokumentů IAEA do úrovně Safety Guide, dokumentů řady INSAG a požadavků WENRA na PSR. Zhodnocení bylo provedeno pro všechny oblasti (14 oblastí) a pro všechny bezpečnostní faktory definované dle návodu IAEA NS-G-2.10.

Zjištěné odchylky byly rozděleny z hlediska bezpečnostní významnosti. s využitím schválené Metodiky rozděleny do 4 skupin (vysoká, střední, nízká, velmi malá).

Komplexní hodnocení v rámci PSR přitom identifikovalo obdobné příležitosti ke zvýšení bezpečnosti jaké jsou uvedeny v této zprávě.

Některé z nich jsou realizovány nebo již téměř dokončeny (kvalifikace projektu EDU včetně seismického z odolnění, doplnění systému PAMS vytvoření seismické PSA, opatření proti nevratné ztrátě chladiva, měření hladiny v šachtě reaktoru, dostrojení omezovačů švihu, zpřesnění měření těsnosti kontejnmentu, zpracování dokumentace pro TPS, sledování a vyhodnocování kvality lidského faktoru a kultury bezpečnosti) další jsou již dnes ve fázi přípravy na implementaci a byla by realizována i bez ohledu na toto nové hodnocení. Jedná se v oblasti řízení stárnutí o zavedení programu řízení životnosti a spolehlivosti zařízení, v oblasti technické o zvýšení odolnosti projektu EDU na následky těžkých havárií, (jehož součástí je zvýšení kapacity systému likvidace vodíku. doplněním rekombinátorů pro těžké havárie, příprava na zaplavení šachty reaktoru, instalace systému vnitřního seismického monitoringu, modifikace vzduchotechniky BD a z odolnění či omezení zatížení 12.patru VBK, modernizace EPS, z odolnění potrubí II.O. v kontejnmentu, z odolnění krytů – dieselgenerátory a kyslíková regenerace). V oblasti administrativní a personální dokončení tvorby tzv. Shutdown SAMG a vytvoření prostředku umožňující grafické zobrazení průběhu těžkých havárií jako nástroje pro tvorbu, školení a výcvik personálu, doplnění bezpečnostních analýz nadprojektových havárií a nevýkonových stavů. PSR přitom předpokládá implementaci odsouhlasených opatření do roku 2015, tj. do doby prodloužení životnosti JE Dukovany.

1.3 Systems for providing or supporting main safety function

Znalost obsahu této kapitoly je nezbytná pro správné porozumění následujících kapitol zabývajících se hodnocením odolnosti na jednotlivé hodnocen

Design Safety Concept

Bezpečnost JE Dukovany je zajišťována schopností splnit tato všeobecná bezpečnostní kritéria:

1. Bezpečně odstavit reaktor a udržet jej v podmínkách bezpečného odstavení.
2. Odvádět zbytkové teplo z aktivní zóny reaktoru a z použitého vyhořelého paliva.
3. Omezit úniky radioaktivních látek tak, aby úniky nepřekročily stanovené limity.

Splnění těchto všeobecných bezpečnostních kritérií se dosahuje pomocí principů:

- Ochrany do hloubky
- Plnění bezpečnostních funkcí

Ochrana do hloubky

Ochrana do hloubky má dva zásadní úkoly:

- Prevenci nehod
- Zmírnění následků nehod (havárií)

Plnění úkolů hloubkové ochrany v projektu JE se dosahuje prostřednictvím následujících opatření:

- Pět úrovní hloubkové ochrany
- Tři ochranné bariéry proti úniku Ra látek do okolí (palivo a jeho pokrytí, tlaková hranice primárního okruhu, kontejnment)

Cíle pěti úrovní hloubkové ochrany:

1. Zabránit odchylkám od normálního provozu a poruchám systémů.
2. Zjistit a odstranit odchylky od normálního provozu, aby bylo zabráněno přerůstání předpokládaných provozních stavů do havarijních podmínek.
3. Zabránit v případě vzniku havarijních podmínek pomocí bezpečnostních systémů rozvoji poruch a nehod do nadprojektových nehod a zadržet radioaktivní látky v ochranné obálce.
4. Udržet celistvost ochranné obálky.
5. Zmírnit radiologické následky úniku radioaktivních látek do vnějšího okolí.

Selže-li jedna úroveň hloubkové ochrany, začíná působit následující úroveň.

Plnění bezpečnostních funkcí

Funkce, a to jak provozní, tak i ochranné a bezpečnostní, plní technologické systémy, konstrukce a komponenty (SCC).

Z hlediska zajištění jaderné bezpečnosti jsou SCC JE Dukovany rozděleny na:

- Důležité z hlediska jaderné bezpečnosti (safety important – podílí se na plnění bezpečnostních funkcí).
- Nedůležité z hlediska jaderné bezpečnosti (neplní žádnou bezpečnostní funkci).

Systémy důležité z hlediska jaderné bezpečnosti jsou podle jejich funkce a významu pro jadernou bezpečnost dále rozděleny na:

- Bezpečnostní systémy (safety systems)
- Systémy související s bezpečností (safety related systems).

Bezpečnostní systémy představují množinu systémů zahrnující:

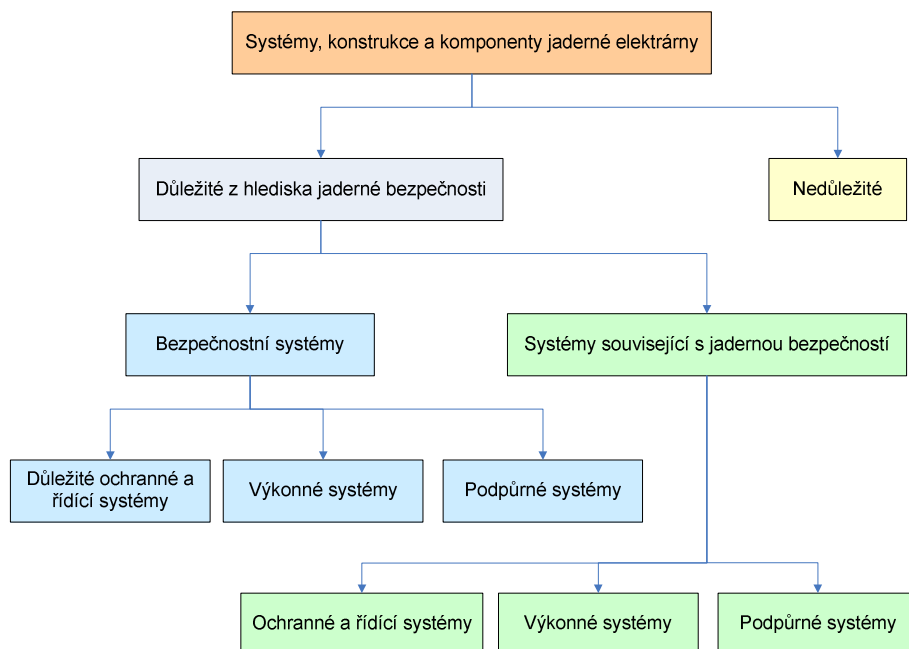
- Důležité ochranné a důležité řídicí systémy (přístrojové vybavení pro měření, resp. monitorování bezpečnostně důležitých proměnných veličin nebo stavů a pro automatické spuštění odpovídajících systémů s cílem zajistit a udržet blok v bezpečném stavu).
- Výkonné bezpečnostní systémy (systémy, které iniciací ochranných systémů vykonávají příslušné bezpečnostní funkce).
- Podpůrné systémy (systémy zajišťující funkce ochranných a výkonných systémů jako je např. el. napájení, chlazení a pod.).

Systémy související s jadernou bezpečností představují množinu systémů zahrnující:

- Ochranné a řídicí systémy.
- Výkonné systémy a konstrukce.
- Podpůrné systémy (el. napájení, chlazení a pod.).

Nedůležité systémy neplní žádnou bezpečnostní funkci, mohou však být (pokud jsou k dispozici) použity i v případě havarijních situací.

Obr. 1.3-1 Schéma rozdělení SCC do jednotlivých kategorií



Systémy důležité z hlediska jaderné bezpečnosti, tj. bezpečnostní systémy a systémy související s bezpečností, jsou zařazena mezi vybraná zařízení (classified equipment) a jsou v souladu s legislativními požadavky rozdělena do tří bezpečnostních tříd (safety class) podle jejich významu z hlediska bezpečnosti.

Technologické systémy, konstrukce a komponenty jsou klasifikovány i z hlediska seismické odolnosti. Všechny bezpečnostní systémy (a část systémů souvisejících s bezpečností) jsou zařazeny do první kategorie seismické odolnosti.

Bezpečnostní systémy podléhají procesu kvalifikace.

Pro bloky tohoto typu je typická schopnost zajišťovat základní bezpečnostní funkce následujícími vícenásobnými diverzními systémy v režimech normálního a abnormálního provozu a v havarijních podmínkách:

- **Podkritičnost** je zajišťována mechanickou regulací – pádem regulačních kazet vlastní vahou, vysokotlakými aktivními bezpečnostními systémy s vysokou koncentrací kyseliny borité, nízkotlakými aktivními a pasivními bezpečnostními systémy s odstavnou koncentrací kyseliny borité, dále systémy souvisejícími s bezpečností pro doplňování a bórovou regulaci za normálních a abnormálních provozních podmínek.
- **Odvod tepla** je zajišťován za normálních a abnormálních provozních podmínek parogenerátory s velkou zásobou vody, z kondenzátorů turbíny zajišťuje odvod tepla cirkulační okruh chladicí vody s chladicími věžemi s přirozeným tahem. Pro odvod tepla jsou dále určeny přepouštěcí stanice do kondenzátoru, redukční stanice, technologické kondenzátory – vše zařazeno mezi systémy související s bezpečností. Jako jejich náhrada jsou dále použity bezpečnostní systémy - přepouštěcí stanice do atmosféry, případně pojistné ventily parogenerátorů. Pro dochlazení bloku je k dispozici aktivní nízkotlaký systém dochlazování s odvodem tepla z technologických kondenzátorů pomocí TVD s redundancí 3 x 100 % aktivních prvků (čerpadel). Obecně jsou bezpečnostní systémy řešeny blokově, technická voda důležitá je u tohoto typu elektrárny řešená dvoublokově. Odvod tepla z TVD do atmosféry je realizován pomocí chladících věží s rozstřikem.
- **Zamezení úniků štěpných produktů** z aktivní zóny je zajištěno fyzickými bariérami – matrice a pokrytí paliva, tlaková hranice primárního okruhu, kontejnment s udržováním podtlaku v něm za normálních a abnormálních podmínek. Z bazénu vyhořelého paliva je za normálních a abnormálních podmínek zajištěn odvod tepla redundantním (2 x 100 %) systémem souvisejícím s bezpečností, za havarijních podmínek s využitím zásoby kyseliny borité v nádržích nízkotlakého bezpečnostního systému s odparem do prostoru reaktorového sálu. Za havarijních podmínek je dále aktivována izolace kontejnmentu od okolí s uzavřením rychločinných armatur na jeho hranici s odvodem tepla a snižováním tlaku v kontejnmentu pomocí aktivního bezpečnostního sprchového systému a s odvodem tepla pomocí TVD do chladících věží.

Podrobnější popisy včetně způsobu řešení nadprojektových stavů jsou uvedeny v následujících kapitolách.

Compliance of the plant with the current licensing basis

Legislativní požadavky na projekt jaderného zařízení k zajištění jaderné bezpečnosti, radiační ochrany a havarijní připravenosti jsou obsaženy ve Vyhlášce SÚJB č. 195/1999. Projekt EDU vyhovuje požadavkům citované vyhlášky a analýzami je prokázáno, že při všech očekávaných stavech normálního provozu, abnormálního provozu i za havarijních podmínek nejsou překračovány mezní parametry paliva a že při projektem předpokládaných nehodách nedojde k ozáření kritické skupiny obyvatelstva, které by se přiblížilo vylučujícím kritériím vyhlášky č. 215/1997 Sb. a pro něž by nebylo realizovatelné včasné zavedení a úplné uskutečnění všech neodkladných opatření pro ochranu obyvatelstva

Deterministické posouzení bezpečnosti provozu JE Dukovany (licenční analýzy) vychází z návodu IAEA-EPB-WWER-01 *Guidelines for Accident Analysis of WWER Nuclear Power Plants*, Dec. 1995, který stanovuje rozsah **iniciačních událostí**, pro které musí být prokázáno splnění **kritérií přijatelnosti** provozu JE a požadavky na **metodologii** provádění těchto analýz.

Podle pravděpodobnost (četnosti) výskytu jsou iniciační události rozdělené na:

1/ **Očekávané přechodové procesy** – pravděpodobnost (četnost) jejich výskytu je v rozmezí $1 \div 10^{-2}$ reaktor-rok. Pro ně jsou stanovena přísnější (= více vzdálená od skutečné hodnoty sledovaného parametru, kdy dochází k narušení bezpečnosti) kritéria přijatelnosti a jejich splnění musí být prokázáno i při uvážení stanovených konzervativních (= zpřísnujících) předpokladů.

2/ **Postulované nehody (iniciační události)** – pravděpodobnost (četnost) jejich výskytu je menší než 10^{-2} reaktor-rok. Pro ně mohou být stanovena i méně přísná (= méně vzdálená od skutečné hodnoty sledovaného parametru, kdy dochází k narušení bezpečnosti) kritéria přijatelnosti a požaduje se jejich splnění:

- o v rozmezí pravděpodobnosti (četnosti) výskytu $10^{-2} \div 10^{-4}$ reaktor-rok za splnění konzervativních předpokladů obdobně jako v případě přechodových procesů
- o pro události s pravděpodobností (četností) výskytu menší než 10^{-4} reaktor-rok se připouští použití ještě méně přísných kritérií přijatelnosti a zároveň použití mírnějších (= méně přísných) konzervativních předpokladů nebo i použití realistických (= bez konzervativních předpokladů) tzv. *Best Estimate* analýz.

Jako příklad stanovení kritérií přijatelnosti může posloužit konstrukce kritéria přijatelnosti pro radiologické následky příslušných iniciačních událostí (PpBZ EDU rev. 2, kap 15.0)

Iniciační události jsou dále rozdělené do skupin /podskupin podle typu (charakteru) události, přičemž se požaduje provedení analýz aspoň jedné iniciační události z každé skupiny /podskupiny.

Kontrolou kriteria přijatelnosti: „teplota paliva nesmí v žádném místě aktivní zóny překročit hodnotu 2520 °C“ je zajištěno, že v průběhu žádné z analyzovaných iniciačních událostí by nedošlo ani k lokálnímu tavení paliva.

1.3.1 Reactivity control

1.3.1.1 Podkritičnost aktivní zóny

Aktivní zóna reaktoru je tvořena 349 kazetami, z toho je 312 pracovních a 37 HRK, které se mohou přemisťovat ve vertikálním směru.

Uspořádání pracovních kazet a HRK v aktivní zóně je v trojúhelníkové mříži s krokem $147 \pm 0,6$ mm.

Krok palivové mříže zabezpečuje samoregulační vlastnosti AZ při práci na výkonu v důsledku záporných zpětných vazeb od výkonu a teploty moderátoru a paliva (koeficienty reaktivity od výkonu a teploty jsou záporné)

Z důvodu relativně malé AZ je tato stabilní vůči radiálnímu i axiálnímu kolísání rozložení výkonu při přechodových procesech od xenonu.

Pro řízení reaktivity jsou určeny dva nezávislé systémy založené na různých technických principech:

- Mechanický systém odstavení reaktoru včetně vypínačů napájení
- Systém doplňování a bórové regulace

Mechanický systém odstavení reaktoru je zařazen mezi BS. Je tvořen havarijními a regulačními kazetami (HRK) a plní následující funkce:

- zajišťují rychlé přerušování řetězové reakce v reaktoru rychlým pádem absorpční části do aktivní zóny a současným vysunutím její palivové části z aktivní zóny
- podílí se na automatické regulaci s cílem udržení výkonu reaktoru na zadané hladině a přechodu z jedné výkonové hladiny na druhou
- kompenzují rychlé změny reaktivity.

V reaktoru je umístěno celkem 37 HRK rozdělených do šesti skupin.

Bezpečnostní funkci rychlého odstavení reaktoru plní HRK pádem vlastní váhou po vypnutí vypínačů napájení. Ztráta napájení znamená automatické vypnutí vypínačů (tzv. bezpečná porucha).

Systém doplňování a bórové regulace

a) Systém doplňování je zařazen mezi SSB. Obsahuje dva základní provozní systémy TK, TE.

TK systém normálního doplňování a borové regulace, určený k:

- přívodu vody na ucpávky HCČ ve všech režimech provozu elektrárny
- doplňování I.O (kompenzaci neorganizovaných úniků)
- vracení organizovaných úniků ve všech režimech provozu elektrárny do I.O
- ke kompenzaci změn reaktivity reaktoru přívodem borového koncentráту nebo čistého kondenzátu do I.O
- k udržování hladiny v KO při změně výkonu reaktoru a k dochlazování KO
- ke korekci chemického režimu přívodem chem. reagentů do I.O
- zaplnění I.O
- systém může sloužit i pro doplňování I.O v havarijních stavech (netěsnosti primárního okruhu, prasknutí parovodu, prasknutí trubky PG), i když není pro tyto havarijní stavy primárně určen

Jedná se o jeden technologický okruh s čerpacími agregáty v řešení 3 x 100 % s napájením ze II. kategorie zajištěného napájení (DG).

Hlavní zařízení systému:

- odplyňovače doplňování TK10, 50B01
- doplňovací agregáty, tvořené čerpadly TK20,40,60D01,02 - 3 ks (max. průtok 60 m³/h při max prac. tlaku 14,70 MPa)
- 2 nezávislé trasy

TE systém odpouštění chladiva primárního okruhu, určený k:

- odpouštění chladiva z I.O ve všech režimech provozu
- odvodu chladiva na odplynění
- odvodu odplyněného chladiva na čisticí stanici drenážních vod I.O ev. do nádrží nečistého kondenzátu

- odvodu roztoku po deaktivaci vnitřních povrchu zařízení I.O

Jedná se o jeden technologický okruh s pracovním a rezervním čerpadlem s napájením ze II. kategorie zajištěného napájení (DG).

Hlavní zařízení systému:

- čerpadla odpouštění TE(10,50)D01
- 2 nezávislé trasy

b)Systém bórové regulace je zařazen mezi SSB. Obsahuje dva základní provozní systémy TC, TB.

Systém TC - Systém kontinuálního čištění vody primárního okruhu, zařazený mezi SSB.

Systém je určen především k udržování požadované kvality chladiva I.O na hodnotách určených normami vodochemického režimu.

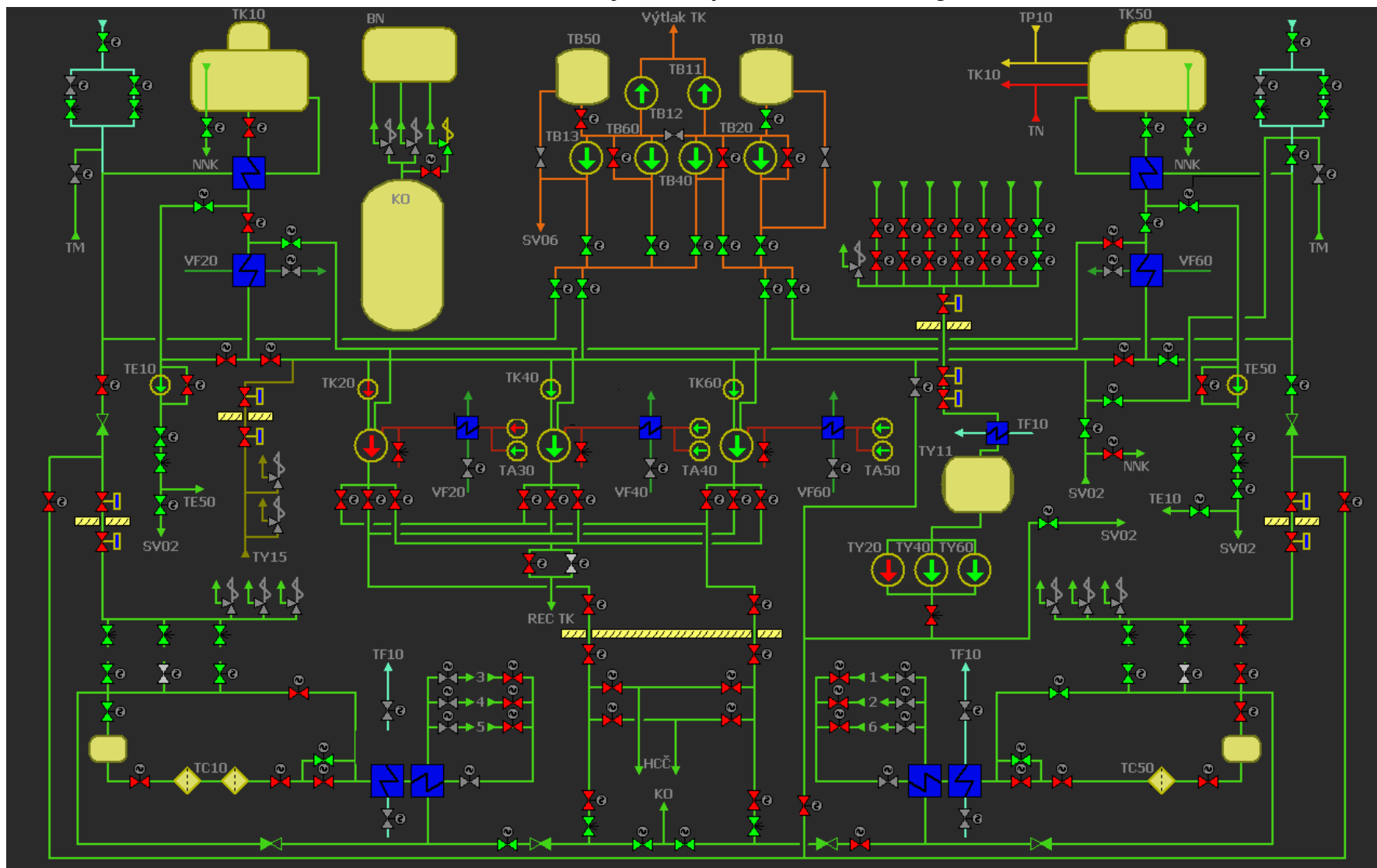
Systém kontinuálního čištění vody I.O je tvořen dvěma funkčně rovnocennými a vzájemně zastupitelnými okruhy TC10 (TC11N01 - katex, TC11N02 – anex a TC50 (TC51N01 směsného typu), jeden okruh je pracovní, druhý rezervní.

Systém TB - Systém doplňování kyseliny borité do primárního okruhu, zařazený mezi SSB.

Úkolem systému je skladování koncentrátu H_3BO_3 a jeho doplňování do primárního okruhu. Systém (uzel) tvoří dvě skladovací nádrže koncentrátu H_3BO_3 ($2 \times 50m^3$) a šest čerpadel (1 nízkotlaké (manipulační), 2 vysokotlaká (slouží pro tlakovou těsnostní zkoušku), 3 havarijní – napájená z II. kategorie zajištěného napájení (DG)). Do každé ze dvou zásobních nádrží je samostatnými trasami přiveden koncentrát H_3BO_3 jednak od čistící stanice koncentrátu a jednak z přípravy chemických reagentů

Kromě výše popsaných systémů jsou pro zajištění bezpečnostní funkce řízení reaktivity určeny také havarijní systémy chlazení AZ, zařazené mezi BS.

Obr. 1.3.1-1 Systém doplňování a bórové regulace



Havarijní systémy chlazení AZ (vysokotlaký TJ, nízkotlaký TH) - aktivní

a) Systém TJ - Vysokotlaký systém havarijního chlazení AZ slouží ke zmírnění průběhu a likvidaci následku havárií spojených se ztrátou těsnosti I.O případně II.O. Za normálního provozu bloku na jmenovitém nebo sníženém výkonu je zařízení v pohotovostním režimu připraveno automaticky zasáhnout v případě vzniku havarijní situace.

Za havarijní situace zajišťuje:

- doplňování I.O a zvyšování koncentrace kyseliny borité v I.O při netěsnostech I.O nebo prasknutí II.O s cílem omezit poškození paliva
- zabraňuje nepřípustným přechodovým procesům spojeným se změnami reaktivity
- svou funkcí spolu s ostatními bezpečnostními systémy omezuje úniky radioaktivních látek a průnik ionizujícího záření z hermetické zóny při havarijních podmínkách a po nich.

Systém je řešen se systémovou redundancí 3 x 100% včetně všech podpůrných systémů (chlazení, elektronapájení, řízení a ventilace).

TJ čerpadla jsou napájena z II.kat ZN.

Hlavní zařízení TJ systému havarijního chlazení:

- vysokotlaké havarijní doplňovací čerpadlo - 3 ks – průtok 65 m³/h při protitlaku 12,7 MPa, max tlak na výtlaku 14,3 MPa
- nádrže TJ systému - 3 ks (3x80 m³ koncentrace H₃BO₃ 40 g/kg a teplota 50 °C)

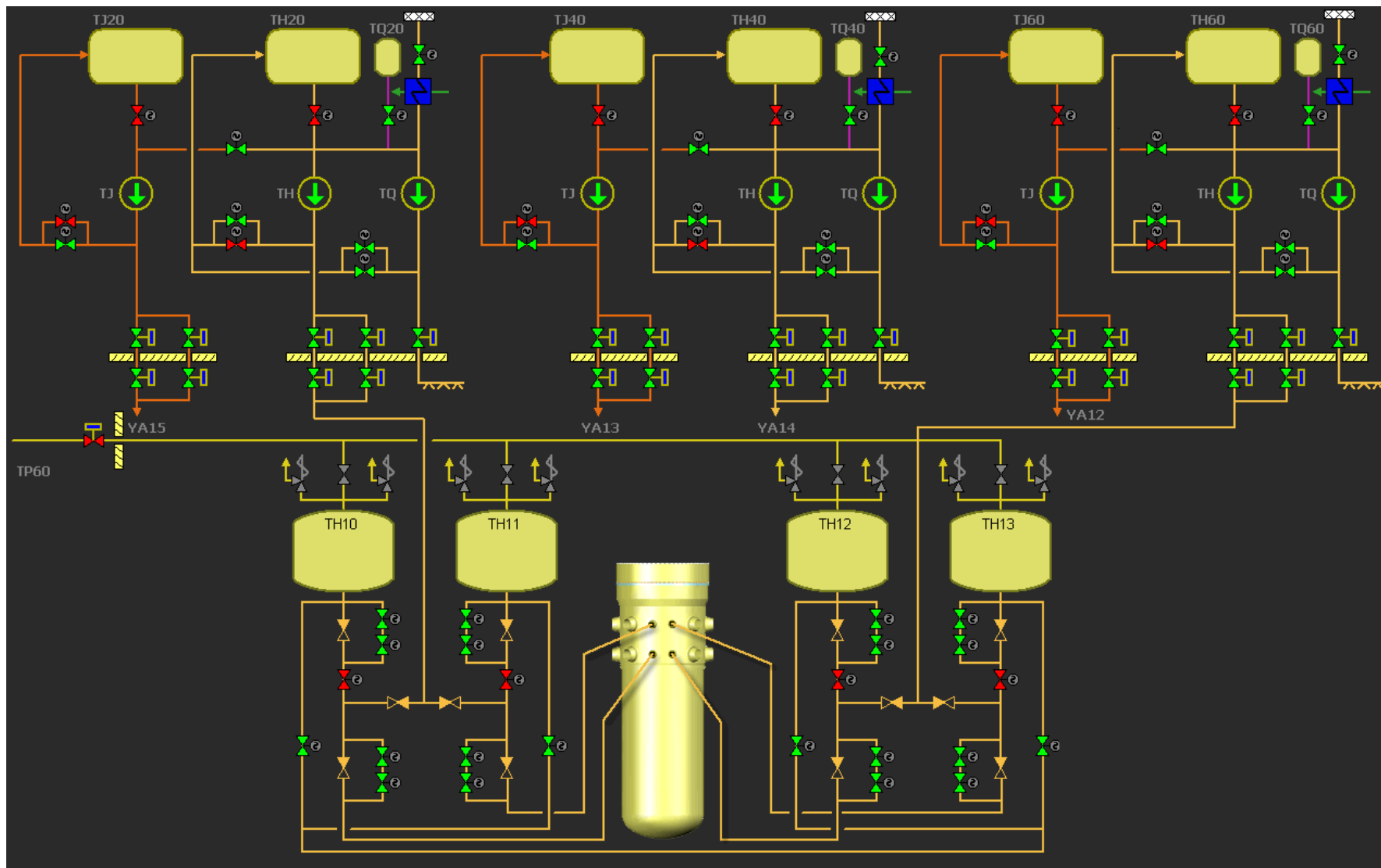
b) Systém TH – nízkotlaký systém havarijního chlazení AZ slouží ke zmírnění průběhu a likvidaci následku havárií spojených s velkými úniky z I.O. Za normálního provozu bloku na jmenovitém nebo sníženém výkonu je zařízení v pohotovostním režimu připraveno automaticky zasáhnout v případě vzniku havarijní situace. Systém TH je koncipován obdobně jako systém TJ (tj. s redundancí 3 x 100%).

TH čerpadla jsou napájena z II.kat ZN.

Hlavní zařízení TH systému havarijního chlazení:

- nízkotlaké havarijní doplňovací čerpadlo - 3 ks - 280 m³/h při tlaku 0,71 MPa na výtlaku
- nádrže TH systému - 3 ks (3x250m³ koncentrace H₃BO₃ 12g/kg)

Obr. 1.3.1-2 Havarijní systémy chlazení AZ



Havarijní systémy doplňování TH - pasivní

Systém tlakových zásobníků je určen pro zalití AZ v počáteční fázi havárie a zabezpečuje rychlé zalití AZ roztokem kyseliny borité. Systém se skládá ze 4 tlakových zásobníků ($4 \times 40 \text{ m}^3$ koncentrace H_3BO_3 12g/kg). Každý ze čtyř tlakových zásobníků má svou nezávislou výtlačnou trasu DN 250 přímo na reaktor. Vylití zásobníků do reaktoru probíhá díky dusíkovému polštáři pasivně poklesem tlaku v I.O.

Pro zajištění funkce řízení reaktivity v případě nadprojektových havárií lze kromě systémů popsaných výše využít ještě dalších systémů TM, TD.

Systém TM - Systém čištění bazénových vod, zařazený mezi SSB.

Systém je určen k čištění vody nádrží havarijní zásoby roztoku kyseliny borité barbotážního kondenzátoru, systému havarijního chlazení aktivní zóny a skladovacích bazénu vyhořelého paliva od rozpustných i nerozpustných příměsí. Pro účely zajištění bezpečnostní funkce řízení reaktivity je možné využít bloková čerpadla tohoto systému TM13,14D01 napájenými ze zajištěného napájení II. kategorie (DG) pro přečerpání roztoku kyseliny borité mezi nádržemi NT havarijního systému s jeho následnou dodávkou do primárního okruhu po jeho odtlakování.

Analogicky je možné použít bloková čerpadla systému TD60 pro přečerpání koncentrovaného roztoku kyseliny borité mezi nádržemi VT havarijního systému s jeho následnou dodávkou do systému primárního okruhu pomocí VT čerpadel havarijních systémů

1.3.1.2 Podkritičnost bazénu skladování vyhořelého paliva

Podkritičnost souboru palivových kazet v bazénu skladování je zajištěna dvěma nezávislými způsoby:

- geometrií a materiálovým provedením skladovacích mříží umístěných v bazénu vyhořelého paliva
- koncentrací kyseliny borité v objemu bazénu

V základní kompaktní skladovací mříži je možno skladovat 699 vyhořelých palivových souborů (PS), z toho 17 pro PS umístěné v hermetických pouzdrech (HP). Při odstávce s úplným vyvezení paliva z reaktoru je do BSVP umístěna dočasně tzv. rezervní skladovací mříž umístěná nad základní skladovací mříží, tj. na úrovni +10,97 m. Rezervní mříž umožňuje uložení 296 ks PS a 54 ks HP.

Při skladování paliva ve dvou vrstvách je předepsána minimální hladina +18,5 m, při manipulacích s palivem minimálně +20,75 m.

Koncentrace kyseliny borité ve vodě je udržována na minim. hodnotě 12 g/l. Dle Limit a podmínek (LaP) je teplota vody v BSVP předepsána $\leq 60\text{ }^{\circ}\text{C}$, dle provozních předpisů (PP) musí být teplota udržována pod $50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Pro umístění paliva v dolní základní kompaktní skladovací mříži neplatí žádná omezení. Pro umístění paliva v horní, tj. rezervní skladovací mříži jsou zpracována pravidla pro umístění PS tak, aby PS s čerstvým palivem byly obklopeny PS s vyšším vyhořením.

Za výše uvedených podmínek je podkritičnost zajištěna i v případě zaplnění bazénu vyhořelého paliva čistým kondenzátem, tj. $k_{\text{ef}} < 0,95$.

1.3.2 Heat transfer from reactor to the ultimate heat sink

Pro jaderný blok VVER-440 typ 213 se rozlišuje 7 režimů bloku.

Tab. 1.3.2-1 Provozní režimy bloku

REŽIM	Název REŽIMU	Výkon reaktoru [% N_{nom}]	Reaktivita $\Delta k/k$ [%]	Teplota $T_{\text{I.O.}}, T_{\text{TNR}}, T_{\text{HVS}}$ [$^{\circ}\text{C}$]	Tlak $p_{\text{I.O.}}$ [MPa]
1	Provoz na výkonu	> 2	> -1	$T_{\text{I.O.}} > 250$	$p_{\text{I.O.}} > 8,3$
2	Nevýkonový provoz $\tau_R = 72$ hodin	≤ 2	≥ -1	$T_{\text{I.O.}} > 190$	$p_{\text{I.O.}} > 8,3$
3	Horká rezerva	Zbytkový výkon	< -1	$T_{\text{HVS}} \geq 180^{\circ}\text{C}$	$p_{\text{I.O.}} > p_{\text{atm}}$
4	Polohorká rezerva	Zbytkový výkon	< -1	$T_{\text{HVS}} \geq 90^{\circ}\text{C}$	$p_{\text{I.O.}} > p_{\text{atm}}$
5	Odstavení s dochlazením I.O	Zbytkový výkon	< -1	$T_{\text{HVS}} < 90^{\circ}\text{C}$	$p_{\text{I.O.}} > p_{\text{atm}}$
6	Odstavení s roztěsněním I.O	Zbytkový výkon	< -1	$T_{\text{HVS}} < 100$	$p_{\text{I.O.}} = p_{\text{atm}}$
7	Vyvezení paliva z AZ	AZ neobsahuje palivo			

T_{HVS} - teplota horkých větví I.O

1.3.2.1 All existing heat transfer means / chains from the reactor to the UHS in different reactor shutdown conditions.

Tyto kapitoly popisují způsoby odvodu tepla od AZ do UHS v režimech 3 až 6, tj. režimy, kdy blok byl odstaven a je nutné zajistit odvod tepla z I.O ke koncovému jímači tepla až do stavu s možností roztěsnění I.O a odvodu zbytkového tepla po jeho roztěsnění.

Pro zajištění odvodu tepla pro splnění všech výše uvedených důvodů je možné využít jak provozních systémů tak bezpečnostních systémů.

Provozní systémy jsou:

- Systém kondenzace a přepouštěcí stanice do kondenzátoru

Systémy související s bezpečností (SSB, safety related):

- Systém dochlazování
- Systém havarijního napájení PG (ve spolupráci s bezpečnostními systémy PSA nebo PVPG)

Bezpečnostní systémy:

- Systém superhavarijního napájení PG a systém PVPG a PSA
- Chlazení pomocí SAOZ

Ostatní systémy

Jedná se o využití standartních projektových prostředků nad rámec jejich projektového určení, např. v oblasti nadprojektových havárií. Po odvod tepla z AZ lze využít i tzv. nestandardní řešení, např. současná spolupráce provozních a bezpečnostních systémů. V předpisu EOP je především podrobně popsán způsob odvodu zbytkového tepla pomocí dodávky vody do PG s využitím techniky hasičského záchranného sboru (HZS).

1.3.2.2 Lay out information on the heat transfer chains: routing of redundant and diverse heat transfer piping and location of the main equipment. Physical protection of equipment from the internal and external threats.

Provozní systémy

Systém kondenzace

Normálním provozním systémem pro odvod tepla od AZ ke konečnému jímači tepla je odvod tepla přes sekundární okruh s tím, že odvod tepla z AZ je zajišťován pomocí nucené cirkulace (pokud jsou HČ v provozu), nebo pomocí přirozené cirkulace. Teplo z I.O se odvádí v PG, pára je odváděna do kondenzátorů TG. Teplo z kondenzátorů odvádí cirkulační chladicí voda. Voda z kondenzátů je odváděna kondenzátními čerpadly, která dodávají vodu

do napájecích nádrží. Z napájecích nádrží je voda dodávána do PG pomocí normálního nebo havarijního napájení PG.

Systém dochlazování

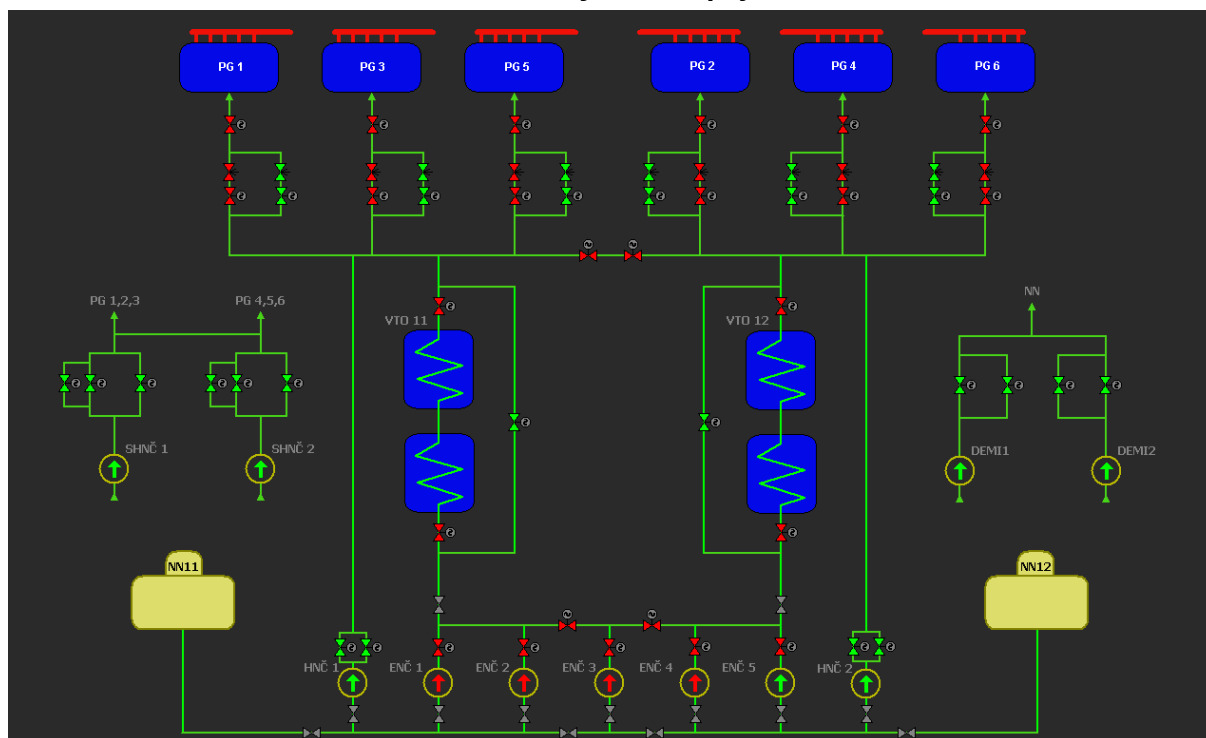
Tento systém pracuje ve dvou provozních režimech – parovodním a vodovodním. Odvod tepla v obou těchto režimech zajišťuje TVD v technologickém kondenzátoru (dále TK). Odvod tepla z AZ do PG je zajišťován nucenou nebo přirozenou cirkulací.

V parovodním režimu je pára z PG odváděna přes redukční stanici dochlazování do TK, odkud teplo odvádí TVD. Kondenzát je odváděn do SNK, resp. NN. Hladina vody v PG je zajišťována systémem normálního nebo havarijního napájení PG. Případný úbytek vody v systému je doplňován čerpadly demivody 1MPa.

Zdrojem vody jsou NN a nádrže demivody, čerpání zajišťují ENČ nebo HNČ napájené ze SZN II. kategorie (DG), odvod tepla z TK zajišťují čerpadla TVD, napájené ze SZN II. kategorie, čerpadla demivody jsou napájené ze SZN II. kategorie (DG).

Všechny uvedené systémy (s výjimkou TVD) patří do kategorie SSB. TVD patří mezi BS.

Obr. 1.3.2-2 Systém napájení PG



Ve vodovodním režimu je TK využíván jako výměník voda/voda. Parovody a trasy HPK a celého systému dochlazování jsou zaplněny vodou pomocí HNČ. Potrubní trasy včetně závěsů jsou dimenzovány na zaplnění vodou. Po úplném zaplnění tras je cirkulace chladiva zajištěna čerpadly dochlazování. Případná ztráta vody v systému je doplňována z nádrží DV. Využívá se rovněž minimálně jedna NN, která plní funkci kompenzátoru objemu.

Všechny tyto systémy patří do kategorie SSB, nádrže demivody 1000m³ patří do kategorie BS, RSD, technologické kondenzátory a potrubní trasy jsou zdvojeny (2x100%), čerpadla jsou v provedení 3x100%. Systém je umístěn na strojovně a není dispozičně oddělen od systémů normálního provozu. Napájecí trasy do PG včetně regulačních a uzavíracích armatur jsou umístěny na podélné etažerce na podlaží +14,7m, ve stejném prostoru jsou umístěny i parovody z jednotlivých PG včetně uzavíracích armatur. Každý z technologických kondenzátorů je chlazen jinou divizí TVD. Jako záloha je použita třetí divize TVD, kterou je možno propojit na oba TK. Systém dochlazování nemá seismické provedení, pouze technologické kondenzátory jsou v provedení Sc, tj. odolnost proti překlopení. Ochrana proti externím událostem je stejná jako u všech dalších systémů umístěných na strojovně (viz další kapitoly této zprávy).

Systém havarijního napájení PG

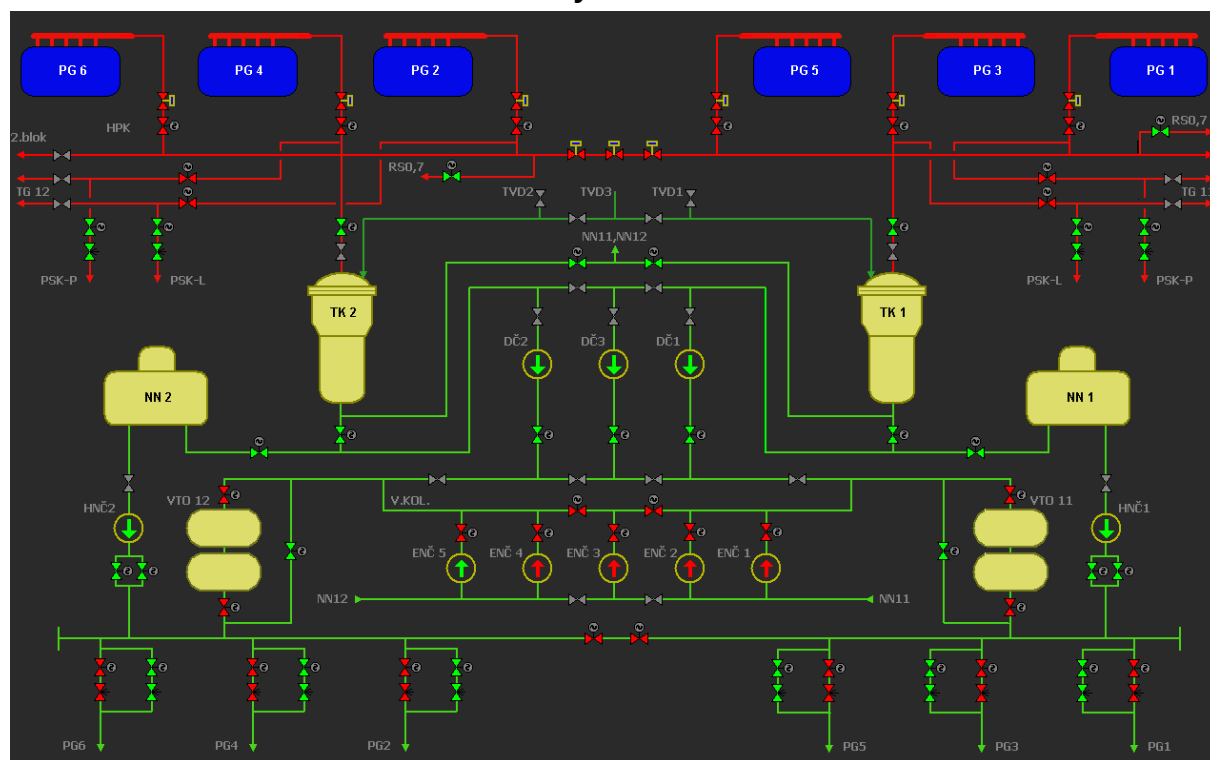
Systém havarijního napájení je tvořen dvěma havarijními napájecími čerpadly (HNČ) a zdvojenými potrubními trasami (2x100%). Sání je z napájecích nádrží (NN), výtlačné trasy jsou vedeny mimo vysokotlakých ohříváků (VTO) a jsou zavedeny přímo do havarijního napájecího kolektoru (HNK). Pro napájení PG jsou vytvořeny samostatné trasy havarijního napájení menšího průměru s uzavíracími a regulačními armaturami. Tyto trasy jsou propojeny s trasami normálního napájení PG a přívod do kontejnmentu a do PG je proveden společným potrubím pro každý PG. Systém má elektrické napájení ZN II. kategorie a čerpadla jsou spouštěna programem ELS. Systém je umístěn na strojovně a není dispozičně oddělen od systémů normálního provozu, trasy jsou propojeny se systémem normálního napájení PG. Systém se používá při odvodu zbytkového tepla pomocí technologického kondenzátoru v parovodním režimu, pro napájení PG na nízkém výkonu (při odstavených TG) a rovněž je možno jej použít pro napájení PG v režimu sekundární feed&bleed s odvodem páry přes PSA nebo PVPG.

V režimu sekundární feed&bleed není potřebná TVD, tímto způsobem je tedy možno provést dlouhodobý odvod zbytkového tepla i při ztrátě UHS. Čerpadla a armatury mají napájení ze ZNII, PSA a PVPG jsou napájeny ze ZNI, takže je možno tento způsob odvodu tepla provést i při ÚZNVS, tj. při provozu DG. Při provozu DG však již bude systém TVD nezbytný pro chlazení DG. V režimu ÚZNVS bude odvod tepla z reaktoru probíhat přirozenou cirkulací a operátoři budou postupovat podle předpisů EOP, postup ES-0.2. Odvodem páry přes PSA je možno vychladit na teplotu v I.O. cca 120-130 °C za 30-40 hodin po odstavení reaktoru. Pro odvod zbytkového tepla (bez vychlazování) je v čase 0,5 h po odstavení reaktoru potřebný průtok napájecí vody do PG 37 m³/h, v čase 40 h cca 10 m³/h, při vychlazování trendem 10 °C/h v režimu přirozené cirkulace cca 17 m³/h v čase 40 hodin. Dodávka napájecí vody do PG je prováděna z NN, doplňování NN je prováděno z nádrží demivody

(3x 1000 m³ pro HVB) pomocí čerpadel demivody 1MPa. Při postupu podle ES-0.2 vystačí zásoba demivody v nádržích 1000 m³ při uvažování současného odvodu zbytkového tepla z obou reaktorů v rámci jednoho HVB na cca 3 dny, potom je ještě k dispozici objem vody v NN. Nádrže demivody je možno doplňovat z dostupných zásob vody v areálu EDU (čističe, bazény chladičích věží) pomocí mobilní techniky, pro tento účel jsou instalovány stabilní nátrubky pro možnost snadného připojení požárních hadic.

Režim sekundární feed&bleed je možno použít i v režimu vodovodního dochlazování, tj. po zaplnění PG a parovodů vodou, v tomto režimu by byla přes PSA nebo PVPG odpouštěna voda. Pro tento způsob chlazení jsou zpracovány analýzy, ale zatím nejsou zpracovány provozní předpisy. Pro tento postup je totiž potřeba podstatně vyšší průtok vody do PG a bylo by potřebné použít obě HNČ nebo obě SHNČ.

Obr. 1.3.2-3 Systém dochlazování



Bezpečnostní systémy

V případě nedostupnosti systémů uvedených v předchozích popisech jsou k dispozici systémy zařazené do kategorie BS.

Systém superhavariijního napájení a systém PVPG a PSA

Odvod tepla z I.O je realizován pomocí nucené nebo přirozené cirkulace. Odvod tepla v II.O je v tomto případě realizován přes neuzavřený okruh, tj. přes přepouštěcí stanice do atmosféry, resp. přes PV PG do atmosféry.

Dodávku vody do PG, pokud nejsou k dispozici ENČ nebo čerpadla havarijního napájení HNČ lze zajistit čerpadly SHNČ.

Zdrojem vody pro SHNČ jsou tři nádrže demivody, které stojí v areálu u zdi HVB, nádrže jsou společné pro 2 bloky v rámci HVB. Nádrže mají teplotu vody cca 20°C, v zimě s ochranou proti zamrznutí. Čerpadla SHNČ jsou dvě pro každý blok, jsou umístěny v samostatném objektu vně HVB spolu s čerpadly demivody 1 MPa. Čerpadla SHNČ jsou umístěna v samostatných kobkách a jsou tedy navzájem dispozičně oddělena. Čerpadla SHNČ a jejich trasy jsou zdvojeny (redundance 2x100%). Napájení čerpadel a armatur je provedeno z ZNII, čerpadla jsou spouštěna programem ELS a též od signálů ESFAS. Výtlačné trasy jsou vedeny potrubními kanály na strojovnu a odtud na podlaží +22 m na podélné etažérce. Napájecí trasy s uzavíracími a regulačními armaturami jsou navzájem dispozičně odděleny, trasy pro PG1,2,3 jsou umístěny v jedné místnosti a trasy pro PG 4,5,6 jsou umístěny v další samostatné místnosti. Odtud trasy prostupují na podlaží +14,7 m a hermetickými průchodkami jsou vedeny do boxu PG a k jednotlivým PG. Potrubní trasy superhavarijního napájení jsou v prostoru strojovny a podélné etažerky chráněny masivním opancěrováním z důvodu ochrany před letícími předměty. Trasy SHNČ jsou zcela dispozičně odděleny od tras normálního napájení PG a do PG jsou přivedeny samostatnými nátrubky.

Zařízení systému SHNČ je v seismickém provedení s minimální odolností na SL2, objekt SHNČ a nádrže demivody jsou odolné na seismicitu a rovněž na působení extrémních klimatických podmínek.

PSA a PV PG jsou umístěny v podélné etažérce HVB na podlaží +14,7 m. PSA jsou umístěny na HPK v provedení 2x100%, na každém PG je umístěna dvojice PVPG. Elektrické napájení PSA a PVPG je provedeno z ZNI, dálkové ovládání je možné z BD a z ND, PSA mají též ruční kolečko pro možnost otevření z místa. PSA a PVPG jsou kvalifikovány na seismicitu a podmínky HELB, možnost odvodu média je v parním i vodním režimu. PSA umožňují snížení tlaku v II.O prakticky až do atmosférického tlaku, pomocí PVPG je možno odtlačit PG pouze na tlak 3,5 MPa. V současné době je připravena modifikace pro možnost snížení tlaku pomocí PVPG až na atmosférický tlak.

Při použití systému SHNČ je dodávána demivoda o teplotě cca 20°C přímo do PG. Pro použití SHNČ je zpracován v rámci EOP podrobný postup ES-0.6. Pro odvod zbytkového tepla není potřebná TVD, postup sekundární feed&bleed je tedy možné použít i při ztrátě UHS. Pokud je však ztráta UHS spojena s ÚZNVŠ, potřebujeme TVD pro chlazení DG. Při dochlazování trendem nižším než 10 °C v režimu přirozené cirkulace vystačí zásoba demivody v nádržích 3x 1000 m³ na dobu delší než 72 hodin při současném odvodu zbytkového tepla z obou reaktorů jednoho HVB. Nádrže demivody je možno doplňovat

z dostupných zásob vody v areálu EDU (čičice, bazény chladicích věží) pomocí mobilní techniky HZS, pro tento účel jsou instalovány stabilní nátrubky pro možnost snadného připojení požárních hadic.

Chlazení pomocí SAOZ

Další možností odvodu tepla z I.O (kromě nucené a přirozené cirkulace, uvažované v předchozích popisech) je využití VT havarijního systému s čerpadly TJ v režimu Feed&Bleed s odpouštěním chladiva z I.O do kontejnmentu přes OVKO, resp. PVKO. V tomto režimu by byl zajištěn odvod tepla z I.O do kontejnmentu a odtud, přes výměník SAOZ systémem TVD. Navíc by byl použit sprchový systém TQ pro udržování tlaku v kontejnmentu a kondenzaci páry. VT čerpadla jsou schopna dodávat koncentrovaný roztok kyseliny borité do I.O i při nominálním tlaku v něm. Režim je analyzován při provozu jednoho, dvou TJ čerpadel a otevřením OVKO, nebo PVKO a jejich kombinací. Pokud se nepodaří obnovit chlazení AZ ze strany II.O., lze po dosažení nízkého tlaku v I.O. použít místo TJ čerpadel nízkotlaká čerpadla TH systému.

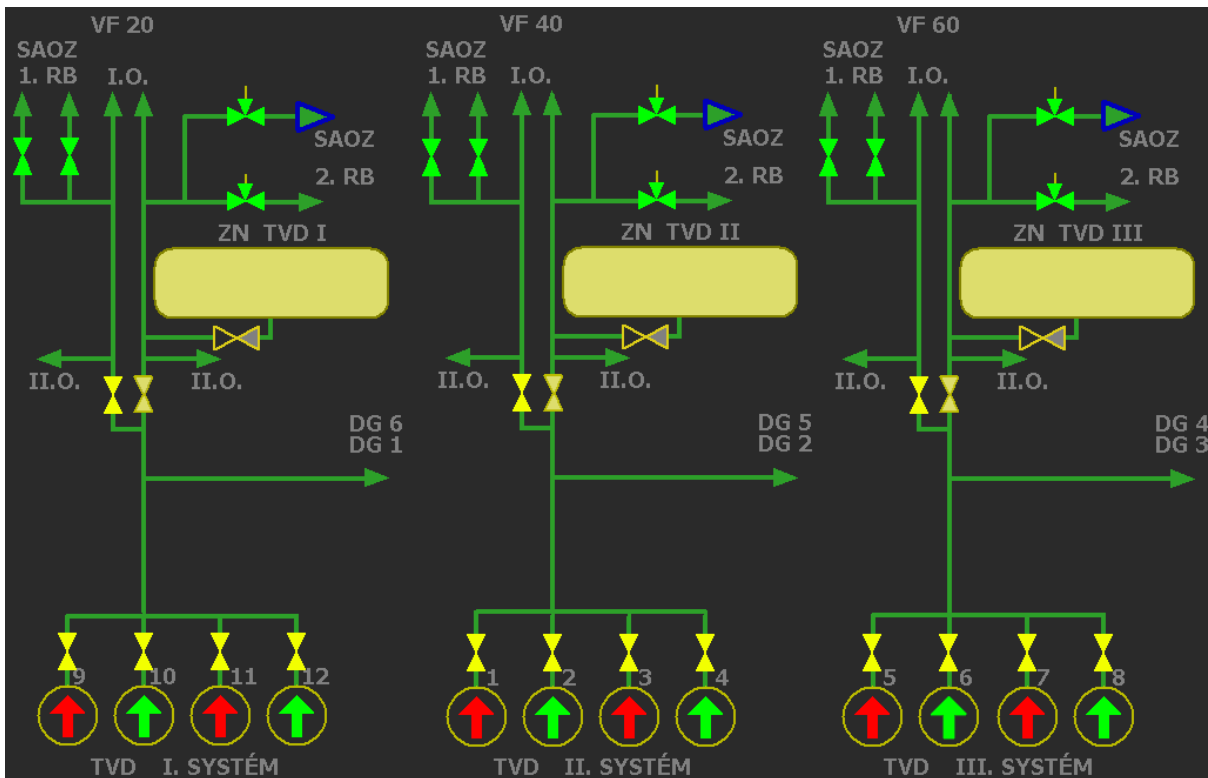
Všechna čerpadla BS jsou napájena z II. kategorie SZN. Umístění zařízení SAOZ je ve vzájemně oddělených systémových místnostech HVB

Systémy TVD

Systém TVD je z pohledu zajištění bezpečnosti a přenosu zbytkového tepla, ať již z paliva v AZ nebo z paliva v BSVP, do koncového jímáče tepla klíčový.

Vzhledem k redundanci systémů TVD 3x100 % a další vnitřní redundanci 2x100 % každé divize TVD (4 čerpadla), je ztráta schopnosti přenosu tepla od zdrojů podmíněna neprovozní schopností všech čerpadel TVD (celkem 12 čerpadel). Vzhledem k prostorové separaci systémů a čerpadel, nezávislosti elektrického napájení a dalších podpůrných systémů je současná neprovozní schopnost všech čerpadel TVD extrémně nepravděpodobná. I při provozu pouze jednoho čerpadla v jedné divizi systému TVD lze zajistit plnění základních bezpečnostních funkcí.

Obr. 1.3.2-4 Systém technické vody důležité



Ostatní systémy

Protože je nutné analyzovat všechny možnosti i v oblasti nadprojektových havárií pro odvod tepla z AZ, lze využít i tzv. alternativní řešení, která jsou nad rámec běžných projektových řešení. Jde o možnost gravitačního plnění PG přímo z NN bez použití čerpadel doplňování. Tento režim by byl použit v kombinaci s odvodem páry z PG přes PSA. Výhodou režimu je, že může být použit i při SBO. Pro odvod tepla stačí použít PSA (jsou napájeny z I. kategorie elektrického napájení a lze je dokonce otevřít i z místa). Pro použití této metody je nutné odtlakovat PG na tlak menší než v NN (0,7 MPa).

Dále je možné využít i režim dochlazování s použitím HNČ resp. SHNČ a odvodem vody přes PSA. Tyto systémy umožňují tzv. Feed&Bleed na sekundární straně. Tato metoda umožňuje vychlazovat pouze mírným trendem do teploty cca 90°C, případně by sloužila ke stabilizaci teploty. Omezení je relativně malým průtokem použitých čerpadel a omezenou kapacitou nádrží 3×1000m³.

Alternativně lze propojit TVD různých systémů na straně technologického kondenzátoru.

1.3.2.3 Possible time constraints for availability of different heat transfer chains, and possibilities to extend the respective times by external measures (e.g., running out of a water storage and possibilities to refill this storage).

Provozní systémy

Předpokládá se použití systému dochlazování, který je chlazen systémem TVD. Odvod tepla prostřednictvím systému kondenzace a cirkulační chladicí vody nemusí být vždy k dispozici. V případě konzervativního předpokladu rychlého odstavení reaktoru bude odvod tepla z I.O zajišťován odvodem páry z PG do atmosféry pomocí PSA, popř. PVPG a doplňováním PG pomocí HNČ z NN (Feed&Bleed na II.O). Pro odvod zbytkového tepla postačuje průtok 30 t/h. Úbytek vody v NN je kompenzován ze systému demi-vody 1 MPa. Nahřátí systému dochlazování ze studeného stavu trvá přibližně 4 h, což znamená úbytek vody v nádržích demivody cca 120 t. Vzhledem k objemu 1000 m³ je to zanedbatelné množství.

Po přechodu na parovodní vychlazování pomocí systému dochlazování se okruh uzavře a ke ztrátám demivody prakticky nedochází. Pro možnost přechodu na vodovodní dochlazování je třeba zaplnit PG (6 x 24 = 144 t) a parní potrubní trasy (160 t). Úbytek vody v NN bude opět kompenzován doplňováním z nádrží demivody 1000 m³. Po najetí vodovodního okruhu bude v tomto uzavřeném okruhu docházet pouze k objemovým změnám chladiva souvisejícím s klesající teplotou.

Zásoba vody v NN a zásoba v nádrži demivody 1000 m³ plně postačuje nejen na dochlazení bloku, ale taky na nepřetržitý odvod zbytkového tepla ve vodovodní fázi.

Bezpečnostní systémy

Systém superhavariijního napájení a systém PVPG a PSA

V případě dochlazování bloku v režimu Feed&Bleed na II.O (napájení PG prostřednictvím čerpadla SHNČ a odvodem páry přes PSA, popř. PV PG) je doba použitelnosti tohoto režimu dána množstvím vody v nádržích demivody 1000 m³. Při současném vychlazování všech bloků vystačí množství vody v nádržích demivody a obou NN min. 4 dny. Pro nižší režimy (2, 3, 4) je možné uvažovat s delší časovou rezervou. V režimech 5 a 6 tuto konfiguraci neuvažujeme, protože pro maximalizaci výdrže je nutné pracovat v parním režimu

Nádrže demivody 1000 m³ je možné doplňovat z hasičských aut nebo hadicemi z bazénů věží, UCHV či retenčních nádrží. Tím je možné prodloužit dobu použitelnosti konfigurace s SHNČ na neomezeně dlouhou dobu. V případě neprovozuschopnosti SHNČ je také možné PG napájet pomocí čerpadel HZS. Nátrubky pro připojení hasičské techniky jsou vyvedeny na zdi budovy SHNČ.

Chlazení pomocí SAOZ

V případě ztráty odvodu tepla ze strany II.O, např. z důvodu ztráty napájení PG, je možné odvádět teplo z AZ pomocí režimu Feed&Bleed na I.O. Jedná se o využití VT havarijního systému s čerpadly TJ v režimu Feed&Bleed s odpouštěním chladiva z I.O do kontejnmentu přes OVKO, resp. PVKO. V případě přechodu na recirkulační fázi je možné teplo odvádět dlouhodobě, protože se jedná o uzavřený chladicí okruh. Teplo je odváděné přes TQ chladič do systému TVD. Po dosažení nízkého tlaku v I.O lze místo TJ čerpadel použít nízkotlaká čerpadla TH systému. Z fyzikálního hlediska je režim Feed&Bleed použitelný v jakémkoliv režimu (3,4,5,6).

Ostatní systémy

Systém havarijního napájení a systém PVPG a PSA

Režim Feed&Bleed na straně II.O lze provozovat i s využitím čerpadel HNČ, přičemž odvod páry z PG probíhá přes PSA a PV PG stejně jako při využití čerpadel SHNČ. Rozdíl je ten, že čerpadla HNČ sají z nádrží NN (čerpadla SHNČ sají přímo z nádrží demi-vody 1000 m³). Pokles hladiny v NN je kompenzován prací čerpadel demi.vody 1 MPa, které mají sání z nádrží demi - vody 1 MPa. Nevýhodou tohoto režimu je, že v NN je voda o teplotě cca 164 °C oproti nádržím demi-vody 1000 m³, kde je voda o teplotě cca 20 °C – 30 °C. Při nominální hladině je v obou NN cca 2 x 150 t chladiva. Přesto je možné i v tomto režimu zabezpečit odvod tepla z AZ po dobu několika desítek hodin. Pro přesnější určení doby do vyčerpání příslušných nádrží by bylo třeba provést doplňující analýzy.

Nádrže demi-vody 1000 m³ je, stejně jako v režimu s použitím čerpadel SHNČ, možné doplňovat z hasičských aut nebo hadicemi z bazénů věží, UCHV či retenčních nádrží. Tím je možné prodloužit dobu použitelnosti v podstatě na neomezeně dlouhou dobu.

PSA v kombinaci s gravitačním plněním PG přímo z NN

V případě události SBO je možné jako zdroj NV využít gravitační plnění PG přímo z NN bez použití jakéhokoli napájecího čerpadla. Jedná se tedy o pasivní způsob napájení PG. Odvod tepla může být v tomto režimu zajištěn po dobu cca dvaceti hodin po vzniku SBO. Tento režim je možné použít také při seismické události, protože příslušné zařízení je na projektové zemětřesení zodolněno.

1.3.2.4 AC power sources and batteries that could provide the necessary power to each chain (e.g., for driving of pumps and valves, for controlling the systems operation).

Komponenty popsané v předchozích dvou kapitolách jsou napájeny ze zdrojů I. a II. kategorie. Z II. kategorie SZN jsou napájena čerpadla, z I.kategorie PSA a rychločinné

armatury. Z I.kategorie jsou rovněž napájeny systémy kontroly a řízení. Podrobněji se el. napájení věnují samostatné kapitoly 1.3.5 a 1.3.6.

1.3.2.5 Need and method of cooling equipment that belong to a certain heat transfer chain; special emphasis should be given to verifying true diversity of alternative heat transfer chains

Provozní systém dochlazování odvádí v konečném důsledku teplo pomocí TVD. Parovodní a vodovodní režim lze pokládat za dva fyzikálně diverzní způsoby dochlazování, protože pro svůj provoz využívají odlišná čerpadla. K dispozici jsou dva technologické kondenzátory, každý z nich je chlazen jinou divizí TVD s tím, že při případné ztrátě jedné divize TVD je možné třetí (záložní) divizi přepojit na libovolný z obou TK..

Bezpečnostní systémy na II.O zajišťují odvod tepla v parním režimu přímo do atmosféry (konfigurace PSA plus chlazení pomocí SHNČ). Pokud jsou tato zařízení v režimu provozu napájena z DG, je nutný i systém TVD (pro chlazení DG). Nicméně tento odvod tepla ze sekundární strany je nejjednodušší a realizovaný minimem prostředků.

VT a NT SAOZ potřebují pro odvod tepla vždy TVD. Jako v předchozím případě platí, že při provozu od DG je TVD nutná i pro jeho chlazení.

Při konfiguraci s odpouštěním páry přes PSA a doplňováním napájecí vody pomocí HNČ platí závěry o nutnosti TVD.

Při gravitačním plnění PG jde o pasivní způsob tepla s odvodem do atmosféry, jeho funkčnost je limitována zásobou vody v NN.

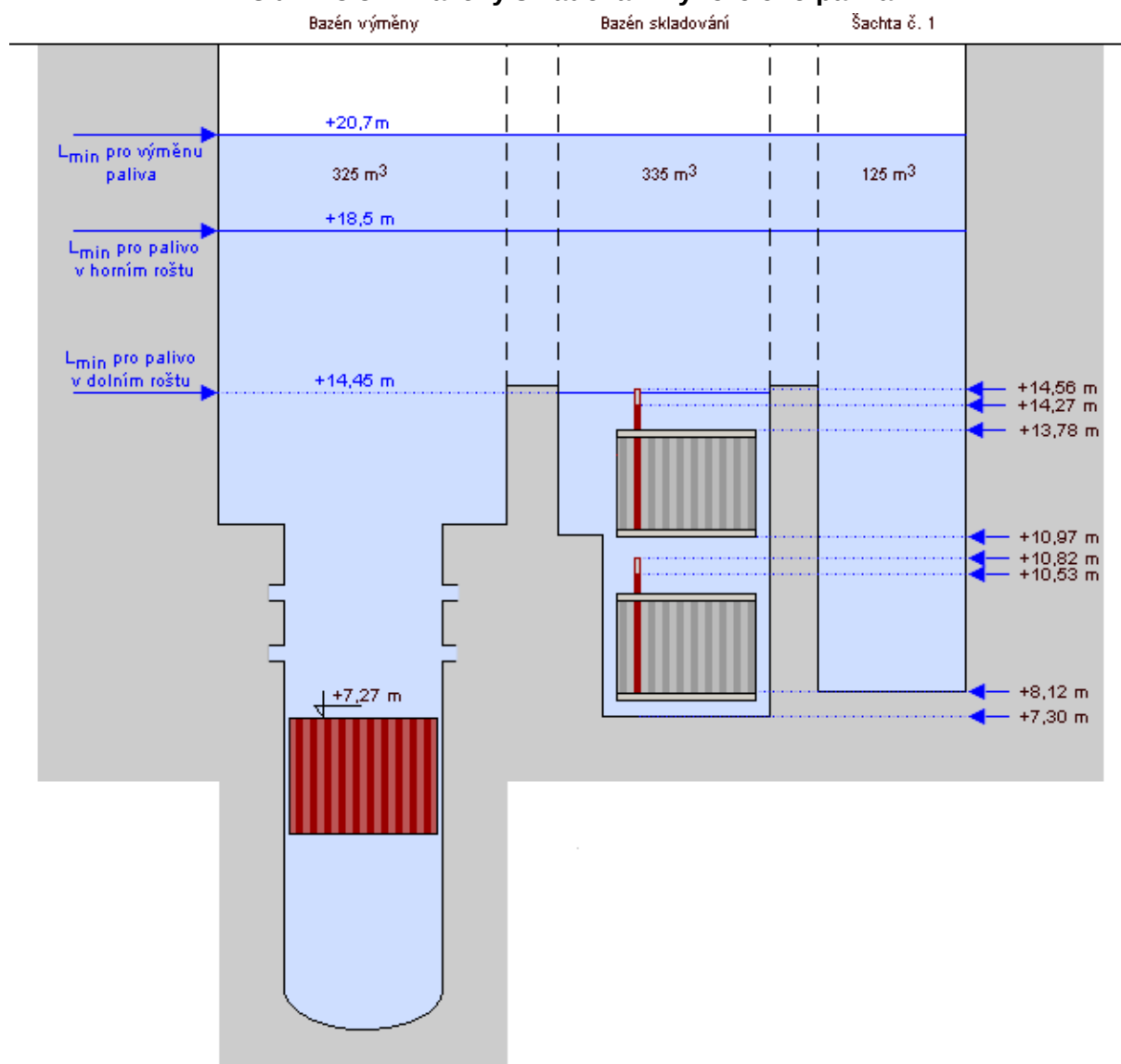
Jako poslední uvažovaná možnost je doplňování PG pomocí mobilní techniky (autocisterny).

1.3.3 Heat transfer from spent fuel pool to the ultimate heat sink

Z hlediska odvodu zbytkového tepla z bazénu skladování vyhořelého paliva se rozlišují dva možné výchozí stavy:

- v bazénu je umístěno vyhořelé palivo z předchozích kampaní z důvodu snížení jeho aktivity a zbytkového tepelného výkonu. Minimální hladina v tomto stavu je +14,6 m.
- v čase rozšířené odstávky bloku na generální opravu s vyvezením celé AZ, kdy je spolu s vyhořelým palivem vyvezeno i částečně vyhořelé palivo. Palivo je v tomto stavu umístěno ve dvou roštech nad sebou, minimální hladina je +18,5 m, při výměně paliva a manipulacích je minimální hladina +20,75 m.

Obr. 1.3.3-1 Bazény skladování vyhořelého paliva

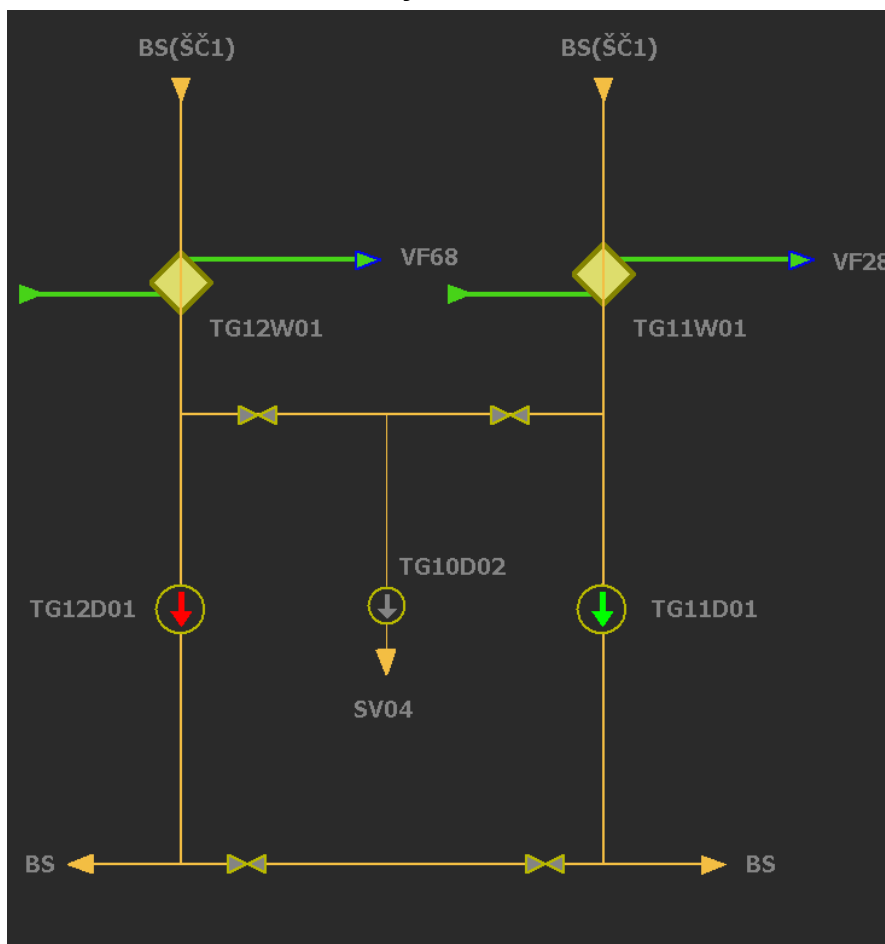


1.3.3.1 All existing heat transfer means / chains from the spent fuel pools to the heat sink

Odvod tepla z BSVP v obou výše uvedených případech je zajišťován nucenou cirkulací chladicí vody, kterou zajišťuje systém chlazení BSVP s označením TG). Cirkulaci zajišťují dvě čerpadla chlazení bazénu a odvod tepla se uskutečňuje ve dvou výměnících, chlazených TVD. Zjednodušeně řečeno, existují dva samostatné a nezávislé okruhy chlazení (redundance 2x100%). Pro zvýšení spolehlivosti a provozuschopnosti systému odvodu tepla z BVP jsou však tyto dva okruhy vzájemně propojeny na straně sání čerpadel a také na straně výtlačků čerpadel, což umožňuje operativně kombinovat řetězec odvodu tepla (čerpadlo, výměník, systém TVD). Čerpadla systému TG jsou napájena ze zajištěného napájení II. kategorie (DG) a systém chlazení včetně samotného bazénu vyhořelého paliva je umístěn v reaktorově HVB mimo kontejnment.

V případě, že žádná z kombinací okruhu nuceného chlazení (čerpadlo TG, výměník, TVD) není schopna zajistit odvod tepla z bazénu, dochází k odvodu tepla varem a odpařováním chladiva z bazénu do prostoru reaktorového sálu dvojbloku elektrárny (v reaktorovém sále jsou umístěny bazény obou bloků příslušného HVB).

Obr. 1.3.3-2 Systém chlazení BSVP



1.3.3.2 Respective information on lay out, physical protection, time constraints of use, power sources, and cooling of equipment

Provozní systémy

Za normálních provozních podmínek je odvod tepla zajišťován dvěma okruhy systému TG, který je zařazen mezi SSB a je řešen s koncepcí 2 x 100 %. Chladivem je roztok kyseliny borité. Okruh chlazení je seismicky odolný. Ověřovací výpočty byly provedeny pro hodnotu PGA = 0,1g v souladu s doporučeními IAEA. Kapacita chladicího okruhu je dostatečná pro oba výchozí stavy zaplnění BSVP.

Odvod zbytkového tepla z BSVP je prováděn nepřetržitou cirkulací chladiva přes chladiče chlazené technickou vodou důležitou. Konečným jímačem zbytkového tepla ve standardních podmínkách je TVD. Ztráta odvodu zbytkového tepla z TVD do UHS je popisována v kapitole 5.2. V případě úplné ztráty odvodu zbytkového tepla pomocí systému TVD je možno zbytkové teplo z BSVP dlouhodobě odvádět varem chladiva v BSVP a doplňováním roztokem kyseliny borité, případně i čistou vodou.

Odolnost vůči extrémním externím událostem

Systém chlazení BSVP je umístěn v HVB v reaktorově a je tedy chráněn před nepříznivými vlivy extrémních externích událostí. Seismická odolnost na hodnotu 0,1g byla ověřena výpočty. Odolnost systému TVD na podmínky extrémních externích událostí je řešena v kapitole 4.

V případě neschopnosti žádné z kombinací čerpadlo-výměník-TVD odvádět zbytkové teplo z paliva je možné zajistit odvod tepla pomocí odpouštění chladiva z BSVP do nádrží NT systému SAOZ s ohřevem vody v těchto nádržích. Nedochází přitom k nežádoucímu míchání médií, protože nádrže NT SAOZ jsou určeny k plnění BSVP v režimech výměny paliva – roztok z těchto nádrží slouží ke zvýšení hladiny v BSVP v režimu výměny paliva). Pro účely odpouštění chladiva z BSVP je možné využít k tomu určené čerpadlo TG10D01. Podle tohoto postupu by se postupovalo až do zvýšení teploty ve všech nádržích SAOZ na 60°C. Tímto způsobem je možné prodloužit dobu do dosažení varu v bazénu. Pro případ nedostatečného chlazení BSVP je zpracován provozní předpis SD-9.

Jako alternativní způsob odvodu tepla z bazénu je uvažováno doplňování BSVP ze žlabů VBK, které je možné zajistit s použitím čerpadla plnění žlabů VBK XL10D01, případně i bez použití čerpadel pouze gravitací

Dalším možným způsobem doplňování BSVP je možnost použití čerpadel TM13(14)D01TM, který slouží pro čištění chladiva BSVP a pomocí těchto čerpadel dodávat chladivo z nádrží NT SAOZ do BSVP. Čerpadla TM jsou napájena ze systémových zdrojů II.kategorie.

Při roztěsněném reaktoru v období výměny paliva existuje také možnost dodávky chladiva libovolným čerpadlem VT nebo NT systému SAOZ přímo do reaktoru propojeného s BSVP a odtud do I.O, nebo je možné zajistit dodávku chladiva odpouštěním z hydroakumulátorů.

Při použití chladiva ze všech nádrží SAOZ a barbotážních žlabů vystačí zásoba chladiva pro doplňování ztrát varem chladiva v BSVP na více než 8 dní a to i v případě uspořádání paliva ve dvou mřížích nad sebou.

Jako krajní případ způsobu dochlazování BSVP je možnost dodávky vody pomocí mobilní čerpací techniky s odparem do reaktorového sálu.

1.3.4 Heat transfer from the reactor containment to the ultimate heat sink

Reaktor a primární okruh reaktoru jsou uzavřeny do hermetického prostoru nazývaného obecně kontejnment. Kontejnment slouží k lokalizaci radioaktivních (RA) látek v případě havárií s únikem chladiva uvnitř kontejnmentu. Požadavek na těsnost kontejnmentu je definován jako maximálně 13% pokles hmotnosti suchého vzduchu za 24 hodin při přetlaku 150 kPa uvnitř kontejnmentu. Dlouhodobě je přitom těsnost kontejnmentů bloků EDU 1,8 až 6,3 %. Kontejnment je vybaven sprchovým a vakuobarbotážním systémem, které slouží ke snižování tlaku a k lokalizování RA látek uvolněných do kontejnmentu při haváriích s únikem chladiva.

Kontejnment je za normálního provozu reaktoru pro veškerý obsluhující personál nepřístupný a jeho těsnost je periodicky kontrolována. Veškerá potrubí procházející stěnami tvořící hranici kontejnmentu jsou opatřena uzavíracími mechanismy, které se v případě havárie :

- uzavírají - u systémů pro normální provoz JE, pokud byly tyto armatury před signálem „velká havárie“ otevřeny
- otevírají - u havarijních a bezpečnostních systémů, pokud byly tyto armatury před signálem „Velká havárie“ který způsobuje izolaci kontejnmentu zavřeny

Kontejnment plní tyto následující funkce:

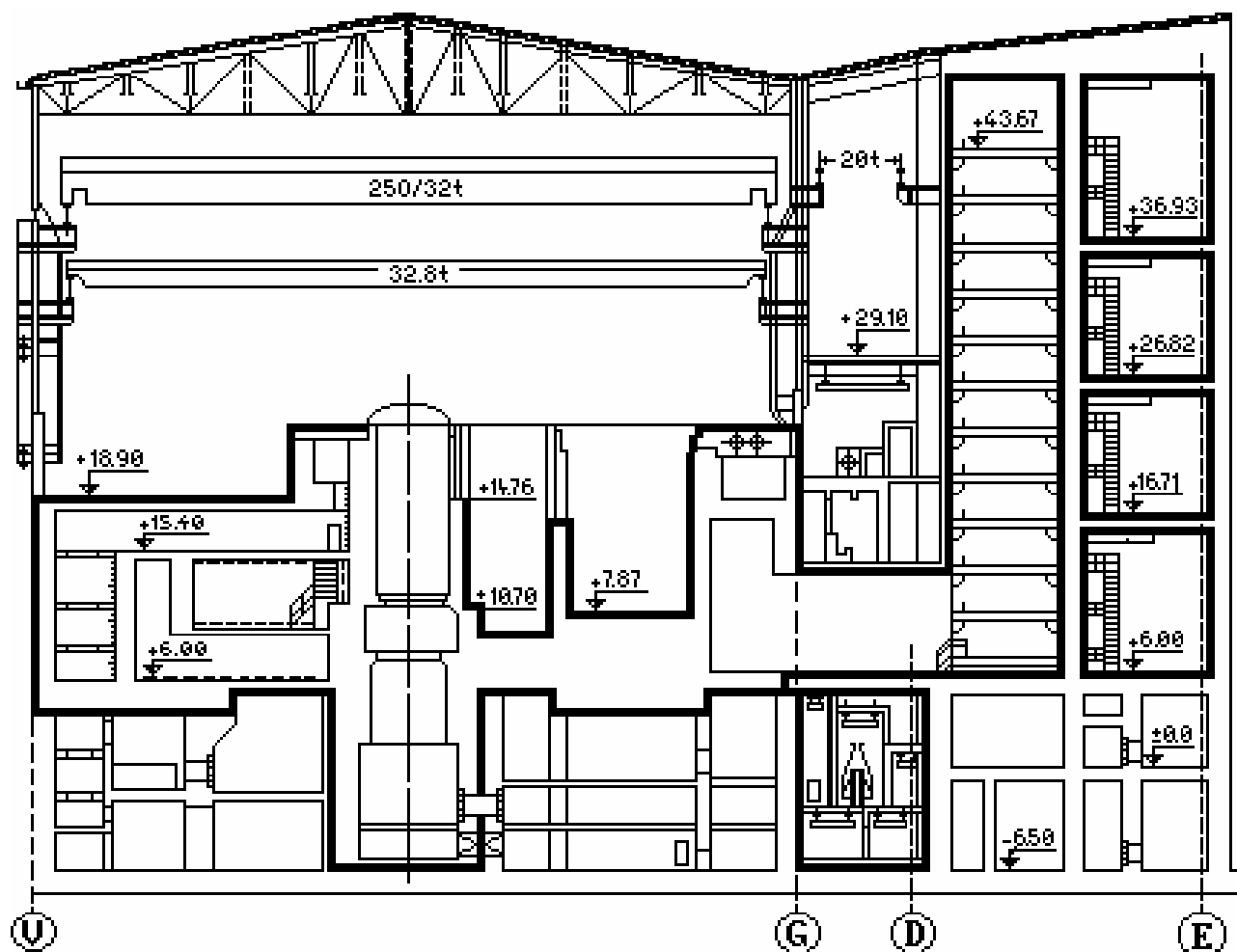
- omezuje uvolnění radioaktivních látek mimo oblast lokalizace havárie
- udržuje radioaktivní záření v mezích stanovených projektem
- chrání systémy a prvky, jejichž selhání může vést k uvolnění radioaktivních látek nad přístupné meze

Kontejnment se skládá z těchto základních stavebních prvků:

- hermetické ocelové vystýlky (oblicovky)
- železobetonové ochranné konstrukce
- hermetických uzávěrů

Celkový volný objem (geometrický objem po odečtení objemu velkoobjemových technologických zařízení) kontejnmentu na jeden blok (reaktor) je bez započtení objemu vody ve žlabech barbotéru 51.119 m³.

Obr. 1.3.4-1 Řez reaktorovou JE s VVER-440/V213



1.3.4.1 All existing heat transfer means / chains from the containment to the heat sink.

Systémy odvodu tepla z ochranné obálky se dělí na :

- Vzduchotechnické recirkulační systémy (TL)
- Sprchový systém (TQ)
- Vakuobarbotážní systém (XL)

a) Vzduchotechnické recirkulační systémy (TL)

Koncepce odvodu tepla z kontejmentu vzduchotechnickými systémy je ovlivněna dvěma požadavky :

- Pro minimalizaci hodnoty aktivity vypouštěné do životního prostředí ventilačním komínem je nutné, aby do ventilačního komína odcházelo co nejmenší množství vzduchu (jde o nositele aktivity).
- Pro zajištění vhodného prostředí v prostorech kontejmentu je nutné eliminovat velké množství tepla uvolněného z primárního okruhu (za normálního provozu cca 1 MW).

Z těchto důvodů jsou pro odvod uvolněného tepla použity vzduchotechnické recirkulační systémy, které pouze cirkulují velké množství vzduchu kontejnmentu a zabezpečují jeho chlazení a čištění na speciálních filtrech. Udržení požadovaného podtlaku pak zabezpečují menší vzduchotechnické systémy (přívodní a odvodní TL40, TL70) s odvodem malého množství vzduchu z kontejnmentu přes filtrační systém do ventilačního komína.

Recirkulační vzduchotechnické systémy jsou základními systémy odvodu tepla z ochranné obálky v režimech normálního a abnormálního provozu a částečně v havarijních podmínkách. Cirkulací vzduchu přes tepelné výměníky zabezpečují předání tepla do systému TVD a eliminují tak tepelnou zátěž uvolněnou technologií primárního okruhu. Podílí se také na odstranění následků případné havárie. Systémy jsou umístěny v kontejnmentu, tedy v prostorech do kterých se může (při nehodách spojených s porušením těsnosti I.O, potrubí NV nebo potrubí ostré páry) rozšířit paroplynná směs. Jsou dimenzovány a navrženy pro práci ve ztížených podmínkách z hlediska tlaku, teploty a aktivity. Recirkulační vzduchotechnické systémy jsou umístěny ve ventilačním centru, které má společný vzduchový prostor s prostorem boxů parogenerátorů.

Spolehlivost provozu recirkulačních vzduchotechnických systémů je zajišťována podle provozní důležitosti s 50 - 200 % rezervou jednotek. Pro odvod tepla z ochranné obálky jsou určeny systémy TL10, TL11, TL14 a TL13. Teplo odváděné z kontejnmentu předávají tyto systémy do TVD, nebo alternativně do systému chlazené vody VC, která předává teplo do cirkulační chladicí vody.

Recirkulační systém TL10 je určen pro odvádění přebytkového tepla a vlhkosti z kontejnmentu. Skládá se ze tří jednotek, dvou pracovních a jedné rezervní. Elektrické napájení je provedeno ze ZN 2. Kategorie.

Recirkulační systém TL11 je určen pro odvod přebytkového tepla a vlhkosti ze spodní části šachty reaktoru a šachty systému řízení a ochrany reaktoru. Skládá se ze tří jednotek, jedné pracovní a dvou rezervních. Elektrické napájení je provedeno ze ZN 2. Kategorie.

Recirkulační systém TL14 je určen pro odvod přebytkového tepla z místností elektrických pohonů systémů TL10 a TL11. Skládá se ze tří jednotek, jedné pracovní a dvou rezervních. Elektrické napájení je provedeno ze ZN 2. Kategorie.

Recirkulační systém TL13 je určen pro odvod přebytkového tepla z místnosti elektrických pohonů HCČ (paluby HCČ). Skládá se ze dvou jednotek, jedné pracovní a jedné rezervní. Elektrické napájení je provedeno z nezajištěného napájení.

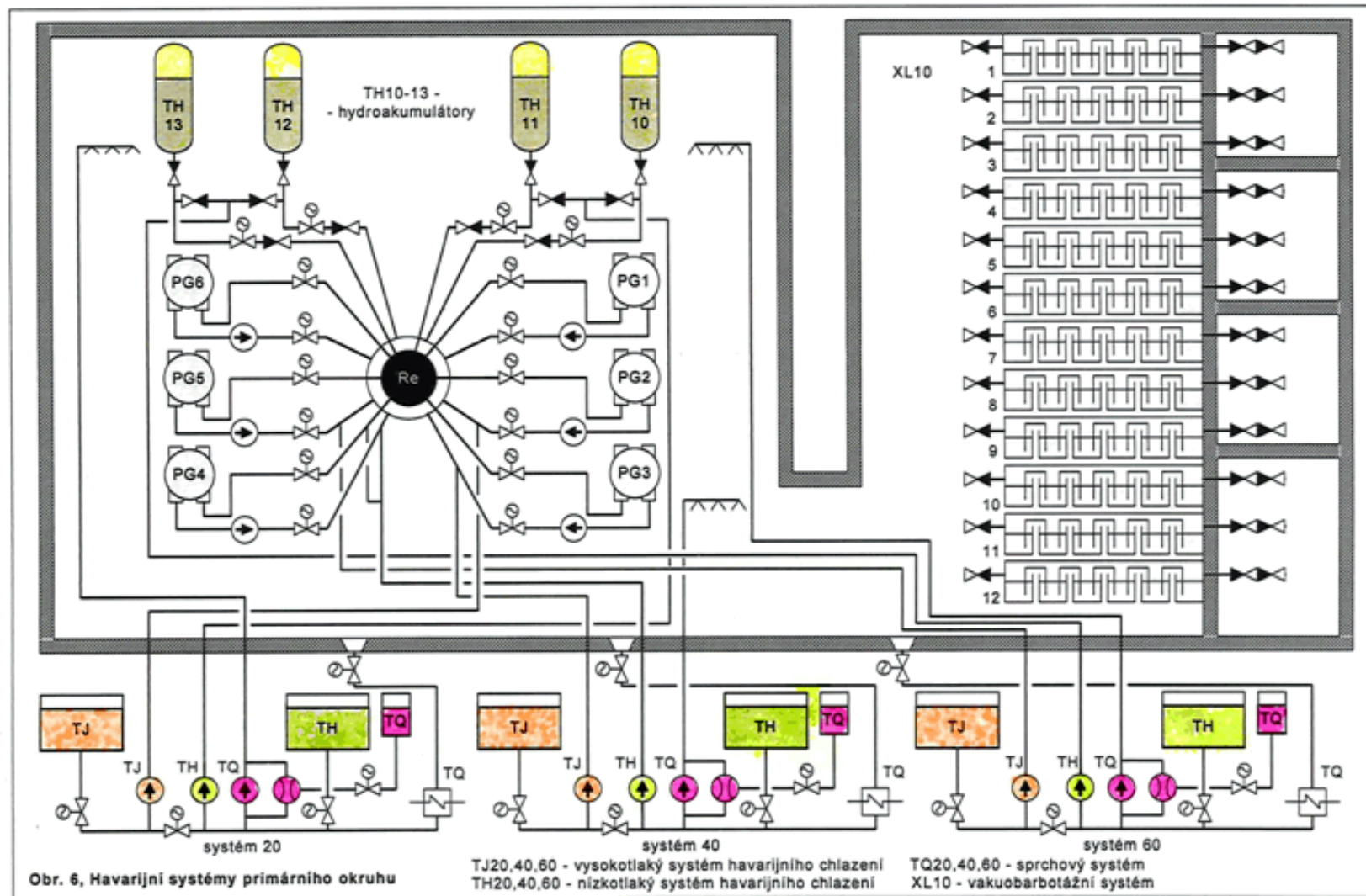
b) Sprchový systém TQ

Sprchový systém je aktivní bezpečnostní systém určený na snížení tlaku v kontejnmentu a na odvod tepla, které se uvolňuje v kontejnmentu při haváriích s únikem chladiva. Odvod uvolněného tepla je zabezpečen prostřednictvím tepelných výměníků systému TQ do TVD. Každý podsystém obsahuje sprchové čerpadlo o průtoku 380 až 520 m³/h a přetlaku na výtlaku 0,35 až 0,5 MPa, přídatnou nádrž o objemu cca 10 m³ s roztokem N₂H₄ + KOH, vodoproudé čerpadlo, tepelný výměník a systém sprchových trysek. Snížení tlaku je zabezpečeno rozstřikováním studené vody v prostoru boxu parogenerátorů pomocí sprchových trysek. Systém sestává ze tří vzájemně nezávislých okruhů, pro zvládnutí všech projektem předpokládaných stavů postačuje zapracování jednoho okruhu. Sání systému TQ je napojeno na nádrže systému TH (3x250 m³ koncentrace H₃BO₃ 12g/kg) a po jejich vyčerpání přechází na sání z podlahy boxu PG přes chladiče předávající teplo do TVD. Elektrické napájení je provedeno ze ZN 2. Kategorie.

c) Vakuobarbotážní systém XL

Vakuobarbotážní systém je pasivní bezpečnostní systém určený ke snížení počátečního nárůstu tlaku v kontejnmentu při haváriích s únikem chladiva. Svou činností pohlcuje podstatnou část tepelné energie uvolněné z uniklého chladiva primárního okruhu nebo uniklého média z části sekundárního okruhu umístěné v kontejnmentu (napájecí voda, pára). Vakuobarbotážní systém je tvořen souborem 12 pater nad sebou umístěných žlabů naplněných roztokem kyseliny borité o koncentraci 12 g/kg do nichž se akumuluje uvolněné teplo. Objem jednoho žlabu je cca 114 m³. Žlaby vytvářejí vodní uzávěr o malém hydraulickém odporu. Spodní prostor vodního uzávěru je spojen s kontejnmentem, prostor nad uzávěrem je spojen přes zpětnou armaturu DN 500 se záchytnými komorami a přes zpětné armatury DN 250 zpět s kontejnmentem. Jedna záchytná komora je společná pro trojici nad sebou umístěných žlabů - celkem jsou tedy 4 záchytné komory o celkovém objemu 17080 m³. Záchytné komory jsou určeny pro jímání nezkondenzovatelných plynů. Celý vakuobarbotážní systém je součástí kontejnmentu. V případě vzniku netěsnosti na I.O vzniká v kontejnmentu parovzdušná směs, která proudí přes žlaby VBK. Parní fáze zkondenzuje ve vodním uzávěru žlabu a vzduch prochází do záchytné komory, kde je lokalizován. V případě dosažení zadaného tlaku v kontejnmentu, dojde k automatickému uzamčení zpětných armatur DN 250. Funkcí sprchového systému dojde v kontejnmentu ke snížení tlaku a přetlakem vzdušiny nad hladinou žlabů dojde k vylití vody ze žlabů na podlahu boxu parogenerátorů, přes rozlivná síta – jde o pasivní sprchování kontejnmentu. Elektrické napájení ani SKŘ není pro funkci systému vyžadováno, neboť systém působí jako pasivní.

Obr. 1.3.4-2 Havarijní systémy



1.3.4.2 Respective information on lay out, physical protection, time constraints of use, power sources, and cooling of equipment

Sprchový systém je umístěn v reaktorovně vně HZ a výtlačná potrubí procházejí do kontejnmentu. Čerpadla sprchového systému jsou umístěna na podlaží -6,50 m v místnostech havarijních systémů 001, 002, 003. Sprchový systém je řešen se systémovou redundancí 3x100% včetně všech podpůrných systémů (chlazení, elektronapájení, řízení a ventilace). Za normálního provozu bloku při teplotách chladiva I.O nad 90 °C je za řízení sprchového systému v pohotovostním režimu připraveno automaticky zasáhnout v případě vzniku havarijního stavu od signálu přetlak v boxu. Elektrické napájení je provedeno ze ZN 2. Kategorie. Systémy jsou projektovány na dlouhodobý provoz. Chlazení místností systému TQ je zajištěno vlastním vzduchotechnickým systémem TL22.

Vakuobarbotážní systém, včetně záchytných komor, je umístěn v reaktorovně v kontejnmentu. Žlaby vakuobarbotážního kondenzátoru jsou umístěny v šachtě lokalizace havárií, která je spojena s boxem PG koridorem o průřezu 77 m². Systém je při provozu bloku nepřetržitě připraven plnit projektovou funkci. Je projektován jako pasivní bez potřeby napájení a řízení. Chlazení je zajištěno systémem TL10.

1.3.5 AC power supply

Jaderná elektrárna Dukovany (EDU) se skládá ze čtyř reaktorových bloků VVER 440 MWe. Elektrické schéma je koncipováno tak, aby fungovalo podle principu hloubkové ochrany a ve všech provozních, abnormálních a havarijních stavech zabezpečovalo spolehlivé elektrické napájení všem systémům důležitým z hlediska jaderné bezpečnosti.

Princip „hloubkové ochrany elektrických systémů“ (DIDELSYS) je na elektrických systémech EDU aplikován v návaznosti na řešení strojní části a a instrumentace SKŘ. Aplikace DIDELSYS začíná ve vnějších sítích velmi vysokého napětí, do kterých je EDU připojena a pokračuje přes systémy normálního napájení vlastní spotřeby až na autonomní systémy zajištěného napájení.

Struktura DID a robustnost jednotlivých úrovní vytváří odolnost proti vnějším i vnitřním událostem (poruchám).

Důležité ochranné a řídicí systémy a EDU a výkonné systémy, které plní bezpečnostní funkce, jsou napájeny z redundantních systémů zajištěného napájení (SZN). Každý blok EDU má 3 nezávislé bezpečnostní SZN (označené jako 1, 2, 3) a další SZN, klasifikované jako související s bezpečností (označené jako 4.1 a 4.2). Tyto SZN poskytují podpůrné bezpečnostní funkce, jako je zajištěné elektrické napájení, a účastní se i řízení funkce elektrických spotřebičů.

Tab. 1.3.5-1 Úrovně ochrany do hloubky v elektročásti JE

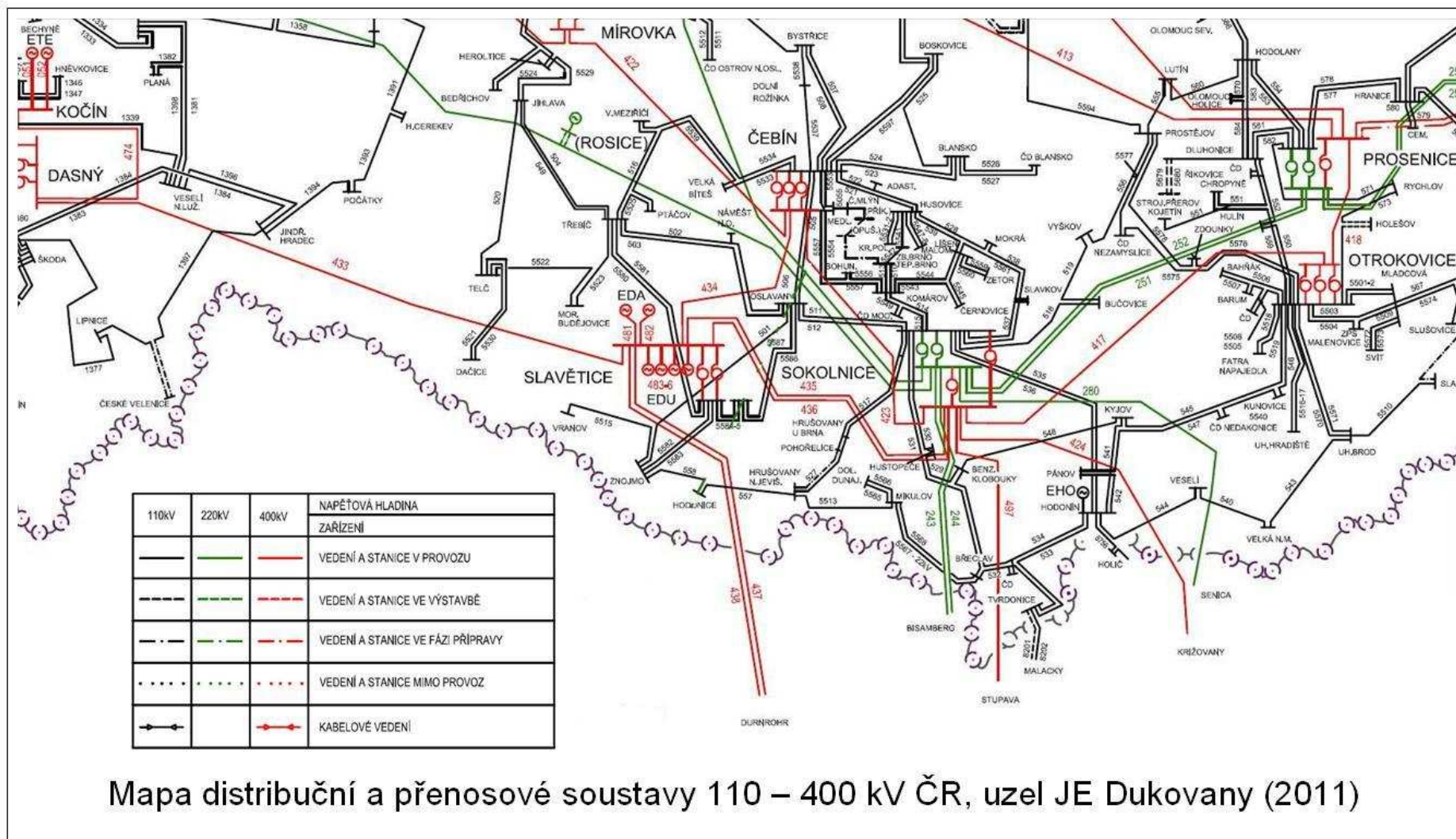
Úroveň	Celá JE (DID)	Elektrické systémy JE (DIDELSYS)	Robustnost úrovní
1	Předcházení odchylkám od normálního provozu	• Necitlivost na odchylky U,f • Stabilita přenosu energie • Dynamická stabilita • Ostrovní provoz	• Vazba na robustnost technologie, SKŘ a stavby • Robustnost el. systémů (nezávislost, redundance, diversita) • Ochrany • Regulace, automatiky, • Jakost • Testování funkce • Provozní instrukce • Trénovaný personál
2	Identifikace a náprava událostí, stavů a podmínek abnormálního provozu	• Zregulování TG na VS • AZR na rezervní napájení	
3	Zásahy (opatření) vedoucí k odvrácení rozvoje, nebo ke zvládnutí havarijních podmínek projektovými prostředky	• Projektové (bezpečnostní) funkce systémů zajištěného napájení: • BS (1,2,3), • SSB (4,5)	
4	Prevence a zmírnění následků rozšířených projektových podmínek	• Postupy pro zvládnutí SBO • Opatření na podporu zmírnění následků SA • (Funkce AAC)	
5	Opatření na ochranu při radiační nehodě	Podpora havarijních řídicích středisek	

1.3.5.1 Elektrický systém vně EDU

Jaderná elektrárna Dukovany (EDU) je umístěna v jihovýchodní části České republiky. Výkon jednotlivých reaktorových bloků je postupně v rámci projektu V261 „Využití projektových rezerv“ zvyšován z 440 MWe na 500 MWe. Dvojice reaktorových bloků jsou dispozičně uspořádány do dvou HVB. Schéma vyvedení výkonu i schéma pracovního napájení vlastní spotřeby je blokové, schéma rezervního napájení ze sítě 110 kV je dvoublokové. Výkon se vyvádí do přenosové soustavy 400 kV (provozovatelem je ČEPS a.s.). Rezervní napájení je zajištěno z distribuční sítě 110 kV (provozovatel je E.ON).

Výše popsané zapojení JE Dukovany do elektrizační soustavy České republiky (400 kV a 110 kV) je zřejmé z následujícího obrázku.

Obr. 1.3.5-2 Začlenění JE do elektrizační soustavy ČR



Informace o spolehlivosti vnějšího elektrického systému

Za dobu provozu EDU (od spuštění jednotlivých bloků v letech 1985 až 1987 roce až do dnešní doby) nebyla zaznamenána žádná porucha v síti 400 kV a 110 kV, která by ukazovala na nevyhovující funkci nebo spolehlivost vnějšího elektrického systému nebo na nesprávnou reakci EDU na poruchy ve vnější síti.

Za dosavadního provozu bloků vzniklo několik poruch zařízení v oblasti zapojení jednotlivých bloků do sítě, resp. na okolních rozvodnách a linkách přenosové soustavy. Shrnutí je provedeno v tabulce níže. Nejzávažnější poruchou byl zkrat na přípojnících rozvodny 400 kV Slavětice v roce 1990, který vyřadil vazbu se sítí 400 kV i 110 kV všech 4 bloků. Na druhé straně systémové poruchy v přenosové soustavě v roce 2006 ukázaly na schopnost bloků EDU zvládat ostrovní režimy provozu sítě.

Tab. 1.3.5-3 Významné poruchy v elektročásti JE

12/1990	Přípojniový zkrat na rozvodně 400 kV Slavětice v důsledku nesprávné manipulace obsluhy rozvodny při její údržbě. Všechny 4 bloky EDU ztratily vazbu se soustavou 400 kV a 110kV z rozvodny Slavětice. 1. blok: nezregulovaly TG na vlastní spotřebu, zapůsobila ochrana reaktoru a úspěšně nastartovaly DG. Následně přechod na rezervní napájení z 110kV. 2. blok: zregulování TG na vlastní spotřebu. 3. blok: odstaven na opravu, přechod na DG a pak na rezervní napájení z 110kV. 4. blok: zregulování TG na vlastní spotřebu. Příčiny byly identifikovány, podrobně analyzovány a odstraněny.
2006 - 2008	Několik poruch elektrických zařízení (řetězce izolátorů linky 400kV, průraz izolace ovládacích kabelů, nadbytečné působení distančních ochran linek 400kV v přenosové soustavě). Bloky EDU tyto události zvládly podle projektu, většinou došlo k zregulování na vlastní spotřebu. Příčiny těchto poruchových událostí byly identifikovány a odstraněny.
2006	Bloky EDU úspěšně zvládly velké systémové poruchy (rozpad sítě UCTE 11/2006, zkrat v rozvodně Sokolnice, vedoucí na vznik ostrovní sítě v okolí EDU v 08/2006) a svojí odolností proti odchylkám napětí a frekvence a regulační schopnosti přispěly ke stabilizaci poměrů v přenosové soustavě.

Spolehlivost zapojení EDU do vnějších elektrických sítí a odolnost EDU proti poruchám je v této oblasti založena na těchto vlastnostech:

- Blokové uspořádání schématu vyvedení výkonu. Omezuje přenos a šíření poruch mezi bloky navzájem. V kombinaci s robustním schématem rozvodny Slavětice (2 vypínače na odbočku, sekční dělení přípojníc, selektivní systém ochran) omezuje i přenos poruch

mezi bloky a přenosovou soustavou. Vyvedení výkonu EDU do sítě je navrženo podle spolehlivostního kritéria N-2.

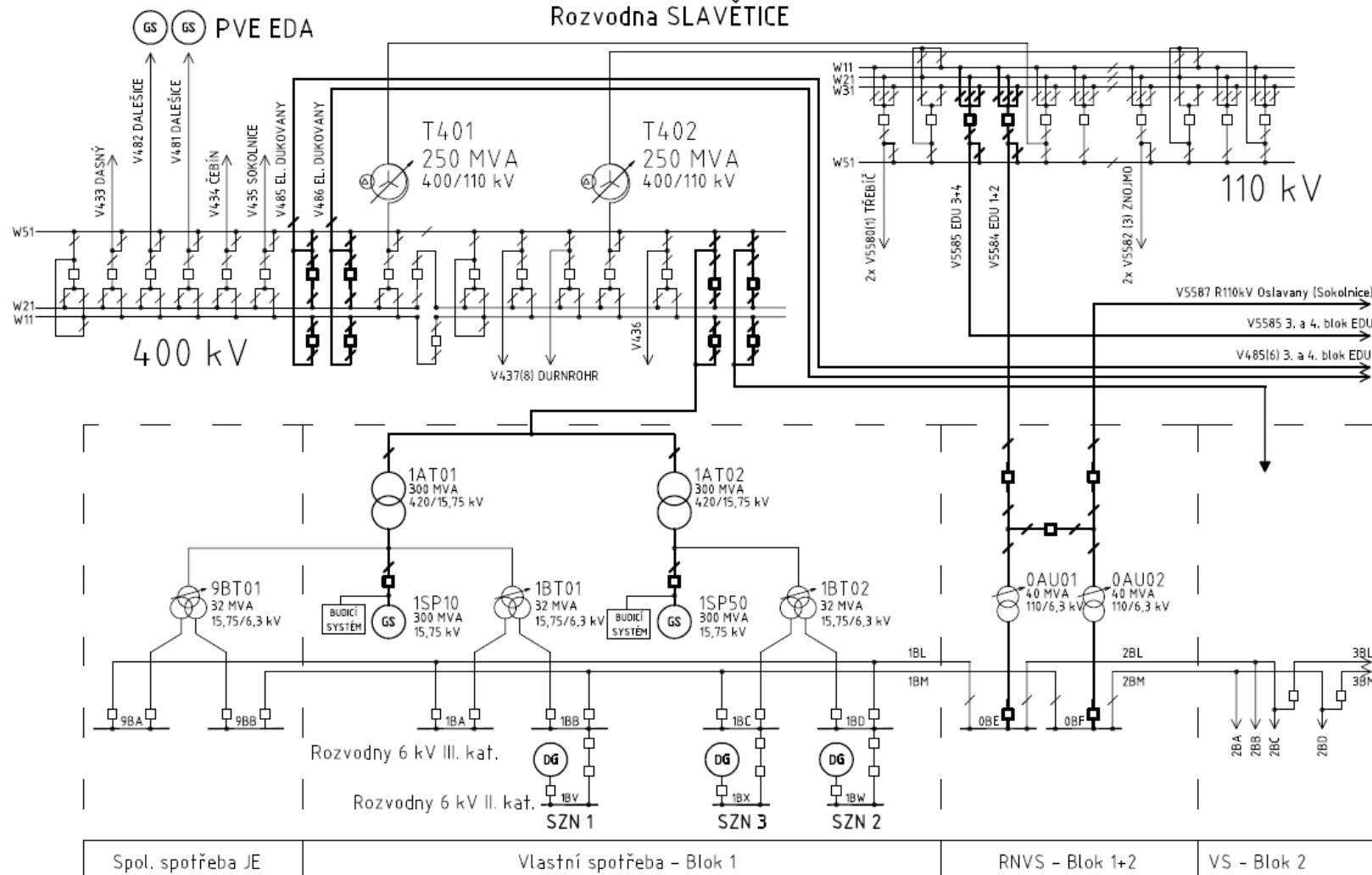
- Velká funkční a fyzická nezávislost systému vyvedení výkonu 400kV (tj. pracovního napájení vlastní spotřeby) a systému rezervního napájení vlastní spotřeby (110 kV). Možnost napájet systém rezervního napájení z různých geograficky a funkčně diverzních zdrojů.
- Reakce bloku na poruchy a přechodové procesy ve vnější síti jsou řízeny souborem regulací, automatik a ochran. Tyto funkce jsou vzájemně zkoordinovány, aby byla zajištěna vzájemná selektivita a aby blok v případě potřeby řízeně ustupoval po jednotlivých úrovních hloubkové ochrany.
- Statická stabilita přenosu výkonu do soustavy. Bloky EDU jsou normálně zařazeny do systému automatické sekundární regulace napětí a jalových výkonu. Tento systém zajišťuje stabilní napětí v pilotním uzlu Slavětice.
- Stabilita turbosoustrojí při zkratech v systému vyvedení výkonu (rychlé základní a záložní ochrany, které odepnou zkrat, účinná regulace turbíny a napětí generátoru). Stabilita byla analyzována na dynamickém modelu přenosové soustavy. Při působení základních a záložních ochran (do 100 ms) i automatik selhání vypínače 400 kV jsou turbosoustrojí s uvažování funkce jejich regulací stabilní.
- Schopnost práce bloků v ostrovním provozu přenosové soustavy, které jsou doprovázeny velkými odchylkami frekvence a napětí (podpora stability sítě při systémových poruchách). Bloky mohou pracovat s plným výkonem v pásmu 48,5 – 50,5 Hz. Časově i výkonově omezený provoz bloku je možný v pásmu 47.5 – 52.5 Hz. Bloky jsou vybaveny síťovými frekvenčními ochranami, které v 1° (± 200 mHz) přepínají regulaci výkonu bloku na „ostrovní regulaci“. Blok tak reguluje svůj výkon tak, aby pomohl stabilizovat poměry U a f v ostrovní síti. Pokud se poměry nedaří stabilizovat a odchylka frekvence se dále zvyšuje a přesáhne meze (47.9 Hz po dobu 1 s resp. 52,5 Hz po dobu přes 10 s), blok se odepne 2° frekvenční ochrany od sítě a zreguluje na vlastní spotřebu.
- Odpojení bloku od sítě 400 kV při poklesu napětí na rozvodnách 6 kV vlastní spotřeby zajišťuje automatika, která na $0,7 U_n / 1,5$ s. Po odepnutí od sítě blok zreguluje na vlastní spotřebu. Při neúspěšném zregulování přechází napájení vlastní spotřeby na rezervní zdroje (sít' 110 kV). V případě neúspěšného přechodu na rezervní zdroje (sít' 110 kV) nebo nedostupnosti těchto zdrojů, přejde napájení na nouzové zdroje (DG).

- Hlavní blokové rozvodny jsou vybaveny automatikami záskoku z pracovního na rezervní napájení (110 kV). Při ztrátě pracovního napájení vlastní spotřeby (např. působení ochran generátorů, blokových transformátorů a dalších zařízení vyvedení výkonu, nebo při neúspěšném zregulování turbosoustrojí) jsou rozvodny přepnuty na rezervní napájení. Pokud není záskok úspěšný, vyčleňují se systémy zajištěného napájení a přecházejí na nouzové zdroje (DG, akumulátorové baterie).
- Napájení regulací, automatik a ochran je provedeno ze zdrojů zajišťovaných bateriemi. Funkce je tedy nezávislá na poklesech napětí v síti, vyvolaných poruchami. V celém projektu EDU je aplikován princip elektromagnetické kompatibility, který zajišťuje funkci systémů v daném elektromagnetickém prostředí a při rušení.
- Provoz bloků EDU probíhá v souladu s dispečerským řízením přenosové soustavy. Provozovatel přenosové soustavy zná vlastnosti a provozní meze EDU, tyto informace jsou zakotveny v Kodexu PS. Periodická údržba zařízení ve vnějších sítích (rozvodny, linky, transformace 400/110 kV) a zařízení EDU probíhá vzájemně dohodnutým způsobem. V případě stavů nouze v elektrizační soustavě (rozpad sítě, SBO EDU atd.) má obnovení napájení vlastní spotřeby EDU z přenosové soustavy nejvyšší prioritu

Zapojení elektrárny do elektrizační soustavy

Základní elektrické schéma EDU je patrné z Obr. 1.3.5-1 Schéma zahrnuje 1. a 2. blok, schéma bloků 3 a 4 je analogické. Schéma zahrnuje vyvedení elektrického výkonu do sítě 400 kV, schéma rezervního napájení ze sítě 110 kV a schéma napájení vlastní spotřeby po úroveň hlavních rozvoden 6 kV a zapojení SZN 1, 2, 3.

Rozvodna SLAVĚTICE



Obr. 1.3.5-1 ZÁKLADNÍ ELEKTRICKÉ SCHÉMA EDU 1. a 2. blok

Po realizaci projektu využití projektových rezerv má každý reaktorový blok dvě turbosoustroje se zvýšeným výkonem s generátory 300 MVA, 15,75 kV. Výkon každého generátoru je přes generátorový vypínač a blokový transformátor (300 MVA, 420/15,75 kV) do elektrárenské rozvodny 400 kV. V této rozvodně jsou vývody obou generátorů spojeny a vyvedeny samostatnou jednoduchou linkou do rozvodny 400 kV Slavětice, vzdálené přibližně 3 km od EDU. V elektrárenské rozvodně 400 kV jsou pouze odpojovače, přístrojové transformátory a bleskojistky. Vypínače 400kV bloků EDU jsou umístěny až v rozvodně Slavětice.

Rozvodna 400kV Slavětice je spojena s přenosovou soustavou 6 linkami, 4 linky rozvádějí výkon do různě dispozičně vzdálených částí ČR a 2 do Rakouska. Tím je vytvořena geografická diverzita zapojení 400kV. Část linek je jednoduchých, část linek je dvojitých. Přenosová soustava ČR jako celek je navržena a provozována v souladu s kritériem N-1. Vyvedení výkonu z rozvodny Slavětice dále do sítě je ale navrženo podle přísnějšího kritéria N-2. Tyto požadavky jsou stanoveny v Kodexu PS.

Rozvodna 400kV Slavětice je venkovního provedení se zkratovou odolností 50/125kA. Má schéma se dvěma systémy přípojníc a pomocnou přípojnicí. Hlavní přípojnice jsou navíc podélně děleny vypínači. Bloky EDU jsou zapojeny schématem se 2 vypínači na odbočku, které je voleno v souladu se zvýšenými požadavky na spolehlivost a odolnost vyvedení výkonu EDU proti poruchám. Ostatní vývody (na linky 400kV do přenosové soustavy mají schéma 1 vypínač na odbočku). V rozvodně jsou dva transformátory 400/110kV, 350 MVA pro napájení rozvodny 110 kV Slavětice. Dále jsou do rozvodny dvěma linkami 400 kV připojeny bloky přečerpávací vodní elektrárny Dalešice (4 x 112,5 MW), která představuje externí zdroj AAC pro řešení SBO na EDU.

Rezervní napájení EDU je napájeno ze sítě 110kV. Každý HVB má svůj rezervní zdroj napájený z 2 různých rozvodů v distribuční síti 110kV. Mezi oběma přívody ze sítě 110kV je automatický záskok. Obvyklé zapojení těchto zdrojů je do rozvodů 110kV Slavětice a 110kV Sokolnice, kde jsou transformace 400/110kV resp. 220/110kV. Existují i jiné možnosti napájení. Tím je zajištěna značná variabilita a geografická diverzita. Toto zapojení rovněž zajišťuje zálohování transformátorů 400/110kV a 220/110 jakožto zdrojů pro rezervní napájení EDU, při zachování dostatečné zkratové tvrdosti napětí pro rezervní napájení vlastní spotřeby JE.

Rozvodna 110kV Slavětice slouží především jako hlavní zdroj pro rezervní napájení bloků EDU. Kromě toho je z rozvodny napájena i distribuční síť 110 kV v jižních Čechách. Rozvodna 110 kV Slavětice má robustní a pružné schéma se 3 systémy přípojníc.

Rozvodna Sokolnice, která je druhým obvyklým zdrojem rezervního napájení EDU, je významným uzlem přenosové soustavy s transformacemi 440/110kV a 220/110kV. Je vzdálena cca 50km od EDU.

Obr. 1.3.5-5 Principiální schéma zdrojů rezervního napájení EDU

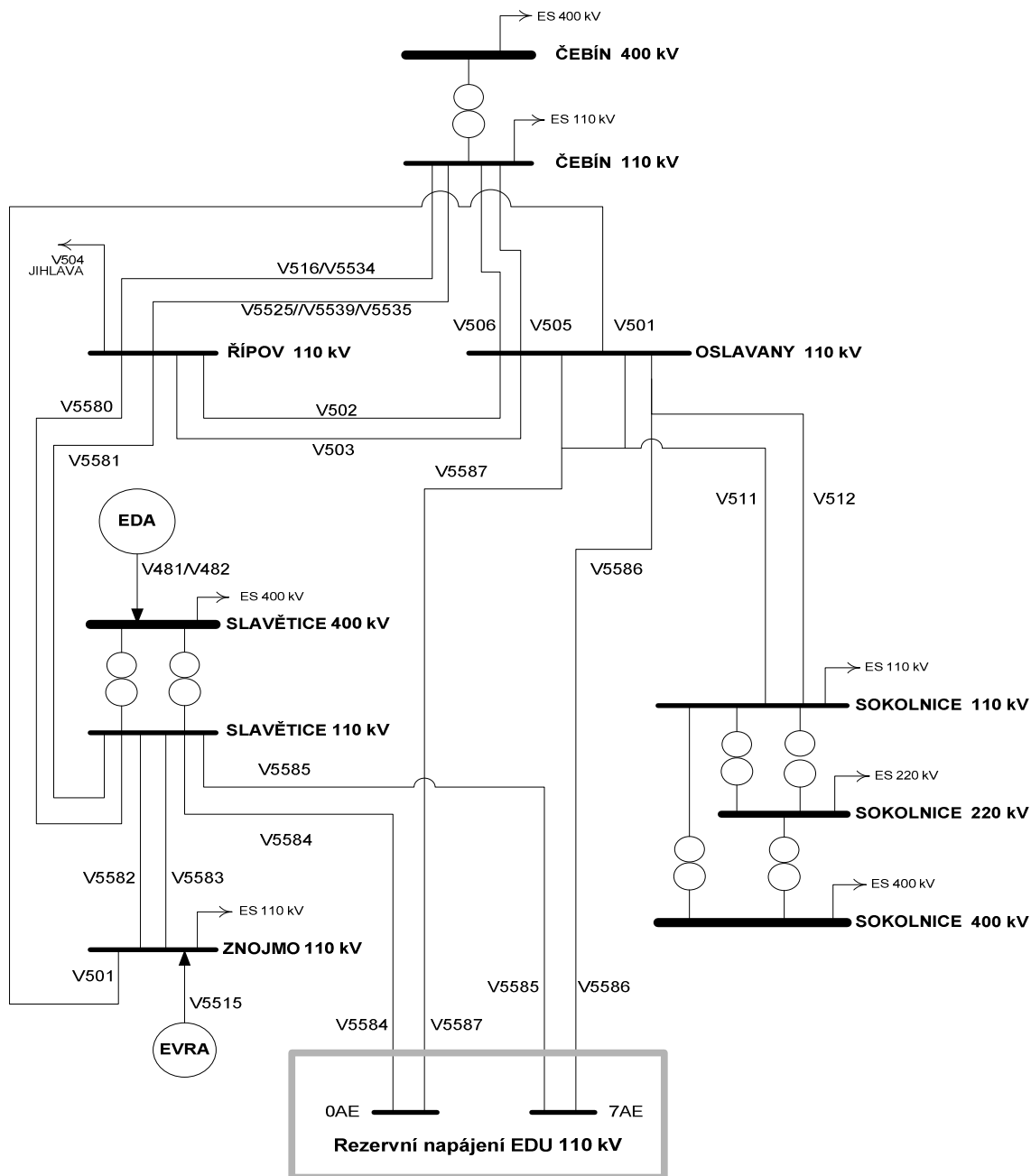


Schéma rozvoden 400 kV i 110 kV Slavětice, Sokolnice (a další rozvoden v okolí EDU) i způsob jejich provozu jsou voleny tak, aby byl maximálně omezen přenos poruch mezi bloky EDU navzájem i mezi bloky EDU a elektrizační soustavou.

Systém rezervního napájení EDU proto může být napájen z různých geograficky a směrově diverzních zdrojů v přenosové soustavě (transformace 400/110kV a transformace 220/110kV Slavětice, Sokolnice a Čebín). Vodní elektrárna Dalešice byla po provedení analýz SBO

zvolena jako hlavní vnější zdroj AAC a tato funkce byla prakticky ověřena zkouškami. Elektrárna Dalešice (výkon 4 x 112,5 MW) má schopnost startu ze tmy. Zkouškou byla ověřena schopnost podání napájení do 30 minut (po vedení 400kV) nebo do 60 minut (po vedení 110 kV). Zkouška zahrnovala prověření technických i organizačních opatření pro zvládnutí SBO, funkčnost komunikačních prostředků, role a postupy klíčových osob při vzniku SBO.. Podmínkou použití VE Dalešice vzdálené cca 6 km je provozuschopný stav rozvoden a vedení 400 kV a 110 kV v napájecí cestě.

Zkouškou byla ověřena také schopnost podání napájení do 60 minut (po vedení 110 kV) z Vodní elektrárny Vranov.

1.3.5.2 Elektrický systém uvnitř EDU

Hlavní napájecí zdroje a rozvodné sítě

Napájení elektrických spotřebičů vlastní spotřeby je rozděleno na více rozvoden, napájecích systémů a zdrojů, které se zálohují (na substitučním nebo redundantním principu). Tím se omezují důsledky poruch těchto systémů na provoz reaktoru a bloku.

Elektrické spotřebiče jsou rozděleny do skupin podle jejich důležitosti a podle toho jsou napájeny ze zdrojů a sítí odpovídající kategorie zajištěnosti napájení. Důležitost spotřebiče zahrnuje kritérium (bezpečnostní) funkce spotřebiče a přípustnou dobu přerušení napájení. Funkce spotřebiče je klasifikována podle standardů IAEA na bezpečnostní (BS), související s bezpečností (SSB) a nedůležitou z hlediska bezpečnosti (SNB). Vlastní spotřeba každého z bloků JE Dukovany má k dispozici:

- pracovní zdroje, tj. odbočkové transformátory ANT s regulací napětí OLTC (napájené z turbogenerátorů 300MVA (259MVA u bloků před probíhající rekonstrukcí) a/nebo ze sítě 400kV). Pracovní zdroje mají čistě blokový charakter.
- rezervní zdroje, tj. rezervní transformátory AST s regulací napětí OLTC (napájené ze sítě 110kV). Rezervní transformátory jsou dva na každý reaktorový dvojblok (HVB) a mohou být zálohovány AST sousedního HVB. Rezervní transformátory jsou schopny zajistit odstavení jednoho reaktorového bloku při ztrátě jeho pracovního napájení, při předběžném zatížení spotřebiči druhého reaktorového bloku.
- nouzové zdroje, které napájí systémy zajištěného napájení (SZN). Nouzové zdroje jsou tvořeny dieselgenerátory, akumulátorovými bateriemi a agregáty nepřerušeno napájení (usměrňovače, střídače). Jsou instalovány v areálu EDU, dimenzovány podle požadavků napájených zátěží a jejich funkceschopnost nezávisí na stavu pracovních a rezervních zdrojů ani vnější sítě. Každý z bloků EDU je vybaven 3 redundantními SZN (označení 1, 2, 3) klasifikovanými jako BS (každý z nich je podpurným systémem

pro svoji divizi BS). Ze SZN 1 a 2 jsou napájeny SZN 4.1 a 4.2 pro napájení spotřebičů SSB a SNB.

Spotřebiče nedůležité z hlediska jaderné bezpečnosti (SNB, zajišťující provoz bloku, výrobu el. energie, ...) jsou napájeny z pracovních zdrojů. Při ztrátě pracovního napájení (transformátory ANT) přechází napájení automaticky na rezervní zdroje (transformátory AST). Na každém bloku jsou 4 hlavní blokové rozvodny 6kV (BA, BB, BC, BD) vybavené AZR na rezervní napájení.

Spotřebiče důležité z hlediska jaderné bezpečnosti (BS a SSB) jsou napájeny ze systémů zajištěného napájení (SZN). SZN jsou tvořeny sítěmi zajištěného napájení a nouzovými zdroji. SZN jsou normálně napájeny z pracovních nebo rezervních zdrojů (prostřednictvím rozvodu BA, BB,...). Při ztrátě tohoto napájení se příslušný SZN odpojuje od sítě normálního napájení a přechází na napájení z nouzových zdrojů. Nepřerušené napájení citlivých spotřebičů je zajištěno akumulátorovými bateriemi.

Odpojení SZN a nastartování DG je iniciováno od ztráty napájení ($U < 0,25U_n$ po dobu 2,5 s nebo $0,7U_n/6$ s nebo pokles frekvence 47 Hz/6 s). Odchytky frekvence jsou řešeny síťovou frekvenční ochranou, která vyhodnocuje pokles frekvence v síti 400 kV. Projektové analýzy i zkoušky potvrdily selektivitu tohoto nastavení vůči funkci AZR z pracovních na rezervní zdroje a funkci dalších ochranných automatů.

Od těchto iniciačních podmínek jsou DG automaticky startovány a automaticky postupně zatěžovány pevně zadaným programem ELS. V souladu s požadavky bezpečnosti jsou DG připraveny k zatěžování do 10s od povelu na start. Funkce DG a automatů jejich zatěžování je pravidelně ověřována periodickými zkouškami.

Uspořádání a rozmístění zdrojů a sítí

Před strojovnou bloku jsou stanoviště blokových (GT), odbočkových (ANT) a rezervních (AST) transformátorů. Stanoviště jsou vzájemně fyzicky, elektricky i požárně oddělena.

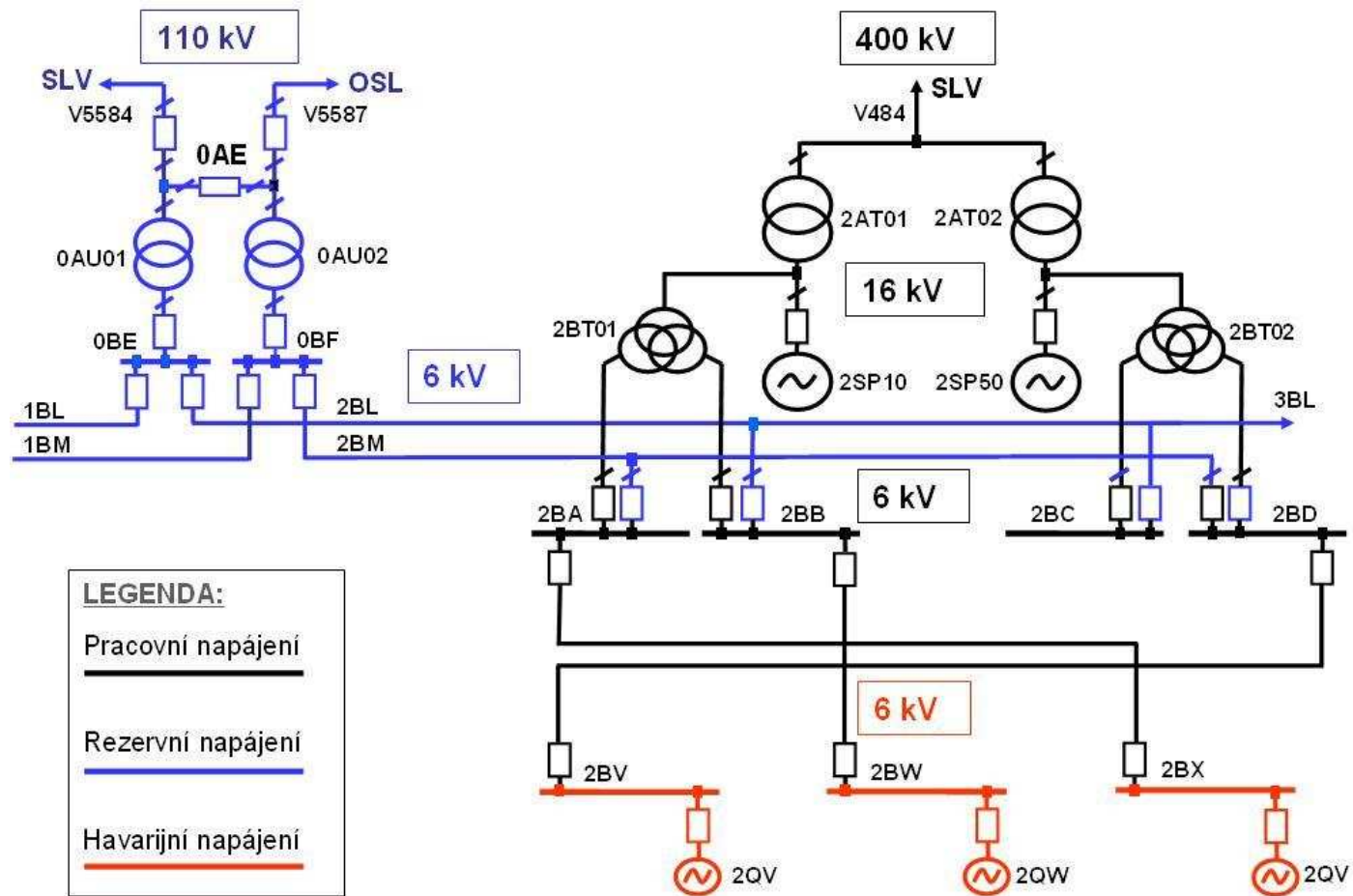
Pracovní zdroje vlastní spotřeby (2 odbočkové transformátory ANT, každý o výkonu 32/16/16 MVA) jsou napájeny z odbočky hlavního generátoru. ANT napájí hlavní blokové rozvodny 6kV (BA, BB, BC, BD), které jsou umístěny v budově mezistrojoven (podélná a příčná). V této budově jsou i snížovací transformátory 6/0,4 kV a rozváděče 0,4 kV pro napájení reaktorovny, strojovny a sekundárního okruhu.

Rezervní zdroje vlastní spotřeby (pro každý HVB jsou 2 rezervní transformátory AST, každý o výkonu 40 MVA) jsou napájeny ze sítě 110 kV. Rezervní zdroje HVB1 a HVB2 se mohou vzájemně zálohovat propojkami 6 kV. AST jsou zdrojem rezervního napájení blokových rozvodů 6 kV BA, BB, BC, BD.

Z blokových rozvoden 6 kV jsou napájeny i motory 6kV (HCČ, napáječky, chladičky,...), rozvodny 6kV zajištěného napájení (BV, BW, BX systémů 1, 2, 3) a transformátory 6/0,4 kV pro spotřebiče strojovny a reaktorovny. Tato rozvodná zařízení jsou umístěna v podélné a příčné mezistrojovně.

Z blokových rozvoden 6 kV jsou dále napájeny pohony 6kV a rozváděče 0,4 kV umístěné ve vnější objektech. Viz následující obrázek:

Obr. 1.3.5-6 Systémy napájení vlastní spotřeby



Systém napájení VS – 2. RB EDU

1.3.5.3 Normální projektové systémy zajištěného napájení

Schéma, základní parametry a vlastnosti

Bezpečnostní systémy (BS) jsou na každém z bloků EDU uspořádány do 3 divizí bezpečnostních systémů (3x100%). V souladu s touto koncepcí je v každé divizi (označené 1, 2, 3) vytvořen SZN (označený jako 1, 2, 3), který slouží jako podpůrný bezpečnostní systém pro napájení spotřebičů této divize.

Redundancy, separation of redundant sources by structures or distance

Pro zajištění potřebné míry redundance jsou tyto SZN nezávislé a vzájemně oddělené dispozičně (stavebně, požárně), elektricky i z pohledu řídicího systému. SZN 1,2,3 jsou seizmicky odolné. Každý ze SZN má vlastní nouzové zdroje (DG, akubaterie) i elektrické rozvody. Ze SZN 1, 2 jsou napájeny i systémy SZN4.1 a SZN4.2 s nižší klasifikací z hlediska bezpečnosti (SSB, případně SNB), u kterých je požadována vysoká míra spolehlivosti a redundance. Tyto systémy ale nesmí snižovat plnění bezpečnostní funkce pro systémy BS.

Každý z SZN 1, 2, 3 je tvořen těmito hlavními zařízeními:

- Nouzový DG 6.3kV, 2,8 MW. Dieselgenerátory (QV, QW, QX) mají vlastní nádrže nafty, které jsou dimenzovány pro provoz při plném zatížení po dobu minimálně 144 hodin bez doplňování nafty (reálně po dobu ještě delší, protože zatížení je nižší). Naftu je navíc možno průběžně doplňovat
- Rozvodna 6kV zajištěného napájení.
- Rozváděče 0,4 kV a snižovací transformátory 6/0,4 kV.
- Usměrnovače, akubaterie, střídače pro napájení citlivých spotřebičů, vyžadujících kvalitní a nepřerušené napájení.

Divize BS 1, 2, 3 i jejich SZN 1,2,3 se zálohují jako celek (koncepte 3x100%). Vzhledem k principu nezávislosti a vzájemného oddělení nenaruší jednoduchá porucha v jednom ze SZN 1, 2, 3 funkceschopnost zbývajících dvou divizí.

DG jsou nouzovým zdrojem pro spotřebiče připouštějící přerušení napájení po určitou dobu (desítky sekund až minut). DG se startují automaticky při ztrátě napájení rozvodny 6 kV zajištěného napájení svého SZN. Současně dochází k odepnutí této rozvodny od rozvodu normálního napájení vypnutím dvou v sérii řazených sekčních vypínačů. Zatěžování DG a práce SZN a spotřebičů jsou s nejvyšší prioritou řízeny automatikou postupného spouštění (ELS) podle pevně zadaných programů. ELS rovněž chrání DG před přetížením v důsledku dalšího rozvoje havárie a následnými úkony operátora.

SZN 1,2,3 (včetně DG) jsou tvořeny seizmicky odolnými zařízeními, umístěnými v budovách, kde probíhá seizmické z odolňování.

Objekty DG stanic pro SZN 1,2,3 jsou robustní železobetonové objekty, umístěné za reaktorovými.

Hlavní elektrická zařízení každého ze SZN 1,2,3 (rozvodny 6kV, 0,4kV, baterie,...) jsou umístěna v příčné a podélné mezistrojovně a tím chráněny proti externím rizikům.

Kabelové trasy SZN 1,2,3 jsou navzájem nezávislé. Tím je zaručena funkční, prostorová a požární nezávislost (90 minut) těchto SZN a příslušných divizí BS. V kabelových trasách jsou kabely segregovány podle funkčních a napěťových skupin.

Všechny pomocné systémy motoru a generátoru DG (přívod paliva do motoru, mazací olej, vnitřní chladicí okruh, plnicí vzduch, spouštěcí vzduch) jsou autonomní a při chodu DG nezávislé na přívodu vnějších energií. Každý z DG má vlastní rozvod a zdroje vlastní spotřeby, včetně vlastní baterie. U systémů, které by mohly být ovlivněny dlouhodobým provozem DG (např. zanesení filtrů mazacího oleje) jsou redundantní podsystémy, jejichž jednu část lze za provozu DG odstavit, provést na ní nutnou údržbu a tím zabránit selhání DG v důsledku ztráty pomocných systémů. Kvalita nafty je pravidelně kontrolována.

Vzhledem ke koncepci (3x100%) divizí bezpečnostních systémů a SZN 1,2,3 je možno provádět funkční zkoušky DG a SZN i za provozu bloku (zkouška startu DG a převzetí zátěží funkcí ELS po záměrném vypnutí sekčních vypínačů a simulaci reálné ztráty napájení).

Pro napájení další části systémů souvisejících s jadernou bezpečností (SSB) a napájení systémů nedůležitých z hlediska jaderné bezpečnosti (SNB), které však zajišťují obecnou bezpečnost osob a drahých zařízení, jako je turbosoustrojí, je na každém z bloků vytvořen 4. SZN. tento SZN jsou koncipovány jako dva subsystémy (4.1, 4.2), které se vzájemně zálohují podle principu 100+100%. Každý ze subsystémů má vlastní akubaterii, usměrňovač a střídač. Zařízení SZN 4 jsou seizmicky odolná.

Time constraints for availability of these sources and external measures to extend time of use

Zásoba nafty v provozní nádrži pro každý DG je na dobu nejméně 6 hodin (4,5 m³ paliva, spotřeba 0,7 m³/h). Pro každý DG je dále určena jedna navzájem propojená dvojice zásobních nádrží, kde je minimální zásoba 110 m³ paliva. K přečerpávání nafty ze zásobních nádrží do provozní nádrže dochází automaticky od poklesu hladiny v provozní nádrži. Čerpadla dopravy paliva mají elektrické napájení z příslušného DG. Celková zásoba nafty 114,5 m³ postačuje na provoz jednoho DG po dobu nejméně 144 hodin (reálně cca 160 h), tj. na 6 až 7 dnů bez nutnosti vnějšího doplňování paliva.

Pozn.: Další palivo pro DG by bylo možno získat přečerpáváním z jiných DG (které jsou např. mimo provoz) tzv. reexpedičními čerpadly, a to za předpokladu získání elektrického napájení pro jejich provoz (napájení čerpadel je z nezajištěného systému). Při uvážení dlouhodobého provozu vždy pouze jednoho DG na každém bloku, tak při zprovoznění reexpedičních čerpadel by bylo k dispozici palivo na dobu 18 až 21 dní bez vnější dodávky nafty na EDU.

1.3.5.4 Alternativní na JE trvale instalované systémy zajištěného napájení

Pro JE Dukovany jsou v provozních předpisech navrženy opatření a postupy pro zvládnutí a zotavení z úplné ztráty střídavých zdrojů napájení VS (Station Blackout, dále SBO) ve smyslu udržení bloků v bezpečném stavu.. Základní metoda řešení SBO je blízka US NRC RG 1.155. SBO se řeší z pohledu jednoho bloku v situaci, kdy je ale celá elektrárna postižena LOOP.

Definice stavu Station Blackout (SBO) na jednom bloku EDU: SBO je havárie na bloku JE Dukovany, charakterizovaná ztrátou všech pracovních, rezervních i nouzových zdrojů střídavého napájení bloku – pro blok na výkonu např. po rozpadu elektrizační soustavy, nezregulování ani jednoho ze dvou turbogenerátorů na vlastní spotřebu a nepodání napájení od žádného ze tří dieselgenerátorů bloku.

All diverse sources that can be used

Pro obnovení napájení při SBO jsou uvažovány následující zdroje napájení uvnitř EDU:

- využití nouzových DG z jiného bloku, na kterém jsou ve funkci alespoň 2 DG. V předpisech jsou zpracovány alternativní postupy provozních manipulací, kdy se k propojení využívá magistrály rezervních přípojníc 6kV, které probíhají po celé délce všech 4 bloků EDU.
- pro obnovu napájení čerpadel chlazení BSVP (TG) je zpracován postup obnovy přes napájecí trasy jeřábové dráhy reaktorového sálu.

1.3.5.5 Další zdroje a systémy pro řešení nouzových situací

Potential dedicated connections to neighbouring units or to nearby other power plants

Jaderná elektrárna Dukovany disponuje velice robustním systémem tzv. rezervního napájení – viz kap. 1.3.5.1, který nabízí širokou škálu možností napájení důležitých spotřebičů resp. obnovení jejich napájení po SBO z okolních zdrojů:

- Základní (ověřený, v čase do 30 resp. 60 minut) z přečerpávací VE Dalešice, podle aktuální situace linkami 400 nebo 110 kV – viz 1.3.5.1
- Z VE Vranov po linkách 110 kV přes rozv. Znojmo a dle aktuální situace buďto přes rozvodnu 110 kV Slavětice nebo přes rozvodnu Oslavany – přichází v úvahu zejména v situacích, kdyby v důsledku lokálních extrémních přírodních jevů byla vyřazena

rozvodna Slavětice včetně linek 110 a 400 kV mezi touto rozvodnou a JE Dukovany (rovněž ověřeno do 60 minut – 1.3.5.1)

- Napájení z libovolného zdroje připojeného do rozvodů Sokolnice (400, 220 či 110 kV) nebo Čebín (400 a 110 kV) přes rozvodnu Oslavany – vhodné zejména v případech lokálních rozpadů sítí 400 a 110 kV, které by vyřadily obě napěťové soustavy v rozvodně Slavětice.
- Napájení z libovolného zdroje připojeného k rozvodnám Říčov či Znojmo (včetně VE Vranov) přes R 110 kV Slavětice – vhodné zejména v případě vyřazení R 110 Oslavany např. v důsledku lokálních extrémních přírodních jevů.

Zprovoznění včetně případné opravy některé (nejméně postižené) z výše uvedených cest připadá v úvahu v řádu hodin až desítek hodin, což je srovnatelné s dobou potřebnou k aktivaci (včetně dopravy) mobilních či jiných diverzifikovaných zdrojů napájení

Napájení z mobilních zdrojů

Použití mobilních zdrojů nebylo v řešení projektu EDU uvažováno.

Information on each power source

Přečerpávací VE Dalešice se nachází cca 6 km od EDU a je připojitelná prostřednictvím sítě 400 kV, resp. 400 kV a 110 kV přes rozvodnu Slavětice. Pokud by zůstala možnost vyčlenit pro EDU vybrané napájecí trasy 400 kV nebo 110 kV, bylo by primárně zabezpečováno napájení VS vybraných bloků z blízkých vodních elektráren Dalešice (4 x 112,5 MW) nebo Vranov (3 x 6,3 MW).

Předpokladem je ovšem možnost komunikace s příslušnými vnějšími dispečinkami a pracovišti vodních elektráren. Tyto způsoby obnovy napájení z vnějších zdrojů jsou podmíněny provozuschopností vedení 400 kV a 110 kV, které nemusí být dostupné

Obnova napájení z přečerpávací VE Dalešice (4 x 112,5 MW) resp. z VE Vranov (3 x 6,3 MW) byla odzkoušena (rok 2004, resp. 2010) s vyhovujícím výsledkem.

Preparedness to take the source in use:

Pokud by nastal SBO na bloku v horkém stavu, SI EDU vyhlásí stav KRAJNÍ NOUZE, jenž dle Kodexu Přenosové soustavy ČR (Zákon č. 458/2000Sb., Pravidla provozování Přenosové soustavy) definuje nutnost dodat energii z vnější sítě na postižený blok do 1 hodiny. Pokud by nastal SBO na bloku v polohorkém stavu, je vyhlášen stav OHROŽENÍ s nutností dodat energii z vnější sítě na postižený blok do 2 hodin.

Obnovu elektrického napájení pro bezpečnostně významná zařízení (za předpokladu provozuschopnosti příslušných vnějších tras a rozvodů) poskytují následující varianty:

- Obnova napětí z rozvodny Slavětice nebo Oslavany přes vedení 110 kV.

- Obnova napětí ze systému 400 kV přes vedení 110 kV.
- Obnova napětí ze systému 400 kV přes blokové vedení 400 kV.
- Obnova napětí z EDA přes vedení 110 kV.
- Obnova napětí z EDA přes blokové vedení 400 kV (odzkoušeno 2004).
- Obnova napětí z bloku EDU přes vedení 110 kV.
- Obnova napětí z bloku EDU přes blokové vedení 400 kV.
- Obnova napětí z vodní elektrárny Vranov přes blokové vedení 110 kV (odzkoušeno 2010).

Všechny výše uvedené způsoby obnovy napájení z vnějších zdrojů jsou podmíněny provozuschopností vedení 400 kV a 110 kV, které nemusí být dostupné.

1.3.6 Bateriové zdroje pro DC napájení

Každý ze SZN popsaných v kapitole 1.3.5.3.1 je vybaven zdroji a rozvody, které zajišťují nepřerušené napájení citlivých spotřebičů. Nouzovým zdrojem jsou olověné baterie 220 V. Na všech SZN proběhly v návaznosti na události na JE Forsmark kontroly a technické úpravy nastavení a koordinace ochranných a monitorovacích systémů, které nyní zajišťují robustní odolnost proti poruchovým a přechodovým procesům v napájecí síti AC. V normálním provozním režimu jsou zátěže napájeny a baterie dobíjeny pomocí usměrňovačů ze zdrojů normálního napájení. Při výpadku pracovní a rezervních zdrojů přebírají napájení usměrňovačů nouzové dieselgenerátory.

Navržené usměrňovače jsou schopny zajistit dobití baterií za méně než 8h.

1.3.6.1 Popis bateriových zdrojů

Na SZN 1,2,3 (klasifikované jako BS) jsou instalovány systémy, které se skládají ze 2 tyristorových usměrňovačů (220V, $I_n=800A$, proudové omezení nastaveno na 600 A), akumulátorové baterie (220V, 1500 Ah) a dvou tranzistorových střídačů (220/380 V AC, 160 kVA). Tyto systémy slouží pro napájení nejdůležitější řídicích, monitorovacích a ochranných systémů a armatur své divize BS. Významným spotřebičem je rovněž nouzové osvětlení prostor.

Kromě toho jsou na každém SZN 1,2,3 dva subsystémy 48V (100 + 100%), které napájí systém ochrany a řízení klasifikovaný jako BS (ochrana reaktoru, automatika ELS atd.). Každý ze subsystémů má baterii 243 Ah.

Všechny baterie na SZN 1,2,3 mají projektem stanovenou vybíjecí dobu 2 hodiny.

SZN 4 obsahuje dva subsystémy (4.1, 4.2), které jsou napájeny ze SZN 1 a 2. Každý ze subsystémů obsahuje tyristorový usměrňovač (220V, 800A), akumulátorovou baterii (220V, 2000 Ah) a střídač (220/380V AC, 150 kVA). Mezi rozváděči 220V DC je propojka, která umožňuje vzájemné zálohování 100% + 100%. Tyto systémy jsou klasifikovány jako SSB a napájí spotřebiče řídicího systému, které jsou klasifikovány jako SSB nebo SNB, a dále zajišťovací pohony turbosoustrojí. Subsystémy 4.1 a 4.2 se vzájemně zálohují (100% + 100%), spotřebiče mají přívody z obou subsystémů. Kromě toho jsou SZN4.1 a 4.2 zdroje UPS pro napájení méně důležitých řídicího systému a diagnostiky.

SZN 5 obsahuje baterii v systému pohonů řídicích tyčí reaktoru (220V, 600 Ah) stabilizuje tento systém při krátkodobých poklesech napětí, které mohou vzniknout v přenosové soustavě nebo síti vlastní spotřeby.

Další bezpečnostně významné bateriové systémy jsou v dieselgenerátorových stanicích. Skládají se z usměrňovačů a baterií 24V. Jsou napájeny z rozvodů vlastní spotřeby svých DG. Napájí řídicí systémy a ochrany DG, doba vybíjení touto zátěží přesahuje 8 hodin. Jsou klasifikovány stejně jako DG (tj. DG na SZN 1,2,3 jako BS).

V projektu EDU, především v souvislosti s obnovou SKŘ, se při dimenzování baterií vycházelo z požadavku IAEA NS-G-1.8: 2004, tj. vybíjecí doba alespoň 2 hodiny.

Tab. 1.3.6-1 Vybíjecí doby akubaterií dle projektu

SZN	Označení baterie	Charakteristiky baterie	Vybíjecí doba [hodiny]
1,2,3 220V	EE01,02,03	105čl. Vb2415, 1500Ah	2
4.1 + 4.2	EE04, EE14	105čl. Vb2420, 2000Ah	2 1)
1,2,3 48V	EE5x,6x	24čl. Vb6159, 243Ah	4 1)

x ... 1,2,3 ... podle příslušnosti k SZN

Tab. 1.3.6-2 Vybíjecí doby akubaterií v nadprojektovém režimu SBO

SZN	Označení baterie	Charakteristiky baterie	Vybíjecí doba [hodiny]	
			a) Bez redukce zátěže	b) S min. redukcí zátěže
1,2,3 220V	EE01,02,03	105čl. Vb2415, 1500Ah	4 - 8	8 - 10
4.1 + 4.2	EE04, EE14	105čl. Vb2420, 2000Ah	5,5 - 12	6,5 - 12
1,2,3 48V	EE5x,6x	24čl. Vb6159, 243Ah	6	7

x ... 1,2,3 ... podle příslušnosti k SZN

Akubaterie nejsou z hlediska řešení nadprojektového režimu SBO (definovaného v kapitole 1.3.5.4) metodou připojení zdroje AAC kritické, protože :

- a) jsou připojitelné ke zdroji AAC, který zajistí napájení zátěže a dobíjení akubaterii prostřednictvím usměrňovačů.
- b) Vybíjecí doby akubaterií lze prodloužit už jen minimální redukcí jejich zátěže do pásma 6 – 8 hodin, kdy se pokládá připojení zdroje AAC za realisticky proveditelné a potřebné i z hlediska technologie.

1.3.6.2 Napájené spotřebiče

Hlavní druhy napájených spotřebičů jsou:

- napájení nejdůležitější řídicích, monitorovacích a ochranných systémů (RTS, ESFAS, PAMS) a armatur své divize BS (PSA, OVKO, atd.)
- významným spotřebičem je rovněž nouzové osvětlení prostor dané divize BS (klasifikované jako SNB).

1.3.6.3 Uspořádání a rozmístění zdrojů a sítí

Bateriové systémy SZN 1,2,3 a 4 a příslušné usměrňovače a střídače jsou umístěny v příčné a podélné mezistrojovně. Jedná se o seizmicky odolná zařízení umístěná v seizmicky odolných místnostech.

Další údaje viz kapitola 1.3.5.3.

1.3.6.4 Alternativní možnosti dobíjení baterií

V režimu SBO se uvažuje dobíjení baterií ze zdrojů AAC, které jsou uvedeny v kapitolách 1.3.5.3 a 1.3.5.4

V současném projektovém řešení k 30.6.2011 nebylo uvažováno dobíjet baterie jiným způsobem, například z mobilních DG. Technicky ale tato možnost existuje

1.4 Significant differences between units

Využití projektových rezerv bloků

Na 3. bloku v roce 2009 a na 4. bloku v roce 2010 byl realizován projekt Využití projektových rezerv bloků EDU (VPR), v rámci kterého byl zvýšen jmenovitý tepelný výkon reaktoru z původních 1375 MWt na hodnotu 1444 MWt. Součástí projektu VPR byla i rekonstrukce VT dílů turbín na příslušných blocích. Realizace na 1. bloku je plánovaná v roce 2011 a na 2. bloku v roce 2012.

Zamezení úplné ztrátě chladiva při LOCA

V roce 2009 na 3. bloku a v roce 2010 na 4. bloku byla realizována úprava geometrie trasy vzduchotechnických systémů na přívodu do šachty reaktoru ve spojovacím koridoru. Jedná se o dva sifonové uzávěry se spodní hranou +8,1m, osazené v horní části průtržnými

membránami (DN200), s otevíracím tlakem 50kPa ze strany koridoru, proti přetlačení kapaliny v zaplavené trase. Účelem modifikace je zabránění natékání chladiva do prostorů ventilačního centra při dosažení výše uvedené úrovně v místnosti šachty reaktoru. Realizace na 1. bloku je plánovaná v roce 2011 a na 2. bloku v roce 2012.

Obr. 1.4-1 Sifonové uzávěry na trase vzduchotechnických systémů



Vlastnosti TNR

V současné PSA je na 1. bloku vyšší hodnota CDF. To je způsobeno tím, že TNR na prvním bloku má horší vlastnosti z hlediska křehkého lomu. Jsou tedy horší výsledky při studeném natlakování a horší výsledky sekvencí LOCA, ve kterých může dojít k tlakově teplotním šokům.

1.5 Scope and main results of Probabilistic Safety Assessments

První analýzy PSA JE Dukovany, bloky 1 až 4 byly provedeny v letech 1993 - 1996. Projekt analýz EDU pokrýval analýzu úrovně 1 (Level 1 PSA) pro výkonové stavy a omezený soubor vnitřních iniciačních událostí. Tyto analýzy pak byly postupně rozšiřovány o analýzy dalších typů rizik tak i o nevýkonové stavy včetně odstávek, rizik interních požárů a záplav, pádů těžkých břemen, rizika vnějších událostí. Analýza PSA Level 2 byla zpracována v r. 1998 a poté aktualizována nejprve v r. 2002 a následně pak i v r. 2006.

Původní pravděpodobnostní modely byly dále průběžně aktualizovány tak, aby zachycovaly skutečný stav projektu bloků po všech postupně realizovaných bezpečnostních vylepšeních. Aktualizace modelů zahrnovala také analýzu požárních rizik, rizika záplav a aktualizaci modelů Level 2 PSA. Analýza Level 2 PSA v současnosti zahrnuje výkonový provoz, pro nevýkonový provoz a odstávky je Level 2 PSA v současné době ve fázi zpracování.

PSA JE Dukovany byla předmětem kontrolní mise IAEA IPERS v roce 1998 (PSA 1. úrovně, vnitřní iniciační události, požáry, záplavy). Rovněž bylo provedeno nezávislé hodnocení uvedené PSA (v rozsahu PSA Level 1 pro vnitřní události, pro výkonový i nevýkonový provoz a PSA Level 2) iniciované SÚJB, které provedla rakouská firma ENCONET Consulting v roce 2005 a také je prováděna každoroční kontrolní inspekce a hodnocení PSA SÚJB.

Aktualizace pravděpodobnostních modelů PSA se provádí pravidelně v rámci provozovatelem přijatého konceptu Living PSA i jako důsledek požadavků dozorného orgánu nad jadernou bezpečností (SÚJB) na pravidelnou aktualizaci modelů PSA EDU tak, aby jejich výsledky odrážely aktuální stav JE a splňovaly základní požadavek jejich použitelnosti pro rizikově informované aplikace.

Přehled vývoje bezpečnosti vyjádřené ve formě vypočítané frekvence poškození AZ (CDF) a frekvence časných velkých úniků radioaktivních látek pro výkonový provoz i nevýkonové stavy a odstávky je uveden v následujícím grafu pro:

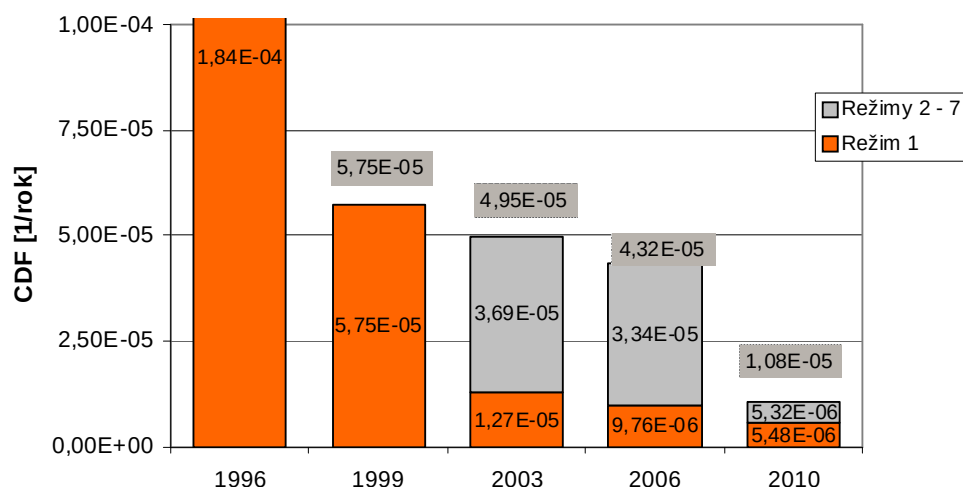
- 1) výkonový provoz EDU (R1) a
- 2) pro nevýkonové režimy/odstávky (R2-R7), vnitřní iniciační události + pád letadel

Z uvedených výsledků PSA Level 1 vyplývá, že hodnota CDF pro skutečný stav projektu po všech realizovaných bezpečnostních vylepšeních klesla pro výkonové stavy téměř na polovinu a pro nevýkonové stavy bloku o více než půl řádu.

CDF je hodnota průměrné roční frekvence poškození paliva v AZ pro výkonový a nevýkonový provoz JE

CDF (R1-R7) pro zbývajících bloky EDU je nižší a dosahuje celkem hodnot $8,76 \div 8,81E-06/\text{rok}$.

Obr. 1.5-1 Vývoj výsledků CDF (vnitřní události, 1. blok)



Z celkové hodnoty frekvence výskytu poškození AZ (CDF) činí příspěvek kategorie časných velkých úniků radioaktivních látek cca 23,5%.

Od roku 2000 – 2003 byly také zpracovány a od r. 2005 standardně provozovány a aktualizovány plně funkční pravděpodobnostní modely pro monitorování rizika v reálném čase, tzv. Safety Monitor. Využívá se pro identifikaci a monitorování rizikových konfigurací všech bloků během odstávek i k monitorování profilů rizika v reálném čase jak při provozu tak odstávkách jednotlivých bloků. Využívá se také pro hodnocení rizika provozu za účelem realizace rizikově informovaných aplikací.

Podle současné znalosti, při uvažování externích událostí v projektovém rozsahu, platí následující závěry analýz PSA Level 1:

- Aktuální hodnota příspěvku seismické události k celkovému riziku CDF dosud není k dispozici, analýza seismického rizika je ve zpracování. Předpokladem je nízký příspěvek k celkovému riziku vzhledem k požadavku kvalifikace SSC na seismickou odolnost min. 0,1g a nízkou frekvenci výskytu takové intenzity zemětřesení v lokalitě.
- Příspěvek externích iniciačních událostí způsobených lidskou činností k riziku je zanedbatelný (příspěvek k CDF je kolem hodnoty 1,0E-7/rok)
- Příspěvek havarijních sekvencí vedoucích k SBO z interních příčin je v řádu E-7/rok.

2 Earthquakes

2.1 Design basis

2.1.1 Earthquake against which the plant is designed

2.1.1.1 Characteristics of the design basis earthquake (DBE)

V regionu Střední Evropy a území ČR se nenachází žádné tektonické struktury, které by umožňovaly vznik extrémně silných zemětřesení srovnatelných s katastrofickým zemětřesením v Japonsku 11.3.2011.

Úroveň seizmického ohrožení lokality je dána hodnotou maximálního výpočtového zemětřesení s dobou výskytu $1 \times 10\,000$ let. Pro lokalitu EDU byla na základě provedených analýz stanovena v hodnotě špičkového zrychlení podloží $SL_2 = 0,06g$, které odpovídá seizmické události s 95% pravděpodobnosti nepřekročení.

Projektové zemětřesení SL_1 se střední dobou návratu 1×100 let (určeno z výpočtů a mapy seizmického ohrožení ČR) je pro lokalitu EDU se zrychlením podloží $0,050g$ v horizontálním směru a $0,035g$ ve vertikálním směru a odpovídá seizmické události s 90% pravděpodobnosti nepřekročení.

Jako zadání pro seizmické z odolnění EDU byla v souladu s mezinárodními požadavky stanovena hodnota max. výpočtového zemětřesení se střední dobou návratu $1 \times 10\,000$ let na $0,1g$ v horizontálním směru a $0,067g$ ve vertikálním směru. V současnosti probíhá na všech blocích z odolnění bezpečnostně významných zařízení a stavebních konstrukcí na hodnotu špičkového zrychlení podloží $0,1g$.

2.1.1.2 Methodology used to evaluate the design basis earthquake

V regionu střední Evropy a území ČR se nenachází žádné tektonické struktury, které by umožňovaly vznik extrémně silných zemětřesení srovnatelných s katastrofickým zemětřesením v Japonsku 11.3.2011. Území ČR reprezentuje vnitrodeskovou oblast a nenachází se zde žádná struktura typu subdukční zóny (podsouvání zemských desek).

Pro stanovení návrhových parametrů zemětřesení úrovně maximálního výpočtového zemětřesení (SL_2) byly použity čtyři odlišné přístupy. Výsledné hodnoty byly stanoveny na základě porovnání výsledků všech použitých metodických přístupů jako nejvíce konzervativní hodnoty. Použití kombinace těchto metodických přístupů má eliminovat nepřesnosti katalogů zemětřesení, generalizaci schémat ohniskových oblastí a zvýšit spolehlivost výsledků řešení.

- Seismostatistický (pravděpodobnostní) - zpracovaný ve dvou variantách s použitím shodného katalogu zemětřesení, ale rozdílné skladby ohniskových oblastí.

- Seismogeologický (seismotektonický) - vycházející z předpokladu, že ohniska zemětřesení jsou spojena s aktivními zlomy.
- Experimentální - označovaný jako "nezónová metoda", který nevyžaduje definici zdrojových zón a jejich ohraničení, ani stanovení parametrů seismicity a jejich seismického potenciálu. Je založen na měření skutečných charakteristik útlumu po trase epicentrum - posuzovaná stavba.

Výsledky stanovení SL2 pomocí jednotlivých metod:

1. Seismostatistický přístup – 1. metoda (SL2 = 0,06g)
2. Seismostatistický přístup – 2. metoda (SL2 = 0,09g)
3. Seismotektonický přístup (SL2 = 0,06g)
4. Nezónová metoda (SL2 = 0,05g)

Seismostatistický přístup – 1. metoda

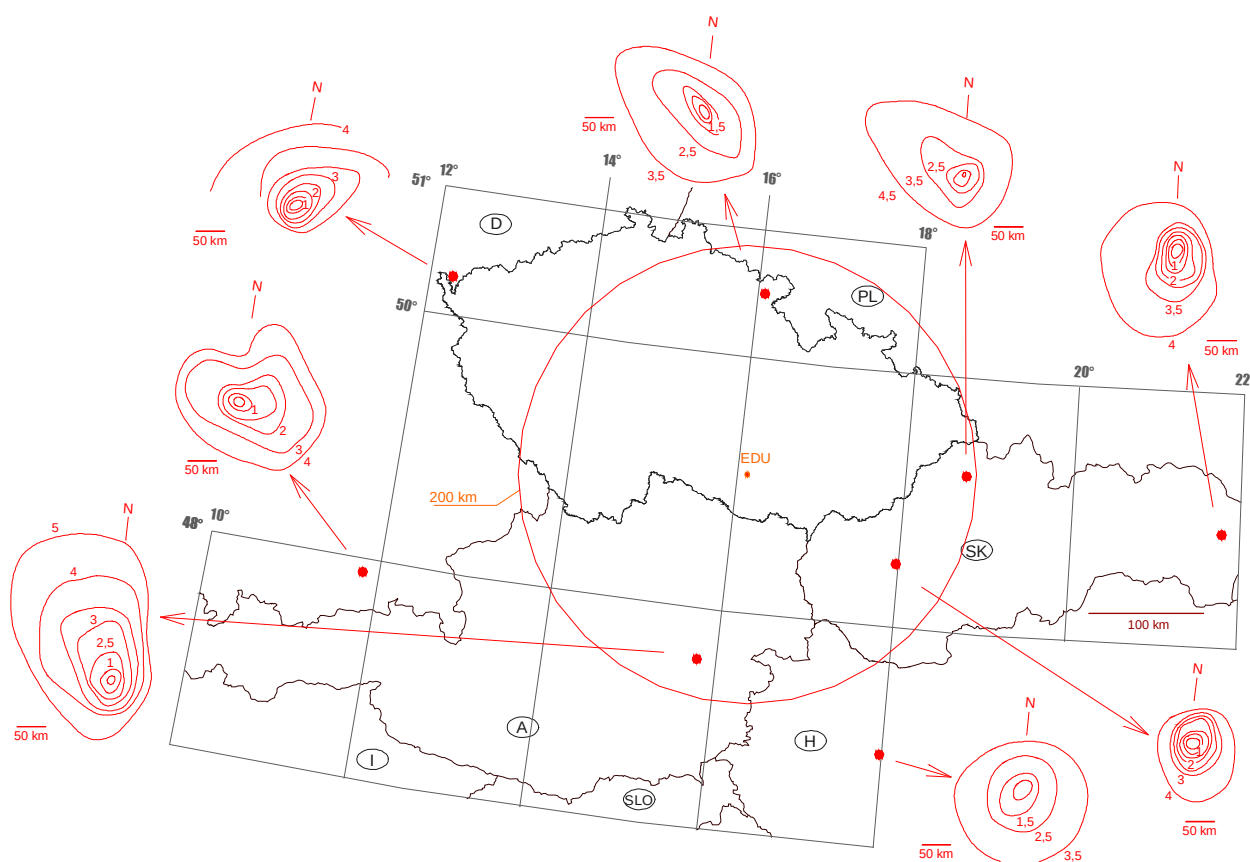
Při stanovení seismického rizika se předpokládá stabilita tektonických i seismogenerujících procesů, tzn., předpokládá se, že dosud pozorovaný trend seismické činnosti zůstane zachován i v budoucnu. Při výpočtech vždy předpokládáme, že zemětřesení může vzniknout v libovolném bodě každé oblasti nebo aktivního úseku zlomu až do výše maximálního možného zemětřesení pro tuto oblast, tento zlom.

Z hlediska bezpečnosti je proto nutné zvažovat nejméně příznivý případ, zohledňující jednak velikost maximálně možných zemětřesení v jednotlivých ohniskových oblastech, jednak nejkratší epicentrální vzdálenost mezi hranicí ohniskových oblastí či aktivním úsekem zlomu a lokalitou.

Ke stanovení seismického rizika lokality byly použity podle původního návodu IAEA 50-SG-S1 i v souladu s doporučením IAEA NS-G-3.3 dva následující přístupy:

- Pro srovnání expertní odhad založený na mapě seismického rajónování. Její aplikace pro jaderná zařízení nesplňuje dostatečně požadavky, proto je nutné provést detailnější šetření.
- Pravděpodobnostní odhad založený na teoretickém matematickém modelu.

Obr. 2.1.1-1 Tvary makroseismických polí zdrojových oblastí v regionu JE Dukovany



Údaje maximální výpočtové hodnoty makroseismické intenzity pro sledovanou lokalitu v závislosti na ohniskové oblasti pro lokalitu JE Dukovany jsou zjišťovány zvážením ohniskových oblastí, hodnot největších možných zemětřesení, které oblasti mohou vyprodukovat v časovém horizontu 10 000 let, a křivek útlumu makroseismických intenzit, které byly sestrojeny azimuty ohnisková oblast - lokalita při zvážení nejkratší vzdálenosti ohniskové oblasti od lokality (v souladu se současně používanou metodikou v jaderné energetice jde o nejkonzervativnější odhad).

Seismostatistický přístup – 2. metoda

Přístup 2. metodou je založen na výpočtu seismického ohrožení pomocí pravděpodobnostní analýzy seismostatistické a částečně seismotektonické vstupní informace (pravděpodobnostní křivky seismického ohrožení). Tato metoda umožňuje ocenění pravděpodobnosti ročního výskytu různých velikostí kmitavých pohybů na mnoho let dopředu, ale též ocenění nejistoty, kterou jsou tyto hodnoty zatíženy.

Prognóza seismických událostí vychází z následujících podkladů:

- Rozložení zdrojových zón v lokalitě a regionu.
- Seismicita zdrojových zón a maximální možné zemětřesení, které v nich může vzniknout (seismický potenciál).
- Pokles velikosti seismických pohybů půdy se vzdáleností od ohniska k lokalitě.
- Vymezení ohniskových oblastí a jejich seismicita.

Předpoklad o platnosti parametrů historické seismicity i pro zemětřesení v budoucnu se opírá o představu opakovaných drsných kluzů na existujících zlomech. Zkušenost ale ukazuje, že nová ohniska se vyskytují i v místech, ve kterých žádná historická seismicita doložena není. Tento předpoklad je jednou z nejistot ve vstupních datech.

Zdrojovými oblastmi seismického ohrožení jsou jednak ohniskové oblasti historických zemětřesení, jednak lineamenty tektonických zlomů nebo jejich křížení. Ve střední Evropě, do které zhruba spadá region JE Dukovany, bylo vymezeno 60 ohniskových oblastí. Seismicita těchto oblastí je vyjádřena četnostními grafy a hodnotami jejich maximálního možného zemětřesení (seismický potenciál).

Další zdrojové zóny jsou zlomy ve vnitřní části Českého masivu, charakterizované expertně odhadnutými hodnotami parametrů seismicity. Hodnocení zlomů spolu se seismickými oblastmi představují 71 zdrojových oblastí. Seismické ohrožení JE Dukovany je vypracováno na základě pravděpodobného výskytu zemětřesení v těchto zdrojových oblastech.

Seismogeologický (seismotektonický) přístup

Pro zhodnocení seismické aktivity zlomů v zájmové oblasti lokality jsou zlomy rozděleny pro přehlednost do tří tříd a 6 kategorií s ohledem na velikost magnituda (M_{max}), které jsou potenciálně schopné generovat. Potenciál zlomů je diferencovaně hodnocen pro jednotlivé strukturní bloky – regionální geologické jednotky.

Údaje (maximální výpočtové hodnoty makroseismické intenzity I pro lokalitu JE Dukovany v závislosti na seismoaktivním úseku zlomu) jsou zjišťovány zvážením mapy seismoaktivních zlomů, hodnot největších možných intenzit zemětřesení, které seismoaktivní úseky zlomů mohou produkovat v časovém horizontu 10 000 let a křivek útlumu makroseismických intenzit, které byly sestaveny pro lokalitu JE Dukovany při zvážení nejkratší vzdálenosti seismoaktivních úseků zlomů od lokality (tj. v souladu se současnou metodikou jde o nejvíce konzervativní odhad).

Tab. 2.1.1-2 Systém dělení zlomů do tříd a jejich číselné kódování

Třída	Slovní označení	Kategorie	$M_{\max}$	I_0 [°MSK-64]
A	významná seismogenní linie	I	6,5	9,5
		II	6,0-6,4	9
B	významná seismotektonická linie	III	5,3-5,9	8
		IV	4,7-5,2	7
C	seismotektonická linie	V	4,1-4,6	6
		VI	3,6-4,0	5

Experimentální přístup

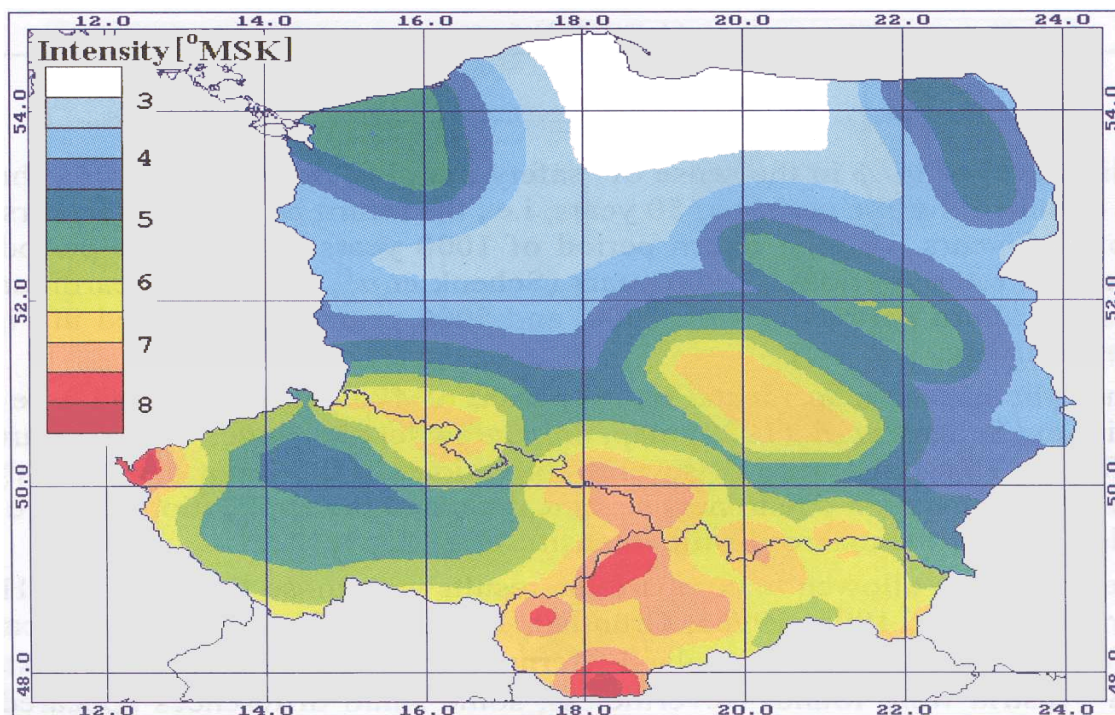
Experimentální stanovení seismického ohrožení je založeno na použití tzv. "nezónové metody". Tato metoda má řadu předností, zejména nevyžaduje definici zdrojových zón a jejich ohraničení, ani stanovení parametrů seismicity a jejich seismického potenciálu.

Tato metoda je použitelná až v poslední době, kdy jsou již k dispozici přístrojové záznamy zrychlení seismických kmitů půdy v místě EDU, vyvolávané zemětřeseními v regionálních vzdálenostech. Nová metoda se již nemusí opírat pouze o subjektivní makroseismická data (katalogy historických zemětřesení a mapy izoseist). Při použití autentických přístrojových dat odpadají nejistoty dřívějších metod, které jsou důsledkem různých empirických převodních vztahů a expertních odhadů. Například vztah mezi zrychlením seismických kmitů a místní makroseismickou intenzitou je zatížen nejistotami o velikosti až dvou řádů. Nová experimentální metoda je odborníky pokládána za spolehlivou a perspektivní.

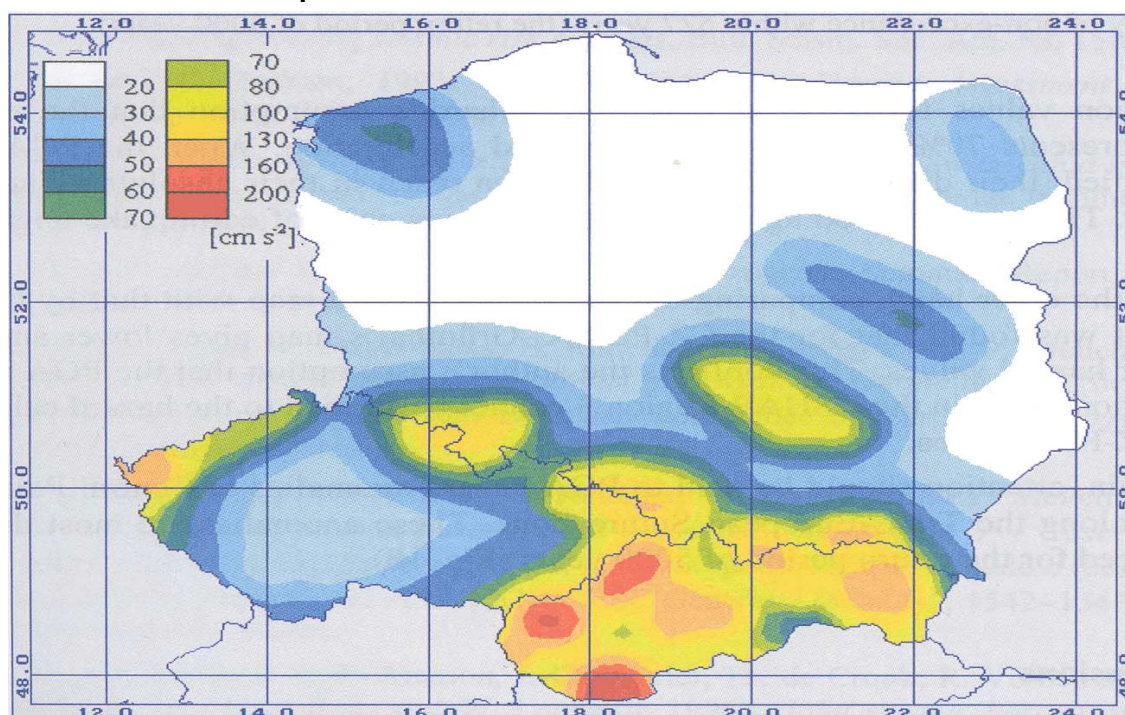
Kombinací výše uvedených metod byly eliminovány jejich nepřesnosti. Z výsledků získaných různými metodami vyplývá, že realistická hodnota maximálního výpočtového zemětřesení úrovně SL-2 pro lokalitu JE Dukovany, která by neměla být překročena v časovém intervalu 10 000 let s pravděpodobností $\geq 0,95$, je $SL_2=0,06g$.

Úroveň projektového zemětřesení SL-1 byla pro JE Dukovany stanovena na základě výpočtů a mapy seismického ohrožení území ČR v korelaci s podklady pro přípravu stavební normy na bázi „Eurocode 8. Mapy makroseismických intenzit i hodnoty PGAH. zobrazují seismické ohrožení území ČR s 90% pravděpodobností nepřekročení intenzity v časovém úseku 105 let, pro periodu pozorování 1000 let.

Obr. 2.1.1-3 Mapa seismického ohrožení území ČR v hodnotách makroseismické intenzity



Obr. 2.1.1-4 Mapa seismického ohrožení území ČR v hodnotách PGAH



Na základě výše uvedených map a výpočtů byla úroveň projektového zemětřesení SL-1 pro JE Dukovany stanovena v úrovni intenzity 6° makroseismické stupnice MSK-64 a zrychlení $SL1 = 0,05 \text{ g}$.

2.1.1.3 Conclusion on the adequacy of the design basis for the earthquake

Úroveň seizmického ohrožení lokality je dána hodnotou maximálního výpočtového zemětřesení s dobou výskytu $1 \times 10\,000$ let. Reálné hodnoty seizmického ohrožení jsou 0,06g (s 95% pravděpodobností nepřekročení v časovém intervalu 10 000 let), resp. 0,05g (s 90% pravděpodobností nepřekročení v časovém úseku 105 let) pro periodu pozorování 1000 let. V souladu s mezinárodními požadavky však byla stanovena hodnota max. výpočtového zemětřesení se střední dobou návratu $1 \times 10\,000$ let na 0,1g v horizontálním směru a 0,067g ve vertikálním směru. Výsledek hodnocení ukazuje, že pro lokalitu EDU je výskyt vyššího zemětřesení než 6°MSK-64 velmi nepravděpodobný a projektová hodnota maximálního výpočtového zemětřesení ($PGA_{hor} = 0,1\text{ g}$) je pro EDU adekvátní.

Hodnota 0,1g je tzv. „kontrolní zemětřesení“ a udává hodnotu intenzity seismické události na kterou má být blok odolněn. Realita je však taková, že výskyt intenzity seismické události 0,1g v lokalitě EDU není dle seismologických analýz a geologického průzkumu možný. Uvedené skutečnosti odpovídá fakt, že pokud provedeme aproximaci křivek seizmického ohrožení lokality EDU jejich protažením do hodnot vyšších intenzit, tak frekvenci výskytu seismické události o intenzitě 0,1g lze odhadnout jako menší než 1×10^{-8} události za rok. To je jeden výskyt za více než 100 miliónů roků.

2.1.2 Provisions to protect the plant against the design basis earthquake

2.1.2.1 Identification of SSC that are required for achieving safe shutdown state

Deterministický výběr zařízení s požadavkem seizmické odolnosti vycházel z požadavku plnění vybraných bezpečnostních funkcí: havarijní odstavení, zajištění podkritičnosti, odvod zbytkového výkonu, dochlazování, integrity I.O a II.O, zajištění dostatečné zásoby chladiva I.O a zajištění hermetičnosti kontejnmentu. K zajištění těchto funkcí byly vybrány potřebné systémy a zařízení tvořící Seznam zařízení pro kvalifikaci EDU, pro které je vyžadována seizmická odolnost. Uvedené zařízení a stavební objekty ve kterých se bezpečnostně významné zařízení nachází byly zařazeny do kategorie „S“ s požadavkem seizmické odolnosti. Podle požadované funkce se zařízení kategorie „S“ dělí na podkategorie:

Sa (nové značení 1a) – Vyžaduje zachování plné funkční způsobilosti během a po zemětřesení až do úrovně maximálního výpočtového zemětřesení včetně.

Sb (nové značení 1b) – Vyžaduje se zachování mechanické pevnosti a hermetičnosti po zemětřesení až do úrovně maximálního výpočtového zemětřesení včetně.

Sc (nové značení 1c) – Vyžaduje se seismická odolnost jen z hlediska možných seismických interakcí a zejména zachování stability polohy během a po zemětřesení až do úrovně maximálního výpočtového zemětřesní včetně.

Pro stavební konstrukce a zařízení spadající do kategorie „S“ bylo v souladu s Metodologií pro hodnocení seismické odolnosti EDU provedeno hodnocení seismické odolnosti s využitím typových zkoušek, výpočtů nebo nepřímého hodnocení na základě provozních zkušeností.

Tab. 2.1.2-1 Stavební objekty EDU zařazené v kategorii „S“

Značení	Název	Seismická kategorie
800/1-01,02	HVB budova reaktorů	Sb
805/1-01,02	Podélná etažérka	Sb
806/1-01až04	Příčná etažérka	Sb
490/1-01,02	Strojovna	Sb
530/1-01,02	DGS	Sb
460/1-01,02	Ventilační komín	Sc
593/1-01,02	SHN	Sb
1-4A2.3	Prístavek elektro - 4. systém	Sb
581/1-01,02,05,06	Chladicí věže	Sb
584/1-01,02	CČS	Sb
350/1-01,02 401/1-01,02	Elektro-kanály systémové potrubní kanály	Sb

Tab. 2.1.2-2 Seznam vybraných strojních systémů

Značení	Název	Seismická kategorie
TC	Čištění chladiva PO-ŠOV-1	Sa
TF20,40,60	Vložený okruh SAOZ	Sa
TG	Chlazení sklad. bazénu	Sa
TH10	Hydroakumulátory	Sa
TH20,40,60	NT havarijní chlazení AZ	Sa
TJ20,40,60	VT havarijní systém doplňování PO	Sa
TQ20,40,60	Sprchový systém HZ	Sa
VF20,40,60	Technická voda důležitá	Sa
XL	Barbotážní systém	Sa
YA	Primární okruh	Sa
YD	HCC	Sa
YP	Kompenzace objemu	Sa
Demi 1MPa	Demivoda 1 MPa	Sb
DGS 10,20,30	Diesलगenerátorová stanice	Sa
Dochlazování	Systém dochlazování na SO	Sb
Ostrá pára	Systém ostré páry	Sa
RČA	Rychločinné armatury na hranici HZ	Sa

Značení	Název	Seizmiciká kategorie
SHN	Superhavarijní napájení	Sa
TÚV	Tepelná úprava vody	Sb
TVD čerp.	TVD čerpadla na CČS	Sa
TVD SO	Rozvody TVD na SO	Sa
Vent. SO	Ventilace řídicích center	Sa
HZ	Zařízení na hranici kontejnmentu	Sa

Tab. 2.1.2-3 Seznam vybraných systémů elektro

Značení	Název	Seizmiciká kategorie
1,2,3 DG	1., 2., 3. systém DGS 10, 20,30	Sa
1,2,3 ZN II	1., 2., 3. systém zajištěného napájení II. kat. včetně režimových automatik	Sa
4 ZN II	4. systém zajištěného napájení II. kat.	Sa
1,2,3 ZN I	1.,2.,3. systém zajištěného napájení I. kat.	Sa
4 ZN I	4. systém zajištěného napájení I. kat.	Sa
OZN	Nesystémové zařízení (rozv. DP10, DP20, DTE3, NDTE1)	Sa

Tab. 2.1.2-4 Seznam vybraných systémů SKŘ

Značení	Název	Seizmiciká kategorie
BLOK DOZOR	Bloková dozorna	Sa
NOUZ DOZOR	Nouzová dozorna	Sa
RTS	Systém rychlého odstavení reaktoru	Sa
ESFAS	Systém pro spuštění technických prostředků pro zajištění bezpečnosti	Sa
EX - CORE	Měření n – toku vnějšími komorami	Sa
RLS	Limitační systém reaktoru	Sa
RCS	Systém regulace výkonu reaktoru	Sb
RRCS	Systém ovládání kazet HRK	Sa
SAS, SAS-N	Systém pro podpůrné zásahy	Sa
ELS	Automatika postupného spouštění	Sa
PAMS I, II	Pohavarijní monitorovací systém	Sa
ŘSBB	SKŘ na BD	Sa
ŘSBN	SKŘ na ND	Sa
ŘSBP	Reléové automatiky primárního okruhu	Sb
ŘSBT	Zabezpečovací systém bloku	Sa
ŘSBS	Reléové automatiky sekundárního okruhu	Sa

2.1.2.2 Evaluation of SSC robustness in connection with DBE and assessment of potential safety margin

Projektem stanovená hodnota SL2 je 0,06g, zatímco skutečné z odolnění SSC je prováděno na hodnotu PGA = 0,1g, která je doporučena materiály IAEA. O z odolnění projektu EDU na vyšší hodnotu než reálně stanovenou bylo rozhodnuto v roce 1995 v souvislosti s bezpečnostními nálezy mise IAEA a aplikací tehdy platného bezpečnostního návodu IAEA 50-SG-S1 (1991). Po úplném dokončení seizmického z odolnění EDU bude hlavní bezpečnostní rezerva dána rozdílem mezi reálnými hodnotami seizmického ohrožení lokality a projektovým zadáním seizmického z odolnění (PGA lokality 0,06g v porovnání s $PGA_{SL2} = 0,1g$). Za další bezpečnostní rezervu je třeba pokládat i to, že tyto hodnoty jsou horní odhady pro 95%ní pravděpodobnost nepřekročení. Na základě provedených analýz byla hodnota maximálního výpočtového zemětřesení SL2 stanovena na 0,06g, zatímco skutečné z odolnění SSC je prováděno na hodnotu PGA = 0,1g, která je doporučena materiály IAEA. O z odolnění projektu EDU na vyšší hodnotu než reálně stanovenou bylo rozhodnuto

Stěny BSVP jsou součástí seizmicky odolného kontejnmentu a ani zemětřesení odpovídající projektovému východisku $PGA=0,1g$ by nevedlo ke ztrátě integrity. Posouzení bylo provedeno s využitím redukovaných seizmických účinků koeficientem duktility, a proto je hodnota 0,1g zároveň hraniční hodnotou.

Seizmické hodnocení stavebních konstrukcí na hranici kontejnmentu prokázalo, že nedojde při zemětřesení do 0,1g k porušení hermetičnosti a to dokonce i v kombinaci se zatížením od LOCA havárie a s dalšími předepsanými zatíženími.

Lze tedy oprávněně konstatovat, že po úplném dokončení projektu seizmického z odolnění EDU budou zachovány základní bezpečnostní funkce až do hodnoty zrychlení podloží 0,1g v horizontální rovině a 0,067g ve vertikálním směru, což je výrazně nad hodnotou reálného ohrožení lokality EDU.

2.1.2.3 Main operating provisions to achieve safe shutdown state

Pro všechna zemětřesení, která přicházejí do úvahy v lokalitě EDU, není ohroženo plnění základních bezpečnostních funkcí:

- a) Řízení reaktivity
- b) Odvod tepla z jaderného paliva
- c) Zachycení ionizujícího záření a radionuklidů

Reaktor bude odstaven ochranou RTS (HO-1) automaticky od výpadků zařízení resp. ručně tlačítkem. Systém RTS je proveden na principu bezpečné poruchy, při ztrátě napájení dojde k samovolnému pádu tyčí HRK do AZ a tím k odstavení reaktoru.

Dochlazování bloku po seismické události by bylo prováděno v režimu feed&bleed na II.O (napájení PG prostřednictvím SHNČ + odvod páry přes PSA). Zásoba vody pro dochlazování pomocí feed&bleed na II.O je dána množstvím vody v nádržích demi vody (rovněž zodolněny na 0,1g). Množství vody v těchto nádržích při odvodu tepla přes PG do atmosféry vystačí na cca 4 dny. Reaktory by byly uvedeny do stabilizovaného polohorkého stavu a o způsobu jejich dlouhodobého chlazení by bylo rozhodnuto až po provedení obhlídky poškození zařízení a budov (dosud není zpracován žádný předpis, postup nebo návod).

Alternativně je uvažováno i s plněním PG pomocí prostředků HZSp, může však dojít k problémům s její dostupností a dopravě na místo. Pokud by v současném stavu seizmicky nezodolněné stavební části HVB nemohl být použit tento způsob dochlazování, pak lze použít nouzový způsob dochlazování tzv. feed&bleed na I.O (PVKO + čerpadla SAOZ s podporou TVD).

Odvod tepla z bazénů skladování by byl zajištěn stejně jako před událostí, tj. systémem TG (100% záloha).

Rovněž integrita kontejnmentu není ohrožena – viz předchozí kap. 2.1.2.2.

2.1.2.4 Protection against indirect effects of the earthquake

Velké nádrže, které by mohly po své destrukci při seismické události vytopit objekty s bezpečnostně významným zařízením (např. napájecí nádrže a zásobníky TVD na II.O), byly zhodnoceny z pohledu seizmické odolnosti a jsou po provedených úpravách dostatečně ukotveny do stavby, aby nedošlo ke ztrátě integrity nebo k nežádoucí interakci.

Seismická událost intenzity $> 6^\circ$ MSK-64 ($PGA_{hor} > 0,05g$) by postihla seizmicky neodolné zařízení a stavby, což by pravděpodobně vedlo k úplné ztrátě napájení vlastní spotřeby všech 4 bloků (ztráta vnějšího napájení - 400 kV i 110 kV, neúspěšný přechod na napájení VS od TG), s následným odstavením všech 4 reaktorů a přechodem na přirozenou cirkulaci. Díky poškozením by JE velmi pravděpodobně přišla i o čerpací stanici Jihlava a tím i přívod surové vody do gravitačních vodojemů.

V případě rozsáhlého poškození infrastruktury a dlouhodobé nedostupnosti lokality (zřícení budov, poškození komunikací atd.) by se střídající personál nemusel dostat na lokalitu. V tomto případě by musel požadované činnosti zabezpečovat personál, který tam bude přítomen v době vzniku události. Vystřídání by bylo řešeno operativně v součinnosti s orgány státní správy (IZS, armáda, apod.).

Obdobně budou ohroženy komunikační prostředky uvnitř i vně EDU. Činnosti by komplikovala zejména ztráta provozuschopnosti technických prostředků komunikace mezi řídicími centry a zasahujícími osobami, včetně komunikace s vnějšími řídicími centry a orgány státní správy v důsledku poškození infrastruktury v okolí JE

Další problematickou oblastí se může v případě hypotetického silného zemětřesení stát dostupnost informací o Ra situaci uvnitř a na hranici areálu EDU. Všechny současné systémy které monitorují Ra situaci (CISRK, SEJVAL, SYRAD, TDS) nejsou v seismickém provedení, nebo jsou jejich části umístěny v seismicky nezodolněných objektech provozních budov a tedy v případě zemětřesení intenzity $> 6^{\circ}$ MSK-64 ($PGA_{hor} > 0,05g$) není prokázáno, že budou provozuschopné. Personál radiační kontroly v nezodolněných objektech může být také ohrožen. Pro měření radiace zůstane k dispozici náhradní způsob pomocí přenosných měřících přístrojů.

Rizikový příspěvek od nepřímých účinků zemětřesení (interakce mezi komponentami resp. stavesními konstrukcemi) bude znám na konci roku 2011, kdy bude dokončena pravděpodobnostní analýza seismického rizika.

2.1.3 Compliance of the plant with its current licensing basis

2.1.3.1 Licensee's processes to ensure that SSC needed for achieving safe shutdown after earthquake remain in operable condition

Původní projektové hodnoty zemětřesení lokality EDU byly změněny v roce 1995 v souvislosti s bezpečnostními nálezy mise IAEA. Nové seismické zadání znamenalo přehodnotit bezpečnostně významná zařízení a stavby na vyšší úroveň referenčního zemětřesení $PGA = 0,1g$ a nevyhovující zařízení a objekty seismicky z odolnit.

Pro udržení trvalého souladu aktuálního stavu zařízení s požadavky projektu se provádí řada pravidelných činností s cílem udržovat dosaženou úroveň seismické kvalifikace zařízení a budov.

2.1.3.2 Licensee's processes to ensure that mobile equipment and supplies are in continuous preparedness to be used

Na lokalitě je nepřetržitě jednotka HZSp včetně mobilní techniky pro hašení požárů, čerpání vody, záchranu majetku atd. Jsou však umístěny v seismicky nekvalifikovaném objektu Požární stanice. V případě poškození Požární stanice by mobilní technika HZSp pro hašení požárů, ani provádění dalších potřebných zásahů nemusela být dostupná. Vzhledem ke skutečnosti, že výskyt seismické události není nenadálý, ale před jeho výskytem lze pozorovat dílčí otřesy a symptomy, je možné požární techniku včas přemístit na volné plochy, kde nemůže dojít k poškození od zřícených budov a zařízení. Pro tuto činnost nejsou zpracovány postupy.

Přístup pro zásahy hasičských záchranných sborů (HZSp EDU, event. externích HZS) by mohl být omezen v důsledku pádu seismicky nezodolněných budov na vnitřní příjezdovou komunikaci, stejně jako pádu trolejů do prostoru vjezdu do elektrárny. Alternativně by bylo možné použít záložní vjezd do areálu.

Přímo na lokalitě sice není k dispozici těžká technika k odklizení trosek z páteřních a přístupových komunikací, které by mohly být zavaleny troskami neseismicky odolných objektů. Umožnění přístupu mobilní techniky k hlavním výrobním blokům by bylo řešeno v součinnosti s orgány státní správy (IZS, armáda, apod.).

Obdobně použití některých krytů havarijní připravenosti, včetně pracoviště Havarijního štábu a Technického podpůrného střediska může být ohroženo, protože se nacházejí pod seismicky neodolnými objekty. Činnost TPS a HŠ by byla v tomto případě řešena operativně (nejsou zatím k dispozici podrobné instrukce).

2.1.3.3 Potential deviations from licensing basis and actions to address those deviations

Na základě mimořádných kontrol z hlediska seismické odolnosti, které byly po havárii ve Fukushima v oblasti seizmicity provedeny na JE Dukovany, nebyly identifikovány žádné závažné nesoulady aktuálního stavu s požadavky projektu. Z odolnění SSC je prováděno na hodnotu 0,1g, což je vyšší hodnota než maximální výpočtové zemětřesení = 0,06g.

2.2 Evaluation of safety margins

2.2.1 Range of earthquake leading to severe fuel damage

Po seizmickém z odolnění zařízení a staveb se hranice, kdy může dojít ke ztrátě základních bezpečnostních funkcí, zvýší až na úroveň zemětřesení intenzity $> 7^{\circ}\text{MSK-64}$ ($\text{PGA}_{\text{hor}} > 0,1\text{g}$). Seismická událost intenzity $> 7^{\circ}\text{MSK-64}$ ($\text{PGA}_{\text{hor}} > 0,1\text{g}$) by mohla způsobit ztrátu bezpečnostních funkcí JE. Nejedná se nicméně o hodnotu, která by měla charakter hraničních podmínek „cliff edge“, každé zařízení má jinou hodnotu hraniční seismické odolnosti s rozdílnou rezervou vůči 0,1g. Vzhledem k bezpečnostním rezervám se očekává, že některý z bezpečnostních systémů by zůstal ve stavu schopném plnit bezpečnostní funkce.

Dochlazování při seizmické události $> 0,1\text{g}$ by bylo nadále realizováno pomocí feed&bleed na II.O (napájení PG prostřednictvím SHNČ + odvod páry přes PSA), resp. nouzově dochlazováním feed&bleed na I.O (PVKO + SAOZ s podporou TVD). Všechny výše uvedené systémy a komponenty jsou již z odolněny na 0,1g, mají minimálně 100% redundanci (SHNČ) a jsou napájeny ze zajištěného napájení (ze seismicky odolných DG).

Za deterministickou hraniční hodnotu intenzity seismické události, nad kterou lze očekávat poškození AZ, lze konzervativně označit hodnotu 0,112g, což je mezní odolnost CHV.

2.2.2 Range of earthquake leading to loss of containment integrity

Seizmické hodnocení stavebních konstrukcí na hranici kontejnmentu prokázalo, že nedojde při zemětřesení do 0,1g k porušení hermetičnosti a to dokonce i v kombinaci se zatížením od LOCA havárie a s dalšími předepsanými zatíženími. Odolnost kontejnmentu výrazně převyšuje původní projektové požadavky.

2.2.3 Earthquake exceeding DBE and consequent flooding

Lokalita EDU není ohrožena zátopami z přírodních nebo zvláštních povodní. Areál elektrárny se nachází na náhorní plošině v nadmořské výšce 383,5 - 389,10 m n. m., přičemž její hlavní stavební objekty, ve kterých jsou umístěna zařízení důležitá z hlediska jaderné bezpečnosti, jsou na kótě 389,10 m n. m. Odtok vod směřuje střechovitě do hluboko zaklesnutých vodotečí Jihlavy a Rokytne ve směru od elektrárny.

Vodní nádrž Dalešice leží proti proudu řeky Jihlavy - hráz nádrže je od elektrárny ve vzdálenosti proti proudu řeky 4 km. Koruna hráze je na kótě 384,00 m n. m a maximální hladina vody v nádrži při průchodu velkých vod nádrží je na úrovni 381,50 m n. m. Hypotetická průlomová vlna z vodního díla Dalešice neohrožuje vlastní areál JE vzhledem k jeho výškovému umístění na kótě, která s rezervou cca 8 m přesahuje maximální hladinu tohoto vodního díla.

Vodní nádrž Mohelno, jejíž průběh je v profilu JE nejbližší cca 1 km v údolí pod elektrárnou, má hráz od elektrárny ve vzdálenosti cca 2 km směrem po proudu řeky. Kóta koruny hráze je 307,15 m n. m a maximální hladina vody je 303,30 m n. m., což je o cca 80 m níže než kóta +0,0 JE Dukovany.

V případě ztráty Čerpací stanice Jihlava z důvodu průlomové vlny po poškození hráze při hypotetickém zemětřesení jsou v lokalitě EDU dostatečné zásoby vody na odvod zbytkového tepla – blíže viz kapitola 5.2.2.

Ostatní povrchové toky v okolí JE jsou potoky a říčky s průtoky o alespoň dva řády nižšími oproti Jihlavě. V okolí EDU tedy nejsou žádné zdroje vody, které by mohly v případě zemětřesení způsobit zaplavení lokality JE.

2.2.4 Measures which can be envisaged to increase robustness of the plant against earthquakes

Na území ČR se nenachází žádné tektonické struktury, které by umožňovaly vznik silných zemětřesení. V lokalitě EDU nemůže s 95 % pravděpodobností dojít k zemětřesení vyššímu než 6°MSK-64 ($PGA_{hor} = 0,06 g$). Reálná odolnost SSK je vyšší, takže existuje bezpečnostní rezerva na zbývajících 5 % neurčitost.

Přesto bylo již v roce 1995 rozhodnuto o zodolnění bezpečnostně významných zařízení a stavebních konstrukcí na EDU na hodnotu špičkového zrychlení podloží $PGA = 0,1g$ (maximální výpočtové zemětřesení, MDE/SL2/SSE). Tento projekt v současnosti probíhá. Aktuálně již více než 90% (mj. veškerá technologie) bezpečnostně významného zařízení má vyhovující kvalifikační dokumentaci prokazující seizmickou odolnost a na ostatních zařízení (část elektro a SKŘ) se práce na realizaci modifikací dokončují.

Případné hypotetické důsledky zemětřesení jsou tedy omezeny na ztrátu neseismicky odolných SSK, které se mohou podílet na plnění podpůrných bezpečnostních funkcí. Týká se to zejména možnosti nedostatečných kapacit mobilní techniky, osob a ztráty schopností komunikace.

Činnosti by komplikovala zejména ztráta provozuschopnosti technických prostředků komunikace mezi řídicími centry a zasahujícími osobami, včetně komunikace s vnějšími řídicími centry a orgány státní správy v důsledku poškození infrastruktury v okolí JE

Cílem navrhovaných opatření je další posílení úrovně ochrany do hloubky při zemětřesení.

Příležitosti ke zlepšení ochrany do hloubky jsou uvedeny v následující tabulce. Tabulka obsahuje i oblasti, ve kterých je potřebné dopracovat doplňující analýzy, protože v čase provádění hodnocení nebyly k dispozici. Podrobnější popis nápravných opatření je uveden v Příloze

Příležitost ke zlepšení	Nápravné opatření	Termín (krátkodobý I / střednědobý II)	Poznámka
Seismická odolnost SKK	Dokončit projekt seismického zodolnění EDU	II	Realizuje se
Seismická odolnost SKK	Kontrola a zajištění kotvení neseismického zařízení	I	
Předpisy	Zpracovat provozní předpisy na zemětřesení	I	
Předpisy	Návody EDMG pro použití alternativních prostředků	II	
Havarijní připravenost	Zabezpečit fungování složek havarijní odezvy v případě nedostupnosti HŘS	I	
Analýzy	Odolnost budovy HZSp na seismicitu.	I	Realizuje se
Komunikace	Alternativní prostředky pro komunikaci po seismické události	I	

Příležitost ke zlepšení	Nápravné opatření	Termín (krátkodobý I / střednědobý II)	Poznámka
Personál	Analýza ohrožení krytů při seismické události	II	
Personál	Zajištění dostatku personálu po seismické události	I	
Analýzy, technika	Přístup k objektům, dostupnost těžké techniky	II	
Analýzy	Seismická PSA		Nález PSR, probíhá

3 Flooding

3.1 Design basis

3.1.1 Flooding against which the plant is designed

3.1.1.1 Characteristics of the design basis flood (DBF)

Lokalita EDU není ohrožena zátopami z přírodních nebo zvláštních povodní. Areál elektrárny se nachází na náhorní plošině v nadmořské výšce 383,5 - 389,10 m n. m., přičemž její hlavní stavební objekty, ve kterých jsou umístěna zařízení důležitá z hlediska jaderné bezpečnosti, jsou na kótě 389,10 m n. m. Odtok vod směřuje střechovitě do hluboko zaklesnutých vodotečí Jihlavy a Rokytne ve směru od elektrárny. Lokální převýšení terénu v prostoru západních věží je řešeno odvedením případných extravilánových vod obvodovým příkopem do systému dešťové kanalizace.

Řeka Jihlava je nejbližší položená vodoteč, využívaná i jako zdroj technologické přídavné vody pro elektrárnu. Jihlava se soustavou vodních nádrží Dalešice - Mohelno protéká severně od elektrárny směrem od severozápadu k jihovýchodu - nejkratší vzdálenost mezi elektrárnou a řekou je cca 1 km. Odběr technologické vody je prováděn z nádrže Mohelno, která slouží jako vyrovnávací nádrž pro vodní dílo Dalešice.

Vodní nádrž Dalešice leží proti proudu řeky Jihlavy - hráz nádrže je od elektrárny ve vzdálenosti proti proudu řeky 4 km. Koruna hráze je na kótě 384,00 m n. m a maximální hladina vody v nádrži při průchodu velkých vod nádrží je na úrovni 381,50 m n. m. Výška hráze je 88 m nade dnem.

Vodní nádrž Mohelno, jejíž průběh je v profilu JE nejbližší cca 1 km v údolí pod elektrárnou, má hráz od elektrárny ve vzdálenosti cca 2 km směrem po proudu řeky. Kóta koruny hráze je 307,15 m n. m a maximální hladina vody je 303,30 m n. m., což je o cca 80 m níže než kóta $\pm 0,0$ JE Dukovany.

Ostatní povrchové toky v okolí JE jsou potoky a říčky s průtoky o alespoň dva řády nižšími oproti Jihlavě. Na nich a jejich přítocích jsou vybudovány malé rybníky, největší z nich mají plochu hladiny asi 0,5 ha a jsou umístěny v nižší nadmořské výšce než areál elektrárny a tento areál neohrožují.

Hypotetická průlomová vlna z vodního díla Dalešice neohrožuje vlastní areál JE vzhledem k jeho výškovému umístění na kótě, která s rezervou cca 8 m přesahuje maximální hladinu tohoto vodního díla. Ze zařízení elektrárny, u kterých hrozí potencionální možnost zaplavení zátopami při průchodu velkých vod v řece Jihlavě, lze vybrat pouze čerpací stanici surové

vody na řece Jihlavě. Čerpací stanice surové vody zajišťuje dodávku průmyslové přídavné vody pro provoz EDU.

Při dosavadním výkonu technicko-bezpečnostních prohlídek na vodních nádržích Dalešice-Mohelno nebyly zaznamenány žádné podstatné jevy a skutečnosti, které by signalizovaly ohrožení bezpečnosti vodních nádrží.

Tab. 3.1.1-1 Projektové hodnoty maximálních denních úhrnů dešťových srážek

Doba opakování [počet let]	100	1000	10 000
Denní úhrn srážek [mm]	77	93	115

Hladina podzemních vod v areálu JE Dukovany se nachází několik metrů pod základy staveb. Doplnění a vznik zásob podzemní vody se v tomto území děje téměř výhradně infiltrací atmosférických srážek. K přirozenému odvodňování dochází severním a jižním směrem k vodotečím řek Jihlavy a Rokytné. Lokální převýšení průměrné úrovně hladiny spodní vody u některých objektů je řešeno čerpáním podzemních vrtů do kanalizace. K ohrožení objektů nebo místností se zařízením důležitým z hlediska jaderné bezpečnosti z mělkého horizontu podzemních vod nedochází.

3.1.1.2 Methodology used to evaluate the design basis flood.

Území lokality EDU patří dle Quittovy metodiky klimatické regionalizace do mírně teplé klimatické oblasti. Roční chod srážek je v dlouhodobém průměru charakterizován nejvyššími úhrny srážek v letních měsících, s maximem v červnu (70 mm) a nejnižšími úhrny v měsících zimních s minimem v lednu (21 mm).

Kanalizační síť je navržena jako větvená soustava, která zajišťuje odvod dešťové vody gravitačním způsobem z plochy cca 80 ha a před areálem EDU se napojuje do výsledného dešťového kanalizačního sběrače.

Povodí jednotlivých stok byla stanovena hydrotechnickou situací a k těmto povodím přiřazen příslušný průtok a odtokový koeficient podle způsobu zastavění a druhu pozemku. Na výpočtové množství pak byl navržen příslušný profil stoky. Dle hydrotechnických výpočtů dešťové kanalizace bylo množství dešťových vod stanoveno pro periodicitu $p = 1$ minutový a 15minutový náhradní déšť o intenzitě $i = 135$ l/s.ha a činí $Q_{\text{dešť}} = 3\,028$ l/s, přičemž kapacita dešťové kanalizace je 3 810 l/s.

Zatížení klimatickými jevy (obecně) vychází ze statistického zpracování ročních extrémů hodnot relevantních meteorologických veličin, naměřených v období alespoň 30 let v lokalitě EDU a na meteorologických stanicích v okolním regionu, které mají z hlediska klimatických

podmínek stejný charakter jako lokalita EDU. Metody statistických zpracování vychází z dokumentu Mezinárodní agentury pro atomovou energii (IAEA, International Atomic Energy Agency IAEA) „Safety Standards Series“ [Safety Guide NS-G-3.4: Meteorological events in site evaluation for Nuclear power Plants], IAEA 2003 s použitím Gumbelova rozdělení.

V průběhu plánované životnosti EDU nelze reálně uvažovat takové změny v lokalitě, které by ovlivnily bezpečnost provozu.

Při hodnocení vlivu záplavových dešťů na bezpečnost JE se vychází z velmi konzervativních předpokladů, že dojde k ucpání všech dešťových vpustí (vyjma svodů z budov), a z jednodenní dešťové srážky s opakovatelností za 10 000 let, při které dojde ke spadu vody 115 mm/24 hodin. Pro hodnocení vlivu deště se vychází z kumulativního nahromadění celého srážkového množství za 24 hodin (115 mm) na terénu elektrárny a z výškového zaměření terénu a cest areálu elektrárny.

Ze stavebních objektů s bezpečnostním zařízením jsou nejnižší umístěny objekty Přístavek superhavarijního napájení, který je 14 cm výše než okolní terén, následuje DGS 1, který je o 17 cm než okolní terén atd. což představuje další minimální rezervu při hypotetickém nárůstu hladiny vody v okolním terénu o +11,5cm.

Provozní zkušenosti ze spouštění a provozního využívání jaderných elektráren s reaktory VVER řeší i potenciální možnost ohrožení vybraných systémů a zařízení JE, důležitých pro bezpečnost JE, vnitřními záplavami. Základním východiskem k posouzení důsledků vnitřního zaplavení na bezpečnost provozu JE Dukovany jsou výsledky aktuálních prací z dané oblasti, výsledky kvalifikace zařízení na JE Dukovany, zkušenosti a přístupy k řešení tohoto problému na jaderných elektrárnách s VVER podobného typu. Z analýz vyplývá, že tyto události nebrání bezpečnému odstavení a dochlazení reaktorových bloků.

3.1.1.3 Conclusion on the adequacy of protection against external flooding

Záplavy od vodních toků neohrožují vlastní areál JE vzhledem k jeho výškovému umístění, všechny stavební objekty, nacházející se ve vlastním areálu JE Dukovany, jsou bezpečně ochráněny výškovou úrovní areálu.

Potencionální možnost zaplavení zátopami při průchodu velkých vod v řece Jihlavě hrozí pouze čerpací stanici surové vody na řece Jihlavě (zajišťuje dodávku průmyslové přídavné vody pro provoz EDU).

Zatopení objektů důležitých pro bezpečnost ze systému gravitační dešťové kanalizace při jeho pravidelné údržbě není možné. I při výskytu teoreticky možných kratších srážek s vyšší intenzitou je celý systém pasivní gravitační dešťové kanalizace schopen odvést tyto srážky vzhledem k velkému objemu stok a krátké době trvání těchto intenzivních srážek.

Umístění lokality EDU vylučuje ohrožení zátopami z přírodních nebo zvláštních povodní. Stavební objekty EDU jsou projektovány jako odolné proti zaplavení při maximálním jednodenním srážkovém úhrnu, při kterém se na ploše na kótě 389,1 m n. m. udrží hladina maximální výšky 115 mm, což je celkový úhrn dešťových srážek za 24 hodin při 10 000letém maximu. Toto je hypotetický překlad, že voda nebude ztékát do níže položeného terénu, který je v okolí lokality EDU. Lze tedy konstatovat, že dokonce ani při úplném selhání funkce dešťové kanalizace se nemůže vytvořit na sledovaných plochách souvislá vrstva vody dosahující výšky 115 mm. Přesto na tuto úroveň je projekt EDU s rezervou dimenzován.

Z analýz vyplývá, že vnitřní záplavy nebrání bezpečnému odstavení a dochlazení reaktorových bloků.

3.1.2 Provisions to protect the plant against the design basis flood

3.1.2.1 Identification of SSC that are required for achieving safe shutdown state

Ze zařízení, důležitých z hlediska bezpečného odstavení a dochlazení reaktorových bloků a řešení případných abnormálních a poruchových stavů reaktorových bloků JE Dukovany, byly hodnoceny z hlediska záplav z extrémních dešťových srážek následující stavební objekty a v nich umístěné SSC:

1. Strojovny HVB I a HVB II (SO 490/1-01, 02) – havarijní (pomocná) napájecí čerpadla čerpadla systému dochlazování primárního okruhu.
2. Dieselgenerátorové stanice HVB I a HVB II (SO 530/1-01, 02) – pomocné okruhy, buzení generátoru.
3. Centrální čerpací stanice (SO 584/1-01, 02) – čerpadla technické vody důležité a čerpadla požární vody.
4. Chladicí věže (SO 581/1-01 ÷ 08) - rozliv technické chladicí vody.
5. Přístavek superhavarijního napájení (SO 593/1-01, 02) - superhavarijní napájecí čerpadla, čerpadla demivody 1 MPa a čerpadla demivody 0,4 MPa.

Bylo konstatováno, že všechny výše uvedené uvedené objekty nemohou být záplavami ohroženy. Jediným objektem se zařízením, který souvisí s provozem JE Dukovany a může být ovlivněn záplavami od vodních toků, je čerpací stanice surové vody situovaná na pravém břehu vyrovnávací nádrže Mohelno, na kótě 303,80 m n. m. Vodní dílo Dalešice je projektováno na bezpečné převedení Q1000 („tisíciletá voda“), která v profilu Mohelno činí 460 m³/s. Při tomto průtoku nepřesáhne hladina v nádrži 303,30 m n. m. Zbývá tedy 50cm rezerva do vzniku problémů se zatékáním do tohoto stavebního objektu.

V případě protržení hráze horní akumulární nádrže je nutno předpokládat vyplavení čerpací stanice surové vody a ztrátu funkce zásobování elektrárny surovou vodou.

Čerpací stanice surové vody není zařazena mezi bezpečnostní systémy a ztráta zmíněné funkce je řešena v provozním předpise jako abnormální stav – požadavkem na odstavení všech reaktorových bloků. Doba, na kterou vystačí aktuální zásoby surové vody v elektrárně do dosažení minimální hladiny pro práci čerpadel TVD, tj. zachování funkce UHS (Cliff Edge Effect) je minimálně 400 hodin.

3.1.2.2 Main design and construction provisions to prevent flood impact to the plant.

Základními projektovými opatřeními proti vzniku záplav způsobených dešťovými srážkami je kromě lokalizace areálu elektrárny dostatečně dimenzovaná dešťová kanalizace, výšková dispozice vchodů, vjezdů a vrat vzhledem k okolnímu terénu a spádování přilehlých komunikací a ostatních venkovních ploch přilehlých k objektům důležitým z hlediska JB. Všechny stavební objekty, nacházející se ve vlastním areálu JE Dukovany, jsou bezpečně ochráněny výškovou úrovní areálu.

3.1.2.3 Main operating provisions to prevent flood impact to the plant.

Při vnějších záplavách není bezprostředně ohroženo plnění ani jedné ze základních bezpečnostních funkcí:

- a) Řízení reaktivity.
- b) Odvod tepla z jaderného paliva.
- c) Zachycení ionizujícího záření a radionuklidů.

Řízení reaktivity AZ reaktoru a bazénu skladování vyhořelého (jaderného) paliva (BSVP) je nezávislé na vnějších záplavách a zabezpečuje dostatečnou podkritičnost pro případné záplavy.

V případě vnější záplavy (vydatného deště) je funkce odvodu tepla zajištěna přes odvod zbytkového tepla z AZ podle předpisů pro abnormální nebo havarijní stavy (standardní dochlazování, nouzově pomocí feed&bleed na sekundární resp. primární straně).

Odvod zbytkového tepla z vyhořelého jaderného paliva uloženého v bazénech pro jeho skladování (BSVP) je závislý jednak na funkci zařízení umístěného v místnostech budovy reaktorů a jednak na funkci systému technické vody důležité (TVD) včetně chladících věží – tzv. „koncový jímač tepla“ (UHS). V případě vnější záplavy tyto systémy nejsou postiženy.

Poslední bariéra proti úniku aktivity z AZ tj. integrity kontejnmentu včetně vakuo-barbotážního systému nemůže být ohrožena v důsledku záplavy. Izolace jeho potrubních tras i průchodů je zajištěna redundantními oddělovacími komponentami, které rovněž nemůžou současně selhat v důsledku záplavy.

Na rozdíl od záplav z vnějších příčin, vnitřní záplavy mají vesměs pouze lokální charakter nebo se dají velice jednoduše zvládnout (vypnutím čerpadel) a u redundantních

bezpečnostních systémů jsou považovány za jednu z možných příčin ztráty dotčené bezpečnostní funkce v příslušné divizi, u nedůležitých systémů vyplavení jednoho prostoru znamená ztrátu příslušné technologické funkce na postiženém reaktorovém bloku. Z toho důvodu jsou vnitřní záplavy řešené jako abnormální stavy v provozním předpisu.

V případě dlouhodobé ztráty systému chlazení BSVP jako důsledku vnitřní záplavy nelze vyloučit uvolňování radioaktivních látek z bazénů skladování.

3.1.2.4 Situation outside the plant, including preventing or delaying access of personnel and equipment to the site

Výskyt vydatných dešťových srážek v povodí řeky Jihlavy bývá doprovázen jejím rozvodněním přímo v centrální části města Třebíče, což zde může způsobit zejména potíže s dopravou z levobřežní části města (kde bydlí největší část personálu JE Dukovany a pracovníků dodavatelských firem) na pravobřežní část (kudy vedou dopravní trasy do elektrárny). Rovněž je nutno počítat s lokálním omezením průjezdnosti silnic v okolí JE bahnem splaveným z přilehlých polí.

V případě záplav a dlouhodobé nedostupnosti lokality by se střídající personál nemusel dostat operativně na lokalitu. V tomto případě by musel požadované činnosti zabezpečovat personál, který tam bude přítomen v době vzniku události. Vystřídání by bylo řešeno operativně v součinnosti s orgány státní správy (IZS, armáda, apod.).

Pevná telefonní síť, mobilní telefonní síť, vysílačky, prostředky varování atd., nejsou zabezpečeny proti globálním záplavám. Možná by byla komunikace přes vysílačky HZSP k hasičům v Třebíči. Tím by mohla být ohrožena dlouhodobá komunikace mezi zasahujícími osobami a řídicími centry, stejně tak jako s vnějšími centry orgánů státní správy (KKC SÚJB, Krizový štáb kraje, IZS, apod.).

3.1.3 Plant compliance with its current licensing basis

3.1.3.1 Licensee's processes to ensure that SSC needed for achieving safe shutdown state after flood remain in operable condition

Pro zabezpečení ochrany proti záplavám z vnějšího původu je pro udržení požadovaného stavu zařízení s projektem prováděna řada pravidelných činností. Periodická kontrola, údržba dešťové kanalizace a harmonogram čištění šachet zajišťuje její projektové vlastnosti. Kontrola technického stavu kanalizačních tras je prováděna 1x ročně a potřebné opravy zajišťovány podle zjištěného stavu. Jedná se o kontrolu česlí (mříže) a záchytných košů, podle stavu se provádí jejich případná oprava nebo jejich výměna.

3.1.3.2 Licensee's processes to ensure that mobile equipment and supplies are in continuous preparedness to be used

Na lokalitě EDU je k dispozici HZSp, který disponuje technikou a je vycvičen k hašení jakéhokoli požáru ale i k čerpání vody v kterémkoliv místě lokality. Hasební technika i personál je umístěn v objektu Požární stanice, který sice není speciálně chráněn proti zaplavení, ale nepředpokládá se, že by v případě záplavy v lokalitě EDU bylo znemožněno použití mobilní techniky pro hašení požárů.

Nezávislými prostředky pro dopravu a čerpání medií je rovněž mobilní technika HZSp, která je uzpůsobena i pro odčerpávání vody při záplavách.

Přístup k některým objektům by mohl být omezen v důsledku záplavy. Při správné funkci kanalizace nehrozí, že by přístup byl blokován, nicméně budova 1 CČS je níže než úroveň 0,0 m a případné zvýšené množství vody by se mohlo nahromadit okolo bazénů pod chladicími věžemi. Tyto stavy nebyly analyzovány a nejsou zatím pracovány předpisy a instrukce jak postupovat.

Pravděpodobně by nebylo možné použít kryty havarijní připravenosti, ani pracoviště Havarijního štábu a Technického podpůrného střediska, které nejsou chráněny proti zaplavení. Případná nedostupnost krytů by byla řešena operativně. Činnost TPS a HŠ v tomto případě nemusí být zabezpečována z krytů HP.

3.1.3.3 Potential deviations from licensing basis and actions to address those deviations

Při pochůzkách a kontrolách, iniciovaných nehodou v elektrárně Fukushima, byly identifikovány některé drobné odchylky od předpokládaného stavu zařízení. Jednalo se o částečné ucpání dešťové kanalizace kanálů, které jsou postupně odstraňovány v pracovním pořádku.

3.2 Evaluation of safety margins

3.2.1 Estimation of safety margin against flooding

Lokalita EDU nikdy nebyla a není ani v budoucnosti ohrožena zatopením z přírodních povodní. Vnitřní záplavy pro svůj lokální charakter a snadné zvládnutí neohrožují jadernou bezpečnost (abnormální stav v provozním předpisu).

Přestože umístění lokality EDU vylučuje ohrožení zátopami z přírodních nebo zvláštních povodní, jsou stavební objekty EDU projektovány jako odolné proti zaplavení při extrémní dešťové srážce, kdy by byl kanalizační systém zcela vyřazen z činnosti. Dokonce ani hypotetický případ, kdy by veškeré srážky vůbec neodtékaly do níže položených míst v okolí EDU a vytvořili souvislou hladinu překračující maximální projektovou hodnotu 115 mm nemá

charakter hraničních podmínek, neboť pata většiny objektů s důležitým bezpečnostním zařízením je umístěna ještě výše nad okolní terén (např. přístavek superhavarijního napájení o 140 mm výše než okolní terén, objekty diesel generátorové stanice o 170 mm než okolní terén atd.) což představuje další minimální rezervu cca 20% oproti celkového úhrnu dešťových srážek za 24 hodin při 10 000letém maximu.

Důsledky záplav mohou pouze ztížit zvládání následků záplav v důsledku zhoršení přístupu na EDU, ohrožení osob, zhoršení použitelnosti krytů HP umístěných pod úrovní komunikací v důsledku rozsáhlých záplav a poškození infrastruktury v okolí EDU.

3.2.2 Measures which can be envisaged to increase robustness of the plant against flooding

Cílem navržených opatření je další posílení úrovní ochrany do hloubky při záplavách. Příležitosti ke zlepšení ochrany do hloubky jsou uvedeny v následující tabulce. Tabulka obsahuje i oblasti, ve kterých je potřebné vypracovat doplňující analýzy, protože v čase provádění hodnocení nebyly k dispozici. Podrobnější popis nápravných opatření je uveden v Příloze

Příležitost ke zlepšení	Nápravné opatření	Termín (krátkodobý I / střednědobý II)	Poznámka
Předpisy	Návody EDMG pro použití alternativních prostředků	II	
Analýzy	Analýza ohrožení krytů při záplavách	II	

4 Extreme weather conditions

4.1 Design basis

4.1.1 Reassessment of weather conditions used as design basis

Původní projektová východiska vychází z ruské normy PIN AE-5.6, podle které se musí uvažovat meteorologické jevy s dobou návratu 10000 let. Pokud nejsou k dispozici dostatečné meteorologické podklady z lokality a nejsou stanoveny parametry pro dobu návratu 10 000 let, zvyšuje se zatížení pro extrémní vítr koeficientem 2,5 a pro extrémní sněh koeficientem 2,0. Před výstavbou EDU však nebyly stanoveny konkrétní hodnoty projektových parametrů a za základ byly vzaty ČSN pro běžné objekty.

V roce 2000 byly projektové parametry přírodních jevů pro lokalitu EDU přehodnoceny tak, aby zatížení při přírodních jevech vycházelo ze statistického zpracování ročních extrémů hodnot relevantních meteorologických veličin, naměřených v období alespoň 30 let v lokalitě EDU a na meteorologických stanicích v okolním regionu, které mají z hlediska klimatických podmínek stejný charakter jako lokalita EDU. V případě projektového zatížení klimatickými účinky je uvažována opakovatelnost výskytu jevu jednou za 100 let. Pro extrémní výpočtové zatížení klimatickými účinky je uvažována opakovatelnost výskytu jednou za 10 000 let.

Metody statistických zpracování vychází z dokumentu Mezinárodní agentury pro atomovou energii "Safety Standards Series" Safety Guide NS-G-3.4: Meteorological events in site evaluation for Nuclear power Plants, IAEA 2003). Účinkům extrémního výpočtového zatížení musí odolát objekty seizmické kategorie "S" takovým způsobem, aby nebyla ohrožena funkce systémů důležitých z hlediska jaderné bezpečnosti. Pro ostatní bezpečnostně významné objekty jsou definována projektová klimatická zatížení. Určení parametrů pro 100leté a 10000leté zatížení se provádí podle návodu IAEA NS-G-3.4 s použitím Gumbelova rozdělení. Z hodnot meteorologických parametrů se potom určuje projektové a extrémní zatížení objektů.

V letech 2009 - 2010 byla provedena výpočtová kontrola mezních hodnot odolností bezpečnostně významných objektů na podmínky extrémního větru, tato kontrola bude provedena též pro podmínky extrémního sněhu. Při výpočtech mezních hodnot zatížení objektů byly kontrolovány vnitřní síly jednotlivých hlavních nosných prvků konstrukce pro nejnevýhodnější zatěžovací kombinaci. Mezní odolností konstrukce se rozumí taková úroveň zatížení, při které jeden nebo více prvků konstrukčního systému hodnoceného stavebního objektu nebo jeho části ztrácí schopnost plnit svoji statickou funkci a v důsledku jeho porušení může dojít k ohrožení funkce bezpečnostně významného zařízení nebo systémů JE. V případech, kdy byly vypočítané hodnoty nižší než projektové nebo extrémní zatížení,

byl posuzován vliv na zařízení umístěné v těchto objektech a na bezpečnostní funkce, které toto zařízení plní.

Pro ocenění odolnosti stavebních objektů a zařízení proti účinkům ostatních přírodních jevů se v licenční dokumentaci uvažují následující extrémní klimatické vlivy:

- Vítr
- Sníh/led
- Vysoká/nízká teplota

Tab. 4.1.1-1 Hodnoty odvozených extrémů klimatických podmínek

Událost (klimatický jev) / Parametr	Doba návratu 100 let		Doba návratu 10 000 let	
	Hodnota	Zatížení	Hodnota	Zatížení
Nárazový vítr / rychlost	46,2 m/s	0,69 kN/m ²	60,6 m/s	1,26 kN/m ²
Sníh / přepočtený vodní sloupec	109,0 mm	1,09 kN/m ²	195,0 mm	1,95 kN/m ²
Maximální teplota / abs.max / rok 6hodinový průměr	39,0 °C		46,2 °C	
	38,5 °C		46,2 °C	
Minimální teplota / abs. min / rok Denní průměr 5denní průměr	-30,8 °C		-46,7 °C	
	-24,0 °C		-37,8 °C	
	-21,4 °C		-35,3 °C	

Hodnota větru udávaná v tabulce je hodnota nárazové (špičkové) rychlosti větru. Z této rychlosti se počítá střední rychlost větru pro integrační interval 10 s, pro kterou se provádí výpočty stavebních konstrukcí. Střední hodnota pro dobu 100 let je 27,4 m/s a pro dobu návratu 10 000 let odpovídá hodnotě 49,1 m/s.

Tab. 4.1.1-2 Hodnocení odolnosti proti extrémním meteorologickým vlivům

Značení	Název	Seizmická kategorie
800/1-01,02	HVB budova reaktorů	Sb
805/1-01,02	Podélná etažérka	Sb
806/1-01až04	Příčná etažérka	Sb
490/1-01,02	Strojovna	Sb
530/1-01,02	Diesलगенераторовá stanice (DGS)	Sb
460/1-01,02	Ventilační komín	Sc
593/1-01,02	Přístavek SHN	Sb
1-4A2.3	Přístavek elektro - 4. systém	Sb
581/1-01,02,05,06	Chladicí věže (CHV)	Sb
584/1-01,02	Centrální čerpací stanice (CČS)	Sb
	Nádrže demivody 1000 m ³	Sb

4.1.1.1 High winds

Původní hodnocení stavebních objektů na zatížení větrem bylo provedeno deterministickým přístupem roce 2000 a pravděpodobnostním přístupem v roce 2008. Na základě nevyhovujících výsledků vzniklo podezření, že projektové charakteristiky jsou stanoveny příliš konzervativně a údaje o rychlosti větru z meteorologické stanice Kuchařovice jsou nadhodnocené.

Pro aktualizaci meteorologických údajů byly získány údaje z pěti stanic v okolí EDU za období 50 let. Provedená revize v roce 2010 ukázala, že původní údaje nejsou nadhodnocené, naopak po provedené revizi je nárazový vítr poněkud vyšší a podstatně vyšší je stanovené zatížení objektů větrem.

V porovnání se základním tlakem větru pro danou lokalitu dle ČSN 73 0035, který je stanoven pro běžné stavební konstrukce hodnotou $0,45 \text{ kN/m}^2$ je tento v případě projektové úrovně zatížení 2krát a v případě extrémní 3,8krát vyšší.

4.1.1.2 Heavy snowfall and ice

Vstupní hodnoty pro extrémní hodnoty sněhu byly určeny na základě podkladů z blízké meteostanice Hrotovice.

V porovnání se základní tíhou sněhu pro danou lokalitu dle ČSN 73 0035, která je stanovena pro běžné stavby v lokalitách západně od Dukovan hodnotou $0,7 \text{ kN/m}^2$ je tato v případě projektové úrovně zatížení 1,56krát a v případě extrémní 2,78krát vyšší.

Podstatně vyšší údaje zatížení sněhem oproti normativnímu zatížení jsou dány tím, že sněhová mapa v ČSN 73 0035 udává stoletou hodnotu vydělenou koeficientem 1,7 a zatížení sněhem s dobou návratu 10 000 let není pro běžné objekty vůbec uvažováno.

4.1.1.3 Maximum and minimum temperature

Vstupní sady naměřených dat pro extrémní zatížení účinky venkovních teplot byly vybrány z měření venkovních teplot vzduchu na meteostanicích v Kuchařovicích, Moravských Budějovicích a Dukovanech. Pro hodnocení byly uvažovány roční maxima a minima v kalendářních letech.

4.1.1.4 Consideration of potential combination of weather conditions

Při řešení kombinací zatěžovacích stavů byly nejprve provedeny výpočty na jednotlivé zatěžovací stavy. Výsledky řešení těchto jednotlivých zatěžovacích stavů byly kombinovány do zatěžovacích kombinací. Bylo stanoveno 13 základních zatěžovacích stavů – tyto stavy uvažovaly vždy zatížení provozní, tj. zatížení stálé, nahodilé dlouhodobé a dílčí krátkodobá zatížení + zatížení od jedné klimatické události. Bylo uvažováno zatížení od klimatických jevů s dobou návratu 100 let a rovněž s dobou návratu 10 000 let.

Při návrhu kombinací zatížení se vycházelo ze zásady, že se kombinuje vždy zatížení

provozní s jedním zatížením extrémním (tj. s dobou návratu 10 000 let). Kombinace se zatížením od klimatických účinků s opakovatelností za 100 let se neprovádělo, protože toto je překryto uvažováním extrémního zatížení. Při těchto výpočtech byly uvažovány součinitele spolehlivosti zatížení 1.0. S ohledem na to, že se jedná o kombinaci s mimořádnými zatíženími, uvažuje se v těchto kombinacích součinitel spolehlivosti zatížení 1.0 (obdobně jako v kombinacích se seismickým zatížením). Současně se však neuvažuje součinitel kombinace dle ČSN 73 0035 a kombinace zatížení s mimořádnými vlivy se již tímto součinitelem nezmenšuje. Ve výpočtech byly kontrolovány vnitřní síly jednotlivých hlavních nosných prvků konstrukce pro nejnevýhodnější zatěžovací kombinaci.

Problematika současného výskytu dvou extrémních klimatických jevů v lokalitě EDU byla na základě kvantitativního a kvalitativního rozboru dynamiky klimatu ČR řešena v roce 2008. Analýza byla založena na následujícím principu:

Současný výskyt dvou extrémních klimatických jevů je podmíněn existencí závislosti mezi oběma jevy. Touto závislostí je výskyt konkrétní meteorologické situace v lokalitě EDU, která umožňuje výskyt obou nebo všech současně uvažovaných extrémních klimatických jevů. Na základě analýzy byly za rizikově zajímavé označeny pouze dvě kombinace extrémních klimatických událostí.

Tab. 4.1.1-3 Kombinace extrémních klimatických událostí

Kombinace extrémních jevů	Při výskytu klimatického jevu	Pravděpodobnost výskytu	Riziko
a) vysoká teplota b) silný vítr	SWa, Sa	2% v letních měsících (3/12 roku)	Obdobné následky jako samostatné události a) nebo b) avšak s nižší frekvencí výskytu
a) silný vítr b) vysoké srážky (sníh)	Ec, Wc, NWc	25% v zimních měsících (3/12 roku)	Riziko jako a). Silný vítr nedovolí tvorbu vysoké vrstvy sněhu na střešních konstrukcích objektů.

Wc	Západní cyklonální situace
NWc	Severozápadní cyklonální situace
Ec	Východní cyklonální situace
Sa	Jižní anticyklonální situace
Swa	Jihozápadní anticyklonální situace

4.2 Evaluation of safety margins

4.2.1 Estimation of safety margin against extreme weather conditions

Při hodnocení byly zjišťovány mezní podmínky, při kterých může v důsledku extrémních klimatických podmínek dojít k destrukci stavebních objektů nebo k selhání zařízení, které plní bezpečnostní funkce. Bylo kontrolováno, zda je zabezpečeno plnění základních bezpečnostních funkcí:

- a) Řízení reaktivity
- b) Odvod tepla z jaderného paliva
- c) Zachycení ionizujícího záření a radionuklidů

4.2.1.1 Estimation of safety margin against high wind

Hodnocení odolnosti stavebních objektů pro původní návrhové úrovně bylo provedeno v roce 2000. V letech 2009 - 2010 byla provedena nezávislá kontrola projektové základny, zejména byla provedena revize parametrů zatížení větrem v roce 2010. Pro všechny hodnocené objekty byly provedeny výpočty mezního zatížení při namáhání větrem a pro některé objekty byla zjištěna nižší mezní odolnost než odpovídá nárazovému větru s dobou návratu 10 000 let.

Následkem působení extrémního větru může dojít ke ztrátě vnějšího elektrického napájení a snížení schopnosti odvodu tepla do atmosféry prostřednictvím TVD.

Plnění bezpečnostní funkce řízení reaktivity je zabezpečeno i při extrémních podmínkách a není identifikováno žádné riziko spojené s neplněním této bezpečnostní funkce.

Vzhledem k tomu, že bezpečnostní systém TVD nemá samostatný systém odvodu tepla do atmosféry a je propojen s chladicími věžemi, na kterých je proveden rozliv pro chlazení TVD mohla by vést událost extrémního větru díky stávající odolnosti skořepiny CHV ke snížení schopnosti odvodu tepla prostřednictvím TVD do koncového jímače tepla současně pro všechny 4 bloky EDU.

Při extrémním větru je nutné uvažovat s možným výpadkem sítí 400 kV a 110 kV (odolnost linek je na nárazový vítr okolo 38 m/s), tj. s přechodem na nouzové zdroje napájení. Ztráta možnosti předávat teplo z TVD do koncového jímače by vedla k nárůstu teplot TVD a tedy zhoršenému chlazení DG, s možným rizikem jejich výpadků a tím postupnému přechodu až do stavu SBO (viz kap. 5).

Případné poškození střechy CČS jako důsledek extrémního větru by mohlo mít rovněž dopad na provozuschopnost čerpadel TVD. Vzhledem k umístění obou CČS i vzhledem ke konfiguraci systému TVD však není pravděpodobné, že by lokalita EDU přišla v důsledku extrémního větru o všech 2 x 12 čerpadel TVD v jednom okamžiku. Pád konstrukce střechy

strojovny v důsledku extrémního větru by rovněž mohl přinést určitá rizika, vzhledem k tomu, že na strojovně se nacházejí bezpečnostně významná zařízení (systémy dochlazování reaktoru, havarijní napájení PG, potrubí TVD, potrubí ostré páry, atp.). Při nejméně příznivém rozvoji havárie by to opět mohlo vést k obdobným rizikům, jak je uvedeno výše (možná ztráta TVD, ztráta chlazení DG).

Případné dopady pádu konstrukce střechy reaktorovny nebyly dosud podrobně analyzovány. Případné poškození paliva v reaktoru nebo v BSVP po ztrátě integrity střechy reaktorového sálu v důsledku extrémního větru je vysoce nepravděpodobné.

Identifikované riziko spočívá v možné ztrátě schopnosti zajistit odvod tepla do koncového jímače ze všech 4 reaktorů a všech BSVP a v následné ztrátě schopnosti monitorovat stav technologie po vyčerpání kapacity baterií.

Podle provedených analýz by mohlo dojít k poškození AZ za cca 9 hodin po vzniku SBO, pokud by nebyly prováděny žádné činnosti. Pokud je výchozí stav odstavený blok v režimu 6 (ve výpočtu se předpokládal zbytkový výkon pro 10 dní po odstavení), dojde k ztrátě PC za 8-10 h a k odhalení AZ za 16-20 hodin po ztrátě proudění v II.O za konzervativního předpokladu, že by nebyly prováděny žádné činnosti.

Pro řešení události extrémní vítr byl zpracován v rámci AOPs postup „Destrukce chladicích věží a linek 400 kV a 110 kV“. Tento postup se podle provedených analýz nepodařilo plně verifikovat. Z provedených analýz vyplývá, že pro úplné využití strategií uvedených v tomto postupu by byly potřebné technické modifikace (stavební úpravy).

4.2.1.2 Estimation of safety margin against heavy snowfall and ice

Při provedené revizi zatížení objektů extrémní sněhovou zátěží byl identifikován nesprávný původní výpočet zatížení střechy strojovny z roku 2000. Nový přepočtení odolnosti strojovny byl proveden v roce 2010 a vypočtená mezní odolnost střechy strojovny je pouze $0,95 \text{ kN/m}^2$, tedy hodnota nižší než odpovídá úrovni stoletého sněhu.

Není dosud dokončen přepočtení odolnosti konstrukce CČS a střechy reaktorového sálu na zatížení extrémním sněhem.

Byl rovněž analyzován vliv ledu ve vodohospodářských objektech. Ve vodohospodářských objektech s volnou hladinou vody v areálu EDU nemůže vlivem extrémně nízkých teplot dojít ke vzniku takového množství ledu, které by ohrožovalo jejich provoz a to ani v případě, že bude některý z bloků odstaven.

Pád konstrukce střechy strojovny v důsledku extrémního sněhu by mohl přinést určitá rizika, vzhledem k tomu, že na strojovně se nacházejí bezpečnostně významná zařízení (systémy dochlazování reaktoru, havarijní napájení PG, potrubí TVD, potrubí ostré páry, atp.). Při

nejméně příznivém rozvoji havárie by to mohlo vést k obdobným rizikům, jak je uvedeno v předchozí kapitole (možná ztráta TVD, ztráta chlazení DG) .

V případě extrémního sněhu se nejedná o okamžitý projev extrémního počasí. Proto je možné jednoduchými organizačními nebo technickými opatřeními (průběžné odstraňování napadaného sněhu, stříšky, kryty na důležitém zařízení) eliminovat dopady a zajistit plnění bezpečnostních funkcí. Pro provádění těchto preventivních činností však nejsou k dispozici předpisy a nouzové plány a jsou k dispozici pouze omezené kapacity potřebné techniky a personálu.

4.2.1.3 Estimation of safety margin against maximum temperature

Pro podmínky extrémních vysokých teplot se uvažuje provoz na teplotě 46,2 °C po dobu 6 hodin denně. Pokud by při těchto podmínkách došlo k rozpadu vnější sítě (400 kV i 110 kV) při zregulování na VS, zůstane v provozu elektrické napájení ČSJ a do jímek TVD je možno dodávat vodu z přehrady, což postačuje k dlouhodobému chlazení na teplotu nižší než 33 °C. Rovněž by bylo možno udržet v provozu stanici zdroje chladu a tím chladit důležité chladiče místností elektro a SKŘ pomocí chlazené vody.

Pouze v případě, pokud by s rozpadem sítě došlo navíc ještě k nezregulování všech bloků na VS, bloky by přešly na nouzové zdroje (DG) a přišly by o možnost doplňování chladné vody z ČSJ. Ani po přepnutí na rozstřík na CHV by nebylo možno teplotu TVD dlouhodobě udržovat na teplotě nižší než 33 °C, což je hodnota technických podmínek stanovených pro dlouhodobý provoz DG (na plném výkonu) a technologického kondenzátoru. Je zřejmé, že při teplotě TVD vyšší než 33 °C nedojde k výpadku DG. Provoz DG by byl nadále možný za předpokladu adekvátního snížení výkonu tak, aby se dodržela teplota mazacího oleje (cca 60 °C) a teplota chladiva vnitřního okruhu (83 °C).

V tomto režimu je nutno udržet v bezpečném stavu systémy DG. Problematická může být i vysoká teplota prostředí v samotné kobce DG – není zde žádná klimatizace. Funkčnost DG závisí nejen na chladicí vodě a mazání, ale i na funkci dalších systémů (generátor, buzení, regulace...), které jsou umístěny v koblkách DGS a mohou být časem vystaveny teplotám přes 60 °C.

Případy extrémních teplot nepatří do kategorie s okamžitým projevem extrémního počasí. Pro provádění výše uvedených preventivních činností však nejsou k dispozici předpisy a nouzové plány. Při déle trvajících extrémně vysokých teplotách by preventivně zřejmě došlo k postupnému odstavování bloků.

4.2.1.4 Estimation of safety margin against minimum temperature

Při působení "dlouhodobé" nízké teploty, která byla pro EDU stanovena na $-35,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ pro 5denní období s periodou 10 000 let byly při hodnocení uvažovány všechny vlivy a možnosti, které mají pozitivní vliv a které elektrárna skýtá. Z výsledku hodnocení vyplynulo, že systémy vytápění a ochrany proti zamrznutí jsou dostatečně dimenzovány a provozně zajištěny, aby byly schopny pokrýt potřeby tepla za podmínek extrémního chladu.

Byl rovněž analyzován vliv ledu ve vodohospodářských objektech. Ve vodohospodářských objektech s volnou hladinou vody v areálu EDU nemůže vlivem extrémně nízkých teplot dojít ke vzniku takového množství ledu, které by ohrožovalo jejich provoz.

Při události extrémně nízká teplota je plnění bezpečnostních funkcí zajištěno.

4.2.2 Conclusion on the adequacy of protection against extreme weather conditions

Při výskytu extrémního větru s dobou návratu 10 000 let může být ohrožena bezpečnostní funkce odvodu zbytkového tepla. Hlavní příčinou je to, že v systému TVD nebyly instalovány ventilátorové věže a hlavní chladicí nemají dostatečnou odolnost na extrémní vítr. Dále byla zjištěna nedostatečná odolnost některých bezpečnostně významných objektů při výskytu extrémního větru, bližší dopady na umístěné zařízení však dosud nebyly analyzovány. Případné poškození paliva v reaktoru nebo v BSVP po ztrátě integrity střechy reaktorového sálu v důsledku extrémního větru je vysoce nepravděpodobné

Nejzávažnějším dopadem extrémní sněhové zátěže může být pád střechy strojovny, což může vést ke ztrátě bezpečnostních systémů umístěných na strojovně. Nejzávažnější dopad může mít vyřazení systému TVD, což může vést k ohrožení funkce dlouhodobého odvodu zbytkového tepla. To platí za předpokladu, že by selhalo preventivní odklizení sněhu ze střechy strojovny. Některé dílčí odchylky reálné odolnosti vybraných budov od požadovaných hodnot odolnosti při extrémním zatížení řeší v současné době dokončovaný projekt seismické dokvalifikace bezpečnostně významných zařízení a stavebních konstrukcí. V současné době probíhají revizní analýzy k opětovnému prokázání dostatečné odolnosti na účinky klimatických extrémů pro všechny stavby, systémy a komponenty, které zajišťují plnění základních bezpečnostních funkcí.

Hodnocení extrémních klimatických jevů bylo omezeno pouze na rozsah bezpečnostně významných budov a zařízení umístěná v těchto budovách. Je proto třeba předpokládat, že zejména v případě událostí extrémní vítr a extrémní sníh může dojít k poškození objektů, které poskytují podpůrné služby. Tyto události by mohly rovněž způsobit izolaci lokality a její nepřístupnost po dobu několika dní.

Budova hasičského záchranného sboru (HZSp) není projektem zařazena jako bezpečnostně významná budova a nebyla hodnocena na následky extrémních přírodních podmínek (extrémní vítr, extrémní sníh, zemětřesení). Není tedy známo, zda v důsledku přírodních podmínek nemůže dojít k poškození budovy HZSp. V současné době jsou prováděny analýzy odolnosti budovy HZSp.

4.2.3 Measures which can be envisaged to increase robustness of the plant against extreme weather conditions

Cílem navržených opatření je další posílení úrovně ochrany do hloubky při extrémních přírodních jevech. Příležitosti ke zlepšení ochrany do hloubky jsou uvedeny v následující tabulce. Tabulka obsahuje i oblasti, ve kterých je potřebné vypracovat doplňující analýzy, protože v čase provádění hodnocení nebyly k dispozici. Podrobnější popis nápravných opatření je uveden v Příloze.

Příležitost ke zlepšení	Nápravné opatření	Termín (krátkodobý I / střednědobý II)	Poznámka
Diverzní CHV	Realizovat opatření pro diverzní prostředek koncového jímače tepla (k CHV)	II	PSR, Realizuje se
Předpisy	Zpracovat provozní předpis na extrémní události (vítr, teplota, sníh)	I	
Předpisy	Návody EDMG pro použití alternativních prostředků	II	
Personál	Zajištění dostatku personálu po extrémních událostech	I	
Analýzy	Odolnost objektů (HZSp, CČS, HVB atd.) na extrémní podmínky	I	Realizuje se
Analýzy	Zpracování metodiky hodnocení externích vlivů, verifikace provedených analýz, případná technická opatření	II	

5 Loss of electrical power and loss of ultimate heat sink

Pro správné porozumění následujícímu textu je nezbytná znalost obsahu kapitoly 1.3 popisující technologické systémy k zajištění plnění bezpečnostních funkcí a zejména kap. 1.3.5 a 1.3.6 popisující zdroje elektrického napájení JE Dukovany.

5.1 Nuclear power reactors

5.1.1 Loss of electrical power

Elektrické systémy EDU jsou provedeny tak, aby splňovaly požadavky strojně-jaderné části a respektoval vlastnosti el. sítí vně JE, a to zejména s ohledem na bezpečnost provozu EDU a výrobu elektrické energie.

Zajištění bezpečnosti při ztrátě elektrického napájení je projektově řešeno vysokou mírou vzájemné nezávislosti pracovních a rezervních zdrojů vlastní spotřeby, dále pak redundancí tzv. systémů zajištěného napájení (SZN), které napájejí bezpečnostně významné systémy a komponenty a disponují vlastními nouzovými zdroji.

Rozvodná síť vlastní spotřeby EDU je napájena z diverzifikovaných pracovních, rezervních a nouzových zdrojů elektrického napájení.

Pracovní napájení vlastní spotřeby je řešeno blokově. Napájení vlastní spotřeby bloku (VS), díky použití generátorových vypínačů, může být zabezpečeno dvěma způsoby:

- napájením z vnější sítě 400 kV (v nevýkonovém režimu a v odstávce)
- napájením z vlastního TG (při provozu bloku na výkonu).

Místem připojení JE Dukovany k vnější síti 400 kV je rozvodna Slavětice, do které je vyveden výkon všech čtyř bloků JE a která zajišťuje pracovní napájení vlastní spotřeby (PNVS). Vlastní spotřeba každého bloku je standardně zajišťována z dvojice odbočkových transformátorů připojených v odbočce z trasy vyvedení výkonu každého TG. Na 1. bloku je navíc instalován odbočkový transformátor o stejných parametrech pro napájení společné vlastní spotřeby celé elektrárny. Tyto zdroje se využívají při normálním i abnormálním provozu i při havarijních podmínkách, pokud zůstane zachována vazba na síť 400 kV nebo napájení z turbogenerátoru.

Pracovní zdroje napájení nejsou k dispozici při odstavených stavech bloku, pokud probíhá pravidelná preventivní údržba na systému napájení 400 kV

Ostrovní provoz EDU:

Bloky EDU jsou schopny pracovat v izolované části elektrizační soustavy, v tzv. ostrovním provozu. Ostrovní provoz je aktivován odchylkou síťové frekvence ± 200 mHz vyměřenou frekvenčním relé FREA16. Součástí řídicího systému TG je specifický ostrovní regulátor (proporcionální regulátor frekvence), jehož primární funkcí je udržování frekvence v ostrovní síti. Avšak jaderný zdroj má po přechodu do „ostrova“ svá specifika související se zajištěním jaderné bezpečnosti. Z hlediska JB není žádoucí, aby během provozu v ostrovním režimu docházelo k náhlým změnám výkonu reaktoru. Dostatek „rychle dosažitelného“ výkonu je zajištěn přechodem přepouštěcí stanice do kondenzátoru do regulace rezervy. Rezerva je vytvořena automaticky od automatiky „Ostrovní provoz“ a je aut. nastavena až na 20 % otevření každé větve přepouštěcí stanice do kondenzátoru. Pro scénáře spojené s velkým odlehčením TG je součástí projektu automatika vyhodnocení vysokého zrychlení TG a od ní odvozený puls na urychlovač hydraulické regulace TG (tzv. regulace přeběhu).

Pro ostrovní provoz je zpracován specifický postup v rámci provozního předpisu pro abnormální stavy (P002b). Rozsah frekvence ostrovní sítě při kterém jsou bloky EDU schopny dlouhodobě pracovat je omezen nastavením 2. stupňů frekvenčního relé FREA16 – při podkročení frekvence 47,9 Hz nebo překročení frekvence 52,5 Hz (se zpožděním 25s) dochází k automatickému odpojení bloku od ostrovní sítě a přechodu na vlastní spotřebu.

Měření během události 3.8.2006 potvrdilo vysokou kvalitu zregulování otáček TG prostřednictvím ostrovního regulátoru, jakož i dalších funkcí pro podporu provozu v režimu ostrovního provozu. Dále bloky EDU úspěšně pracovaly v reálném mírně přebytkovém ostrově při rozpadu sítě UCTE na tři izolované celky dne 25.7.2006.

Schopnost ostrovního provozu bloků EDU je certifikována jako podpůrná služba pro provozovatele přenosové soustavy ČR. Podrobné informace jsou obsaženy v certifikační zprávě ICE-OP-28,29,31/2007 pro 1., 2., 4. RB, pro 3. RB platí certifikát ICE-OP-38/2009. V současné době je provedeno nové certifikační měření na 1.RB, kde bude vystaven nový protokol.

Rezervním zdrojem elektrického napájení vlastní spotřeby jsou dvě rozvodny 110 kV Slavětice a Oslavany, každá se dvěma vzájemně zastupitelnými přívody 110 kV. K jejich napájení je k dispozici více prostorově i elektricky oddělených transformací 400/110 kV a 220/110 kV a napájecích linek z různých směrů a uzlů elektrizační soustavy. Připojení k vnější síti 110 kV, odkud je napájeno rezervní napájení vlastní spotřeby (RNVS), je z rozvodu 110 kV Slavětice a Oslavany, z hlediska zdrojů pak transformace 400/110 kV (220/110 kV) v rozvodnách Slavětice, Sokolnice a Čebín. Rezervní napájení pro dvojici reaktorových bloků (HVB) zajišťují dva transformátory RNVS, které jsou připojeny k blokovým rozvodnám 6 kV přes rezervní přípojnice. Pomocí vypínačů na straně 6 kV je

možno propojit systém RNVS I. HVB a II. HVB. Tím je umožněno vzájemné zálohování zdrojů RNVS obou HVB. V nevýkonových režimech může být některé pracovní nebo rezervní napájení dlouhodobě neprovozuschopné při provádění pravidelné údržby.

Nouzovými (havarijními) zdroji jsou na každém bloku tři automaticky rychlestartující dieselgenerátory (DG, $U_n = 6,3$ kV, $P_n = 2,8$ MW, $S_n = 3,5$ MVA) a staniční akumulátorové baterie SNZ1, 2 a 3, (napětí 220 V, kapacita 1500 Ah, a napětí 48 V, kapacita 2 x 246 Ah). Toky energie spotřebičů nepřerušeno napájení zajišťují usměrňovače a střídače.

Pro napájení bezpečnostních systémů (BS) jsou na každém z bloků k dispozici 3 systémy zajištěného napájení označované jako SZN 1, 2, 3 (3 x 100 %). Pro zajištění potřebné míry redundance jsou tyto SZN nezávislé a vzájemně oddělené dispozičně (stavebně, požárně), elektricky, i z pohledu řídicího systému.

Pro napájení části systémů souvisejících s jadernou bezpečností (SSB) a napájení systémů nedůležitých z hlediska jaderné bezpečnosti (SNB), které však zajišťují obecnou bezpečnost osob a drahých zařízení, slouží SZN 4, jenž je koncipován jako dva subsystémy (4.1, 4.2), které se vzájemně zálohují podle principu 100 + 100 %. Nouzovým zdrojem každého subsystému je staniční akubaterie o kapacitě 2000 Ah, 220 V a agregát nepřerušeno napájení. SZN 4.1 je připojen k SZN1, SZN 4.2 je připojen k SZN2.

Detailní popis střídavých zdrojů elektrického napájení je v kap. 1.3.5 a popis stejnosměrných zdrojů nepřerušovaného elektrického napájení je v kap. 1.3.6.

5.1.1.1 Loss of off-site power

Ztráta elektrického napájení může postihnout jeden nebo více bloků EDU. Provoz bloku na výkonu je charakteristický vyšší projektovou odolností vůči ztrátě elektrického napájení (dodatečné bariéry ochrany do hloubky), než při odstávce na výměnu paliva. Nejméně příznivým případem z hlediska zajištění bezpečnosti je ztráta elektrického napájení na všech blocích současně. Z pohledu možné konfigurace dostupného zařízení je nejkonzervativnějším případem stav, kdy je některý z bloků v odstávce.

Design provisions

Ztráta vnějšího napájení (např. při rozpadu sítě doprovázeném současnou ztrátou rozvodu 400 kV i 110 kV) nevyvolá při výkonovém provozu bloku automaticky přechod na nouzové zdroje napájení.

Po odpojení bloku od vnější sítě 400 kV z vnějších příčin (tj. např. porucha v rozvodné síti 400 kV, která není spojena s poruchami jaderného bloku a jeho vedení 400 kV do nejbližší rozvodny 400 kV Slavětice), dojde k projektovému zregulování TG na takový výkon, který dlouhodobě pokryje vlastní spotřebu bloku (VS). Dlouhodobý provoz TG na vlastní spotřebu

byl v praxi několikrát vyzkoušen a po rekonstrukci TG v rámci realizace projektu zvýšení výkonu znovu zkouškou prověřen. Odbočkové transformátory elektricky napájejí 4 rozvodny blokové vlastní spotřeby 6 kV, ze kterých jsou napájeny hlavní pohony I. okruhu a II. okruhu a rovněž rozvodny zajištěného napájení 6 kV, které elektricky napájejí pohony bezpečnostních systémů.

Pokud toto neproběhne (blok v odstávce, TG nepracují nebo ani jeden nezreguluje, respektive vypadne), jsou sekce rozveden 6kV napájení vlastní spotřeby automaticky přepnuty na rezervní zdroje napájení 110 kV (proběhne hromadný automatický záskok rezervy). Dieselseátory (DG) se v tomto případě neshartují, akubaterie jsou dobíjeny ve standardním režimu a zajišťují nepřerušené napájení rozvodů stejnosměrného napájení.

Teprve pokud by neproběhly výše uvedené automatiky a nedošlo by k automatickému přepnutí na rezervní napájení, dochází ke ztrátě pracovních i rezervních zdrojů bloku, tedy k tzv. úplné ztrátě napájení VS (ÚZNVS).

Ztráta pracovních i rezervních zdrojů bloku vyvolá pokles napětí na rozvodnách zajištěného napájení 6 kV. Je generován signál ÚZNVS (LOOP), dojde k vypnutí sekčních vypínačů a startují všichni tři DG. Sekční vypínače odpojí rozvodny SZN 6kV od rozveden nezajištěného napájení 6 kV a tedy od sítě normálního napájení. Po nastarování DG a jejich připojení DG na rozvodny SZN 6kV postupně automaticky najíždějí bezpečnostně významné pohony dle programu postupného zatěžování ELS. V době, kdy jsou rozvodny SZN 6kV bez napětí, je nepřerušené napájení spotřebičů a rozvodů SZN 1 kategorie zabezpečeno akubateriemi. K obnově dobíjení akubaterí dojde po připojení DG k rozvodně SZN 6kV tj. max. do 15 sec, reálně do 10 sec.

Při ztrátě vnějšího elektrického napájení JE není ohroženo plnění ani jedné ze základních bezpečnostních funkcí:

- a) Řízení reaktivity.
- b) Odvod tepla z jaderného paliva.
- c) Zachycení ionizujícího záření a radionuklidů.

Bloky EDU mohou být v režimu ztráty vnějšího napájení dlouhodobě udržovány v bezpečném stavu nebo dochlazeny do studeného stavu nebo bezpečně udržovány v režimu odstávky (je zajištěno napájení všech nezbytných strojních systémů i systémů SKŘ) při startu alespoň jednoho ze tří bezpečnostních DG na každém bloku.

Pokud je při ÚZNVS blok ve výkonovém režimu, dochází k odstavení reaktoru působením signálu RTS a k výpadku všech hlavních cirkulačních čerpadel (HCČ). Odvod zbytkového tepla z AZ probíhá v režimu přirozené cirkulace, odvodem páry z PG přes přepouštěcí stanice do atmosféry (PSA). Doplnění vody do PG je zabezpečeno pomocí dvou

havarijních napájecích čerpadel (HNČ), čerpajících vodu z napájecí nádrže (NN), jejíž doplňování probíhá čerpadly demivody 1 MPa z nádrží 3 x 1000 m³. Alternativně je možné doplňování vody do PG od tzv. superhavarijních napájecích čerpadel (SHNČ), která by čerpala vodu z nádrží 3 x 1000 m³ přímo do vybraných PG v případě selhání doplňování PG od HNČ1, 2.

Pokud je při ÚZNVS blok v odstaveném stavu s vodo-vodním vychlazením, je doplňování vody do PG zabezpečeno dochlazovacími čerpadly v uzavřeném okruhu. Alternativně je možné doplňování vody do PG od SHNČ, která by čerpala vodu z nádrží 3 x 1000 m³ přímo do vybraných PG. Při otevřeném reaktoru s nízkou hladinou chladiva na počátku Režimu 6 je však nutná činnost obou SHNČ k zabránění ztráty přirozené cirkulace.

Chlazení bazénu skladu vyhořelého paliva (BSVP) je realizováno dvěma chladicími okruhy. Každý chladicí okruh zahrnuje oběhové čerpadlo a tepelný výměník. Tepelné výměníky jsou chlazeny technickou vodou důležitou. Čerpadla chlazení BSVP i čerpadla TVD jsou rovněž napájena z DG a startují automaticky v programu postupného spouštění ELS.

Všechny výše uvedené zátěže jsou elektricky napájeny z DG (3 x 100%) v souladu s koncepcí VVER, kdy z každého SZN jsou napájeny všechny pohony, které jsou v daném režimu potřebné pro plnění bezpečnostních funkcí. Výjimkou je zmíněné chlazení BSVP, jenž je pokryto pouze dvěma systémy (SZN 1 a 3).

Autonomy of the on-site power sources and provisions taken to prolong the time of on-site AC power supply

V souladu se základní koncepcí strojně-jaderné části (3 redundantní a nezávislé divize bezpečnostních systémů) jsou rovněž k dispozici 3 redundantní a nezávislé systémy zajištěného napájení (3x100 %). Každý z těchto SZN je podpůrným systémem pro bezpečnostní systémy příslušné divize

- Nouzové zdroje střídavého napájení SZN bezpečnostních systémů jsou tři nezávislé (systémové) DG, které se připojují na příslušné rozvodny zajištěného napájení SZN 6 kV
- Nouzové zdroje stejnosměrného napájení jsou akumulátorové baterie, které jsou trvale připojeny na příslušné rozvodny. Akubaterie jsou při ztrátě pracovních i rezervních zdrojů bloku a po připojení DG dobíjeny ve standardním režimu a zajišťují nepřerušené napájení rozvodů stejnosměrného napájení

Zásoba nafty v provozní nádrži pro každý DG je na dobu nejméně 6 hodin, při přečerpávání nafty ze zásobních nádrží je zajištěn provoz jednoho DG po dobu nejméně 144 hodin. Další palivo pro DG by bylo možno získat přečerpáváním z nádrží jiných DG. Při uvážení dlouhodobého provozu vždy pouze jednoho DG na každém bloku by tak při zprovoznění reexpedičních čerpadel bylo k dispozici palivo na dobu 18 až 21 dní bez vnější dodávky nafty

na EDU (více viz 1.3.5.3). Ustálená zátěž na SZN 1, 2, 3 je nižší, než je jmenovitý výkon DG (2,8 MW). Jediným limitujícím faktorem pro dlouhodobý stav ztráty vnějších zdrojů může být zásoba nafty. Jak je ale výše uvedeno, pro každý z bezpečnostních DG je k dispozici zásoba nafty minimálně na 6 až 7 dnů provozu bez nutnosti vnější dodávky paliva.

5.1.1.2 Loss of off-site power and loss of the ordinary back-up AC power source

Design provisions

Při ztrátě pracovního i rezervního napájení, paralelně se ztrátou nouzového napájení bloku (DG), mohou být pro zajištění střídavého napájení k dispozici následující zdroje napájení:

Využití zařízení uvnitř EDU:

Předpokládá se využití autonomních zdrojů střídavého elektrického napájení na EDU a možnosti jejich jednoduchého propojení přes rezervní přípojnice 6 kV, které je popsáno v EOPs resp. AOPs. Pokud by došlo k SBO pouze na některých blocích EDU a na jiném bloku by byly v provozu alespoň dva DG, lze podat napájení na blok postižený SBO z DG jiného bloku. Existují tedy následující možnosti:

- Obnova napětí z bloku EDU přes rezervní přípojnice 6 kV.
- Obnova napětí z DG přes rezervní přípojnice 6 kV

Využití linek 400 kV nebo 110 kV:

Pokud by po událostech vedoucích k SBO zůstávala možnost vyčlenit pro EDU vybrané napájecí trasy 400 kV nebo 110 kV, bylo by primárně zabezpečováno napájení VS vybraných bloků z blízkých vodních elektráren Dalešice a Vranov dle postupů v AOPs. Předpokladem je ovšem možnost komunikace s příslušnými vnějšími pracovišti (přečerpávací vodní elektrárna Dalešice, vodní elektrárna Vranov, rozvodna Slavětice, dispečinky ČEPS, E.ON). Obnova napájení z přečerpávací VE Dalešice (4x 112,5 MW) resp. z VE Vranov (3x 6,3 MW) min byla opakovaně testována (rok 2004 resp. 2010) a její možnost byla při testech prokázána.

Vodní elektrárna Dalešice byla po provedení analýz SBO zvolena jako hlavní vnější zdroj AAC a tato funkce byla prakticky ověřena zkouškami. Elektrárna Dalešice (výkon 4x 112,5 MW) má schopnost startu ze tmy. Zkouškou byla ověřena schopnost podání napájení do 30 minut (po vedení 400kV) nebo do 60 minut (po vedení 110kV).

Podrobněji viz kap. 1.3.5.1.2

Pokud by nastal SBO na bloku v horkém stavu, SI EDU vyhlásí stav KRAJNÍ NOUZE, jenž dle Kodexu Přenosové soustavy ČR definuje nutnost dodat energii z vnější sítě na postižený blok do 1 hodiny. Pokud by nastal SBO na bloku v polohorkém stavu, je vyhlášen stav OHROŽENÍ s nutností dodat energii z vnější sítě na postižený blok do 2 hodin.

Obnovu elektrického napájení pro bezpečnostně významná zařízení (za předpokladu provozuschopnosti příslušných vnějších tras a rozveden) poskytují následující konkrétní varianty:

- Obnova napětí z rozvodny Slavětice nebo Oslavany přes vedení 110 kV
- Obnova napětí ze systému 400 kV přes vedení 110 kV
- Obnova napětí ze systému 400 kV přes blokové vedení 400 kV
- Obnova napětí z bloku EDU přes vedení 110 kV
- Obnova napětí z bloku EDU přes blokové vedení 400 kV

Přivedení elektrického napájení na EDU z diverzních zdrojů střídavého napájení

- Obnova napětí z přečerpávací vodní elektrárny Dalešice přes vedení 110 kV
- Obnova napětí z přečerpávací vodní elektrárny Dalešice přes blokové vedení 400 kV
- Obnova napětí z vodní elektrárny Vranov přes blokové vedení 110 kV

Všechny výše uvedené způsoby obnovy napájení z vnějších zdrojů jsou podmíněny provozuschopností potřebných úseků vedení 400 kV a 110 kV

Battery capacity, duration and possibilities to recharge batteries

Kapacita akubaterií SNZ1, 2 a 3 je 1500 Ah. Pro každý ze SZN 4.1 a 4.2 je kapacita akubaterií 2000 Ah. Více viz kap. 1.3.6.

Při ztrátě pracovního a rezervního napájení z vnější sítě a současně i nouzových zdrojů bloku (DG), akubaterie nejsou dobíjeny a zajišťují nepřerušené napájení rozvodů stejnosměrného napájení. Dobíjení bude zahájeno po obnově střídavého napájení ze zdrojů ze zdrojů AAC, které jsou uvedeny v kapitole 5.1.1.2.1

5.1.1.3 Loss of off-site power and loss of the ordinary back-up AC power sources, and loss of permanently installed diverse back-up AC power sources

SBO je havarijní stav bloku JE Dukovany, charakterizovaná ztrátou všech pracovních, rezervních i nouzových zdrojů střídavého napájení bloku – pro blok na výkonu např. po rozpadu elektrizační soustavy, nezregulování ani jednoho ze dvou turbogenerátorů na vlastní spotřebu a nepodání napájení od žádného ze tří dieselgenerátorů bloku.

Událost spojená s úplnou ztrátou elektrického napájení typu blackout (SBO) na bloku JE Dukovany (EDU) je vysoce nadprojektovou a nepravděpodobnou havárií. SBO se řeší z pohledu jednoho bloku v situaci, kdy je celá elektrárna postižena LOOP. Nejzávažnějším režimem je vznik SBO všech čtyř bloků EDU současně. Mohlo by k němu dojít pouze v případě, pokud by současně selhaly všechny dále uvedené úrovně ochrany do hloubky elektrického napájení:

- Vnější pracovní zdroje - normální napájení z rozvodny 400 kV Slavětice
- Vnitřní pracovní zdroje - nezregulování žádného z turbogenerátorů na vlastní spotřebu
- Vnější rezervní zdroje - rezervní napájení z rozvodny 110 kV Slavětice
- Vnější rezervní zdroje - rezervní napájení z rozvodny 110 kV Sokolnice
- Vnější rezervní zdroje - rezervní napájení z rozvodny 110 kV Čebín
- Vnitřní rezervní zdroje – napájení z VS sousedního bloku
- Všechny tři redundantní nouzové zdroje střídavého napájení pro SZN 6kV na všech 4 blocích EDU (tj. celkem 12 DG)
- Diverzní vnější zdroj střídavého napájení vodní elektrárna Dalešice přes vedení 110 kV
- Diverzní vnější zdroj střídavého napájení vodní elektrárna Dalešice přes vedení 400 kV
- Diverzní vnější zdroj střídavého napájení vodní elektrárna Vranov přes vedení 110 kV

Při SBO dojde rovněž (v důsledku ztráty napájení společné VS EDU) k okamžitému výpadku technologie na vnějších objektech EDU, které nemají napájení z akumulátorových baterií, tj. na kompresorových stanicích (nízkotlaké, vysokotlaké), čerpacích stanicích (CČS1,2, ČSJ), stanicích zdroje chladu a dalších podpůrných provozech.

Zdrojem elektrické energie v režimu SBO zůstávají akumulátorové baterie, resp. lokální UPS. Po vyčerpání jejich kapacity dojde ke ztrátě funkcí veškeré měřicí a řídicí techniky, včetně systémů kontroly reaktivity (ExCore, InCore), dozimetrických systémů, počítačových systémů, systémů fyzické ochrany, nouzového osvětlení, elektrické požární signalizace, systémů vnitřního varování (rozhlas, sirény), telefonních a dalších komunikačních prostředků.

Systémy SKŘ pro měření reaktivity (ExCore, InCore) a systém pohavarijního monitorování PAMS1 jsou napájeny z akubaterií SZN 1, 2, 3.

Battery capacity, duration and possibilities to recharge batteries in this situation

Při SBO dochází k vybití akubaterií, protože není dostupný žádný zdroj pro jejich dobíjení. Vybíjecí doba baterií bezpečnostních systémů je dána průběhem proudové zátěže v čase. Kapacita akubaterií SZN1, 2 a 3 je 1500 Ah. Projektem požadovaná výdrž akubaterií při maximální zátěži byla minimálně 2 hodiny. Při respektování aktuálního stavu akubaterií a skutečné zátěže a dále při uvažování redukce připojených spotřebičů, lze reálně očekávat výdrž několikanásobně větší. Analyticky bylo prokázáno, že už jen minimální redukci jejich zátěže se prodlouží doba využitelnosti do pásma 6 – 8 hodin, návody jsou již zpracovány v EOPs. Pro další razantnějším šetření stejnosměrných zdrojů je možné odepnout všechny nedůležité spotřebiče, včetně nouzového osvětlení. Další možností, jak prodloužit napájení spotřebičů SZN1,2,3 je použití v daném okamžiku pouze jednoho systému. Tímto

razantnějším šetřením lze účinně prodloužit dobu jejich použitelnosti do řádu 10-20 h. Další možností je využití možnosti přečerpávání energií z baterií SZN 4 systému. Pro každý ze SZN 4.1 a 4.2 je kapacita akubaterií 2000 Ah, jejich reálná výdrž bez provádění zásadní redukce zátěže je cca 6 h. Konkrétnější návody a instrukce však zatím nejsou zpracovány. Více viz kap. 1.3.6.

V současném projektovém řešení k 30.6.2011 nebylo uvažováno dobíjet baterie jiným způsobem, například z mobilních DG. Technicky ale tato možnost existuje.

Actions foreseen to arrange exceptional AC power supply from transportable or dedicated off-site source

Na lokalitě EDU, s výjimkou přenosných elektrocentrál HZSp (viz kap. 6.1.3.7), nejsou k dispozici diverzifikované nebo mobilní zdroje střídavého napájení, které by byly využitelné pro řešení dlouhodobého SBO. Nicméně existují vnější zdroje, jejichž dostupnost a použitelnost pro řešení SBO byla ověřena a odzkoušena. Vodní elektrárna Dalešice (výkon 4 x 112,5 MW) má schopnost startu ze tmy. Zkouškou byla ověřena schopnost podání napájení do 30 minut (po vedení 400kV) nebo do 60 minut (po vedení 110kV). Tato schopnost tzv. Blackstartu je periodicky certifikována pro všechny 4 generátory vodní elektrárny Dalešice a ve spolupráci s JE Dukovany představuje základní způsob obnovy dodávky elektrické energie po případném rozpadu elektrizační soustavy v ČR.

Competence of shift staff to make necessary electrical connections

Pro provádění činností při SBO je určen postup EOPs, který řeší i manipulace pro zajištění odvodu tepla z AZ. Způsob odvodu tepla z BSVP při SBO není sice v postupu EOPs dosud konkretizován, ale je řešen odkazem na pokyny TPS. Rovněž činnosti pro šetření ss zdrojů (akubaterií) jsou popsány, ale je žádoucí je více konkretizovat a zohlednit nerovnoměrné rozložení zátěže jednotlivých systémů, se specifickými podmínkami na 1. bloku (napájení nouzového osvětlení společných prostor JE)

Činnosti při dlouhodobém SBO musejí zahrnovat důsledné šetření stejnosměrných zdrojů. Po vypnutí nouzového osvětlení je nutno toto nahradit ručními svítilnami, které jsou, pro práci například v rozvodnách a dalších uzavřených prostorech, nezbytné už od počátku SBO (nouzové osvětlení je projektováno pouze pro bezpečné opuštění pracoviště).

Kapacita personálu pro počáteční činnosti při SBO je dostatečná, pro dlouhodobý SBO však nasazení personálu musí podléhat zvláštnímu režimu (střídání na exponovaných pracovištích, odpočinek, stravování a hospodaření s dostupnými zdroji).

Prioritní činností bude zabezpečení odvodu tepla z AZ a z BSVP. Chlazení AZ a BSVP by nejprve bylo řízeno pod vedením SI a BI, ve spolupráci s hasiči a dozimetrickou službou. Po svolání TPS by další strategie byly řízeny na základě manuálů TPS.

Pohyb pracovníků při SBO by byl omezován zablokovanými turnikety a limitován radiační situací na EDU, která by po vybití akubaterií byla mapována pouze na základě ručního měření.

Doba funkčnosti krytů a shromaždišť je dána provozuschopností ventilace, kapacitou akubaterií a funkčností technických informačních a komunikačních prostředků. Problematické jsou zejména kryty, kde se shromažďuje personál nutný k zásahům (včetně HŠ a TPS). Tyto kryty jsou napájeny pouze z nezajištěného napájení a při SBO jsou tedy technické prostředky TPS a HŠ nefunkční.

Při výpadku napájení systému TSFO z rozvodny společné vlastní spotřeby 6 kV dojde k automatickému bezvýpadkovému přechodu na napájení z centrální UPS systému TSFO. Po vybití zdroje centrální UPS dojde k výpadku koncových zařízení TSFO (Poplachový systém, Systému kontroly vstupu osob, Uzavření televizní okruhy, Výdejna identifikačních karet). Dále bude zajištěn provoz FO EDU dle vnitřní dokumentace FO EDU.

Time available to provide AC power and to restore core cooling before fuel damage

Při SBO bez zásahu personálu by probíhal odvod zbytkového tepla z AZ v režimu přirozené cirkulace automatickým odvodem páry z PG přes PSA, které udržují nastavený tlak v HPK. Dodávka vody do PG je však přerušena a dochází k postupnému poklesu hladiny v PG a tím ke zmenšování jejich účinné teplosměnné plochy. Schopnost odvodu tepla na I.O se tím snižuje. Pokud by se nepřistoupilo k žádné činnosti (popsané dále v této kapitole), která je vyžadována předpisy EOPs, došlo by po přerušení odvodu tepla z AZ přirozenou cirkulací přes PG, ke zvyšování teploty a tlaku v I.O. Po dosažení nastavených hodnot tlaku v I.O. by došlo následně k otevření OVKO (resp. PVKO) a odvodu chladiva z I.O. přes OVKO, (případně PVKO). Tím je sice dočasně zastaven další nárůst teploty I.O, pokles hladiny v Reaktoru je dočasně zastaven pasivním vyléváním hydroakulátorů, ale dochází k nekompenzované ztrátě chladiva I.O do prostoru boxu PG a zároveň ke zvyšování parametrů v kontejneru.

Předpisy EOPs však poskytují personálu BD dostatečné pokyny k tomu, aby odvod tepla z I.O probíhal v režimu Feed and Bleed na straně I.O. Časová rezerva k zamezení ztráty odvodu tepla z I.O. je cca 4 hod. Pokud tedy nastane stav SBO, pak personál v souladu s postupem EOPs zahájí pomocí PSA odtlakování PG. I.O. PSA jsou napájeny z akubaterií a je možno je ovládat i mechanicky (z místa). Po odtlakování PG až na hodnotu cca 0,7 MPa dojde k samovolnému (gravitačnímu) vylévání napájecí vody z NN ($2 \times 150 \text{ m}^3$) do PG a tím k obnově dodávky chladiva a zastabilizování odvodu tepla z I.O přirozenou cirkulací. Napájení PG a odvod tepla může být v tomto režimu zajištěn po dobu cca dvaceti hodin po vzniku SBO.

Po vyčerpání kapacit NN je další možností jak pokračovat v odvodu tepla v režimu Feed and Bleed na straně II.O (popsanou v EOPs) doplňování demivody přímo do PG alternativním způsobem použitím mobilních čerpadel požární vody (tlak na výtlaku čerpadla 0,8-1,2 MPa, průtok 120-150 t/h). V rámci zvýšení odolnosti EDU na následky SBO byla na všech blocích realizována přípojná místa, která umožňují propojení požární techniky s technologií. Alternativní způsob doplňování PG je popsán v EOPs, byl několikrát prakticky vyzkoušen a byla prověřena kapacita této techniky pro zabezpečení základních bezpečnostních funkcí. Při stavu black-out na všech čtyřech blocích EDU současně však jistým omezením může být kapacita potřebné požární techniky (nejsou zatím zpracovány nouzové plány pro napájení PG dvou bloků jedním čerpadlem současně). Při doplňování demivody optimálním průtokem jsou k dispozici stávající zásoby demivody z nádrží $3 \times 1000 \text{ m}^3$ pro každý dvojblok, což dle analýz vystačí na 72 h pro všechny 4 bloky. Společně s využitím zásoby chladiva v NN je pro doplňování PG všech čtyř bloků JE k dispozici zásoba chladiva na cca 4 dny.

V případě provozu při odstávce s nízkou hladinou chladiva v reaktoru je kritickým jevem ztráta přirozené cirkulace. Pokud by nebylo zahájeno doplňování PG do cca 4h, nastane ztráta přirozené cirkulace poklesem hladiny v reaktoru pod nátrubky HVS. Pak by bylo chlazení AZ pouhým napájením PG už neúčinné, protože by již nebylo možné obnovit přirozenou cirkulaci přes AZ. Aby při dlouhodobém SBO nedošlo k poškození AZ v časně fázi havárie, je možno použít k obnově hladiny v reaktoru chladivo z hydroakumulátorů. Další velmi účinnou možností udržování hladiny v otevřeném reaktoru je jeho gravitační plnění ze žlabů barbotážní věže. Zásoba chladiva na doplňování vyvařeného chladiva je cca 12 dní.

5.1.1.4 Conclusion on the adequacy of protection against loss of electrical power

Zdroje elektrického napájení EDU zajišťují dostatečnou projektovou robustnost i míru zajištění bezpečnosti při vnější ztrátě elektrického napájení. Jsou projektově řešeny s vysokou mírou nezávislosti, vzájemného zálohování i redundance (viz pracovní a rezervní zdroje vlastní spotřeby, a dále nouzové zdroje střídavého i stejnosměrného napájení, tzv. systémy zajištěného napájení – SZN, které napájí bezpečnostně významné systémy a komponenty).

Při provozu bloku na výkonu existuje vyšší projektová odolnost vůči ztrátě elektrického napájení (dodatečné bariéry ochrany do hloubky), než při odstávce na výměnu paliva. Nejméně příznivým případem z hlediska zajištění bezpečnosti je ztráta elektrického napájení na všech blocích současně.

Na lokalitě je k dispozici celkem 12 nouzových zdrojů střídavého napájení (DG). V režimu ztráty vnějšího napájení mohou být bloky EDU dlouhodobě udržovány v bezpečném stavu nebo dochlazeny do studeného stavu nebo bezpečně udržovány v režimu odstávky (je

zajištěno napájení všech nezbytných strojních systémů i systémů SKŘ), při startu alespoň jednoho z těchto DG na každém bloku. Pro každý z DG je k dispozici zásoba nafty na 6 až 7 dnů bez nutnosti vnějšího doplňování paliva

Z pohledu projektové odolnosti vůči ÚZNVS existují jak v případě výkonového režimu bloku, tak i v režimu bloku v odstávce minimálně dva nezávislé způsoby automatického zajištění elektrického napájení dvou až třinásobně redundantních systémů, nezbytných pro plnění bezpečnostních funkcí (prostřednictvím alternátorů 220 MW po zregulování TG na vlastní spotřebu nebo pomocí redundantních DG) V případě nízkovýkonových nebo odstavených stavů nelze využít zregulování TG na VS. Dlouhodobý provoz v podmínkách ztráty vnějšího napájení je garantován po dobu delší než 72 hodin.

Při úplné ztrátě střídavého napájení (SBO) zůstávají k dispozici pro napájení bezpečnostních systémů a systémů souvisejících s bezpečností nouzové zdroje nepřerušovaného stejnosměrného napájení (akubaterie). Bez provozu příslušného DG nejsou akubaterie dobíjeny a doba do jejich vybití je v řádu jednotek až desítek hodin v závislosti na aktuálním zatížení. Tato doba je dostatečná k obnově napájení VS bloků EDU z blízkých vodních elektráren Dalešice nebo Vranov

Důsledky déletrvajícího SBO mohou být následující:

Pokud není do odhalení paliva v AZ nebo v BSVP zabezpečeno střídavé elektrické napájení nebo zabezpečen odvod tepla diverzifikovanými systémy, resp. nebylo by přistoupeno k alternativním způsobům odvodu tepla z AZ nebo BSP, jak to popisují EOPs, by v krajním případě mohlo dojít k poškození paliva v AZ nebo vyhořelého paliva uloženého v BSVP.

K zabránění výše uvedeno rozvoje SBO z hlediska technologie jsou k dispozici dostatečné alternativní zdroje chladiva pro dlouhodobé chlazení AZ i BSVP bez dodávky elektrické energie. V souladu s postupy EOPs by při SBO probíhal odvod zbytkového tepla z AZ v režimu přirozené cirkulace odvodem páry z PG přes PSA v režimu tzv. sekundárního Feed and Bleed. Po odtlakování PG na cca 0,7 MPa je nejprve k doplňování PG využito gravitační vylévání napájecí vody z NN (2 x 150 m³) do PG. Odvod tepla je v tomto režimu zajištěn po dobu cca 20 hodin po vzniku SBO. Další časový prostor na obnovu dodávky elektrické energie poskytuje v EOPs popsaná a prakticky procvičovaná strategie doplňováním demivody do PG mobilními čerpadly HZSp. Jsou k dispozici přípojná místa, která umožňují propojení požární techniky s technologií. Stávající zásoby demivody z nádrží 3 x 1000 m³ pro každý dvojblok, společně s využitím zásoby chladiva v NN pro doplňování PG všech čtyř bloků JE vystačí na cca 4 dny. Alternativně by bylo možno použít i vodu z rozlivných bazenů CHV.

Odvod tepla z BSVP by byl při SBO prováděn v režimu varu chladiva v BSVP. Odpařené chladivo by bylo doplňováno gravitačním drenážováním vody z barbotážních žlabů bez

potřeby elektrického napájení (zásoba vody na doplňování vyvařeného chladiva na cca 13 dní).

Pokud by došlo k vybití baterií, došlo by v důsledku ztráty funkčnosti systémů SKŘ ke ztrátě schopnosti ovládání systémů a komponent a sdělování hodnot důležitých parametrů.

Po vybití baterií dojde ke ztrátě osvětlení a výpadku technologie TSFO a tím k prodloužení doby provádění manipulací v důsledku ztížené orientace a pohybu personálu.

Ztráta provozuschopnosti technických prostředků komunikace a varování a vyrozumění personálu. Tím dojde k ohrožení komunikace mezi řídicími centry a zasahujícími osobami, včetně komunikace s vnějšími řídicími centry a orgány státní správy.

5.1.1.5 Measures which can be envisaged to increase robustness of the plant in case of loss of electrical power

Cílem navržených opatření je posílení úrovně ochrany do hloubky při iniciačních událostech nad rámec stávajícího projektu (zemětřesení, záplavy, extrémní podmínky, výsledky lidské činnosti, atp.), jejichž důsledkem může být SBO:

1. Navrhnout a implementovat diverzifikované prostředky střídavého napájení stávajícího zařízení pro zajištění chlazení a odvod tepla z AZ a BSVP, včetně možnosti jejich připojení k existujícímu rozvodu el. napájení.
2. Navrhnout a implementovat diverzifikované prostředky pro chlazení a odvod tepla z AZ a BSVP, včetně možnosti jejich připojení k existující technologii.
3. Navrhnout a implementovat alternativní prostředky pro zajištění stejnosměrného napájení a chlazení systémů SKŘ nezbytných pro zajištění monitorování stavu a ovládání vybraných komponent.
4. Navrhnout a implementovat alternativní prostředky pro činnosti a funkční komunikaci (vnitřní i vnější) personálu.

Příležitosti ke zlepšení ochrany do hloubky jsou uvedeny v následující tabulce. Tabulka obsahuje i oblasti, ve kterých je potřebné vypracovat doplňující analýzy, protože v čase provádění hodnocení nebyly k dispozici. Podrobnější popis nápravných opatření je uveden v Příloze

Příležitost ke zlepšení	Nápravné opatření	Termín (krátkodobý I / střednědobý II)	Poznámka
Elektrické napájení I. kat.	Zajistit dodatečný zdroj napájení systémů ZN I. kat. a vybraných spotřebičů ZN II. kat.	II	

Příležitost ke zlepšení	Nápravné opatření	Termín (krátkodobý I / střednědobý II)	Poznámka
Odvod tepla z AZ přes II.O	Zajistit dodatečný zdroj pro doplňování PG	II	
Odvod tepla z AZ přes I.O	Analyzovat možnost alternativního doplňování reaktoru pomocí čerpadla a nové potrubní trasy	II	
Předpisy	Vypracovat postup na obnovu napájení po SBO všech bloků	I	
Předpisy	Vypracovat postup na plnění PG všech čtyř bloků hasičskou technikou	I	
Předpisy	Plnění otevřeného reaktoru a BSVP samospádem ze žlabů XL	I	Realizuje se
Předpisy	Návody EDMG pro použití alternativních prostředků	II	
Analýza	Analýza vybíjecí doby akubaterií při uplatnění řízeného odlehčování zátěže, doplnění PP, změna zapojení a provozování nouzového osvětlení	I	Realizuje se
Ukrytí personálu a komunikace	Zajistit alternativní zdroj pro elektrické napájení krytů a telefonních ústředěn	II	
Pohyb personálu	Zajistit alternativní zdroj elektrické energie pro napájení TSFO	II	
Personál	Zajištění dostatku personálu při dlouhodobém SBO	I	
Havarijní připravenost	Zabezpečit fungování složek havarijní odezvy v případě nedostupnosti HŘS	I	

5.1.2 Loss of the ultimate heat sink

5.1.2.1 Design provisions

Koncový jímač tepla uvolňovaného z paliva bloků EDU tvoří okolní atmosféra. Nezužitkované teplo při výkonovém provozu bloku, resp. zbytkové teplo po odstavení reaktoru, je do koncového jímače tepla - atmosféry – odváděno několika způsoby:

- a) Přes sekundární okruh pomocí systému kondenzace a cirkulační chladicí vody – při normálním i abnormálním provozu v režimu výkonového provozu, najíždění a odstavování TG a v havarijním režimu po odstavení reaktoru, pokud jsou zajištěny pracovní nebo rezervní zdroje napájení. Tento způsob nezajistí převedení reaktoru do studeného stavu.

- b) Prostřednictvím systému dochlazování s předáváním tepla do technické vody důležité (TVD) – při normálním i abnormálním provozu a při havarijních podmínkách, umožňuje převést reaktor do studeného stavu (cca 50 °C v AZ i v BSVP).
- c) Přímým odvodem páry do atmosféry z PG za současného doplňování PG napájecí vodou – při abnormálním nebo havarijním provozu; neumožňuje převést reaktor do studeného stavu (dochlazení max. na cca 110 °C).
- d) Alternativním způsobem dochlazování při nemožnosti udržení přirozené cirkulace chladiva ve smyčkách, metodou feed&bleed na primárním okruhu (PVKO + SAOZ) s odvodem tepla do technické vody důležité – tato strategie je použitelná ve všech případech ztráty odvodu tepla sekundárním okruhem Teplo z AZ je v tomto režimu rozptylováno přímo do kontejnmentu, odkud je přes systémy SAOZ (čerpadla TH, TQ a chladič TQ) odváděno systémem TVD do atmosféry. Z pohledu funkce a ztráty koncového jímače tepla se tento způsob nachází na stejné úrovni s odvodem tepla do systému TVD přes systém dochlazování (obdobu b)

Teplo z bazénů skladu vyhořelého paliva je odváděno systémem TVD.

Odvod tepla z I.O přes sekundární strany PG je zajišťován po odstavení reaktoru při udržování bloku v horkém stavu nebo při vychlazování bloku. Je zabezpečen průtokem napájecí vody do PG (systém normálního nebo havarijního napájení) a odvodem páry z PG do kondenzátoru TG nebo do atmosféry. Odvod tepla z kondenzátorů TG do cirkulační chladicí vody není dále hodnocen, neboť nemusí být k dispozici (jedná o systémy nedůležité z hlediska bezpečnosti).

K vychlazení I.O do studeného stavu, k odvodu tepla z vyhořelého paliva BSVP a k odvodu tepla ze spotřebičů bezpečnostních systémů a systémů souvisejících s jadernou bezpečností slouží systém technické vody důležité, který převádí teplo do atmosféry jako koncového jímače tepla. V provozu jsou současně všechny tři systémy TVD (redundance 3x100 %).

Systém TVD je z pohledu zajištění bezpečnosti a přenosu zbytkového tepla, ať již z paliva v AZ nebo z paliva v BSVP, do koncového jímače tepla klíčový.

Hodnocení ztráty koncového jímače tepla se proto dále zaměřuje hlavně na ztrátu systému TVD. Odvod tepla přes sekundární okruh může být zajištěn kombinací více možností z pohledu řešení, redundantních z pohledu konfigurace systémů. Systémy podílející se na odvodu tepla jsou k dispozici i v případě omezení elektrického napájení na provoz nouzových zdrojů.

Ztráta koncového jímače tepla se hodnotí z pohledu celé lokality. TVD má dvoublokové uspořádání, s provozem čerpadel obou bloků do společné trasy v rámci divize. Ztráta TVD vyvolává menší rizika pro odvod tepla z AZ v režimech, ve kterých je reaktor utěsněn

(všechny režimy bloku, kromě odstávky na výměnu paliva), protože lze počítat s fyzikálním principem přirozené cirkulace chladiva v uzavřeném I.O s ochlazováním v PG, odkud lze zajistit odvod tepla některým z výše uvedených způsobů.

Během výměny paliva (resp. ve stavu, kdy je reaktor roztěsněn) probíhá odvod tepla přes PG ve vodovodním režimu a technologický kondenzátor do TVD. Ztráta nuceného průtoku TVD pak vyvolává pro palivo umístěné v otevřeném reaktoru podobná rizika jako pro palivo v bazénech skladování.

5.1.2.2 Loss of the primary ultimate heat sink

Ztráta koncového jímače tepla nemůže ohrozit odstavení reaktoru ať již automaticky nebo ručně tlačítkem. Vytvoření odstavné koncentrace může být zabezpečeno činností čerpadel havarijního doplňování bóru (nepotřebují k provozu TVD).

Koncový jímač tepla využívaný EDU - atmosféru - nelze ztratit. Odvod zbytkového tepla z paliva umístěného v reaktoru nebo v bazénech skladování, nebo ze spotřebičů BSVP a bezpečnostních systémů do koncového jímače tepla, je založen na pasivním fyzikálním principu přestupu tepla z pomocného média do atmosféry. Ztrátu koncového jímače tepla lze proto hodnotit pouze jako ztrátu schopnosti přenosu tepla, tj. ztrátu systémů, zajišťujících průtoky medií pro přenos tepla mezi zdroji tepla a atmosférou.

Samotná ztráta koncového jímání tepla nemůže ohrozit integritu kontejnmentu pro režimy s uzavřeným reaktorem.. Při ztrátě koncového jímače tepla při otevřeném reaktoru, již není k dispozici žádná další bariéra pro zachycení ionizujícího záření a radionuklidů existuje riziko možnosti úniku na reaktorový sál a případně i mimo JE. Viz 5.2.2.2

Nemožnost doplňování chladicí vody do EDU a ztráta odvodu tepla z TVD do atmosféry

V projektu EDU je uvažována ztráta doplňování surové vody do objemu CCHV. V tomto případě se předpokládá, že odvod tepla ze systému TVD může být zajištěn do atmosféry přes rozliv CHV s využitím zásob vody v EDU. Dále lze využít zásobu chladiva v čířích cca $5 \times 2000 \text{ m}^3$ a zásoby surové vody a v gravitačních vodojemech o objemu $4 \times 2000 \text{ m}^3$ pro kompenzaci ztrát TVD odparem.

Ztráta funkce CHV (nebude k dispozici rozliv TVD na CHV) při možnosti doplňování surové vody z ČSJ není pro EDU kritická, pokud zůstane zachována schopnost systému TVD dodávat vodu ke spotřebičům. Doplňováním surové vody je možné chladit TVD po neomezeně dlouhou dobu. Systém doplňování surové vody však k bezpečnostním systémům nepatří, takže při ÚZNVS nemusí být k dispozici.

Z analýzy výpadku ČSJ a TVD vyplývá, že ve vodních systémech EDU je při konzervativním přístupu (uvažována pouze polovina CČSI a CČSII, hladina v chladicích věžích na min.

hladině) k dispozici zásoba pro cca 26 dnů pro výrobu a doplňování demineralizované vody, a pro cca 39 dnů odvodu zbytkového tepla (provozu čerpadel TVD) z odstavených reaktorů bez doplňování surové vody do systémů TVD na EDU. Funkce přenosu tepla do koncového jímáče tepla tedy není bezprostředně ohrožena.

Při nemožnosti použití rozlivu TVD v CHV pro její chlazení v režimech dochlazování bloků dojde k akumulaci tepla v dostupných vodních objemech (systém TVD a bazény CHV), protože odpar z volné hladiny bazénů CHV nestačí k odvodu zbytkového tepla ani z jednoho reaktoru. Při možnosti doplňování vody do sacích jímek TVD je však udržení přijatelné teploty TVD možné po dobu delší než 72 hodin.

V případě ÚZNVS však nebude možné uvažovat s přívodem surové vody z ČSJ. Bez doplňování chladné vody dojde k ohřívání TVD. Při konzervativně uvažované výchozí teplotě TVD 29°C by došlo k nárůstu teploty TVD na 33 °C (výpočtová hodnota dle technických podmínek pro provoz spotřebičů) po odstavení reaktorů cca za 2 hodiny. S využitím zásoby vody z čističů je možno získat další 3 hodiny provozu jedné divize TVD. Zvýšení teploty TVD by vedlo k přehřívání TG, což však lze úspěšně kompenzovat úměrným snižováním jeho zátěže. Pokud by k tomu nebylo přistoupeno a nebyla přijata žádná další opatření (zvýšení větrání místnosti, přenosná klimatizace) přehřátí DG by mohlo vést k postupnému odstavení DG.

Ztráta systému TVD

Systém TVD je z pohledu zajištění bezpečnosti a přenosu zbytkového tepla, ať již z paliva v AZ nebo z paliva v BSVP, do koncového jímáče tepla klíčový.

Vzhledem k redundanci systémů TVD 3x 100 % a další vnitřní redundanci 2x100 % každé divize TVD (4 čerpadla), je ztráta schopnosti přenosu tepla od zdrojů podmíněna neprovozní schopností všech čerpadel TVD (celkem 12 čerpadel). Vzhledem k prostorové separaci systémů a čerpadel, nezávislosti elektrického napájení a dalších podpůrných systémů je současná neprovozní schopnost všech čerpadel TVD extrémně nepravděpodobná. I při provozu pouze jednoho čerpadla v jedné divizi systému TVD lze zajistit plnění základních bezpečnostních funkcí. Jedinou možnou příčinou ztráty všech čerpadel TVD by mohl být SBO.

V případě, že dochází k nevratnému úniku TVD, který nelze kompenzovat přepnutím na jinou divizi systému, lze pro zpomalení poklesu hladiny v jímce TVD v případech, že nedojde ke ztrátě el. napájení, počítat s maximálním doplňováním surové vody z ČSJ. I za předpokladu, že není porušena trasa od čerpadel TVD ke spotřebičům, tento zásah pouze zpomalí pokles hladiny jímek a v čase 21 hodin dojde k vyčerpání veškeré zásoby vody na sání čerpadel TVD v dané CČS (u jednoho HVB). Rychlost poklesu hladiny v jímkách závisí na velikosti úniku TVD. V případě stejné události na všech blocích současně by byla tato doba kratší.

Availability of an alternate heat sink

Úplná ztráta TVD neznamená okamžitý problém (viz též SBO) vzhledem k možnosti dlouhodobého odvodu zbytkového tepla do atmosféry přes PG po odstavení bloků.

Mezi hlavní netechnologické prostředky využitelné při ztrátě koncového jímače tepla patří čerpací technika hasičského záchranného sboru podniku. Kromě možnosti nouzového doplňování vody do PG přes systém superhavarijního doplňování (pro přímý odvod tepla do atmosféry) však tato technika není uzpůsobena pro zajišťování alternativních metod odvodu tepla ze spotřebičů TVD.

Kromě techniky HZSp na lokalitě EDU nejsou k dispozici další alternativní nebo mobilní zdroje pro zajištění cirkulace, resp. odvod tepla ze spotřebičů TVD, které by byly využitelné pro zlepšení odezvy na ztrátu koncového jímače tepla (SBO, únik Ra látek do okolí JE apod.).

Possible time constraints for availability of alternate heat sink and possibilities to increase the available time

Při utěsněném reaktoru je možné dlouhodobě odvádět teplo z reaktoru v režimu odvodu tepla přes PG, včetně možnosti dochladit blok až na teplotu cca 110 °C Vzhledem k množství kombinací k zajištění tohoto režimu, diverzních z pohledu řešení i redundantních z pohledu konfigurací systémů, není pro zajištění bezpečnostní funkce odvod tepla při uzavřeném reaktoru identifikováno přímé ohrožení.

Pozn.: Pro odvod tepla při uzavřeném reaktoru lze alternativně použít odvod tepla tzv. sekundárním feed&bleed (tzn. napájení PG prostředky HZSp a odvod páry přes PSA).

Při otevřeném reaktoru, kdy je odvod tepla z AZ závislý na provozu TVD (chlazení v režimu PC, odvod tepla na výměníku systému dochlazování ve vodovodním režimu na sekundárním okruhu), je důsledkem ztráty TVD nárůst teploty v AZ. V tomto případě lze zahájit zaplňování bazénů výměny paliva (BVP) havarijními systémy doplňování I.O studenou vodou ze systémů SAOZ (celkem k dispozici až 1240 m³ roztoku kyseliny borité - dle stavu technologie při výměně paliva) a tím oddálit nárůst teploty. Odvod tepla z AZ lze v tomto režimu udržovat po dobu delší než 72 h. Pokud nedojde k obnově odvodu tepla přes TVD, tak teplota v nádržích SAOZ a v BVP může narůst až na mez sytosti. Dále je bezpečný stav AZ udržován další velmi účinnou strategií a to udržováním hladiny v otevřeném reaktoru gravitačním plněním chladičem ze žlabů barbotážní věže. Zásoba chladiwa na doplňování vyvařeného chladiwa je cca 12 dní.

Integritu kontejnmentu samotná ztráta koncového jímání tepla nemůže ohrozit pro režimy s uzavřeným reaktorem. Kontejnment se začne nahřívat, ale nemůže dojít k natlakování až na hodnoty, kdy by byla ohrožena jeho integrita (projektový absolutní tlak 250 kPa). Chlazení

kontejnmentu může být zabezpečeno činností ventilačních systémů kontejnmentu s chladiči napojenými na systém chlazené vody.

V případě havárie s únikem chladiva z I.O do kontejnmentu je jeho integrita zabezpečena nejprve sprchovými čerpadly, dokud sají z nádrže SAOZ. Po přepnutí sprchových čerpadel na sání z podlahy kontejnmentu se začne snižovat účinnost sprchování z důvodu zvyšující teploty na sání. V případě nefunkčnosti sprchových čerpadel je k dispozici pasivní sprchování kontejnmentu vakuo-barbotážním systémem.

Jiný stav nastává při ztrátě koncového jímače tepla při otevřeném reaktoru (při odstávce pro výměnu paliva), kdy již není k dispozici žádná další bariéra pro zachycení ionizujícího záření a radionuklidů. V takovém případě existuje riziko možnosti úniku Ra látek uvolňovaných pouze z chladiva BVP a BSVP při udržování teploty na mezi sytosti na reaktorový sál a případně i mimo JE.

5.1.2.3 Loss of the primary ultimate heat sink and the alternate heat sink

External actions foreseen to prevent fuel degradation

Nezávislými prostředky pro dopravu medií je mobilní technika HZSp. Je možno doplňovat demivodu přímo do PG alternativním způsobem použitím mobilních čerpadel požární vody (tlak na výtlačku čerpadla 0,8-1,2 MPa, průtok 120-150 t/h). V rámci doplnění projektu jsou k dispozici přípojné místa, která umožňují propojení požární techniky s technologií. Alternativní způsob doplňování PG je popsán v EOPs, byl několikrát prakticky vyzkoušen a byla prověřena kapacita této techniky pro zabezpečení základních bezpečnostních funkcí.

Time available to recover one of the lost heat sinks or to initiate external actions and to restore core cooling before fuel damage

Viz kap. 5.1.2.2.2

5.1.2.4 Conclusion on the adequacy of protection against loss of ultimate heat sink

Koncový jímač tepla tvoří u bloků EDU okolní atmosféra. Nezužitkované teplo při výkonovém provozu bloku, resp. zbytkové teplo po odstavení reaktoru lze do koncového jímače tepla - atmosféry - odvádět několika způsoby. Přenos tepla mezi zdroji tepla a atmosférou zajišťuje systém TVD.

Na lokalitě EDU je k dispozici zásoba vody postačující pro cca 39 dnů provozu systému TVD pro odvod zbytkového tepla z odstavených reaktorů EDU, bez externího doplňování vody do systému TVD. Na jeden HVB (2 reaktory) je k dispozici celkem 12 čerpadel TVD. Ke ztrátě všech čerpadel TVD by mohla vést současná ztráta elektrického napájení na obou blocích daného HVB.

Ke ztrátě koncového jímače tepla dochází při ztrátě schopnosti systému TVD přenášet teplo z AZ, BSVP a zařízení bezpečnostních systémů do okolní atmosféry. Pro odvod tepla z AZ na bloku v horkém nebo polohorkém stavu lze při ztrátě TVD využít přímý odvod tepla do atmosféry přes PG, které jsou nezávislé na odvodu tepla systémem TVD. Ztráta TVD je pouze spojena s nemožností vychladit blok do studeného stavu, ale dlouhodobě lze udržovat blok v polohorkém stavu.

Při otevřeném reaktoru, kdy je odvod tepla z AZ závislý na provozu TVD je důsledkem ztráty TVD nárůst teploty v AZ. V tomto případě lze zahájit doplňování bazénů výměny paliva (BVP) havarijními systémy doplňování I.O studenou vodou ze systémů SAOZ (celkem k dispozici až 1240 m³ roztoku kyseliny borité - dle stavu technologie při výměně paliva) a tím oddálit nárůst teploty. Odvod tepla z AZ lze v tomto režimu udržovat po dobu delší než 72 h. Pokud nedojde k obnově odvodu tepla přes TVD, tak teplota v nádržích SAOZ a v BVP může narůst až na mez sytosti. Dále je bezpečný stav AZ udržován další velmi účinnou strategií a to udržováním hladiny v otevřeném reaktoru gravitačním plněním chladivem ze žlabů barbotážní věže. Zásoba chladiva na doplňování vyvařeného chladiva je cca 12 dní.

Důsledky neřešené dlouhodobé ztráty schopnosti odvodu tepla do koncového jímače by v krajním případě mohly být následující:

Poškození paliva v AZ a vyhořelého paliva uloženého v BSVP v důsledku neexistence alternativních způsobů odvodu tepla z AZ, BSVP a komponent chlazených TVD (pokud by nebylo možno doplňovat vyvařené chladivo technikou HZSp.

Ztráta chlazení nouzových zdrojů střídavého napájení (DG) v případě LOOP může způsobit SBO (viz kap 5.1)

Únik radioaktivních látek při varu z otevřeného reaktoru při odstávce resp. z BSVP do okolí.

Ztráta schopnosti ovládnutí systémů a komponent a sdělování hodnot důležitých parametrů v důsledku ztráty funkčnosti systémů SKŘ při nemožnosti odvádět tepelné ztráty od zařízení SKŘ.

5.1.2.5 Measures which can be envisaged to increase robustness of the plant in case of loss of ultimate heat sink

Cílem navržených opatření je posílení úrovně ochrany do hloubky při iniciačních událostech nad rámec stávajícího projektu (zemětřesení, záplavy, extrémní podmínky, výsledky lidské činnosti, atp.), jejichž důsledkem může být ztráta UHS.:

1. Navrhnout a implementovat diverzifikované prostředky pro chlazení a odvod tepla z AZ a BSVP, včetně možnosti jejich připojení k existující technologii.
2. Popsat použití alternativních a diverzifikovaných prostředků (navržených dle bodu 1) – tzv. nouzové plány (EDMG), s cílem zabezpečit chlazení a odvod tepla z AZ a z BSVP.

Příležitosti ke zlepšení ochrany do hloubky jsou uvedeny v následující tabulce. Tabulka obsahuje i oblasti, ve kterých je potřebné vypracovat doplňující analýzy, protože v čase provádění hodnocení nebyly k dispozici. Podrobnější popis nápravných opatření je uveden v Příloze

Příležitost ke zlepšení	Nápravné opatření	Termín (krátkodobý I / střednědobý II)	Poznámka
Odvod tepla z AZ přes II.O	Zajistit dodatečný zdroj pro doplňování PG	II	
Odvod tepla z AZ přes I.O	Analyzovat možnost alternativního doplňování reaktoru pomocí čerpadla a nové potrubní trasy	II	
Diverzní CHV	Realizovat opatření pro diverzní prostředek koncového jímáče tepla (k CHV)	II	Nález PSR
Předpisy	Vypracovat postup na ztrátu UHS a systémů TVD na všech 4 blocích	I	
Předpisy	Doplnit stávající předpisy o postup na plnění PG všech čtyř bloků hasičskou technikou	I	
Předpisy	Ve stávajících předpisech upřesnit způsob plnění otevřeného reaktoru a BSVP samospádem ze žlabů XL	I	Realizuje se
Analýzy	Odvod tepla z chladiva v BSVP pomocí doplňování chladiva a jeho akumulace v TH nádržích	I	Realizuje se
Předpisy	Návody EDMG pro použití alternativních prostředků	II	

5.1.3 Loss of the primary ultimate heat sink, combined with station black out

Při události SBO nejsou napájena čerpadla TVD. Protože prostředníkem přenosu tepla do atmosféry je právě TVD, pak zároveň se SBO dojde ke ztrátě nuceného odvodu tepla z I.O a BSVP do atmosféry. Událost SBO na dvojbloku EDU automaticky znamená ztrátu koncového jímáče tepla daného dvojbloku z důvodu ztráty elektrického napájení čerpadel TVD.

Při ztrátě koncového jímání tepla na dvojbloku EDU a současně ztrátě elektrického napájení z pracovních a rezervních zdrojů dojde vlivem ztráty chlazení DG k situaci SBO na daném

dvojbloku. Důvodem je vzájemná závislost mezi DG a TVD - výpadek jednoho způsobí ztrátu obou.

Pro odvod tepla z postižených bloků zůstává k dispozici strategie feed&bleed na straně II.O. Tato strategie je založena na možnosti napájet PG gravitačně z NN a poté chladičem prostředky HZSp a teplo z I.O odvádět prostřednictvím odpařováním chladiča v PG a vzniklou páru prostřednictvím PSA odvádět do atmosféry. Schopnost odvádět teplo z BSVP je ztracena úplně kromě možnosti doplňování odpařené vody pomocí prostředků HZSp. Vzhledem k tomu, že žádná další rizika pro kombinaci ztráty koncového jímače tepla a SBO nebyla nalezena, platí závěry identifikované v kapitole SBO.

Ztráta koncového jímače tepla v důsledku SBO

Funkceschopnost systému TVD závisí na integritě/funkčnosti CHV. Ztráta funkce CHV vede ke snížení schopnosti odvodu tepla prostřednictvím TVD do koncového jímače tepla. Růst teploty TVD by mohl vést k postupné ztrátě všech DG. Problém by mohl nastat pouze v případě současně vzniklého stavu ÚZNVŠ, kdy by postupně mohlo dojít až k SBO. Důvodem je vzájemná závislost mezi DG a TVD - výpadek jednoho způsobí ztrátu obou.

Při vzniku SBO pouze na jednom bloku z dvojbloku nemusí dojít ke ztrátě UHS, neboť zůstanou provozuschopná čerpadla TVD vedlejšího bloku. Současné vychlazování obou bloků, na které je systém TVD dimenzován, se při události SBO nepředpokládá, a tak jsou zbývající dvě čerpadla TVD schopna kapacitně zajistit i odvod tepla z bloku postiženého událostí SBO. Možnosti udržení průtoku TVD na spotřebiče (chladiče SAOZ, chladiče BSVP, technologické kondenzátory) postiženého bloku jsou však obtížně využitelné z důvodu výpadku čerpadel (čerpadla systémů normálního či havarijního dochlazování, nezbytná pro udržení nuceného průtoku média umožňujícího odvod tepla do koncového jímače tepla na straně I.O resp. II.O).

Vybrané spotřebiče pro odvod tepla jak z I.O, tak z BSVP (čerpadla chlazení BSVP resp. dochlazovací čerpadla) lze alternativně napájet z vedlejšího bloku (způsob obnovy napájení popsán v platném postupu EOPs) a existuje tedy reálná možnost, že odvod tepla jak z I.O, tak z BSVP zůstane zachován a budou plněny dlouhodobě bezpečnostní funkce.

Systémy SKŘ v havarijních stavech po odstavení reaktoru nejsou všechny v provozu, takže produkce odpadního tepla z nich bude menší. To snižuje výrazně potřebu chlazení nutných systémů SKŘ. Nejdůležitější systém PAMS má své vlastní chlazení, které je napájeno rovněž z 1. kategorie napájení.

Událost SBO na obou blocích dvojbloku znamená vždy ztrátu všech čerpadel TVD na dvojbloku a tedy ztrátu média odvádějícího zbytkové teplo z chladičů na I.O i II.O postižených bloků do atmosféry. Zůstává však k dispozici strategie odvodu tepla z AZ

prostřednictvím doplňování PG gravitačním plněním z NN a prostředky HZSp a odvodem páry z PG přes PSA. Pro BSVP není v tomto režimu dlouhodobě zajištěn odvod tepla. Bez obnovení odvodu tepla by došlo k varu chladiva v BSVP a mohlo dojít k odhalování paliva v časně fázi havárie (další popis viz SAMG). Opět lze využít možnosti udržování hladiny BSVP pomocí gravitačního plnění ze žlabů barbotážní věže. Zásoba chladiva na doplňování vyvařeného chladiva je cca 13 dní. Alternativní možností je použití požární techniky na doplňování vyvřelého chladiva a udržování teploty paliva v BSVP. EOPs tuto možnost alternativního doplňování BSVP uvádí, konkrétní postupy pro zásahy na místě nejsou zatím zpracovány.

SBO v důsledku ztráty koncového jímače tepla

Ztráta koncového jímače tepla sama o sobě neovlivní elektrické napájení vlastní spotřeby bloku v případě, že je zajištěno napájení z pracovních nebo rezervních zdrojů. Pokud však při trvalé ztrátě koncového jímače dojde ke ztrátě vnějšího napájení a nezregulují TG na vlastní spotřebu ani na jednom z bloků dvojbloku, dojde k náběhu nouzových zdrojů (DG). Na každém dvojbloku jsou k dispozici tři DG pro lichý a tři DG pro sudý blok, které pro svůj provoz potřebují průtok TVD. Pro provoz DG musí být udržena teplota mazacího oleje (cca 60 °C a teplota chladiva vnitřního okruhu (83 °C).

Ve výjimečných případech, např. v době nouzového napájení JE, rozpadu sítě, ztrátě el. napájení VS elektrárny, apod., kdy by nebylo možné DG nahradit jiným DG nebo jiným zdrojem, by mohl být DG provozován s vyblokovánými ochranami, kdy by zůstala v činnosti pouze ochrana od ztráty tlaku oleje. Bez oleje by se motor DG zadřel a nebyl by ani po obnovení dodávky TVD schopen znovu zajistit el. napájení.

Po startu DG v 10. s v rámci programu postupného spouštění dojde k obnově elektrického napájení dvojice čerpadel TVD (příslušné bloku a divizi). Pokud by průtok TVD nebyl obnoven, nemohl by být DG dlouhodobě provozován. Po připojení DG na rozvodny ZN II. kategorie a nabrání zátěže by docházelo k postupnému zahřívání chladiva vlastního okruhu DG a mazacího oleje. V případě postupné ztráty koncového jímače tepla (např. náhrev TVD z důvodu nemožnosti ochlazovat oteplenou vodu přes rozliv), je možno udržet teploty úměrným snižováním zátěže DG. V případě náhlé ztráty TVD dojde k přehřátí DG a ztrátě jejich provozuschopnosti.

5.1.3.1 Time of autonomy of the site before loss of normal reactor core cooling condition

Viz kapitoly 5.1.1 a 5.1.2

5.1.3.2 External actions foreseen to prevent fuel degradation

Alternativní možností je použití požární techniky na doplňování chladiva a udržování teploty paliva v BSVP. EOPs tuto možnost alternativního doplňování BSVP uvádí, konkrétní postupy pro zásahy na místě nejsou zatím zpracovány.

5.1.3.3 Measures, which can be envisaged to increase robustness of the plant in case of loss of primary ultimate heat sink, combined with station black out

Cílem navržených opatření je posílení úrovně ochrany do hloubky při iniciačních událostech nad rámec stávajícího projektu (zemětřesení, záplavy, extrémní podmínky, výsledky lidské činnosti, atp.), jejichž důsledkem může být ztráta schopnosti plnění bezpečnostních funkcí při SBO v kombinaci se ztrátou UHS.

Opatření pro zvýšení robustnosti bloků při kombinaci SBO a ztráty UHS jsou stejná jako opatření identifikovaná pro případ SBO v kap. 5.1.3.6 a pro případ ztráty UHS v kap. 5.2.5.

5.2 Spent fuel storage pools

Obecný popis systému je v kapitolách 1.3.1.2. a 1.3.3.

Zbytkové teplo z palivových souborů uložených v BSVP odvádějí systémy TG11, TG12, chlazené 1. a 3. systémem TVD.

5.2.1 Loss of electrical power

Při úplné ztrátě elektrického napájení (SBO) dochází ke ztrátě nuceného odvodu tepla z BSVP prostřednictvím TVD do atmosféry. V případě SBO pouze na jednom bloku je možné přivést napájení na čerpadla systému TG11, TG12, ze sousedního bloku přes servisní přívod. Postup je dostatečně popsán v EOPs.

Z pohledu zajištění dostatečné zásoby podkritičnosti není SBO problémem. Geometrie a materiál skladovací mříže zajišťuje dostatečnou podkritičnost i v případě varu chladiva či při zaplnění BSVP vodou bez obsahu H_3BO_3 .

Při ztrátě elektrického napájení se ztrácí provozuschopnost systémů chlazení BSVP TG11, TG12. Nucený odvod tepla z BSVP je při SBO ihned přerušen a dochází k trvalému zvyšování teploty, které je významné zvláště při zaplnění horního roštu. Bez obnovení odvodu tepla by došlo k nárůstu teploty až na hodnotu varu chladiva v BSVP. Chladivo z BSVP by se postupně začalo vyvařovat a pokud by ani poté nebylo přistoupeno k žádnému z dále uvedeného způsobu doplňování vyvařeného chladiva, mohlo by dojít k odhalování paliva v časně fázi havárie.

Při poruše typu SBO tedy není k dispozici žádný projektový diversní systém. Odvod tepla je možné provádět alternativními způsoby (viz kap. 1.3.3.) :

- při roztěsněném reaktoru je možné zajistit dodávku chladiva odpouštěním chladiva z hydroakumulátorů
- doplňování BSVP z výše položených žlabů VBK, kdy lze využít možnosti udržování hladiny BSVP pomocí gravitačního plnění ze žlabů barbotážní věže. Zásoba chladiva na doplňování vyvařeného chladiva je cca 13 dní. EOPs tuto možnost alternativního doplňování BSVP uvádí, konkrétní postupy pro zásahy na místě nejsou zatím zpracovány
- alternativní možností je použití požární techniky pro doplňování chladiva a udržování teploty paliva v BSVP. Bazén je v tomto smyslu pro techniku HZS snadno dostupný (přes vlečkový koridor). Tento krajní případ způsobu chlazení BSVP je založen na plnění BSVP vodou přivedenou do reaktorového sálu pomocí mobilní čerpací techniky s odparem vyvařeného chladiva zpět do reaktorového sálu

Havarijní provozní předpisy EOPs výše uvedené alternativní způsoby doplňování chladiva do BSVP uvádějí, konkrétní postupy pro zásahy na místě nejsou zatím zpracovány.

BSVP jsou umístěny na reaktorém sálu mimo kontejnment v budově reaktorovny. Veškeré palivo umísťované do BSVP je prokazatelně těsné, v případě výskytu netěsného paliva bude toto umístěno do hermetických pouzder v mříži BSVP tvořících pasivní bariéru úniku RA látek a pasivně zajišťující dostatečné chlazení umístěného palivového souboru. Proto při provádění alternativních činností pro zabránění poškození paliva dostatečným udržováním hladiny v BSVP doplňováním chladiva, nebude případné vyvařování chladiva z BSVP na reaktorový sál znamenat výrazné uvolňování RA látek do prostoru reaktorového sálu.

5.2.1.1 Measures which can be envisaged to increase robustness of the plant in case of loss of loss of electrical power

Cílem navržených opatření je posílení úrovně ochrany do hloubky při iniciačních událostech nad rámec stávajícího projektu (zemětřesení, záplavy, extrémní podmínky, výsledky lidské činnosti, atp.), jejichž důsledkem může být SBO:

1. Navrhnout a implementovat alternativní prostředky střídavého napájení stávajícího zařízení pro zajištění chlazení a odvod tepla z AZ a BSVP, včetně možnosti jejich připojení k existujícímu rozvodu el. napájení.
2. Navrhnout a implementovat diverzifikované prostředky pro chlazení a odvod tepla z AZ a BSVP, včetně možnosti jejich připojení k existující technologii.

Příležitosti ke zlepšení ochrany do hloubky jsou uvedeny v následující tabulce. Tabulka obsahuje i oblasti, ve kterých je potřebné vypracovat doplňující analýzy, protože v čase provádění hodnocení nebyly k dispozici. Podrobnější popis nápravných opatření je uveden v Příloze

Příležitost ke zlepšení	Nápravné opatření	Termín (krátkodobý I / střednědobý II)	Poznámka
Elektrické napájení I. kat.	Zajistit dodatečný zdroj napájení systémů ZN I. kat. a vybraných spotřebičů ZN II. kat.	II	
Předpisy	Vypracovat postup na obnovu napájení po SBO všech bloků	I	
Předpisy	Plnění otevřeného reaktoru a BSVP samospádem ze žlabů XL	I	Realizuje se
Předpisy	Návody EDMG pro použití alternativních prostředků	II	

Příležitosti ke zlepšení ochrany do hloubky při SBO, jehož důsledkem může být ztráta schopnosti plnit bezpečnostní funkce, jsou uvedeny ve výše uvedené tabulce. Tabulka obsahuje i oblasti, ve kterých je potřebné vypracovat doplňující analýzy, protože v čase provádění hodnocení nebyly k dispozici.

5.2.2 Loss of ultimate heat sink

Při výpadku systému TVD dochází ke ztrátě nuceného odvodu tepla z BSVP prostřednictvím TVD do atmosféry a není možné odvádět teplo z BSVP standartním způsobem.

Z pohledu zajištění dostatečné zásoby podkritičnosti není ztráta UHS problémem viz 5.2.1.

V případě neschopnosti žádné z kombinací čerpadlo-výměník-TVD odvádět zbytkové teplo z paliva je možné zajistit odvod tepla pomocí odpouštění chladiva z BSVP do TH nádrží systému SAOZ s ohřevem vody v těchto nádržích. Nedochozí přitom k nežádoucímu míchání médií, protože TH nádrže NT jsou určeny k plnění BSVP v režimech výměny paliva (roztok z těchto nádrží slouží ke zvýšení hladiny v BSVP v režimu výměny paliva). Pro účely odpouštění chladiva z BSVP je možné využít k tomu určené čerpadlo TG10D01. Podle tohoto postupu by se postupovalo až do zvýšení teploty ve všech nádržích SAOZ na 60°C. Tímto způsobem je možné prodloužit dobu do dosažení varu v bazénu. Pro případ nedostatečného chlazení BSVP je zpracován postup, který je součástí EOPs.

Jako další způsob odvodu tepla z bazénu je uvažováno doplňování BSVP ze žlabů VBK, které je možné zajistit s použitím čerpadla plnění žlabů VBK XL10D01.

Dalším možným způsobem doplňování BSVP je možnost použití čerpadel TM13(14)D01TM, který slouží pro čištění chladiva BSVP a pomocí těchto čerpadel dodávat chladivo z TH nádrží NT SAOZ do BSVP. Čerpadla TM jsou napájena ze systémových zdrojů II.kategorie.

Při roztěsněném reaktoru v období výměny paliva existuje také možnost dodávky chladiva libovolným čerpadlem VT nebo NT systému SAOZ přímo do reaktoru propojeného s BSVP a odtud do I.O, nebo je možné zajistit dodávku chladiva odpouštěním z hydroakumulátorů.

Při použití chladiva ze všech nádrží SAOZ a barbotážních žlabů vystačí zásoba chladiva pro doplňování ztrát varem chladiva v BSVP na více než 8 dní a to i v případě uspořádání paliva ve dvou mřížích nad sebou.

Pokud žádný z výše uvedených způsobů nelze využít, je chlazení BSVP nadále možné alternativními prostředky a to stejnými jako v případě SBO:

- doplňování BSVP z výše položených žlabů VBK gravitací
- při roztěsněném reaktoru je možné dodávat chladiv odpouštěním z hydroakumulátorů
- plnění BSVP vodou pomocí prostředků HZSp

5.2.2.1 Measures which can be envisaged to increase robustness of the plant in case of loss of ultimate heat sink

Cílem navržených opatření je posílení úrovně ochrany do hloubky při iniciačních událostech nad rámec stávajícího projektu (zemětřesení, záplavy, extrémní podmínky, výsledky lidské činnosti, atp.), jejichž důsledkem může být ztráta UHS:

1. Navrhnout a implementovat diverzifikované prostředky pro chlazení a odvod tepla z AZ a BSVP, včetně možnosti jejich připojení k existující technologii.
2. Popsat použití alternativních a diverzifikovaných prostředků (navržených dle bodu 1) – tzv. nouzové plány (EDMG), s cílem zabezpečit chlazení a odvod tepla z AZ a z BSVP.

Příležitosti ke zlepšení ochrany do hloubky jsou uvedeny v následující tabulce. Tabulka obsahuje i oblasti, ve kterých je potřebné vypracovat doplňující analýzy, protože v čase provádění hodnocení nebyly k dispozici. Podrobnější popis nápravných opatření je uveden v Příloze.

Příležitost ke zlepšení	Nápravné opatření	Termín (krátkodobý I / střednědobý II)	Poznámka
Diverzní CHV	Realizovat opatření pro diverzní prostředek koncového jímače tepla (k CHV)	II	Nález PSR
Předpisy	Vypracovat postup na ztrátu UHS a systémů TVD na všech 4 blocích	I	
Předpisy	Ve stávajících předpisech upřesnit způsob plnění otevřeného reaktoru a BSVP samospádem ze žlabů XL	I	Realizuje se

Příležitost ke zlepšení	Nápravné opatření	Termín (krátkodobý I / střednědobý II)	Poznámka
Analýzy	Odvod tepla z chladiva v BSVP pomocí doplňování chladiva a jeho akumulace v TH nádržích	I	Realizuje se
Předpisy	Návody EDMG pro použití alternativních prostředků	II	

5.2.3 Loss of ultimate heat sink, combined with station black out

Tento případ plně odpovídá stavu popsanému v 5.2.1, protože současně s SBO dochází ke ztrátě systému TVD (UHS).

5.2.3.1 Measures, which can be envisaged to increase robustness of the plant in case of loss of primary ultimate heat sink, combined with station black out

Tento případ plně odpovídá stavu popsanému v 5.2.1.1, protože současně s SBO dochází ke ztrátě systému TVD (UHS).

6 Severe accident management

Pro správné porozumění následujícímu textu je nezbytná znalost obsahu kapitoly 1.3, popisující technologické systémy k zajištění plnění hlavních i podpůrných bezpečnostních funkcí JE Dukovany.

6.1 Organization and arrangements of the licensee to manage accidents

6.1.1 Organisation of the licensee to manage the accident

Základním cílem bezpečnosti JE je zabránit nekontrolovaným únikům radioaktivních materiálů, především těch, které jsou vytvářeny v AZ reaktoru. Pro zajištění tohoto cíle je projekt založen na koncepci tzv. "ochrany do hloubky", která spočívá na principu využití vícenásobných fyzických bariér bránících úniku radioaktivních materiálů. Cílem zvládnutí těžkých havárií je zabezpečení 4. úrovně ochrany do hloubky (zmírňovat následky po vzniku těžké havárie), po selhání 3. úrovně ochrany do hloubky (tj. neúspěchu při prevenci poškození paliva při řízení projektových a nadprojektových událostí). Na zvládnutí havárií navazuje systém havarijní připravenosti, jehož hlavním cílem je zabezpečení 5. úrovně ochrany do hloubky (zmírňovat radiační následky významných úniků Ra látek).

Fungující systém zvládnutí těžkých havárií je zabezpečen souborem opatření personálního, administrativního a technického charakteru. V personální oblasti se jedná o vytvoření organizace havarijní odezvy a zajištění činností příslušejících jednotlivým funkcím, v administrativní oblasti o zpracování a implementaci příslušných postupů, návodů a instrukcí a v technické oblasti o zabezpečení funkčnosti požadovaného rozsahu technických prostředků pro implementaci strategií a o vytvoření struktury havarijních podpůrných středisek, z nichž personál zajišťuje řízení a provádění zásahů. Provádění zásahu při vzniku mimořádné události je na JE zabezpečováno v první fázi rozvoje mimořádné události vždy personálem nepřetržitého směnového provozu (IOHO – interní organizace havarijní odezvy), pod řízením SI.

V případě, kdy událost svým rozsahem přerůstá nad rámec možností personálu nepřetržitého směnového provozu, je IOHO doplněna zaměstnanci držícími pohotovost v rámci organizace havarijní odezvy (POHO – pohotovostní organizace havarijní odezvy). V tomto případě jsou aktivovány havarijní podpůrná střediska: Havarijní štáb, Technické podpůrné středisko, Vnější havarijní podpůrné středisko, Havarijní informační středisko a Logistické podpůrné středisko. Odpovědnost za řízení zásahů po aktivaci HŠ přebírá od SI Velitel HŠ.

Obr. 6.1.1-1 Vztah mezi fyzickými bariérami a úrovněmi ochrany do hloubky

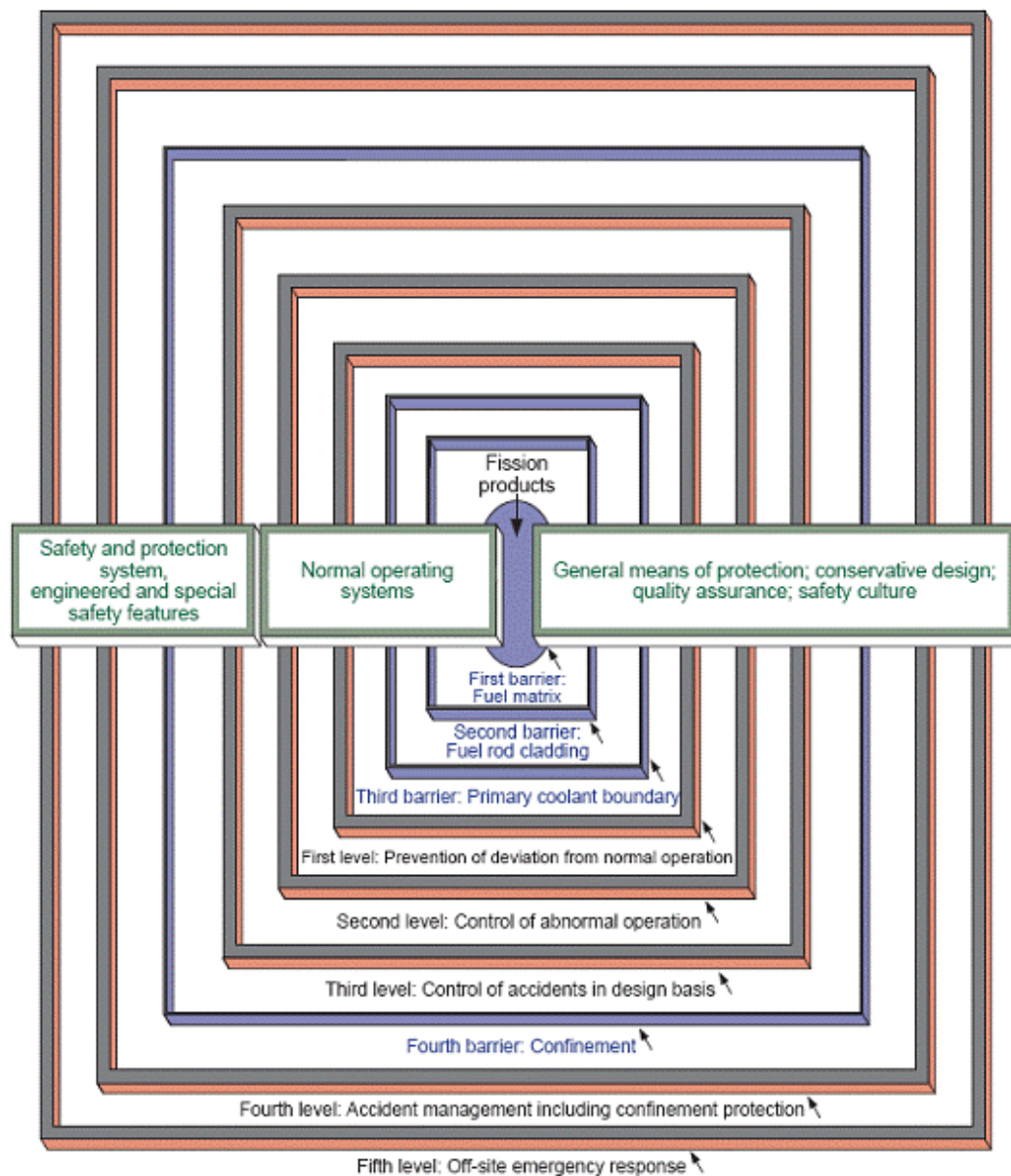


FIG. 4. The relation between physical barriers and levels of protection in defence in depth.

6.1.1.1 Staffing and shift management in normal operation

Provoz všech bloků EDU je zabezpečen směnovým personálem. Počet personálu na každé směně a jeho kvalifikace zabezpečuje zvládání všech provozních stavů bloků za normálních, abnormálních i havarijních provozních podmínek. Směny jsou pravidelně střídány podle směnového harmonogramu tak, aby měl provozní personál dostatečný časový prostor na odpočinek a udržování požadované kvalifikace (školení, výcvik, ověřování znalostí, zdravotní a psychická způsobilost...).

Směnový personál provádí všechny činnosti podle provozní dokumentace (postupy, instrukce, programy ...), pokrývající normální a abnormální provoz i havarijní podmínky (zahrnují všechny projektové a částečně i nadprojektové události až do poškození paliva). Ve všech těchto provozních stavech směnový personál řídí a provádí činnosti s možnou podporou ostatního technického personálu JE. V případě vzniku havarijních podmínek s poškozením paliva přechází odpovědnost za řízení činností na personál TPS a HŠ a směnový personál pokračuje v provádění činností podle požadavků TPS a HŠ.

Operativní řízení celé JE je zabezpečeno Směnovým inženýrem (SI), jeho zástupcem na směně je bezpečnostní inženýr.

Směnový inženýr EDU je odpovědný za provedení klasifikace, vyhlášení MU a provedení aktivace potřebné části organizace havarijní odezvy EDU. V případě potřeby je oprávněn aktivovat část organizace havarijní odezvy i dříve, než jsou naplněna kritéria pro její aktivaci. Během rozvoje MU může SI na základě dalších upřesňujících informací provést změnu klasifikace dle aktuálního stavu.

Řízení každého bloku JE v případě vzniku mimořádné události je zajišťována následujícími pracovními funkcemi:

- Vedoucí reaktorového bloku (VRB)
- Operátor primárního okruhu (OPO)
- Operátor sekundárního okruhu (OSO)

Základním pracovištěm tohoto personálu je příslušná blokova dozorna. V případě její neobyvatelnosti, respektive ztráty možnosti ovládání blokové technologie, zabezpečují své činnosti z nouzové dozorny.

Na postiženém bloku EDU je při vyhlášení MU personál BD doplněn bezpečnostním inženýrem (BI), který přebírá zodpovědnost za řízení technologie a stává se kontaktní osobou mezi velitelem TPS a blokovou dozornou postiženého bloku.

6.1.1.2 Plans for strengthening the site organization for accident management

Systém havarijního plánování je implementován v souladu s požadavky a metodikami IAEA a zároveň jsou zapracovány všechny legislativní požadavky ČR. Havarijní plánování patří mezi základní atributy jaderných elektráren v ČR. Cílem HP na JE je zabezpečit technickou, personální a dokumentační připravenost zaměstnanců elektrárny a externích organizací podílejících se na řešení mimořádných událostí s důrazem na:

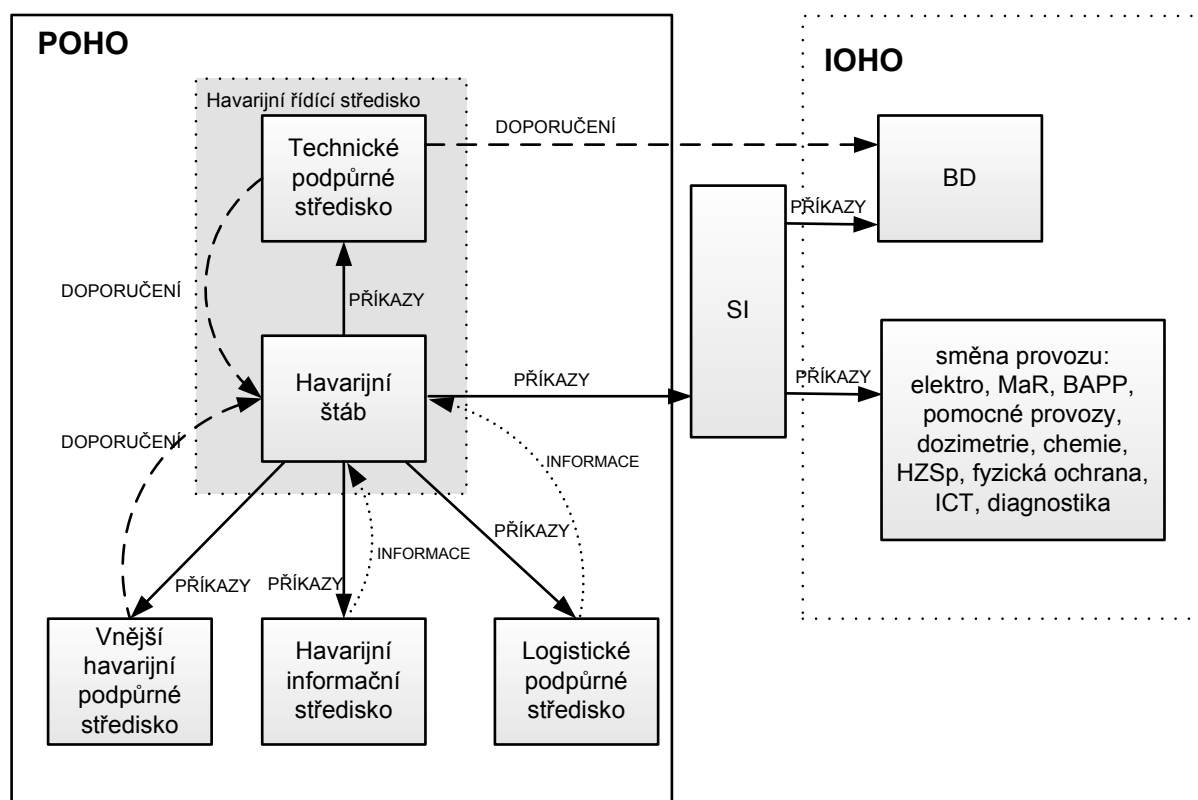
- Předcházení vážných zdravotních poškození při mimořádné události

- Snížení rizika vzniku mimořádné události, nebo zmírnění následků mimořádné události v lokalitě JE a v ZHP.

Strategické cíle společnosti ČEZ jsou transformovány do stanovených dlouhodobých cílů a úkolů v oblasti HP v souladu s politikou bezpečnosti.

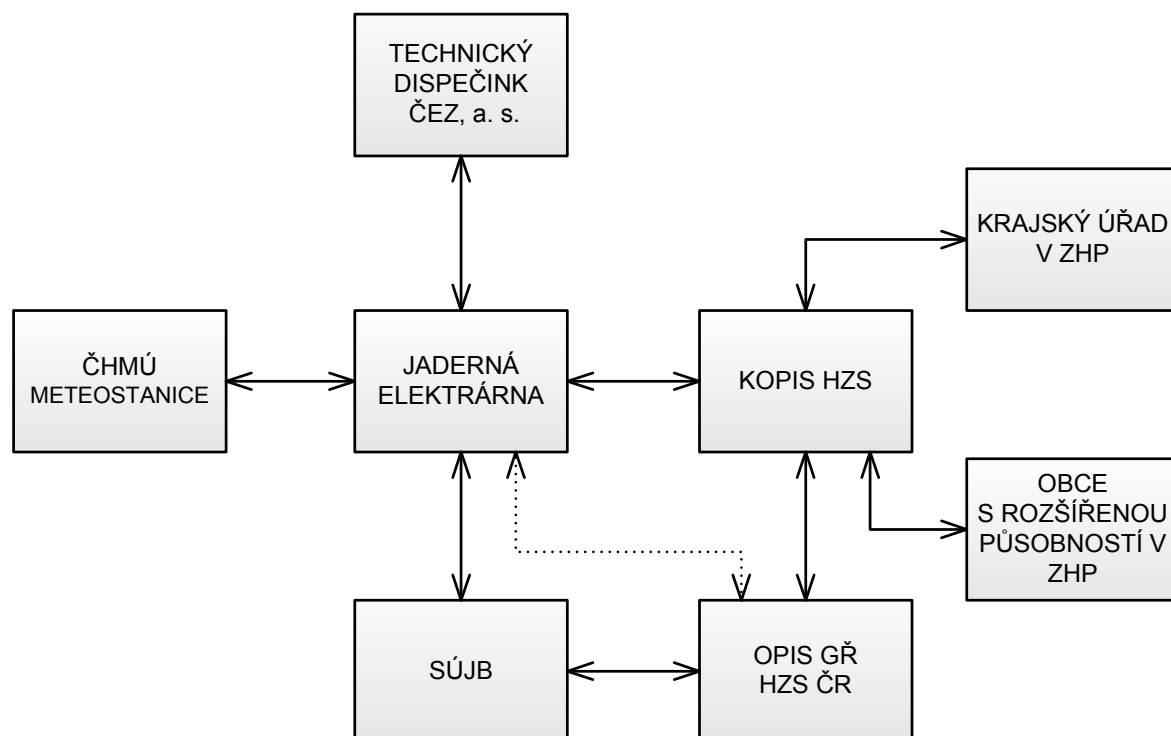
Strategie HP vychází z logického vývoje jakékoliv události na JE. Pro případ vzniku mimořádné události jsou zpracovány pro potřeby řízení a provádění zásahu příslušné zásahové postupy, respektive zásahové instrukce pro zaměstnance, případně další osoby, na vybraných pracovních funkcích zařazených do Organizace havarijní odezvy (OHO).

Obr. 6.1.1-2 Struktura OHO s uvedením vzájemných vazeb a toku informací



Při vzniku MU zajišťuje SI ihned vyrozumění vedení EDU a ČEZ, dále bezodkladně ohlašuje událost na SÚJB, KÚ, Krajské ředitelství HZS, na obce s rozšířenou působností, na TD ČEZ a na Meteostanici. K předání informace se používá vyplněného formuláře „Prvotního oznámení, respektive Následných hlášení o vzniku mimořádné události“. Pro odeslání formulářů se využívá elektronická pošta, popř. fax. Při nemožnosti navázání přímého spojení s SÚJB se používá záložní cesta přes operační středisko HZS (znázorněno přerušovaně). Principiální znázornění vyrozumění orgánů je znázorněno na obrázku.

Obr. 6.1.1-3 Vyrozumění vnějších orgánů při vzniku MU



Pro potřeby plánování zajištění ochrany obyvatelstva v okolí jaderné elektrárny pro případ vzniku radiační havárie a pro potřebu vypracování vnějšího havarijního plánu je rozhodnutím SÚJB stanovena zóna havarijního plánování JE pro EDU území o poloměru 20 km. Pro zabezpečení opatření k přípravě a provedení evakuace obyvatelstva byla dále tímto rozhodnutím stanovena vnitřní část ZHP daná plochou kruhu o poloměru 10 km se zahrnutím obcí na jeho hranici.

Obr. 6.1.1-4 Zóna havarijního plánování



6.1.1.3 Measures taken to enable optimum intervention by personnel

Při ohrožení bezpečnosti na bloku nebo na lokalitě nebo při vzniku situace, kterou nelze zvládnout silami směny vyhláší směnový inženýr jeden ze 3 stupňů mimořádné události,

MU 1. stupně (Alert),

MU 2. stupně (Site emergency),

MU 3. stupně (General emergency),

Pro zvládání mimořádných situací je vytvořena organizace havarijní odezvy, která má interní součást (IOHO), složenou ze směnového personálu a pohotovostní součást (POHO), složenou ze specialistů technického personálu JE, kteří drží hotovost (v rámci 4 směn).

Hotovost POHO je organizačně zabezpečena tak, že do 20 minut v pracovní době a do 1 hodiny v mimopracovní době od vyhlášení mimořádné události se příslušní specialisté dostaví na EDU do HŘS. Prostředky pro aktivaci personálu POHO jsou zálohované.

Hodnocení odchylek od normálního provozu podle klasifikačního systému podléhá na jaderné elektrárně každá událost významná z hlediska bezpečnosti, která pokud není řešena může vést ke vzniku mimořádné události. Klasifikace závažnosti mimořádných událostí vychází z požadavků vyhlášky SÚJB č. 318/2002 Sb. v platném znění, s přihlédnutím k doporučením IAEA v dokumentu TECDOC-955 „Generic assessment procedures for determining protective actions during a reactor accident“. Účelem klasifikace mimořádných událostí je zejména zajištění včasné aktivace organizace havarijní odezvy a volba vhodné a účinné odezvy.

Postup posuzování závažnosti vzniklých mimořádných událostí na jaderných elektrárnách je uveden v příslušných zásahových instrukcích. Posuzování závažnosti vzniklých nahlášených událostí provádí SI porovnáním typu nahlášené události s množinou předem nadefinovaných zásahových úrovní. Klasifikaci MU je oprávněn provést také velitel havarijního štábu. Zásahové úrovně ve své podstatě představují soubor předem určených, místně specifických, iniciačních podmínek, při jejichž dosažení je stav jaderné elektrárny zařazen do příslušného klasifikačního stupně a typu. Zásahové úrovně jsou zpracovány pro všechny provozní režimy jaderné elektrárny. Iniciační podmínkou může být překročení některého ze stanovených parametrů, eventuálně výskyt diskrétních interních a externích událostí, jejichž rozvoj může ohrozit jadernou bezpečnost a radiační ochranu jaderné elektrárny.

Typy mimořádných událostí

Včasná identifikace typu vzniklé události a ocenění její závažnosti z hlediska bezpečnosti jaderné elektrárny umožňuje provést volbu přiměřené odezvy. Mimořádné události jsou z hlediska svého vzniku rozděleny do tří základních typů:

- Události z technologických příčin
- Radiační události
- Události z jiných rizik

Toto členění zásahových úrovní umožňuje směnovému inženýrovi snadnější identifikaci závažnosti vzniklé mimořádné události zejména ve vazbě na zajištění jaderné bezpečnosti a radiační ochrany.

V případě naplnění kritérií nebo podezření na vznik mimořádné události provede SI nejdříve ověření zda se jedná o radiační mimořádnou událost z netechnologických příčin. Pokud tuto možnost vyloučí, ověřuje, zda došlo k události z technologických příčin, která může vést k

poškození ochranných bariér, eventuálně k následnému úniku radioaktivních látek, tj. radiační události z technologických příčin.

V případě potvrzení mimořádné události z technologických příčin (tj. událostí spojených s procesem jaderného štěpení) provede nejdříve kontrolu zda došlo k výskytu zásahové úrovně „Poruchy systémů a komponent“. Při identifikaci příslušné zásahové úrovně vyhlásí odpovídající stupeň mimořádné události. Současně zkontroluje, zda nemůže dojít, či již došlo i k dosažení některé ze zásahových úrovní kategorie „Narušení integrity ochranných bariér“. V kladném případě provede buď potvrzení vyhlášeného stupně MU nebo jeho přehodnocení a vyhlášení vyššího stupně. Obdobně pokračuje i v oblasti radiačních zásahových úrovní. V opačném případě, tj. pokud neidentifikuje dosažení zásahové úrovně z kategorie „Narušení integrity ochranných bariér“, provádí periodickou kontrolu správné identifikace zásahové úrovně „Poruchy systémů a komponent“.

Pokud se nejedná o radiační MU z netechnologických příčin ani o MU z technologických příčin provede SI kontrolu zda nahlášená událost odpovídá některé z předem nadefinovaných zásahových úrovní kategorie „Události z jiných rizik“. Při identifikaci příslušné zásahové úrovní vyhlásí odpovídající stupeň mimořádné události. Současně zkontroluje, zda v důsledku zjištěné MU z jiných rizik není pravděpodobné, že dojde, respektive zda již nedošlo k selhání systémů a komponent. Princip dalšího posuzování je potom stejný jako v případě vzniku událostí z technologických příčin.

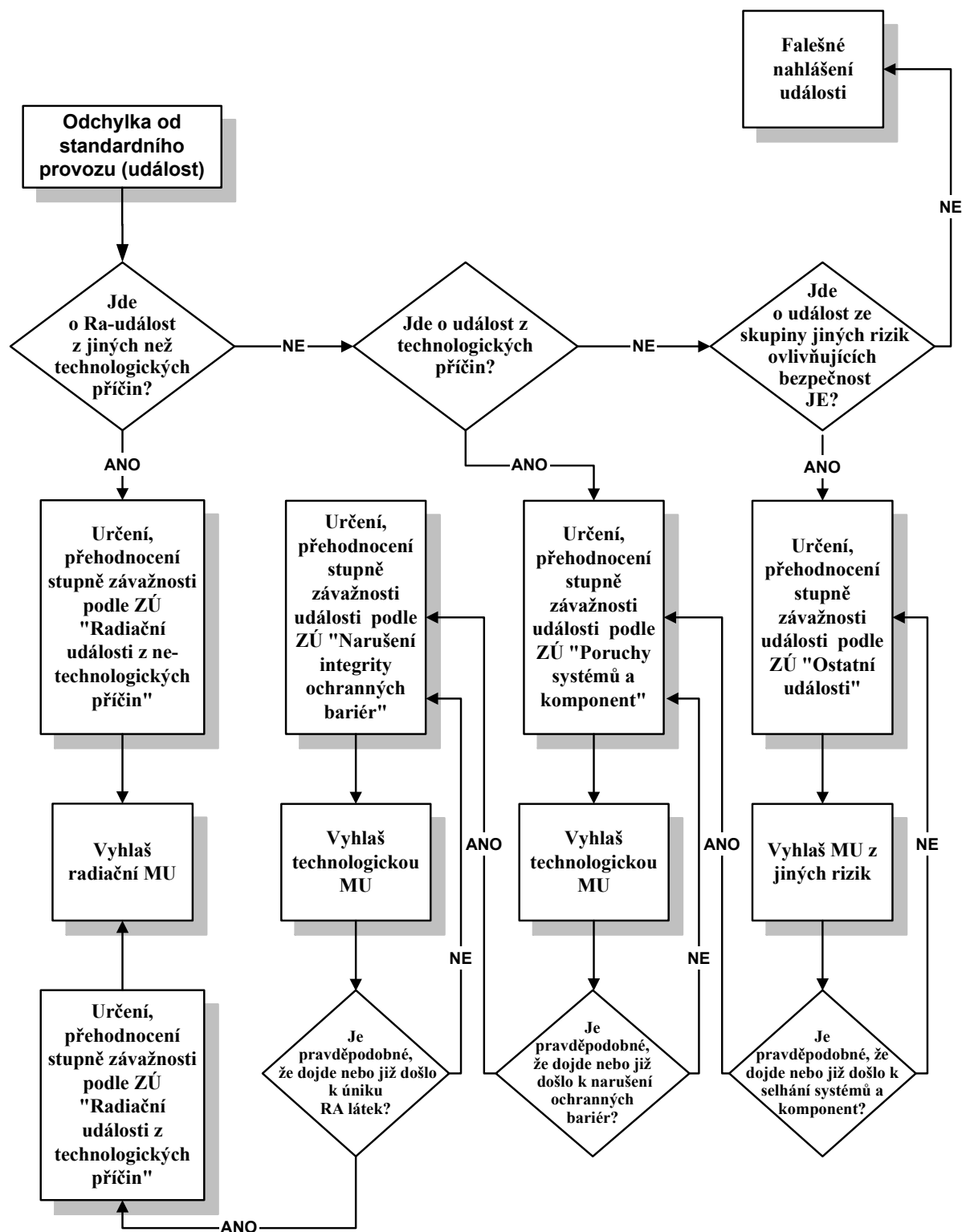
Vyhlášení MU je plně v kompetenci SI. V případě vyhlášení MU 1. stupně se aktivuje pouze technická součást POHO (technická podpůrná skupina - TPS), v případě vyhlášení MU 2. a 3. stupně se aktivuje i zbývající část - Havarijní štáb EDU (HŠ).

SI je odpovědný za všechny činnosti spojené s řešením MU do doby, než velitel HŠ převezme odpovědnost za řešení MU. SI nadále zůstává odpovědný za řízení technologie na neporušených blocích. Na postiženém bloku řídí likvidaci BI. SI je odpovědný za plnění příkazů velitele HŠ v oblasti řízení a koordinace činnosti pracovníků směny.

Do doby převzetí odpovědnosti velitem HŠ SI zajišťuje:

- podává předepsané informace
- koordinuje součinnost HZSp, lékařské pohotovosti, ostražky G4S
- v případě MU. 3. stupně zabezpečuje varování zaměstnanců v areálu EDU i obyvatel v ZHP
- v případě potřeby řídí ukrytí personálu

Obr. 6.1.1-5 Postup při posuzování typu vzniklé mimořádné události



Pracovištěm TPS i HŠ je Havarijní řídicí středisko (HŘS), které je umístěno v krytu v areálu EDU. Při vyhlášení MU 2. a 3. stupně se rovněž aktivují následující střediska:

- logistické podpůrné středisko v Třebíči (soustředění, stravování a ubytování potřebných specialistů pro řešení havarijní situace),

- havarijní informační středisko v Třebíči (zajištění styku s novináři a informování veřejnosti)
- vnější havarijní podpůrné středisko v Moravském Krumlově (zajištění radiačního monitorování v ZHP). Všechna tato střediska jsou řízena havarijním štábem.

Organizační způsob zvládání mimořádných událostí je stanoven ve Vnitřním havarijním plánu schváleném SUJB.

Pro řešení technologických havárií (až do poškození paliva) jsou zpracovány strategie, které jsou obsaženy v havarijních provozních postupech (EOPs). Pro zmírňování následků havárií po poškození paliva (těžké havárie) jsou zpracovány strategie, které jsou obsaženy v návodech pro řízení těžkých havárií (SAMG). V EOPs je vždy hlavní prioritou obnovení odvodu tepla z AZ a zabránění poškození 1. bariéry proti úniku štěpných produktů (pokrytí paliva), zatímco v SAMG je hlavní prioritou zabránění poškození 3. bariéry proti úniku štěpných produktů (kontejnment), která je v tu chvíli poslední neporušenou bariérou.

Interní organizace havarijní odezvy

Interní organizace havarijní odezvy je tvořena výhradně směnovým personálem, tj. zaměstnanci, kteří zajišťují normální provoz JE. Personál nepřetržité směny zabezpečuje dle pokynů směnového inženýra veškeré činnosti spojené s potlačením projevů vznikající mimořádné události až do doby aktivace zaměstnanců držících v rámci organizace havarijní odezvy nepřetržitou pohotovost.

Směnový inženýr v případě vzniku MU je odpovědný za vyhlášení MU a řízení činností v souladu s MU až do doby, kdy odpovědnost předá aktivovanému Veliteli HŠ. Jeho činnost se při vzniku MU řídí dle ZI pro SI, ve které jsou uvedeny všechny odpovědnosti a pravomoci, mezi nejdůležitější patří: posouzení závažnosti MU - klasifikace, zabezpečení vyzkoušení a varování personálu JE a varování v ZHP, vyzkoušení vedení JE a příslušných orgánů a organizací o vzniku MU, rozhodnutí o aktivaci POHO, rozhodnutí o ochranných opatřeních pro personál JE. Odpovědnost za technologii dál zůstává v kompetenci SI.

Personál nepřetržitého směnového provozu (kromě řídicího personálu směny na BD) v případě vyhlášení mimořádné události v závislosti na stupni závažnosti buď nadále vykonává činnosti podle příslušných zásahových instrukcí a pokynů řídicího personálu směny nebo se shromažďují v případě vyhlášení ochranných opatření v provozním podpůrném středisku v krytu pod provozní budovou, odkud na základě pokynů SI nebo HŠ provádějí požadované zásahy na technologii nebo vytvářejí operativní podporu jednotce HZSp při vyprošťovacích a záchranných pracích.

Pro potřebu zajištění realizace ochranných opatření ukrytí a evakuace jsou ustanovena krytová družstva zabezpečující aktivaci a následný provoz krytů v areálu JE. Základní

povinnosti členů krytových družstev v krytu jsou: řízení režimu v krytu, evidence ukrytých, pořádková služba, obsluha VZT, dozimetrické přeměřování osob, obsluha DGS.

Pohotovostní organizace havarijní odezvy

Pohotovostní organizace havarijní odezvy je tvořena personálem havarijních podpůrných středisek držících týdenní nepřetržitou hotovost.

- **Havarijní štáb**

Havarijní štáb je hlavním řídicím pracovištěm organizace havarijní odezvy JE. Po své aktivaci zabezpečuje vyhlásování ochranných opatření pro zaměstnance a další osoby nacházející se v areálu JE v době vzniku mimořádné události, řízení činností všech zaměstnanců a dalších osob podílejících se na provádění zásahu při potlačování rozvoje a řešení následků mimořádné události v jaderné elektrárně a zajišťuje komunikaci s vnějšími složkami havarijní připravenosti. Havarijní štáb zabezpečuje dodávky nezbytného materiálu, speciálních prostředků, střídání personálu a jejich materiálního zabezpečení prostřednictvím logistického podpůrného střediska.

- **Technické podpůrné středisko**

Technické podpůrné středisko je profesně obsazené tak, aby mohlo poskytovat kvalifikovanou technickou podporu personálu dozorny postiženého bloku při řešení mimořádných událostí. Personál TPS současně zajišťuje okamžité hodnocení bezpečnostního stavu jaderné elektrárny se zřetelem na jadernou bezpečnost a radiační ochranu, řídí činnost operativně ustanovovaných zásahových skupin při řešení následků mimořádných událostí a je schopen zpracovávat podklady a doporučení pro rozhodovací a řídicí činnost havarijního štábu. Vedoucí TPS může prostřednictvím SI nebo velitele havarijního štábu vyžádat posílení TPS o další specialisty.

- **Vnější havarijní podpůrné středisko**

VHPS zabezpečuje činnosti spojené s radiačním monitorováním a hodnocením radiační situace v zóně havarijního plánování a na základě výsledků radiačního monitorování i prognózy dalšího vývoje radiační situace.

- **Havarijní informační středisko**

Personál havarijního informačního střediska zajišťuje v případě vzniku mimořádné události předávání veškerých informací masmédiím a zodpovídání dotazů veřejnosti. Jeho činnost je zaměřena zejména na informování laické veřejnosti a orgánů státní správy a samosprávy bezprostředně nezapojených do systému vnější havarijní připravenosti jaderné elektrárny. Zodpovídá za přípravu tiskových zpráv pro sdělovací prostředky. Havarijní informační středisko je umístěné v areálu hotelu Atom v Třebíči.

- **Logistické podpůrné středisko**

Personál logistického podpůrného střediska zajišťuje potřebné materiálně technické prostředky a kvalifikované lidské zdroje dle požadavků a potřeb havarijního štábu, technického podpůrného střediska a vnějšího havarijního podpůrného střediska. Logistické podpůrné středisko představuje vnější podporu OHO. Logistické podpůrné středisko je umístěné v areálu hotelu Atom v Třebíči.

6.1.1.4 Use of off-site technical support for accident management

Zabezpečení externí podpory a případné použití dalších kapacit, zdrojů a prostředků řídí v HŠ funkce Logistik, ve spolupráci s logistickým podpůrným střediskem.

Pro výpomoc s dopravou, či těžkou technikou bude využit integrovaný záchranný systém ČR s operačním střediskem u HZS kraje Vysočina popřípadě HZS Jihomoravského kraje, který má pravomoc v rámci IZS vyzvat další složky a organizace k pomoci při zvládnutí následků mimořádné události. V rámci celé skupiny ČEZ je pro postiženou lokalitu nastavena pomoc prostřednictvím krizového štábu ČEZ pro postiženou lokalitu. V rámci tohoto orgánu by byla zajišťována dostupnost externích specialistů (dodavatelé, experti z výkumných ústavů ÚJV Řež, EGP, VÚJE se znalostmi dané problematiky, zahraniční pomoc z ostatních JE typu VVER v lokalitách elektrárny Bohunice, elektrárny Mochovce, atp.). Nejúčinnější pomoc se předpokládá z elektrárny Temelín.

Na zajištění vnější havarijní připravenosti JE se podílí celá řada orgánů a organizací jak na národní, tak lokální úrovni.

Při výskytu MU a následném řešení vzniklé MU komunikuje Jaderná elektrárna s následujícími vnějšími orgány a organizacemi na národní i lokální úrovni.

- **SÚJB - Krizový štáb**

Krizový štáb SÚJB zabezpečuje prostřednictvím radiační monitorovací sítě České republiky nezávislé hodnocení radiačních projevů vzniklé radiační mimořádné události. Na základě výsledků monitorování jednotlivých složek monitorovací sítě České republiky poskytuje podklady pro rozhodování Krizového štábu kraje o opatřeních k ochraně obyvatelstva.

- **Krajský úřad**

Krajský úřad zabezpečuje koordinaci vnější havarijní připravenosti všech obcí s rozšířenou působností jejichž území zasahuje do ZHP. Hejtman příslušného kraje řídí ve spolupráci se starosty dotčených obcí s rozšířenou působností veškeré činnosti spojené se zajištěním vnější havarijní připravenosti v celé zóně havarijního plánování a rozhoduje o vyhlášení a realizaci opatření na ochranu obyvatelstva. Jako poradní orgán mu slouží Krizový štáb kraje. Vyhlášení neodkladných ochranných opatření provádí na základě doporučení Krizového štábu SÚJB zpracovaných z výsledků radiačního

monitorování a dalších podkladů poskytovaných jednotlivými složkami radiální monitorovací sítě.

Provozovatel poskytuje, v případě radiální havárie na jaderné elektrárně, krizovému štábu kraje prostřednictvím havarijního štábu potřebnou součinnost, data a informace nezbytné pro posouzení závažnosti vzniklé situace. Pro zajištění součinnosti odesílá Jaderná elektrárna do Krizového štábu kraje svého zástupce.

- Obce s rozšířenou působností

Starostové dotčených obcí s rozšířenou působností rozhodnou o svolání krizových štábů obce a řídí vyhlásování a realizaci ochranných opatření na dotčeném území obce s rozšířenou působností. Při řízení těchto činností vychází z Vnějšího havarijního plánu. Ochranná opatření vyhláší po předcházejícím projednání s krizovým štábem kraje, který zajišťuje vzájemnou koordinaci zpráv a informací předávaných mezi jednotlivými obcemi s rozšířenou působností, SÚJB a Jadernou elektrárnou. Tento postup slouží k zajištění provázanosti vyhlásování ochranných opatření na území spadající pod správu jednotlivých obcí s rozšířenou působností.

- Český hydrometeorologický ústav

Český hydrometeorologický ústav zabezpečuje pro jaderné elektrárny vyhodnocování aktuální meteorologické situace a zpracování prognóz dalšího vývoje. Výstupy základních meteorologických údajů nezbytných pro ocenění potenciálního nebo skutečného šíření radioaktivních úniků v okolí JE předává do příslušných informačních sítí JE.

- IZS – Integrovaný záchranný systém

Integrovaný záchranný systém (dále jen IZS) je budován za účelem koordinovaného řízení a řešení mimořádných situací, bez další bližší specifikace, zda jde o průmyslovou nehodu, záplavy, zemětřesení, či jinou živelnou pohromu. Legislativně je problematika řešena v zákonech o integrovaném záchranném systému a o krizovém řízení. V rámci IZS je zpracován Ústřední poplachový plán IZS, který se použije pokud v důsledku mimořádné události nebo krizové situace nebo bezpečnostní akce nastane potřeba a jsou splněny zákonem stanovené podmínky pro ústřední koordinaci záchranných a likvidačních prací, resp. jestliže hejtman kraje, starosta obce s rozšířenou působností, ředitel HZS kraje nebo velitel zásahu požádají prostřednictvím operačního a informačního střediska IZS kraje o pomoc a o síly a prostředky, kterými nedisponují složky IZS na úrovni kraje pro provedení záchranných a likvidačních prací při mimořádné události řešené samostatně v příslušném kraji.

Síly a prostředky při ústřední koordinaci záchranných a likvidačních prací povolává a nasazuje Ministerstvo vnitra - generální ředitelství Hasičského záchranného sboru

České republiky (dále jen „generální ředitelství“) prostřednictvím svého operačního a informačního střediska

- Hasičský záchranný sbor

Hasičský záchranný sbor zabezpečuje na základě pokynu z jaderné elektrárny varování obyvatelstva v zóně havarijního plánování pomocí sirén ovládaných prostřednictvím národního integrovaného systému varování a dále zabezpečuje odvysílání příslušných rozhlasových a televizních relací u ČT a ČRo. HZS kraje pro ČEZ, a. s. rovněž zabezpečuje vyrozumění dotčených obcí s rozšířenou působností prostřednictvím krajských operačních a informačních středisek HZS (v souladu s vyhláškou č. 318/2002 Sb. v platném znění).

- Policie, bezpečnostní služba a armáda

V rámci IZS je, mimo jiné, vyčleněno pro záchranné práce 6 vrtulníků (AČR a Policie ČR) s možností přepravy osob a nákladu, kdy 4 posádky jsou v pohotovostním režimu s možností aktivace do 10 minut ve dne a 20 minut v noci.

- Záchranná zdravotní služba (Traumatologický plán)

V prostorách EDU je na základě smlouvy zřízena lékařská služba první pomoci (dále jen LsPP) s nepřetržitou pohotovostí, která je odpovědná za výkon lékařské služby. V pracovní době je zajišťována závodními lékaři (2) a zdravotními sestrami (2), v mimopracovní době smluvními lékaři, resp. sestrami. LsPP je nepřetržitě obsazena pohotovostním lékařem, zdravotní sestrou a řidičem dopravní zdravotní služby. Lékař LsPP při vzniku mimořádné události odpovídá, mimo jiné, za:

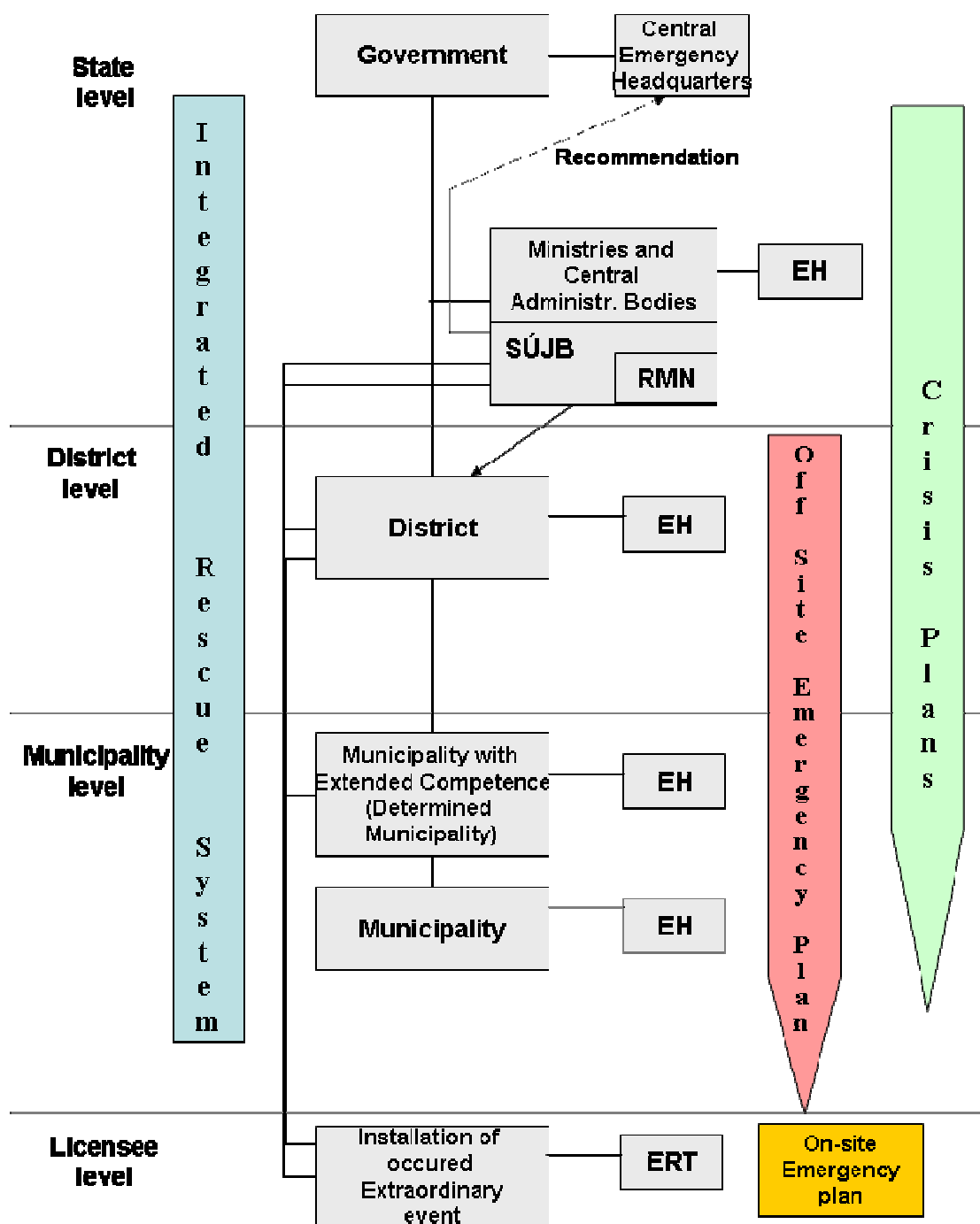
- řízení a koordinaci zdravotnické části zásahu,
- způsob poskytnutí první pomoci zaměstnancům a dalším osobám postiženým mimořádnou událostí,
- způsob zajištění zdravotnického ošetření zaměstnanců a dalších osob postižených mimořádnou událostí,
- zajištění odborné, popřípadě specializované lékařské pomoci zaměstnancům a dalším osobám postiženým mimořádnou událostí,
- součinnost se zasahujícími osobami zajišťujícími řízení a provádění zásahu a monitorování radiční situace.

Součástí dokumentu jsou i vazby a toky informací při řešení traumatologické události v případě vzniku mimořádné události a vazby na specializovaná zdravotnická zařízení (bylo ustanoveno zřízení čtyř „Středisek specializované zdravotní péče“).

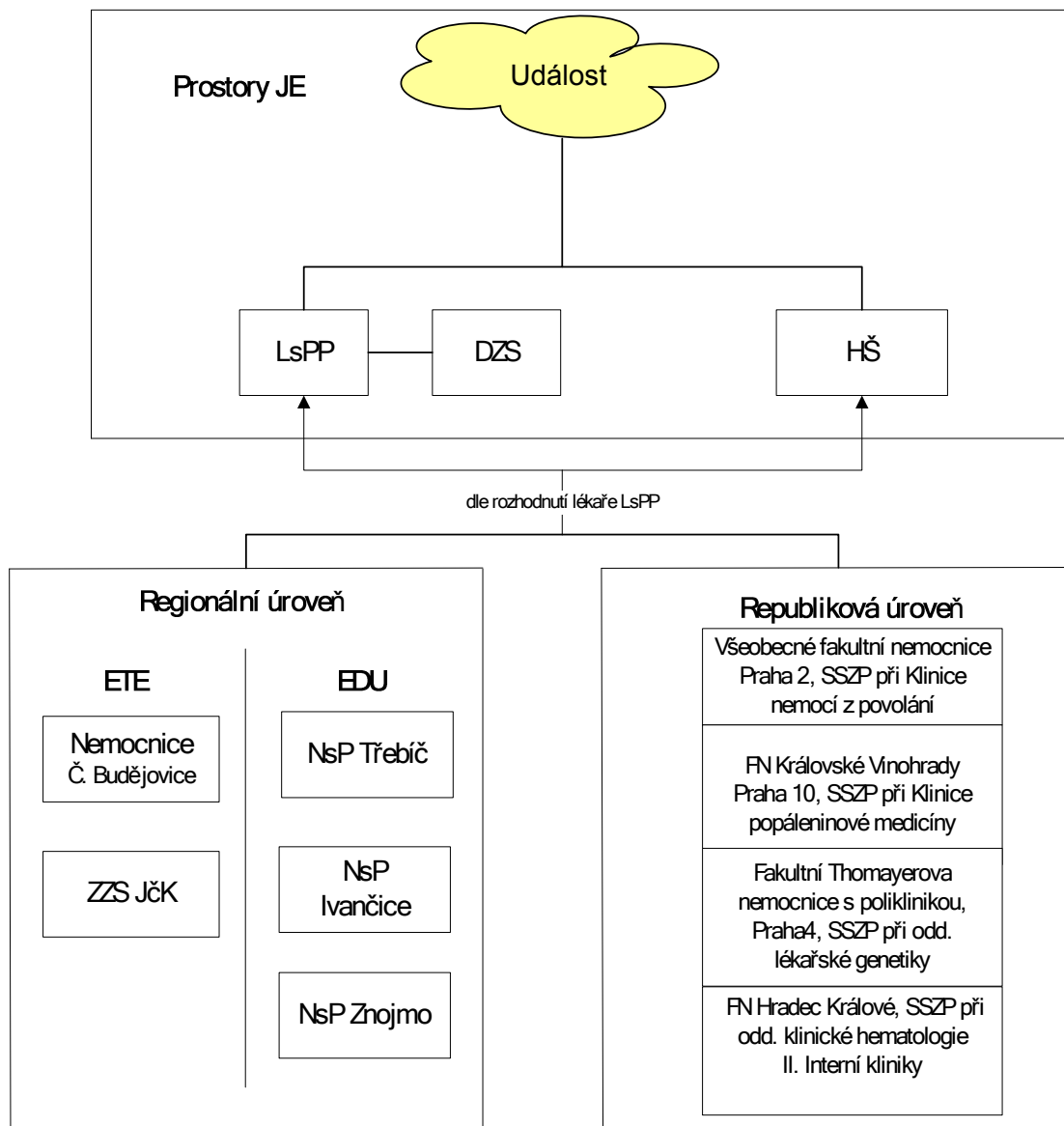
Nad rámec profesionální lékařské péče jsou na každé směně HZSp EDU vyškoleni 4 členové směny z poskytování první pomoci. Jejich aktivaci zabezpečuje na pokyn SI

dispečer HZSp. Při výkonu svých pracovních povinností, po výjezdu k traumatologické události, poskytnou v případě potřeby výše uvedení členové směny HZSp první pomoc postiženému a po příjezdu lékaře s ním spolupracují a řídí se jeho pokyny.

Obr. 6.1.1-6 Zajištění vnější havarijní připravenosti JE



Obr. 6.1.1-7 Vazby na zdravotnické složky a na externí zdravotnická zařízení



6.1.1.5 Procedures, training and exercises

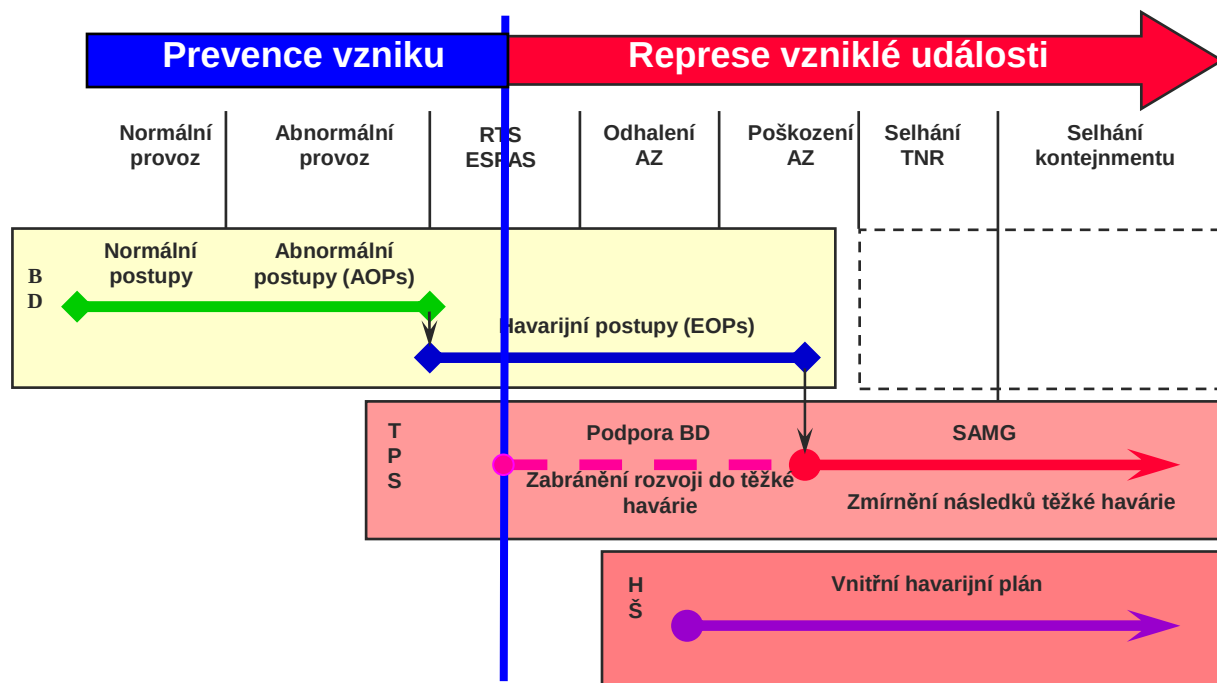
Koncepce zvládání technologických havárií na EDU je založena na symptomatickém přístupu. V současné době jsou pro EDU zpracovány následující strategie pro řešení nadprojektových a těžkých havárií:

- Symptomaticky orientované havarijní postupy pro výkonové stavy (EOPs).
- Symptomaticky orientované havarijní postupy pro odstavené stavy, včetně případů ohrožení odvodu tepla z vyhořelého paliva uloženého v BSVP (SDEOPs).
- Návod pro rozhodování TPS.
- Návod pro zvládání těžkých havárií pro výkonové stavy (SAMG).

Všechny výše uvedené předpisy a návody byly vyvinuty a jsou aktualizovány ve spolupráci s firmou Westinghouse.

Postup rozvoje havarijní situace je kromě typu používání provozní dokumentace při činnostech na odezvu na danou situaci rovněž úzce svázán s činnostmi organizace havarijní odezvy podle Vnitřního havarijního plánu (vyhlášení stupně mimořádné události).

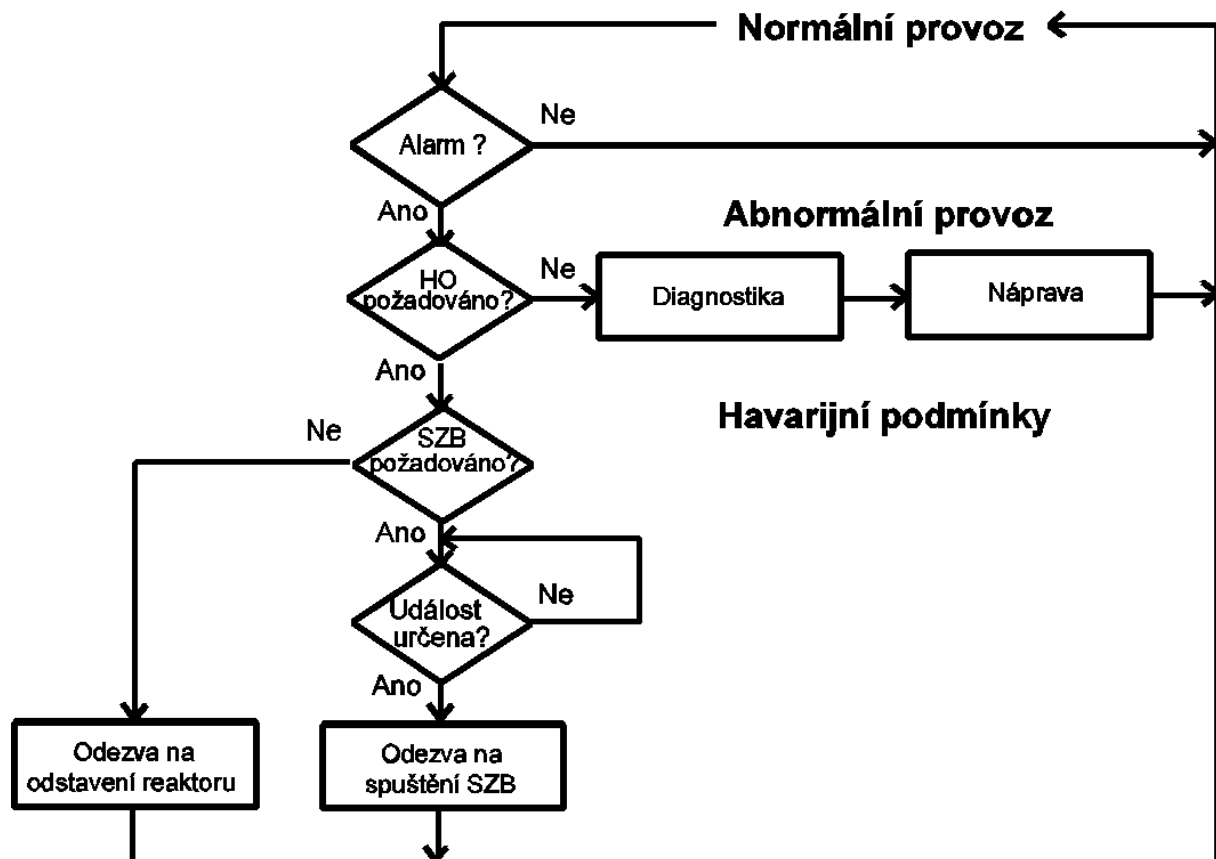
Obr. 6.1.1-8 Vazba mezi stavem bloku, používanou provozní dokumentací a MU



Činnosti operativního personálu v každé úrovni jsou řízeny provozními postupy přizpůsobenými každému provoznímu stavu. Postupy tvoří síť, která určuje činnosti operativního personálu v každém provozním stavu bloku.

Pro havarijní podmínky v preventivní fázi jsou zpracovány strategie, které jsou obsaženy v havarijních provozních postupech (EOPs). Pro zvládání těžkých havárií jsou zpracovány strategie, které jsou obsaženy v návodech pro řízení těžkých havárií (SAMG). Základní podmínkou pro provádění činností podle havarijních postupů je takový stav AZ, který umožňuje její chlazení, tj. AZ je v uchlazené geometrické konfiguraci. Pokud dojde k jejímu nevratnému poškození, havarijní předpisy již nemusí poskytovat optimální návod na řešení havarijní situace a je nutné zahájit činnosti podle SAMG. V tomto okamžiku se mění i hlavní priority. V EOPs je vždy hlavní prioritou obnovení odvodu tepla z AZ a zabránění poškození 1. bariéry proti úniku štěpných produktů (pokrytí paliva), zatímco v SAMG je hlavní prioritou zabránění poškození 3. bariéry proti úniku štěpných produktů (kontejnment), která je v tu chvíli poslední neporušenou bariérou.

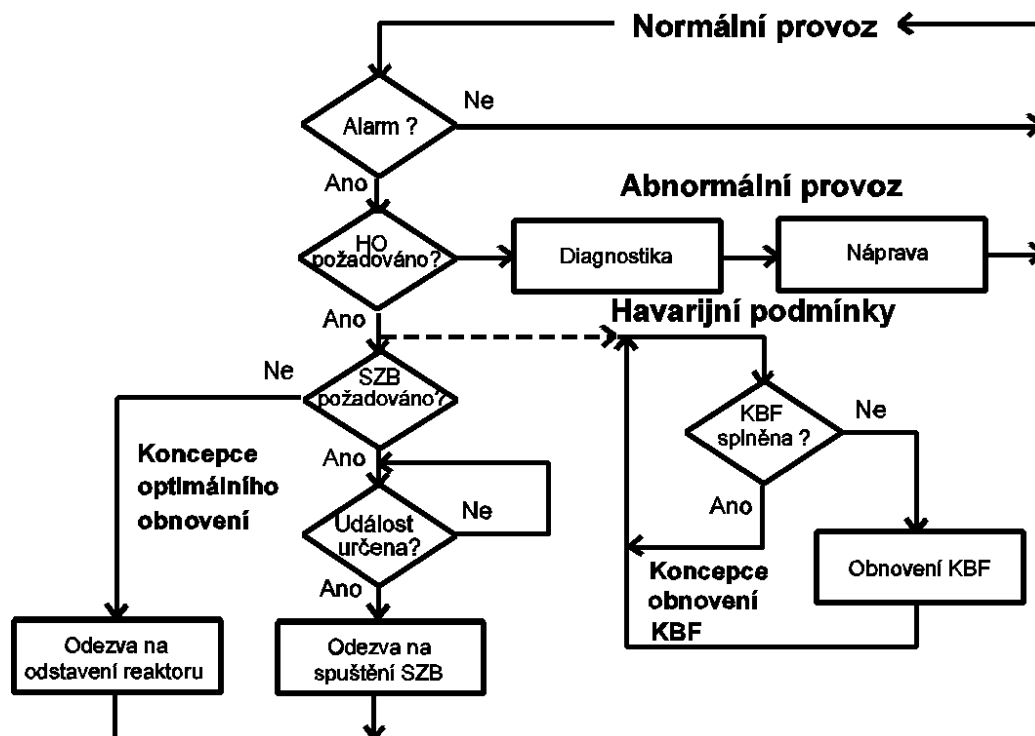
Obr. 6.1.1-9 Způsob odezvy operativního personálu



Cílem zásahů popsaných v rámci EOPs, které bude operativní personál BD používat pro řešení projektových i nadprojektových havarijních událostí, je zabezpečit dostatečné chlazení AZ a zabránit tak nevratnému poškození AZ a dále minimalizovat důsledky eventuálního úniku radioaktivních látek mimo elektrárnu. Součástí filosofie těchto postupů je trvalé oceňování stavu fyzických bariér proti úniku aktivity vyhodnocováním kritických bezpečnostních funkcí. Toto ocenění zajišťuje včasnou identifikaci zhoršování bezpečnostního stavu bloku, a zaručuje možnost provedení včasné nápravy při zjištění negativního trendu vývoje události.

Soubor symptomaticky orientovaných havarijních provozních postupů poskytuje operativnímu personálu systematický prostředek (nezávislý na průběhu havarijního režimu) pro řešení havarijních situací. Kombinace událostně a funkčně orientovaných strategií dává operativnímu personálu návod k dovedení bloku do bezpečného a koncového stavu, při zajištění permanentní diagnostiky stavu bloku a eventuálního obnovování bezpečného stavu nezávisle na průběhu dané havarijní události.

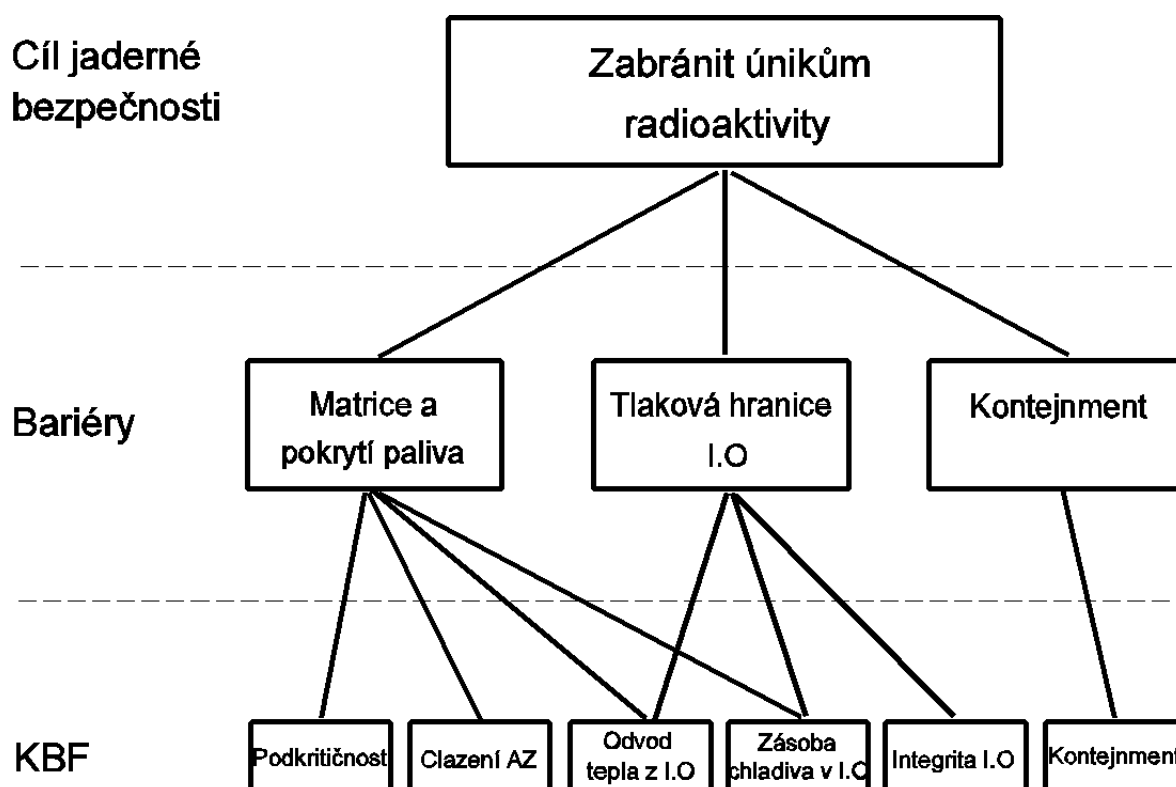
Obr. 6.1.1-10 Koncepte řízení bloku v havarijních podmínkách



Havarijní postupy rovněž obsahují systematický prostředek pro hodnocení bezpečného stavu bloku prostřednictvím hodnocení stavů kritických bezpečnostních funkcí. Kritické bezpečnostní funkce úzce souvisí s fyzickými bariérami, které brání úniku radioaktivity do okolního prostředí. Pokud je zajištěna neporušenost matrice a pokrytí paliva, rozhraní primárního okruhu a kontejntentu, potom elektrárna neohrožuje zdraví a bezpečnost obyvatelstva. Pokud však dojde k narušení jedné nebo více bariér, potom se zvyšuje riziko ohrožení obyvatelstva. Pokud by došlo ke ztrátě integrity všech bariér, potom by došlo k přímému ohrožení obyvatelstva a bylo by nutno přijmout mimořádné externí havarijní zásahy. Z těchto důvodů je cílem provozu jaderné elektrárny (ve smyslu jaderné bezpečnosti) zajistit v maximální míře a za jakýchkoli podmínek nebo událostí neporušenost fyzických bariér bránících úniku radionuklidů.

Pro každou z výše uvedených fyzických bariér existuje soubor bezpečnostních funkcí, které musí být splněny, aby byla zajištěna její neporušenost. Pokud je tento soubor bezpečnostních funkcí splněn, je zaručena plná ochrana obyvatelstva před možnými následky provozu jaderné elektrárny.

Obr. 6.1.1-11 Vztah mezi bezpečnostními funkcemi



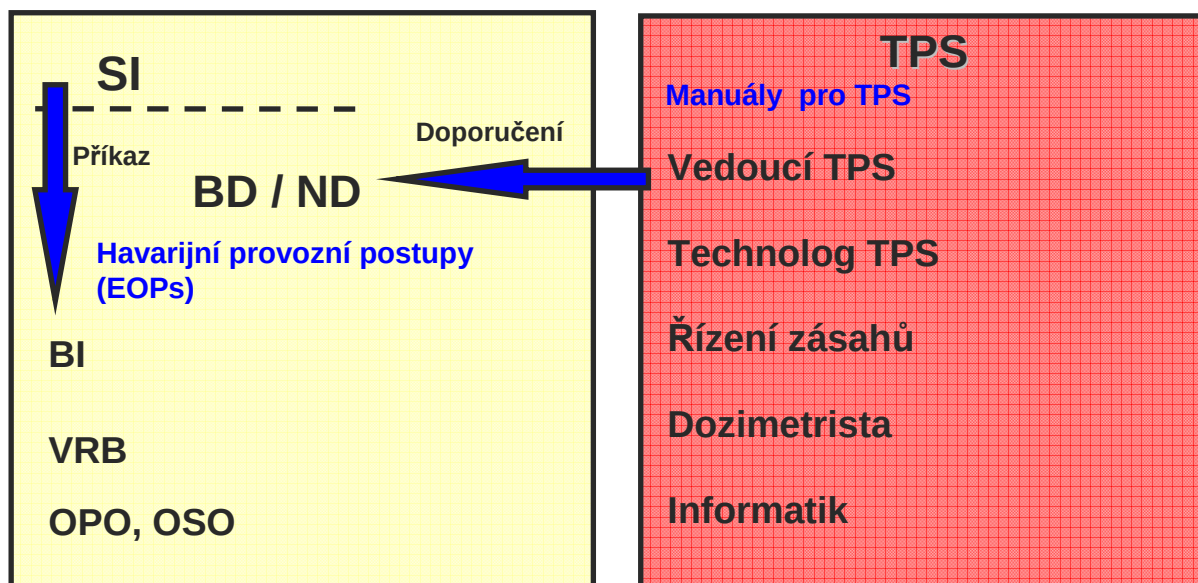
Pro preventivní fázi zvládání havarijní situace, když provozní personál postupuje podle EOPs má personál TPS k dispozici návody („Manuály pro TPS“), které poskytují podklady pro rozhodování při podpoře provozního personálu při provádění činností podle havarijních postupů. V havarijních postupech je mnoho kroků, kde jsou explicitně vyžadovány pokyny pro další činnosti od personálu TPS. Rovněž zkušenosti z výcviku, simulací na plnorozsahovém simulátoru atd. ukazují, že podpora od personálu TPS je vyžadována v řadě dalších situací bez explicitního požadavku v příslušném kroku. Ve všech těchto případech je rozhodnutí závislé na aktuálním vývoji havarijní situace a na konkrétním stavu systémů a zařízení bloku.

Tyto návody byly vytvořeny pro personál TPS a pro další technický personál JE, který je kromě personálu TPS oprávněn poskytovat podporu pro rozhodnutí. Mezi tento personál patří BI, SI nebo VRB, kteří v tomto dokumentu naleznou řadu podkladů pro kvalifikované rozhodnutí o dalších činnostech podle EOPs.

- Návody pro TPS jsou používány personálem TPS, když byla vyhlášena MU1, bylo svoláno TPS a personál TPS je schopen poskytovat podporu
- Návody v tomto PP jsou používány BI, SI nebo VRB, pokud je podpora pro rozhodnutí požadována ještě před tím, než se TPS stane funkčním

Personál TPS poskytuje podporu vyhodnocováním aktuálního stavu podle návodů a předáváním doporučení při používání havarijních postupů.

Obr. 6.1.1-12 Komunikace mezi TPS a provozním personálem při používání EOPs



V případě rozvoje událostí do oblasti těžké havárie je volen další postup s ohledem na zajištění alespoň zbývajících bariér proti úniku radioaktivity. Ztráta integrity a geometrie paliva v AZ znamená vážné ohrožení schopnosti odvodu tepla z AZ. Za těchto podmínek již nelze dále postupovat podle EOPs. Pro tuto fázi havárie jsou zpracovány SAMG, pomocí kterých se provádějí činnosti pro dosažení kontrolovaného stabilního stavu.

Přechod do SAMG je uskutečněn v případě, že je zjištěno nevratné poškození AZ. V takovém případě jsou ukončeny činnosti podle EOPs a uskutečněn přechod do SAMG. Jediným vstupním místem do SAMG je návod SACRG-1, ČINNOST BD BEZ TPS.

Z EOPs existují tři možné přechody do SAMG:

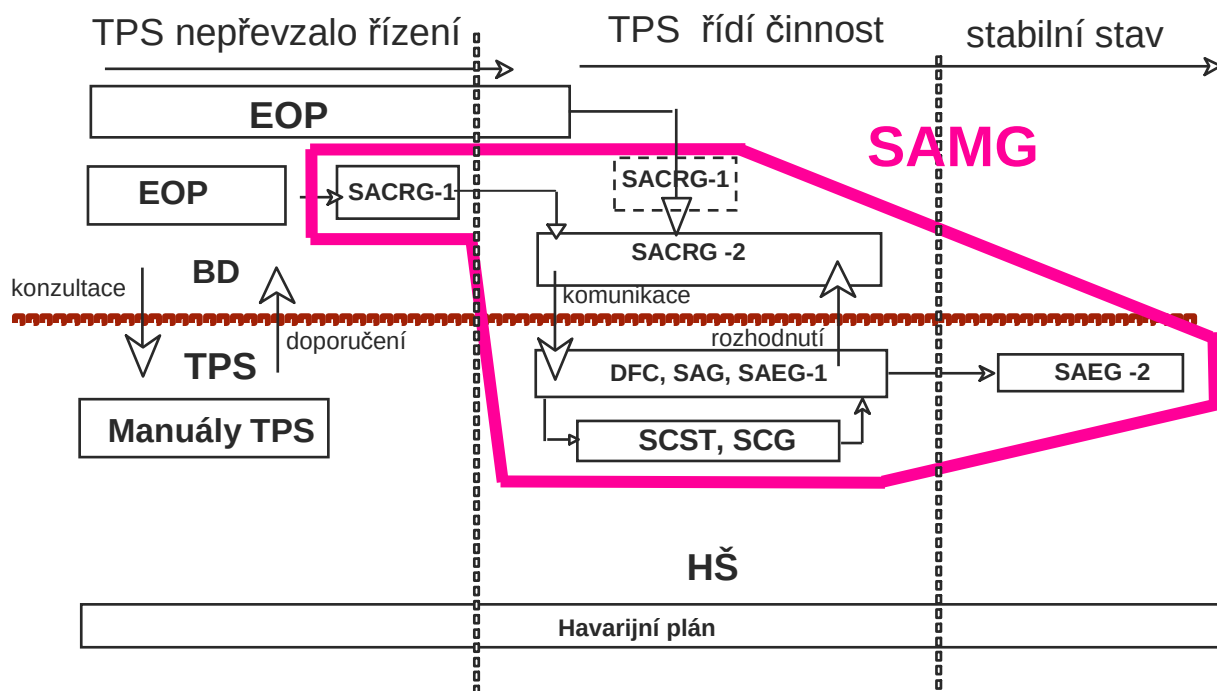
FR-C.1 Ztráta chlazení AZ

FR-S.1 Neodstavení reaktoru (ATWS)

ECA-0.0 Ztráta elektrického napájení - Blackout

Tyto tři možné přechody z havarijních postupů do SAMG jsou dostatečné a pokrývají všechny možné scénáře těžkých havárií.

Obr. 6.1.1-13 Vazby mezi EOPs a SAMG



Pro zmírnění následků těžkých havárií musí být splněny následující cíle:

- Primární cíle SAMG

- Obnovit odvod tepla z AZ nebo z taveniny = navrátit zdroj vývinu tepla do kontrolovaného a stabilního stavu
- Udržet integritu kontejnmentu jako poslední bariéry proti úniku Ra látek do okolí = zajistit kontrolovaný stav kontejnmentu
- Ukončit únik Ra látek do okolí

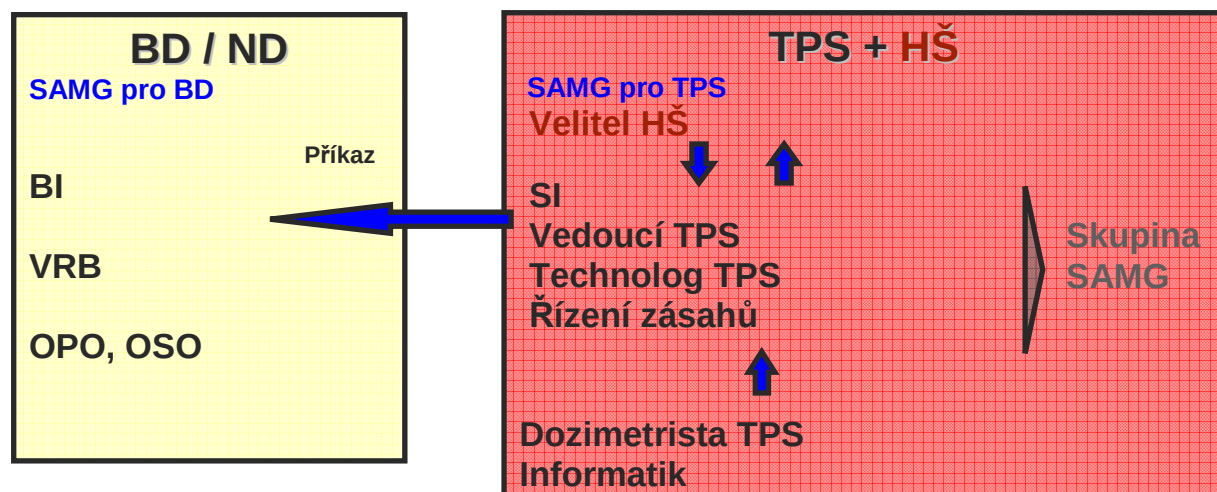
- Sekundární cíle SAMG

- Minimalizovat únik Ra látek do okolí při plnění primárních cílů
- Zajistit co největší provozuschopnost zařízení při plnění primárních cílů

Pro zvládání těžkých havárií je důsledně uplatňován symptomaticky orientovaný přístup. Základním principem tohoto přístupu je, že odpovídající strategie řešení je vybírána na základě aktuálního vývoje havárie, který je identifikován na základě jednoznačných symptomů (příznaků). Pokud dojde v průběhu řešení havárie ke změně symptomů a používanou strategii již nelze dále aplikovat, potom struktura postupů a návodů umožňuje původní strategii změnit a v řešení pokračovat činnostmi určenými jiným postupem nebo návodem, který lépe odpovídá nově vzniklým podmínkám. Nepřetržité diagnostikování stavu bloku v průběhu havárie tak umožňuje správně reagovat na možné měnící se podmínky vývoje havárie a zásahy jsou tedy vždy optimální reakcí na daný stav bloku, který zohledňuje i vnější události a hrozící rizika.

V případě ukončení činností podle havarijních postupů a přechodu do SAMG jsou rovněž ukončeny činnosti podle Návodů pro TPS a pro další řízení činností jsou použity SAMG.

Obr. 6.1.1-14 Komunikace mezi TPS a provozním personálem při používání SAMG



Návody pro zvládání těžkých havárií pro odstavené stavy (SAMG pro odstavené stavy), které jsou určené pro události, kdy se nadprojektová havarijní situace v důsledku poškození paliva v AZ rozvine do těžké havárie při odstaveném bloku (otevřeném reaktoru) nebo pro nadprojektové havarijní situace v důsledku poškození paliva v BSVP, nejsou doposud pro EDU dokončeny.

Pro údržbu EOPs, SDEOPs a SAMG je pravidelně prováděna jejich aktualizace zahrnující jednak poznatky z procvičování jejich použití na simulátoru resp. při havarijních cvičeních. Externí poznatky (v rámci „users group“ a dlouhodobé spolupráce s firmou Westinghouse) se promítají do této dokumentace formou tzv. „Maintenance program“.

Na dotčená pracovní místa směnového a podpůrného personálu (BI, TPS) obsazovaná pro výkon činností při zvládání havárií jsou stanoveny personální a kvalifikační požadavky a tyto požadavky jsou také kontrolovány prostřednictvím souboru kvalifikačních předpokladů. Pro každé pracovní místo jsou předepsány požadavky na vzdělání, specifické znalosti (základní příprava, periodická příprava, výcvik na simulátoru, školení vybraného personálu z oblasti problematiky nadprojektových a těžkých havárií) a profesní rozvojová školení. Pro výběr personálu POHO je zaveden systém požadavků na kvalifikaci a jsou brána do úvahy i další kritéria zohledňující jejich znalosti a odbornost.

Připravenost směnového personálu a členů TPS ke zvládání technologických havárií (včetně přechodu z EOPs do SAMG) se pravidelně ověřuje při společném výcviku. TPS nacvičuje součinnost na pracoviště TPS v krytu HŘS společně s personálem BD a BI na plnorozsahovém simulátoru (2x ročně). Součinnost s HŠ je nacvičována v rámci havarijních cvičení.

Havarijní cvičení probíhají minimálně 4x za rok tak, aby každá směna POHO cvičení absolvovala alespoň 1x za rok. Do cvičení je zahrnuta i příprava na varianty operativních zásahů ve ztížených podmínkách. Pro činnosti zásahových skupin ve ztížených podmínkách a pro jejich ochranu jsou připraveny odpovídající postupy. Skutečný výcvik (drill) v používání SAMG při zvládání těžkých havárií na EDU byl proveden po nasazení SAMG do užívání. Výcvik dle předem připravených scénářů průběhu těžkých havárií s variantami různých zásahů vedli specialisté z firmy Westinghouse se zkušenostmi z prováděním výcviků v jiných lokalitách po celém světě.

Vzhledem k tomu, že plnorozsahový simulátor není předurčen k simulování průběhu těžkých havárií, je ve spolupráci s UJV Řež vyvíjen simulační nástroj umožňující zobrazení průběhu parametrů, jejich chování v čase a prostoru u všech analyzovaných scénářů těžkých havárií. Jedná se o jedno z opatření, vyplývajících z Periodik Safety Review (Viz kap. 1.2.2). Vizualizace odezvy bloku na různé zásahy v rámci analyzovaných scénářů těžkých havárií ulehčí aktualizaci a údržbu SAMG a zároveň bude využita ke školení a výcviku personálu jaderné elektrárny Dukovany (zejména členů TPS) pro použití postupů SAMG ke zvládání těžkých havárií. Nástroj spočívá v animovaném zobrazení průběhu těžké havárie v reaktoru, primárním okruhu a v kontejnmentu. Zobrazení bude interaktivní: dle výběru bude volitelná rychlost zobrazení, opakování vybraných úseků havárie a soubor doplňujících animovaných grafů charakteristik havárie.

6.1.1.6 Dependence on the functions of other reactors on the same site

Na lokalitě EDU jsou 4 reaktorové bloky uspořádané do dvou dvojbloků. Kontejnmenty jednotlivých bloků dvojbloku jsou při provozu přísně odděleny a nehrozí průnik atmosféry z jednoho bloku do druhého. Při režimech 6 a 7 výměny paliva na jednom bloku je kontejnment otevřen do reaktorového sálu, který sdílí se sousedním blokem, avšak od kontejnmentu sousedního bloku je hermeticky oddělen. V reaktorovém sále jsou též bazény skladování paliva obou bloků. V případě havárie při výměně paliva je tak nutno řešit i problematiku šíření Ra látek do společného reaktorového sálu a otevřeného kontejnmentu postiženého bloku.

Reaktory jsou technologicky zcela nezávislé, nicméně řada systémů a pomocných a podpurných zařízení je vzájemně využitelných. Např. elektrické napájení, cirkulační chladicí voda, požární voda apod. systémy jsou propojitelné mezi všemi bloky.

Podobnou vlastnost má například technická voda důležitá (TVD). Na každém bloku jsou 3 nezávislé systémy, které chladí důležité spotřebiče. Čerpadla TVD jednoho HVB jsou umístěna v oddělených kobkách v jedné budově ČČS, mají elektrický přívod z příslušných bloků a systémů, výtlačné ztrasy jsou však společné pro HVB, takže se dají používat pro oba bloky na HVB, tj. na 2 bloky dodává TVD 12 čerpadel. (viz kap. 1.3.2.2).

Dvojblokové uspořádání pomocných systémů umožňuje v nouzovém stavu výměnu nebo doplnění médií v nádržích havarijních systémů (SAOZ) ze sousedního bloku. Je také možné případné využití, pokud je postižen pouze jeden blok z dvojbloku, zásoby vody v pasivním havarijním systému XL sousedního bloku, což může představovat minimálně 1000 m³ roztoku H₃BO₃.

Vzhledem k celkovému množství 4 bloků na lokalitě, uspořádaných v sousedství a systémem dvojbloků a vzhledem k nezávislosti elektrického napájení jednotlivých bloků z vnějších i vnitřních zdrojů (včetně nouzových) lze zdroje elektrického napájení jednoho bloku z výhodou využít při vzniku SBO na dalším bloku

Skladovací bazény se nacházejí v reaktorovém sále u každého reaktoru. Reaktorový sál dvojbloku je propojen. Vzhledem ke společným podpurným systémům (systém čištění vody TM) je možné propojení bloků pro případ nouzového doplňování. Umístění skladovacích bazénů mimo kontejnment umožňuje zjednodušený přístup pro případ havarijního doplnění jinými nouzovými prostředky (hasicí technika apod.).

6.1.2 Possibility to use existing equipment

6.1.2.1 Provisions to use mobile devices (availability of such devices, time to bring them on site and put them in operation)

Pro zajištění bezpečnostních funkcí (pro projektové i nadprojektové scénáře) jsou zpracovány příslušné symptomaticky orientované postupy a návody (EOPs nebo SAMG). V EOPs a SAMG je zapracováno použití mobilních prostředků HZSp na lokalitě. Jiné mobilní nebo netechnologické prostředky z externích zdrojů, kromě použití další hasičské techniky z blízkých jednotek hasičských sborů, zatím nejsou uvažovány.

Na lokalitě EDU je k dispozici jednotka hasičského záchranného sboru podniku (HZSp), která disponuje odpovídající požární technikou a je vycvičena k zásahu v kterémkoliv místě lokality. Požární technika a zásahový personál (48 hasičů ve 4 směnách) jsou umístěny v objektu Požární stanice, kde nehrozí přímé účinky extrémních přírodních jevů, není však dosud oceněna seismická odolnost tohoto objektu. Pokud by došlo k jeho poškození, mohl by být omezen výjezd požární jednotky k zásahům.

Pro potřeby posílení HZSp JE Dukovany je zpracován poplachový plán, který je součástí vnějšího havarijního plánu JE Dukovany a na jehož základě by byly schopny zajistit další účinnou materiální a personální pomoc profesionální jednotky HZS České republiky, které jsou součástí IZS, s dojezdem na lokalitu v rozmezí 10-60 minut dle dislokace hasičské jednotky.

Čerpací technika HZSp patří mezi hlavní mobilní netechnologické prostředky využitelné pro dopravu a čerpání medií. Je zároveň uzpůsobena i pro odčerpávání vody při případných záplavách.

Přímo na lokalitě jsou k dispozici 3 mobilní čerpadla HZSp (tlak na výtlaku čerpadla 0,8-1,2 MPa, průtok 120-150 t/h), která lze jednoduše použít pro doplňování demivody přímo do PG alternativním způsobem. V rámci doplnění projektu byla zrealizována přípojná místa, která umožňují propojení této techniky s technologií. Alternativní způsob doplňování PG je popsán v EOPs, byl několikrát prakticky vyzkoušen a byla prověřena kapacita této techniky pro zabezpečení základních bezpečnostních funkcí. Reálná doba skutečného dodání vody do PG mobilním čerpadlem od požadavku na aktivaci HZSp je cca 20 minut. Pro případ ztráty měření hladiny vody v PG a dalších údajů jsou pro možnost optimálního doplňování demivody zpracovány tabulky, jaký průtok demivody do PG je nutný při příslušném protitlaku v PG, aby průtok doplňované demivody odpovídal odvodu páry přes PSA. Při stavu black-out na všech čtyřech blocích EDU současně však jistým omezením může být kapacita potřebné požární techniky (nejsou zatím zpracovány nouzové plány pro napájení PG dvou bloků jedním čerpadlem současně).

Další alternativní možností je použití požární techniky na doplňování vyvřelého chladiva a udržování teploty paliva v BSVP. EOPs tuto možnost alternativního doplňování BSVP uvádí, konkrétní postupy pro zásahy na místě nejsou zatím zpracovány.

Dále je v SAMG uvažováno s použitím přenosných dieselagregátů pro ovládání některých armatur přímo z rozvoděčů, konkrétní postupy pro zásahy na místě nejsou zatím zpracovány.

Rovněž dle příslušné legislativy lze nasadit i další základní a ostatní složky IZS (ZZS, Policie ČR, Armáda ČR...). Podle stupně mimořádné události na jaderném zařízení plní jednotlivé složky působící v záchranném systému úkoly směřující k likvidaci mimořádné události na postiženém zařízení nebo k omezení jejich následků. Úkoly mohou být prováděny na území JE Dukovany, v zóně havarijního plánování nebo mimo zónu havarijního plánování.

6.1.2.2 Provisions for and management of supplies (fuel for diesel generators, water, etc.)

Zásoba nafty v provozní nádrži pro každý DG je na dobu nejméně 6 hodin ($4,5 \text{ m}^3$ paliva, spotřeba při max. zatížení $0,7 \text{ m}^3/\text{h}$). Pro každý DG je dále určena jedna navzájem propojená dvojice zásobních nádrží, kde je minimální zásoba 110 m^3 paliva. K přečerpávání nafty ze zásobních nádrží do provozní nádrže dochází automaticky od poklesu hladiny v provozní nádrži. Čerpadla dopravy paliva mají elektrické napájení z příslušného DG. Celková zásoba nafty $114,5 \text{ m}^3$ postačuje na provoz jednoho DG po dobu nejméně 144 hodin (reálně cca 160 h), tj. na 6 až 7 dnů bez nutnosti vnějšího doplňování paliva.

Pozn.: Další palivo pro DG by bylo možno získat přečerpáváním z jiných DG (které jsou např. mimo provoz) tzv. reexpedičními čerpadly, a to za předpokladu získání elektrického napájení pro jejich provoz (projektově z nezajištěného systému). Při uvážení dlouhodobého provozu vždy pouze jednoho DG na každém bloku, tak při zprovoznění reexpedičních čerpadel by bylo k dispozici palivo na dobu 18 až 21 dní bez vnější dodávky nafty na EDU. Kvalita motorové nafty se pravidelně kontroluje a preventivně obměňuje

Při doplňování demivody optimálním průtokem jsou k dispozici stávající zásoby demivody z nádrží $3 \times 1000 \text{ m}^3$ pro každý dvojblok, což dle analýz vystačí na 72 h pro všechny 4 bloky. Společně s využitím zásoby chladiva v NN je pro doplňování PG všech čtyř bloků JE k dispozici zásoba chladiva na cca 4 dny. Kromě zásob chladiva v nádržích demivody lze pro napájení PG mobilními prostředky využít alternativně i chladivo z bazénů chladících věží či jiných zdrojů.

Při ztrátě doplňování surové vody, pokud bude k dispozici nezajištěné elektrické napájení, lze využít zásobu chladiva v čířkách cca $5 \times 2000 \text{ m}^3$ a zásoby surové vody a v gravitačních vodojemech o objemu $4 \times 2000 \text{ m}^3$ pro kompenzaci ztrát TVD odparem.

Z analýzy výpadku ČSJ a TVD vyplývá, že ve vodních systémech EDU je při konzervativním přístupu (uvažování pouze polovin CČSI a CČSII, hladina v chladicích věžích na min. hladině -2,55 m) k dispozici cca $75\,564 \text{ m}^3$ vody. Tato zásoba postačuje pro 931 h (cca 39 dnů) odvodu zbytkového tepla (provozu čerpadel TVD) z odstavených reaktorů bez doplňování vody do systémů EDU.

6.1.2.3 Management of radioactive releases, provisions to limit them

Cíle všech strategií pro zvládání havárií (v EOPs i SAMG) směřují k zabránění radioaktivních úniků do okolí JE a tím zabránění ohrožení zdraví a bezpečnosti obyvatel. Pokud by přesto během rozvoje havárie došlo k úniku aktivity, potom veškeré činnosti při zvládání havárií směřují k ukončení nebo alespoň omezení těchto úniků.

Monitorování Ra situace uvnitř i vně lokality je realizováno prostřednictvím systému radiační kontroly (CISRK), který ve stávajícím projektu nemá seismickou kvalifikaci na úrovni maximálního výpočtového zemětřesení a je umístěno v prostorách, která nemají tuto seismickou odolnost na zemětřesení intenzity $> 6^\circ \text{MSK-64}$ ($\text{PGA}_{\text{hor}} > 0,05\text{g}$) a rovněž nemá napájení ze zajištěného napájení I. Kategorie. Pro měření radiace zůstane k dispozici náhradní způsob pomocí přenosných měřících přístrojů

Pro prognózy následků případného úniku aktivity i pro hodnocení aktuální radiační situace v případě úniku používá EDU programový prostředek RTARC, který využívá okamžitá meteorologická data, předpovědi meteorologických dat, údaje o úniku, rozměry HVB, údaje o reliéfu terénu okolí JE a údaje o radionuklidech zastoupených v uniknutých radioaktivních

látkách. Výstupem je aktuální radiační situace a její prognózy pro zvolené období v okolí JE od 500 m do 40 km.

Systém RTARC pracuje s daty z předem vypočítaného zdrojového členu, které lze případně korigovat na základě aktuálně změřených hodnot úniků. Zatím nejsou dopracovány zdrojové členy uvažující tavení paliva v otevřeném reaktoru a v BSVP (bazénu skladování vyhořelého paliva).

Omezování ozáření osob a životního prostředí při radiační mimořádné situaci se uskutečňuje ochrannými opatřeními, kterými jsou:

- Neodkladná opatření zahrnující ukrytí, jódovou profylaxi a evakuaci.
- Následná ochranná opatření zahrnující přesídlení, regulaci požívání radionuklidy kontaminovaných potravin a vody a regulaci používání radionuklidy kontaminovaných krmiv.

Ochranná opatření při radiačních haváriích se provádějí vždy, jsou-li odůvodněna větším přínosem, než jsou náklady na opatření a škody jimi působené, a mají být optimalizována co do formy, rozsahu a trvání tak, aby přinesla co největší rozumně dosažitelný přínos.

V závislosti na úrovni radiační situace by byla v případě vyhlášení mimořádné události vyhlášována příslušná neodkladná ochranná opatření tak, aby bylo zabezpečeno, že nebudou překročeny zásahové úrovně uvedené v následující tabulce, kde jsou uvedeny limity ozáření zaměstnanců a dalších osob pro vyhlášení ochranných opatření v případě vzniku mimořádných událostí vztažené k době 8 hodin po vzniku události.

Tab. 6.1.2-1 Ochranná opatření personálu JE

KATEGORIE OSOB	OCHRANNÉ OPATŘENÍ		
	Ukrytí	Jódová profylaxe	Evakuace
Ostatní osoby a zaměstnanci nezařazení do OHO	5 mSv	5 mSv	5 mSv
Personál OHO	50 mSv	5 mSv	200 mSv
Personál OHO v případě záchrany života nebo zabránění rozvoje radiační mimořádné situace	Dle §4, odst. 7, písmena c, zákona č. 18/1997 Sb.	5 mSv	Dle §4, odst. 7, písmena c, zákona č. 18/1997 Sb.

Výše uvedené limity se nevztahují na ozáření osob podílejících se na zásazích v případě radiační nehody nebo havárie, avšak toto ozáření nesmí překročit desetinásobek základních

limitů pro pracovníky se zdroji (hodnota základního limitu je 50 mSv za kalendářní rok, respektive 100 mSv za dobu pěti po sobě jdoucích kalendářních roků) pokud nejde o případ záchrany lidských životů či zabránění rozvoje radiační nehody s možnými rozsáhlými společenskými a hospodářskými důsledky. Zaměstnanci, kteří by zásah prováděli, jsou před zásahem seznámeni s rizikem a předpokládanou výší obdržené dávky.

Na EDU je vybudováno 7 krytů. V jednom z krytů je vybudováno HŘS, v dalším z krytů je vytvořeno provozní podpůrné středisko, kde by byl mj. soustředěn směnový personál, nezbytný k provádění lokálních zásahů. Kapacita krytů na elektrárně je 2450 ukryvaných osob. Každý pracovník na pracovišti resp. v krytu má k dispozici osobní ochranné prostředky pro ochranu před povrchovou a vnitřní kontaminací (ochranný oděv - overal TYVEK, návleky na obuv, rukavice, respirátor a jedna dávka jodové profylaxe KI).

Jodová profylaxe požitím tablet kalium-jodidu se provádí u všech osob s výjimkou osob starších 45 let, u nichž byla dříve prokázána přecitlivělost na jodové preparáty nebo mají léčenou poruchu štítné žlázy. Tabletami kalium-jodidu jsou osobně vybaveni všichni pracovníci JE i obyvatelé v ZHP EDU. Obyvatelé v ZHP EDU jsou vybaveni příručkou pro ochranu obyvatelstva, v které jsou zpracovány pokyny pro obyvatelstvo, pro případ radiační havárie. Jsou zde uvedeny pokyny při varování sirénami, pokyny pro prvotní ochranná opatření (ukrytí, jodová profylaxe a evakuace).

6.1.2.4 Communication and information systems (internal and external).

Přehled vnitřních komunikačních prostředků:

- Systém varování a vyrozumění personálu (objektové sirény, vnitřní sirénky, závodní a provozní rozhlas)
- Telefonní ústředna
- Dispečerské hovorové zařízení
- Rádiové sítě, systém freeset
- Pagingový systém
- Zesilovače rádiových sítí (vyzařovací kabely)
- Ruční radiostanice
- Mobilní radiostanice
- Komunikační systém pro svolání POHO a zadávací terminál Alarm

Přehled vnějších komunikačních prostředků:

- Systém varování a vyrozumění obyvatelstva (sirény v ZHP)
- Připravené nahrávky do státních sdělovacích prostředků (televize, rozhlas)
- Síť telekomunikačního operátora O2 (mobilní i pevná)

Pro všechny komunikační systémy je prováděno periodické ověřování a prověřování.

- Jedenkrát za tři měsíce funkčnost technických prostředků, systémů a způsobů aktivace osob zasahujících pro řízení a provádění zásahu.
- Jedenkrát za šest měsíců funkčnost technických prostředků systémů a způsobů pro varování zaměstnanců a dalších osob v areálu JE.
- Jedenkrát za tři měsíce funkčnost technických prostředků, systémů a způsobů pro oznamování mimořádné události a vyrozumívání o radiační havárii.
- Dvanáctkrát ročně funkčnost technických prostředků, systémů a způsobů varování obyvatelstva v zóně havarijního plánování.

Záznamy o provedení a výsledku kontroly funkčnosti technických prostředků, systémů a způsobů vyrozumění a varování jsou uloženy v archivu, kde jsou evidovány po dobu tří let.

Pro aktivaci členů pohotovostní organizace havarijní odezvy i pro spuštění sirén jsou k dispozici minimálně dva způsoby (autonomní a nezávislé na případném přetížení mobilních sítí). Vybraným mobilním telefonům, přes operační středisko IZS, je nastavena priorita volání v síti při řešení mimořádné události. EDU má nezávislý systém, který je využíván na spouštění sirén a případné vyrozumění členů pohotovostní organizace havarijní odezvy. Systém je autonomní a není závislý na případné přetížení mobilních sítí.

Havarijní řídicí středisko je vybaveno informačním systémem, který zajišťuje přístup ke všem informacím nezbytným pro řízení mimořádných událostí. V případě vzniku mimořádné události existuje zvukový kontakt z TPS se všemi BD. Personál TPS má k dispozici aktuální on-line technologická i radiační data, se kterými pracuje i operativní řídicí personál. Dokončuje se projekt vizuálního kamerového systému BD, TPS, pracoviště SI, včetně dokončení průmyslových kamer.

6.1.3 Evaluation of factors that may impede accident management and respective contingencies

6.1.3.1 Extensive destruction of infrastructure or flooding around the installation that hinders access to the site

Přístup k důležitým objektům by mohl být omezen v důsledku destrukce neseismicky odolných objektů na vnitřní příjezdové komunikace, stejně jako pádu trolejí do prostoru vjezdu do elektrárny. V tomto případě by bylo možné použít záložní vjezd/vstup do areálu.

6.1.3.2 Loss of communication facilities / systems

Záložní napájení pro provoz komunikačních prostředků jak pro varování na lokalitě, tak pro spojení klíčového personálu (HŘS, kryty, HZSp, SUJB, IZS, personál BD) je v případě ztráty napájení nebo poškození infrastruktury zajištěno většinou v řádu hodin. Sirény na objektech

EDU nemají záložní napájení. Závodní rozhlas je bez záložního napájení. Sirénky v objektech mají vlastní akubaterie. Provozní rozhlas má záložní napájení.

Při dlouhodobějším SBO by mohlo dojít ke ztrátě napájení telefonní ústředny EDU a telefonních ústředěn spolupracujících síťových pracovišť vně EDU, vyjma Hlavního dispečerského pracoviště ČEPS Praha a Záložního dispečerského pracoviště ČEPS Ostrava, jenž mají vlastní DG. Tím je ohrožena obnova napájení ze zdrojů z vnější sítě.

Obnova napájení ze zdrojů vně EDU (např. z EDA, případně VE Vranov) je podmíněna spoluprací (nutné spojení) několika vnějších subjektů (ČEZ, ČEPS, E.ON).

V případě poškození infrastruktury by mohla být ohrožena komunikace mezi zasahujícími osobami a řídicími centry, stejně tak jako s vnějšími centry orgánů státní správy (KKC SÚJB, Krizový štáb kraje, IZS, apod.), protože dostupnost a výdrž existujících komunikačních prostředků je značně omezená. Pevná telefonní síť, mobilní telefonní síť, vysílačky, prostředky varování atd., nejsou zabezpečeny proti rozsáhlým poškozením infrastruktury. K dispozici však vždy zůstává komunikace přes vysílačky HZSp na ostatní složky IZS (hasiči v Třebíči).

Závodní rozhlas bude při SBO mimo provoz (plánuje se doplnit UPS stanice). Provozní rozhlas při SBO zůstane v provozu. Systém vnitřního varování: vnitřní sirénky (umístěné v objektech) budou v provozu z vlastních akubaterií. Objektové sirény budou mimo provoz (řešením je obměna rotačních sirén za elektronické s akubateriemi).

Přenosové zařízení mezi jednotlivými ústřednami v síti ČEZ ICTS je dynamicky řízeno (automaticky si vybírá volnou přenosovou trasu) a z tohoto důvodu je doba jeho provozu ze záložních zdrojů závislá na tom, ve které části dojde ke ztrátě napájení.

Aktivní prvky sítě Duknet jsou z větší části napájeny ze světelných rozvaděčů (včetně uživatelských PC) a podloženy UPS. Centrální uzel na Administrativní budově 1 je dimenzován na dobu 2 hodin.

Síť MPLS WAN ČEZ, která zajišťuje propojení mezi datovými centry a jednotlivými lokalitami ČEZ, je zálohovaná na dobu 1 hodiny provozu při ztrátě napájení.

Řídicí systém vnitřního varovacího systému je na dvou nezávislých pracovištích operátora elektrodozorný a HŠ, které jsou zálohovány z UPS.

6.1.3.3 Impairment of work performance due to high local dose rates, radioactive contamination and destruction of some facilities on site

Pro případy poškození JE nejsou zpracovány krizové plány s využitím podpůrných resp. alternativních technických prostředků. Případné použití podpůrných a alternativních technických prostředků by se řešilo mechanismy OHO. Pokud by nebylo možné z jakéhokoli důvodu použít Havarijní řídicí středisko, je jako záložní středisko stanoveno

LRKO v Moravském Krumlově, ve kterém je k dispozici omezené množství informací k řízení mimořádných situací.

V případě nedostupnosti elektrárny by byla situace řešena omezením střídání personálu, jeho přespáváním přímo na lokalitě, nebo v její těsné blízkosti (v krytech a HŘS, možnost využití budovy informačního střediska).

Personál nepřetržitého směnového provozu by v případě vyhlášení mimořádné události v závislosti na stupni závažnosti buď nadále vykonával činnosti podle příslušných zásahových instrukcí a pokynů nebo by byl shromážděn v případě vyhlášení ochranných opatření v krytu, odkud by na základě pokynů SI nebo HŠ prováděl požadované zásahy na technologii nebo vytvářel operativní podporu jednotce HZSp při vyprošťovacích a záchranných pracích.

Každý kryt na JE je vybaven zařízením umožňující ochranu osob proti účinkům radioaktivních látek, bojových otravných látek a bojových biologických prostředků. Stavebně jsou tyto kryty koncipovány tak, že poskytují ochranu osobám proti účinkům pronikavé radiace. Technické vybavení krytu umožňuje jejich provoz minimálně po dobu 72 hodin (včetně jídla, pití a hygieny). V základním vybavení krytů jsou dozimetrické přístroje pro měření povrchové kontaminace a dávkového příkonu, zásoba náhradních havarijních ochranných prostředků, náhradní oblečení, prostředky jódové profylaxe, prostředky pro spojení s pracovištěm HŠ. Distribuci náhradních havarijních ochranných prostředků, náhradních oděvů a zdravotnického materiálu provádějí členové krytového družstva na základě oprávněných potřeb a požadavků ukrývaných osob.

Přímo na lokalitě není k dispozici těžká technika k odklizení trosek z páteřních a přístupových komunikací, které by mohly být zavaleny troskami neseismicky odolných objektů. To by mohlo ztěžovat přístup mobilní techniky k hlavním výrobním blokům. Je nastavena vazba využití prostředků prostřednictvím IZS.

6.1.3.4 Impact on the accessibility and habitability of the main and secondary control rooms, measures to be taken to avoid or manage this situation

Místnosti BD a ND jsou umístěny v místnostech sousedících s kontejnmentem. Tato část by mohla být zasažena radiací při vyšším tlaku a současně vysokých dávkách uvnitř kontejnmentu nebo při velkých únicích štěpných produktů z kontejnmentu. Dosud není dokončeno vybavení BD i ND filtračními vzduchotechnickými systémy. O přechodu personálu BD na ND může v odůvodněných případech rozhodnout SI nebo BI nebo VRB. Použití dýchacích přístrojů na BD je v kompetenci VRB.

Před dokončením z odolnění BD, ND se počítá s dočasnou evakuací personálu na příkaz velitele HŠ na základě vyhodnocení radiační situace při naplnění kritérií v zásahové instrukci (dále by bylo možno uvažovat jen krátkodobé vstupy pro provedení zásahů).

6.1.3.5 Impact on the different premises used by the crisis teams or for which access would be necessary for management of the accident

Všechny nezbytné činnosti by v případě vzniku mimořádné události byly řízeny a prováděny z chráněných míst. Činnosti podle SAMG řídí členové TPS a HŠ, soustředění v krytu určeném pro havarijní řídicí středisko. Dálkové činnosti pro implementaci strategií by prováděl řídicí operativní personál z BD nebo ND. Místní zásahy a případné opravy zařízení by prováděl v příslušných místnostech reaktorovny, strojovny nebo vnějších objektů personál, shromážděný v provozním podpůrném středisku, které je umístěno v krytu v areálu EDU.

6.1.3.6 Feasibility and effectiveness of accident management measures under the conditions of external hazards (earthquakes, floods)

Personál JE i OHO je pro případ zemětřesení i záplav kvalifikovaný a vycvičený pro používání EOPs a SAMG. Není však dostatečně vycvičen k použití podpůrných a alternativních technických prostředků, pro jejichž použití nejsou zpracovány ani odpovídající postupy, návody a plány. V rámci směny (OHO) ani POHO nejsou identifikovány nedostatky týkající se počtu personálu potřebného ke zmírňování následků nadprojektové události.

V případě rozsáhlého poškození infrastruktury a dlouhodobé nedostupnosti lokality (zřícení budov, poškození komunikací atd.) by se střídající personál mohl obtížně dostávat na lokalitu. V tomto případě by musel požadované činnosti zabezpečovat personál, který tam bude přítomen v době vzniku události. Vystřídání by bylo řešeno operativně v součinnosti s orgány státní správy (IZS, armáda, apod.).

Pravděpodobně by nebylo možné použít kryty havarijní připravenosti, ani pracoviště Havarijního štábu, event. Technického podpůrného střediska, které se nacházejí pod seismicky neodolnými objekty a nejsou chráněny proti zaplavení. Činnost TPS a HŠ by byla v tomto případě řešena operativně (nejsou zatím k dispozici podrobné instrukce).

Ztížena by mohla být i dostupnost informací o Ra situaci uvnitř a na hranici areálu EDU. Všechny současné systémy radiační kontroly (CISRK) nejsou v seismickém provedení, nebo jsou jejich části umístěny v seismicky nezodolněných objektech provozních budov. V případě ztráty informací by měření radiace probíhalo v omezeném rozsahu náhradním způsobem pomocí ručních měřících přístrojů.

V případě záplav a dlouhodobé nedostupnosti lokality by se střídající personál nemusel dostat operativně na lokalitu. V tomto případě by musel požadované činnosti zabezpečovat

personál, který tam bude přítomen v době vzniku události. Vystřídání by bylo řešeno operativně v součinnosti s orgány státní správy (IZS, armáda, apod.).

Rovněž je nutno počítat s lokálním omezením průjezdnosti silnic v okolí JE z důvodů rozvodnění toků nebo bahnem splaveným z přilehlých polí. Síť přístupových silnic a mostů přes vodní toky v údolích v okolí elektrárny je však natolik hustá, že je prakticky jisté, že přístup na elektrárnu bude umožněn.

V případě nedostupnosti elektrárny by byla situace řešena omezením střídání personálu, jeho přespáváním přímo na lokalitě, nebo v její těsné blízkosti (v krytech a HŘS, možnost využití budovy informačního střediska).

6.1.3.7 Unavailability of power supply

Posouzení dostupnosti elektrického napájení je uvedeno v kapitole 5.1.

Omezená kapacita akubaterií SZN I. kat by nemusela umožnit všechny zásahy v časně fázi těžké havárie a mohla by vyřadit některá měření. Problematické může být dlouhodobé napájení důležitých spotřebičů včetně měření potřebného pro SAMG. Tato měření jsou soustředěna v PAMS, který je napájen ze SZN I. kat. Zasahující personál a personál podílející se na řízení a provádění manipulací by nemusel mít k dispozici všechny potřebné informace.

V rámci SAMG je uvažováno s možností využití přenosných elektrocentrál HZSp na ovládání některých pohonů přímo z rozvaděčů.

Přímo na lokalitě má HZSp k dispozici tři elektrocentrály 3x 380, 220V:

GEKO BSKA (5,5 kW), MITSUBISHI 4200 (3,6 kW). FORMULA 6000 T (3,6 kW)

Do okamžiku úplného vybití akubaterií by bylo funkční nouzové osvětlení. Ztráta osvětlení by mohla přispívat ke ztížení orientace personálu a tím i k prodloužení doby na provádění manipulací.

6.1.3.8 Potential failure of instrumentation

Většina požadovaných informací o stavu komponent a hodnotách parametrů potřebných pro zvládání těžkých havárií je dostupných v PAMS.

Všechny systémy jsou kvalifikovány na projektové havarijní a pohavarijní podmínky. Nejsou kvalifikovány na podmínky těžkých havárií, ale v řadě případů jejich měřicí rozsah počítá s požadavky na zvládání počáteční fáze těžkých havárií

- Teploty na výstupu z AZ do 1200 °C.
- Teploty ve smyčkách do 400 °C.
- Přetlak v boxu do 450 kPa.

- Měření koncentrace vodíku do 10 %.

Pro diagnostiku havarijního stavu a ověření implementace vybraných strategií se používá omezený soubor parametrů. Pro ověření těchto parametrů slouží měřené hodnoty vybraných veličin ze standardní instrumentace. Pro každý parametr je stanoveno několik veličin, pomocí kterých lze daný parametr (velikost, trend) ověřit. Vždy je použito přímé měření požadovaného parametru a jedno nebo několik měření alternativních veličin, na základě kterých lze odvodit velikost, popř. trend požadovaného parametru. V některých případech nelze při těžké havárii vyhodnotit velikost, popř. trend požadovaného parametru na základě přímo měřených hodnot buď z důvodu jejich nedostupnosti nebo neexistence měření daného parametru. V těchto případech jsou pro určení požadovaného parametru použity výpočetní pomůcky (jednoduché grafy závislosti parametrů). Vstupy do těchto výpočetních pomůcek mohou být použity buď z přímo měřených hodnot nebo z předem určených, definovaných hodnot.

Schopnost měření přežít v podmínkách prostředí po těžké havárii není známa, ale očekává se, že jsou dostatečně robustní, aby alespoň určitou dobu odolala podmínkám při těžké havárii.

Měření koncentrace vodíku je závislé na obsahu kyslíku v měřeném prostoru a bude při vysoké koncentraci vodíku nebo spotřebování kyslíku při hoření nepřesné. Přesto poskytuje zásadní informaci o riziku vodíku, pokud budou vlivem nízkého obsahu kyslíku měřené koncentrace mnohem nižší než skutečné, znamená to zároveň nízké riziko spojené se zapálením.

PAMS zatím neposkytuje informace o měření Ra situace, resp. o stavu BSVP. Měření jsou však zprostředkována standardními prostředky. Hlavním problémem dostupnosti měření však zůstává zajištění elektrického napájení pro PAMS při SBO.

V rámci projektu kvalifikace zařízení EDU pro vybrané havarijní události byly stanoveny požadované termohydraulické a radiační parametry prostředí. Pro každý sledovaný prostor a pro každý sledovaný termohydraulický parametr pak byla ze všech známých průběhů vytvořena kvalifikační obálková křivka daného parametru.

Při těžké havárii budou podmínky v kontejnmentu dlouhodobě nepříznivé na úrovni drsných podmínek prostředí. Především je nutno počítat s velmi vysokým dávkovým příkonem, který může lokálně vlivem usazených aerosolů dosahovat až extrémních hodnot a vést k poškození čidla. Zvláštní podmínky panují při hoření vodíku. Teplota atmosféry na několik sekund může překročit 1000 °C a tlak může dle velikosti požáru překročit projektový přetlak 150 kPa. Přesto je pravděpodobné, že větší část měření je zachována i po požáru, protože tepelná kapacita stěn a zařízení je mnohem vyšší než kapacita atmosféry. Systémy Ra měření v kontejnmentu (SYRAD) a ve ventilačním komíně (Kalina) jsou schopna nadále

pracovat v dlouhodobě drsném prostředí a i za vysoké radiace předpokládané při těžké havárii. Ostatní měřicí zařízení jsou méně robustní a odolná, vlivem požáru vodíku může dojít k poruše izolace kabelů. Není k dispozici úplná informace o chování impulsních trubek a měření hladiny vystavených krátkodobě vysokým teplotám při hoření vodíku.

Všechny uvedené vlivy by mohly vést ke zhoršení přesnosti měření. Především je nutno počítat s „nevěrohodností“ údajů o teplotách. Je vhodnější se spoléhat více na údaje o tlaku, které budou dlouhodobě poměrně vyrovnané a jejich rozdíly dávají údaje například o funkci vakuobarbotážního systému. Dávkový příkon se měří kvalifikovanou instrumentací a jeho údaje lze použít (s přihlédnutím k usazování aerosolů na detektorech) přímo. SAMG se také spoléhají na měření dávek mimo kontejnment, jejichž interpretací lze odhadnout i trasu úniku.

6.1.3.9 Potential effects from the other neighbouring installations at site, including considerations of restricted availability of trained staff to deal with multi-unit, extended accidents

Nejsou identifikována žádná rizika vlivu průmyslových zařízení na lokalitu EDU. V okolí elektrárny se taková zařízení vůbec nevyskytují. Kapacita směnového personálu pro počáteční činnosti je dostatečná, pro dlouhodobé zvládání havarijních stavů současně na všech blocích však nasazení personálu musí podléhat zvláštnímu režimu (střídání a posílení na exponovaných pracovištích, odpočinek, stravování a hospodaření s dostupnými zdroji).

6.1.4 Conclusion on the adequacy of organisational issues for accident management

Cílem zvládání (řízení) havárií na JE je zabezpečit 4. úroveň ochrany do hloubky (zmírňovat následky po vzniku havárie). Na tuto úroveň navazuje havarijní připravenost JE jako 5. úroveň ochrany do hloubky (zmírňovat následky havárií doprovázených úniky Ra látek).

EDU má implementován systém zvládání havárií pro zabezpečení 4. úrovně ochrany do hloubky a systém havarijní připravenosti pro zabezpečení 5. úrovně ochrany do hloubky. Fungující a provázaný systém zvládání havárií a havarijní připravenosti je na EDU zabezpečen robustním souborem opatření personálního, administrativního a technického charakteru.

V personální oblasti se jedná o existenci organizace havarijní odezvy a zajištění činností příslušejících jednotlivým funkcím, v administrativní oblasti o implementaci příslušných postupů, návodů a instrukcí s využitím kapacit technických podpůrných středisek a v technické oblasti o zabezpečení funkčnosti požadovaného rozsahu technických prostředků pro implementaci strategií. Provádění zásahů při vzniku mimořádné události je zabezpečováno v první (preventivní) fázi rozvoje události vždy personálem nepřetržitěho

směnového provozu. V případě, kdy událost svým rozsahem přerůstá nad rámec možností personálu nepřetržitého směnového provozu, začíná druhá fáze (zmírnění následků), kdy je aktivována organizace havarijní odezvy. V tomto případě přebírá odpovědnost za řízení zásahů havarijní štáb EDU s podporou technického podpůrného střediska.

Všechny nezbytné činnosti by v případě vzniku mimořádné události byly řízeny a prováděny z chráněných míst. TPS a HŠ, které řídí strategie podle SAMG, je umístěno v HŘS, které je zabezpečené pracoviště s možností obyvatelnosti i v případě úniku aktivity do ovzduší. Dálkové činnosti pro implementaci strategií by prováděl směnový personál z BD nebo ND, kde se dokončuje projekt obyvatelnosti těchto řídicích center. Místní činnosti a případné opravy zařízení v příslušných částech reaktorovny, strojovny nebo vnějších objektů by byly zajišťovány zásahovými skupinami umístěnými na provozním podpůrném středisku.

Koncepce zvládnání technologických havárií na EDU je založena na symptomatickém přístupu. Pro řešení technologických havárií jsou zpracovány strategie, které jsou obsaženy v EOPs, jejichž hlavní prioritou je obnovení odvodu tepla z AZ a zabránění poškození 1. bariéry proti úniku štěpných produktů (pokrytí paliva). Pro zmírňování následků těžkých havárií jsou zpracovány strategie, které jsou obsaženy v SAMG, jejichž hlavní prioritou je zabránění poškození 3. bariéry proti úniku štěpných produktů (kontejnment), která je v tu chvíli poslední neporušenou bariérou. Pravidelně je prováděna aktualizace EOPs a SAMG zahrnující jednak poznatky z procvičování jejich použití na simulátoru resp. při havarijních cvičeních a jednak externí poznatky.

Při ohrožení bezpečnosti na bloku nebo na lokalitě nebo při vzniku situace, kterou nelze zvládnout silami směny je implementován systém havarijní připravenosti. Při vyhlášení některého stupně mimořádné události (Alert, Site emergency, General emergency) je aktivována organizace havarijní odezvy, která má interní součást (IOHO), složenou ze směnového personálu a pohotovostní součást (POHO), složenou ze specialistů technického personálu JE, kteří drží hotovost.

Pro výběr směnových pracovníků i pro výběr pracovníků do POHO je zaveden systém požadavků na kvalifikaci a jsou brána do úvahy i další kritéria zohledňující jejich znalosti a odbornost. Připravenost směnového a technického personálu ke zvládnání technologických havárií se pravidelně ověřuje při výcviku na plnorozsahovém simulátoru za účasti personálu TPS a v průběhu havarijních cvičení.

Organizační způsob zvládnání mimořádných událostí (včetně těžkých havárií) je stanoven ve Vnitřním havarijním plánu schváleném SUJB.

Po vzniku havarijních podmínek (projektové i nadprojektové události bez poškození paliva) se pro splnění požadavků EOPs použijí veškeré aktuálně dostupné technické prostředky v rámci jejich projektového určení. SAMG předpokládají provedení požadovaných činností

s využitím všech dostupných systémů a zařízení, resp. všech dostupných technických prostředků i v mimoprojektovém určení.

Na lokalitě EDU je k dispozici jednotka HZSp, která disponuje odpovídající požární technikou a je vycvičena k zásahu v kterémkoliv místě lokality. Čerpací technika HZSp patří mezi hlavní mobilní netechnologické prostředky využitelné pro dopravu a čerpání medií.

Program zvládání havárií na EDU je dlouhodobě analyticky podporován. Analytická podpora je založena na pravděpodobnostně - deterministickém přístupu, který spočívá ve výběru nejpravděpodobnějších havarijních scénářů vedoucích k těžkým haváriím a následně jejich deterministické analýze pomocí integrálních výpočetních kódů. Výsledkem analytické podpory je souhrn poznatků, spočívající v porozumění jevům při těžkých haváriích a jejich časování, identifikaci možných slabých stránek projektu, určení činností pro zmírnění následků těžkých havárií, validaci činností pro odezvu na těžké havárie a určení zdrojového členu pro vyhodnocení možných radiologických následků. V současné době je dokončován simulační nástroj pro zobrazování jevů při konkrétních scénářích těžkých haváriích.

6.1.5 Measures which can be envisaged to enhance accident management capabilities

I když existuje několik diverzních systémů pro implementaci každé strategie zvládání havárií, byly v oblasti schopnosti personálu zvládat těžké havárie identifikovány příležitosti pro další zvýšení bezpečnosti.

V oblasti administrativního řízení se jedná zejména o Návodů pro zvládání těžkých havárií pro odstavené stavy (SAMG pro odstavené stavy), které nejsou doposud pro EDU dokončeny. Nicméně pro údržbu EOPs, SDEOPs a SAMG je pravidelně realizován tzv. „Maintenance program“ resp. prováděna jejich aktualizace.

V oblasti personální mohou nastat problémy s dostupností lokality resp. použitelnosti HŘS a tím s řízením činností, s rozhodováním o velmi rizikových variantách řešení při zvládání havarijní situace a v neposlední řadě s komunikací a varováním personálu.

Plány pro další zodolnění existujícího systému směřují k posouzení připravenosti k řízení mimořádných situací ze záložních havarijních center (v případě nepřístupnosti lokality) a v periodickém přezkoumávání nominace odborně nejlepšího personálu POHO.

Pro zvýšení efektivnosti systému zvládání havárií budou dále rozpracovávána opatření v následujících oblastech:

1. Organizační zabezpečení pro nejefektivnější využití existujících kapacit nebo definování dodatečných kapacit – tzv. krizové plány, pro zvládání předvídatelných stavů JE (zasažení celé lokality, ztráta řídicích center havarijní připravenosti, ztráta systémů

vyrozumění a varování, rozhodování o rizikových variantách řešení, střídání personálu, extrémní přírodní podmínky,...).

2. Dopracování některých technologických předpisů / postupů / návodů pro zvládání vybraných nadprojektových stavů a těžkých havárií JE (SAMG pro odstavené stavy, SAMG pro poškození paliva v BSVP, EDMG, ...) s cílem zabezpečit chlazení a odvod tepla z AZ a BSVP a zabránit radioaktivním únikům.
3. Zvýšit úroveň výcviku personálu v oblasti zvládání těžkých havárií (využití simulačního nástroje pro zobrazování průběhů parametrů, jevů, a chování bloku při konkrétních scénářích těžkých havárií)
4. Doplnující technická opatření pro zabezpečení netechnologických podpůrných funkcí (přístupnost k objektům, dostupnost hasičské techniky, zabezpečení HŘS a krytů, systémů fyzické ochrany, ...).
5. Alternativní prostředky pro zajištění dlouhodobé funkční komunikace mezi všemi složkami systému zvládání havárií.

Příležitosti ke zlepšení ochrany do hloubky při událostech jsou uvedeny v následující tabulce.

Některá z opatření (v poznámce označena jako „Nález PSR“) by byla realizována i bez tohoto cíleného hodnocení, které svými výstupy potvrdilo efektivitu a správnost dříve přijatých rozhodnutí k implementaci opatření ke zodolnění původního projektu. Podrobnější popis nápravných opatření je uveden v Příloze

Příležitost ke zlepšení	Nápravné opatření	Termín (krátkodobý I / střednědobý II)	Poznámka
Obyvatelnost BD při těžké havárii	Zajištění obyvatelnosti BD	II	Nález PSR
Obyvatelnost krytů při těžké havárii	Kyslíková regenerace v krytech	II	Nález PSR
PAMS	Doplnění měření o Ra situaci a stavu BSVP	II	
Předpisy	Zpracovat „shutdown SAMG“ pro odstávku / Těžkou havárii v BSVP	I	Nález PSR
Havarijní připravenost	Zajistit alternativní prostředky pro varování a vyrozumění personálu EDU a obyvatel v ZHP	I	

Příležitost ke zlepšení	Nápravné opatření	Termín (krátkodobý I / střednědobý II)	Poznámka
Předpisy	Návody EDMG pro použití alternativních prostředků	II	
Havarijní připravenost	Zabezpečit fungování složek havarijní odezvy v případě nedostupnosti HŘS.	I	
Personál	Zvýšit úroveň školení a výcviku TPS v oblasti těžkých havárií	I	Nález PSR - Realizuje se simulační nástroj pro zobrazování těžkých havárií
Havarijní připravenost	Připravit dohody s externími složkami (IZS, armáda) a blízkými JE. Organizační opatření.	II	

6.2 Accident management measures in place at the various stages of a scenario of loss of the core cooling function

6.2.1 Before occurrence of fuel damage in the reactor pressure vessel/a number of pressure tubes (including last resorts to prevent fuel damage)

Základní příčinou těžkých havárií je nedostatečný odvod zbytkového tepla uvolňovaného z paliva v AZ. Za poškození AZ se považuje lokální překročení teploty pokrytí 1200 °C, kdy se rozvine paro-zirkoniová reakce. Vzhledem k nemožnosti měření tohoto parametru byl stanoven setpoint pro přechod do SAMG na hodnotu teploty na výstupu AZ 550 °C. Překročení 1200 °C v rozsáhlejší oblasti vede k intenzivní paro-zirkoniové reakci, která je exotermická. Uvolní se tak rychle mnohem větší množství tepla, než je zbytkové teplo, toto teplo přispěje k rozvoji havárie, protože se většinou akumuluje uvnitř AZ.

Obnovení odvodu tepla z AZ ze strany II.O alternativními prostředky je prováděno v EOPs tj. ještě před přechodem do SAMG. Dále jsou prováděny činnosti spojené s odtlakováním I.O s cílem umožnit vstřik nízkotlakých čerpadel do I.O.

K dispozici jsou dva trvalé způsoby zastavení rozvoje ztráty chlazení AZ do těžké havárie:

- Obnovení odvodu tepla přes PG (alternativní doplňování PG nízkotlakými zdroji včetně doplňování vody prostředky HZSp).
- Odvod tepla doplňováním chladiva do I.O a jeho odpouštěním únikovým otvorem v primárním systému (při LOCA) nebo otevřenými ventily KO (feed&bleed).

Součástí EOPs jsou i alternativní strategie:

- Odtlakování primárního systému resp. vychlazování ze strany II.O, což může vést k prosazení hydroakumulátoru nebo dokonce nízkotlakých havarijních či alternativních zdrojů.
- Obnova provozuschopnosti vysokotlakých systémů havarijního doplňování nebo alternativních VT systémů nouzového doplňování I.O.
- Využití zbývajících chladiva ve smyčkách nuceným startem HCČ i za cenu jeho zničení.

6.2.2 After occurrence of fuel damage in the reactor pressure vessel

Konzervativně můžeme poškození paliva spojit s okamžikem začátku paro-zirkoniové reakce spojené s masivní produkcí vodíku, která předchází začátku ztráty geometrie AZ. Symptomem poškození AZ jejím tavením je tedy kromě stále narůstající teploty zejména nárůst koncentrace vodíku v kontejnmentu. Vzhledem k rychlosti produkce vodíku před ztrátou geometrie by koncentrace vodíku nemusela být zvládnutelná dostatečně rychle stávajícími rekombinátory. Na případné bezpečné zapálení vodíku v počáteční fázi však stále zůstává časová rezerva (řádově desítky minut).

Typická doba od vstupu do SAMG do porušení integrity TNR působením taveniny AZ TNR je cca 7 hodin za předpokladu, že všechny způsoby dodání chladiva do nádoby selhaly.

Zásadní strategií, která je použita v SAMG v této fázi havárie, je snížení tlaku v primárním systému jednak z důvodů snížení produkce vodíku, ale především kvůli zabránění creepovému porušení dna nádoby a vysokotlakému vypuzení taveniny z nádoby. V souladu s generickými návody je požadovaná hodnota tlaku I.O pod hodnotou 2 MPa, konkrétně pro bloky EDU je stanoveny hodnota 1 MPa. Jev nazývaný „přímý ohřev kontejnmentu“ u VVER-440 v celém objemu nehrozí nebo je nepravděpodobný. Rizikové je však zatížení stěny šachty reaktoru vysokým přetlakem plynů z primárního systému, pokud je otvor po selhání nádoby dostatečně velký, které je ještě zesíleno „přímým ohřevem“ atmosféry šachty od částic roztaveného paliva.

Snížení tlaku v primárním systému je jednou z nejvyšších priorit především k zabránění vypuzení trosek z nádoby pod vysokým tlakem, jak je popsáno v kap. 6.3.1. Poškození paliva paro-zirkoniovou reakcí pod vysokým tlakem zároveň podstatně zvyšuje produkci vodíku, proto je nutné snížení tlaku ještě dlouho před rizikem selhání dna nádoby. K tomu účelu lze použít PVKO a OVKO.

Mezi počátkem poškození AZ a selháním nádoby lze rozlišit několik dílčích fází odpovídajících postupné ztrátě geometrie, vytváření bazénu taveniny na nosné desce a jeho

selhání a postupu trosek na dno nádoby. Vzhledem k velkému množství vody ve spodní části nádoby však k selhání dna dojde až za několik hodin, samotná existence vody mu již nemůže zabránit, protože hromadící se trosky vytvoří neuchladitelnou konfiguraci.

Strategie obnovení odvodu tepla je řešena v SAMG pomocí odtlačování a především doplňováním I.O. V této fázi havárie již nelze využít chlazení I.O. ze strany II.O, a proto je nutno dodat chladivo přímo do nádoby reaktoru.

Čím dříve dojde k dodávce vody, tím větší je šance k zastavení havárie a udržení taveniny v nádobě. Kromě případu, kdy je většina trosek již na dně nádoby v nepříznivé konfiguraci, je stále určitá šance zabránit selhání dna TNR. Proto návody SAMG doporučují zahájit dodávku vody v okamžiku, kdy se podaří obnovit zdroj v množství větším než je minimálním průtok potřebný k zaplavení AZ. Ten byl v SAMG stanoven jako takový průtok, který je odpařen zbytkovým teplem AZ.

Riziko selhání nádoby by podstatně snížila realizace strategie chlazení nádoby zvenčí zaplavením šachty reaktoru. Analyticky byla úspěšnost této strategie potvrzena. V rámci realizace technických řešení na úpravě přívodních potrubí vzduchotechniky do šachty reaktoru byly již připraveny nátokové otvory z podlahy boxu PG, umožňující po dokončení celé akce zaplavení místnosti šachty reaktoru. Již dříve bylo v místnosti šachty reaktoru realizováno měření hladiny a provedeno zaslepení drenáže do speciální kanalizace. Obě tyto akce podporují výše uvedenou strategii.

6.2.3 After failure of the reactor pressure vessel

Pokud by se nepodařilo zastavit havárii uvnitř tlakové nádoby reaktoru, došlo by k selhání její spodní části a interakci roztaveného paliva s betonem. Hlavní důsledky této fáze havárie by mohly být následující:

- Dodatečná produkce vodíku z nezoxidovaného Zr, oceli v troskách i armování betonu.
- Průnik taveniny stěnou šachty reaktoru.

Produkce vodíku při interakci taveniny s betonem dna šachty reaktoru není již zdaleka tak rychlá jako při oxidaci pokrytí. Je o dva řády nižší než produkce vodíku při reakci vodní páry se zirkoniovým pokrytím.

Průnik taveniny stěnou šachty je závažnější než průnik dnem šachty protože:

- Průnik taveniny stěnou v radiálním (horizontálním) směru je rychlejší než průnik v axiálním (vertikálním) směru.
- Stěna 2,5 m je tenčí než dno 3,1 m.
- Stěna šachty tvoří hranici kontejnmentu, dnem proniknou trosky do základové desky (podloží), kde jsou štěpné produkty zadržovány.

K poškození dna nádoby by došlo tepelným creepem. Při vyšším tlaku uvnitř nádoby to může být při nižší teplotě dna a ještě před roztavením trosek na dně. Lokalizace poškození závisí na tlaku, při vyšším tlaku je v místě největšího napětí na dně nádoby, při nízkém v místě ztenčení nádoby ve válcové části.

Po poškození nádoby TNR by došlo k relokační materiálu z nádoby a postupně by se mohla vytvořit taková vrstva trosek s hustým uspořádáním, která by nemusela být uchlazená. Docházelo by k protavování trosek a jejich interakci s betonem i pod případnou vrstvou vody, která by nebyla schopna odvádět teplo z důvodu, že by mohla být od trosek izolována blánovým varem. Při protavování taveniny betonem by docházelo ke vzniku vodní páry, vodíku a CO.

Na povrchu taveniny v šachtě by se vytvořila pevná krusta, která by omezovala odvod tepla z povrchu taveniny i v případě, že by byla pokryta vodou.

U reaktoru VVER-440 by byly dveře v šachtě určitou dobu chráněny tuhými troskami nebo krustou vůči dotyku s tekutými troskami. Krusta nicméně má nízkou tepelnou vodivost. Vzhledem k napětí taveniny a nízké teplotě tavení oceli by nejpravděpodobněji došlo k roztavení spodní části dveří a přelití části taveniny uličkou ke druhým dveřím, které by selhaly po určité době také. V každém případě nelze vyloučit malé poškození kontejnmentu krátce po selhání dna nádoby, důsledkem selhání pryžového těsnění dveří.

Zalitím trosek v šachtě by mohly být dveře chráněny. I při porušení těsnění zůstává v záloze těsnění vnějších dveří, které by mohlo zabránit úniku vody a tím uchránit dveře. Tento způsob ochrany dveří nebyl analyzován, vše je založeno na odborném odhadu.

Pokud jsou provedena opatření k zabránění selhání dveří, pak by mohlo dojít k průniku taveniny stěnou šachty až za cca 4 dny od selhání dna nádoby. To představuje velké pozdní poškození kontejnmentu. Koncentrace štěpných produktů v atmosféře kontejnmentu by byla v té době již nízká.

Strategie chlazení taveniny je součástí návodu SAMG „Zaplavení šachty“. Současná konfigurace elektrárny dává možnost zaplavit šachtu přelivem, k tomu je ale zapotřebí vody ze dvou TH nádrží a barbotážních žlabů. Návod proto uvažuje vypuštění barbotážních žlabů včetně kontroly zavření kanalizace boxu aby se zbránilo dalším ztrátám. K čerpání vody z TH nádrží by mohla být použita sprchová TQ čerpadla, alternativně čerpadly systémů TG a TM. Strategie také uvažuje využití zásob vody ze sousedního bloku.

Hlavním přínosem strategie zaplavení trosek v šachtě reaktoru je pak chlazení ocelových dveří a zachycení štěpných produktů uvolněných při interakci taveniny s betonem.

6.3 Maintaining the containment integrity after occurrence of significant fuel damage (up to core meltdown) in the reactor core

6.3.1 Elimination of fuel damage / meltdown in high pressure

6.3.1.1 Design provisions

Základním projektovým nástrojem pro zajištění odtlakování I.O jsou PVKO. Další možností je použití OVKO (jehož průtočný průřez je nižší než u PVKO) resp. obnova odvodu tepla přes PG.

6.3.1.2 Operational provisions

Již v EOPs jsou strategie na udržení dlouhodobě bezpečného stavu založeny na řízeném vychlazení a hlavně odtlakování I.O. Jednou z hlavních priorit SAMG je zabránit poškození TNR protavením taveniny AZ při vysokém tlaku, činnosti jsou také vzhledem k riziku zvýšení produkce vodíku zahájeny ještě v EOPs a následně bezprostředně po vstupu do SAMG.

I když nedorazí k odtlakování I.O ještě před masivní paro-zirkoniovou reakcí, je stále dostatek času k zabránění selhání nádoby pod vysokým tlakem. Jevy spojené s produkcí vodíku, jako hoření nebo detonace, však mohou ovlivnit poměry uvnitř kontejnmentu a tím i ovládání PVKO a OVKO.

6.3.2 Management of hydrogen risks inside the containment

6.3.2.1 Design provisions, including consideration of adequacy in view of hydrogen production rate and amount

Integrita kontejnmentu je v časně fázi havárie nejvíce ohrožena velkým požárem nebo detonací vodíku, následovaném selháním dvojíých dveří v šachtě reaktoru. V pozdní fázi havárie se k tomu přidává průnik trosek šachtou. K ohrožení kontejnmentu vodíkem by mohlo dojít po začátku poškození AZ při paro-zirkoniové reakci. Vlivem velkého povrchu pokrytí a exotermičnosti reakce je vývin vodíku velmi rychlý, řádově mezi 0,5 a 1 kg/s. Vzhledem k rychlosti produkce vodíku před ztrátou geometrie je takové množství vodíku stávajícími rekombinátory nezvládnutelné. Vývin vodíku by pokračoval i v pozdní fázi havárie při reakci taveniny s betonem na dně šachty reaktoru ovšem s již o dva řády menší rychlostí (méně než 0,01 kg/s). Z hlediska ohrožení integrity kontejnmentu vodíkem v pozdní fázi by se riziko samozřejmě zvyšovalo, ovšem za předpokladu, že by do té doby zůstal kontejnment celistvý. Je velmi pravděpodobné, že mohlo dojít ke spálení velkého množství vodíku již v časně fázi, v horším případě by mohlo dojít k rychlému hoření nebo detonaci, což by vedlo k nevratnému poškození kontejnmentu a vodík by pak volně unikl. Případně vypuzené trosky AZ z nádoby reaktoru jsou také významným zápalným zdrojem vodíku.

K intenzivní produkci vodíku dochází asi 30 minut po překročení teploty plynu výstupu AZ 550 °C. Průběh produkce vodíku z paro-zirkoniové reakce je podstatně intenzivnější při vysokém tlaku, proto jedním z prvních požadavků SAMG je pokyn na odtlakování I.O. Největší část vodíku se produkuje během jedné hodiny před relokací roztaveného paliva.

Vodík vypouštěný do kontejnmentu by mohl vést k nebezpečným výbušným koncentracím především v barbotážní šachtě, kde je nižší koncentrace vodní páry vlivem její kondenzace na povrchu žlabů. Pevnost kontejnmentu by mohla být ohrožena až při současném spálení vodíku ve velkém objemu celého kontejnmentu.

Hlavní zdroje vodíku při těžké havárii pocházejí z paro-zirkoniové reakce na povrchu pokrytí a obálek paliva v reaktoru nebo reakce páry uvolněné z betonu v šachtě reaktoru s kovy v troskách.

Kontejnmenty bloků EDU jsou vybaveny systémem likvidace pohavarijního vodíku navrženým pouze pro projektové havárie. Pro projektové LOCA havárie, kdy se produkuje jen velmi malé množství vodíku, je na jeho likvidaci k dispozici 17 rekombinátorů umístěných v kontejnmentu. O z odolnění projektu EDU v oblasti zvládnutí těžkých havárií bylo rozhodnuto po provedení Periodic Safety Review v roce 2006 (viz kap. 1.2.2) V závěrečné fázi přípravy je projekt na vybudování systému pro účinnou likvidaci havarijního vodíku, schopný zvládnout i vodík hypoteticky vzniklý při nejhorším scénáři (z hlediska produkce vodíku) těžké havárie. Dosud provedené analýzy i zkušenosti z jiných VVER potvrdily, že takový systém složený z výkonných rekombinátorů (cca 30 ks) doplněných zapalovači pro případ fungování sprch dokáže omezit riziko urychlení plamene a vyloučit riziko přechodu k detonaci.

6.3.2.2 Operational provisions

Ohrožení integrity kontejnmentu hořením vodíku je řešeno SAMG buď na principu záměrného zapálení nebo inertizace kontejnmentu. Každé náhodně nebo záměrně vyvolané hoření vodíku nebo jeho rekombinace snižuje koncentraci kyslíku v atmosféře a tím omezuje budoucí riziko hořením vodíku. K úplnému spotřebování kyslíku v části kontejnmentu bez plynojemů postačí spálení nebo rekombinace asi 700 kg vodíku. Další vodík produkovaný především při interakci s betonem tak pouze zvyšuje tlak v kontejnmentu, ale nepřispívá k riziku hoření vodíku (protože není k dispozici žádný kyslík).

Zapálení předpokládá vytvoření jiskry použitím elektrických zařízení uvnitř kontejnmentu. V návodech je obsažen seznam zařízení, kterým by personál BD zkoušel manipulovat (měnit polohu armatur) s cílem vyvolat vznik jisker. Při použití zařízení na nižších výškových úrovních by se usnadnilo hoření. Použití elektrických zařízení nemusí být zcela účinné. Většina těchto zařízení jsou v izolovaném nejiskrovém provedení. Pro zapálení je ale krátký

časový prostor, protože při rychlé produkci vodíku bude záhy koncentrace vodíku příliš vysoká.

K inertizaci kontejnmentu je možno omezeně použít vypuštění dusíku z hydroakumulátoru, k účinné inertizaci v současném stavu projektu je možno použít vodní páru, která oddálí riziko hoření do ještě vyšší koncentrace vodíku. Především však pravděpodobně dojde k zapálení vodíku stávajícími rekombinátory, pokud jeho koncentrace překročí v místě jejich instalace 10 %. Současné rekombinátory tedy neřeší riziko vodíku při těžké havárii, protože mohou odstranit pouze několik kg vodíku v časně fázi havárie.

V případě odtlakování I.O ještě před poškozením AZ (což je již prováděno v rámci EOPs) a pokračováním této procedury po poškození AZ je riziko detonace pozdější a lokalizované pouze v šachtě barbotáže.

6.3.3 Prevention of overpressure of the containment

6.3.3.1 Design provisions, including means to restrict radioactive releases if prevention of overpressure requires steam / gas relief from containment

Projektovou funkcí kontejnmentu je zabránit únikům Ra látek do životního prostředí, případně omezit radiační následky havárie na okolí. Kontejnment tvoří poslední bariéru proti úniku aktivity a je nezávislý na ostatních bariérách. Funkce kontejnmentu je zajištěna konstrukcí a strukturou, která s jistotou odolá projektovému přetlaku 150 kPa a s velkou pravděpodobností cca dvojnásobnému přetlaku. Těsnost kontejnmentu je pravidelně kontrolována (v rámci těsnostní zkoušky PERIZ) a jsou prováděna opatření která těsnost zvyšují.

Projektová funkce kontejnmentu je zajištěna dvěma způsoby:

1. Použitím izolačních RČA na všech trasách procházejících stěnou kontejnmentu, použitím těsných průchodů a těsných průchodek všech potrubí a kabelů procházejících stěnou.
2. Minimalizací úniků omezením doby trvání vnitřního přetlaku s následným vytvořením podtlaku vůči okolí.

Systém potlačení tlaku v kontejnmentu sestává ze dvou částí:

- Vakuobarbotážní systém obsahující pasivně fungujícími barbotážními žlaby, které zkondenzují vodní páru a následně zabezpečí pasivní sprchování kontejnmentu. Nezkondenzovatelné plyny a vzduch z prostředí kontejnmentu se zadržují v záchytných plynojemech, které se následně automaticky oddělí od prostředí kontejnmentu.
- Sprchový systém s trojicí aktivních sprchových čerpadel.

Součinností obou systémů je zaručeno vytvoření podtlaku v kontejnmentu a úplná eliminace úniku do okolí. Správná činnost barbotážního kondenzátoru, která je podstatná pro splnění

bezpečnostní funkce kontejnmentu VVER 440/213, byla prověřena v rámci Projektu PHARE/TACIS PH2.13/95 „Experimentální Kvalifikace Barbotážního Kondenzátoru“. Testy, experimenty na unikátním zařízení modelujícím boxy PG a VBK v měřítku 1:100 a konečně analýzy ukázaly, že vakuobarbotážní systém pro jaderné elektrárny VVER 440/213 (Paks, Dukovany, Bohunice a Rovno) jsou schopny odolat vyvolaným zátěžím a udržet svoji funkčnost. Je to zásadní zařízení omezující maximální tlak během havárií s velkým únikem. Zajišťuje maximální příspěvek k redukci tlaku až do podtlaku brzy po začátku LOCA havárie s velkým únikem a tím zabraňuje uvolnění radioaktivních materiálů do životního prostředí. Při rozvoji do těžké havárie nelze trvale udržet podtlak v kontejnmentu, ale z výsledků analýz vyplývá, že lze garantovat minimální přetlak a únik aktivity bude menší než 0,1 % těkavých štěpných produktů kromě vzácných plynů. Při hypotetickém selhání aktivních sprch zajistí barbotáž nižší tlak v kontejnmentu, než u klasického plnotlakého kontejnmentu, a únik do okolí méně než 1 % těkavých štěpných produktů kromě vzácných plynů. Vakuobarbotážní systém tak eliminuje nižší těsnost kontejnmentu oproti plnotlakým kontejnmentům.

To platí pro kontejnment se zachováním integrity, po její ztrátě je nutno počítat s velmi vysokým únikem aktivity do okolí, který by částečně mohl omezit fungující aktivní sprchový systém.

Ohrožení kontejnmentu EDU VVER-440/213 přetlakem plynů (s výjimkou krátkého vzrůstu tlaku při hoření vodíku) je velmi malé. Souvisí to s těmito fakty:

- Vakuobarbotážní systém kondenzuje páru a vytváří na začátku havárie podmínky podtlaku v kontejnmentu za cenu určitého natlakování jeho části – plynojemů.
- Celkový objem kontejnmentu včetně plynojemů je v porovnání se zbytkovým výkonem relativně velký, zhruba 50 000 m³.
- Poměrně vysoká provozní netěsnost kontejnmentu několik procent hmotnosti plynu/den při projektovém tlaku podporuje snižování tlaku. Protože netěsnost má zřejmě charakter drobných trhlinek v betonu, pak vlivem aerosolů však může postupně docházet k jejich ucpání.

Tlak 250 kPa (přetlak 150 kPa) je projektový tlak, kdy je velké poškození kontejnmentu ještě nepravděpodobné. Dle pevnostních výpočtů pro JE při přetlaku cca 290 kPa hrozí ztráta integrity kontejnmentu asi s 5% pravděpodobností, přetlaku 350 kPa odpovídá 50% pravděpodobnost.

Výsledky analýz možnosti ztráty integrity kontejnmentu přetlakem vodíku ukazují, že po asi 4,5 dnech, v okamžiku průniku trosek stěnou šachty, by byl přetlak v kontejnmentu asi 120 kPa, dle odhadu, kdyby nedošlo k selhání stěny šachty, by dosáhl projektového přetlaku asi po 5 dnech. Ucpání netěsnosti mělo přitom poměrně velký vliv na průběh tlaku, pokud by k němu nedošlo, byl by maximální přetlak po 4,5 dnech cca 60 kPa.

Tlakování kontejnmentu vodní parou při selhání odvodu tepla a sprchového systému může být teoreticky rychlejší než tlakování vodíkem. Tento scénář však lze prakticky vyloučit, protože při selhání odvodu tepla dojde pravděpodobně i ke ztrátě vody a přerušení produkce páry.

6.3.3.2 Operational and organisational provisions

Strategie zabránění přetlakování je popsána v návodu SAMG, Řízení tlaku v boxu, který je použit již při přetlaku 10 kPa. Jeho smyslem je spíše zabránit vyššímu úniku existující netěsností než budoucím ohrožení kontejnmentu přetlakem. Tomu odpovídá použití nejprve systémů kontejnmentu s odvodem tepla jako je sprchový systém nebo recirkulační ventilace při zachování tlakové hranice kontejnmentu.

Návod SAMG „Snížení tlaku v boxu“, kromě těchto systémů počítá i s použitím vzduchotechnických systémů pro řízený venting, pomocí systémů vybavených filtry aerosolů a jódu (nejsou však k tomuto projektově určeny). Únik radioaktivity by byl v tomto případě omezen, neboť část vzácných plynů by zůstala zachycena v plynojemech.

Lze konstatovat, že strategie pro zabránění přetlakování kontejnmentu jsou použitelné se stávajícími prostředky a analyticky bylo potvrzeno, že není nutné vyvíjet další speciální systém filtrované ventilace pro těžké havárie.

6.3.4 Prevention of re-criticality

6.3.4.1 Design provisions

Pro VVER-440 je riziko ředění bóru v pokročilé fázi havárie nižší než pro reaktory PWR. Vzhledem k použití zasunutí řídicích tyčí spolu s vysunutím části palivových kazet (37 z 349) z AZ by byla reaktivita nižší i při roztavení a relokaaci řídicích tyčí.

6.3.4.2 Operational provisions

Ve stavu ohrožení podkritičnosti AZ v preventivní fázi (EOPs), je zvýšení koncentrace bóru požadováno zejména z důvodu nezasunutí HRK a ne pro kompenzaci vnosu kladné reaktivity od poklesu teploty při vychlazování.

Po ztrátě geometrie paliva problém ředění bóru neexistuje. Geometrie vytvořená troskami uvnitř reaktoru nebo v šachtě pod reaktorem je za všech situací hluboce podkritická i při zalití čistou vodou.

6.3.5 Prevention of basemat melt through

6.3.5.1 Potential design arrangements for retention of the corium in the pressure vessel

Konstrukce VVER-440/213 je výhodná z hlediska zadržení taveniny uvnitř nádoby reaktoru jejím chlazením zvenčí, i když se v původním projektu s tímto opatřením nepočítalo. Především zbytkový výkon reaktoru je velmi nízký, což zaručuje nízké tepelné toky na vnějším povrchu nádoby v oblasti bublinkového varu s velkou rezervou do krize varu. Nádoba nemá ve spodní části žádné průchodky. Šachta reaktoru patří mezi nejnižší místa v kontejnmentu a při ztrátě vody nouzového chlazení postačí vypuštění barbotážních žlabů k jejímu zaplavení.

O zodolnění projektu EDU v oblasti zvládání těžkých havárií bylo rozhodnuto po provedení Periodic Safety Review v roce 2006 (viz kap. 1.2.2) Na blocích EDU byly již provedeny některé úpravy, které směřují k chlazení nádoby zvenčí. Především je uzavřena kanalizace na dně šachty, doplněno měření hladiny v místnosti šachtě reaktoru a upraveny přírodní trasy ventilace TL11 do místnosti šachty reaktoru včetně přípravy nátokových otvorů tak, že je možno jej osadit napouštěcími ventily. Zbývá provést určité úpravy izolace ve spodní části nádoby, aby nebránily přístupu vody k nádobě a drobné úpravy ve spodní části místnosti šachty (síta) a v horní části místnosti (odvod páry do kontejnmentu z prostoru šachty reaktoru).

6.3.5.2 Potential arrangements to cool the corium inside the containment after reactor pressure vessel rupture

Velmi účinným opatřením k ochraně kontejnmentu před pozdní fází havárie (a s tím spojených problémů jako obnovení zdroje vodíku, protavení dveří nebo šachty) by bylo zadržení taveniny uvnitř nádoby zaplavením šachty reaktoru.

Následky protavení dveří v šachtě lze zmírnit především hermetizací místnosti A0065 případně ucpáním meziprostoru mezi ocelovými dveřmi betonovými kvádry. Může být účinné chlazení trosek v šachtě vodou.

Interakce taveniny s betonem dna kontejnmentu je pro VVER-440/213 známý fenomén související s průnikem taveniny stěnou šachty, nebo ještě dříve dvojími ocelovými dveřmi ve stěně šachty do nehermetických prostor.

Pomalejším jevem je protavení základové desky. Ta je silnější než stěna šachty, 3,1 m, a pod ní je zemina, která by přispívala k filtrování štěpných produktů. Postup průniku taveniny je obecně rychlejší v radiálním, než v axiálním směru.

Vývin vodíku v této fázi havárie ve srovnání s vývinem vodíku při paro-zirkoniové reakci v časně fázi havárie je výrazně pomalejší.

K bočnímu průniku trosek stěnou šachty by dle analýz došlo asi 4,5 dne od iniciační události za předpokladu, že by dříve nedošlo k protavení obou ocelových dveří. Voda dodaná do šachty po průniku trosek nádobou by tuto dobu mohla prodloužit a hlavně by mohla ochránit ocelové dveře.

Strategie chlazení taveniny je součástí návodu SAMG, „Zaplavení šachty reaktoru“. Dodání vody do šachty před protavením nádoby je v současné době možné jen přelivem přes postament reaktoru. K tomu je potřeba poměrně velké množství vody, zásoby dvou TH nádrží a voda z barbotážních žlabů. Tento zásah může prodloužit dobu do průniku trosek šachtou o několik až mnoho hodin. Návod SAMG předpokládá vypuštění barbotážních žlabů nebo čerpání vody z TH nádrží při provozuschopnosti TQ čerpadel. Návod také uvažuje využití zásoby vody ze sousedního bloku.

Po dokončení technických řešení dle kap. 6.3.5.1 bude jiné opatření na chlazení trosek v šachtě zbytečné, protože trosky by byly zadrženy v nádobě. Pokud by ale přesto došlo k porušení dna nádoby, byla by šachta již zaplavena a automaticky by byly chráněny ocelové dveře a alespoň oddálena interakce trosek s betonem.

Hlavní přínos strategie zaplavení trosek v šachtě je chlazení ocelových dveří. Při větším množství trosek voda zřejmě nezastaví zcela průnik taveniny betonem šachty.

6.3.5.3 Cliff edge effects related to time delay between reactor shutdown and core meltdown

Z analýz scénáře SBO, kdy dojde ke ztrátě odvodu tepla z I.O ze strany PG, vyplývá, že i bez provádění alternativních činností, které jsou popsány v EOPs, existuje relativně dlouhá časová rezerva na obnovu odvodu tepla z I.O. Teplota na výstupu AZ 550 °C byla dosažena za cca 9 h od vzniku SBO při neprovedení činností požadovaných již v preventivní fázi v rámci EOPs. Obdobné časové rezervy byly zjištěny i při scénáři „transient“ (úplná ztráta napájení PG). Pokud by bylo prováděno alternativní doplňování PG v souladu EOPs lze účinně tuto dobu prodloužit do řádu dnů.

Havárie LOCA se ztrátou všech aktivních systémů havarijního doplňování primárního chladiva by teoreticky mohly vést k poškození AZ dříve. Příkladem takových havárií je kombinace SBO+LOCA. Výsledky PSA však naznačují extrémně nízké četnosti těchto událostí, menší než 10^{-8} /rok. Analýzy těžkých havárií se tak zaměřují na pravděpodobnější scénáře LOCA, kdy ke ztrátě chlazení dojde až v recirkulační fázi provozu havarijních čerpadel SAOZ (přechod na sání z kontejnmentu). Většinou můžeme počítat se zpožděním poškození AZ vypuštěním barbotážních žlabů, takže k poškození AZ by došlo mnohem později než v případě SBO se selháním alternativních metod doplňování PG.

6.3.6 Need for and supply of electrical AC and DC power and compressed air to equipment used for protecting containment integrity

6.3.6.1 Design provisions

Integrita kontejnmentu je zabezpečena následujícími systémy:

- Systém izolace kontejnmentu – RČA ovládané stlačeným vzduchem (mají tlakové zásobníky) a RČA ovládané elektricky na systémech ventilace (provozní schopnost podmíněna napájením SZN I. kat.)
- Systém likvidace vodíku pro projektové události obsahuje pasivní autokatalytické rekombinátory (i po případném doplnění výkonnějších) nevyžaduje elektrické napájení.
- Pasivní část vakuo-barbotážního systému obsahuje mechanické klapky, které nevyžadují elektrické napájení
- Aktivní část vakuo-barbotážního systému – aktivní sprchový systém vyžadující SZN II. kat. - i jeho dlouhodobé selhání však nevede ke ztrátě integrity kontejnmentu.

Zajištění nezbytných energií pro funkčnost těchto systémů je uvedeno v kap. 1.1.2.

6.3.6.2 Operational provisions

Většina strategií popsaných v SAMG (doplňování vody do kontejnmentu, odvod tepla, udržování tlaku v kontejnmentu) vyžaduje pro úspěšnou implementaci alespoň omezenou dostupnost elektrického napájení.

6.3.7 Measuring and control instrumentation needed for protecting containment integrity

Bloky EDU jsou vybaveny systémem měření koncentrace vodíku. Systém měření koncentrace vodíku obsahuje 15 snímačů s rozsahem do 10 % rozmístěných v různých místnostech kontejnmentu.

Pro těžké havárie může dojít k určitému poškození některých měřicích čidel požáry vodíku. Přesto by měla být větší část měření potřebných k provádění SAMG dostupná.

Mez měření koncentrace vodíku 10 % by mohla být při požárech vodíku překročena. Omezený rozsah měření koncentrace vodíku nepředstavuje příliš velký problém, protože přechod ze strategie založené na zapálení vodíku na strategii pro zabránění hoření by měl být proveden při nižších koncentracích vodíku než je 10 %. Nedostatkem související se zvládáním problematiky vodíku je absence měření koncentrace vodní páry v kontejnmentu. Proto SAMG obsahují výpočetní pomůcky, které nahrazují chybějící informaci.

Pro vyhodnocení ztráty chlazení AZ se používá měření teploty na výstupu z AZ. Je nutno počítat s postupnou ztrátou termočlánků na výstupu AZ. Na potvrzení účinnosti jednotlivých

strategií jsou důležité hladinoměry a měření tlaku. Kromě měření hladiny v samotné šachtě budou pravděpodobně dostupné a nepoškozené (např. hladiny v TH nádržích).

Měření tlaku v kontejnmentu, teploty AZ a hladiny vody na podlaze kontejnmentu fungují při normálním provozu bloku a i při havarijních stavech, nebyly však speciálně projektovány pro těžké havárie. Předpokládá se však jejich částečné zachování i v podmínkách těžké havárie. Rozhodující pro ochranu integrity kontejnmentu je především měření tlaku, na jehož základě je vydáno rozhodnutí provést filtrovanou nebo nefiltrovanou ventilaci kontejnmentu k ochraně integrity při růstu tlaku nad 300 kPa (pokud by takového přetlaku bylo vůbec dosaženo). Jak měření, tak odpovídající zásah vyžadují funkci SZN I.

Pro posouzení ohrožení kontejnmentu přetlakem jsou k dispozici měření přetlaku v kontejnmentu s dostatečným rozsahem (450 kPa), který jsou umístěny na více místech. Očekává se, že alespoň jedno z měření by mělo odolat i průběhu těžké havárie.

Pro identifikaci interakce taveniny s betonem dna kontejnmentu nejsou k dispozici žádná přímá měření, ale lze ji identifikovat z měření popsanych dále a odhadnout dle výpočetní pomůcky uvedené v SAMG, uvedené indikátory však nejsou přesné jako přímé měření. Interakci taveniny s betonem dna kontejnmentu lze identifikovat na základě nepřímých měření, která jsou dostupná v PAMS. Těmito měřeními jsou měření tlaku, teploty a hladiny v boxech PG a především v šachtě a nádobě reaktoru, pokud toto předchozí měření odolá podmínkám těžké havárie. Ještě lepší je indikace tlaku v primárním systému, který poklesne na tlak v kontejnmentu (pokud tak nepoklesl již dříve). Začátek nového zvyšování koncentrace vodíku v kontejnmentu by mohl být další indikátor, obsah vodíku v kontejnmentu by však byl pravděpodobně mimo měřicí rozsah 10 % nebo velmi nepřesný vlivem ochuzení o kyslík.

Základním měřením při velkém úniku štěpných produktů jsou měření dávkových příkonů a aktivity. Pro měření dávkových příkonů a aktivity lze využít měření v kontejnmentu a vně kontejnmentu, dávkových příkonů a aktivity v komínkách a měření z teledozimetrického systému umístěném na plotě elektrárny. Rozsahy všech těchto měření jsou navrženy jak pro provozní, tak pro havarijní a pohavarijní podmínky.

Radiační měření s rozsahy pro havarijní a pohavarijní podmínky jsou realizována v systému CISRK a nejsou dosud zavedena do PAMS.

6.3.8 Capability for severe accident management in case of simultaneous core melt/fuel damage accidents at different units on the same site

Bloky EDU jsou stavebně propojené do dvojbloků, avšak technologicky jsou jednotlivé bloky vzájemně nezávislé. Dvojblokové uspořádání navíc umožňuje v případě nouze využití médií i

z vedlejšího bloku prostřednictvím společných pomocných systémů. Činnosti při zvládnání havárií na jednotlivých blocích JE jsou řízeny z HŘS (TPS a HŠ) a zásahy na jednotlivých blocích jsou prováděny provozním personálem příslušného bloku. Podle aktuální situace na jednotlivých blocích lze kapacity operativně přesouvat z bloku na blok. Při vzniku havárie na jednom bloku má personál TPS k dispozici návod pro rozhodnutí o způsobu provozu a provedení nutných činností na sousedním bloku. V případě rozvoje události do těžké havárie na více blocích by se používaly stejné návody SAMG pro všechny bloky, nicméně situace na jednotlivých blocích by se vyhodnocovala odděleně a TPS a HŠ by prováděl nezbytnou koordinaci mezi činnosti na jednotlivých blocích.

6.3.9 Conclusion on the adequacy of severe accident management systems for protection of containment integrity

Pro zmírňování následků těžkých havárií jsou zpracovány strategie, které jsou obsaženy v SAMG, jejichž hlavní prioritou je zabránění poškození 3. bariéry proti úniku štěpných produktů (kontejnment), která je v tu chvíli poslední neporušenou bariérou. Pro zvládnání nadprojektových a těžkých havárií jsou vždy využívány všechny dostupné technické prostředky, i ty které nejsou prioritně projektovány pro zvládnání těžkých havárií. Použití těchto prostředků je popsáno v příslušných strategiích obsažených v EOPs a SAMG. Strategie jsou orientovány na úspěch, tj. jedním z vedlejších cílů SAMG je obnovení provozuschopnosti systémů a zařízení v co největším rozsahu, přičemž implementace dané strategie kterýmkoli popsáním způsobem vede k úspěchu. Úspěchem se zde rozumí splnění hlavních cílů SAMG, tj. uvedení bloku do kontrolovaného stabilního stavu a omezení úniku radioaktivních látek.

I když existuje několik diverzních systémů pro implementaci každé strategie, byla v rámci zhodnocení opatření pro ochranu integrity kontejnmentu identifikována možnost úniku radioaktivních látek do okolí v důsledku ohrožení integrity kontejnmentu vodíkem při těžké havárii a omezených možnostech pro zabránění ztrátě integrity kontejnmentu v důsledku protavení TNR a posléze dna kontejnmentu.

Některá opatření pro zvládnání havárií mohou být velice riziková (ohrožení osob, velké úniky aktivity, zničení JE, apod.). Tato rizika musí být předem pečlivě posouzena a pracovníci zodpovědní za řízení zvládnání havarijní situace musí být schopni rozhodnout i o přijetí takto rizikových opatření.

Dlouhodobé po-havarijní činnosti z hlediska zvládnání těžkých havárií spočívají v pokračování v činnostech po zajištění odvodu tepla a eliminace výskytu vysoce-energetických jevů (hoření nebo detonace vodíku apod.) v závislosti na stavu bloku. V tomto případě může být velmi problematické přesně definovat v jakém stavu se blok nachází a tím i definovat možné

hrozby. Nicméně, po uvedení bloku do kontrolovaného stabilního stavu je splněn základní předpoklad pro ukončení SAMG. Před odchodem ze SAMG a pokračování v dlouhodobých pohavarijních činnostech je ještě v rámci SAMG popsáno, jakým způsobem co nejpřesněji identifikovat stav bloku, určit rozsah poškození a dlouhodobá rizika.

Dlouhodobé pohavarijní činnosti se posouvají z fáze hledání vhodného opatření do fáze zajištění dlouhodobé funkčnosti nalezených a aplikovaných úspěšných opatření, tj. např. zajištění, že nedojde k výpadku alternativního zdroje dodávky vody z jakéhokoli důvodu (ztráta napájení, vyčerpání zásoby vody, selhání komponent). Souvisí to tedy i s hledáním alternativ k již úspěšně implementovaným opatřením, tj. hledání dalších opatření, které po jejich zajištění okamžitě nahrazují již aplikované nebo jsou v záloze pro případ ztráty aktuálně implementovaných opatření.

6.3.10 Measures which can be envisaged to enhance capability to maintain containment integrity after occurrence of severe fuel damage

Pro zvýšení schopnosti udržet integritu kontejnmentu po vážném poškození paliva byly již v rámci PSR navrženy prostředky pro zajištění integrity kontejnmentu (tj. zabránění úniku štěpných produktů) při těžké havárii (likvidace vodíku, lokalizace taveniny).

Příležitosti ke zlepšení ochrany do hloubky při událostech, jejichž důsledkem může být vznik těžké havárie, jsou uvedeny v následující tabulce. Všechna uvedená opatření (v poznámce označena jako „Nález PSR“) by byla realizována i bez tohoto cíleného hodnocení, které svými výstupy potvrdilo efektivitu a správnost dříve přijatých rozhodnutí k implementaci opatření ke z odolnění původního projektu. Podrobnější popis nápravných opatření je uveden v Příloze.

Příležitost ke zlepšení	Nápravné opatření	Termín (krátkodobý I / střednědobý II)	Poznámka
Integrita kontejnmentu při těžké havárii	Zvýšení kapacity systému likvidace havarijního vodíku	II	Nález PSR
Lokalizace taveniny AZ	Chlazení taveniny z vnějšku TNR	II	Nález PSR

6.4 Accident management measures to restrict the radioactive releases

6.4.1 Radioactive releases after loss of containment integrity

6.4.1.1 Design provisions

Nekontrolované úniky štěpných produktů z elektrárny po poškození AZ mohou představovat hrozbu pro zdraví a bezpečnost obyvatelstva. Velký únik (General emergency dle Vnitřního havarijního plánu) je definován jako únik, který přesáhne kritérium pro vyhlášení radiální MU-3 dle Havarijního plánu.

V závislosti na průběhu havárie může být aktivita uvolněna:

- Přímo do kontejnmentu a po ztrátě jeho integrity do okolí.
- Přes PG do sekundárního systému a okolí.
- Do nehermetických místností
- Do systému TVD.

Při hodnocení úniků štěpných produktů by byly zvažovány biologické účinky ionizujícího záření, které mají dvojí povahu – stochastické a deterministické. Z hlediska účinků stochastických, pro které neexistuje prahová hodnota nelze stanovit žádné mezní podmínky. Z hlediska účinků deterministických je při stanovování mezních podmínek nutné vycházet z příslušné legislativy a normativní dokumentace. Stanovování mezních podmínek z hlediska biologických účinků úniků štěpných produktů je nad rámec tohoto hodnocení.

6.4.1.2 Operational provisions

Strategie jsou popsány v SAMG, návod „Omezení úniku štěpných produktů“ a „Zmírnění následků úniků štěpných produktů“. Jednotlivé činnosti pro omezení úniku štěpných produktů se liší podle trasy, kudy jsou štěpné produkty uvolňovány. V případě úniku do kontejnmentu a poškozeným nebo netěsným kontejnmentem do okolí je primárním způsobem snížení úniku použití sprchového systému TQ, které je velmi účinné, v případě jeho nedostupnosti použití ventilačních systémů vybavených odvodem tepla.

Jako primární a velmi účinné opatření při úniku přes PG je použito zavření HUA na poškozené smyčce, další opatření zmíněná v SAMG jsou proveditelná na parovodech PG.

Z hlediska ochrany personálu a obyvatelstva je v rámci POHO zřízena Rychlá mobilní monitorovací skupina, která v postižených sektorech monitoruje a vyhodnocuje radiální situaci. Pro potřeby preventivních opatření vyhlášených pro ochrany obyvatelstva je k dispozici SW prostředek RTARC – viz kap. 6.1.2.3

6.4.2 Accident management after uncovering of the top of fuel in the fuel pool

Bazény skladování paliva jsou umístěny v reaktorovém sále společném pro dva bloky. Analýza průběhu havárií v bazénu skladování pro odstavené stavy je plánována v roce 2012. Bude analyzováno chování bazénu v režimu 6, tj. při výměně paliva, v režimu 7 při kompletním vyvezení paliva z reaktoru, a režimech 1 až 5, kdy je bazén skladování i s reaktorovým sálem hermeticky oddělen od kontejnmentu.

Chlazení bazénu skladu vyhořelého paliva (BSVP) je realizováno dvěma chladicími okruhy. Každý chladicí okruh zahrnuje oběhové čerpadlo a tepelný výměník. Tepelné výměníky jsou chlazeny technickou vodou důležitou (TVD 1 a TVD 3). Čerpadla chlazení BSVP i čerpadla TVD jsou rovněž napájena z DG.

Pro alternativní doplňování a odvod tepla z BSVP v případě úplné ztráty normálního chlazení BSVP (ať už z důvodu poklesu hladiny, ztráty chladiva nebo po přerušení odvodu tepla) je popsána strategie s použitím akumulačních schopností nádrží systémů SAOZ. Dále se uvažuje s možností doplňování BSVP chladivem z vedlejšího bloku, případně prostřednictvím techniky HZSp. Nejsou k tomu ovšem zpracovány detailní postupy.

Problematika chlazení BSVP respektive úniku chladiva z chladicího okruhu TG je řešena v rámci EOPs. Zbytkový výkon paliva lze po omezenou dobu odvádět do nádrží SAOZ. Akumulační schopnosti při plně zaplněných nádržích SAOZ jsou na cca 4 dny.

Hluboká podkritičnost vyhořelého paliva v bazénu skladování je zaručena jednak chladivem o koncentraci bóru 12 g/kg a jednak použitím bórované oceli v konstrukci skladovacích mříží. Samotné použití bórované oceli zaručuje podkritičnost i v případě, že vyhořelé palivo by bylo chlazeno čistou vodou. Kromě toho by se v případě varu odpařovala pouze voda (očekává se jen nepatrné strhávání bóru unikající parou) a tudíž případné doplňování čistou vodou nevede k významnému snižování koncentrace kyseliny borité v chladivu.

Alternativně je uvažováno s doplňováním chladiva z barbotážních žlabů, chladiva ze sousedního bloku a zaléváním BSVP z reaktorového sálu prostředky HZSp. Postupy však nejsou dosud podrobně zpracovány.

Po přerušení odvodu tepla z BSVP by došlo k trvalému zvyšování teploty, které by bylo významné zvláště při zaplnění horního roštu. Bez obnovení odvodu tepla by nejprve docházelo k odhalování paliva v horní vrstvě, s následným rizikem porušení pokrytí a tavení paliva v časně fázi těžké havárie.

Vzhledem k tomu, že bazény skladu nejsou umístěny v hermeticky oddělitelných prostorech (pouze plášť reaktorové budovy), následoval by únik radioaktivních látek do okolí JE. Při vzniku paro-zirkonové reakce by do prostoru reaktorového sálu unikal vodík.

Vzhledem k existenci alternativního způsobu odvodu tepla pomocí jeho akumulací v nádržích SAOZ se nepředpokládala dlouhodobá ztráta odvodu tepla z BSVP, protože z hlediska doby na provedení činností pro obnovení chlazení vyhořelého paliva uloženého v BSVP je situace příznivější, než při ztrátě odvodu tepla z AZ. Proto pro poškození vyhořelého paliva uloženého v BSVP nebyly prováděny žádné analýzy.

V současném stavu projektu nejsou k dispozici alternativní systémy chlazení resp. doplňování chladiva do BSVP.

6.4.2.1 Hydrogen management

Riziko vodíku v reaktorovém sále, tedy mimo kontejnment, bylo ohodnoceno a z výsledků analýz vyplývá, že i selhání chlazení v obou bazénech by pravděpodobně nevedlo k takové koncentraci vodíku v reaktorovém sále, která by mohla dosáhnout meze hoření vodíku.

Hromadění vodíku v jiných prostorách je teoreticky možné, ale nebylo podrobněji kvantifikováno, protože velká část vodíku by shořela přímo v kontejnmentu.

Samovolným nebo záměrným spálením nebo rekombinací vodíku klesá riziko jeho hromadění mimo kontejnment. Po spotřebování veškerého kyslíku v části kontejnmentu však může k hromadění docházet, jak je zmíněno v kap. 6.2.3.

K úniku nahromaděného vodíku z kontejnmentu do jiných místností nebo budov by mohlo dojít:

- a) přirozenými netěsnostmi kontejnmentu,
- b) v případě nedostatečné izolace kontejnmentu,
- c) úmyslnou ventilací kontejnmentu.

Ad a) Problematika kumulace vodíku mimo kontejnment z důvodu jeho přirozené netěsnosti dosud nebyla podrobněji řešena, protože je nevýznamná ve srovnání s akumulací vodíku uvnitř kontejnmentu a tedy hrozbou poškození kontejnmentu výbuchem vodíku jak ukázaly výsledky analýz vodíkového rizika.

Ad b) Většina oddělovacích armatur kontejnmentu (RČA) je poháněna VT vzduchem (s tlakovým zásobníkem na několik cyklů), ovládání je zabezpečeno ze SZN I. kategorie (akubaterie). Armatury jsou kvalifikované na havarijní podmínky, a tudíž by v časně fázi havárie nemělo dojít k selhání jejich uzavření.

Ad c) S tímto případem se v této fázi havárie a prakticky ani dalších fázích nepočítá.

Riziko hromadění vodíku mimo kontejnment z výše uvedených důvodů je nevýznamné.

6.4.2.2 Providing adequate shielding against radiation

V důsledku i částečného poškození paliva by pravděpodobně došlo ke kontaminaci reaktorového sálu obou bloků radioaktivními látkami uvolněnými z nataveného paliva umístěného v BSVP. V tomto případě by se reaktorový sál stal hůře přístupným a činnosti na alternativní chlazení BSVP prostředky HZSp by mohly být ztíženy. V režimech 6 a 7, kdy je kontejnment propojen s reaktorovým sálem, by mohlo dojít k současnému zamoření a ztížení přístupnosti kontejnmentu.

6.4.2.3 Restricting releases after severe damage of spent fuel in the fuel storage pools

Postupy na řešení havárie spojené s tavením paliva v BSVP dosud nejsou k dispozici. Personál BD ani TPS sice nemá k dispozici návody tzv. Shutdown SAMG (SAMG pro odstavené stavy). Nicméně dostupné možnosti jsou známy a spočívají v pokračování doplňování vody a odvodu tepla a případné izolování úniku z BSVP podle předpisu EOPs. K poškození by došlo po poměrně dlouhé době s výjimkou režimu 7, což dává dostatečný čas pro operativní řešení.

Zásadní opatření k omezení úniku do okolí je zastavení nebo zpomalení havárie zalitím BSVP vodou. Připravuje se nouzový systém zalití bazénů, který bude sklouben s dalšími opatřeními v reaktorovém sále, vylučujícími přítomnost obsluh.

Reaktorový sál má velký objem což má pozitivní vliv na ředění štěpných produktů. Další možná opatření omezující únik jsou následující:

V případě úniku aktivity z BSVP (nebo z reaktoru v režimu 6) okamžitě vypnout velkokapacitní systémy ventilace reaktorového sálu, tento postup je již uveden v existujících EOP pro odstavené stavy.

Poté co veškerý personál opustí reaktorový sál je důležité těsné uzavření všech přístupů personálu do reaktorového sálu.

V případě, že je blok v režimu 6 nebo 7, tj. při výměně paliva nebo úplném vyvezení paliva z reaktoru, kdy je kontejnment zpravidla propojen s reaktorovým sálem více průchody, je nutno vypnout ventilační systémy kontejnmentu, zajistit odchod veškerých osob z kontejnmentu a urychleně uzavřít všechny přístupy do kontejnmentu bloku v režimu 6 nebo 7. Tato opatření jsou vynucena faktem, že nelze rychle oddělit kontejnment od reaktorového sálu.

6.4.2.4 Instrumentation needed to monitor the spent fuel state and to manage the accident

Měření charakterizující stav BSVP (teplota, hladina, průtok TG) jsou k dispozici pouze na panelech BD. Měření parametrů souvisejících s chlazením BSVP není vyvedeno na ND ani

není k dispozici v PAMS. Obdobně není k dispozici PAMS měření Ra situace na sále v blízkosti BSVP.

Vzhledem k velkému objemu reaktorového sálu, jeho nižší těsnosti a nízkému zbytkovému výkonu paliva se nepředpokládají tak nepříznivé podmínky jako uvnitř kontejnmentu. Většina měření tak zůstane dostupná. Nejdůležitější jsou přitom měření aktivity v atmosféře a hladiny vody v BSVP. Dostupnost měření je více diskutována v kap. 6.4.1.2.

6.4.2.5 Availability and habitability of the control room

Místnosti BD a ND jsou umístěny v místnostech sousedících s kontejnmentem. Tato část by mohla být zasažena radiací při vyšším tlaku a současně vysokých dávkách uvnitř kontejnmentu nebo při velkých únicích štěpných produktů z kontejnmentu. Provádění zásahů dle EOPs resp. dle pokynů TPS při vstupu do SAMG předpokládá zachování obyvatelnosti BD. O přechodu personálu BD na ND může v odůvodněných případech rozhodnout SI nebo BI nebo VRB. Použití dýchacích přístrojů na BD je v kompetenci VRB.

Před dokončením zodolnění BD, ND se počítá s dočasnou evakuací personálu na příkaz velitele HŠ na základě vyhodnocení radiační situace při naplnění kritérií v zásahové instrukci (dále by bylo možno uvažovat jen krátkodobé vstupy pro provedení zásahů). Problematika trvalé obyvatelnosti BD je diskutována v kapitole 6.1.3.4.

Přímý vliv havárií v kontejnmentu na obyvatelnost BD zasaženého bloku průnikem stěnou kontejnmentu do BD a ND bude dále hodnocen.

V počáteční fázi ztráty chlazení BSVP do začátku varu a snižování hladiny v BSVP je možný přístup na reaktorový sál. V důsledku poklesu hladiny v bazénu skladování a varu chladiva by došlo k nárůstu dávkového příkonu v blízkosti bazénu a jeho okolí by bylo nepřístupné. Postupně by se aktivita šířila po celém sále i do prostoru sousedního bloku a veškerý personál by byl nucen reaktorový sál opustit.

V důsledku i částečného poškození paliva by došlo ke kontaminaci reaktorového sálu obou bloků aktivitou a jeho nedostupnosti. V režimech 6 a 7 může být kontejnment propojen s reaktorovým sálem, proto by v těchto režimech došlo k současné kontaminaci a nedostupnosti kontejnmentu. Obyvatelnost všech BD by mohla být nepřímo ovlivněna v důsledku úniku z reaktorového sálu do okolí a nasátím aktivity ventilací nebo přímým zářením z prostoru před BD.

6.4.3 Conclusion on the adequacy of measures to restrict the radioactive releases

I když je zabránění ztrátě integrity kontejnmentu, jako poslední bariéry proti úniku štěpných produktů do okolí spolu s omezením úniku štěpných produktů hlavním cílem SAMG, jsou

v SAMG rovněž popsány strategie pro ukončení nebo alespoň snížení úniků štěpných produktů po ztrátě integrity kontejnmentu, které využívají veškeré dostupné prostředky.

K systematickému využití všech dostupných možností pro omezení úniků z reaktorového sálu budou vytvořeny příslušné návody.

6.4.4 Measures which can be envisaged to enhance capability to restrict radioactive releases

I když existuje několik diverzních systémů pro implementaci každé strategie zvládání havárií, byly v oblasti zvládání těžkých havárií identifikovány příležitosti pro další zvýšení bezpečnosti. V oblasti technické připravenosti se jedná o dostatečnost alternativních technických prostředků pro zabezpečení plnění bezpečnostních funkcí při ztrátě všech projektových SSK. O zodolnění projektu EDU na následky těžkých havárií bylo rozhodnuto již v rámci PSR. V oblasti technických řešení je připravováno zvýšení kapacity stávajícího systému likvidace havarijního vodíku. To souvisí s tím, že při současných projektových schopnostech nelze úplně vyloučit možnost ohrožení integrity kontejnmentu vodíkem produkovaným při těžké havárii. Obdobně je rozpracován projekt zabraňující poškození kontejnmentu taveninou vzniklou při těžké havárii, všechna opatření k zajištění možnosti vnějšího zaplavení TNR nejsou dosud dokončena.

V oblasti administrativního řízení nejsou doposud dokončeny Návody pro zvládání těžkých havárií pro odstavené stavy a případy poškození paliva v BSVP.

Příležitosti ke zlepšení ochrany do hloubky při událostech, jejichž důsledkem může být vznik těžké havárie, jsou uvedeny v následující tabulce. Všechna uvedená opatření (v poznámce označena jako „Nález PSR“) by byla realizována i bez tohoto cíleného hodnocení, které svými výstupy potvrdilo efektivitu a správnost dříve přijatých rozhodnutí k implementaci opatření ke zodolnění původního projektu. Podrobnější popis nápravných opatření je uveden v Příloze.

Příležitost ke zlepšení	Nápravné opatření	Termín (krátkodobý I / střednědobý II)	Poznámka
Integrita kontejnmentu při těžké havárii	Zvýšení kapacity systému likvidace havarijního vodíku	II	Nález PSR
Lokalizace taveniny AZ	Chlazení taveniny z vnějšku TNR	II	Nález PSR
Předpisy	Zpracovat „shutdown SAMG“ pro odstávku / Těžkou havárii v BSVP	I	Nález PSR

7 General conclusion

7.1 Key provisions enhancing robustness (already implemented)

Cílem ocenění bezpečnosti v předcházejících kapitolách bylo zhodnotit míru odolnosti (robustnosti) a dostatečnosti bezpečnostních rezerv EDU při extrémních přírodních podmínkách (z pohledu skutečností havárie na JE Fukushima), při ztrátě elektrického napájení, při ztrátě odvodu tepla do koncového jímáče a při rozvoji události do oblasti těžké havárie. Bylo provedeno detailní deterministické zhodnocení úrovně ochrany do hloubky a schopnosti plnění základních bezpečnostních funkcí při jednotlivých iniciačních událostech i nadprojektových událostech, bez ohledu na extrémně nízkou pravděpodobnost jejich výskytu. Hodnocení bylo provedeno pro všechny provozní režimy a stavy bloků, včetně současného zasažení všech bloků EDU.

7.1.1 Robustnost vůči zemětřesení

Na území ČR se nenachází žádné tektonické struktury, které by umožňovaly vznik silných zemětřesení. V lokalitě EDU nemůže s 95 % pravděpodobností dojít k zemětřesení vyššímu než 6°MSK-64 ($PGA_{hor} = 0,06 \text{ g}$). Reálná odolnost SSK je vyšší, takže existuje bezpečnostní rezerva na zbývajících 5 % neurčitost. Výsledek výpočtu ukazuje, že pro lokalitu EDU je výskyt vyššího zemětřesení než 6°MSK-64 velmi nepravděpodobný a projektová hodnota maximálního výpočtového zemětřesení ($PGA_{hor} = 0,1 \text{ g}$) je pro EDU adekvátní.

V současnosti probíhá na všech blocích z odolnění bezpečnostně významných zařízení a stavebních konstrukcí na hodnotu špičkového zrychlení podloží $PGA = 0,1\text{g}$ (maximální výpočtové zemětřesení, MDE/SL2/SSE). Aktuálně již více než 90% (mj. veškerá technologie) bezpečnostně významného zařízení má vyhovující kvalifikační dokumentaci prokazující seismickou odolnost a na ostatních zařízení (část elektro a SKŘ) se práce na realizaci modifikací dokončují.

7.1.2 Robustnost vůči záplavám

Lokalita EDU není ohrožena zatopením z přírodních povodní. Areál elektrárny se nachází na náhorní plošině v nadmořské výšce 383,5 - 389,10 m n. m., přičemž hlavní stavební objekty, ve kterých jsou umístěna bezpečnostně významná zařízení, leží na horní hranici tohoto intervalu. Nejbližší položená vodoteč je řeka Jihlava, využívaná i jako zdroj technologické přídavné vody pro elektrárnu. Soustava vodních nádrží Dalešice - Mohelno na řece Jihlava nemůže ohrozit bezpečnost EDU, ani při extrémních povodních, ani při protržení hrází obou vodních děl.

Proti proudu řeky umístěná vodní nádrž Dalešice (vzdálenost cca 4 km od elektrárny, výška hráze 88 m) má korunu hráze na kótě 384,00 m n. m., a maximální hladinu vody (při přelivu v důsledku povodní) na úrovni 381,50 m n. m. Cca 2 km směrem po proudu řeky je umístěna vodní nádrž Mohelno, s korunou hráze na kótě 307,15 m n. m. s maximální hladinou vody (při přelivu hráze) 303,30 m n. m., tzn. o cca 80 m níže než stavební objekty EDU.

Roční chod srážek je v dlouhodobém průměru charakterizován nejvyššími úhrny srážek v letních měsících, s maximem v červnu (70 mm) a nejnižšími úhrny v měsících zimních s minimem v lednu (21 mm). Kanalizační síť je navržena jako větvená soustava, která zajišťuje odvod dešťové vody gravitačním způsobem z plochy cca 80 ha a před areálem EDU se napojuje do výsledného dešťového kanalizačního sběrače.

Reálné jednodenní úhrny přívalových dešťových srážek odpovídají vytvoření hladiny 77 mm na lokalitě EDU (100letý úhrn dešťových srážek). Stavební objekty EDU jsou přitom projektovány jako odolné proti zaplavení až do maximální výšky 115 mm (celkový úhrn dešťových srážek za 24 hodin při 10 000letém maximu). Rozdíl těchto hodnot dává zhruba 30% bezpečnostní rezervu. Základními projektovými opatřeními proti zaplavení bezpečnostně významné technologie dešťovými srážkami je lokalizace areálu elektrárny s gravitačním odvodem dešťové vody z plochy cca 80 ha, dostatečně dimenzovaná dešťová kanalizace, výšková dispozice vchodů, vjezdů a vrat vzhledem k okolnímu terénu a spádování přilehlých komunikací.

Na lokalitě je navíc k dispozici mobilní technika HZSp, která je uzpůsobena pro odčerpávání lokálních záplav nad hodnotami 10 000letých maxim.

7.1.3 Robustnost vůči ostatním klimatickým podmínkám

Parametry klimatických jevů pro lokalitu EDU vychází ze statistického zpracování ročních extrémů hodnot relevantních meteorologických veličin, naměřených v období alespoň 30 let v lokalitě EDU nebo na meteorologických stanicích v okolním regionu.

Konkrétní hodnoty odvozených extrémů klimatických podmínek v lokalitě EDU, včetně příslušných hodnot projektového a extrémního zatížení budov (s výjimkou dešťových srážek) jsou uvedeny v následující tabulce:

Událost (klimatický jev) / Parametr	Doba návratu 100 let		Doba návratu 10 000 let	
	Hodnota	Zatížení	Hodnota	Zatížení
Nárazový vítr / rychlost	46,2 m/s	0,69 kN/m ²	60,6 m/s	1,26 kN/m ²
Sníh / přepočtený vodní sloupec	109,0 mm	1,09 kN/m ²	195,0 mm	1,95 kN/m ²
Maximální teplota / abs.max / rok	39,0 °C	-	46,2 °C	-
Minimální teplota / abs. min / rok	- 30,8 °C	-	- 46,7 °C	-

Některé dílčí odchylky reálné odolnosti vybraných budov od požadovaných hodnot odolnosti při extrémním zatížení (které však nemohou ohrozit zajištění bezpečnostních funkcí) řeší v současné době dokončovaný projekt seismické dokvalifikace bezpečnostně významných zařízení a stavebních konstrukcí.

7.1.4 Robustnost vůči ztrátě elektrického napájení

Zdroje elektrického napájení EDU zajišťují dostatečnou projektovou robustnost i míru zajištění bezpečnosti při vnější ztrátě elektrického napájení. Jsou projektově řešeny s vysokou mírou nezávislosti, vzájemného zálohování i redundance (viz pracovní a rezervní zdroje vlastní spotřeby, a dále nouzové zdroje střídavého i stejnosměrného napájení, tzv. systémy zajištěného napájení – SZN, které napájí bezpečnostně významné systémy a komponenty).

Při provozu bloku na výkonu existuje vyšší projektová odolnost vůči ztrátě elektrického napájení (dodatečné bariéry ochrany do hloubky), než při odstávce na výměnu paliva. Nejméně příznivým případem z hlediska zajištění bezpečnosti je ztráta elektrického napájení na všech blocích současně.

Na lokalitě je k dispozici celkem 12 nouzových zdrojů střídavého napájení (DG). V režimu ztráty vnějšího napájení mohou být bloky EDU dlouhodobě udržovány v bezpečném stavu nebo dochlazeny do studeného stavu nebo bezpečně udržovány v režimu odstávky (je zajištěno napájení všech nezbytných strojních systémů i systémů SKŘ), při startu alespoň jednoho z těchto DG na každém bloku. Pro každý z DG je k dispozici zásoba nafty na 6 až 7 dnů bez nutnosti vnějšího doplňování paliva.

Při úplné ztrátě střídavého napájení (SBO) zůstávají k dispozici pro napájení bezpečnostních systémů a systémů souvisejících s bezpečností nouzové zdroje nepřerušovaného stejnosměrného napájení (akubaterie). Bez provozu příslušného DG nejsou akubaterie dobíjeny a doba do jejich vybití je v řádu jednotek až desítek hodin v závislosti na aktuálním

zatížení. Tato doba je dostatečná k obnově napájení VS bloků EDU z blízkých vodních elektráren Dalešice nebo Vranov.

7.1.5 Robustnost vůči ztrátě odvodu tepla do koncového jímače:

Koncový jímač tepla tvoří u bloků EDU okolní atmosféra. Nezužitkované teplo při výkonovém provozu bloku, resp. zbytkové teplo po odstavení reaktoru lze do koncového jímače tepla - atmosféry - odvádět několika způsoby. Přenos tepla mezi zdroji tepla a atmosférou zajišťuje systém TVD.

Na lokalitě je k dispozici zásoba vody postačující pro cca 39 dnů provozu systému TVD pro odvod zbytkového tepla z odstavených reaktorů EDU, bez externího doplňování vody do systému TVD. Na jeden HVB (2 reaktory) je k dispozici celkem 12 čerpadel TVD. Ke ztrátě všech čerpadel TVD by mohla vést současná ztráta elektrického napájení na obou blocích daného HVB.

Robustnost EDU při případné ztrátě všech TVD odpovídá scénáři po vzniku SBO. Pokud by ztráta systému TVD nebyla kombinována s SBO, je možné použít alternativní způsob akumulace tepla z BSVP do nádrží systému SAOZ, případně doplňování odpařeného chladiva z BSVP ze žlabů barbotážní věže. Akumulační schopnosti při plně zaplněných nádržích SAOZ jsou na cca 4 dny, zásoba chladiva ve žlabech barbotážní věže na doplňování vyvařeného chladiva je cca 13 dní. Alternativní možností je použití požární techniky na doplňování vyvařeného chladiva a udržování teploty paliva v BSVP.

7.1.6 Robustnost opatření pro zvládání těžkých havárií:

EDU má implementován systém zvládání havárií pro zabezpečení 4. úrovně ochrany do hloubky a systém havarijní připravenosti pro zabezpečení 5. úrovně ochrany do hloubky. Fungující a provázaný systém zvládání havárií a havarijní připravenosti je na EDU zabezpečen robustním souborem opatření personálního, administrativního a technického charakteru.

V personální oblasti se jedná o existenci organizace havarijní odezvy a zajištění činností příslušejících jednotlivým funkcím, v administrativní oblasti o implementaci příslušných postupů, návodů a instrukcí s využitím kapacit technických podpůrných středisek a v technické oblasti o zabezpečení funkčnosti požadovaného rozsahu technických prostředků pro implementaci strategií. Provádění zásahů při vzniku mimořádné události je zabezpečováno v první (preventivní) fázi rozvoje události vždy personálem nepřetržitého směnového provozu. V případě, kdy událost svým rozsahem přerůstá nad rámec možností personálu nepřetržitého směnového provozu, začíná druhá fáze (zmírnění následků), kdy je

aktivována organizace havarijní odezvy. V tomto případě přebírá odpovědnost za řízení zásahů havarijní štáb EDU s podporou technického podpůrného střediska.

Všechny nezbytné činnosti by v případě vzniku mimořádné události byly řízeny a prováděny z chráněných míst. TPS a HŠ, které řídí strategie podle SAMG, je umístěno v HŘS, které je zabezpečené pracoviště s možností obyvatelnosti i v případě úniku aktivity do ovzduší. Dálkové činnosti pro implementaci strategií by prováděl směnový personál z BD nebo ND, kde se dokončuje projekt obyvatelnosti těchto řídicích center. Místní činnosti a případné opravy zařízení v příslušných částech reaktorovny, strojovny nebo vnějších objektů by byly zajišťovány zásahovými skupinami umístěnými na provozním podpůrném středisku.

Koncepce zvládnání technologických havárií na EDU je založena na symptomatickém přístupu. Pro řešení technologických havárií jsou zpracovány strategie, které jsou obsaženy v EOPs, jejichž hlavní prioritou je obnovení odvodu tepla z AZ a zabránění poškození 1. bariéry proti úniku štěpných produktů (pokrytí paliva). Pro zmírňování následků těžkých havárií jsou zpracovány strategie, které jsou obsaženy v SAMG, jejichž hlavní prioritou je zabránění poškození 3. bariéry proti úniku štěpných produktů (kontejnment), která je v tu chvíli poslední neporušenou bariérou. Pravidelně je prováděna aktualizace EOPs a SAMG zahrnující jednak poznatky z procvičování jejich použití na simulátoru resp. při havarijních cvičeních a jednak externí poznatky.

Při ohrožení bezpečnosti na bloku nebo na lokalitě nebo při vzniku situace, kterou nelze zvládnout silami směny je implementován systém havarijní připravenosti. Při vyhlášení některého stupně mimořádné události (Alert, Site emergency, General emergency) je aktivována organizace havarijní odezvy, která má interní součást (IOHO), složenou ze směnového personálu a pohotovostní součást (POHO), složenou ze specialistů technického personálu JE, kteří drží hotovost.

Pro výběr směnových pracovníků i pro výběr pracovníků do POHO je zaveden systém požadavků na kvalifikaci a jsou brána do úvahy i další kritéria zohledňující jejich znalosti a odbornost. Připravenost směnového a technického personálu ke zvládnání technologických havárií se pravidelně ověřuje při výcviku na plnorozsahovém simulátoru za účasti personálu TPS a v průběhu havarijních cvičení.

Organizační způsob zvládnání mimořádných událostí (včetně těžkých havárií) je stanoven ve Vnitřním havarijním plánu schváleném SUJB.

Po vzniku havarijních podmínek (projektové i nadprojektové události bez poškození paliva) se pro splnění požadavků EOPs použijí veškeré aktuálně dostupné technické prostředky v rámci jejich projektového určení. SAMG předpokládají provedení požadovaných činností s využitím všech dostupných systémů a zařízení, resp. všech dostupných technických prostředků i v mimoprojektovém určení.

Na lokalitě EDU je k dispozici jednotka hasičského HZSp, která disponuje odpovídající požární technikou a je vycvičena k zásahu v kterémkoliv místě lokality. Čerpací technika HZSp patří mezi hlavní mobilní netechnologické prostředky využitelné pro dopravu a čerpání medií.

Program zvládání havárií na EDU je dlouhodobě analyticky podporován. Analytická podpora je založena na pravděpodobnostně - deterministickém přístupu, který spočívá ve výběru nepravděpodobnějších havarijních scénářů vedoucích k těžkým haváriím a následně jejich deterministické analýze pomocí integrálních výpočetních kódů. Výsledkem analytické podpory je souhrn poznatků, spočívající v porozumění jevům při těžkých haváriích a jejich časování, identifikaci možných slabých stránek projektu, určení činností pro zmírnění následků těžkých havárií, validaci činností pro odezvu na těžké havárie a určení zdrojového členu pro vyhodnocení možných radiologických následků. K dispozici je rovněž simulační nástroj pro zobrazování jevů při konkrétních scénářích těžkých haváriích.

7.2 Safety issues

Hodnocení bezpečnostních rezerv EDU při extrémních přírodních podmínkách, při ztrátě elektrického napájení, při ztrátě odvodu tepla do koncového jímače a schopnosti zvládnout situaci při rozvoji scénáře do oblasti těžké havárie ve většině havarijních scénářů potvrdilo existenci rezerv a dostatečnou robustnost barier pro zabezpečení úrovně ochrany do hloubky jak v oblasti projektu, tak v oblasti personálního, administrativního a technického zabezpečení zvládání havárií.

I přes značnou robustnost barier lze na základě výsledků hodnocení bezpečnostních rezerv pro iniciační události, ztrátu bezpečnostních funkcí a opatření pro zvládání nadprojektových a těžkých havárií EDU konstatovat, že pro vysoce nepravděpodobné, nadprojektové situace byly identifikovány příležitosti pro další zvýšení bezpečnosti (viz Kapitola 8)

Pro každý identifikovaný potenciál byla určena jeho významnost z hlediska velikosti bezpečnostních rezerv, tj. odolnosti proti možné ztrátě schopnosti plnění základních bezpečnostních funkcí a připravenosti zvládat vzniklou situaci. Při hodnocení významnosti rizika byl zohledněn počet úrovně ochrany do hloubky, které by musely selhat před vznikem dané situace a doba, po kterou je blok schopen odolávat s existujícími bezpečnostními rezervami. Do této doby je nutné mít k dispozici dodatečné prostředky pro zabezpečení požadovaných funkcí, nebo přijmout následná ochranná opatření pro omezení ozáření a ochranu osob.

8 References

Kap. 2

- [1] ČSN 73 0036 Seismická zatížení staveb. Praha, 1975
- [2] IAEA Safety Guide NS-G-3.3 Evaluation of Seismic Hazards for Nuclear Power Plants
- [3] IAEA Safety Guide 50-SG-S1 Earthquakes and Associated Topics in Relation to Nuclear Power Plant Siting (Revision 1). IAEA, Vienna, 1991
- [4] Metodologie pro hodnocení seismické odolnosti EDU –Blok č.1-4, aplikace metod SMA a GIP vč. Určení referenčního zemětřesení, Stevenson and associates, Zpráva č. rep05-95.edu revize 5
- [5] IAEA Safety Guide 50-SG-D15 Seismic Design and Qualification for Nuclear Power Plants. IAEA, Vienna, 1992
- [6] Podlažní seismická spektra odezvy v HVB, původní nezodolněná konstrukce, seismické zadání 12/95, zpr. č.087-006 DAVID Praha 1996"
- [7] Seismické zadání pro nově dodávané a inovované zařízení JE Dukovany, Stevenson and associates, zpráva č. rep73-00inv, revize 1
- [8] DAVID, proj.,inženýrská a konzultační kancelář: Posouzení seismických účinků na OK SO 530 - Dieselgenerátorová stanice 1 a 2 blok, Arch.č. 0222-1, č. 0222-2, č. 0222-3, Praha, 1998
- [9] DAVID, Hodnocení seismické odolnosti objektů DGS na 3. a 4. bloku EDU arch č.03-068
- [10] DAVID&PARTNER 02-033 Seismické hodnocení stavebních konstrukcí na hranici hermetické zóny v podmínkách havárie malé a střední LOCA.
- [11] DAVID&PARTNER 04-093 Projekt seismické kvalifikace EDU - posouzení seismické odolnosti nosné konstrukce ventilačního komína II. HVB
- [12] SEDYC R044-2005-06.edu Seismické hodnocení stavebních objektů SO 593/01-01,02 budovy SHN JE Dukovany
- [13] SEDYC R014-2007-04.sall Hodnocení stavebních objektů SO 593/01-01,02 budovy SHN
- [14] EGP 4403-F-020107 Posouzení seismických účinků včetně analýzy seismické interakce pláště věže s vnitřní vestavbou chladicího systému.
- [15] SEDYC R057-2005-08.edu Seismické hodnocení stavebních objektů SO 584/1-01,02

- [16] DAVID&PARTNER 02-033-4 Hodnocení seismické odolnosti kabelových a potrubních kanálů SO 350/1-01, 350/1-02, 401/1-01, 401/1-02
- [17] ÚAM Brno, 4405/08, Zhodnocení oprav a úprav pro zajištění seismické odolnosti vnějších kabelových kanálů a rýh SO 350/1-01, 350/1-02
- [18] Stevenson and associates, zpráva č. rep114-01. inv, 2001 Hodnocení seismické odolnosti zděných nenosných stěn a příček v HVB EDU-blok1
- [19] SEDYC R116-2010-11.egpi, Hodnocení seismické odolnosti příček PROMONTA v podélné etažérce JE Dukovany 1. blok

Kap. 3

- [1] PpBZ EDU, kap. 3.12.6

Kap. 4

- [1] PpBZ JE Dukovany, kapitola 15.10 Závěry z PSA (2010)
- [2] Holý, Husťák, Jaroš, Kolář, Kubíček, Sedlák, Štván: Pravděpodobnostní hodnocení bezpečnosti jaderné elektrárny Dukovany. Dokumentace PSA, knihy I - IV. ÚJV Z 2467T. ÚJV Řež a.s., leden 2007.
- [3] PpBZ JE Dukovany, kapitola 3.4 Posouzení odolnosti vůči záplavám.
- [4] Husťák, Adamec: Vnitřní záplavy, revize 2, ÚJV řež, srpen 1995.
- [5] Husťák: Analýza vnitřních záplav pro nízkovýkonové a nevýkonové stavy, revize 1. ÚJV Řež, říjen 1999.
- [6] Provozní předpis P002z Záplavy.
- [7] Raisigl a kolektiv: Rozbor výpadků technické vody důležité, cirkulační chladicí vody, čerpací stanice Jihlava. EGP Praha, zpráva EGP 4910-T-000300, 03/2001.
- [8] PpBZ JE Dukovany, kapitola 3.12.2 Posouzení rizika ztráty koncového jímače tepla (ČS Jihlava, CCHV, TVD).
- [9] PpBZ JE Dukovany, kapitola 3.3 Zatížení od extrémních klimatických podmínek.
- [10] Kolář: PSA pro vnější události způsobené přírodou. Dokumentace PSA, kniha I, kapitola 4.1 Přírodní události, ÚJV Řež, 2008.
- [11] DAVID: Posouzení účinků extrémních meteorologických vlivů na konstrukce chladicích věží, 2000.

- [12] Provozní předpis LAS P002i Výpadky technologických médií, kap. 6.4 Destrukce chladicích věží a elektrického vedení 400kV a 110 kV.
- [13] PIN AE-5.6 Normy projektování JE, Ministerstvo Jaderné energetiky SSSR, 1986.
- [14] Novotný, Bredykhin, Klug: Analýza technických podmínek připojení čerpadel ČSJ (typu VD400) na DG, TES, zpráva TES-Z-09-114, 2009
- [15] Sellers, Vymazal, Willes: Verifikace postupu řešení „TPo_5983 EDU Řešení následků vnějších událostí extrémní vítr“ pro Jadernou elektrárnu Dukovany (EDU), říjen 2010.
- [16] Blaha, Deliergyev: Bilanční T-H analýzy pro ověření možnosti dochlazení výrobních bloků EDU při události extrémní vítr, TES, zpráva TES-Z-09-123, 2009, revize 1
- [17] Malý: Analýza ohrožení skladu vyhořelého paliva pádem chladicích věží, EGP Praha, 6/2001
- [18] Gottvald: Posouzení chladicích věží EDU na projektový a maximální vítr. Zpráva ÚAM Brno 4551/09, 10/2009.
- [19] Hladký, Mladý: Aktualizace vnější události „extrémní vítr“, Living PSA 2009, ČEZ, JE Dukovany, 12/2009.
- [20] Sellers, Vymazal, Willes: Verifikace postupu řešení „TPo_5983 EDU Řešení následků vnějších událostí extrémní vítr“ pro Jadernou elektrárnu Dukovany (EDU), říjen 2010.
- [21] Štěpánek, Zahradníček: Poskytnutí meteorologických dat a zpracování odborného stanoviska pro účely předpovědi extrémního nárazového větru v lokalitě Dukovany, ČHMÚ Brno, 2010.
- [22] Safety Guide NS-G-3.4: Meteorological events in site evaluation for Nuclear power Plants, IAEA 2003.
- [23] Štěpánek, ČHMÚ Brno: E-mailová zpráva z 3.2.2011 + příloha (data nárazového větru ze stanice Dukovany z let 1983-87 a 2010).
- [24] Holý: Přehled výsledků výpočtů extrémních rychlostí větru, ÚJV Řež, 2010.
- [25] Lukavec: Stanovení mezní odolnosti chladicích věží při zatížení extrémním větrem, M.L.E.&C., 12/2010
- [26] Lukavec: Stanovení mezní odolnosti konstrukcí bezpečnostně významných budov JE Dukovany na účinky větru, M.L.E.&C., 12/2010
- [27] Štěpánek a kol.: 5239 Seismické z odolnění nosných konstrukcí HVB I a HVB II. přepočty objektů strojoven SO 490/1-01 a 02 s úpravami dle projektu 5766 na zatížení při všech extrémních klimatických jevech. Bestex 08/2010, zpráva pro EGPI Uherský

Brod.

- [28] Provozní předpis P002b Napájení VS EDU při nehodě typu Black out.
- [29] BCO Provoz 3. a 4. RB bez možnosti dlouhodobého napájení VS z TG zregulovaného na VS, 34EDU/2011/BCO-01, revize 0, kapitola Pravděpodobnostní hodnocení.
- [30] Bízek, Husták: Souhrnná zpráva Living PSA 2009, revize 1, ÚJV Z 2708T, 12/2009.
- [31] Blaha: Vyhodnocení měření průtočné charakteristiky mobilního požárního čerpadla NH55 dle OP 142/10, zpráva TES-Z-10-140, 11/2010.
- [32] Pelán, Frélich, Heralecký: Nouzové chlazení bazénu skladování vyhořelého paliva JE Dukovany, zpráva TES ZT05093, 10/2005.
- [33] PpBZ JE Dukovany, kapitola 3.12.6.3 Poruchy v bazénu skladování paliva
- [34] Provozní předpis P002c: Likvidace poruchových stavů v režimech 4 až 7.
- [35] Provozní předpis P002b: Napájení VS při nehodě typu black out.
- [36] Posouzení odolnosti JE Dukovany vůči extrémně vysokým venkovním teplotám, ÚJV Řež, a.s., divize Energoprojekt Praha, arch.č. EGP 5090-T-002003, prosinec 2003
- [37] Revize posouzení odolnosti JE Dukovany vůči extrémně vysokým venkovním teplotám, ÚJV Řež, a.s., divize Energoprojekt Praha, arch.č. EGP 5010-F-08099, prosinec 2008
- [38] PpBZ JE Dukovany, kapitola 3.5 Ochrana proti letícím předmětům, revize 2010
- [39] Jaroš: Pády letadel. Dokumentace PSA, kniha I, kapitola 4.4 Analýza pádu letadla, ÚJV Řež, revize 2010.
- [40] Vyhláška SÚJB č. 215/97 Sb. "O kritériích na umístování jaderných zařízení a velmi významných zdrojů ionizujícího záření". Státní úřad pro jadernou bezpečnost, Praha, 1997.

Kap. 5

- [1] Novotný, Bredykhin, Klug: Analýza technických podmínek připojení čerpadel ČSJ (typu VD400) na DG, TES, zpráva TES-Z-09-114, 2009.
- [2] Blaha, Delieryev: Bilanční T-H analýzy pro ověření možnosti dochlazení výrobních bloků EDU při události extrémní vítr, TES, zpráva TES-Z-09-123, revize, 12009.
- [3] Sellers, Vymazal, Willes: Verifikace postupu řešení „TPo_5983 EDU Řešení následků vnějších událostí extrémní vítr“ pro Jadernou elektrárnu Dukovany (AMEC s.r.o., Analýza C938-10-0, říjen 2010).

- [4] Král P.: Analýzy odstavených stavů JE Dukovany - ztráta odvodu tepla z důvodu ztráty proudění v II.O. ÚJV Z 3004 T, prosinec 2010.
- [5] Raisigl a kolektiv: Rozbor výpadků technické vody důležité, cirkulační chladicí vody, čerpací stanice Jihlava. EGP Praha, zpráva EGP 4910-T-000300, 03/2001.
- [6] PpBZ JE Dukovany, kapitola 3.12.2 Posouzení rizika ztráty koncového jímače tepla (ČS Jihlava, CCHV, TVD).
- [7] Provozní předpis LAS P002i: Výpadky technologických médií, kap. 6.4 Destrukce chladicích věží a elektrického vedení 400kV a 110 kV.
- [8] Lahovský: Analýzy vybraných nadprojektových událostí v JE Dukovany - Velké LOCA bez NTČ; ztráta koncového jímače tepla; ÚJV Z 1854 T, březen 2007.
- [9] Lahovský: Analýzy nadprojektových událostí - úplná ztráta napájení JE střídavým proudem (blackout) - ÚJV Z 3006 T, prosinec 2010.
- [10] Vranka, Bachratý: Analýza vychladzovania primárneho okruhu pomocou SHNČ v Režime 6, IVS Trnava, september 2006.
- [11] Posouzení odolnosti JE Dukovany vůči extrémně vysokým venkovním teplotám, ÚJV-Řež, a.s., divize Energoprojekt Praha, arch.č. EGP 5090-T-002003, prosinec 2003
- [12] Revize posouzení odolnosti JE Dukovany vůči extrémně vysokým venkovním teplotám, ÚJV-Řež, a.s., divize Energoprojekt Praha, arch.č. EGP 5010-F-08099, prosinec 2008
- [13] Provozní předpis P002c: Likvidace poruchových stavů v režimech 4 až 7.
- [14] Blaha: Vyhodnocení měření průtočné charakteristiky mobilního požárního čerpadla NH55 dle OP 142/10, zpráva TES-Z-10-140, 11/2010.

Kap. 5.2

- [1] PpBZ JE Dukovany, kapitola 3.12.6.3 Poruchy v bazénu skladování paliva
- [2] Pelán, Frélich, Heralecký: Nouzové chlazení bazénu skladování vyhořelého paliva JE Dukovany, zpráva TES ZT05093, 10/2005.
- [3] Kodl, Konečná, Hep: Poruchy v bazénu skladování paliva EDU pro palivo Gd-2M a zvýšený výkon, zpráva Škoda JS, Ae12556_r0.doc, duben 2008.

Kap. 6

- [1] J. Dienstbier: Analýza rizika detonace vodíku v kontejnmentu JE Dukovany pro scénář typu "blackout" bez zásahu obsluhy. Revize 1. Zpráva ÚJV Z-1782-T R1, červen 2007.
- [2] J. Dienstbier: Analýza rizika detonace vodíku v kontejnmentu JE Dukovany pro scénář typu "blackout" se zásahy dle EOP a SAMG. Zpráva ÚJV Z-1974-T, listopad 2007.

- [3] International standard ISO 10645. Nuclear energy – Light water reactors – Calculation of the decay heat power in nuclear fuels. 1992.
- [4] P. Vokáč, J. Dienstbier: Vyhodnocení radiačního ohrožení dozoren EDU při těžké havárii. ÚJV Z-485-T, listopad 1999.
- [5] J. Dienstbier: Analýza rizika detonace vodíku v kontejnmentu JE Dukovany pro scénář typu “transient” bez zásahu obsluhy. Revize 1. Zpráva ÚJV Z-1879-T, červen 2007.
- [6] J. Dienstbier: Návrh systému likvidace vodíku pro JE Dukovany. Zpráva ÚJV Z-2760-T, červen 2010.
- [7] B. Kujal: Aplikace návodů SAMG při těžké havárii iniciované úplným výpadkem napájení střídavým elektrickým proudem na bloku VVER-440/213. Zpráva ÚJV Z-1227-T, září 2004.
- [8] J. Dienstbier: Steam generator tube/collector rupture scenarios with flooded SG secondary side. 5th EU FW programme SGTR, report SAM-SGTR-D017, February 2002.
- [9] J. Dienstbier: Vyhodnocení strategií SAMG pro JE Dukovany VVER-440/213. ÚJV Z-1120-T, prosinec 2003.
- [10] J. Dienstbier: Validace SAMG bloku VVER-440/213 JE Dukovany. Souhrnná zpráva ÚJV Z-1252-T, říjen 2004.
- [11] J. Dienstbier: PSA 2. úrovně pro blok 1 JE Dukovany. Revize 3. ÚJV Z-1484-T R1, leden 2006.
- [12] T. Kanzleiter: Hydrogen Recombiner Tests HR-1 to HR-5, HR-27 and HR-28. Tests without steam using AREVA PAR. OECD/NEA THAI Project Report 150 1326-HR-QLR-1.
- [13] T. Kanzleiter: Hydrogen Recombiner Tests HR-6 to HR-13, HR-29 and HR-30. Tests with steam using AREVA PAR. OECD/NEA THAI Project Report 150 1326-HR-QLR-2.
- [14] R. Prior et. al.: VVER-440/213 (Bohunice V2) Analysis of BDBA and Severe Accidents without Operator Actions. WENX-97-24. PHARE 4.2.7.a/93. September 1997

Obecně odkazy ve všech kapitolách

A004a,b	Limity a podmínky bezpečného provozu
P002	Likvidace abnormálních stavů
P002b	Napájení VS EDU při nehodě typu BLACK OUT
P002e	Poruchy ze strany I.O

P002f	Poruchy ze strany II.O
P002g	Odstraňování poruch zařízení elektro a MaR
P002h	Požáry
P002i	Výpadky technologických médií
P002o	Ostrovní provoz
P002z	Záplavy
P002c	Likvidace poruchových stavů v Režimech 4 až 7 (SD EOPs)
P002d	LPS - výkladová část postupů SD-0 až SD-10
P003a,b	Likvidace mimořádných stavů (EOPs)
P003c-i	Likvidace mimořádných stavů – výkladová část (tzv. čítanky EOPs)
P003t	Hodnotící manuály pro předpisy na řešení havarijních stavů (Manuály TPS)
P004a,b	Návody pro řízení těžkých havárií (SAMG)

Popis navrhovaných nápravných opatření

V Příloze je uveden stručný popis navrhovaných nápravných opatření pro všechny oblasti hodnocené v rámci Zátěžových testů. U každého nápravného opatření jsou uvedeny následující informace:

Funkce

Bezpečnostní funkce, kterou uvedené nápravné opatření řeší.

Způsob řešení

Stručný popis způsobu řešení s uvedením navržených možných variant.

Rizika

Rizika, která jsou řešena implementací navrženého nápravného opatření.

Další krok

Stručný návrh způsobu implementace navrženého nápravného opatření.

	FUNKCE	NO - ZPŮSOB ŘEŠENÍ	RIZIKA	DALŠÍ KROK
ALTERNATIVNÍ TECHNICKÉ PROSTŘEDKY	1.Odvod tepla z AZ přes II.O	Doplňování vody do PG alternat. způsobem z nádrží demi 1MPa popř. z vnějšího zdroje: (i) Instalace stabilního motorčerpádlu (diverzní SHNČ) (výkon cca 160 kW) (ii) Plnění PG pomocí hasičské techniky (nutno posoudit kapacitu HZSp)	UHS SBO	Jedná se o diversní (nezávislé) prostředky napojené do elektrorozvodů / potrubních tras stávajících BS, tj. řešení ovlivňující projekt stávajících BS. OKAMŽITĚ: koordinace s ostatními provozovateli VVER / WANO / projektantem VVER – upřesnění koncepce řešení 2012: studie proveditelnosti
	2.Odvod tepla z AZ přes I.O.	<u>Doplňování vody do I.O/BSVP alt. způsobem:</u> (i) Plnění otevřeného reaktoru a BSVP samospádem ze žlabů XL (analyzovat nutnost přepojení armatur na systém ZN I)	UHS SBO	
	3.Čerpání médií pro BSVP (včetně plnění BSVP)	(ii) Plnění zavřeného reaktoru při nízkém tlaku pomocí výkonnějšího čerpadla XL10D01 a nové trasy ze žlabů do trasy od HA do Re (napájení čerpadla a armatur ze ZN1, navržené řešení nutno podrobně analyzovat) (iii) Chlazení BSVP doplňováním chladiva a akumulací tepla v TH nádržích	Záplavy UHS SBO	
	4.Zajištění napájení I.kategorie	Jeden mobilní DG o výkonu 500 kW na blok (4 DG na elektrárnu) pro ZN I.kategorie + napětí pro vybrané spotřebiče 0,4 kV II. kat. Není určeno pro napájení čerpadel velkých výkonů, ale umožňuje postupně napájet vybrané pohony 0,4 kV ZNII - VZT BD a ND, TM čerpadla, TH nebo TQ (ne najednou). Připojení třemi kabely na EV, EW, EX, což umožňuje napájení ZN1 (+ dobíjení baterií) a částečné napájení ZNII. Pozn. k chlazení SKŘ: analyzovat odvod tepla v podmínkách SBO, závěr může být odstavit vybrané skříně, otevřít dveře, zřejmě nebudou nutné žádné speciální prostředky	SBO	
	5.Obyvatelnost BD/ND		SBO	
	6.Zabezpečení odvodu tepla z prostředků SKŘ		SBO UHS	

	FUNKCE	NO - ZPŮSOB ŘEŠENÍ	RIZIKA	DALŠÍ KROK
PŘEDPISY	Doplnění PP a HPP (externí události, ztráta UHS, obnova napájení)	Zpracovat PP na zemětřesení, extrémní události (vítr, teplota, sníh), obnova napájení po SBO všech bloků, ztráta UHS, plnění PG všech čtyř bloků hasičskou technikou	Seismicita, extrémní počasí, UHS	2012: Doplnit PP, implementovat opatření
	Prodloužení vybíjecí doby akubaterií ZN I. kat. při SBO	Analýza vybíjecí doby akubaterií při uplatnění variant řízeného snižování odběru (odpínání spotřebičů). Doplnění PP pro režim SBO o instrukce pro odlehčování zátěže ZN I. kat. Změna zapojení a provozování nouzového osvětlení (akce 5663).	SBO	
	SAMG pro odstávku / Těžká havárie v BSVP	Zpracovat „shutdown SAMGs“.	AMP	2012: Zahájit
	Návody/EDMG pro náhradní prostředky	Manipulačního postupy pro použití alternativních prostředků pro nouzové chlazení či nouzové el. napájení	Seismicita Záplavy Extr. počasí SBO, UHS, AMP	Ve vazbě na řešení alternativ. tech. prostř.

	FUNKCE	NO - ZPŮSOB ŘEŠENÍ	RIZIKA	DALŠÍ KROK
PERSONÁL, KOMUNIKACE	Prostředky pro akce personálu - napájení komunikačních prostředků, osvětlení, turniketů	<u>Komunikace mezi zasahujícími osobami a vně</u> (a) Uvnitř elektrárny (BD – TPS – zasahující personál ...) i) Alternativní napájení telefonních ústředěn - cca 20 kW na AB1 - cca 10 kW příčná et. 3. RB Na AB1 napájet ze záložního zdroje pro kryt AB1. Na 3. RB napájení z nouzového zdroje pro kryt PB2. Stejně zdroje použít i pro nouzové dobíjení přenosných svítidel a freisetů (řešit instalací 2 dobíjecích míst - např. kryt AB1 a PB2). (Pozn.: stávající zálohování ústředěn při výpadku napájení je z vlastních akubaterií po dobu cca 8 h) ii) Stanovit koncepci pro komunikaci při rozpadu komunikační sítě v důsledku seismické události <i>(veškerá stávající komunikační infrastruktura (telefony, radiostanice) je závislá na decentralizovaných prvcích v neseismických objektech, neseismických kabelových kanálech, apod. – v současnosti máme redundandní možnosti komunikace (pevné telefony, MT, radiostanice), avšak bez záruky plné funkčnosti po PZ/MVZ.</i> <i>Navrhuje se použít radiostanice samostatné popř. fungující přes mobilní převaděče (v autech HZSP a dozimetrie) ...řešit ve spolupráci s ostatními provozovateli.</i> (b) Mezi elektrárnou a vnějšími orgány Viz. ii) výše. Prověření možností komunikace klíčových pracovišť (elektrárny, orgány státní správy) satelitními telefony. <u>Napájení TSFO</u> Napájení TSFO řešit dvěma menšími nouzovými zdroji (DG) o celkovém výkonu cca 135 kW na elektrárnu. Návrh dvou menších DG vychází z koncepce napájení TSFO z dvou rozveden 9BA, 9BB. Potřebný výkon DG pro TSFO musí být v návaznosti na plánovanou rekonstrukci TSFO ještě upřesněn (Pozn.: stávající zálohování turniketů při výpadku napájení je z vlastních akubaterií po dobu cca 4 h)	Seismicita SBO	2012: Koordinace s orgány státní správy a IZS ohl. možností alternativního varování, vyrozumění a komunikace při poškození stávající infrastruktury. Úprava dokumentace havarijního plánování. Koordinace s ostatními provozovateli v oblasti řešení komunikace. Možná analýza odolnosti prvků při PZ – předpoklad potvrzení alesp. omezeného zachování funkčnosti

	FUNKCE	NO - ZPŮSOB ŘEŠENÍ	RIZIKA	DALŠÍ KROK
	Napájení prostředků varování	Definovat náhradní organizační řešení (ve spolupráci s orgány státní správy a IZS) při nefunkčnosti rozhlasu a sirén (popř. ovládací infrastruktury pro jejich spuštění) v důsledku extrémních přírodních jevů (vybavení mobilními prostředky - mechanické sirény, pneumatické sirény, megafony na vozidlech, sirény na vozidlech) vč. způsobu použití a zapracování do dokumentace havarijního plánování.	AMP	2012: Řešení / zahájit implementaci opatření.
	Zodolnění a funkceschopnost krytů	Provést analýzu ohrožení krytů při seismicitě a záplavách - zejména AB (HŘS) a PB2. Realizovat ZKZ 6355 (záložní elektrické napájení krytů).	Seismicita Záplavy SBO AMP	
	Zajištění dostatku personálu	i) Opatření pro střídání směnového personálu při ztížené dostupnosti lokality. ii) Analýza možností směnového personálu při vzniku havárie na všech čtyřech blocích (dostatek lidí pro implementaci strategií, jejich ukrytí). iii) (Po vzniku EDMG – analýzy podmínek a možností / dostatku personálu pro implementaci zásahů dle EDMG.) <i>Pozn.: Urychlená evakuace osob z EDU (které se nepodílejí na likvidaci havárie) při neprovozuschopnosti krytů – opatření HP.</i>	Seismicita Extrémní počasí SBO AMP	
	Přístup k zásahům	Provéřit dostupnost těžké techniky. Logistik HŘS má k dispozici seznam techniky - kontakt letecká základna Náměšť nad Oslavou Analýza přístupu techniky HZSp k HVB I, II	Seismicita	
	Použitelnost IHŘS – schopnost fungování OHO mimo HŘS	Aktivace TPS a HŠ mimo HŘS (včetně předávání informací a komunikace) – prověřit možnosti, zapracovat do dokumentace	Seismicita SBO AMP	
	Výcvik pro těžké havárie	Organizační opatření - výcvik TPS	AMP	
	Spolupráce s vnějšími složkami	Připravit dohody s externími složkami (IZS, armáda) a blízkými JE. Organizační opatření, řešit v rámci HP.	AMP	

	FUNKCE	NO - ZPŮSOB ŘEŠENÍ	RIZIKA	DALŠÍ KROK
TECHNICKÉ PROSTŘEDKY - PROJEKTOVÉ (BN, PSR)	Dokončit projekt seismického z odolnění včetně kotvení neseismického zařízení	ZKZ 5239, 5321, ZKZ z oblasti technologie	Seismicita	Řešit v rámci BN, PSR
	Diverzní CHV	ZKZ 5983	Extrémní vítr, UHS	
	Modifikace ovládání PV PG	ZKZ 4563	UHS, SBO	
	Zajištění obyvatelnosti BD	ZKZ 3706	AMP	
	Kyslíková regenerace v krytech	ZKZ 6301	AMP	
	Likvidace pohavarijního vodíku	ZKZ 5192	AMP	
	Chlazení taveniny z vnějšku TNR	ZKZ 5778	AMP	

	FUNKCE	NO - ZPŮSOB ŘEŠENÍ	RIZIKA	DALŠÍ KROK
TECHNICKÉ PROSTŘEDKY (MIMO BN, PSR)	Kotvení neseismického zařízení (např. transportní válec na Re sále)	Obhlídka, ZKZ	Seismicita	OKAMŽITÝ
	Odolnost prostředků HZSp	Analýza odolnosti budovy HZSp na seismicitu, vítr, sníh, příp. z odolnění objektu HZS. ZKZ. Posouzení kapacity prostředků HZSp, zkouška napájení PG dvou bloků jedním agregátem.	Seismicita, extrémní počasí	
	Zodolnění objektů na extrémní vítr a sníh	Zpracování metodiky hodnocení externích vlivů, verifikace provedených analýz, případná technická opatření (ZKZ 6697) Ověřit závěry analýzy M.L.E.&C, případně zrealizovat technická opatření	Extrémní počasí	STŘEDNĚDOBÉ: analýzy, studie proveditelnosti
	Doplnění PAMS o měření RA situace a BSVP	RA měření iniciovala ZKZ 5812 (Sejval), vypsáno TPo 6740 (doplnění PAMS), 6789 (SYRAD) BSVP - nové měření hladiny a teploty v BSVP	AMP, SBO	
	Ochrana BD před zářením	Verifikace analýzy ÚJV Řež (oponentní posudek), případné zodolnění	AMP	