

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY**

**FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING**

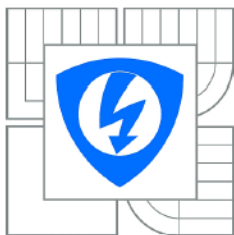
**Návrh schématu zajištěného napájení
jaderného bloku pro řešení
projektových i nadprojektových
havárií**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS**

**AUTOR PRÁCE
AUTHOR**

TOMÁŠ ŽÁK

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Elektroenergetika

Student: Bc. Tomáš Žák
Ročník: 2

ID: 106897
Akademický rok: 2012/2013

NÁZEV TÉMATU:

Návrh schématu zajištěného napájení jaderného bloku pro řešení projektových i nadprojektových havárií

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Pro JE se dvěma bloky VVER 440 stanovte zásady hloubkové ochrany se specifickým zaměřením na funkce elektrických systémů. Vysvětlete funkci elektrických systémů normálních a abnormálních režimech provozu a za podmínek projektových nehod.
2. Navrhněte definici SBO v pojetí před událostí ve Fukušimě a po události ve Fukušimě. Stanovte hlavní bezpečnostní funkce a zásady pro prevenci a zmírňování následků rozšířených projektových podmínek.
3. Proveďte rozbor a zhodnocení vlastností různých typů opatření a technických řešení, které lze použít pro zvládnutí události typu SBO na dané JE.
4. Na základě výsledků tohoto rozboru navrhněte koncepci opatření a úprav v elektrických systémech a navrhněte dimenze hlavních zařízení, které budou dostatečné pro zvládnutí SBO.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 11.2.2013

Termín odevzdání: 24.5.2013

Vedoucí práce: Ing. Karel Katovský, Ph.D.

Konzultanti diplomové práce: Ing. Jan Anděl, UJV Řež, a.s.

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

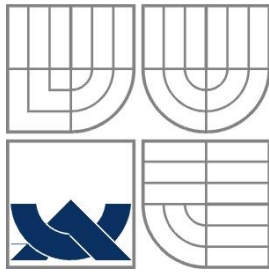
Bibliografická citace práce:

ŽÁK, T. *NÁVRH SCHÉMATU ZAJIŠTĚNÉHO NAPÁJENÍ JADERNÉHO BLOKU PRO ŘEŠENÍ PROJEKTOVÝCH I NADPROJEKTOVÝCH HAVÁRIÍ*. BRNO: VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ, 2013. 65 s. VEDOUcí DIPLOMOVÉ PRÁCE ING. KAREL KATOVSKÝ, PH.D..

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. Díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Za spolupráci a pomoc na této práci bych chtěl poděkovat panu Ing. Janu Andělovi a panu Ing. Karlu Katovkému, PhD.

.....



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ



Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
Ústav elektroenergetiky

Diplomová práce

Návrh schématu zajištěného napájení jaderného bloku pro řešení projektových i nadprojektových havárií

Tomáš Žák

vedoucí: Ing. Karel Katovský, PhD.

konzultant: Ing. Jan Anděl (ÚJV - EGP)

Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT v Brně, 2013

Brno



BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**Faculty of Electrical Engineering and Communication
Department of Electrical Power Engineering**

Master's Thesis

**Project of nuclear power unit secure
emergency power supply for design
basis accident as well as for extension
conditions**

by

Tomáš Žák

Supervisor: Ing. Karel Katovský, PhD.

Consultant: Ing. Jan Anděl (ÚJV - EGP)

Brno University of Technology, 2013

Brno

ABSTRAKT

Tato diplomová práce si dává za cíl navržení evolučního schématu zajištěného napájení u jaderných elektráren s reaktory typu VVER 440 při projektových i nadprojektových haváriích. V úvodních kapitolách se tato práce zaměřuje zejména na vymezení pojmů v oblasti hloubkové ochrany jaderného reaktoru, provozních režimů bloku, stejně jako i typy a možnosti elektrického napájení, elektrická schémata bloku. I když je práce zaměřena obecně na VVER 440, je v ní kladen zvláštní důraz na lokalitu Dukovan, kde jsou tyto reaktory v provozu a na možnosti zvýšení hloubkové ochrany právě v této lokalitě. Samotnou rozdílnou definicí station blackoutů před a po Fukushima se věnuje druhá část této práce, ve které je kromě hledisek rozdílného hodnocení situací i navržen způsob řešení, resp. koncepce řešení při projektových i nadprojektových haváriích. Do koncepce byly vybrány prostředky z několika uvedených možností na základě hodnocení jak spolehlivosti, dostupnosti tak i ekonomičnosti celé úpravy.

KLÍČOVÁ SLOVA: Projektová havárie; nadprojektová havárie; těžká havárie; rozpad elektrizační soustavy; station blackout; jaderná elektrárna; jaderný blok; systém zajištěného napájení; hloubková ochrana; Fukushima; dieselgenerátor;

ABSTRACT

The present Master's thesis aims at designing an evolutionary scheme of secured power supply at nuclear power plants with VVER 440 reactors during design basis accidents as well as design extension conditions. In the first part of this thesis, concepts relating to the defence in depth of nuclear reactors, operating modes of the blocks as well as types and possibilities of electrical power supply and electric circuits of the block are defined. Although the present thesis deals with PWR 440 in general, special emphasis is put on the Czech NPP in Dukovany, where there are four PWR 440 reactors in operation, and on the possibilities for enhancing the defence in depth in this area. The second part of the thesis deals with the difference in station blackout definitions before and after Fukushima; not only the differences in situation evaluation are dealt with, but a solution is also proposed to make the system of secured power supply system during design basis accidents as well as design extension conditions more robust. This option has been selected out of a number of possibilities based on the evaluation of reliability, availability and cost-effectiveness of the proposal.

KEY WORDS: basis accidents; design extension conditions; sever accident; safety division; station blackout; nuclear power plant; nuclear reactor; defence in depth; Fukushima; diesel generator;

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	10
SEZNAM TABULEK	11
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	12
1 ÚVOD	14
2 POŽADAVKY NA JADERNÁ ZAŘÍZENÍ.....	15
2.1 VYMEZENÍ POJMŮ	15
2.2 CÍLE JADERNÉ BEZPEČNOSTI	18
2.3 HLOUBKOVÁ OCHRANA (DID – DEFENCE IN DEPTH)	18
2.4 PROJEKTOVÉ A NADPROJEKTOVÉ HAVÁRIE	21
2.4.1 DEFINICE POJMŮ	21
2.4.2 NADPROJEKTOVÉ HAVÁRIE	22
2.5 POŽADAVKY NA ŘÍZENÍ HAVÁRIÍ	23
3 ELEKTRICKÉ SYSTÉMY V JADERNÉ ELEKTRÁRNĚ	24
3.1 DEFINICE POJMŮ PRO ELEKTRICKÉ SYSTÉMY JE.....	24
3.2 ZAPOJENÍ DO SÍTĚ	27
3.2.1 VYVEDENÍ VÝKONU EDU NA ÚROVNI 400 kV	27
3.2.2 RNVS EDU Z VNĚJŠÍ SÍTĚ 110 kV	27
3.2.3 OSTROVNÍ PROVOZ	28
3.3 HLOUBKOVÁ OCHRANA A FUNKCE JEDNOTLIVÝCH ÚROVNÍ DID	29
3.3.1 FUNKČNOST ELEKTRICKÉHO SCHÉMA V ÚROVNI DID 1	29
3.3.2 FUNKČNOST ELEKTRICKÉHO SCHÉMA V ÚROVNI DID 2.....	30
3.3.3 FUNKČNOST ELEKTRICKÉHO SCHÉMATU V ÚROVNI DID 3	31
3.3.4 FUNKČNOST ELEKTRICKÉHO SCHÉMATU V ÚROVNI DID 4	32
3.3.5 FUNKČNOST ELEKTRICKÉHO SCHÉMATU V ÚROVNI DID 5	33
3.4 ROZVODNÉ SÍTĚ EL. NAPÁJENÍ.....	33
3.5 SYSTÉMY STRÍDAVÉHO NAPÁJENÍ.....	34
3.5.1 ROZVOD III. KATEGORIE NAPÁJENÍ	34
3.5.2 ROZVOD III/II. KATEGORIE ZAJIŠTĚNÉHO NAPÁJENÍ	35
3.5.3 ROZVOD II. KATEGORIE ZAJIŠTĚNÉHO NAPÁJENÍ	35
3.6 SYSTÉMY STEJNOSMĚRNÉHO NAPÁJENÍ.....	35
3.7 SCHÉMA VLASTNÍ SPOTŘEBY ELEKTRÁRNY.....	36
3.8 PROVOZNÍ REŽIMY EL. SCHÉMATU JE	37
3.8.1 ZÁKLADNÍ PROVOZNÍ REŽIMY BLOKU	37
3.8.2 REŽIMY SCHÉMATU PRACOVNÍHO NAPÁJENÍ.....	38
3.8.3 REŽIMY SCHÉMATU REZERVNÍHO NAPÁJENÍ	38
3.8.4 REŽIMY SZN.....	39
3.8.5 FUNKCE EL. SCHÉMATU PŘI POSTULOVANÝCH PORUCHOVÝCH UDÁLOSTECH.....	40
4 DEFINICE SBO	43
4.1 DEFINICE PŘED UDÁLOSTÍ VE FUKUSHIMĚ (DID 4).....	43

4.2 DEFINICE PO UDÁLOSTI VE FUKUSHIMĚ (DID 5).....	43
4.3 ZÁSADY OPATŘENÍ PRO ZVLÁDÁNÍ SBO A ZMÍRNĚNÍ NÁSLEDKŮ SA	44
5 MOŽNOSTI OPATŘENÍ PRO ZVLÁDÁNÍ SBO	46
5.1 VÝKONOVÁ BILANCE	46
5.2 PROSTŘEDKY.....	47
5.2.1 STABILNÍ DIESELGENERÁTOR (DG).....	47
5.2.2 MOBILNÍ DIESELGENERÁTOR (MDG).....	48
5.2.3 SPALOVACÍ TURBÍNA	48
5.2.4 STANIČNÍ AKUBATERIE	49
5.2.5 EXTERNÍ AAC.....	49
5.2.6 ZMĚNA KONFIGURACE SCHÉMATU JE	51
5.2.7 MOBILNÍ ČERPADLO.....	51
6 KONCEPCE OPATŘENÍ PRO ZVLÁDNUTÍ SBO.....	52
6.1 VÝBĚR KONCEPCE.....	52
6.2 NÁVRH KONCEPCE	53
6.2.1 TECHNICKÉ ŘEŠENÍ KONCEPCE	53
6.2.2 POSTUPY PŘI ŘEŠENÍ SBO.....	54
6.2.3 VÝPOMOC ZE SOUSEDNÍHO HVB.....	54
6.3 SCÉNÁŘE PŘI DID 5.1.....	55
6.3.1 SCÉNÁŘ I.....	55
6.3.2 SCÉNÁŘ II	56
6.3.3 SCÉNÁŘ III	57
7 ZÁVĚR.....	58
POUŽITÁ LITERATURA	59
PŘÍLOHA A PŘEHLEDOVÉ SCHÉMA ZAPOJENÍ EDU DO ES [3].....	60
PŘÍLOHA B IDEOVÉ SCHÉMA ZDROJŮ A SÍTÍ EDU [4]	61
PŘÍLOHA C ELEKTRICKÉ SCHÉMA BLOKU EDU [4].....	62
PŘÍLOHA D NAVRHOVANÉ SCHÉMA ÚPRAV, VARIANTA I.....	63
PŘÍLOHA E NAVRHOVANÉ SCHÉMA ÚPRAV, VARIANTA II.....	64
PŘÍLOHA F NAVRHOVANÉ SCHÉMA ÚPRAV, VARIANTA III	65

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 6-1 Schéma zdrojů a prostředků pro HVB ve scénáři I.</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 6-2 Schéma zdrojů a prostředků pro HVB ve scénáři II.</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 6-3 Schéma zdrojů a prostředků pro HVB ve scénáři III.</i>	<i>57</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 2-1 Úrovně hloubkové ochrany (DID):</i>	20
<i>Tab. 3-1 Klasifikace zdrojů, sítí a SZN VS [4]:</i>	26
<i>Tab. 3-2 Klasifikace spotřebičů s příslušnými kategoriemi napájení, SZN a zdroji [4]:</i>	32
<i>Tab. 3-3 Vybíjecí doby staničních akubaterií v projektu EDU [5]:</i>	36
<i>Tab. 4-1 Vybíjecí doby staničních akubaterií v režimu SBO pro EDU [5]:</i>	45
<i>Tab. 5-1 Příkony spotřebičů BSK s UHS pro EDU [7]:</i>	46
<i>Tab. 5-2 Příkony spotřebičů BSK bez UHS pro EDU [7]:</i>	46
<i>Tab. 6-1 Přehled možných prostředků pro lokalitu EDU.</i>	52

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

ADG	Automatika diesलगenerátoru
ADG	Automatika diesलगenerátoru
ANN	Agregáty nepřerušenoho napájení
ANT	Odbočkový transformátor (<i>Auxiliary Normal Transformer</i>)
APV	Automatika podpěťového vypínání spotřebičů na rozvaděčích II. kategorie
AVV400	Automatika vypnutí vypínače 400 kV
AZ	Aktivní zóna
AZR	Automatický záskok rezervního napájení
BD	Bloková dozorna
BF	Bezpečnostní funkce
BS	Bezpečnostní systémy
BSK	Bezpečnostní skupina
BSPV	Bazén skladování vyhořelého paliva
BT	Bezpečnostní třída
CAB	Centrální automatika bloku
CCF	Porucha se společnou příčinou (<i>Common Cause Failure</i>)
ČTVD	Čerpadlo technické vody důležité
DBC	Projektové podmínky (<i>Design Basis Conditions</i>)
DEC	Nadprojektové podmínky (<i>Design Extension Conditions</i>)
DG	Diesलगenerátor
DGS	Diesलगenerátorová stanice
DID	Hlubková ochrana (<i>Defence In Depth</i>)
EDA	Elektrárna Dalešice
EDU	Elektrárna Dukovany
ELS	Automatika postupného spouštění
EMI	Elektromagnetické interference
EMO	Elektrárna Mohelno
ES	Elektrizační soustava
HAZR	Hromadný AZR
HČČ	Hlavní cirkulační čerpadlo
HRK	Havarijní a regulační kazety
HVBI	Hlavní výrobní blok I
HVBII	Hlavní výrobní blok II
IO	primární okruh
JB	Jaderný blok
JE	Jaderná elektrárna
MAAE	Mezinárodní agentura pro atomovou energii
MČ	Mobilní čerpadlo
MDG	Mobilní diesलगenerátor
ND	Nouzová dozorna
OB	Ochranná bariéra
PNVS	Pracovní napájení vlastní spotřeby
PS	Přenosová soustava

PVE	Přečerpávací vodní elektrárna
R	Rozvodna
RA	Radioaktivní
RB	Reaktorový blok
RNVS	Rezervní napájení vlastní spotřeby
RRCS	System ovládání řídicích tyčí (<i>Reactor Rod Control System</i>)
RTS	System rychlého odstavení reaktoru (<i>Reactor Trip System</i>)
RZSLA	Rozvodna Slavětice
SA	Těžká havárie (<i>Severe Accident</i>)
SBO	Station black out
SHNČ	Superhavarijní napajecí čerpadla
SKŘ	System kontroly a řízení
SNB	System nedůležitý pro bezpečnosti
SSB	System související s bezpečností
SSZN	Společný system zajištěného napájení
ST	Spalovací turbína
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
SZN	System zajištěného napájení
TG	Turbogenerátor (turbosoustrojí)
TSFO	Technické systémy fyzické ochrany
UHS	Koncový jímač tepla (<i>Ultimate Heat Sink</i>)
VS	Vlastní spotřeba

1 ÚVOD

Jaderná energetika patří k naší civilizaci už více jak šest desítek let a více jak půl století je nedílnou součástí energetického mixu, který zásobuje naše domácnosti elektřinou. Ať už je využití jaderného inženýrství k získávání energie dobrou či špatnou, výhodnou či nevýhodnou činností, má jaderná energetika za svoji krátkou historii tři černé skvrnky. Těmito „kaňkami“ jsou tři havárie a to postupně v roce 1979 v USA Three Mile Island, dále pak těžká havárie v roce 1986 na území SSSR v Černobyli a poslední, v dnešní době skloňovaná ve všech pádech, z roku 2011 na území Japonska ve Fukushima.

Zatímco v elektrárně Three Mile Island došlo ke zvládnutí situace zhruba ve dvanácti hodinách a v Černobyli naopak došlo k explozi a k radiačnímu zamoření okolního prostředí, poslední havárie z roku 2011 je někde mezi těmito dvěma, výše zmíněnými událostmi. Důsledkem silného zemětřesení a následné přílivové vlny došlo k vyřazení řady ochranných systému jaderných bloků stojících na pobřeží ve Fukushima a tím pádem i nedostatečnému chlazení odstavených reaktorů. Tato havárie, vyvolaná nikoli lidskou činností, ale extrémními přírodními podmínkami, upozornila na nedostatky současných jaderných elektráren a otevřela řadu diskusí na téma jak ochránit jaderný reaktor nejen před projektovými haváriemi, ale i takovými haváriemi, které jsou vyvolány klimatickými podmínkami jako ve Fukushima a tedy situacemi, se kterými nebylo v rámci projektu jaderné elektrárny počítáno.

Po události v Japonsku, v prefektuře Fukushima tak dochází na revizi všech jaderných elektráren na světě, které jsou momentálně v provozu a tato zařízení jsou podrobována tzv. „Stress testům“, tedy prověrce zařízení stejně jako personálu elektrárny. Ačkoliv se některé země, jako například Německo, rozhodly ukončit provoz svých jaderných elektráren, v České republice se i nadále počítá s využitím jaderné energetiky pro účely výroby energie a s jejím dalším rozvojem. Právě ve světle státní energetické koncepce, sázce převážně na jadernou energetiku a naše dvě jaderné elektrárny Dukovany a Temelín, je třeba i u těchto zařízení prokázat dostatečnou odolnost na vnější vlivy, zejména pak na extrémní klimatické podmínky, při kterých musí být dodrženy základní bezpečnostní funkce. Teprve na základě splnění opatření vycházející ze zátěžových testů je možné schválit budoucí bezpečný provoz dvou výše zmíněných jaderných elektráren SÚJB.

2 POŽADAVKY NA JADERNÁ ZAŘÍZENÍ

Tato kapitola vychází z literatury [1], [2] a [5].

2.1 Vymezení pojmů

Abnormální provoz

Stav, jehož výskyt předpokládáme nejméně jednou za život zařízení a který se odchyluje od normálního provozu. Tento abnormální stav s ohledem na projektová opatření nezpůsobí významné poškození komponent důležitých pro jadernou bezpečnost a ani nepovede k havarijním podmínkám.

Bezpečnostní funkce

K předcházení vzniku nebo ke zmírnění následků nehody jaderného zařízení je nutné plnění těchto funkcí.

Bezpečnostní limity

V takovém rozsahu byla prokázána bezpečnost provozu JE, přičemž se jedná o mezní hodnoty parametrů technologických procesů.

Bezpečnostní skupina

Jedná se o soubor zařízení, vykonávající veškeré činnosti potřebné k plnění BF za účelem nepřekročení stanovených mezních podmínek a parametrů.

Bezpečnostní systémy

Systémy plnící bezpečnostní funkce, tedy bezpečné odstavení jaderného reaktoru nebo odvod tepla z aktivní zóny reaktoru nebo omezení následků abnormálního provozu a projektových havárií.

Diversifikace

Jedná se o způsob zálohování využívající systémy pracující na odlišných principech než zálohované systémy s cílem zvýšit spolehlivost systému a eliminovat pravděpodobnost poruchy zařízení s poruchou se společnou příčinou (konstrukční, systematickou, výrobní poruchou, vnější příčiny, atd.). Aby bylo dosaženo požadovaného efektu, volí se konkrétní odlišné vlastnosti, ať už konstrukční, výrobní či fyzikální.

Divize bezpečnostních systémů

Množina systémů schopná plnit samostatně tři fundamentální bezpečnostní funkce.

Důležité ochranné systémy

Bezpečnostní systémy SKŘ pro plnění bezpečnostních funkcí, schopné automaticky spustit činnost, zásahy nebo sekvence určených výkonných členů bezpečnostních systémů s cílem udržet parametry v požadovaných mezích po dostatečně dlouhou dobu při abnormálním provozu i havarijních podmínkách. Musí být také umožněno ruční uvedení v činnost.

Systémy musí plnit následující funkce:

- Iniciují rychlé odstavení reaktoru.

- Iniciují spuštění bezpečnostních systémů.

Důležité řídicí systémy

Bezpečnostní systémy SKŘ pro měření, registrování hodnot, sledování, automatické i ruční řízení bezpečnostních systémů pro plnění bezpečnostních funkcí během normálních, abnormálních i havarijních podmínkách, které umožňují ruční spuštění činností, zásahů a sekvencí určených akčních členů bezpečnostních systémů a to od okamžiku ukončení činnosti důležitých ochranných systémů až do okamžiku převedení JB do bezpečného stavu. Tyto systémy musí poskytovat obsluze možnost operativně zasáhnout.

Havarijní podmínky

Odchytky od normálního provozu, které jsou závažnější než abnormální provoz a zahrnují projektové i nadprojektové havárie.

Jaderná bezpečnost

Schopnost nebo stav jaderného zařízení a jeho obsluhy zabránit nekontrolovatelnému rozvoji štěpné řetězové reakce či nedovolenému úniku radioaktivních látek, ionizujícího záření do pracovního či životního prostředí. Cílem je také omezení následků nehod a havárií jaderných zařízení.

Jednoduchá porucha

Ztráta funkceschopnosti jednoho prvku za podmínky, že ostatní prvky pracují správně.

Maximální projektová nehoda

Nehoda uvažovaná v návrhu jaderně energetického zařízení s maximálním radiačním vlivem na okolí.

Nadprojektová havárie

Havárie, se kterou už není v návrhu jaderně energetického zařízení počítáno a s možným poškozením aktivní zóny.

Normální provoz

Provoz v rámci stanovených limitů a podmínek.

Ochrana do hloubky

Systém s opakovaným použitím technických a organizačních opatření, sloužící na ochranu a zachování činnosti fyzických bariér stejně jako i na ochranu osob a životního prostředí. Je tvořen vícenásobnými fyzickými bariérami, bránícími v šíření ionizujícího záření či radionuklidů do pracovního či životního prostředí.

Ochranné a řídicí systémy související s jadernou bezpečností

Systémy pro plnění bezpečnostních funkcí výkonných i podpurných systémů souvisejících s jadernou bezpečností.

Porucha

Jev, při kterém dojde k ukončení funkceschopnosti (schopnost prvku plnit stanovené funkce a udržovat hodnoty stanovených parametrů v mezích) dané komponenty.

Porucha se společnou příčinou (CCF)

Z důvodu jakékoliv jediné příčiny dojde k selhání funkcí více zařízení či systémů. Jedná se tak o vícenásobnou poruchu a takovou je nutné z hlediska jaderné bezpečnosti považovat za jednoduchou poruchu.

Projektová havárie

Havarijní podmínky, se kterými je v rámci provozu jaderného zařízení uvažováno, přičemž nedojde k překročení předem stanovených limitů uvolnění radioaktivních látek do okolí.

Projektová nehoda

Nehoda uvažovaná v projektu jaderné elektrárny.

Systémy

Souhrn několika vzájemně spjatých zařízení určených k plnění předepsaných funkcí.

Systémy důležité z hlediska jaderné bezpečnosti

Systémy, jejichž chybnou funkcí či poruchou by mohlo dojít k nepřijatelnému ozáření personálu nebo obyvatelstva a které zabraňují, aby při projektem předpokládaných událostech došlo na havarijní podmínky, přičemž jejich funkcí je zvládnutí a zmínění následků projektových nehod.

Systémy související s bezpečností (safety related systems)

Systémy, které nejsou bezpečnostními systémy, ale jsou důležité z hlediska jaderné bezpečnosti.

Těžká havárie

Nadprojektová havárie jaderného zařízení s jaderným reaktorem, počítající se závažným poškozením aktivní zóny.

Vícenásobná porucha

Porucha dvou nebo více prvků daného systému v časové souběžnosti.

Vybraná zařízení

Jedná se o systémy, konstrukce, komponenty či jejich části zahrnující i jejich programové vybavení, důležité z hlediska jaderné bezpečnosti jaderného zařízení a rozřazených do bezpečnostních tříd podle významu pro jadernou bezpečnost a bezpečnostní funkce systému, kterého jsou součástí a podle závažnosti jejich případné poruchy.

Zálohování

Jedná se o metodu zvýšení spolehlivosti komponenty či systému využitím záloh a to jak stejnorodých či diversifikovaných.

2.2 Cíle jaderné bezpečnosti

Stejně jako ostatní průmyslové činnosti i jaderná energetika a výroba elektrické energie z jádra s sebou nese rizika pro člověka a životní prostředí například v podobě úniku nebezpečných radioaktivních látek či radioaktivního záření. Po jaderných zařízeních se tak vyžaduje, aby udržela tato rizika nízká. Základním a důležitým cílem jaderné bezpečnosti je:

- Ochrana personálu, obyvatelstva a okolí JE proti radiologickému ohrožení efektivní ochranou.
- Zabezpečení minimálního radiačního ozáření personálu a obyvatelstva při normálním provozu JE, tedy aby bylo pod stanovenými limity.
- Při nehodách zajistit omezení radiačního ohrožení.

S ohledem na nehody jsou stanoveny následující cíle:

- Obecně předcházet nehodám.
- Připravit projekt JE i na nehody s velmi malou pravděpodobností výskytu, aby radiační následky i takovýchto nehod byly minimální.
- Omezujícími prostředky a prevencí efektivně snížit pravděpodobnost výskytu jakýchkoliv nehod JE.

V projektu JE musí být pro zajištění jaderné bezpečnosti dodrženy tři fundamentální bezpečnostní funkce:

- Bezpečné odstavení reaktoru a udržení ve stabilních podmínkách za všech projektem předpokládaných provozních režimů a nehod.
- Odvod zbytkového tepla z aktivní zóny za všech projektem předpokládaných provozních režimů a nehod.
- Omezení úniku radioaktivních látek, aby nedošlo k překročení stanovených limitů za všech projektem předpokládaných provozních režimů, během nehod a po nich.

Aby mohla být JE kvalifikována jako bezpečná, musí být splněna všechna tato tři základní bezpečnostní kritéria ve všech projektem předpokládaných situacích. Stejně je tomu i u provozu JE, který je prohlášen za bezpečný, pokud zařízení splňuje výše uvedená bezpečnostní kritéria. Plnění těchto kritérií je dosahováno pomocí principu ochrany do hloubky a bezpečnostními funkcemi.

2.3 Hloubková ochrana (DID – Defence in depth)

Mezi základní principy koncepce zajištění jaderné bezpečnosti patří ochrana do hloubky, jejímiž hlavními úkoly je:

- prevence nehod,
- zmínění následků nehod (havárií).

Tento princip, který je uplatněn v celé bezpečnostní koncepci projektu a zařízení jaderných elektráren, slouží k tomu, že při jakékoliv poruše by nemělo dojít k ohrožení personálu a obyvatelstva. Toho je v projektu JE dosahováno jednak násobnými úrovněmi ochrany do hloubky a násobnými ochrannými bariérami, které zabraňují úniku RA látek do okolí. Ke stavům, které

projekt nepředpokládá, může vést pouze kombinace poruch, které jsou ale málo pravděpodobné. Princip DID je tak soubor pravidel, kterými je třeba se v daných situacích řídit a BF už pojednávají o tom, jak daný systém pracuje.

Úrovně ochrany do hloubky lze pak rozdělit do pěti stupňů

1. *První úroveň* – cílem je předcházet odchylkám od normálního provozu a poruchám systémů. JE tak musí být konservativně a řádně projektována stejně jako i postavena, provozována a udržována v souladu se žádoucí úrovní jakosti a inženýrské praxe jako je aplikování, zálohování, nezávislosti a diverzifikace.
2. *Druhá úroveň* – zajištění odchylek od normálního provozu stejně jako předejití transformace očekávané provozní události do havarijních podmínek. Podle bezpečnostních rozborů a provozních předpisů pro předcházení či omezení škod po vzniku těchto událostí vyžaduje tato úroveň specifické systémy.
3. *Třetí úroveň* – při neúspěchu předešlých úrovní je cílem třetí zabránění dalšímu rozvoji projektových nehod do ještě závažnějších událostí a dovedení JE do stabilního a přijatelného stavu. Tento úkol si vyžaduje nejprve stabilizaci JE a následně ostavení a udržení minimální celistvosti jedné bariéry proti úniku RA látek.
4. *Čtvrtá úroveň* – koncentruje se na nadprojektové havárie a má za úkol minimalizovat radioaktivní úniky při těchto haváriích, aby jejich úroveň byla co nejnižší. Zajištění hermetického prostoru je tak nejdůležitější věcí této úrovně, přičemž tohoto cíle může být dosaženo jak doplňkovými opatřeními a předpisy pro předcházení rozvoji havárií stejně jako omezení následků těžkých havárií. Ověření hermetičnosti prostoru lze provést s užitím best estimate metod.
5. *Pátá úroveň* – tato úroveň je v této diplomové práci speciálně zaměřena na situace (havárie), které přicházejí v úvahu na základě nehody ve Fukushima. Jedná se tak o kombinaci události, které v úrovni 4 nebyly brány v potaz. Zatímco v úrovni 4 jsou tak akčními prvky interní či externí AAC, v této úrovni hloubkové ochrany je reakčním prvkem SSZN, který je nově v rámci HVB pro tyto účely vytvořen. Současně se tato úroveň zabývá zmírněním následků těžkých havárií (SA).
6. *Šestá úroveň* - cílem je omezení radiologických důsledků havarijních podmínek, k čemuž slouží vybavené havarijní středisko a vypracované vnitřní a vnější havarijní plány.

Přehled výše zmíněných úrovní je pro přehlednost uveden v Tab. 2-1, kde jsou už i zapracovány rozšíření úrovně DID 4, které si vyžádala nadprojektová havárie ve Fukushima.

Ochranné bariéry (dále OB) jsou tedy tvořeny:

1. první OB – chemickou a fyzikální strukturou jaderného reaktoru,
2. druhá OB – pokrytím paliva,
3. třetí OB – tlakovou hranicí IO,
4. čtvrtá OB – ochrannou obálkou (hermetickým prostorem).

Tab. 2-1 Úrovně hloubkové ochrany (DID):

Úroveň DID	Úroveň DID obecně pro JE	Úrovně DID a f-ce el. systémů (DIDELSYS)	Reakční prostředky		
1	Odchylky od normálního provozu	<ul style="list-style-type: none"> • Necitlivost na odchylky U,f • Stabilita přenosu energie • Dynamická stabilita • Ostrovní provoz 	400 kV, 110kV, reg. TS (P/f, U/Q), ANT, ochrany, rež. automatiky		
Bezpečnostní f-ce.	2	Abnormální provoz (jeho identifikace a náprava)	<ul style="list-style-type: none"> • Zregulování TS na VS • AZR na rezervní napájení 	Reg. TS, ochrany, rež. Automatiky AZR 110 kV, podpěťové vypínání	
		3	Postupy, opatření vedoucí k odvrácení rozvoje havarijních podmínek, či jejich zvládnutí prostřednictvím projektových prostředků (DBC)	<ul style="list-style-type: none"> • BS • SSB 	SZN 1,2,3,4,5
	4	Postupy, opatření vedoucí k odvrácení či zmírnění následků nadprojektových havárií (DEC)	4.1	• Postupy a opatření pro zvládnutí SBO PŘED Fukushima	Externí AAC
			4.2	• Postupy a opatření pro zvládnutí SBO PŘED Fukushima	Interní AAC
	5	Kombinované události (DEC)	5.1	• Postupy a opatření pro zvládnutí SBO PO Fukushimě	Superzáloha (mob./ stab.)
			5.2	• Opatření na podporu zmírnění následků SA	
6	Opatření na ochranu při radiační nehodě	Podpora havarijních řídicích středisek, ...	Výkonně činné složky při rad. neh.		

Součástí této práce je i řešení nadprojektových havárií JE, které souvisí se ztrátou napájení. Navíc je typově zaměřena na bloky s označením VVER 440, které jsou instalovány v Dukovanech. Princip hloubkové ochrany tak lze uvést právě na tomto projektu a to za situace, kdy dojde k SBO, charakterizovaném ztrátou všech pracovních, rezervních i nouzových střídavých zdrojů napájení bloku (např.: rozpad ES, nezregulování TG na VS, žádné napájení ani od jednoho ze tří DG na bloku). Jedná se tak o vysoce nadprojektovou a nepravděpodobnou situaci, ke které by došlo, pokud by selhaly následně uvedené úrovně ochrany do hloubky elektrického napájení:

- vnější pracovní zdroje – normální napájení z R 400 kV Slavětice,
- vnitřní pracovní zdroje – nezregulování ani jednoho z TG na VS,
- vnější rezervní zdroje – rezervní napájení z R 110 kV Slavětice,
- vnější rezervní zdroje – rezervní napájení z R 110 kV Sokolnice,
- vnější rezervní zdroje – rezervní napájení z R 110 kV Čebín,
- vnitřní rezervní zdroje – napájení VS ze sousedního bloku,

- trojice redundantních nouzových zdrojů střídavého napájení (SZN) na všech blocích EDU (celkově jde o 12 DG),
- diverzní vnější zdroj střídavého napájení – EDA přes vedení 110 kV,
- diverzní vnější zdroj střídavého napájení – EDA přes vedení 400 kV,
- diverzní vnější zdroj střídavého napájení vodní elektrárny Vranov přes vedení 110 kV.

Pod napětím tak zůstanou pouze spotřebiče napájené z kategorie I. a III/I. zajištěného napájení, které jsou napájeny ze staničních akumulátorových baterií s vybíjecí dobou viz. kapitola 3, Tab. 3-3.

2.4 Projektové a nadprojektové havárie

2.4.1 Definice pojmů

Projektové nehody:

Jedná se o takovou událost, při které dojde k odchýlení od normálního provozu JB, přičemž jsou v projektu provedena opatření, bránící dalšímu nežádoucímu rozvoji této události, který by vedl k překročení limitů a podmínek bezpečného provozu JE. Mluvíme tak o abnormálním provozu nebo havarijních podmínkách JE.

Při změně hodnot parametrů v rámci drobných nehod se uplatní odpovídající měřicí okruhy s cílem rozpoznat změnu a automatické regulátory, udržující parametry ve stanoveném pásmu. Pokud je třeba, jsou uvedeny v činnost i rezervní zařízení a to v situaci, kdy pracovní zařízení nestačí nebo je-li nehodou právě výpadek pracovního zařízení. Neudrží-li tyto prostředky JE v provozu (nehoda je příliš vážná či vlastní porucha), jsou uvedeny v činnost příslušné bezpečnostní systémy s cílem odstavit reaktor a jeho udržení v bezpečném stavu. Teprve po provedení nápravných opatření je možné reaktor opět uvést do provozu.

Zásah obsluhy je při některých projektových nehodách nezbytný! Proto je zapotřebí mít zpracované, snadno dosažitelné provozní předpisy, stanovující povinnosti a činnosti obsluhy při takovýchto situacích, stejně jako řádně proškolený personál s periodickým prověřováním jeho schopností.

Nadprojektové havárie:

Jedná se o událost, při které na JE dojde k závažnější kombinaci poruch systémů, než kterou projekt uvažoval v rámci projektových nehod. Příkladem takovéto havárie je SBO – „Station Blackout“, tedy ztráta pracovních, rezervních zdrojů elektrického napájení, stejně jako střídavých zdrojů zajištěného napájení pro bezpečnostní systémy. V rámci projektu je tak nezbytné navrhnout opatření a postupy s cílem omezit a zvládnout následky takovýchto nadprojektových havárií a obnovení normálních podmínek. V případě, ve kterém dojde k vážnému poškození aktivní zóny (roztavení paliva), jedná se o těžkou havárii, více viz. kapitola 2.4.2.

Těžká havárie:

Jedná se o závažnou událost, kterou je třeba se zabývat, protože v ní dochází k ohrožení integrity několika nebo všech bariér, bránících v úniku radioaktivních látek. Je tedy potřeba stanovit a uvažovat ty kombinace poruch, respektive těžkých havárií, pro které existuje rozumně realizovatelné opatření pro jejich prevenci nebo zmírnění jejich následků. Tyto opatření se

nezakládají na konzervativních řešeních pro projektové nehody jako spíš na realistických předpokladech nebo na best estimate předpokladech, metodách a analytických kritériích. Projektové činnosti zaměřené na těžké havárie by tak měly vzít na základě provozních zkušeností, bezpečnostních rozborů a výsledků výzkumu v úvahu následující:

- K těžkým haváriím vedoucí sekvence událostí musí být identifikovány na základě kombinace pravděpodobnosti, deterministických metod a inženýrského úsudku.
- Sekvence událostí je nutné posoudit a vyhodnotit souborem kritérií, aby mohlo být rozhodnuto, kterými těžkými haváriemi je potřeba se zabývat.
- Rozumně realizovatelné změny projektu či postupů, vedoucí ke snížení pravděpodobnosti těchto vybraných událostí nebo zmírnění jejich následků musí být posouzeny a založeny do projektu.
- Nutné je zvážit možnosti celého projektu, stejně jako možného využití některých systémů (bezpečnostních, nedůležitých z hlediska bezpečnosti) nad jejich původně určené funkce. Cílem je s využitím takovýchto systémů dosáhnout kontrolovaného stavu JE nebo zmírnit následky těžké havárie. U těchto systémů je ale potřeba prokázat, že jsou schopny své funkce za podmínek, které lze za dané těžké havárie předpokládat.
- U JE s více bloky uvažujeme podporu z ostatních bloků, přičemž bezpečný provoz ostatních bloků není zpochybněn.
- Ustanovení předpisů pro řízení havárie s uvážením reprezentativních a dominantních scénářů těchto situací je nezbytné.

2.4.2 Nadprojektové havárie

V předchozí podkapitole jsme uvedli krátkou definici nadprojektové havárie. Ve vztahu k událostem ve Fukushima se ale pojďme podívat na požadavky, které klade SÚJB v novelizaci vyhlášky 195/1999 Sb. na bezpečnostní cíle, principy a požadavky při nadprojektových haváriích na jaderná zařízení s reaktory o větším výkonu než 50 MWt.

V rámci hodnocení bezpečnosti by tak s využitím pravděpodobnostních a deterministických metod měly být vybrány ty nejvýznamnější nadprojektové události, u kterých by se měla provést bezpečnostní analýza, na jejímž základě budou stanoveny odpovídající preventivní opatření nebo opatření (technická či organizační), která povedou k jejich zmírnění. Při analýze tak můžeme stanovit méně konzervativní kritéria přijatelnosti stejně jako užití realistických předpokladů analýzy (best estimate přístup). Průběhy a radiační důsledky těžkých havárií je nutné vyhodnotit a to z důvodu prakticky nevyločených podmínek:

- Pro prevenci vzniku a rozvoje havárie stejně jako pro její řízení a zmírnění následků je třeba identifikovat prakticky proveditelná opatření.
- Podklad pro vznik návodů, sloužících ke zvládnutí havárií a výcviku obsluhy zařízení.
- Podklad pro vznik plánů na ochranu obsluhy a obyvatelstva stejně jako zavedení zmírňujících opatření s cílem omezit dopady radioaktivního úniku, který by ohrožoval obyvatelstvo, obsluhu a životní prostředí.

Při projektování tlakového a chladicího okruhu reaktoru musí projekt obsahovat technické prostředky a organizační opatření, které by obsluze při havarijních podmínkách těžkých havárií umožnily předejít rozvoji tavení AZ za vysokého tlaku v chladicím okruhu reaktoru.

Stejně je tomu i u systému ochranné obálky, při jehož projektování musí být určeny jak teplotní tak i tlakové limity a těsnost celého systému, které stanoví integritu a funkčnost celého systému a tedy i zajištěné ochranných funkcí. Projektem stanovené podmínky pak musí garantovat nepřekročení výše zmíněných limitů:

- V průběhu projektových nehod po dostatečně dlouhou dobu než dojde k dosažení bezpečného a stabilizovaného stavu.
- V průběhu těžkých havárií a to minimálně po dobu než dojde k realizaci ochranných opatření podle předpisu.

Ztráta bezpečnostní funkce u ochranné obálky musí být prakticky vyloučena a pro zajištění její celistvosti a funkčnosti při nadprojektových nehodách včetně těžkých havárií musí být stanoveny postupy, zajištěny technické prostředky, organizační opatření, které by omezily důsledky možného přetlakování ochranné obálky stejně jako i přehřátí, narušení integrity taveninou, úniku RA látek.

2.5 Požadavky na řízení havárií

Tyto požadavky jsou shrnuty v Návodu SÚJB – Požadavky na zavedení provozních předpisů typu EOP a SAMG, kde jsou specifikovány požadavky na program zvládnutí havárií. Jsou zde obsaženy i provozní předpisy pro zvládnutí projektových i nadprojektových havárií jako i těžkých havárií, kterými se v dané situaci řídí personál. Příprava takového předpisu či návodu musí probíhat v takovéto posloupnosti:

- Identifikovat zranitelná místa JE, ve kterých lze předpokládat ohrožení kritických bezpečnostních funkcí a úniku štěpných produktů při poruše integrity, způsobené havárií.
- Identifikovat potenciál celé JE (zařízení i personálu) v zamezení ohrožení kritických bezpečnostních funkcí a bariér a možného úniku štěpných produktů stejně jako i možného zmírnění tohoto ohrožení.
- Vytvoření strategie a opatření pro zvládnutí havárií.
- Vytvoření předpisů a návodů pro zvládnutí havárií.

Výše zmíněné návody musí být do detailu propracovány, aby uvažovala i specifická ohrožení, která vyvstávají s odstavenými reaktory jako i dlouhodobými odstávkami (otevřené průchody do kontejnmentu). Primárně musí být návody zaměřeny na bezpečnost personálu, a protože v průběhu odstávky dochází ke generální údržbě (výměna paliva, atd.), musí návody obsahovat i situace, kdy dojde k poškození ozářeného jaderného paliva jak v reaktorové nádobě, tak i v bazénu vyhořelého paliva.

Tyto návody jsou tak nedílnou součástí havarijního opatření na každé JE a SÚJB nepovolí provoz takového zařízení, které tyto požadavky nesplňuje.

3 ELEKTRICKÉ SYSTÉMY V JADERNÉ ELEKTRÁRNĚ

V této kapitole budeme popisovat elektrické schéma JB – VVER 440, respektive HVB, který zahrnuje dva reaktory. Pro reálný příklad naší republiky a řešeného zadání použijeme JE Dukovany (dále EDU), pro kterou budou také v pozdějších kapitolách navržena příslušná opatření.

Tato kapitola vychází z literatury [1], [3], [4] a [5].

3.1 Definice pojmů pro elektrické systémy JE

S ohledem na použitá zařízení, systémy, konstrukce v JE, která zahrnují jednak systémy splňující požadavky na zajištění jaderné bezpečnosti a pak i systémy sloužící k vlastnímu technologickému procesu, tedy výrobě elektrické energie, dělíme systémy podle zajištění jaderné bezpečnosti na:

- Důležité systémy z hlediska jaderné bezpečnosti (plní bezpečnostní funkci), a podle významu pro jadernou bezpečnost se dělí na:
 - Bezpečnostní systémy (dále BS),
 - Systémy související s bezpečností (dále SSB).
- Nedůležité systémy z hlediska jaderné bezpečnosti (neplní žádnou bezpečnostní funkci).

Systémy v JE lze s ohledem na potřebné zdroje energie rozdělit na aktivní a pasivní přičemž je nutno respektovat, že pokud je vyžadována v rámci bezpečnostní funkce funkceschopnost zařízení, je nutná i funkceschopnost systémů zajišťujících podpůrné funkce pro tento systém, zařízení (elektrická energie, mazání, chlazení, atd.). Podpůrné systémy jsou tak na stejné úrovni požadavků jako výkonné systémy, přičemž toto platí u bezpečnostních systémů. U systémů souvisejících s bezpečností jsou výjimkou případy, kdy plnění bezpečnostní funkce výkonných systémů toto vyžaduje.

1. Bezpečnostní systémy (*safety systems*) - BS

Jedná se o systémy zahrnující:

- Důležité řídicí a ochranné systémy (měřicí a monitorovací vybavení bezpečnostně důležitých proměnných veličin či stavů jaderného bloku pro automatické spouštění odpovídajících systémů, jejichž cílem je zajištění a udržení bezpečného stavu jaderného bloku).
- Výkonné (akční) bezpečnostní systémy (vykonávají příslušné bezpečnostní funkce na popud ochranných nebo řídicích systémů) či konstrukce.
- Podpůrné systémy (zajištění ochranných a výkonných systémů – elektrické napájení, chlazení, atd.).

Tyto systémy jsou napájeny ze sítí I. a II. kategorie SZN 1,2,3. Kromě spotřebičů zajišťujících bezpečnostní funkci jsou v této kategorii i spotřebiče, které bezpečnostní funkci nezajišťují. Ty jsou napájeny ze sítě III. kategorie. Příkladem necht' je ohřívák zásoby roztoku kyseliny borité, napouštěcí a vypouštěcí ventily žlabů barbotérů, armatury pro měření a odběry vzorků, atd. Spotřebiče BS plnící bezpečnostní funkci

jsou ale napájeny pouze a jenom ze SZN 1,2,3 a kategorií zajištěného napájení I. a II.

2. Systémy související s bezpečností (*safety related systems*) – SSB

Jedná se o systémy zahrnující:

- S jadernou bezpečností související ochranné či řídicí systémy (bezpečnostní funkce ve vazbě na výkonném či podpůrném systému).
- Výkonné (akční) systémy a konstrukce.
- Podpůrné systémy (elektrické napájení, chlazení, atd.).

SSB pod označením S01 (důležité ochranné a řídicí systémy) jsou napájeny ze sítě III/I. kategorií SZN 4,5, případně i kategorií I. a SZN 1,2,3. Zbylé SSB jsou napojeny na síť kategorie II. (SZN 1,2,3) a III. přičemž způsob rozdělení je plně závislý na požadavcích na funkceschopnost daného systému. Například z III. kategorie je napájena vzduchotechnika na BD a ND (zařazení do SSB).

3. Systémy nedůležité pro bezpečnost – SNB

Tyto systémy neplní žádnou bezpečnostní funkci.

Spotřebiče můžeme dělit podle důležitosti, přičemž slovem „důležitý“ lze označit pouze spotřebiče v kategorii BS a SSB, nikoli však SNB. Důležitost u takovýchto systémů má dva faktory. Prvním faktorem je časový, tedy doba výpadku napájení a druhým je funkce systému, viz. výše uvedené dělení.

1. *D11, BS* – v rámci BS plní důležité spotřebiče bezpečnostní funkce a jsou na ně tak kladeny zvýšené požadavky na spolehlivost napájení s nepřerušovanou dobou napájení ve všech režimech, tedy i úplné ztráty pracovních a rezervních zdrojů VS, delší než zlomky sekundy.
2. *D11, SSB* – v rámci SSB plní důležité spotřebiče bezpečnostní funkce a jsou na ně tak kladeny zvýšené požadavky na spolehlivost napájení s nepřerušovanou dobou napájení ve všech režimech, tedy i úplné ztráty pracovních a rezervních zdrojů VS, delší než zlomky sekundy.
3. *D11, SNB* – v rámci SNB plní nedůležité spotřebiče funkci zajištění bezpečnosti osob a drahých zařízení a jsou na ně tak kladeny zvýšené požadavky na spolehlivost napájení s nepřerušovanou dobou napájení ve všech režimech, tedy i úplné ztráty pracovních a rezervních zdrojů VS, delší než zlomky sekundy. Do této skupiny patří ještě některé spotřebiče RRCS.
4. *D12, BS* – v rámci BS plní důležité spotřebiče bezpečnostní funkce a jsou na ně tak kladeny zvýšené požadavky na spolehlivost napájení s nepřerušovanou dobou napájení ve všech režimech, tedy i úplné ztráty pracovních a rezervních zdrojů VS, nepřevyšující dobu určenou podmínkami bezpečnosti (desítky sekund až několik minut).
5. *D12, SSB* – v rámci SSB plní důležité spotřebiče bezpečnostní funkce a jsou na ně tak kladeny zvýšené požadavky na spolehlivost napájení s nepřerušovanou dobou napájení ve všech režimech, tedy i úplné ztráty pracovních a rezervních zdrojů VS,

nepřevyšující dobu určenou podmínkami bezpečnosti (desítky sekund až několik minut).

6. *D12, SNB* – v rámci SNB plní nedůležité spotřebiče funkci zajištění bezpečnosti osob a drahých zařízení a jsou na ně tak kladeny zvýšené požadavky na spolehlivost napájení s nepřerušovanou dobou napájení ve všech režimech, tedy i úplné ztráty pracovních a rezervních zdrojů VS, nepřevyšující dobu od desítek sekund až do několika minut.
7. *D1* – pohony účastníci se technologického procesu v elektrárně, přičemž přerušení napájení tohoto pohonu má za následek snížení výkonu bloku, ne-li jeho úplné odstavení. Tyto pohony ale nemusí pracovat při havarijním odstavení nebo dochlazování reaktoru. Maximální přípustná doba přerušení el. napájení takového pohonu je dána automatickým zapnutím rezervního zdroje.
8. *D2* – pohony podílející se na technologickém procesu elektrárny s maximální dobrou přerušení napájení odpovídající ručnímu zapínání rezervního zdroje, tedy cca 15 minut.
9. *N* – nedůležité pohony, u nichž přerušení napájení nemá za následek výpadek ani snížení výkonu bloku. Stejně tak se tyto pohony neúčastní havarijního odstavení a dochlazování.

Tab. 3-1 Klasifikace zdrojů, sítí a SZN VS [4]:

Spotřebiče o důležitosti	Kategorie (zajištěného) napájení sítě SZN	Zdroj napájení	Napěťové soustavy
D11	I SZN 1,2,3,4,5.	<ul style="list-style-type: none"> • Pracovní • Rezervní • Nouzové (akubaterie, ANN, DG) 	220 V DC, 220/380 V AC ¹ 24 V, 48 V DC
D12	II. SZN1,2,3	<ul style="list-style-type: none"> • Pracovní • Rezervní • Nouzové (DG) 	220/380 V AC ¹ 6 kV AC
D1	III.	<ul style="list-style-type: none"> • Pracovní • Rezervní (AZR) 	220/380 V AC ¹ 6 kV AC
D2	III.	<ul style="list-style-type: none"> • Pracovní • Rezervní 	220/380 V AC ¹ 6 kV AC
N	III.	<ul style="list-style-type: none"> • Pracovní 	220/380 V AC ¹ 6 kV AC

¹ Pro EDU je specifická stará soustava s původními zdroji 220/380 V, nyní je 230/400 V.

3.2 Zapojení do sítě

Vyvedení výkonu JB EDU je provedeno pomocí vedení 400 kV. Rozvoj přenosové soustavy (dále PS) České republiky se řídí provozně technickými standardy shrnutými do Pravidel provozování PS (tzv. Kodex PS) a je tedy nutné dodržet kritérium (N-1), čili schopnosti stabilního provozu sítě navzdory vypadnutí, nefunkčnosti, opravy jednoho prvku sítě. Pro rozvodny a vedení PS, které zajišťují vazbu JE s PS, platí obecně přísnější kritéria, kdy výkon JE musí být bezpečně a stabilně vyveden při jednoduchém výpadku dvou prvků, tj. v zásadě kritérium (N-2). Zapojení EDU do sítě je znázorněno na schématu v **Příloze A**.

3.2.1 Vyvedení výkonu EDU na úrovni 400 kV

EDU má vyveden svůj výkon do rozvodny 400 kV Slavětice, do které je taktéž vyveden výkon PVE Dalešice (EDA) s výkonem 4 x 102 MW. Rozvodna, vybavená dvěma transformátory 400/110 kV, 250 MVA, zajišťuje jednak zásobování části jihomoravského regionu a současně je i jedním ze zdrojů rezervního napájení vlastní spotřeby (RNVS) pro EDU. Druhým takovýmto RNVS EDU je 110 kV rozvodna Sokolnice a Čebín. Výkony JB EDU jsou do rozvodny Slavětice vyvedeny samostatnými vývody 400 kV, přičemž v rozvodně Slavětice jsou zapojeny dvěma paralelními vypínači, každý na jeden systém přípojnic. V případě výpadku jedné sekce přípojnic by neměl být provoz bloku omezen, pokud je zachována jeho stabilita. Toto vyvedení výkonu navíc splňuje výše uvedené kritérium (N-2), tedy dojde-li k současnému výpadku dvou libovolných přenosových vedení 400 kV z RZSLA do PS při plném nasazení čtyř reaktorových bloků EDU, zbylá vedení nebudou přetížena. Blízkost EDA navíc dovoluje výpomoc této elektrárny a lze tím tak měnit zatížení vedení podle příslušného provozu EDA (turbínový nebo čerpadlový provoz).

Samotné vyvedení výkonu JB na straně EDU je provedeno blokově. Výkon z dvojice generátorů o výkonu 300 MVA, 255 MW jde přes dva blokové transformátory 300 MVA, 420/15,75 kV samostatnou jednoduchou blokovou linkou 400 kV do rozvodny Slavětice. Blokovanými vypínači jsou vypínače v rozvodně 400 kV Slavětice, generátorové vypínače jsou pak instalovány mezi alternátory 300 MVA a odbočkami pro napájení vlastní spotřeby JB. Úseky od alternátorů k blokovým transformátorům a odbočky pro vlastní spotřebu, jsou provedeny zapouzdřenými vodiči s cílem minimalizovat možnost vzniku svorkových mezifázových zkratů stejně jako kompenzace vyzařování magnetického pole. Uzel generátoru je uzemněn přes transformátor napětí o velké impedanci, čímž jsou eliminovány jednofázové zkraty.

3.2.2 RNVS EDU z vnější sítě 110 kV

V případě výpadku pracovního napájení vlastní spotřeby (PNVS) je vlastní spotřeba HVBI napájena z napěťové úrovně 110 kV, k čemuž slouží rozvodna 110 kV v areálu EDU. Ta je na jedné straně spojena s napěťovou úrovní 110 kV v rozvodně Slavětice nebo Sokolnice/Oslavany a na druhé straně končí dvojicí rezervních transformátorů vlastní spotřeby s označením 0AU01 a 0AU02. Tyto transformátory s převodem 110/6,3 kV a jmenovitým výkonem 40 MVA slouží pro zajištění rezervního napájení v blokových rozvodnách 6 kV a rozvodnách 6 kV zajištěného napájení. Tato dvojice transformátorů je společná pro reaktorový dvojblok, přičemž každý transformátor je s rozvodnou sítí propojen jednou linkou s možností AZR na linky sousedního transformátoru. Tento systém splňuje kritérium (N-1).

3.2.3 Ostrovní provoz

V každé ES se mohou vyskytnout systémové poruchy, které vznikají ať už na základě těžkých zkratů, nesprávné manipulace či jiných příčin a úkolem je se s těmito stavy vyrovnat. S tím je i spojena požadovaná odolnost elektráren proti takovýmto poruchám. Samotné elektrárny musí zajistit, aby nezpůsobovaly takovéto poruchy a pokud již porucha vznikne, tak musí přispět k omezení jejich dalšího šíření. Dále je nutné, aby elektrárna byla odolná při přechodových jevech, které doprovází vznik poruchy a aby byla odolná vůči provozu s nenominálními parametry (velké odchylky U a f), což je typický ustálený stav po těžké systémové poruše, doprovázený rozpadem soustavy.

U klíčových elektráren se tak provádějí analýzy chování a činnosti ochranných zařízení při těžkých zkratech v blízkosti výroby, spojených s odpojením postižených zařízení. Účinnosti ochranných automatů jsou tak ověřeny na modelu ES. Pro EDU je například v rozvodně Slavětice nainstalována rozpadová automatika, která má za úkol zabránit narušení dynamické stability EDU. Rozpad soustavy na ostrovní oblasti doprovází jevy, které je třeba rozlišit podle časové vzdálenosti od vzniku poruchy na:

1. *Pro první časovou fázi – od vzniku poruchy do relativně ustáleného chodu* – lze ji charakterizovat rychlými a výraznými změnami všech parametrů bloků, tedy technologie i turbosoustrojí. Při práci bloku v ostrovním provozu je jeho správné chování podmíněno co nejrychlejším odpojením výkonové regulace turbíny (primární a sekundární regulace) stejně jako přepnutí regulace turbíny na otáčkovou regulaci proporcionálního charakteru (u jaderných elektráren je situace o něco komplikovanější, protože do ostrovní regulace promlouvá i primár JE).
2. *Pro druhou časovou fázi – ustálený chod až do likvidace ostrova* - důležitá je výkonová bilance v rámci ostrova, tedy poměr mezi výkonem zdrojů a spotřebou.
 - Je-li výkon zdrojů v rámci ostrova větší než spotřeba, proporcionální otáčková regulace zajistí rovnováhu mezi zdroji a spotřebou. Frekvence se po odeznění přechodového jevu ustálí na hodnotě vyšší, než byla před poruchou.
 - Je-li spotřeba větší než výkon zdrojů a samoregulační efekt spotřeby je malý, nedojde k ustálení frekvence. Proporcionální otáčkovou regulací turbín dojde při určité frekvenci k maximálnímu zatížení strojů, ale frekvence bude nadále klesat. Pro stabilizaci bilance výkonů musí dojít k odpojení části zátěže prostřednictvím odlehčovacích frekvenčních relé instalovaných v PS, které jsou nastaveny v souladu s frekvenčním plánem PS na určité hodnoty frekvence s časovým zpožděním. Pokud tato relé správně fungují, dojde k ustálení frekvence na hodnotě menší než 50 Hz, pokud nefungují správně, bude frekvence nadále klesat, až dojde na reakci frekvenčního relé ve výrobně, které odpojí výrobní blok od sítě.

Úspěšným vstupem do ostrovního provozu je tak překonání úvodní fáze, tedy přechodového procesu a ustálení výkonové bilance. V našem případě se jedná o oblast kolem EDU a EDA, která disponuje značným výkonem ve zdrojové části, konkrétně v RZSLA se může výkon pohybovat v intervalu 1275 MW až 2120 MW. Pro vyrovnanou bilanci je tak potřeba řídit spotřebu i výrobu ostrova. Vznik ostrovního provozu části PS je přitom detekován frekvenčně a nikoli topologicky. Výjimkou je nejmenší reálný ostrov, kdy lze počítat pouze s VS dané výroby, v tomto případě Dukovan. Můžeme tak hovořit o dvou typech ostrova:

1. *Zátěž ostrova daná spotřebou v uzlu Slavětice* – zátěž v tomto hlavním uzlu s přílehlými rozvodnami je prakticky nesrovnatelná se zdrojovou částí. Pravděpodobnost výskytu takového ostrova je velmi malá s ohledem na fakt nutnosti vypnutí pěti vedení. Malé ostrovy s dominancí EDU by tak měly výraznou kladnou výkonovou bilanci, ale případné vypnutí EDU by naopak způsobilo rozpad takového ostrova (velký deficit zdrojů).
2. *Ostrov zahrnující větší část ES* – ostrov by byl tvořen více centry výroby, přičemž posoudit pravděpodobnost výskytu exaktního ostrova je s ohledem na velké množství kombinací obtížné. V takovém to ostrově se už budou uplatňovat obě varianty výkonové bilance. Pokud je spotřeba větší než výroba, dojde k již výše diskutovanému poklesu frekvence a následnému frekvenčnímu odlehčení zátěží s obnovením bilanční rovnováhy. Dojde-li k příliš velkému odlehčení, dojde k převrácení výkonové bilance a přiblížíme se již diskutovanému stavu, s tím rozdílem, že výkonové rozdíly budou daleko menší.

Ukončení ostrovního provozu může proběhnout, pokud došlo již k odstranění poruchy v ES, která tuto mimořádnou situaci způsobila. Ostrovní soustava je tak připojena k synchronně pracujícímu nadřazenému celku. K tomuto připojení dojde v rozpadové rozvodné stanici, tedy v místě, kde k rozpadu sítě a vytvoření ostrovního soustavy došlo. Musí tak dojít ke zřazování soustav za spolupráce dispečinku a obsluhy EDU, v průběhu kterého obsluha EDU reguluje kmitočety ostrova na podmínky splňující přifázování. Postup při manipulaci se řídí pravidlem paralelní spolupráce několika P-regulátorů. Ti si rozdělují zátěž ostrova podle svých charakteristik a postup je tak následující:

- výběr referenčního bloku (blok, jehož obsluha mění výkon podle pokynů dispečinku),
- postupná manipulace pro dosažení fázovacích podmínek,
- kontrola odezev ostatních paralelně pracujících bloků,
- fázování ostrova.

3.3 Hlubková ochrana a funkce jednotlivých úrovní DID

Schémata k této kapitole, elektrická a ideová, týkající se EDU, jsou v **Příloze B**, případně **Příloze C** této práce.

3.3.1 Funkčnost elektrického schéma v úrovni DID 1

Na základě dělení úrovní viz. Tab. 2-1 spadá pod první úroveň hloubkové ochrany předcházení odchylkám od normálního provozu. Na takovéto situace reaguje jak daný blok tak i vnější síť svými regulačními schopnostmi. Pod schopnostmi regulace u bloku si můžeme představit ANT, regulaci TG, stejně jako ochrany a režimové automatiky. Na typické události spadající do této úrovně tak reaguje blok a turbosoustrojí svými regulačními schopnostmi a regulací odboček transformátorů. Pokud tak v síti například dojde k odchylkám od U , f či dokonce rozpadu sítě a přechodu do ostrovního provozu, dochází ke ztrátě spojení se sítí a bloky můžou přejít až na zregulování výkonu turbosoustrojí na VS, přičemž hlavním cílem je udržení stability bloku a zajištění napájení VS. Na poruchy, kterými jsou zkraty či jiná omezení pak reagují ochrany a režimové automatiky.

Pracovním zdrojem je dvojice odbočkových trojvinitých transformátorů, kterými každý z bloků pro napájení vlastní spotřeby disponuje. Transformátory mají převod 15,75/6,3/6,3 kV a výkon 32/16/16 MVA (dále ANT s označením 1BT01, 1BT02), přičemž každý z těchto transformátorů je připojen do odbočky jednoho z alternátorů 300 MVA. V úseku mezi generátorovými vypínači a blokovými transformátory jsou ze zapouzdřených vývodů alternátoru vyvedeny samostatné odbočky k těmto transformátorům. Tyto trojvinité transformátory mohou VS napájet jednak z příslušného alternátoru nebo druhého alternátoru, či RZSLA přes vedení 400 kV. Z každého vinutí na napěťové úrovni 6,3 kV je pak napájena jedna bloková rozvodna vlastní spotřeby s označením 1BA, 1BB, 1BC, 1BD. Toto výhodné zapojení odbočkových transformátorů umožňuje spolehlivé napájení VS v provozním režimu bloku, stejně jako i při odstaveném bloku, spouštění bloku, abnormálních režimech a havarijních podmínkách na bloku, přičemž v takovémto případě je VS napájena přes vedení 400 kV z RZSLA.

3.3.2 Funkčnost elektrického schéma v úrovni DID 2

Pokud nedokážou reakční prostředky v úrovni DID 1 stabilizovat blok, dochází k přechodu na další úroveň. V případě výpadku všech vedení 400 kV tak dojde například k regulaci TG na VS. Pokud se ale na vedení 400 kV jedná o blízký zkrat, který díky zapojení výkonových a generátorových vypínačů nelze jednoduše odpojit, nelze zregulovat TG na VS a tím se blok dostává na napájení z rezervních zdrojů VS. Úskalím přechodu na vnější rezervní síť je ale fakt oslabené vnější sítě předchozí poruchou (výpadek vedení 400 kV, atd.). Pokud by vnější síť nebyla použitelná, budou reagovat režimové automatiky a přejde se na další úroveň a možnost. O rezervních zdrojích jsme hovořili již v kapitole 3.2.2., přesto zopakujeme, že se jedná o dvojici říditelných transformátorů s převodem 110/6,3 kV a výkonu 40 MVA pro každý reaktorový dvojblok. Tyto transformátory jsou pak napájeny z rozvodny 110 kV příslušného HVB v areálu EDU. Každá takováto rozvodna, příslušného HVB je pak propojena dvojicí vedení 110 kV s vnější sítí a to konkrétně do rozvoden Slavětice a Sokolnice. Z vinutí nižších napětí rezervních transformátorů jsou pak napájeny rozvodny rezervního napájení 6 kV, ze kterých jsou dále napájeny rezervní přípojnice a z těch následně rezervní přívody rozvoden 6 kV již výše diskutovaných 1BA, 1BB, 1BC, 1BD. V případě ztráty pracovního napájení jsou blokové rozvodny přepínány na rezervní napájení automatickým záskokem. Díky rozvodnám rezervního napájení lze v případě potřeby na tyto rozvodny připojit podélné přípojnice 6 kV (magistrála rezervních přípojníc) a následně rozvodny rezervního napájení sousedního bloku (v rámci reaktorového dvojbloku), což umožňuje vzájemné zálohování zdrojů RNVS obou JB. K využití těchto rezervních zdrojů napájení VS dochází při ztrátě pracovního napájení blokových rozvoden 6 kV, ať už se jedná o úplnou ztrátu napájení nebo dílčí výpadek. Na úrovni 0,38 kV je ještě nainstalován rezervní transformátor 6/0,4 kV s cílem zálohovat napájení jednotlivých úsekových rozvaděčů či jejich skupin. Tento transformátor daného JB je napájen z druhého RB.

K vedení 110 kV do transformovny 110/6,3 kV je třeba ještě dodat, že na HVB je jedno vedení taženo z rozvodny Slavětice a druhé ze Sokolnic/Oslavany. Díky blízkosti RZSLA je možné přes toto vedení zásobovat VS celého HVB, ze Sokolnic/Oslavan už je ale možné zásobovat VS jen jednoho RB (důvodem je velká délka vedení, která omezuje proces úspěšného samonajetí po AZR).

3.3.3 Funkčnost elektrického schématu v úrovni DID 3

V projektu JE je počítáno jak se ztrátou pracovního tak i rezervního napájení VS, tedy s neúspěchem v předchozích úrovních hloubkové ochrany a následným přechodem do další úrovně. Aby bylo zajištěno autonomní elektrické napájení systémů důležitých pro bezpečnost, obsahuje každý HVB ještě nouzové zdroje a SZN, které jsou nezávislé na provozuschopnosti pracovních a rezervních zdrojů ani na stavu ES. Tyto zdroje jsou chráněny před vnějšími (počasí, poruchy v technologii) i vnitřními vlivy. Takovými nouzovými zdroji, obsaženými v každém SZN jsou automaticky rychle startující dieselgenerátory, staniční akumulátorové baterie a agregáty nepřerušeno napájení (ANN – usměrňovače a střídače).

- *SZN 1,2,3* – v koncepci tří redundantních, nezávislých divizí bezpečnostních systémů na každý RB, tedy 3 x 100%, se uvažují dva přístupy této vysoké redundantnosti. První pohled je takový, že se uvažuje s jedním systémem v daný okamžik v opravě, na druhém je jednoduchá porucha a třetí systém musí splnit požadované bezpečnostní funkce. Druhý pohled počítá s prvním systémem v opravě, s druhým neúčinně pracujícím (pumpování vody do roztrženého potrubí) a třetím, který splní požadované BF. Každý takový SZN, sloužící jako podpora bezpečnostních systémů pro ostatní BS své divize, je schopen sám o sobě zvládnout situaci a pokrýt VS HVB. Obsahem takového systému je, jak již bylo výše napsáno, vlastní DG ($U_n = 6,3 \text{ kV}$, $P_n = 2,8 \text{ MW}$, $S_n = 3,5 \text{ MVA}$ - pro napájení sítě II. kategorie zajištěného napájení) a vlastní nouzový zdroj sítě I. kategorie (staniční akumulátorové baterie – $U = 220 \text{ V}$, $Q = 1500 \text{ Ah}$, a $U = 48 \text{ V}$, $C = 2 \times 243 \text{ Ah}$, stejně jako ANN, přičemž baterie 48 V slouží pro napájení SKŘ). Pro úplnou nezávislost jsou jednotlivé systémy odděleny jak dispozičně (stavebně, požárně) tak i elektricky a z pohledu řídicích systémů. Pro zajišťování požadovaných bezpečnostních funkcí je tak nezbytná funkceschopnost zdrojů sítě I. a II. kategorie.
- *SZN 4* – tento systém slouží pro zajištění napájení systémů souvisejících s jadernou bezpečností (SSB) a systémů nedůležitých z hlediska jaderné bezpečnosti (SNB), které ale zajišťují obecnou bezpečnost osob a drahých zařízení. Systém SZN 4 je tak podpůrným SSB. Na rozdíl od SZN 1,2,3 je tento systém založen na principu 200% redundance (100% + 100%) a tyto subsystémy nesou označení SZN 4.1 a 4.2. Nouzovými zdroji takového subsystému jsou pak staniční akubaterie ($Q = 2000 \text{ Ah}$, $U = 220 \text{ V}$), dále ANN a DG SZN 1 (respektive SZN 2).
- *SZN 5* – systém, klasifikovaný jako SSB slouží k překlenutí krátkodobých přechodných dějů v ES a v síti III. kategorie VS, spojených s poklesy napětí, vedoucími k nadbytečnému pádu kazet do reaktoru. Pro úplnost práce zde tento systém uvádíme, ale dále se jím nebudeme zabývat a není obsažen ani v nákresech řešící zadání práce.

Podrobnější přiřazení zdrojů, SZN a napěťových hladin pro již výše definované spotřebiče příslušné důležitosti najdeme v Tab. 3-2, přičemž kategorie zajištěného napájení III/I. a III/II. slouží pro napájení spotřebičů z kategorií SSB a SNB ze SZN 4 a SZN 5.

Tab. 3-2 Klasifikace spotřebičů s příslušnými kategoriemi napájení, SZN a zdroji [4]:

Spotřebiče o důležitosti	Kategorie (zajištěného) napájení sítě SZN	Zdroj napájení	Napěťové soustavy
D11, BS	I. SZN 1,2,3	<ul style="list-style-type: none"> • Pracovní • Rezervní • Nouzové (akubaterie, ANN, DG) 	220 V DC, 220/380 V AC ¹ 24 V, 48 V DC
D12, BS	II. SZN 1,2,3	<ul style="list-style-type: none"> • Pracovní • Rezervní • Nouzové (DG) 	220/380 V AC ¹ 230/400 V AC 6 kV AC
D11, SSB D11, SNB D11, RRCS	III/I. SZN 4, 5	<ul style="list-style-type: none"> • Pracovní • Rezervní • Nouzové (akubaterie, ANN, DG) 	220 V DC, 220/380 V AC ¹
D12, SSB D12, SNB	III/II. SZN 4	<ul style="list-style-type: none"> • Pracovní • Rezervní • Nouzové (DG) 	220 V AC 6 kV AC
D1	III.	<ul style="list-style-type: none"> • Pracovní • Rezervní 	220/380 V AC ¹ 6 kV AC
D2	III.	<ul style="list-style-type: none"> • Pracovní • Rezervní 	220/380 V AC ¹ 6 kV AC
N	III.	<ul style="list-style-type: none"> • Pracovní 	220/380 V AC ¹ 6 kV AC

¹ Pro EDU je specifická stará soustava s původními zdroji 220/380 V, nyní je 230/400 V.

3.3.4 Funkčnost elektrického schématu v úrovni DID 4

Pro odlišení hloubkové ochrany a jejího vývoje v období PŘED Fukushima a PO ní je důvodem, proč je v této práci, oproti dokumentům MAAE, rozdělena hloubková ochrana jinak. Úroveň DID 4 se tak zabývá nadprojektovými haváriemi z období PŘED Fukushima. Definice SBO v tomto období je v následující kapitole 4.

V této úrovni hloubkové ochrany je VS napájena ze staničních akubaterií, dokud nedojde k získání energie z jiného zdroje nebo jejich úplnému vyčerpání. Možností jak prodloužit dobu napájení přístrojů ze staničních akubaterií je ruční odpojování nepotřebných spotřebičů a tedy snižování zátěže. Stejně tak je v této úrovni VS napájena z interních zdrojů AAC (DGS) pokud není umožněno napájení VS z externích AAC přes systémy PNVS či RNVS (úroveň 4.1). Pokud dojde k SBO v rámci jednoho bloku (úroveň 4.2), lze VS zásobovat energií ze SZN sousedního bloku v rámci HVB. Propojkou mezi bloky a ruční manipulací s vypínači 6 kV a DG lze přejít právě na AAC sousedního bloku.

V případě že tak dojde ke ztrátě jak pracovních, rezervních tak i projektových nouzových zdrojů napájení VS, přichází na řadu právě AAC, přičemž externím zdrojem je pro případ Dukovan myšleno například přivedení energie z PVE Dalešice. Pokud ovšem síť 400 kV ani 110 kV nejsou schopny do Dukovan tuto energii dopravit, přichází na řadu interní AAC. Tento pojem zahrnuje jakýkoliv funkceschopný DG v rámci nejenom HVBI ale i sousedního HVB a přivedením energie na příslušný RB přes magistrálu rezervních přípojníc.

Situace, které jsou popsány výše a obecně situace, se kterými není v projektu počítáno, musí být předvídatelně nepředvídatelné (nadprojektové), které bude obsluha řešit podle symptomaticky orientovaných předpisů. Musíme mít tedy připraveny principy, zásady, postupy, které na základě analýzy situace využijeme.

3.3.5 Funkčnost elektrického schématu v úrovni DID 5

Úroveň DID 5, odpovídající vývoji situace PO událostech ve Fukushima, odpovídá výrazně tvrdším podmínkám než u předchozí hladiny. Pokud na HVB nastane situace, které odpovídá úrovni DID 5, tedy ztrátě všech zdrojů střídavého napájení na celém HVB, vyvolaná nebo spojená ještě s možnou další událostí (př.: seizmicita, záplavy, vítr, ... více viz. kapitola 4.), jsou systémy z I. a III/I. kategorie zajištěného napájení zásobovány energií ze staničních akubaterií po dobu než dojde k podání napětí z jiného zdroje nebo k jejich plnému vyčerpání. Postupuje se tak stejně jako u úrovně DID 4. Pokud využijeme možnosti ruční manipulace a odpojování nepotřebných zátěží, můžeme dobu, po kterou budou staniční akubaterie schopny zásobovat důležité spotřebiče výrazně prodloužit, viz. Tab. 4-1. Do doby vybití staničních akubaterií je potřeba přivést na rozvodny 6 kV, které napájí BS a SSB, napětí z AAC. Blíže se této problematice budeme věnovat v dalších kapitolách, které se zabývají návrhem opatření pro zvládnutí takovýchto situací.

3.4 Rozvodné sítě el. napájení

V rámci JE je také potřeba rozčlenit rozvodné sítě a to podle zajištěnosti napájení, napěťové soustavy a vzdálenosti od zdroje v el. schématu JE. V našem dokumentu se budeme koncentrovat na rozdělení podle zajištěnosti, respektive její kategorizací. Podle vztahu k jaderné bezpečnosti a její důležitosti tak dělíme rozvodné sítě na kategorie zajištěného napájení:

- I. *Kategorie zajištěného napájení* – napájí spotřebiče skupiny důležitosti **D11, BS** a to za pomoci nouzových zdrojů, přesněji akubaterií a ANN. Tato síť je v rámci HVB a DGS na napěťových úrovních 220/380 V AC, 220 V DC, 48 V DC, 24 V DC.
- II. *Kategorie zajištěného napájení* – napájí spotřebiče skupiny důležitosti **D12, BS** a to za pomoci nouzových zdrojů, přesněji DG. Síť je v rámci HVB a DGS na napěťových hladinách 220/380 V DC a 6 kV AC.

Z výše uvedených sítí I. a II. kategorie lze napájet i spotřebiče s nižší důležitostí, jako jsou spotřebiče s označením D11, SSB; D12, SSB; D12, SNB;... s odůvodněním pro dostatečnou redundanci napájení, či požadavky na kvalitu, atd. stejně je tomu i u nižších kategorií III/I. a III/II., přičemž nesmí dojít k ohrožení funkceschopnosti BS, což zajišťují následující principy:

- Zdroje schopné zajistit napájení jak BS, tak i spotřebičů SSB a SNB musí být dostatečně dimenzované.

- Případná porucha ve vývodech spotřebiče kategorie SSB či SNB nesmí ovlivnit funkceschopnost připojených spotřebičů z kategorie BS. Toho je dosaženo správnou koordinací funkcí jisticích prvků stejně jako jejich správnou volnou a kvalifikací.

III/I. Kategorie zajištěného napájení – napájí spotřebiče skupiny důležitosti **D11, SSB; D11, SNB** a **D11, RRCS** a to za pomoci nouzových zdrojů, přesněji akubaterií a ANN. Síť je v rámci HVB a i některých dalších objektů v napěťových hladinách 220 V DC, 220/380 V AC, 60 V DC a 48 V DC.

III/II. Kategorie zajištěného napájení – napájí spotřebiče skupiny důležitosti **D12, SSB; D12, SNB** a to za pomoci nouzových zdrojů, přesněji DG. Síť je v rámci HVB v napěťových hladinách 220/380 V AC, 6 kV AC.

III. Kategorie napájení – napájí spotřebiče, které jsou zařazeny do systémů nedůležitých pro jadernou bezpečnost (jedná se tak o **D1, D2, N** kategorie) a většinou tyto spotřebiče slouží ke krytí vlastní spotřeby elektrárny v době výroby el. energie. Rozvodná zařízení jsou pak v závislosti na skupině důležitosti spotřebičů vybavena buď automatickým, ručním nebo žádným záskokem napájení. Síť je prakticky v rámci všech objektů a to na napěťových hladinách 220/380 V AC, 175/100 V AC a 6 kV AC.

3.5 Systémy střídavého napájení

Pod systémy střídavého napájení je v rámci EDU nutno rozumět a brát v úvahu kategorii napájení III. stejně jako zajištěné napájení kategorie III/II. a II. Rozvody I. a III/I. kategorie mají také AC rozvody, ale pouze napojené přes usměrňovače a střídače. V následující kapitole se tak budeme věnovat zejména kategoriím II., III. a III/II.

3.5.1 Rozvod III. kategorie napájení

Zátěž VS reaktorového bloku je rozdělena mezi 4 blokové rozvodny na napětí 6 kV. Z těchto rozvoden jsou tak napájeny spotřebiče z kategorie D1, D2 a N, přičemž rozvodny jsou za normálního provozního stavu napájeny z dvojice trojvinutových odbočkových transformátorů s označením 1BT01 a 1BT02. Schéma s trojvinutovými transformátory snižuje náročnost na zkratovou odolnost rozvoden. V případě ztráty pracovního napětí jsou tyto rozvodny vybaveny automatickým záskokem rezervního napájení (AZR). Tímto zdrojem je dvojice transformátorů o výkonu 40 MVA, a převodu 110/6,3 kV společná pro HVBI. Pro zvýšení spolehlivosti celého HVB jsou navíc blokové rozvodny rozděleny do dvojic – 1BA+1BD a 1BB+1BC, které jsou pomocí rezervních přípojníc (1BL, 1BM) připojeny na jednu z rozvoden rezervního napájení s označením 0BE (0BF) napojenou na rezervní transformátor. Tyto rozvodny rezervního napájení HVBI jsou navíc vzájemně propojitelné přes magistrálu rezervních přípojníc s rozvodnami rezervního napájení na stejné napěťové úrovni 6 kV z HVBI (nesou označení 7BE a 7BF).

Čtyři blokové rozvodny jsou přibližně rovnoměrně zatíženy a to spotřebiči z primárního a sekundárního okruhu:

- velké pohony primárního okruhu – 6 kV (HCČ s $P_n = 1,6$ MW),
- velké pohony sekundárního okruhu – 6 kV (chladičky $P_n = 4,8$ MW, hlavní napájecí čerpadla $P_n = 2,1$ MW, kondenzátní čerpadla $P_n = 0,5$ MW),

- transformátory 6 kV/nn,
- rozvodny 6 kV II. kategorie zajištěného napájení SZN 1,2,3.

V případě výpadku některého z pohonů na jedné ze čtyř blokových rozvodů je u pohonů, které se vzájemně rezervují, spuštěna automatika (technologický AZR) a místo vypadlých pohonů dojde k náběhu rezervních na ostatních, funkčních rozvodnách. Toto neplatí u HCC, kdy se v tomto případě snižuje výkon bloku.

3.5.2 Rozvod III/II. kategorie zajištěného napájení

Tento rozvod zajištěného napájení slouží pro SZN 4, který je tvořen dvěma rovnocennými subsystémy (4.1 a 4.2) a jehož úkolem je napájení agregátů nepřerušeno napájení (ANN). Tyto zmíněné subsystémy jsou od sebe odděleny a mohou se navzájem zálohovat, přičemž každý takovýto subsystém je tvořen jak sítí III/II. tak i sítí III/I. Rozvod kategorie III/II. je napojen na 6 kV rozvodny II. kategorie zajištěného napájení a nouzovým zdrojem pro subsystémy 4.1 a 4.2 je DG ze SZN 1, resp. SZN 2.

3.5.3 Rozvod II. kategorie zajištěného napájení

V předchozích kapitolách již byly diskutovány systémy SZN (momentálně konkrétně 1,2,3), které slouží k zásobování bezpečnostních systémů el. energií. Jedná se tak o podpůrný bezpečnostní systém s velkou mírou redundance, přičemž systémy se vzájemně nezalohují a jsou odděleny jak stavebně, požárně, tak i elektricky. Tyto systémy, skládající se jak ze sítí I. tak i ze sítí II. kategorie zajištěného napájení a nouzových zdrojů, pro zabezpečení své funkceschopnosti potřebují funkceschopné zdroje i sítě I. a II. kategorie příslušného SZN.

Pokud je za normálního, abnormálního provozu stejně jako i za havarijních podmínek na příslušné blokové rozvodně 6 kV III. kategorie napájení k dispozici napájení, je rozvodna 6 kV II. kategorie napájena ze sítě III. kategorie. Pokud ovšem dojde ke ztrátě napájení na rozvodně 6 kV II. kategorie nebo úplné ztrátě napájení VS III. kategorie, přebírá „velení“ automatika na dané R 6 kV II. kategorie a dochází k odepnutí SZN od rozvodu III. kategorie, startu příslušného DG a jeho postupné zatěžování. Pro připomenutí podle kapitoly 3.3.2. slouží rozvody II. kategorie zajištěného napájení k zásobování spotřebičů kategorie důležitosti D12, BS (a dalších spotřebičů) el. energií. Přes usměrňovače jsou z nich navíc napájeny sítě I. kategorie zajištěného napájení, stejně jako lze z těchto sítí napájet i spotřebiče nižších kategorií důležitosti (D12, SNB a D12, SSB) pokud tím nebude ohrožena hlavní činnost, tedy funkceschopnost bezpečnostních systémů.

3.6 Systémy stejnosměrného napájení

Jedná se o systémy stejnosměrného napájení I. a III/I. kategorie zajištěného napájení, stejně jako o střídavé systémy I. a III/I. kategorie zajištěného napájení, které jsou prostřednictvím střídačů ze stejnosměrných systémů napájeny. Tyto systémy slouží pro napájení důležitých spotřebičů plnicích bezpečnostní funkce – D11, BS a z tohoto důvodu jsou na každém bloku tři navzájem nezávislé, oddělené (stavebně, požárně, elektricky) bezpečnostní systémy SZN 1,2,3 sloužící pro podporu bezpečnostních systémů.

Hlavním nouzovým zdrojem v rozvodech I. kategorie každého ze SZN 1,2,3 je akubaterie 220 V DC, dále je tvořen ANN (usměrňovače, střídače), rozvodným zařízením a kabeláží. Akubaterie slouží ke krytí spotřeby zařízení I. kategorie v případě výpadku napájení pracovních

zdrojů a s kapacitou 1500 Ah musí dané spotřebiče napájet nejméně 2 hodiny. Usměrňovače 220 V DC jsou v SZN z důvodu napájení, resp. dobíjení akubaterií ze sítě II. kategorie zajištěného napájení (DG). Naproti tomu střídače slouží k napájení úsekových rozvaděčů ze stejnosměrného úsekového rozvaděče.

Na úrovni 48 V DC jsou dvě akubaterie o kapacitě 243 Ah, sloužící pro spotřebiče SKŘ. Tyto akubaterie (220 V, 48 V) jsou přes usměrňovače a II. kategorii zajištěného napájení udržovány ve stavu trvalého dobíjení. Pokud dojde v síti II. a III. kategorie k poklesu či úplné ztrátě napětí, přebírají akubaterie zátěž až do doby převzetí zátěže DG.

Pokud tedy dojde ke ztrátě pracovního napájení u spotřebičů I. kategorie zajištěného napájení, přebírají akubaterie, či-li nouzový zdroj, tuto zátěž bez přerušení napájení a akumulátory jsou tak v režimu vybití do doby, než dojde ke startu DG (rozvody II. kategorie zajištěného napájení). V tu chvíli přeberou zátěž usměrňovače a akubaterie se vrátí do stavu trvalého dobíjení. V případě potřeby je možné ve speciálním režimu usměrňovače rychlé dobít akubaterie (nutné odpojení zátěže pro zvýšení napětí na dobíjecí proces).

Pokud budeme hovořit o rozvodech napájení III/I. kategorie, připomeňme si, že SZN 4 je tvořen dvěma rovnocennými subsystémy (4.1 a 4.2), které se navzájem zálohují a slouží pro napájení SKŘ (patří do SSB) a dalších spotřebičů z kategorie SSB (D11, SSB), stejně jako spotřebičů spadajících do SNB (D11, SNB), které však zajišťující obecnou bezpečnost osob a drahých zařízení (př.: olejové čerpadlo turbosoustrojí). Rozvod napájení III/I. kategorie je tvořen jak akubateriemi 220 V DC, tak i ANN, přičemž staniční akubaterie má kapacitu 2000 Ah. I u této kategorie rozvodů platí předchozí odstavec, tedy v případě přerušení napájení přechází všechny spotřebiče v rozvodu III/I. kategorie na napájení z akubaterie až do doby startu DG a přivedení napětí na rozvodnu 6 kV II. kategorie příslušného SZN.

Do rozvodů napájení III/I. kategorie také spadá SZN 5, který slouží pro překlenutí krátkých poklesů napětí v síti III. kategorie. Z tohoto SZN jsou napájeny pohony tyčí RRCS (D11, RRCS) a dojde tak k odvrácení pádu kazet do aktivní zóny při přechodových procesech, jako je například AZR nebo při působení ochran, které vyvolají pokles napětí nebo jeho dočasnou ztrátu. Nouzovým zdrojem na úrovni SZN 5 je staniční akubaterie 220 V DC, 600 Ah, která slouží k napájení právě výše zmíněných měničů pohonů regulačních a havarijních tyčí reaktoru. Díky své kapacitě vydrží spotřebiče pod napětím alespoň 20 minut, což výrazně převyšuje očekávané doby poklesu napětí při přechodových stavech ve střídavé síti VS.

Tab. 3-3 Vybíjecí doby staničních akubaterií v projektu EDU [5]:

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

3.7 Schéma vlastní spotřeby elektrárny

Schéma VS lze rozdělit do třech základních částí:

- *Schéma zajištěného napájení* – SZN 1,2,3 je z pohledu bezpečnosti nejdůležitější částí schématu, přičemž slouží zejména k napájení BS. SZN 4 a 5 jsou klasifikovány jako SSB.

- *Schéma napájení III. kategorie blokové vlastní spotřeby* – napájení některých spotřebičů primárního okruhu (HCČ), sekundárního okruhu a úsekových rozvaděčů III. kategorie zabezpečují čtyři blokové rozvodny o napětí 6 kV (1BA, 1BB, 1BC, 1BD). Tyto rozvodny jsou navíc vazbou na pracovní a rezervní zdroje VS.
- *Schéma napájení III. kategorie společné vlastní spotřeby* – většina vnějších objektů (mimo HVB) je napájena z rozveden 6 kV s označením 9BA a 9BB. Z blokových rozveden 6 kV jsou napájeny pouze některé objekty jako například provozní budova.

3.8 Provozní režimy el. schématu JE

3.8.1 Základní provozní režimy bloku

Dělení provozních režimů pro popis a kontrolu schématu VS EDU a pro zajištění koordinace el. schématu s režimy strojní a jaderné části je následující:

- | | |
|----|---|
| R1 | najíždění bloku, |
| R2 | normální provoz bloku se dvěma turbosoustrojemi, |
| R3 | normální provoz bloku s jedním turbosoustrojím, |
| R4 | plánované odstavení bloku, |
| R5 | havarijní odstavení bloku působením RTS, |
| R6 | havarijní odstavení bloku působením RTS společně se ztrátou pracovních i rezervních zdrojů napájení VS, |
| R7 | dočasný abnormální provoz bloku na výkonu VS |
| R8 | ztráta všech střídavých zdrojů energie, nutnost provozu na VS. |

U režimů souvisejících s havarijním odstavením bloku (R5 a R6) je pak potřeba rozlišovat příčiny, které vyvolaly odstavení bloku:

- a. bez narušení těsnosti I. nebo II. okruhu,
- b. nehoda spojená s roztěsněním parovodu (II. okruh),
- c. havárie spojená s malým únikem v I. okruhu,
- d. havárie spojená s velkým únikem v I. okruhu.

Z hlediska el. schématu je třeba u R5 ještě rozlišit stavy, při kterých:

- došlo k odstavení spojeného s AZR sekcí 6 kV bloku na RNVS (PNVS v nečinnosti),
- došlo k odstavení při el. napájení z pracovních zdrojů (k RTS došlo na základě poruchy v technologické části).

Podle vyhlášky SÚJB 195/1999 Sb. z roku 1999 pak dělíme výše uvedené provozní režimy bloku na

- normální – R1, R2, R3, R4,
- s havarijními podmínkami – R5c, R5d, R6c, R6d,
- abnormální – ostatní uvedené režimy.

Tato diplomová práce je zaměřena právě na abnormální režimy, zejména pak na R8, tedy ztrátu všech střídavých zdrojů energie a nutný provoz na VS.

3.8.2 Režimy schématu pracovního napájení

Při normálním provozu, režimech najíždění, plánovaného odstavení, odstavení v abnormálních či havarijních situacích, nespojených se ztrátou vazby na síť 400 kV, je veškerá VS napájena z pracovních zdrojů, kterými jsou dva transformátory s označením 1BT01 a 1BT02 – viz. kapitola 3.3.1. Společná spotřeba JE je pak napájena z odbočkového transformátoru 15,75/6,3/6,3 kV s označením 9BT1.

Pokud je blok v provozu pouze s jedním TG, což je dlouhodobě přípustný stav, jsou rozvodny, spadající pod odpojený TG napájeny z odbočkového transformátoru nebo z rezervních transformátorů, což zajišťuje chod všech spotřebičů I. okruhu připojených na uvedení rozvodny. Rozvodny zajištěného napájení musí být neustále pod napětím.

Společná vlastní spotřeba JE je napájena z rozvoden 9BA a 9BB, které jsou spojeny s odbočkami alternátoru 300 MVA, přičemž napájení těchto rozvoden z rezervních zdrojů se předpokládá pouze v nezbytných případech. K automatickému vypínání rezervních přívodů v rozvodnách 9BA a 9BB dochází při ztrátě pracovních zdrojů RB 1 nebo RB 2 (jsou-li k dispozici oba rezervní zdroje) nebo RB 1 až RB 4 (je-li k dispozici jeden rezervní zdroj).

Pokud dojde ke ztrátě vazby se sítí 400 kV, dojde u pracujících alternátorů 300 MVA k regulaci na výkon VS. Pokud dojde k úspěšnému zregulování na výkon VS, pokračuje napájení VS z pracovních zdrojů.

Všechny blokové rozvodny jsou vybaveny systémem AZR, který při ztrátě napájení z pracovních zdrojů přepne danou blokovou rozvodnu na napájení z rezervních zdrojů VS a z nich je pak napájena po dobu nezbytnou k obnovení pracovního napájení.

Stav, při kterém jsou jedna až dvě blokové rozvodny 6 kV napájeny z rezervních zdrojů je dočasně přípustný (provozování bloku na výkonu), ale pouze do doby, než dojde k opravě pracovního zdroje dané blokové rozvodny.

Přechod mezi rezervním a pracovním napájením na jednotlivých blokových rozvodnách je organizován obsluhou z BD a probíhá sfázováním a krátkodobým propojením sítí pracovního a rezervního napájení. Podmínky pro plánovaný přechod fázování a postup jsou uvedeny v provozních předpisech.

3.8.3 Režimy schématu rezervního napájení

Schéma RNVS je provozováno dvojblokově, tedy transformátory 0AU01,02 jsou rezervním zdrojem pro HVBI a transformátory s označením 7AU01,02 jsou rezervním zdrojem pro HVBIII Magistrály rezervních přípojnic 6 kV 1BL a 1BM jsou pod napětím a 110 kV rozvodny JE Dukovany, sloužící pro RNVS, se mohou nacházet v následujících režimech:

- **Režim A** (normální, základní) – z R 110 kV Slavětice je napájen transformátor 0AU01 a z R 110 kV Oslavany 0AU02.
- **Režim B** – ztráta napětí na lince 110 kV z R Oslavany, oba transformátory napájeny z R Slavětice.
- **Režim C** – ztráta napětí na lince 110 kV z R Slavětice, oba transformátory napájeny z R Oslavany.

- **Režim D** – v dané situaci je jeden z rezervních transformátorů neprovoznoschopný a jeho funkci musí přebrat rezervní transformátor druhého HVB přes magistralu rezervních přípojníc, jejíž sepnutí provede obsluha.
- **Režim E** – v dané situaci jsou oba rezervní transformátory neprovoznoschopné a jejich funkci musí přebrat rezervní transformátory druhého HVB přes magistralu rezervních přípojníc, jejíž sepnutí provede obsluha.

Výše uvedené režimy jsou podle Vyhlášky SÚJB 195/1999 Sb. řazeny do kategorie normálních režimů u kterých je ale třeba zohlednit změněnou schopnost napájení zátěže VS.

V rámci RNVS je možný i paralelní provoz transformátorů 0AU01 a 7AU01 (0AU02 a 7AU02), ale pouze po dobu, než dojde na přemanimulování schématu RNVS, v jiném případě jsou zařízení vystavena velkým zkratovým proudům.

Pro režimy A a B je díky tvrdosti rezervních zdrojů možné dosáhnout úspěšného samonajíždění jednoho bloku při předběžné zátěži, která odpovídá jednomu odbočkovému transformátoru v režimu R2. Po ustálení přechodového procesu dochází v tomto výkonově mezním případě k částečnému překročení parametrů některých rozvodných zařízení 6 kV. Zásahem obsluhy je ale zátěž systému RNVS snížena.

3.8.4 Režimy SZN

3.8.4.1 Normální provoz

Rozvodny 6 kV zajištěného napájení II. kategorie SZN 1,2,3 jsou za normálního provozu el. schématu napájeny kabelovou propojkou z blokových rozvodů 6 kV III. kategorie, DG jsou udržovány ve stavu „horké rezervy“ a jsou tedy připraveny za pomoci automatik okamžitého startu a zatěžování. Podobně jsou na tom rozvaděče 220 V DC, 48 V DC, 24 V DC a 220/380 V AC I. a III/I. kategorie zajištěného napájení, které jsou napájeny usměrňovači a udržovány v režimu trvalého dobíjení.

3.8.4.2 Ztráta pracovního a rezervního napájení VS

Podle principu DID, který jsme vysvětlili v kapitole 2.3., se řídí i automatiky, které zajišťují přechody mezi jednotlivými úrovněmi. Při odchylkách frekvence a napětí od povolených hodnot dojde ke zregulování bloku na VS. Tuto situaci řeší následující automatiky:

- *AVV400 (automatika vypnutí vypínače 400 kV)* – slouží k odpojení bloku od sítě 400 kV pokud dojde na všech 4 blokových rozvodnách 6 kV k poklesu napětí pod $0,7U_n/1,5s$. Tato situace nastane, pokud je porucha v síti 400 kV a síťové ochrany selžou. TG bloku tak zregulují na VS.
- *Síťové a frekvenční relé (FREA)*.

Pokud se tento přechod nepodaří, dojde na další úroveň a na přechod bloku na RNVS:

- *CAB (centrální automatika bloku)* – má blokový charakter a vyhodnocuje ztrátu napájení pracovních zdrojů VS. Pokud k ní dojde, iniciuje HAZR blokových 6 kV rozvodů na HAZR a dává signál APV.
- *AZR (automatický zásah rezervního napájení)* – tato automatika zajišťuje v případě výpadku pracovního napájení přechod blokových rozvodů na rezervní transformátory (napájené ze sítě 110 kV).

- *APV (automatické podpětového vypínání spotřebičů na rozvaděčích III. kategorie)* – odlehčování rozvodu při ztrátě napětí na jejich přípojnicích odepínáním pohonů, nedůležitých z technologického procesu při samonajždění.

Jestliže neuspěje přechod na RNVS, dojde k přechodu na DG v rámci SZN:

- *APV (automatické podpětového vypínání spotřebičů na rozvaděčích II. kategorie)* – aby nedošlo k přetížení DG, dojde před přechodem napájení R 6 kV II. kategorie na DG k odpojení většiny pohonů 6 kV.
- *ELS (automatika postupného spouštění)* – zajišťuje všechny důležité funkce spojené s přechodem napájení SZN 1,2,3 na nouzové zdroj a spouští správné sestavy pohonů, které jsou potřebné při ztrátě napájení bez technologické havárie i při ztrátě napájení v kombinaci s různými druhy technologických havárií. Společně s APV tak zajišťuje připojování spotřebičů spadajících do II. kategorie zajištěného napájení.
- *ADG(automatika DG)* – součást řídicího systému agregátu DG.

Automatikami CAB, APV, ELS a ADG disponuje každý ze SZN 1,2,3, přičemž v rámci SZN jsou automatiky zajišťující funkce BS v rozvodných skříních odděleny od automatik s funkcí SNB.

3.8.5 Funkce el. schématu při postulovaných poruchových událostech

Aby byla zajištěna maximální plynulost napájení zátěží a požadavky na napájení systémů, je elektrické schéma a jeho ochrany, automatiky navrženy tak, aby tomu vyhovovaly.

3.8.5.1 Funkce při dílčích poruchových událostech

- Ztráta napájení v podružném rozvodu nn
 - *Ztráta napájení v jednotlivém vývodu* – porucha ve vývodu znamená selektivní vybavení jističe příslušného vývodu, přičemž napájení podružného rozvaděče je zachováno. Je-li postižený spotřebič zálohován, spouští automatiky rezervní spotřebič na jiném rozvaděči. Protože může v případě blízkého zkratu selhat vývodový jistič, může zapůsobit nadřazenější jistič.
 - *Ztráta napětí na podružném rozvaděči* – je-li rozvaděč vybaven AZR a jednalo se o prostou ztrátu napájení, automatika zajistí přepnutí na rezervní napájení a napájení tak zůstává zachováno, až na beznapětovou pauzou danou AZR. AZR u podružných rozvaděčů je kvůli selektivitě systému zpožděno oproti AZR úsekových rozvaděčů. Nemá-li rozvaděč AZR, je takovýto rozvaděč bez napájení do odstranění poruchy.
 - *Zkrat na podružném rozvaděči* – el. ochrany vybaví vypínače a přívody jsou vypnuty až do doby, než dojde k odstranění poruchy.
- Ztráta napájení v hlavním rozvodu nn (oblast úsekových rozvaděčů)
 - *Ztráta napájení v jednotlivém vývodu* – porucha ve vývodu znamená selektivní vybavení jističe příslušného vývodu, přičemž napájení podružného rozvaděče je zachováno. Je-li postižený spotřebič zálohován, spouští automatiky rezervní spotřebič na jiném rozvaděči. Protože může v případě blízkého zkratu selhat vývodový jistič, může zapůsobit nadřazenější jistič.

- *Ztráta napětí na úsekovém rozvaděči* – je-li rozvaděč vybaven AZR a jedná-li se o prostou ztrátu napájení, automatika zajistí přepnutí na rezervní napájení a napájení tak zůstává zachováno, až na beznapěťovou pauzou danou AZR. AZR u úsekových rozvaděčů je kvůli selektivitě systému zpožděno oproti AZR na R 6 kV. Nemá-li rozvaděč AZR, je takovýto rozvaděč bez napájení do odstranění poruchy, u rozvaděčů s ručním zapnutím rezervy je nutný zásah obsluhy, aby bylo napájení obnoveno.
- *Zkrat na úsekovém rozvaděči* – el. ochrany vybaví vypínače, zablokují funkci AZR a přívody jsou vypnuty až do doby, než dojde k odstranění poruchy.
- *Ztráta napájení v rozvodu 6 kV II. kategorie*
 - *Ztráta napájení v jednotlivém vývodu* – porucha ve vývodu znamená selektivní vybavení jističe příslušného vývodu, přičemž napájení podružného rozvaděče je zachováno. Je-li postižený spotřebič zálohován, spouští automatiky rezervní spotřebič na jiném rozvaděči. Protože může v případě blízkého zkratu selhat vývodový jistič, zapůsobí vzdálená záloha (ochrana DG nebo blokové R 6 kV).
 - *Ztráta napájení (ztráta napětí či pokles frekvence nebo napětí) na R 6 kV* – v takové situaci dochází ke spuštění DG příslušného SZN a dochází k režimu napájení z nouzového zdroje.
 - *Zkrat na R 6 kV II. kategorie* – neselektivní vypnutí ochranami pracovního či rezervního přívodu a ztráta napájení na blokové R 6 kV II. a R 6 kV III. kategorie.
- *Ztráta napájení v hlavním rozvodu 6 kV (bloková R 6 kV)*
 - *Ztráta napájení v jednotlivém vývodu* – porucha ve vývodu znamená selektivní vybavení jističe příslušného vývodu, přičemž napájení podružného rozvaděče je zachováno. Je-li postižený spotřebič zálohován, spouští automatiky rezervní spotřebič na jiném rozvaděči. Protože může v případě blízkého zkratu selhat vývodový jistič, zapůsobí nadřazená ochrana a k vypnutí zkratu dojde vypínačem v přívodu do rozvodny.
 - *Ztráta napětí na sekci R 6 kV* – po vypnutí pracovních přívodů R 6 kV je napájení přepnuto na rezervní zdroj pomocí AZR.
 - *Zkrat na R 6 kV* – zapříčiní ztrátu rozvodny, el. ochrany vypnou přívody do rozvodny a zablokován je i AZR.

3.8.5.2 Funkce při celkových poruchových událostech

- *Ztráta vazby se sítí 400 kV*
 - *Abnormální provoz nebo havarijní podmínky strojně-jaderné části*
 - *Normální provoz strojně-jaderné části* – Pracující TG jsou zregulovány na VS, přičemž pro pokrytí VS postačí jeden TG. Nedojde-li ke zregulování TG a jeho vypnutí nebo vůbec nepracoval, mluvíme o ztrátě pracovních zdrojů bloku. Podle požadavků strojně-jaderné technologie a podle případu se pak liší sestava pracujících pohonů, přičemž el. schéma pracuje v obou případech

stejně, tedy DG se neshodují a akubaterie zajišťují nepřerušené napájení rozvodů I. a III/I. kategorie.

- Ztráta pracovních zdrojů bloku (může se jednat třeba o vypnutí pracovních přívodů R 6 kV)
 - *Abnormální provoz nebo havarijní podmínky strojně-jaderné části*
 - *Normální provoz strojně-jaderné části* – AZR na R 6 kV zajistí přechod z pracovních zdrojů na rezervní. Následně dojde k samonajíždění a opětovnému najíždění VS. Podle požadavků strojně-jaderné technologie a podle případu se pak liší sestava pracujících pohonů, přičemž el. schéma pracuje v obou případech stejně, tedy DG se neshodují a akubaterie zajišťují nepřerušené napájení rozvodů I. a III/I. kategorie.
- Ztráta pracovních i rezervních zdrojů bloku
 - *Abnormální provoz nebo havarijní podmínky strojně-jaderné části*
 - *Normální provoz strojně-jaderné části* – dochází k automatickému odpojení sítě II. kategorie SZN od III. kategorie, startu DG, akubaterie zajišťují nepřerušené napájení rozvodů I. a III/I. kategorie. Podle požadavků strojně-jaderné technologie a podle případu se pak liší sestava pracujících pohonů, přičemž el. schéma pracuje v obou případech stejně.
 - *Nefunkceschopnost nouzových zdrojů nebo SZN* – protože je zajištěné jaderné bezpečnosti prakticky nejdůležitějším úkolem, jsou systémy redundantně zálohovány, přesněji řečeno SZN 1,2,3 představuje 3 x 100% (v případě, že jeden systém je v odstavce, revizi, druhý hlásí poruchu, třetí musí plnit požadovanou funkci). Systémy jsou navíc od sebe odděleny a vzájemně naprosto nezávislé. Subsystémy SZN 4.1 a 4.2 se vzájemně zálohují (při výpadku jednoho SZN přebírá druhý SZN jeho funkci) a přechod je u zátěží buď automatický nebo musí napájení obnovit obsluha. Pokud ovšem dojde k výpadku celého SZN 4, je nadále jaderná bezpečnost bloku zachována a to díky činnosti divizí SZN 1,2,3. Akumulátorové baterie u divizí SZN 1,2,3 musí navíc zajišťovat napájení zátěží po dobu alespoň 2 hodin.

4 DEFINICE SBO

Tato kapitola vychází z literatury [5] a [6].

4.1 Definice PŘED událostí ve Fukushima (DID 4)

Nejdůležitější části v DID – Tab. 2-1 je v současné době řešení podúrovň úrovně DID 4, konkrétně 4.1 a 4.2, které mají zajistit, aby JE v případě SBO danou situaci zvládly a dokázaly se z ní zotavit. V předchozích kapitolách jsme už psali o SBO a o DID, přesto si některé body SBO pro DID podúrovně 4.1 a 4.2 ještě zrekapitulujeme:

1. Ztrátou pracovních i rezervních zdrojů VS z vnější sítě (vedení 400 kV a 110 kV) je postižena celá JE, tedy všechny bloky.
 - a. rozpad ES,
 - b. extrémní počasí a atmosférické vlivy (vítr, sníh, námraza, zima, horko, blesk, EMI),
 - c. poruchy zařízení, selhání lidského faktoru.
2. Bezprostředně před ani při SBO nedošlo k žádné nehodě či poruše, se kterou je počítáno v projektu.
 - a. neuvažuje se tak
 - i. seizmicita,
 - ii. požár,
 - iii. záplavy.
 - b. kromě systémů, které způsobily ztrátu napájení VS jsou funkceschopné všechny zbývající systémy elektrárny.
3. Na jednom z bloků patřících do dvojice HVB nezregulovaly TG na VS a následně došlo k selhání DG v SZN 1,2,3 (důvodem selhání DG je CCF). Pod napětím jsou pouze spotřebiče kategorie I. a III/I. zajištěného napájení.
4. Na druhém z dvojice bloků v rámci HVB pracuje alespoň jedna z divizí bezpečnostních systému.

4.2 Definice PO události ve Fukushima (DID 5)

Události a havárie ve Fukushima daly celkově principu hloubkové ochrany nový směr. Po událostech ve Fukushima tak byla doplněna další úroveň DID 5, která ale vychází z definic před událostí ve Fukushima a výsledků „Stress testů“ v Národní zprávě zpracované SÚJB – lit. [5]. Tyto níže uvedené definice nejsou stanovenými oficiálními mezinárodními předpisy (MAAE), protože takové zatím nebyly vypracovány. Definovat podúroveň DID 5.1 při SBO tak můžeme následovně:

1. Ztrátou pracovních i rezervních zdrojů VS (vedení 400 kV a 110 kV i TG) je postižena celá JE, tedy všechny bloky. Nefunkční jsou i SZN, které nejsou odolné níže uvedeným událostem či jejich kombinaci. Tyto extrémní situace mohou případně převyšovat vypočtená maxima ve stávajícím projektu:

- a. rozpad ES,
 - b. extrémní počasí a atmosférické vlivy (vítr, sníh, námraza, zima, horko, blesk, EMI),
 - c. poruchy zařízení, selhání lidského faktoru,
 - d. seizmicita,
 - e. požáry,
 - f. záplavy.
2. Bezprostředně před ani při SBO nedošlo k žádné nehodě či poruše, se kterou je počítáno v projektu.
 3. V celé JE selhaly všechny DG z divizí bezpečnostních systémů SZN 1,2,3 a pod napětím jsou pouze spotřebiče kategorie I. a III/I. zajištěného napájení. Důvod selhání všech DG je:
 - a. CCF,
 - b. nedostatečná odolnost pro výše zmíněným událostem či jejich kombinacím.
 4. Příčinou či následkem SBO je v kombinaci se samotným SBO i ztráta koncového jímáče tepla (UHS).
 5. Funkceschopné jsou pouze ty systémy elektrárny, které jsou odolné a chráněné proti účinkům výše zmíněných událostí s výjimkou systémů, které ztrátu napájení VS způsobily.
 6. V redundantních systémech a bezpečnostních divizích se uvažuje s možností odstavení či poruchy zařízení, z čehož plyne nutnost plnit bezpečnostní funkce hlavním a záložním způsobem. Jedná se tak například o posílení tras či nouzových zdrojů stejně jako možnost plnění bezpečnostních funkcí více redundantními čerpadly.
 7. Bezpečnostní funkce musí být plněny pomocí prostředků, které jsou v rámci JE a to alespoň po dobu 72 hodin. Přes poškozenou infrastrukturu bude možné dopravit lehké mobilní prostředky nejdříve po uplynutí 24 hodin, těžké prostředky až po 72 hodinách.

4.3 Zásady opatření pro zvládání SBO a zmírnění následků SA

S ohledem na výše uvedená fakta a možné kombinace nehod či selhání funkceschopnosti zařízení je potřeba posílení úrovně ochrany do hloubky DID 4 a DID 5 a zavedení potřebných BF při událostech, které sahají za rámec projektu, tedy za hranici úrovně DID 3, jejímž důsledkem může být právě SBO (jedná se tak o zemětřesení, záplavy, extrémní atmosférické podmínky a selhání lidského faktoru). Princip v posílení hloubkové ochrany by měl akcentovat zejména prevenci a předcházení událostem a teprve potom by měla následovat opatření zmírňující následky. Posílení DID by mělo být následující:

1. Návrh a implementace alternativních prostředků střídavého napájení a možnosti jeho připojení k již existujícím rozvodům el. napájení s cílem zajistit odvod tepla a tedy ochladit jak AZ tak i BSVP.

2. Návrh a implementace diverzifikovaných prostředků a možnosti jeho připojení k již existujícím rozvodům el. napájení pro odvod tepla a dochlazení AZ a BSVP.
3. Návrh a implementace alternativních prostředků stejnosměrného napájení a chlazení SKŘ, které jsou nezbytné pro monitoring a controlling vybraných komponent.
4. Návrh a implementace alternativních prostředků pro zajištění funkceschopné komunikace personálu a to jak v rámci elektrárny, tak i ve spojení s vnějším prostředím (dispečink, atd.).

Cílem je tak zejména přivedení napětí ze střídavého zdroje než dojde k vyčerpání bezpečnostních limitů stanovených analýzami. Jedná se tak zejména o chlazení aktivní zóny a dobu vybíjení baterií, kterou lze vhodnou manipulací (odpojováním v dané chvíli nedůležitých zařízení) výrazně prodloužit z požadovaných 2 resp. 4 hodin na časy viz. Tab. 4-1. Pokud se do této doby zvládne přivést napájení, je pravděpodobné, že blok SBO zvládne a zotaví se.

Tab. 4-1 Vybíjecí doby staničních akubaterií v režimu SBO pro EDU [5].

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

Řešení výše uvedených bodů už je pak na rozhodnutí konkrétní dané elektrárny a v současné době se setkáváme s nejrůznějšími opatřeními vedoucími ke snížení pravděpodobnosti výskytu SBO, jako i jeho zmírnění. Jedná se tak zejména o posílení současných rozvodů el. napájení v rámci HVB stejně jako zvýšení odolnosti vazby JE na vnější zdroje střídavého napájení.

Pro zmírnění následků těžkých havárií je pak po el. systémech požadováno jak napájení požadovaných zátěží tak i účast na řídicích funkcích pro zmírňující opatření. Může se tak jednat o vytvoření nového SZN, který bude společný pro HVB a svojí kapacitou bude umožňovat zásobování všech potřebných zátěží obou bloků současně po stanovenou dobu. Pro zajištění funkceschopnosti by navíc tento systém byl konstruován velmi robustně, dispozičně, stavebně, požárně a elektricky oddělený od všech ostatních SZN JE. Souběžně s činností nového SZN se uvažuje i s provedením nezbytných oprav zařízení a el. systémů (zejména pak na SZN 1,2,3) s cílem co nejrychlejšího přivedení napájení z vnějšího zdroje střídavého napětí.

Protože v této práci vztahujeme veškeré praktické příklady na EDU, můžeme se i v této části podívat na současná navržená řešení. Ty počítají se zřízením nových SZN (DG) se vzájemnou vazbou na HVBI a HVBIII stejně jako zřízením redundantních a vysoce chráněných kabelových tras od těchto systémů střídavého napájení, aby nedošlo k jejich poškození a napětí z těchto speciálních bezpečnostních skupin bylo podáno na potřebné rozvodny. Podobně je tomu už u zařízení plnící bezpečnostní funkce. Pokud se tak třeba jedná o čerpadlo, musí být dostatečně zálohované, aby v případě poruchy mohl být okamžitě připojen funkceschopný prvek. Právě z takového důvodu byla například do Dukovan doplněna třetí superhavarijní napaječka.

5 MOŽNOSTI OPATŘENÍ PRO ZVLÁDNUTÍ SBO

Data a pojmy v této kapitole vychází z literatury [7].

5.1 Výkonová bilance

Abychom mohli správně nadimenzovat zdroje potřebné pro zvládnutí SBO, musíme nejdříve stanovit spotřebiče v jednotlivých kategoriích zajištěného napájení a jejich výkony, které je potřeba udržovat v činnosti. Obecně lze tyto spotřebiče nazvat bezpečnostní skupinou (BSK) a dělit je na:

- Spotřebič napájený přímo ze sítě AAC.
- Vybrané spotřebiče jedné z divizí BS (divize A, plnění většiny požadovaných BF).
- Vybrané spotřebiče další divize v omezeném rozsahu (divize B, udržení integrity zdrojů a sítě divize, zejména pak v I. kategorii zajištěného napájení a současně vykonávat doplňkové funkce, jež nejsou obsaženy v předchozí divizi).

Bezpečnostní funkce, které jsou po BSK vyžadovány, jsou uvedeny v kapitole 2-2.

Výkony, resp. příkony spadající do výše uvedených třech skupin jsou v Tab. 5-1. v případě kdy nedojde ke ztrátě koncového jímáče tepla UHS a v Tab. 5-2. která počítá se ztrátou UHS. Koncovým jímáčem tepla nejsou v tomto případě míněny chladicí věže, ale ventilátorová věž, kterou je nutno vystavět, jako alternativní řešení UHS.

Tab. 5-1 Příkony spotřebičů BSK s UHS pro EDU [7].

BSK	Kat. zajištěného nap.	P _p [kW]
Divize A	I.kat.	80
	II.kat.	150
	SHNČ	100
Divize B	I. a II. kat.	100
AAC	III/I.kat.	80
	III/II. kat. (0,4 kV)	50
UHS	ČTVD	200
	vent.	100

Tab. 5-2 Příkony spotřebičů BSK bez UHS pro EDU [7].

BSK	Kat. zajištěného nap.	P _p [kW]
Divize A	I.kat.	80
	II.kat.	150
	SHNČ	100
Divize B	I. a II. kat.	100
AAC	III/I.kat.	80
	III/II. kat. (0,4 kV)	50

Předpokládá se, že jedna ventilátorová věž o přibližném výkonu 300 kW by měla stačit pro celý HVB. K jejímu nasazení by ale došlo pouze v případě, kdy by byl dostatečný výkon v síti, který by tento spotřebič mohl zásobovat. Pro další výpočet a dimenzování stabilního DG tak budeme uvažovat se ztrátou jak UHS ve formě chladicí věže tak i ventilátorové věže, tedy Tab. 5-2.

K potřebným příkonům z Tab. 5-2. bychom pak ještě měli připočítat 300 kW na kryty (1 – 4, TSFO). Celkově se tedy jedná o příkon v rozmezí:

$$560 \text{ kW (všechny BSK)} + 300 \text{ kW (kryty)} = 860 \text{ kW}$$

$$460 \text{ kW (Divize A a AAC)} + 300 \text{ kW (kryty)} = 760 \text{ kW}$$

Pokud bychom tak postupovali konzervativním způsobem, došli bychom při dimenzování DG v kategorii SSZN k číslu, které je čtyřnásobkem sumy z divize A i B navýšené požadavkem na kryty (osvětlení, komunikace). Tedy k velikosti $P_{DG} = 2140$ až 2540 kW. Tím tak dostáváme kontrolu na ustálený chod všech potřebných spotřebičů pro čtyři bloky u Dukovanské JE. Důležitým prvkem při této kontrole je uvedení v činnost SHNČ o výkonu 250 kW, sloužící k doplňování vody do turbíny a při zatěsněném reaktoru a primárním okruhu tak díky přirozené cirkulaci v primárním okruhu odvádí teplo z reaktoru a zabraňuje tavení AZ

Druhý pohled je pohled na spouštění největšího spotřebiče, kterým je motor o výkonu 500 kW. Zde je nutné počítat se spouštěcím motorovým proudem, který může dosahovat až šestnásobku nominálního proudu motoru.

5.2 Prostředky

5.2.1 Stabilní dieselgenerátor (DG)

Na základě výše uvedeného výpočtu nutného příkonu pro BSK na plněné BF by stabilní DG, začleněný do SSZN měl mít přibližný výkon $P = 2,5$ MW a to z důvodu společné divize SSZN pro celý HVB. S takovýmto DG, dispozičně (stavebně, požárně) i elektricky odděleným od ostatních SZN a dalších systémů, navíc umístěným v bunkru v rámci areálu JE, ale mimo daný HVB lze pak s vysokou pravděpodobností zaručit, že by tento stabilní prostředek dokázal při úplném SBO na celém HVB (DID 5.1) zabránit přerodu vzniklé situace do SA. Jedná se tak o prostředek prevence, který se snaží předcházet SA a vzhledem k jeho předdimenzování by měl být podle předpisů nasazován jako první v situacích SBO.

Z důvodu výše zmíněné odolnosti by tak měl být objekt bunkru se stabilním DG umístěn v co největší vzdálenosti od HVB v rámci areálu JE. Výkon tohoto DG by měl být z vlastní nové rozvodny RSSZN – 6 kV přes seizmicky odolné vedení 6 kV vyveden do rozvodny patřící k SZN 1 – označené jako 1BV a 2BV (schéma v Příloze D, E).

Protože musíme mít i ohled na finanční náklady pro opatření týkající se prevence při SBO, je zřízení stabilního DG a stejně tak i výstavba bunkru velmi náročnou operací stejně jako výstavba ST v další podkapitole.

5.2.2 Mobilní dieselgenerátor (MDG)

Varianta MDG je brána jako záložní varianta stabilního DG. U této varianty se předpokládá, že by nedošlo k pokrytí všech nárokových příkonů zmíněných v kapitole 5.1, ale došlo by zejména k zajištění rozběhnutí SHNČ, která v podstatě slouží jako poslední přístroj, který při neroztěsněném reaktoru a za předpokladu funkčnosti primárního okruhu, stejně jako i celistvosti turbíny, dokáže zabránit roztavení AZ.

Pro tuto variantu MDG je nutná výstavba speciální RSSZN – 0,4 kV v rámci divize SSZN, která bude přes RSSZN – 6 kV propojena na potřebné spotřebiče. Vývod MDG je tak na hladině 0,4 kV bez ohledu na velikost MDG (schéma v **Příloze D, E**).

Standardním postupem by byl MDG s přibližným výkonem $P = 0,5$ MW a možností jeho připojení pomocí kabelu na svorky RSSZN – 0,4 kV. Právě s ohledem na finanční náročnost investic týkajících se zabezpečení JE při SBO a předcházení SA (DID 5) je v tomto bodě spíše upřednostňována varianta více MDG menšího výkonu $P = 0,2$ až $0,25$ MW v podobě hybridních autobusů se sériovým zapojením motor – generátor. Tato možnost dává velkou flexibilitu a současně využití hybridní technologie v dopravních prostředcích pro nouzové situace jako jsou SBO. Negativem obecně diskutovaných MDG je jejich odolnost vůči elektromagnetickým impulzům stejně jako i schopnost dopravit tyto zdroje energie po seizmické události na místo připojení a v neposlední řadě i problém sfázování jednotlivých MDG. Pro rozběhnutí SHNČ by totiž byly potřeba alespoň tři takovéto MDG. V oblasti seismicity mají tyto zdroje výhodu, protože jejich původní lokace před událostí na HVB by měla zaručit nepoškození tohoto zdroje seizmickou či jinou událostí. Otázkou je ale již výše zmíněná doprava na postižené místo.

S ohledem na výkon MDG by bylo možné buď tyto generátory nasazovat jako podpůrné prostředky při práci stabilního DG a to pro dobíjení staničních akubaterií. Pokud by všechny ostatní systémy selhaly, lze MDG použít i pro plnění BF a sice pro fundamentální, kterou je odvod tepla z AZ. Možností je tak umístění 100 kW motoru jako SHNČ, který by bylo možné rozběhnout z MDG.

5.2.3 Spalovací turbína

V případě spalovací turbíny by se jednalo o vystavění oddělené budovy (bunkru) obsahující jak instalaci celého soustrojí (turbokompresor – turbína – generátor) tak i rozvodny RSSZN – 6 kV. Na rozdíl od stabilních či mobilních DG nejsme u ST tolik limitováni výkonem a bylo by tak možné využít případně jednu ST pro oba HVB. Zatímco u ST nemusíme příliš řešit odolnost vůči elektromagnetickým impulzům, je zde spíše problém seismicity soustrojí, které by případným zemětřesením mohlo být poškozeno a neschopné činnosti.

Výkon ST by měl být z vlastní nové rozvodny RSSZN – 6 kV přes seizmicky odolné vedení 6 kV vyveden do rozvodny patřící k SZN 1 – označené jako 1BV a 2BV (schéma v **Příloze F**).

V podkapitole 5.2.1 jsme už předdeslali, že je tento prostředek společně se stabilním DG finančně velmi náročný. Kromě samotného prostředku je potřeba vystavět bunkr s veškerým příslušenstvím. V neposlední řadě je úskalím samotný provoz takového zařízení, protože na našem území nejsou s vysokootáčkovou ST zkušenosti. Pozitivem je ale fakt, že by tato ST mohla být společná pro celou JE, tedy pro oba HVB, což by případnou výši investic mohlo výrazně snížit.

5.2.4 Staniční akubaterie

Výstavba staničních akubaterií v rámci SSZN je další z možností pro řešení situací SBO. V tomto případě by se ale nejednalo o napájení spotřebičů v rámci I. kategorie zajištěného napájení. Tyto spotřebiče jsou totiž pokryty ze staničních akubaterií v rámci jednotlivých SZN. Při SBO se nepředpokládá, že by došlo i k poškození místností s akubateriemi a střídači. Akubaterie v rámci SSZN by tak byly využity pro II. kategorii zajištěného napájení. Staniční akubaterie jsou zdroje s malým vnitřním odporem a velmi tvrdou charakteristikou. Z těchto prostředků je tak možné napájet spotřebiče jako SHNČ. Pokud bychom ale chtěli spotřebič jako SHNČ společně s několika dalšími, nezbytnými spotřebiči (přibližně 200 kW) provozovat alespoň po 8 hodin, byla by zapotřebí dvojice baterií o kapacitě 2000 Ah. Jedna taková staniční baterie má zkratový proud o velikosti $I_k = 20$ kA. Připočítáme-li k tomu ještě zkratový proud měniče, dostáváme se do oblastí, které už jdou velice těžko jistit stran výše zmíněných zkratových proudů.

S ohledem na současně zvolená napětí staničních akubaterií $U = 400$ V tam musí být nejdříve napětí přes střídače transformováno a následně vedeno na rozvodny 6 kV v rámci divizí SZN 1 – 1BV a 2BV (schéma v **Příloze F**).

Pořízení staničních akubaterií je spojeno i s pořízením střídačů a usměrňovačů (pro dobíjení) stejně jako i nutné vzduchotechniky pro chlazení tyristorových usměrňovačů. Nevýhodou této varianty je ale odolnost vůči elektromagnetickým rušením a to s ohledem právě na střídače a měniče nutné pro provoz akubaterií. Dalším negativem je i náročnost akubaterií na zkraty, kdy stejnosměrný zkratový proud, neprocházející nulou, se výkonovými prvky těžko vypíná. Zejména kvůli zkratovým proudům a jisticím prvkům je tento prostředek nevhodný pro naše účely.

5.2.5 Externí AAC

I když je pojem externí AAC zmíněn pro variantu DID 4.1, uvádíme tuto variantu taky pro DID 5.1 s jistou specifikací. Zatímco u DID 4.1. je předpoklad podání napětí z nejbližšího zdroje (elektrárny) přes funkční rozvodnu, v úrovni DID 5 lze předpokládat, že rozvodna není funkceschopná a nelze přes ni podat na VS bloku napětí. Pro DID 5 je tak předpoklad položení seizmicky odolné kabelové trasy mezi nejbližší elektrárnou a rozvodnou VS dané JE. S ohledem na fakt, že v blízkosti každé JE se nachází vodní elektrárna, lze předpokládat právě podání napětí z této velmi blízké elektrárny. Pokud bychom například mluvili o konkrétním příkladu EDU, je EMO a EDA vzdálena 3 km resp. 4,5 km, lze tak o kabelové trase uvažovat. Funkčnost tohoto spojení by pak byla přímo závislá právě na seizmicitě dané vodní elektrárny stejně jako i množství vody v nádrži. V takovém případě by musela být stanovena předpisem minimální rezerva, která je nutná právě k turbínovému provozu dané vodní elektrárny pro všechny bloky JE po dobu 72 hodin, tedy dopravení těžkých nouzových prostředků.

Vyvedení výkonu dané vodní elektrárny by bylo možné přímo na napěťové hladiny normálního venkovního vedení, přičemž kapacitní proudy dané kabelem na trase vodní elektrárna a R v JE by bylo třeba kompenzovat. V případě EDU by se tak jednalo o kabely na úrovni 400 kV stejně jako i RSSZN – 400 kV (schéma v **Příloze D, E, F**).

Finanční náročnost by ale byla enormní! Seizmická kabelová trasa na úrovni 400 kV by představovala obrovské finanční náklady, stejně jako transformátor v JE nutný k transformaci na úroveň 6,3 kV. Tato varianta se tak jeví jako nejvíce nevhodnou. Přesto, pokud je snaha tohoto velkého zdroje v dosahu EDU využít, existuje možnost přes seizmicky odolné kabelové vedení na úrovni 6 kV vyvést z vodní elektrárny výkon. Ať už pro lokalitu EDA-EDU nebo obecně

jakoukoliv JE spojenou s jejím vodním dílem, bylo by potřeba zřídit speciální rozvodnu v rámci vodní elektrárny na výše zmíněné úrovni 6 kV, což opět představuje vysokou finanční náročnost, o kabelové trase, kabelu a kompenzaci nemluvě. Pokud by však bylo možné toto propojení vodního díla a JE provést, je největším úskalím této varianty seizmicita vodní elektrárny (za předpokladů zajištění funkčních předpisů na vodní rezervu, viz. výše).

Další možností externího AAC je rozšíření možností RNVS a napájet tuto rozvodnu z více směrů. U lokality EDU je tato rozvodna napájena ze dvou stran, což už je samo o sobě dostačující. Bylo by ale možné přivést napětí ještě ze třetí strany, což by opět zvyšovalo pravděpodobnost funkčnosti alespoň jednoho vedení pro tento způsob napájení VS. V lokalitě EDU by tak bylo například možné do RNVS podat napětí z rozvodny Moravské Budějovice přes linku 110 kV. Vzhledem k vzdálenosti by se tak jednalo o venkovní vedení, které je v porovnání s kabelovou linkou sice náchylné na atmosférické vlivy, ale není tak finančně náročné, uvážíme-li i připravenost veškerých zařízení v rámci EDU.

Možností, jak obnovit napájení vlastní spotřeby EDU při SBO z AAC je řada. Většina z těchto řešení je ale vázána na nepříznivé vnější vlivy. V opačném případě se JE musí spoléhat jen sama na sebe a čerpat z interních zdrojů:

- *Obnovením napětí po vedení z rozvodny 110 kV z Oslavan.*
- *Obnovení napětí v RZSLA z Rakouska* – z rakouské rozvodny Dürnrrohr je podáno napětí do RZSLA.
- *Obnova napětí z EDA po vedení 110 kV* – podmínkou je provozuschopná EDA (v provozu či náběhu na VS) a RZSLA s minimálně jedním transformátorem 400/110 kV. Potom lze přes tuto rozvodnu podat napětí z generátoru v EDA do VS EDU.
- *Obnova napětí z EDA po vedení 400 kV* – podmínkou je provozuschopná EDA (v provozu či náběhu na VS) a RZSLA včetně vedení 400 kV odpovídajícímu bloku EDU se ztrátou zdrojů VS. Napětí se tak přivede po této lince z EDA přes RZSLA na blok EDU, který nemá zdroje na krytí VS.
- *Obnova napětí z bloku EDU přes rezervní přípojnice* – zreguluje-li alespoň jeden blok EDU na VS a je-li možné přivést napětí na blok EDU bez zdrojů VS přes rezervní přípojnice, může se tak učinit za předpokladu kontroly stabilního provozu zdrojového bloku (zregulovaného bloku na VS).
- *Obnova napětí z pracujícího bloku EDU přes RZSLA* – zreguluje-li alespoň jeden blok EDU na VS a je-li možné přivést napětí na blok EDU bez zdrojů VS přes provozuschopnou linku 400 kV a RZSLA, učiní se tak. Napětí na blok EDU bez zdrojů VS se tak přivede přes linku 110 kV z RZSLA. Pokud není k dispozici vedení 110 kV, přivede se napětí pomocí blokového vedení 400 kV.
- *Obnova napětí z DG přes přípojnice* – nezreguluje-li v EDU žádný blok na VS, je podáno napětí na bloky EDU bez zdrojů VS z DG jiného bloku přes přípojnice.

5.2.6 Změna konfigurace schématu JE

Změnou konfigurace schématu JE je míněna výstavba nových kabelových tras. Tyto trasy by pak měly zajistit propojení SSZN s divizemi SZN 4.1 a 4.2 na obou blocích v rámci HVB, aby došlo k oddělení jejich závislosti v kategorii zajištěného napájení III/II. od SZN 1 potažmo SZN 2. Tímto navrhovaným propojením by došlo jak k odlehčení zátěží kladených na DG v rámci SZN 1 a 2 tak i zvýšení spolehlivosti a zajištění funkceschopnosti spotřebičů v kategorii III/II. zajištěného napájení díky napájení ze dvou stran.

Propojení by bylo na úrovni 0,4 kV, tedy transformace z RSSZN – 6 kV na 0,4 kV a následně kabelem do příslušných rozveden – 1CP01, 1CP11, 2CP01, 2CP11. Druhou variantou je propojení z RSSZN – 0,4 kV (schéma v Příloze E, F). Při této variantě se počítá se sjednocením všech spotřebičů v rámci JE na napěťovou hladinu 0,4 kV a opuštění současně využívané
0,23 kV

Tato varianta nejde uskutečnit bez zdroje energie, kterým musí být některý z předchozích prostředků. Více méně se tak jedná o doplňkový prostředek a odpovídají tomu i finanční nároky - velmi malé, tedy pořízení kabelů a transformátoru.

5.2.7 Mobilní čerpadlo

U mobilního čerpadla by se už nejednalo o zdroj elektrické energie pro vnitřní zařízení HVB, ale jednalo by se například o mobilní požární stříkačku, kterou lze na místo dopravit a prostřednictvím které jde čerpat vodu bez závislosti na stavu sítě a stavu zařízení v BSK.

Takovéto zařízení má tak stejnou výhodu jako MDG, že v době události se může nacházet mimo tuto událost a je tak velká pravděpodobnost, že bude takové zařízení nepoškozené. Negativem je pak faktor dopravy na místě v případě seismicity, která může způsobit nemožnost včasného přistavení a spuštění.

V ostatních ohledech je ale tento prostředek velmi výhodný a lze tak s tímto prvkem počítat jako s poslední možností v případě, že selžou veškeré možné zdroje elektrické energie, ale i spotřebiče z jednotlivých bezpečnostních divizí. V tomto případě jsou zejména míněny čerpadla a SHNČ obecně.

6 KONCEPCE OPATŘENÍ PRO ZVLÁDNUTÍ SBO

6.1 Výběr koncepce

Pro přehlednost opatření a možností z předchozí kapitoly jsme shrnuli tyto možnosti do tabulky a ohodnotili v jakých aspektech má daná varianta pozitivum či obráceně negativum – viz. Tab. 6-1:

Tab. 6-1 Přehled možných prostředků pro lokalitu EDU.

Prostředky	U [kV]	P [MW]	Finanční náročnost	Seizmicita	EMI	F-ce
Kab. Trasy	0,4	-	+	+	+	modifikace provozu, zálohování, funkceschopnosti
Mob. Čerp.	-	0,08	+	+	+	zastoupení mobilního prostředku i SHNČ
Stab. DG	6,3	2,5	-	+	+	výkonově plnohodnotné zastoupení DG ze SZN
Mob. DG	0,4	3 x 0,2	+	+	-	podpůrný prostředek pro baterie, případně roztožení SHNČ
Externí AAC	6,3	480 (1,8)	--	+	+	výkonově plnohodnotné zastoupení AAC
Spal. Turb.	6,3	5,4	-	-	+	výkonově plnohodnotné zastoupení DG ze SZN
Stan. Aku.	0,4	0,2	-	+	-	podpůrný prostředek (po dobu 8 hodin)

Na základě prostředků a možností v předchozí kapitole jsme se rozhodli pro koncepci opatření pro zvládnutí SBO navrhnout následující (schéma v **Příloze E**):

- stavba stabilního DG pro jeden HVB,
- zajištění možnosti připojení MDG,
- zřízení seizmického propojení s vodní elektrárnou EDA na úrovni 6 kV,
- zřízení venkovního vedení s rozvodnou MB na úrovni 110 kV,

- propojení a zvýšení zálohování napájení pro SZN 4.1 a 4.2 na obou blocích daného HVB,
- zajištění MČ.

6.2 Návrh koncepce

Cílem koncepce a celkových úprav na HVB je akcentace prevence a zabránění přerodu SBO události v SA. Ať už při projektových či nadprojektových haváriích je tak kladen důraz zejména na prevenci. Z tohoto důvodu musí být navržené úpravy natolik robustní, aby byla zaručená funkčnost DID i v úrovni 5. a aby byly i nadále plněny fundamentální bezpečnostní funkce viz. kapitola 2.2.

Vytvoření nových BSK, které by byly v případě výpadku divizí bezpečnostních systémů schopny plnit fundamentální BF, je tak cílem této koncepce. Tyto BSK by se tak měly skládat ze spotřebičů jednotlivých divizí na RB a zejména nových zdrojů el. energie, viz. předchozí kapitola. V situaci, kdy jedna BSK není schopna plnit BF, musí vždy existovat další BSK, která bude funkceschopná, plnohodnotná a bude substituovat nefunkční BSK. Spotřebiče pro tyto nové BSK si lze podle schémat v příloze (D, E, F) vzít z divizí bezpečnostních systémů, zde konkrétně z první. Propojení v rámci BSK je ale variabilní a pro flexibilitu by bylo vhodné, aby zdroje ze SSZN bylo možné napojit na funkční spotřebiče a to v kterékoliv divizi.

6.2.1 Technické řešení koncepce

Pro zajištění požadované schopnosti zotavit se ze situací SBO typu Fukushima (DID 5.1) a zabránit v přechodu do SA jsme se rozhodli vystavět SSZN. Tento systém by měl být alokován do odolného bunkru v rámci HVB JE. Od daného HVB by měl být ale dispozičně co nejdál v rámci prostoru JE. Úpravy na HVB včetně zřízení SSZN by měly být následující:

- Odolný bunkr, chránící všechna uvnitř alokovaná zařízení proti EMI jako i dalším atmosférickým vlivům.
- R – 6 kV napojená pomocí kabelového, seizmicky odolného vedení na rozvodny 1BV a 2BV v rámci HVB.
- R – 0,4 kV pro možnost připojení pomocí kabelových propojek tří MDG, každý o výkonu 0,2 MW.
- R – 6 kV pro přivedení výkonu z EDA prostřednictvím seizmicky odolného kabelového vedení.
- RNVS – 110 kV rozšířit o možnost napojení vedení z rozvodny MB.
- Transformátor 6 / 0,4 kV.
- Stabilní DG o výkonu 2,5 MW na napětí 6 kV.
- MDG v provedení hybridních autobusů o výkonu 0,2 MW a výstupním napětí 0,4 kV.
- Kabelové vedení na napěťové hladině 110 kV z R Moravské Budějovice do RNVS.
- Kabelové vedení na napěťové hladině 6 kV z RSSZN – 6 kV na rozvodny SZN 1 daného bloku, nesoucí v EDU označení 1BV a 2BV.

- Kabelové vedení na napěťové hladině 0,4 kV R - 0,4 kV na spotřebiče napájené ze SZN 4.1 a 4.2 tedy rozvodny 1CP01, 1CP11, 2CP01, 2CP11.
- Kabelové vedení na napěťové hladině 6 kV z RSSZN – 6 kV do rozvodny EDA.
- Armatury pro možnost připojení MČ.
- Výstavba ventilátorové věže.

6.2.2 Postupy při řešení SBO

Při situacích, jakými je SBO typ Fukushima (DID 5.1), by měl být i stanoven princip, podle kterého budou prostředky ze SSZN nasazovány, stejně jako i zásady použití, resp. scénáře. Principiálně by se mělo postupovat od více robustního zdroje k méně robustnímu, tedy od zdroje, který se bude snad nasazovat, bude provozně méně náročný až po zdroj s většími požadavky na obsluhu při nasazení. Jedná se tedy o následující varianty zdrojů:

1. Nasazení stabilního DG bunkrového typu, ze SSZN.
2. Pokus o podání napětí z externího AAC (EDA/R-MB) přes kabelové vedení 6 kV nebo 110 kV.
3. Připojení MDG k rozvodně 0,4 kV a pokus o nastartování SHNČ pro odvod tepla z AZ daného bloku.
4. Připojení MČ k připraveným armaturám a chlazení AZ bez použití SHNČ.

Kombinace poruch a výpadků u těchto výše zmíněných zdrojů pro situace DID 5.1 jsou uvedeny v další kapitole jako jednotlivé scénáře.

6.2.3 Výpomoc ze sousedního HVB

Tato diplomová práce si dala za cíl zpracování koncepce pro reaktorový dvojblok, tedy pro jeden HVB. V lokalitě Dukovan máme ale k dispozici dva HVB, které jsou schopny si vzájemně vypomocet díky existujícím propojením. S ohledem na blízkost těchto staveb je ale velmi pravděpodobné že celkový SBO z kategorie DID 5.1. na HVBI by byl i na HVBI vzájemná pomoc by tak byla nemožná a proto se zaměřujeme dále pouze na jeden HVB, který musí být schopen zotavit se z takové situace sám, bez přispění sousedního HVB.

V případě úvahy kooperace a vzájemné výpomoci mezi HVBI a II lze ale uvést, že taková spolupráce je určitě realizovatelná. Pomocí magistrály přípojnic je možné se spojit na úrovni 6 kV mezi jednotlivými HVB a vypomocet si v případě přebytku energie na jednom HVB a nedostatku na druhém. Obecně lze tedy říct, že větší zdroje ať už ze SZN či nově zřízeného SSZN si mohou půjčit kapacitu po linkách 6 kV. Malé zdroje mají zase výhodu mobility a lze je namísto k HVBI dopravit na sousední HVB a teprve tam využít.

Dva sousedící HVB tak mají obecně daleko větší variabilitu výpomoci a pravděpodobnosti, že alespoň na jednom HVB budou zdroje energie funkční a bude možnost podat napětí na sousední HVB a tím tak vypomocet v případě nedostatku či nefunkčnosti námi navrhovaných úprav.

6.3 Scénáře při DID 5.1

Pro podmínky níže popisovaných scénářů vycházíme z předchozí kapitoly 4.2, SBO tak zasáhlo celý HVBI a II. K dispozici tedy nejsou DG ze SZN a není k dispozici ani vnější síť. U těchto scénářů se nadále počítá s realizací a vypořádáním dané situace v rámci HVBI. I když je v lokalitě EDU k dispozici i HVBI, zaměřujeme se na schopnost samotného HVB zvládnout výše zmíněnou situaci bez pomoci jiného HVB.

6.3.1 Scénář I

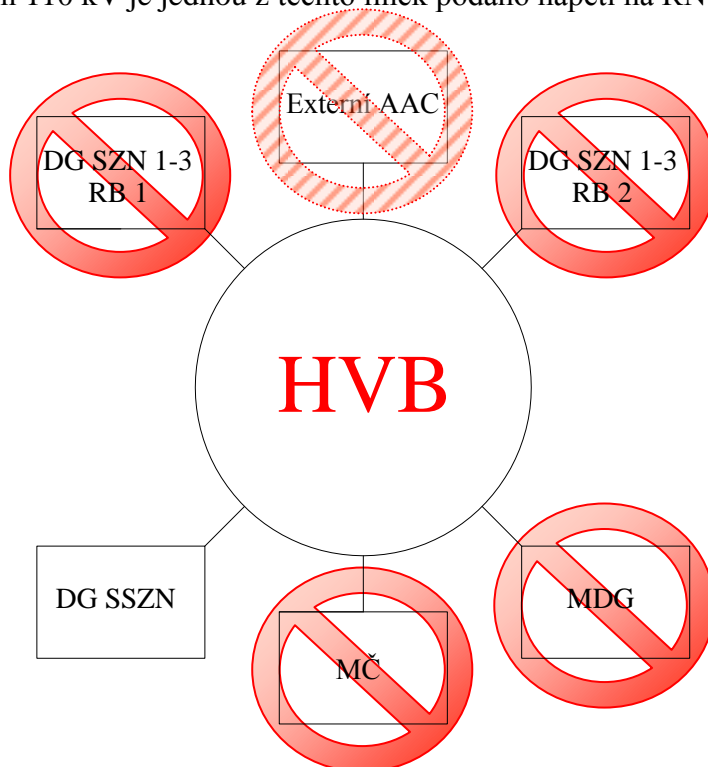
V tomto scénáři se předpokládají již výše zmíněné podmínky. Současně se ale uvažuje s rychlým zotavením vnější sítě a s možností podání napětí na bloky právě ze sítě.

Mimo provoz:

- DG SZN 1 až 3 celého HVB,
- dočasně je mimo provoz externí AAC,
- MDG se nepodařilo dopravit/připojit/přifázovat,
- MČ se nepodařilo dopravit/připojit.

Postup:

- Pod napětím zůstávají spotřebiče v kategorii I. a III/I. zajištěného napájení. Spotřebiče jsou napájeny z nepoškozených staničních akubaterií.
- DG ze SSZN, bunkrového typu, je k dispozici a je schopen zásobovat větší spotřebiče energií na úrovni 6 kV.
- Vnější síť se poměrně rychle zotavila z SBO a díky třem možným vedením k RNVS přes vedení 110 kV je jednou z těchto linek podáno napětí na RNVS.



Obr. 6-1 Schéma zdrojů a prostředků pro HVB ve scénáři I.

6.3.2 Scénář II

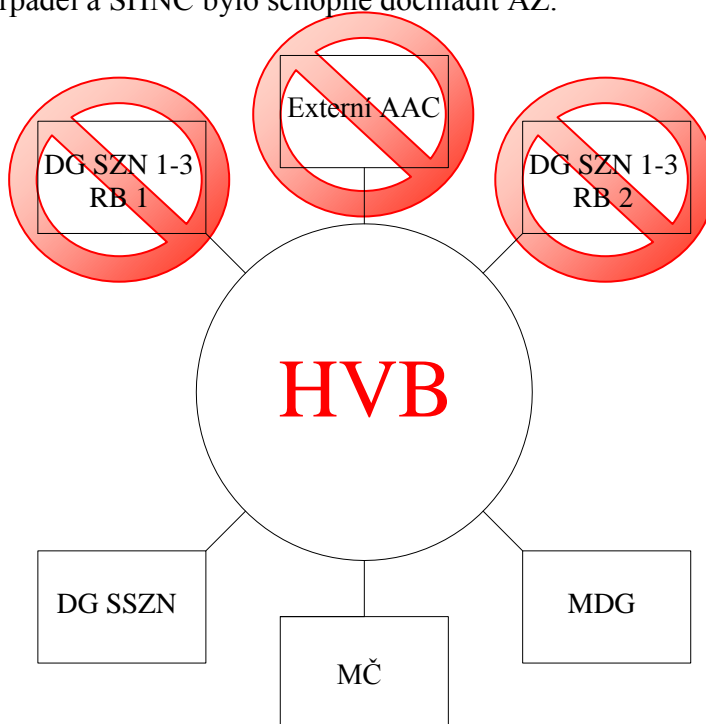
Po SBO na vnější síti se nepočítá s jejím brzkým zotavením a je nutné se spoléhat pouze na vnitřní zdroje JE

Mimo provoz:

- DG SZN 1 až 3 celého HVB,
- všechny možnosti externího AAC jsou nedostupné,
- zdroj EDA je mimo provoz.

Postup:

- Pod napětím zůstávají spotřebiče v kategorii I. a III/I. zajištěného napájení. Spotřebiče jsou napájeny z nepoškozených staničních akubaterií.
- DG ze SSZN, bunkrového typu, je k dispozici a je schopen zásobovat větší spotřebiče energií na úrovni 6 kV.
- Podařilo se přivést/připojit/přifázovat MDG, ze kterých je na úrovni 0,4 kV možné zásobovat spotřebičem NN v potřebných BSK, zejména pak k dobíjení staničních akubaterií.
- Společně s MDG se na místo podařilo dopravit a připojit MČ, které by v případě selhání čerpadel a SHNČ bylo schopné dochladiť AZ.



Obr. 6-2 Schéma zdrojů a prostředků pro HVB ve scénáři II.

6.3.3 Scénář III

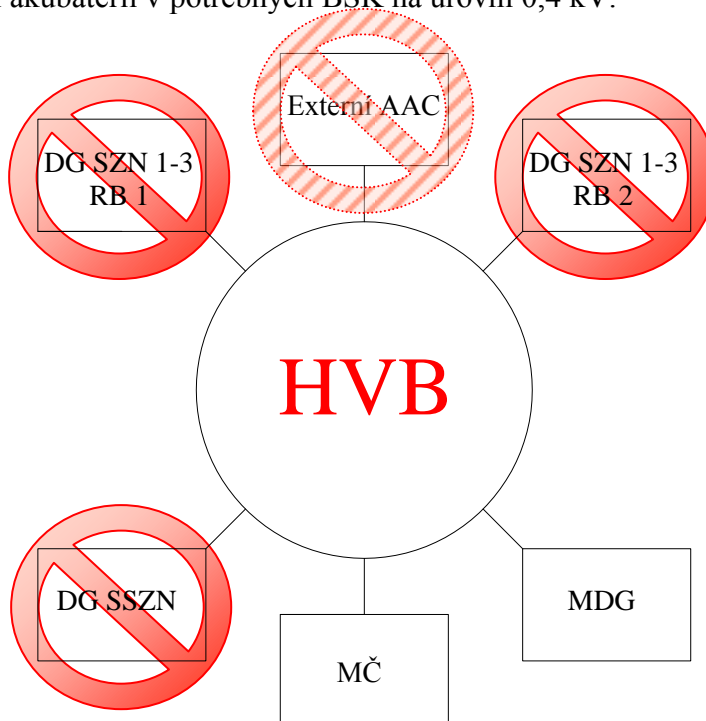
Kromě nefunkčních DG na HVB je i porucha na DG ze SSZN. Předpokladem je ale poměrně rychlé zotavení sítě po SBO a možnosti podat napětí z externího AAC.

Mimo provoz:

- DG SZN 1 až 3 celého HVB,
- dočasně je mimo provoz externí AAC,
- DG ze SSZN hlásí poruchu.

Postup:

- Pod napětím zůstávají spotřebiče v kategorii I. a III/I. zajištěného napájení. Spotřebiče jsou napájeny z nepoškozených staničních akubaterií.
- Podařilo se přivést/připojit/přifázovat MDG s cílem uvést do provozu SHNČ na jednotlivých blocích a odvádět zbytkové teplo z AZ.
- Společně s MDG se na místo podařilo dopravit a připojit MČ, které by v případě selhání čerpadel a SHNČ bylo schopné dochladit AZ.
- Vnější síť se poměrně rychle zotavila z SBO a díky třem možným vedením k RNVS přes vedení 110 kV je jednou z těchto linek podáno napětí na RNVS.
- Po podání napětí z externích AAC je možné převést energii z MDG na dobíjení staničních akubaterií v potřebných BSK na úrovni 0,4 kV.



Obr. 6-3 Schéma zdrojů a prostředků pro HVB ve scénáři III.

7 ZÁVĚR

Už před událostmi ve Fukushima v roce 2011 bylo zřejmé, že bezpečnost v jaderných elektrárnách je potřeba posílit, přijít s alternativními zálohami současných bezpečnostních skupin, aby došlo k zotavení reaktorového bloku i po neprojektových haváriích. Právě březen roku 2011 ve Fukushima ukázal, jaké kombinace situací a havárií můžou ve stejnou chvíli nastat a určil tak nový směr, kterým by se jaderná bezpečnost měla ubírat. Zatímco reaktory nové generace III+ již mají řadu pasivních systémů, které jsou bez dodání vnější energie schopny odvést zbytkové teplo z aktivní zóny, u drtivé většiny reaktorů, které jsou v současné době na světě v provozu, představují tyto pasivní systémy až příliš vysokou finanční náročnost a v některých případech nejsou ani realizovatelné. Právě z tohoto důvodu je potřeba u současných reaktorů posílit zdrojovou část, která bude schopna uvést do chodu spotřebiče, které jsou potřeba pro zabezpečení fundamentálních bezpečnostních funkcí.

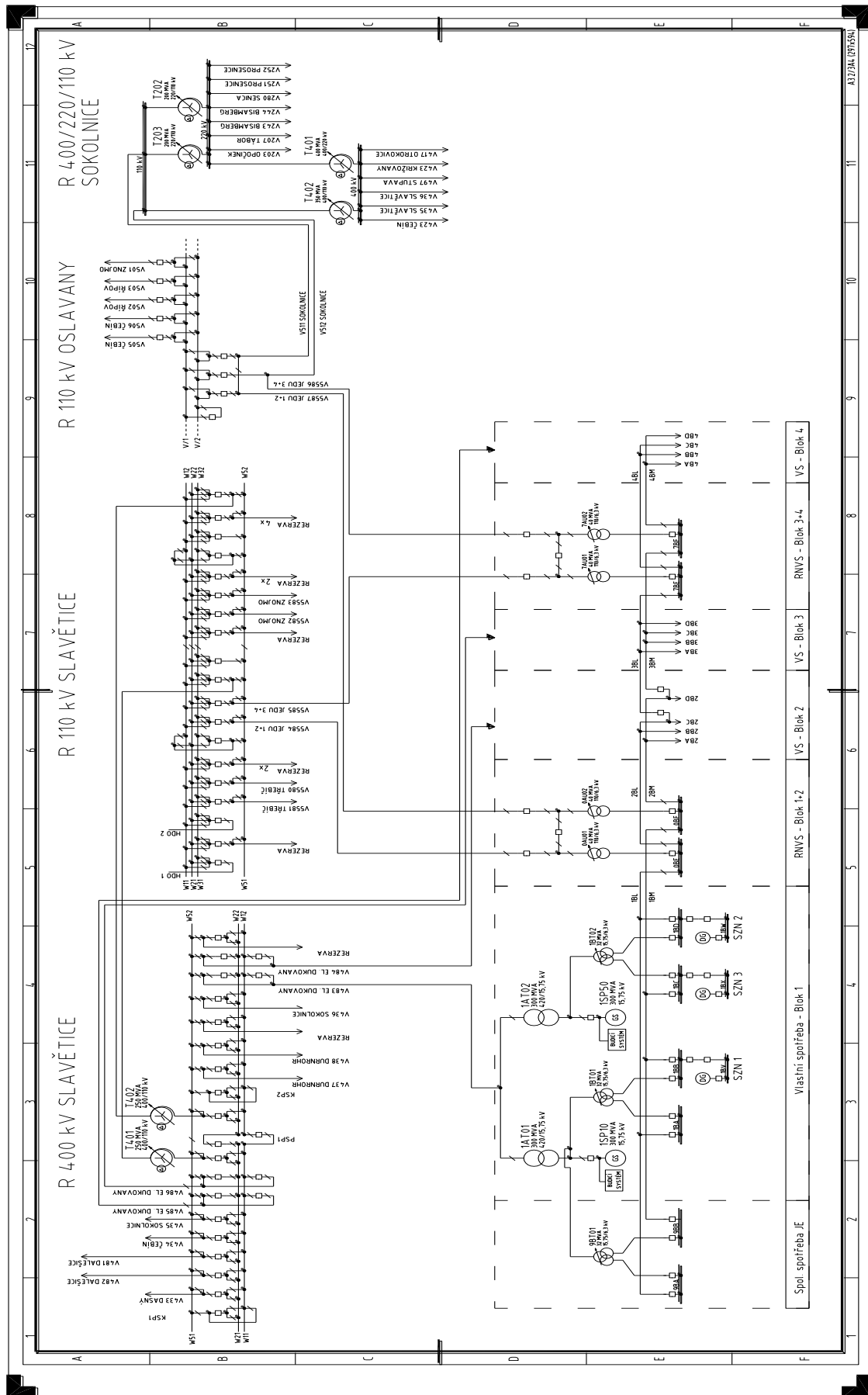
V první části této práce, ve které se věnujeme zejména zavedení pojmů a objasnění současného stavu divizí bezpečnostních systémů, celkového napojení jaderné elektrárny na elektrizační soustavu, jsme na rozdíl od ostatních prací přistoupili odlišně k definici hloubkové ochrany. Tato práce zastává názor, že je více než nutné vyčlenit události jako je Fukushima, do nového stupně hloubkové ochrany a tuto úroveň v současné době akcentovat. V kapitole 2 je tak podrobně rozepsán přístup k takovýmto událostem a nutnost posílení hloubkové ochrany při událostech tohoto typu. Tato změna hloubkové ochrany pak reflektuje změny v definici SBO na jaderné elektrárně o dvou blocích, která je odlišná od definice před rokem 2011. SBO v období PO Fukushima tak jasně deklaruje, které kombinace situací mohou nastat a z těchto situací lze odvodit, které prvky je třeba do bezpečnostních skupin přidat, aby byl blok, resp. celý hlavní výrobní blok schopen zotavení z těchto situací a nedošlo k přechodu v těžkou havárii.

Tato diplomová práce předkládá, na základě výše zmíněných definic, fakta, která je potřeba respektovat, aby byly i v těchto nadprojektových situacích plněny fundamentální bezpečnostní funkce. Z návrhů, alternativ možných řešení, které lze ve vztahu k současným reaktorům uvažovat jsme hodnocením vybrali ty nejefektivnější jak z pohledu technického tak i ekonomického. Přínosem této práce je tak zejména její koncepce. Posílení současných bezpečnostních skupin vytvořením nových skupin a prvků, které budou i v situacích podobných Fukushima schopny odolat vnějším i vnitřním vlivům a zabránit situaci jako je SBO v přechodu do těžké havárie. Zvláštní důraz je v této práci kladen zejména na mobilní prostředky a to jak mobilní čerpadla, tak i mobilní diesel generátory, přičemž tato práce nastiňuje, jakou koncepci by bylo možné zvolit v oblasti mobilních diesel agregátů. Zároveň jsou v této práci zmíněny i situace, ve kterých by mohlo dojít k výpadku doplněných a nově zřízených prvků. I v takovém případě by ale byl hlavní výrobní blok schopen zotavení a zabránění přerodu v těžkou havárii.

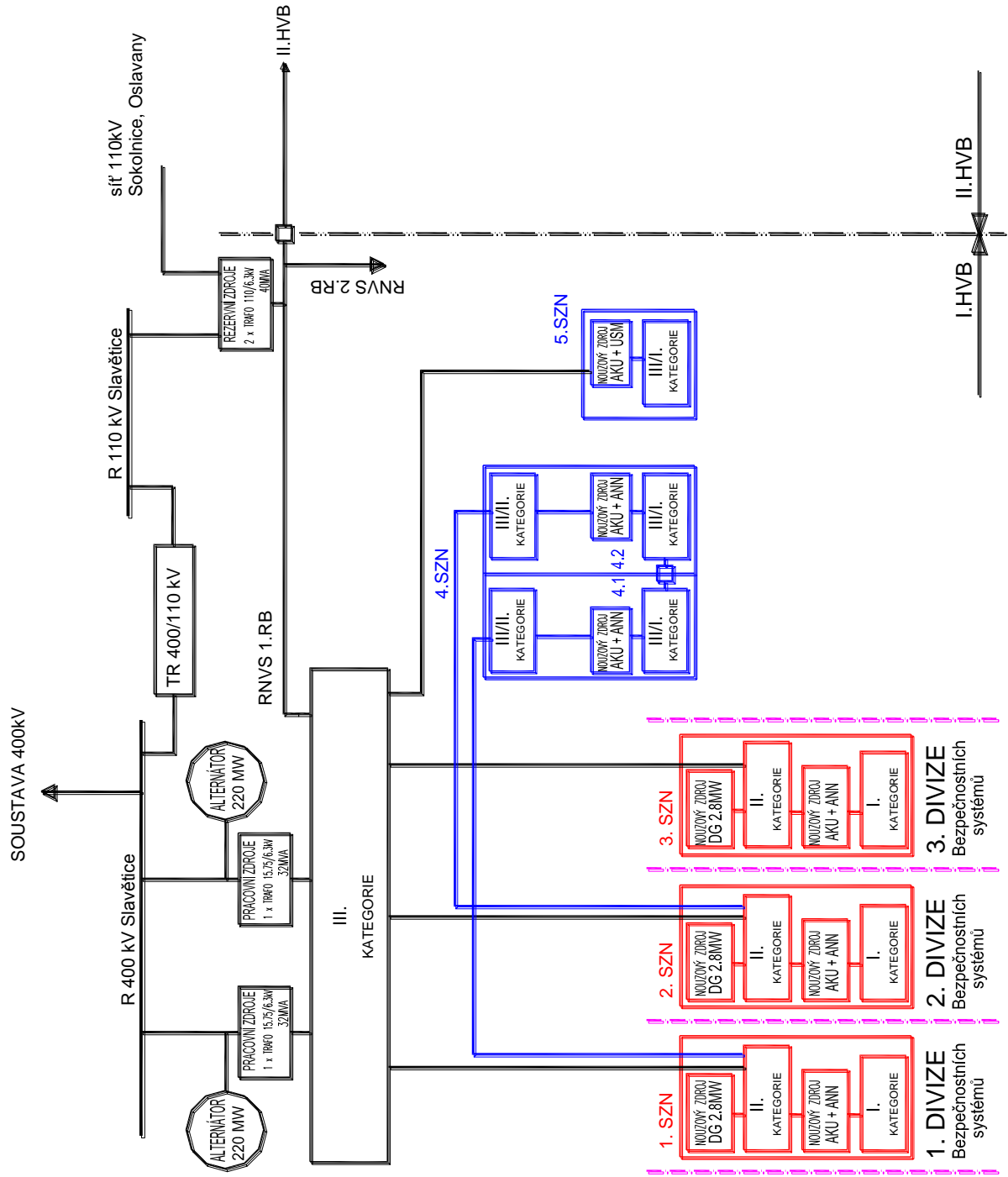
POUŽITÁ LITERATURA

- [1] STANÍČEK, J., ANDĚL, J., ČEMUS, J.: WP 04.1 Revize a dopracování Úvodního projektu pro MO34 B - Souhrnná technická zpráva: Koncepce bezpečného provozu jaderné elektrárny, F, ÚJV ŘEŽ A.S. - DIVIZE ENERGOPROJEKT PRAHA, Praha, 2008, 53 s.
- [2] ANDĚL, J., ANTOŠ, P., BERÁNEK, J., FAJGL, P., KABELÁK, J., SVOBODA, T.: WP 04.1 Revize a dopracování Úvodního projektu pro MO34 C - Technologická část - Společná dokumentace elektrotechnické části: Technická zpráva, F, ÚJV ŘEŽ A.S. - DIVIZE ENERGOPROJEKT PRAHA, Praha, 2008, 72 s.
- [3] SÝKORA, M. PpBZ EDU, revize 2 – Elektrické systémy: Vnější elektrické systémy. 06. Praha, 2009, 106 s.
- [4] SÝKORA, M. PpBZ EDU, revize 2 – Elektrické systémy: Elektrické systémy v elektrárně. 06. Praha, 2009, 203 s.
- [5] Národní zpráva „Zátěžové zkoušky“ JE Dukovany a JE Temelín, ČR, Hodnocení bezpečnosti a bezpečnostních rezerv ve světle havárie JE Fukushima, SÚJB, Revize 1 – 03/2012, Praha, 301 s.
- [6] KADLEC a kolektiv: Realizace opatření vyplývajících ze Stress testů - Technická zpráva: Koncepční projekt, F, ÚJV ŘEŽ A.S. - DIVIZE ENERGOPROJEKT PRAHA, Praha, 2012, 31 s.
- [7] ŠŤASTNÝ a kolektiv: Opatření ze závěrů Stress testů - Technická zpráva: Koncepční projekt, F, ÚJV ŘEŽ A.S. - DIVIZE ENERGOPROJEKT PRAHA, Praha, 2012, 78 s.

Příloha A Přehledové schéma zapojení EDU do ES [3]



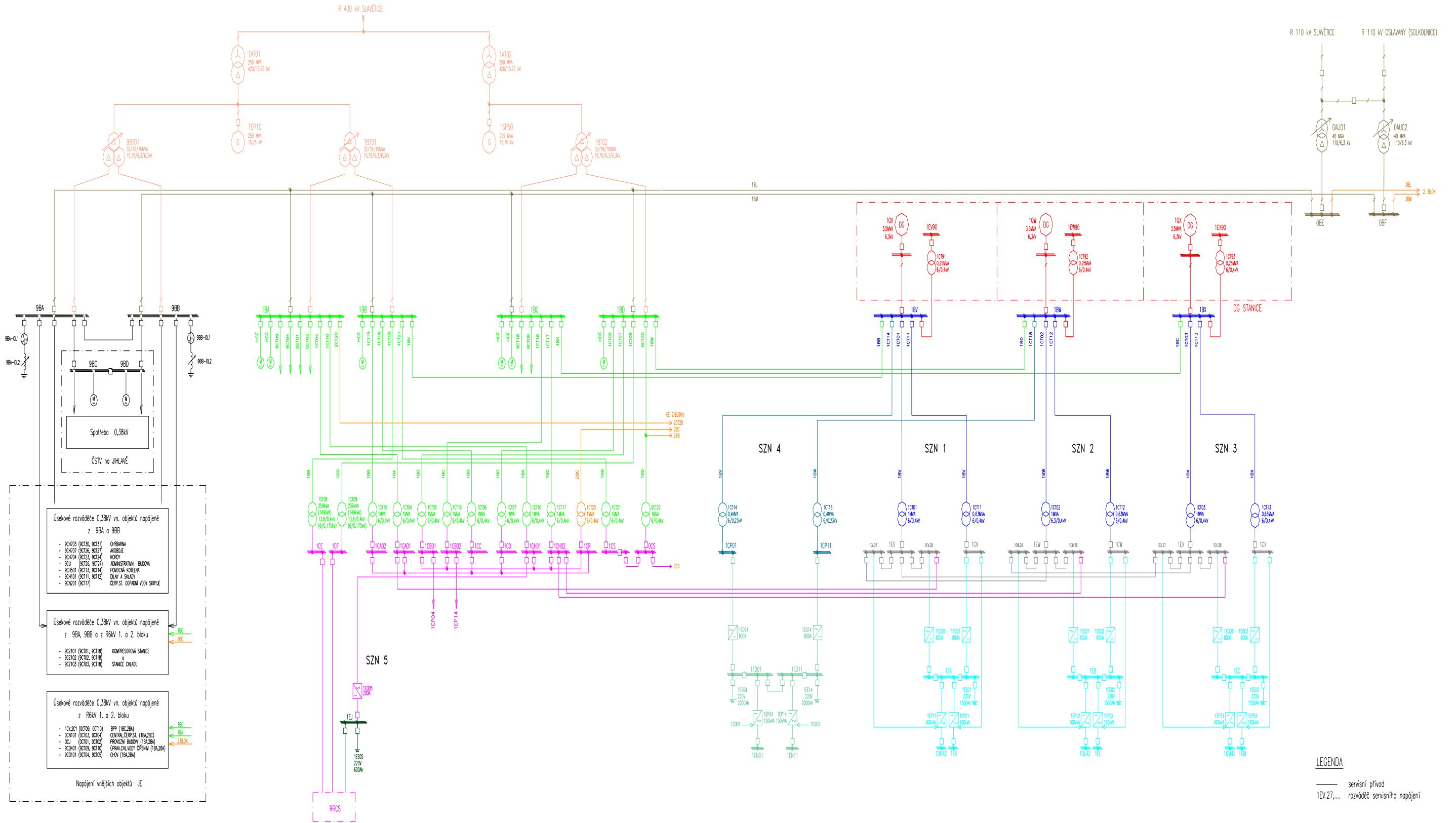
Příloha B Ideové schéma zdrojů a sítí EDU [4]



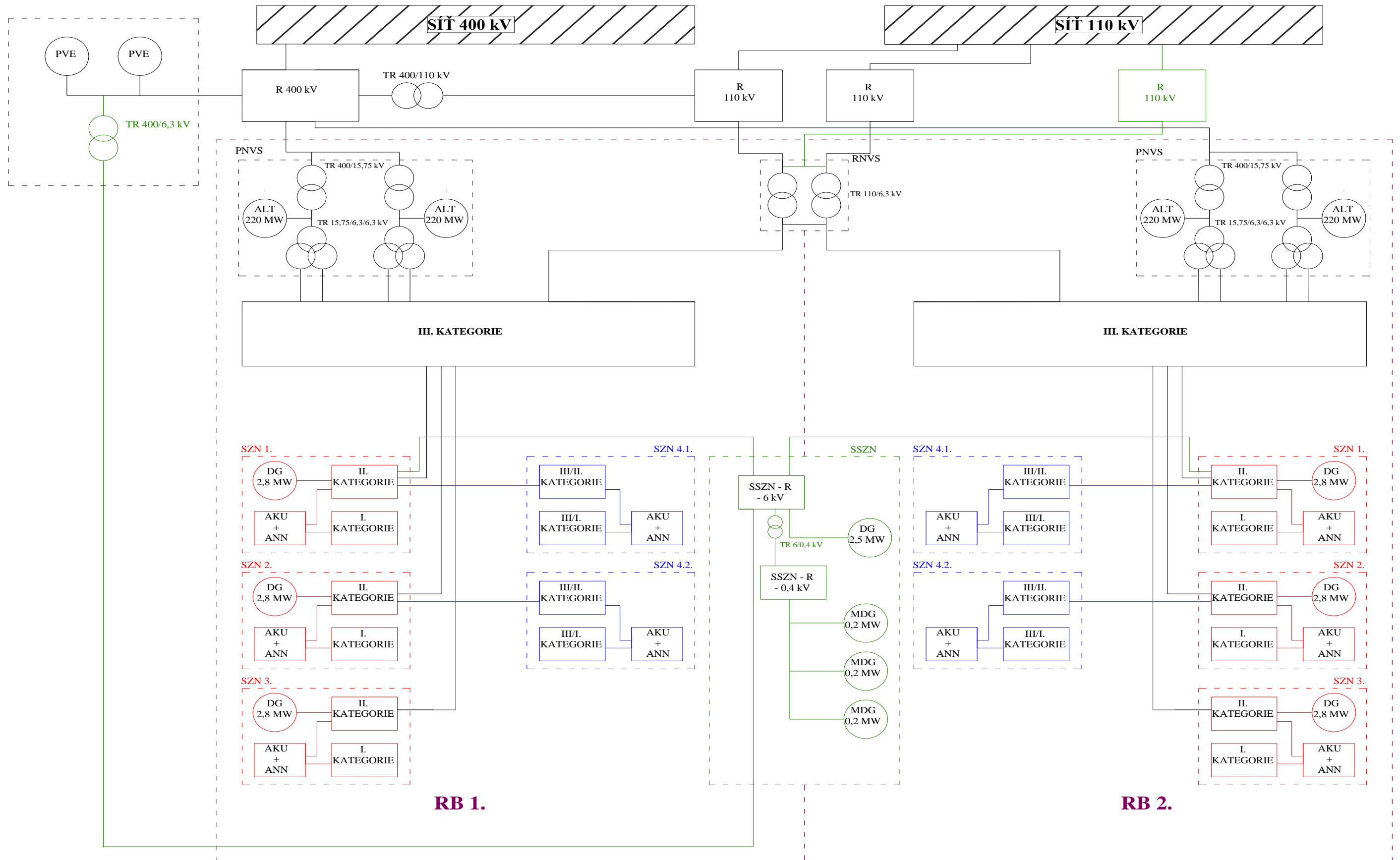
Přiznání napájecích systémů a zařízení k rozvodným sítím

	BEZPEČNOSTNÍ SYSTÉMY	SYSTÉMY SOUVISEJÍCÍ S BEZPEČNOSTÍ	NEDŮLEŽITÉ SYSTÉMY
III. kateg.			D1, D2, N
III/II. kateg.			
III/I. kateg.		D11	D11
II. kateg.	D12	D12	D12
I. kateg.	D11	D11	D11

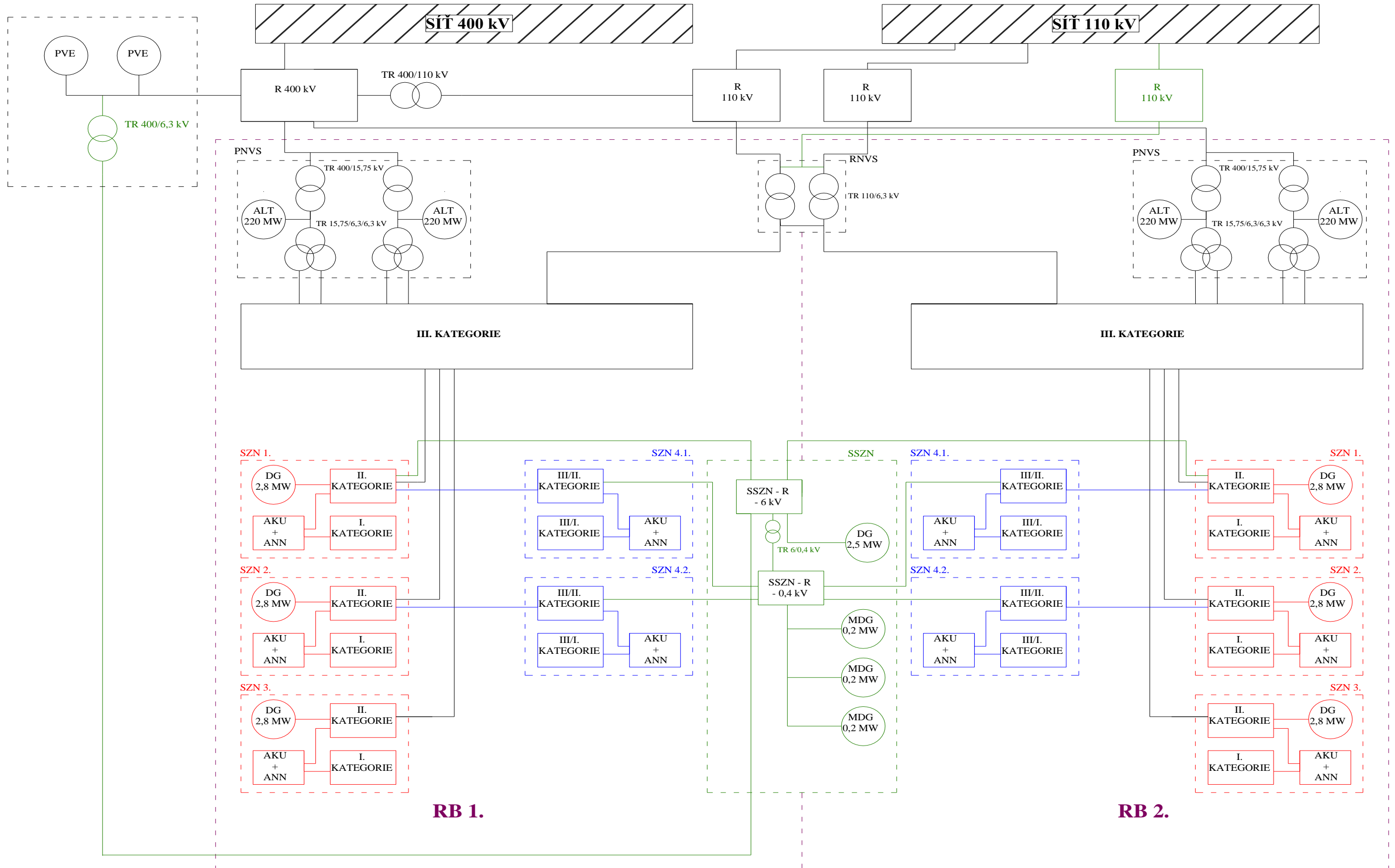
Příloha C Elektrické schéma bloku EDU [4]



Příloha D Navrhované schéma úprav, varianta I



Příloha E Navrhované schéma úprav, varianta II



Příloha F Navrhované schéma úprav, varianta III

