

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Pedagogická fakulta – Katedra aplikované fyziky a techniky

Zajištění havarijního napájení jaderné elektrárny

Diplomová práce

Vedoucí práce: Ing. Michal Šerý

Autor: Bc. Jiří Rozmiler

Anotace

Práce „Zajištění havarijního napájení jaderné elektrárny“ popisuje jakým způsobem je řešena vlastní spotřeba jaderné elektrárny, jak je koncipováno havarijní napájení a jak by mělo probíhat řešení známých havarijních stavů, majících bezprostřední vliv na napájení vlastní spotřeby jaderné elektrárny.

Cílem této diplomové práce je navrhnout možnosti posílení havarijního napájení vlastní spotřeby jaderné elektrárny, dalo by se říci z odolnění vůči nepříznivým extrémním vlivům, které by mohly vést ke ztrátě pracovního, rezervního a nouzového zdroje, tzn. ke stavu nazývaného Station Black Out (SBO) – úplná ztráta napájení.

Dále tato práce obsahuje výpočty zkratových poměrů havarijního zdroje uvažovaného jako posílení, dále výpočet rozběhu nejtěžšího pohonu a shrnutí celkových dopadů navrhovaného z odolnění.

Klíčová slova: jaderná elektrárna, vlastní spotřeba, havarijní napájení, pracovní zdroj, rezervní zdroj, nouzový zdroj, úplná ztráta napájení.

Abstract

Work "Providing emergency power nuclear power plant" describes how solving their own consumption nuclear power plant, as emergency power supply is designed and how it should be a solution of known states of emergency, having an immediate impact on the power consumption of their own nuclear power plants.

The aim of this thesis is to propose options to strengthen its own emergency power consumption of nuclear power plants, one might say-more resistant to harsh extremes, which could lead to loss of employment, reserve and emergency power, that is the condition called Station Black Out (SBO) - total loss of power.

The work also includes calculations of short-circuit ratios emergency resources considered as strengthening, as well as the calculation of acceleration heaviest drive and a summary of the overall impacts of the proposed hardening.

Keywords: nuclear power, private consumption, emergency power supply, labor supply, reserve power, emergency power, complete loss of power.

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě Pedagogickou fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

15.4 2013

.....
Jiří Rozmiler

Děkuji Ing. Michalu Šerému za odborné vedení, cenné rady a připomínky při vypracování mé diplomové práce. Dále bych rád poděkoval svým kolegům Ing. Vladislavu Dohnalovi a Ing. Martinovi Dvořákovi za poskytnuté podněty a podporu.

Obsah

Úvod.....	- 7 -
1 Havárie v jaderných elektrárnách.....	- 8 -
1.1 Kritéria pro klasifikaci havárie JE.....	- 8 -
1.2 Nehody a havárie JE ve světě.....	- 9 -
1.3 Popis havárie a její vývoj v JE Jaslovské Bohunice A-1.....	- 10 -
1.4 Popis havárie a její vývoj v JE Three Mile Island 2.....	- 11 -
1.5 Popis havárie a její vývoj v JE Černobyl.....	- 15 -
1.6 Popis havárie a její vývoj v JE Fukushima Daiichi.....	- 20 -
2 Vlastní spotřeba jaderné elektrárny.....	- 26 -
2.1 Hlavní zásady pro tvorbu schématu napájení vlastní spotřeby.....	- 26 -
2.2 Kategorie pohonů.....	- 27 -
2.3 Zdroje napájení.....	- 28 -
2.3.1 Pracovní zdroje:.....	- 28 -
2.3.2 Rezervní zdroje:.....	- 29 -
2.3.3 Havarijní zdroje:.....	- 29 -
2.4 Normální napájení vlastní spotřeby.....	- 30 -
2.4.1 Normální napájení.....	- 30 -
2.4.2 Systém zajištěného napájení II. kategorie (ZN II.).....	- 32 -
2.4.3 Systém zajištěného napájení I. kategorie (ZN I.).....	- 33 -
2.4.4 Systém zajištěného napájení III. / II. kategorie (ZN III. / II.).....	- 36 -
2.4.5 Systém zajištěného napájení III. / I. kategorie (ZN III. / I.).....	- 38 -
3 Koncepce havarijního napájení jaderné elektrárny.....	- 40 -
3.1 Havarijní zdroje.....	- 40 -
3.1.1 Dieselgenerátory.....	- 40 -
3.1.2 Akubaterie.....	- 41 -
3.2 Napájení systému ochran reaktoru (SOR).....	- 41 -
4 Známé havarijní stavy v napájení jaderné elektrárny.....	- 43 -
4.1 Station Black Out.....	- 43 -
4.1.1 Dochlazování bloku v podmínkách Station Black Out.....	- 43 -
4.1.2 Řešení Station Black Out v podmínkách ETE.....	- 44 -
4.1.3 Navrhovaná opatření v podmínkách JE Temelín.....	- 45 -
4.2 Schémové automatiky.....	- 46 -
4.3 Elektrické ochrany.....	- 47 -
5 Možnosti posílení havarijního napájení jaderné elektrárny.....	- 48 -
5.1 Hlavní změny v projektové bezpečnosti JE Temelín.....	- 48 -
5.2 Z odolnění havarijního napájení JE Temelín po havárii JE Fukushima Daiichi.....	- 49 -
5.3 Návrh nového řešení Station Black Out v podmínkách JE Temelín.....	- 52 -
6 Výpočet zkratových poměrů nového havarijního zdroje.....	- 54 -
6.1 MVE a ČS Hněvkovice.....	- 54 -

6.2	Návrh nového havarijního zdroje	- 56 -
6.3	Všeobecné zásady pro výpočet zkratových poměrů	- 59 -
6.4	Zkratové poměry nového havarijního zdroje.....	- 61 -
6.5	Kontrola na rozběh nejtěžšího pohonu	- 70 -
6.6	Podmínky a předpoklady pro samonajíždění z MVE Hněvkovice.....	- 76 -
	Závěr.....	- 77 -
	Zkratky.....	- 79 -
	Použité prameny a literatura.....	- 81 -

Úvod

Inspirací pro vznik této práce byla havárie v jaderné elektrárně Fukushima Daiichi (Japonsko, ostrov Honshu) 11. 3. 2011 kde vlivem zemětřesení a následně tsunami došlo k poškození havarijního napájení reaktorových bloků 1, 2, 3.

Práce v kapitole jedna popisuje jak příčiny havárie, tak její vlastní vývoj včetně podrobného popisu poškození a omezené funkčnosti bezpečnostních systémů napájených z havarijních zdrojů, které jsou určeny právě pro tyto případy. Dále jsou zde popsány havárie v JE Jaslovské Bohunice A1, Three Mile Island a Černobyl s jejich dopady.

V dalších kapitolách popisují jakým způsobem je řešena vlastní spotřeba jaderné elektrárny, jak je koncipováno havarijní napájení a jak by mělo probíhat řešení známých havarijních stavů, majících bezprostřední vliv na napájení vlastní spotřeby jaderné elektrárny. V těchto kapitolách by měl získat čtenář – laik ucelenou informaci o tom jakým způsobem je projektována vlastní spotřeba jaderné elektrárny, jakým způsobem je realizováno zálohování elektrických zdrojů až po havarijní zdroje.

Na základě události v jaderné elektrárně Fukushima Daiichi, konkrétně reaktorových blocích 1, 2 a 3 jsem si dal za cíl své diplomové práce navrhnout možnosti posílení havarijního napájení vlastní spotřeby jaderné elektrárny vůči nepříznivým - extrémním vlivům, které by mohly vést ke ztrátě pracovního, rezervního a nouzového zdroje, to znamená k úplné ztrátě napájení Station Black Out (SBO).

V závěrečné části jsou obsahem práce vlastní výpočty zkratových poměrů havarijního zdroje uvažovaného jako posílení, dále pak výpočet rozběhu nejtěžšího pohonu a shrnutí celkových dopadů navrhovaného z odolnění.

1 Havárie v jaderných elektrárnách

1.1 Kritéria pro klasifikaci havárie JE

Pro klasifikaci událostí v jaderných elektrárnách slouží mezinárodní stupnice s názvem INES (The International Nuclear Event Scale) což je osmistupňová škála, zavedená v roce 1990 pro posuzování poruch a havárií jaderných zařízení. Zavedly ji Mezinárodní agentura pro atomovou energii – MAAE (anglická zkratka IAEA) a Agentura pro jadernou energii - NEA [11].

Kritéria pro hodnocení dle INES:

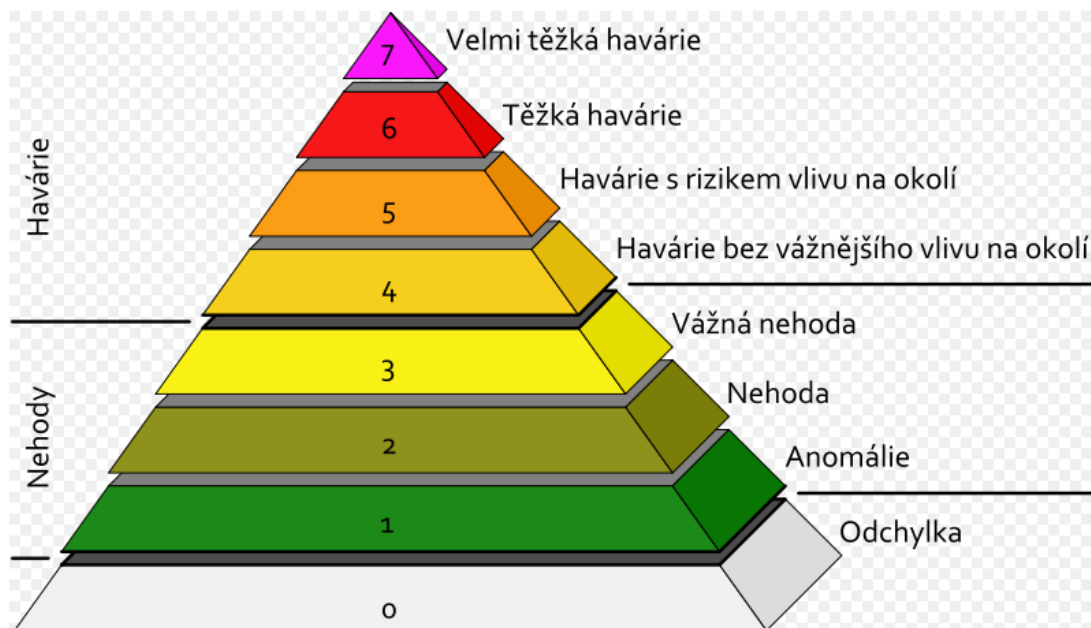
- Dopad na životní prostředí
- Úroveň poškození zařízení a zasažení pracovního prostředí uvnitř elektrárny
- Dopad na bezpečnostní systémy

Stupnice hodnocení dle INES:

0. **Odchylka** (Deviation, no safety relevance) funkční nebo provozní nepředstavuje riziko, ale odhaluje nějaký nedostatek

1. **Anomálie** (Anomaly) technická porucha nebo odchylka od schváleného režimu, ale s plně funkční zbývající hodnotnou ochranou
2. **Nehoda** (Incident) neovlivňuje bezpečnost, ale může vést k následnému přehodnocení bezpečnostních opatření
3. **Vážná nehoda** (Serious incident) únik radioaktivity mimo elektrárnu, ale nejsou třeba zvláštní opatření

4. **Havárie bez vážnějšího vlivu na okolí** (Accident without off-site risk) částečné poškození AZ reaktoru, ozáření pracovníků, únik radioaktivity mimo elektrárnu bez potřeby zvláštních opatření
5. **Havárie s rizikem vlivu na okolí** (Accident with off-site risk) velká část AZ reaktoru poškozena, únik radioaktivity mimo elektrárnu, opatření podle místních havarijních plánů
6. **Těžká havárie** (Serious accident) únik biologicky významných radionuklidů mimo elektrárnu, komplexní využití havarijních plánů
7. **Velmi těžká havárie** (Major accident) největší možná havárie, velký únik biologicky významných radionuklidů mimo elektrárnu, možnost okamžitých zdravotních následků, dlouhodobé následky pro životní prostředí



Obrázek č.1 Stupnice INES pro hodnocení jaderných a radiačních událostí – převzato z [11]

1.2 Nehody a havárie JE ve světě

Od uvedení do provozu prvních jaderných zařízení (1942, první řízená štěpná reakce) ke dnešku došlo k mnoha nehodám a haváriím s různými důsledky a dopady jak na životní prostředí, tak pro segment jaderného odvětví. Pro představu uvádím příklad nehod a havárií v jaderných zařízeních a jejich kategorizaci dle INES.

INES2:

- **1991** Jaderná elektrárna Mihama, prefektura Fukui, Japonsko

INES3:

- **1989** 1. blok jaderné elektrárny Vandellos, Katalánsko, Španělsko

INES4:

- **1969** Jaderná elektrárna Saint Laurent, region Centre, Francie
- **1973** Přeracovatelský závod Sellafield, Anglie
- **1977** 1. blok jaderné elektrárny Jaslovské Bohunice, okr. Trnava, Slovensko
- **1980** Jaderná elektrárna Saint Laurent, region Centre, Francie
- **1983** Buenos Aires, Argentina

INES5:

- **1957** Komplex Windscale Pile, Anglie
- **1979** 2. blok jaderné elektrárny Three Mile Island, Pensylvánie, USA

INES6:

- **1957** Přepracovatelský závod Majak, Čeljabinská oblast, Rusko

INES7:

- **1986** 4. blok jaderné elektrárny Černobyl, Kyjevská oblast, Ukrajina
- **2011** 1., 2. a 3. blok jaderné elektrárny Fukušima Daiichi, prefektura Fukušima, Japonsko

Podrobnější popis iniciace vzniku některých havárií, jejich postupného vývoje a následného řešení je uveden v níže připojených kapitolách. Pro tento popis jsem si vybral závažné havárie v JE Jaslovské Bohunice A-1, v JE Three Mile Island 2, v JE Černobyl a JE Fukušima Daiichi.

1.3 Popis havárie a její vývoj v JE Jaslovské Bohunice A-1

První jaderná elektrárna postavená na území bývalé ČSSR v letech 1958÷1972 byla elektrárna Jaslovské Bohunice označovaná jako A-1 u stejnojmenné obce v okrese Trnava. Její jaderný reaktor byl vyprojektovaný v SSSR a Československu. Nádobu reaktoru a vnitřní komponenty aktivní zóny, kromě palivových elementů, vyrobil závod Škoda v Plzni. Koncepce reaktoru měla ověřit možnost používat jako palivo neobohacený (přírodní) uran. Palivo bylo v reaktoru umístěno ve 148 kanálech, přičemž konstrukce reaktoru umožňovala výměnu paliva za provozu pomocí zavážecího stroje [7]. Těžkovodní reaktor chlazený oxidem uhličitým typu KS-150 byl uveden do komerčního provozu v prosinci 1972. Provoz elektrárny A1 byl neustále stíhán různými závadami, které vyústily ve dvě havárie.

Havárie číslo 1

První havárie se stala 5. ledna 1976, kdy do reaktorové haly unikl vysoce radioaktivní plyn - oxid uhličitý. Příčinou tohoto úniku bylo nedostatečné zasunutí a zajištění palivového článku v aktivní zóně. Vlivem tlaku plynu došlo k vymrštění článku z reaktoru na palubu reaktorového sálu. Následně byl vydán příkaz evakuace personálu v celém objektu jaderné elektrárny Jaslovské Bohunice.

Je smutnou skutečností, že se unikajícím CO₂ udusili dva lidé, kteří sice doběhli k zaskleným dveřím, ale už neměli sílu sklo vyrazit. Radiační situace ale neohrozila okolí ani personál, i když pracovníci dozimetrie v prostorách bloku preventivně rozdali jodidové tabletky. Vystřelení nového, právě zavezeného souboru bylo způsobeno nesprávně namontovanou pojistkou ímbusového šroubu v kompletu zátek, která zabránila úplnému „uzamčení“ zátky v reaktoru. Byla to chyba z montáže prováděné v samotné elektrárně, nikoli chyba konstrukce, i když elektrárna A-1 trpěla mnohými rysy prototypového zařízení [8].

Havárie číslo 2

Druhá havárie se stala ve stejné elektrárně o rok později, konkrétně 22. února 1977. Měla i výrazně vážnější následky, kromě ztrát na lidských životech než ta z roku 1976. Členové obsluhy reaktoru



Obrázek č.2 Bloková dozorna JE JB A-1 - uvádění do komerčního provozu – převzato z [2]

prováděli výměnu palivových článků za provozu a ve chvatu zavezli do aktivní zóny reaktoru i článek, který byl z části zneprůchodněn silikagelem. Silikagel slouží v podmínkách skladování čerstvého paliva pro zamezení navlhnutí palivových článků. Chladivo tak nemohlo novým článkem volně proudit, odvádět teplo a ten se následně začal tavit. Poté, co došlo k protavení stěny kanálku, ve kterém byl poškozený článek umístěn, došlo k úniku vody, která byla vysoce radioaktivní. Únik způsobil, že jí byl v aktivní zóně reaktoru nedostatek, což mělo za následek, že se začaly tavit i ostatní palivové články.

Celkem se roztavila přibližně čtvrtina palivových článků, které standardně obsahovaly 24,6 tun neobohaceného uranu. Do životního prostředí v blízkosti jaderné elektrárny uniklo velké množství radioaktivních látek, na několika místech blízke řeky Dudváh byla zjištěna radiační hodnota ve srovnatelné výši, jako při černobylské katastrofě v době jeho evakuace, tedy více jak den po explozi.

Tato havárie znamenala pro komerční provoz elektrárny definitivní konec, vzhledem k náročnosti opravy byl blok v roce 1977 vyřazen z provozu a nyní probíhá jeho postupná likvidace.

1.4 Popis havárie a její vývoj v JE Three Mile Island 2

28. března 1979 byl druhý blok jaderné elektrárny Three Mile Island – TMI-2 s tlakovodním reaktorem o elektrickém výkonu 880 MW v provozu pouhé tři měsíce. Právě v tento den došlo k závadě v nejaderné části a následně k havárii americké elektrárny ležící uprostřed stejnojmenného ostrova u města Harrisburg v Pensylvánii, kdy se částečně roztavila aktivní zóna jaderného reaktoru. V důsledku havárie byla zamořena provozní budova jaderné elektrárny a následně došlo i k úniku radioaktivity do životního prostředí.

Průběh havárie

Hlavní napájecí čerpadla vodního chladicího systému sekundárního okruhu se porouchala kolem čtvrté hodiny ráno 28. března 1979. Tato porucha s nejasnou, mechanickou či elektrickou příčinou způsobila, že přestal fungovat odvod tepla z primárního okruhu.

Časový sled událostí od poruchy hlavních napájecích čerpadel:

2 s – Automaticky byla odstavena turbína a regulační tyče byly spuštěny do aktivní zóny ke snížení výkonu reaktoru.

5 s – Tlak a teplota v primárním okruhu rostly, nepravidelně se otvíral pojišťovací ventil, ale to nestačilo k dostatečnému snížení těchto parametrů, především tlaku. Reaktor byl odstaven plným spuštěním regulačních tyčí.

12 s – Tlak po odstavení reaktoru začal klesat, ale pojišťovací ventil, který měl poté dle své funkčnosti automaticky zavřít, nezavřel. Tento stav nebyl signalizován na řídicím pultu operátorů. Následkem tohoto stavu tlak v primárním okruhu dále klesal. K uzavření blokovacího ventilu došlo až v čase 2 hod. 22 min. od vzniku poruchy, po tuto dobu trvala LOCA - projektová havárie ztráty chladiva. V prvních osmi minutách byl zhoršen odvod tepla z jaderného reaktoru čímž docházelo k lokálnímu varu vody v aktivní zóně.

2 min – Automaticky byl aktivován VT systém havarijního chlazení, jako kompenzace úniku vody z primárního okruhu.

4 min – Následkem varu vody došlo ke zvýšení její hladiny v aktivní zóně až k pojišťovacímu ventilu. Operátoři předpokládali, že vystoupaní hladiny způsobilo havarijní chlazení a vypnuli ručně čerpadlo havarijního chlazení.

10 min – Z důvodu pokračujícího výtoku vody praskla membrána na barbotážní nádrži a voda se rozlévala do prostoru kontejnmentu. Obnovení odvodu tepla z primárního okruhu nastalo až 8 min od vzniku poruchy HNC, únik vody však stále pokračoval, klesal tlak a pokračoval var vody v aktivní zóně. Var zvyšoval hladinu a tak se operátorům zdálo, že je vody dostatek a vše je v pořádku. Opak byl pravdou.

90 min – Vzduchové bublinky z primárního okruhu se dostaly až k čerpadlu chladicího systému a po způsobených rázech v čerpadle bylo nuceně odstaveno. Chlazení se ještě více zhoršilo, voda a pára se separovaly. Důsledkem toho stavu zůstala horní část reaktoru pouze ve směsi páry a vodíku, směs bránila přirozené cirkulaci vody a po přehřátí horní části reaktoru došlo k poškození aktivní zóny.

2 hod – V důsledku poškození aktivní zóny výrazně vzrostla radioaktivita vody v primárním okruhu i zalitém kontejnmentu. Státní dozor pro jadernou bezpečnost ve Washingtonu vyhlásil na jaderné elektrárně radiační poplach.

2 hod 15 min – Protože kontejnment nebyl včas izolován od okolního životního prostředí, byla detekována slabá radioaktivita mimo elektrárnu. Následně byl vyhlášen radiační poplach i v okolí jaderné elektrárny a o tomto stavu byl informován guvernér státu Pensylvánie.

2 hod 22 min – Operátoři uzavřeli blokovací ventil, čímž byl ukončen výtok (únik) vody z primárního okruhu. Cirkulace vody v primárním okruhu, ale nebyla obnovena a tak se chlazení aktivní zóny stále zhoršovalo.

3 hod 20 min – Byl obnoven provoz VT systému havarijního chlazení, vstříkovanou vodou byla snížena teplota v reaktoru a k dalšímu ohřevu již nedocházelo. Operátoři i poté provedli několik chybných operací, kdy občas vypouštěli vodu přečerpávacím ventilem, zapínali a vypínali čerpadlo chladicího systému. Řídili se pouze výškou hladiny chladicího média v reaktoru.

4 hod 30 min – Bylo zaregistrováno několik menších explozí v kontejnmentu, ty byly způsobeny hromadícím se vodíkem, který se při vypouštění vody z primárního okruhu do kontejnmentu dostal. Poté kvůli obavám z exploze nařídil guvernér evakuaci blízkého okolí a přípravu všeobecné evakuace.

5 hod – Na elektrárnu dorazili specialisté ze státního dozoru pro jadernou bezpečnost, převzali řízení provozu a řešení havarijního stavu. Vysokotlaký systém havarijního chlazení byl uveden do trvalého provozu a začalo postupné odplynění primárního okruhu.

12 hod – S tímto zpožděním byl obnoven provoz hlavních cirkulačních čerpadel, parametry reaktoru byly stabilizovány.

1 týden - Zvládnutí celé situace trvalo celý týden, v horní části reaktoru se totiž vytvořila bublina obsahující vodík a ta zhoršovala dochlazování aktivní zóny. Obavy z následků havárie jaderné elektrárny vedly guvernéra státu Pensylvánie k rozhodnutí o evakuaci přibližně 3 500 dětí a těhotných žen z okolí elektrárny. V nastalé panice se, ale tisíce lidí rozhodly oblast opustit. Aby vláda zastavila hromadný útěk obyvatel, přijel 1. dubna 1979 na demonstrativní osobní návštěvu elektrárny tehdejší americký prezident James Carter a pensylvánský guvernér Richard Thronburgh [13].



Obrázek č.3 Prezident Carter při návštěvě havarované elektrárny TMI-2 – převzato z [12]

Následky havárie

Pro vyšetření této jaderné havárie s dopadem do životního prostředí byla jmenována prezidentem Carterem speciální komise. Ta označila za bezprostřední příčinu havárie závadu bezpečnostního ventilu a zároveň upozornila na pochybení personálu jaderné elektrárny, jeho nedostatečný výcvik ve zvládnání mimořádných situací. Na doporučení prezidentské komise byly později vypracovány nové předpisy, které zpřísnily regulaci americké jaderné energetiky, a to nejen v oblasti technického zabezpečení, ale i pro školení obsluhy nebo pro kontrolu kvality řízení jaderných zařízení [12]. Havárie negativně ovlivnila i vnímání rizik spojených s jadernou energetikou u veřejnosti, média totiž o havárii obšírně informovala a pozorně sledovala i vyšetřování.

Únik radioaktivity mimo elektrárnu byl nízký a nevyžadoval žádná zvláštní opatření. Podle oficiální verze byla průměrná dávka, kterou obdrželi lidé v okruhu deseti mil od elektrárny 8 mrem a nejvyšší individuální dávka v okolí elektrárny byla odhadována na 100 mrem (100 rem = 1 Sv). 360 mrem je průměrná dávka, kterou Američan obdrží z radiačního pozadí, takže nejvyšší dávka, kterou někdo mohl vně elektrárny obdržet, byla méně než 30 % obvyklé roční dávky radiace z pozadí. Přesto však byla havárie zařazena do třídy 5 stupnice INES, vzhledem k silnému poškození elektrárny a vysokému zamoření kontejnmentu. Reaktor byl natrvalo vyřazen z provozu.



Obrázek č.4 Dekontaminace havarované elektrárny TMI-2 – převzato z [12]

Skutečný rozsah destrukce jaderného reaktoru TMI-2 se podařilo ověřit až v roce 1982, kdy úroveň radiace poklesla natolik, aby dálkově ovládaná kamera mohla zobrazit stav reaktoru po havárii. Podle vyjádření předsedkyně Státního úřadu pro jadernou bezpečnost ČR Dany Drábové se reaktor TMI-2 z hlediska stavu jaderného paliva a rozsahu poškození aktivní zóny příliš nelišil od původního rozsahu poškození aktivní zóny reaktoru v ukrajinském Černobyli, který havaroval v dubnu 1986 [12].

V roce 1985 se podařilo expertům dopravit dálkově ovládanou kameru až na dno reaktoru, kde objevila zatuhlou zmrzlou roztavených částí reaktoru a uranového paliva, která konzistencí připomínala ztuhlou sopečnou lávu. Koncem 80. let konečně mohly být zahájeny práce na dekontaminaci zamořeného areálu, které skončily v srpnu 1993.

1.5 Popis havárie a její vývoj v JE Černobyl

Mimořádnou událost v jaderné elektrárně Černobyl, která se stala 26. dubna 1986 lze bez pochyby nazvat největší civilní jadernou katastrofou v historii lidstva. Tato vážná havárie ovlivnila životy statisíců lidí a to nejen v bývalém SSSR.

JE Černobyl se nachází se na území dnešní Ukrajiny, asi 100 km severně od hlavní metropole Kyjev na řece Pripjat' v blízkosti stejnojmenného města u hranic s Běloruskem. V době vzniku havárie měla elektrárna v provozu čtyři výrobní bloky, pátý a šestý blok byl teprve ve výstavbě. V každém z jedoucích bloků pracoval jaderný reaktor RBMK 1 000 (Reaktor Bolšoj Moščnosti Kanalnyj) kanálový reaktor vysokého výkonu, který k moderování neutronů využívá grafit. Číslovka 1 000 znamená elektrický výkon v MW, v přepočtu 3 200 MW tepelných. Palivem používaným v tomto typu reaktoru je 2% obohacený uran.

Výstavba 4. jaderného bloku elektrárny Černobyl byla dokončena v prosinci roku 1983. Samotná výroba elektrické energie byla zahájena už 20. prosince, což není standardní. Je obvyklé, že výrobní blok jaderné elektrárny je podroben několikaměsíčním testům a až poté je uveden do komerčního provozu. To ale nebyl tento případ, protože Černobyl nemohl čekat, podle plánu musel být bezpodmínečně uveden do provozu před koncem roku 1983.

Průběh havárie

26. dubna 1986 v 01:24 hod. došlo na 4. výrobním bloku JE Černobyl k havárii reaktoru. Havárie byla důsledkem experimentu, který měl v reaktoru jaderné elektrárny ověřit setrvačný doběh turbogenerátoru. Plánovaný průběh přesně zněl snížit výkon na 25÷30 % (700÷1000 MWt), což je nejnižší povolený provozní výkon reaktoru s následným odpojením havarijního chlazení a přerušení přívodu páry [14].

Zkouška měla být provedena těsně před odstavením reaktoru z provozu. V průběhu testu ale došlo k několika vážným chybám a lidským selháním, na jejímž konci byla katastrofální jaderná havárie.

Časový sled událostí od zahájení experimentu:

25. dubna 13 hod 5 min - Jsou zahájeny přípravy na experimentální zkoušku turbíny. K té je nutné snížit výkon jaderného reaktoru, proto je jedna z turbín odstavena a současně i odpojen systém nouzového chlazení reaktoru, aby nemohl ovlivnit průběh experimentu.

14 hod – Vedoucí dispečer Ukrajinských energetických závodů žádá o časový posun zkoušky z důvodů oslav 1. Máje, protože místní továrny potřebují plnit plány výroby. Zkouška je odložena o téměř 9 hodin, posádka blokové dozorny JE však již na tuto dobu nechává odpojený bezpečnostní systém nouzového chlazení reaktoru, přestože to odporuje provozním předpisům.

16 hod - Ranní směně končí pracovní doba a je střídána novou, přestože její pracovníci byli v předchozích dnech podrobně seznámeni s experimentem a znají přesný postup zkoušky. Speciálně sestavený tým elektroinženýrů avšak bez jaderných expertů zůstává dále na JE.

23 hod 10 min - Jsou opět zahájeny přípravy na experimentální zkoušku turbíny, deseti hodinové zpoždění sebou nese celou řadu důsledků. Tým přítomných elektroinženýrů je již značně unaven, navíc během zkoušky střídá odpolední s noční směnou.

26. dubna 0 hod - Na noční směně je na blokové dozorně přítomno méně zkušených operátorů, kteří nebyli na tento experiment speciálně připravováni.

0 hod 31 min 37 s - Náčelník směny Akimov a starší inženýr řízení reaktoru Toptunov jsou ve sporu s hlavním inženýrem Djatlovem. Předmětem sporu je, že grafitový reaktor je při příliš nízkém výkonu než ten, který byl pro zkoušku stanoven (700÷1000 MWt) nestabilní a může se vymknout kontrole. Djatlov ale neústupně trval na uskutečnění experimentu, který se následně rozhodl provést i při předpisům odporujícímu výkonu reaktoru 200 MWt.

0 hod 38 min 26 s – Pod despotickým nátlakem Djatlova byli operátoři nuceni pokračovat v experimentu, strach ze ztráty zaměstnání byl příliš silný. V průběhu přípravy zkoušky měli operátoři problémy s udržením stabilního tepelného výkonu reaktoru, který klesl až na 30 MWt, což znamená, že prakticky došlo k zastavení řízené štěpné reakce. Dopustili se přitom mnoha závažných chyb:

- Regulační tyče byly vysunuty výše, než dovolovaly předpisy
- Výkon reaktoru klesl pod bezpečnou úroveň, stal se nestabilní
- Příprava zkoušky měla být okamžitě zastavena a obnovena stabilita reaktoru
- Aby operátoři dosáhli zvýšení výkonu, zapínají přidavné oběhové čerpadlo
- Vlivem silného ochlazování však klesá tlak, a tím se výkon ještě snižuje
- Za standardních podmínek by reaktor odstavily automatické havarijní systémy, ty však obsluha úmyslně odpojila stejně jako kontrolní systémy reaktoru

1 hod 23 min 4s – Experiment turbosoustrojí je zahájen. Operátoři se dopouštějí poslední osudové chyby – vypínají nouzový systém, aby tak zabránili případnému havarijnímu odstavení reaktoru. Následně dle požadavku experimentu uzavírají přívod páry do turbíny. Tím se snížil průtok chladicí vody, rostla její teplota a tlak. S rostoucím množstvím páry se rapidně zvyšuje rychlost štěpné reakce, která dále zvyšuje teplotu, a tím i vzniklé množství páry. Více páry znamená ještě rychlejší reakci atd. Výkon reaktoru začíná nekontrolovatelně růst a katastrofa nedozírných následků se již neodvratně blíží [14].

1 hod 23 min 40 s - Starší inženýr řízení reaktoru Toptunov, zodpovědný za regulační tyče, z operátorského pultu aktivuje vypínače havarijního odstavení reaktoru. Výkon reaktoru dosahuje stonásobku maximálního projektového výkonu.

1 hod 23 min 44 s - Regulační tyče, jejichž úkolem je odstavit reaktor, se zasouvají do aktivní zóny reaktoru. Následně operátoři zjišťují, že se regulační tyče zasekly. Příčinou jsou kanály palivových článků, které se zdeformovaly vlivem zvýšeného tlaku páry.

1 hod 24 min 0 s - Experiment trvá pouhých 56 sekund, ale destrukce reaktoru je velmi značná. Tlak v reaktoru je tak vysoký, že praskají palivové články a jejich úlomky padají do chladicí vody. Ta se ihned mění v páru, tlak v technologických kanálech nadále roste a ty také praskají. Výbuch páry (první exploze) hravě zvedá 1000 tun vážící ocelové víko reaktoru, ze kterého začínají unikat radioaktivní látky, naopak dovnitř vniká vzduch.

1 hod 24 min 30 s – Vnikající vzduch přináší dostatek kyslíku a tak začíná hořet grafit. Kov palivových článků reaguje s vodou, vzniká vodík, který následně vybuchuje (druhá exploze). Cékem 700 tun hořícího grafitu a zbytků komponent reaktoru jsou vymrštěny mimo reaktorovou budovu čtvrtého bloku a jejich většina dopadá na sousední třetí blok, zbytek do širokého okolí jaderné elektrárny.

Náčelník noční směny Akimov ani hlavní inženýr zodpovědný za provedení experimentu Djatlov stále nevěří, že došlo k havárii reaktoru. Vysílají dva členy směny zkontrolovat skutečný stav reaktoru. Tito operátoři jsou na zničeném reaktorovém sále vystaveni smrtelné dávce radioaktivního záření, nicméně stihnou o destrukci reaktoru informovat řídicí personál na blokové dozorně. Po zjištění skutečného stavu si přítomní vědci a technici uvědomují nové nebezpečí – horké trosky reaktoru se mohou protavit betonovou deskou a skončit v zásobníku vody pod reaktorem. Nevyhnutelně by následovala mohutná exploze páry, s velkou pravděpodobností silnější než předchozí výbuchy.

1 hod 26 min 0 s - Hasiči jaderné elektrárny dostávají telefonickou informaci o explozi mezi bloky tři a čtyři, a že hoří střecha reaktorového sálu 4. bloku.

2 hod 20 min 0 s - Na bloku číslo 4. se daří požár lokalizovat, hasiči, kteří se vrhli do boje s plameny, nasazují vlastní životy, neboť dosud nevědí, co se vlastně stalo. Nemají ani potuchy o tom, že hořící části jsou zbytky vysoce radioaktivního grafitu [14].

4 hod – Teprve v tento čas byl odstaven reaktor 3. bloku ohrožený explozemi a požárem.

5 hod 10 min 0 s – S nasazením životů zasahujících hasičů byl požár uhašen. Exploze vyzářila cca 300 sievertů (na běžný rentgenový snímek plic u lékaře potřebujeme asi 0,035 sievertu). Díky havárii uniklo z reaktoru do životního prostředí neskutečné množství radioaktivních látek. Odhaduje se, že to byla přibližně jedna dvacatina (4÷5 %) veškeré radioaktivity obsažené v reaktoru.

16 hod - Hasiči stále zalévali zbytky reaktoru 4. bloku vodou, což však nemělo kýžený hasební efekt, ba naopak. Díky tomu, že radioaktivní tavenina měla teplotu více jak 2 000° C, tak se voda při styku s ní rozkládala na vodík a kyslík a vzápětí tato směs explodovala. Bohužel neinformovanost požárníků situaci navzdory dobrému úmyslu ještě zhoršovala. Po třech marných pokusech uhasit oheň za pomoci vody se konečně zodpovědní pracovníci rozhodli, že se reaktor zasype pískem, olovem a karbidem boričitým. Tak se i stalo, bohužel pro posádky zasahujících helikoptér. V nich nebyla z počátku umístěna žádná ochrana proti radioaktivitě, ta se do vrtulníků Mi-26 dodala až po několika dnech [14].



Obrázek č.5 Havarovaný reaktor čtvrtého bloku JE Černobyl – převzato z [14]

8. května - Z vrtulníků bylo celkem svrženo na hořící reaktor zhruba 5 000 tun materiálu. 800 tun dolomitu (ten uvolňuje oxid uhličitý dusící plameny), karbid vodičitý (který pohlcuje neutrony a zabraňuje štěpení uranu), 2 400 tun olova (to pohlcuje teplo a záření), 1 800 tun písku a jílu, který má zabránit přístupu vzduchu a tím dojde k udušení ohně.

Během těchto prací si přítomní vědci a jaderní inženýři uvědomují další nebezpečnou skutečnost. Díky hasebnímu zásahu vodou a zásobníku vody přímo pod reaktorem by mohlo dojít k tomu, že jeho horké trosky můžou protavit betonovou desku a skončit pod ní, právě v zásobníku vody. Poté by následovala mohutná exploze páry, dle expertů dokonce ještě silnější než původní výbuch reaktoru. A tak na řadu přišli opět hasiči. Ti začali odčerpávat tuto vysoce radioaktivní vodu. Tento dlouhý a mimořádně nebezpečný úkol plnili až do 8. května.

Následky havárie

Havárie reaktoru měla za následek radioaktivní zamoření životního prostředí respektive ohrožení tisíců obyvatel bývalého Sovětského svazu a dalších zemí. Bezprostředně po explozi jaderného reaktoru zemřelo 31 osob z řad zaměstnanců elektrárny včetně povoláných hasičů, více jak 140 lidí bylo zraněno a přes 100 000 jich muselo být evakuováno mimo nebezpečnou zónu.

Bohužel závažnost havárie vedoucí představitelé Sovětského svazu několik dnů tajili a tak bylo radiaci vystaveno zbytečně velké množství zaměstnanců bydlících v blízkém městě Pripjat' či civilních občanů ve sto kilometrů vzdálené milionové metropoli Kyjev.



Obrázek č.6 Sarkofág zakrývající havarovaný reaktor JE Černobyl – převzato z [14]

Na odstranění následků černobylské katastrofy se kromě hasičů podílelo také velké množství vojáků, potápěčů, horníků, studentů, stavebních dělníků, řidičů a policistů. Těm všem se přezdívalo „likvidátoři“. Celkem jich bylo dle oficiálních údajů 650 000! Ozáření v různé míře zasáhlo každého z nich.

Snaha o eliminaci Černobylské tragédie byla završena vystavěním masivního betonového sarkofágu, který ukrývá obnažený reaktor. Životnost sarkofágu je dle propočtů asi 70 let. Tento údaj se však u různých zdrojů liší. Někde se uvádí životnost jen 40 let, neboť stávající sarkofág vykazuje jistou konstrukční nestabilitu. Proto by měl být vybudován nový kryt a ten by měl reaktor, resp. stávající sarkofág, pokrývat déle než 100 let. Jaderná elektrárna Černobyl není od roku 2000 v provozu.

V listopadu 2012 byla v JE Černobyl dokončena výstavba obří konstrukce, první části výstavby tzv. Nové bezpečnostní obálky (kontejnmentu), která kompletně překrývá stávající sarkofág nad poškozeným 4. blokem. Výstavba je financována Evropskou bankou pro rekonstrukce a rozvoj, a celkové náklady jsou okolo 1 miliardy EUR. Nový bezpečný kontejnment má být dokončen v roce 2015. Po dokončení má mít stavba rozpětí 257 m, šířku 164 m, výšku 110 m a hmotnost 29 000 t. Tato nová obálka má zásadním způsobem snížit riziko dalšího úniku radioaktivity a poskytnout zařízení stavební konstrukci pro dlouhodobý proces rozebrání poškozeného jaderného bloku [15].

1.6 Popis havárie a její vývoj v JE Fukushima Daiichi

Jaderná elektrárna se nachází cca 300 km severovýchodně od Tokia v prefektuře Fukushima. V jejím areálu bylo v době havárie provozováno **šest reaktorových bloků BWR**:

1. RB – 460 MWe, do provozu 1971
2. RB – 784 MWe, do provozu 1974
3. RB – 784 MWe, do provozu 1976
4. RB – 784 MWe, do provozu 1978
5. RB – 784 MWe, do provozu 1978
6. RB – 1 100 MWe, do provozu 1979

Bloky číslo 4., 5. a 6. byly v dlouhodobé odstávce a jsou v klidovém režimu bez zásadních problémů, proto se níže uvedený popis událostí soustředí na nejvíce postižené reaktorové bloky číslo 1., 2. a 3.

Průběh havárie

1. den - Havárie v jaderné elektrárně Fukushima Daiichi 11. 3. 2011 v 14:46 hodin místního času byla způsobena vlivem zemětřesení a následnou vlnou tsunami, kdy došlo k poškození havarijního napájení reaktorových bloků 1, 2, 3. Tím došlo ke ztrátě elektrického napájení důležitých spotřebičů, které zabezpečují chlazení aktivní zóny reaktoru a řízené zastavení štěpné reakce, přestože bloky byly odstaveny v automatickém režimu.

Zemětřesení dosáhlo amplitudy 8,9 (později 9,0) RichtEROVY stupnice, epicentrum bylo přibližně 70 kilometrů východně od pobřeží Honshu, od jaderné elektrárny bylo vzdálené 180 kilometrů a způsobilo na pobřeží vlny tsunami výšky až 4÷10 m. Maximální akcelerace v epicentru dosáhla 0,35 g, na jaderné elektrárně není známa, ale JE jsou projektované na 0,18 g. Vlny tsunami byly větší, než se v projektu uvažovalo, a vlna zaplavila čerpadla vody chladicího systému. Tsunami též odplavila palivové nádrže s topným olejem pro havarijní dieselgenerátory (DG), které mimo jiné zabezpečují důležité chladicí funkce reaktoru. Tsunami také zaplavila rozvodny střídavého a stejnosměrného proudu v nižších patrech strojovny turbogenerátoru (TG), to způsobilo, že operátoři na blokové dozorně (BD) ztratili řadu měření a signalizací, včetně osvětlení budov a místností. Na prvním reaktorovém bloku (RB) však nemohli doplňovat systém chladicího okruhu reaktoru, protože nebylo k dispozici napájení. Rozvodna byla zatopená a způsobené poškození znemožňovalo obnovení střídavého proudu.

Provozovatel – firma TEPCO (Tokyo Electric Power Company) vydal prohlášení o problémech s havarijními DG na JE Fukushima Daiichi 1, 2 a 3. 1. RB je staršího provedení a chladí se pasivním systémem (chladicí kondenzátor) a tento zpočátku fungoval. Druhý a třetí blok jsou chlazeny chladicími čerpadly poháněnými parou. Na 2. RB došlo k poruše na armatuře na chladicím systému a to vyvolalo pokles hladiny v reaktoru. Po cca 8 hodinách byly na elektrárnu transportovány tři mobilní diesel generátorové stanice, byly nainstalovány kabely, aby bylo obnoveno napájení havarijních systémů. Další mobilní napájecí jednotky byly transportovány helikoptérou.

I přes tato opatření došlo v kontejnmentu prvního reaktorového bloku ke zvýšení tlaku, z čehož obsluha usoudila, že došlo k netěsnosti primárního okruhu chlazení reaktoru do hermetických místností. Tlak v kontejnmentu dosáhl úrovně 8,4 kg/cm² což je dvakrát více než byl projektový dovolený, následně byly spuštěny ventilační systémy. Úroveň radiace se v okolí jaderné elektrárny Fukushima zvýšila

70x nad standardní úroveň. Vláda byla ihned informována o tomto havarijním stavu, místní správa vydala příkaz k evakuaci obyvatel v okolí cca 3 km od této JE, jednalo se o cca 1 400 lidí.

2. den - Vývoj havárie, k 12. 3. 2011 v 10:00 hodin, úroveň radiace v okolí JE Fukushima Daiichi setrvává na 70-ti násobku standardní úrovně, tlak v kontejnmentu prvního reaktorového bloku Fukushima Daiichi je na úrovni $8,4 \text{ kg/cm}^2$. Došlo k úmrtí jednoho pracovníka dodavatelské organizace v průběhu zemětřesení a dva strojníci jsou pohřešováni, nevrátili se z periodické obchůzky provozovaného zařízení. Pokračuje evakuace obyvatel z 3 km okolí elektrárny. Následně bylo zaznamenáno mírné snižování hladiny vody ve varném reaktoru prvního reaktorového bloku. Jaderný dozor ohodnotil situaci na 1. RB, že došlo patrně k částečné ztrátě chlazení části palivových článků aktivní zóny reaktoru. Cca horních 90 cm palivových kazet (celková délka je 3,7 m) je nad hladinou vody v reaktoru.

V 14:15 hodin místního času jaderný dozor ohodnotil situaci na prvním reaktorovém bloce jako událost kdy došlo patrně k částečnému natavení části palivových článků AZ reaktoru. K tomuto závěru dospěl vzhledem k indikaci krátce žijících štěpných produktů (+ Cs). Situaci přirovnává k události v Three Mile Island (Pensylvánie, USA) kde na této jaderné elektrárně došlo k havárii 28. března 1979. Okamžitě byl rozšířen okruh evakuačního pásma na 10 km a zahájena vlastní evakuace obyvatel.

Operátoři snížili tlak v systému kontejnmentu prvního reaktorového bloku odpuštěním do atmosféry. 2. RB je odstaven, vysokotlaká čerpadla doplňují vodu do aktivní zóny reaktoru, hladina vody v reaktoru je níže než provozní stav, ale neklesá. Povrchová teplota reaktoru dosahuje přes $1\ 200 \text{ }^\circ\text{C}$. Pracují všechny systémy, probíhá příprava k odpuštění tlaku z kontejnmentu do atmosféry. Stav na 3. RB je obdobný, vysokotlaká čerpadla doplňují vodu do aktivní zóny reaktoru, hladina vody v reaktoru odpovídá provozní. Pracují všechny systémy, probíhá příprava k odpuštění tlaku z kontejnmentu do atmosféry.

V 15:36 hodin místního času došlo v areálu JE Fukushima Daiichi k explozi vodíku a to mezi kontejnmentem a budovou reaktoru 1. RB. Stěny budovy reaktorovny byly zničeny nebo silně poškozeny a zároveň došlo ke zranění čtyř dělníků. Byla potvrzena integrita kontejnmentu prvního reaktorového bloku, k explozi nedošlo uvnitř kontejnmentu.

Úroveň radiace na hranici území JE, po odpuštění tlaku z kontejnmentu 1. RB, byla na úrovni $1\ 015 \text{ } \mu\text{Sv/hod}$. V okamžiku exploze vodíku se skokově snížila radiace na hodnotu $860 \text{ } \mu\text{Sv/hod}$ (což bylo v 15:40 hod.) a $705 \text{ } \mu\text{Sv/hod}$ (v 18:58 hod.). Japonská vláda v čele s ministerským předsedou Edanem odsouhlasila návrh provozovatele firmy TEPCO, zaplnit celý kontejnment mořskou vodou do které bude přidáván bór jako moderátor.

TEPCO zahájilo plnění kontejnmentu slanou vodou požárními čerpadly ve 20:20 hodin místního času.

3. den - Ráno 13. 3. 2011 v 7:00 hodin místního času jsou na JE přivezeny mobilní generátory, ale nemohou být připojeny na střídavý rozvod, protože rozvodny jsou vlnou tsunami poškozeny.

Provozovatel TEPCO v 16:00 hodin potvrdil, že reaktor 1. RB je celý zaplněn mořskou vodou a chlazení aktivní zóny bylo plně zajištěno. Nejsou informace o výšce hladiny vody v reaktoru, protože měření bylo poškozeno. Mořská voda je stále čerpána požárními čerpadly z moře do kontejnmentu a je doplňována kyselinou boritou. Radioaktivita v bezprostředním okolí prvního reaktorového bloku se nezvyšuje.

2. RB sice ztratil střídavé elektrické napájení, ale neztratil stejnosměrné (jako 1. RB a 3. RB). Zbytkové teplo se odvádí chladícím kondenzátorem a systémy VT vstřikování (RCIC - Reactor Core Isolation Cooling). Tyto systémy používají čerpadla poháněná párou a stejnosměrné řídicí jednotky.

Druhý reaktorový blok stále nemá možnost doplňování vody do AZ reaktoru, protože střídavé elektrické napájení ještě není obnoveno.

Patrně i na 3. RB došlo též k částečnému odhalení paliva nad hladinu vody v reaktoru, protože vypadl systém chlazení RCIC (asi 12. 3. 2011, v 16:00 hodin). Pokusy o doplnění reaktoru borovou vodou (zdroj kondenzát nebo požární voda) se nezdařily a tak se též zaplňuje kontejnment třetího reaktorového bloku mořskou vodou pomocí požárních čerpadel. Hladina vody v reaktoru je po zaplnění cca 210 cm nad aktivní zónou a zbytkové teplo je odváděno. V kontejnmentu se periodicky odpouští tlak do atmosféry. Při odpouštění z třetího reaktorového bloku jsou dávkové příkony na hranici JE cca 1 204 $\mu\text{Sv/hod}$. Následně byla zveřejněna informace, že je zde možnost nakumulování vodíku v kontejnmentu, protože došlo s největší pravděpodobností k odhalení paliva a tím k reakci vodní páry s pokrytím paliva což je slitina Zirkonia ($\text{Zr} + 2\text{H}_2\text{O} > \text{ZrO}_2 + 2\text{H}_2$). Vzniklý vodík, který je nahromaděn pod střešou sekundárního kontejnmentu může vybuchnout podobně jako na 1. RB při odtlakování kontejnmentu.



Obrázek č.7 JE Fukushima Daiichi – přehled poškození RB a důležitých systémů – převzato z [16]

4. RB blok je odstaven od 30. 11. 2010 pro dlouhodobou údržbu provozovaného zařízení. Jaderné palivo je v reaktoru a je zaplaveno vodou. Hladina vody v reaktoru se udržuje na bezpečné úrovni.

5. RB je odstaven od 3. 1. 2011 pro dlouhodobou údržbu technologie. Jaderné palivo je v reaktoru a je zaplaveno vodou. Hladina vody v reaktoru se udržuje na bezpečné úrovni.

6. RB blok je odstaven od 14. 8. 2010 pro dlouhodobou údržbu provozovaného zařízení. Jaderné palivo je v reaktoru a je zaplaveno vodou. Hladina vody v reaktoru se udržuje na bezpečné úrovni.

Následky havárie (stav k 31. 5. 2011)

Japonský úřad pro jadernou bezpečnost zařadil havárii v JE Fukushima Daiichi na pátý stupeň sedmibodové mezinárodní stupnice jaderných a radiačních událostí INES (International Nuclear Event Scale). 12. 4. 2011 došlo k přehodnocení události na elektrárně Fukushima z INES 5 na INES 7. Důvod přehodnocení nebyl kvůli tomu, že by se situace změnila k horšímu (naopak došlo ke stabilizaci a aktivity v okolí postupně klesají), k přehodnocení došlo kvůli datům, která přišla z měření. Dříve tato data nebyla k dispozici [16].

Radiační situace v okolí JE Fukushima Daiichi:

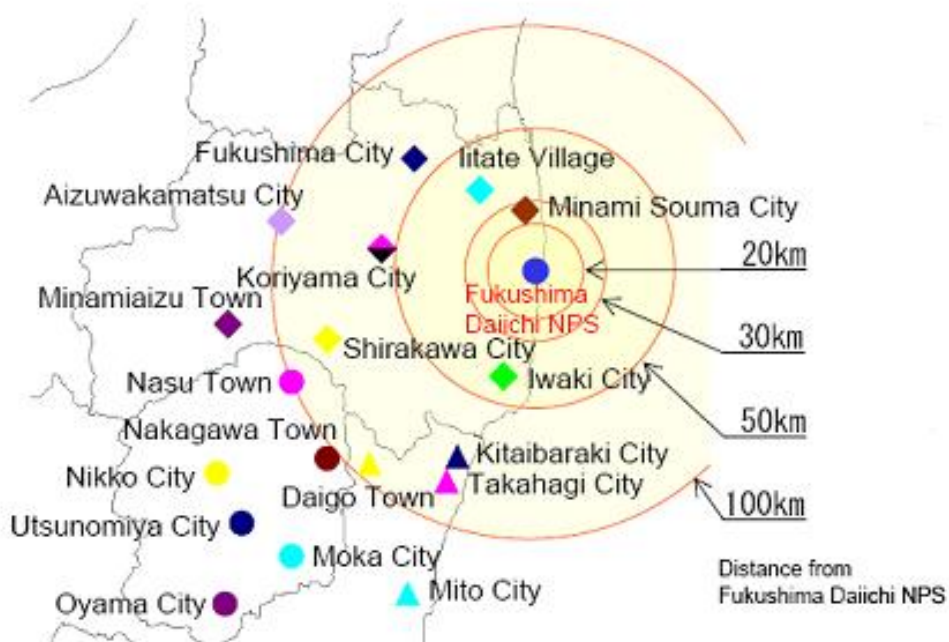
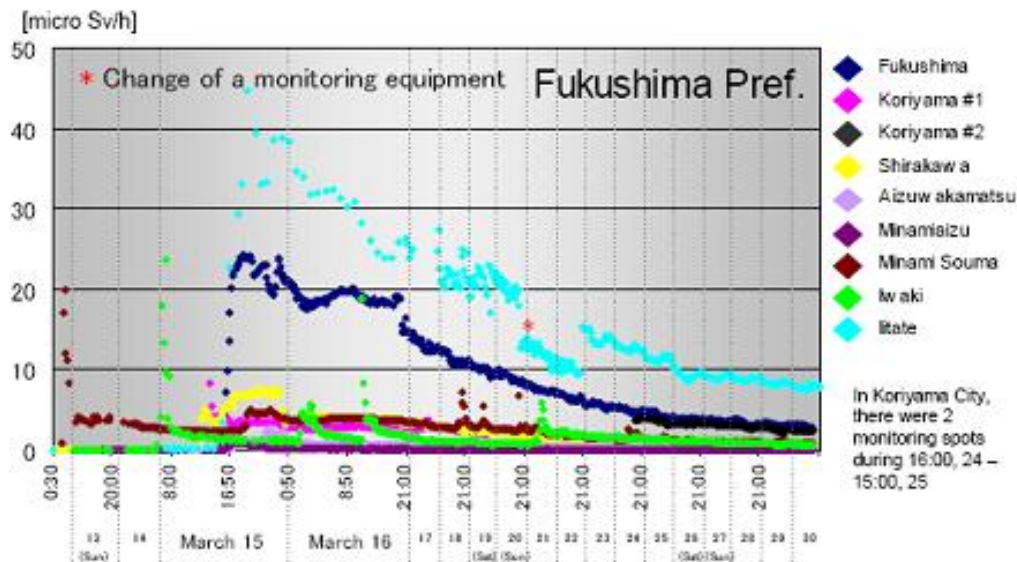
V Japonsku i nadále pokračuje rozsáhlé monitorování životního prostředí. V poslední době nedochází k žádným významným únikům z jaderné elektrárny do ovzduší a radiační situace je stabilní. Dávkový příkon měřený na západní hranici areálu JE (West Gate) nezaznamenal od 30. 3. 2011 žádné výrazné výkyvy. Z toho vyplývá, že v tomto období již nedošlo k žádným významným únikům radioaktivních látek z jaderné elektrárny do ovzduší.

Odběry pitné vody uskutečněné dne 28. 5. 2011 ukázaly u všech odebraných vzorků hodnoty pod mezí detekce. Potravinry jsou průběžně kontrolovány a není povolena jejich distribuce do obchodní sítě, pokud kontaminace překračuje stanovené limity [16].

Celková kontaminace terénu v okolí JE Fukushima Daiichi:

Denní spad Jódu 131 (aktivita spadlá za 24 hodin z atmosféry na 1 m² terénu) se pohybuje ve většině prefektur pod hranicí detekce, v prefekturách sousedících s prefekturou Fukushima je maximálně v desítkách Bq/m². Vzhledem k fyzikální přeměně (za každých 8 dnů poklesne aktivita Jódu 131 na polovinu) dochází k postupnému poklesu celkové kontaminace terénu.

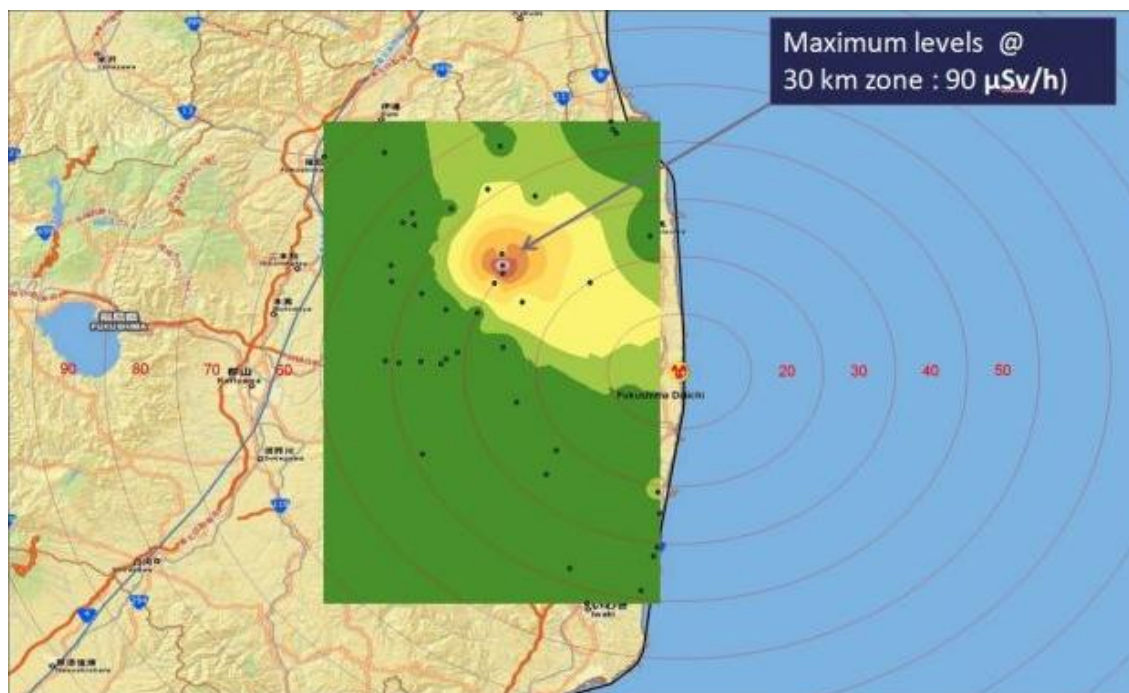
- Normální úroveň kolem 0,1 μSv/h
- Nejvyšší naměřená úroveň 90 μSv/h



Obrázek č.8 Radiační trend v okolí JE Fukushima Daiichi v prvních 20 dnech – převzato z [16]

Stav JE Fukushima Daiichi k 31. 5. 2011:

Společnost TEPCO představila plán na vytvoření systému stabilního chlazení všech čtyř bloků v havarijním stavu a na předcházení úniků radioaktivity (mj. výstavba krytu nad nejhůře poškozeným prvním blokem). Ve spolupráci s japonskými národními orgány a Mezinárodní agenturou pro atomovou energii se nyní pokouší jej realizovat. Na prvním reaktorovém bloku pokračuje vhánění dusíku, který by měl zabránit možné explozi směsi kyslíku s vodíkem, do kontejnmentu.



Obrázek č.9 Kontaminace půdy v okolí JE Fukushima Daiichi Jódem 131 a Cesium 137 – převzato z [16]

Díky vhánění dusíku mírně roste tlak uvnitř tlakové nádoby reaktoru, tlak uvnitř kontejnmentu zůstává stabilní. Práce na obnovení dodávek proudu ze sítě k blokům 1 až 4 pokračují. Osvětlení obslužné dozorny bloku 1, 2 a 3 je v provozu. Podařilo se částečně obnovit osvětlení turbínových hal na blocích 1, 2, 3 a 4.

Tlakové nádoby bloků 1, 2 a 3 jsou chlazeny sladkou vodou. Na všech uvedených blocích nyní probíhá vhánění vody za použití čerpadel napájených ze střídavé elektrické sítě. Voda je vháněna rychlostí 6 m³/h na bloku jedna a 7 m³/h na bloku dva a tři. Na blocích 1 až 3 probíhá odčerpávání kontaminované vody z turbínových hal. Ve všech případech je používán systém přečerpávání vody mezi různými vhodnými prostory na blocích, s nucenými přestávkami při dočasném zaplnění konkrétního místa. Dle odhadů společnosti TEPCO je v turbínových halách o něco méně než 70 000 tun vysoce radioaktivní vody.

Tlak a teplota v tlakové nádobě reaktoru na bloku 1, 2 i 3 zůstávají stabilní. Předpokládaná míra poškození reaktorového jádra na prvním bloku je 55 %, na druhém 35 % a na třetím 30 %.

Vyhořelé palivo v bazénu na prvním reaktorovém bloku je chlazené sladkou vodou. Sladká voda je používána i k chlazení bazénu s vyhořelým palivem na blocích 2, 3 a 4.

Dodávky elektrického proudu pro reaktorové bloky 5 a 6 běží a jejich stav je plně stabilní.

2 Vlastní spotřeba jaderné elektrárny

Vlastní spotřeba Jaderné elektrárny je nutná pro vlastní provoz jaderné elektrárny a naplnění jejího účelu což je bezpečná a ekonomicky výhodná výroba elektrické energie. Každá elektrárna má svá specifika, která vyplývají z projektu, a proto v této kapitole bude jako příklad uvedena koncepce vlastní spotřeby jaderné elektrárny Temelín. V této elektrárně s dvěma reaktorovými bloky jsou užity, jak již bylo výše zmíněno tlakovodní reaktory VVER 1000. Vlastní spotřeba těchto reaktorových bloků včetně jejich pomocných hospodářství (tzv. vnějších objektů) je do 10 % vyrobené energie.

Obecně lze rozdělit vlastní spotřebu do dvou skupin:

- **Bloková vlastní spotřeba** – BVS (primární okruh, sekundární okruh)
- **Nebloková vlastní spotřeba** – NVS (vnější objekty, ČS Hněvkovice)

2.1 Hlavní zásady pro tvorbu schématu napájení vlastní spotřeby

Zásady pro řešení základních částí elektroschématu napájení vlastní spotřeby bloků 1 000 MW elektrárny Temelín byly stanoveny „tehdy“ sovětským technickým projektem (tento projekt byl schválen v říjnu 1984). Schéma bylo původně rozděleno do dvou projektových zón (reaktorovna - ruská zóna, sekundární okruh a vnější objekty - česká zóna), ale od ledna 1992 generální projektant Energoprojekt Praha převzal i v elektro části postupně roli generálního projektanta pro celou stavbu elektrárny Temelín.

Schéma napájení vlastní spotřeby doznalo řadu změn na základě nových zahraničních dodávek (záměny jističů, záměna agregátů nepřerušovaného napájení), především však na základě záměny Automatizovaného systému řízení technologického procesu (ASŘTP) od firmy Westinghouse. Tato změna se promítla do řešení rozvodů a sítí zajištěného napájení pro spotřebiče dodávaného systému, do změny původní skladby sítí vlastní spotřeby ETE i do oblastí dimenzování zdrojů zajištěného napájení (akubaterie, usměrňovače, střídače).

Návrh koncepce elektroschématu napájení vlastní spotřeby bloků 1 000 MW ETE je proveden na základě těchto hlavních zásad:

1. Schéma napájení vlastní spotřeby bloku musí být řešeno blokově a v návaznosti na technologické okruhy a na základní schéma vyvedení výkonu bloku (jedna z podmínek spolehlivého provozu bloku).
2. Schéma napájení vlastní spotřeby bloku musí mít v návaznosti na řešení jaderně-tepelné a strojní části vytvořeny **tři nezávislé bezpečnostní systémy** zajištěného napájení pro napájení spotřebičů zabezpečujících dochlazení reaktoru a lokalizaci poruch v havarijních situacích.
3. Pro zajištění vzájemné nezávislosti bezpečnostních systémů, musí být zařízení příslušné k různým systémům od sebe odděleno **elektricky, dispozičně a požárně** (z těchto důvodů se nepočítá ani se vzájemným rezervováním zdrojů jednotlivých bezpečnostních systémů).

4. Schéma napájení vlastní spotřeby bloku musí mít pro zajištění napájení důležitých pohonů zajišťujících provoz turbosoustrojí, důležitých obvodů řízení a ovládání, regulací a signalizací sekundárního obvodu i spotřebičů primárního okruhu důležitých z hlediska bezpečnosti a neporušení hlavních zařízení reaktorovny (nesouvisejících však s bezpečnostními systémy) vytvořen **doplňující 5. systém** zajištěného napájení. Doplnující 5. systém zajištěného napájení musí mít v elektrické části dva subsystemy, které jsou v zásadě rovnocenné a vzájemně se rezervují.

5. Schéma napájení vlastní spotřeby bloku musí mít pro zajištění napájení důležitých nesystémových spotřebičů primárního okruhu (Automatický systém řízení technologického procesu, Dispečerské hovorové zařízení) vytvořen **doplňující 4. systém** zajištěného napájení. Doplnující 4. systém zajištěného napájení musí mít v elektrické části dva subsystemy, které jsou v zásadě rovnocenné a jsou napájeny z nadřazené zdrojové části 5. systému zajištěného napájení.

2.2 Kategorie pohonů

Elektrické pohony a ostatní elektrické spotřebiče jaderné elektrárny jsou z hlediska důležitosti rozděleny do tří kategorií:

Pohony I. kategorie

Spotřebiče zúčastňující se havarijního odstavení bloku a tedy vyžadující napájení po zapůsobení Havarijní ochrany reaktoru. Maximální doba přerušení napájení jsou zlomky sekund. Jestliže není do této doby obnoveno napájení, pak je ohrožena jak jaderná bezpečnost, tak i technologická bezpečnost bloku. Patří sem především zařízení Systému kontroly řízení, Systému ochrany reaktoru, vybrané automatiky a počítačové systémy, důležité armatury, nouzové osvětlení atd., max. výkon spotřebičů je do 200 kW.

Pohony II. kategorie

Spotřebiče zúčastňující se havarijního odstavení a dochlazování bloku a tedy vyžadující napájení po zapůsobení Havarijní ochrany reaktoru. Maximální doba přerušení napájení je do 10 s (nezahrnuje postupné zatěžování havarijních zdrojů). Při delším výpadku je ohrožena jak jaderná bezpečnost, tak i technologická bezpečnost bloku. Patří sem mimo jiné systém havarijního doplňování primárního okruhu, sprchový systém, vlastní spotřeba diesel generátoru, havarijní napájecí čerpadla atd.

Rozvodné zařízení pro napájení skupin spotřebičů I. a II. kategorie, které jsou nezbytně nutné k havarijnímu dochlazování a lokalizaci technologických poruch, nazýváme bezpečnostní systémy zajištěného napájení.

Pohony III. kategorie

Spotřebiče nezúčastňující se havarijního odstavení a dochlazování bloku a tedy nevyžadující napájení po zapůsobení Havarijní ochrany reaktoru. Dle stupně vazby na technologii a z toho vyplývajících požadavků na spolehlivost napájení je dělíme do tří skupin:

1. Důležité pohony zapojené do technologického procesu jaderné elektrárny, přerušení chodu má za následek odstavení bloku nebo snížení výkonu. Maximální doba přerušení napájení je dána automatickým záskokem rezervy (AZR) $0,5 \div 1$ s dle napěťové úrovně. Při neúspěšném AZR není ohrožena jaderná

bezpečnost, ale ani technologická bezpečnost bloku (hlavní cirkulační čerpadla, kondenzátní čerpadla, napájecí čerpadla výměníky, a jiné).

2. Důležité pohony zapojené do technologického procesu jaderné elektrárny. Maximální doba přerušení napájení je dána dobou ručního přechodu z pracovního na rezervní napájení (což je do 15 minut). Při neúspěšném přechodu není ohrožena jaderná bezpečnost, ale ani technologická bezpečnost bloku (pohony Chemické úpravy vody, čerpacích stanic, část klimatizace a jiné).

3. Nedůležité elektrické pohony a spotřebiče bez vazby na výrobu elektrické energie.

V podmínkách elektrárny Temelín byly z III. kategorie vyčleněny dvě zvláštní skupiny spotřebičů, které se sice neúčastní havarijního odstavení a dochlazování bloku, ale mají z důvodu ochrany drahých zařízení i bezpečnosti personálu zvýšené požadavky na spolehlivost napájení:

Pohony III. / II. kategorie

Spotřebiče mající zvýšené požadavky na spolehlivost elektrického napájení a připouštějící maximální dobu přerušení napájení od 10 s do 10 min. (olejová čerpadla, turbonapáječky, požární čerpadla, dochlazování vrchních bloků Systému ochran reaktoru SOR).

Pohony III. / I. kategorie

Spotřebiče mající zvýšené požadavky na spolehlivost elektrického napájení a nepřipouštějící z hlediska bezpečnosti drahých zařízení a osob přerušení napájení maximálně na zlomky sekund (část Automatického systému řízení technologického procesu reaktorovny, Automatický systém řízení technologického procesu strojovny, obvody Systému kontroly řízení elektro).

Rozvodné zařízení pro napájení skupin spotřebičů III. / II. a III. / I. kategorie nazýváme systémy zajištěného napájení.

2.3 Zdroje napájení

Koncepci návrhu elektroschématu napájení vlastní spotřeby velmi výrazně ovlivňují potřeby technologických okruhů (primární část, sekundární část, vnější objekty) z hlediska požadavků na spolehlivost elektrického napájení. Volba zdrojů a druh sítí vlastní spotřeby se provádí na základě požadavků na zajištěnost napájení těchto okruhů resp. jednotlivých skupin spotřebičů vlastní spotřeby.

V zásadě rozlišujeme čtyři druhy zdrojů pro napájení blokové a neblokované vlastní spotřeby, na které jsou kladeny i různé požadavky z hlediska stupně zajištěnosti napájení.

2.3.1 Pracovní zdroje:

Turbogenerátor - Generátorový vypínač - odbočka na Odbočkový transformátor - Vlastní spotřeba

Elektrizační soustava - Blokovaný transformátor - odbočka na Odbočkový transformátor - Vlastní spotřeba (při vypnutém Generátorovém vypínači)

Pracovní zdroje musí splňovat tyto požadavky:

1. Zajistit spolehlivý chod technologických okruhů bloku při normálním provozu, tj. najíždění, jmenovitém zatížení a plánovaném odstavení.
2. Zajistit spolehlivý chod technologických okruhů při abnormálním provozu a to v případě výpadku turbosoustrojí nebo při poruše vyvedení výkonu bloku.

Naddimenzování zdrojů musí vyhovět i požadavkům v režimech spouštění největšího spotřebiče vlastní spotřeby při normálním chodu bloku.

2.3.2 Rezervní zdroje:

Elektrizační soustava - Rezervní linka 110 kV - Rezervní transformátory - Vlastní spotřeba

Rezervní zdroje musí splňovat tyto základní požadavky:

1. Musí být nezávislé na provozu bloku.
2. Musí automaticky převzít napájení blokových sekcí 6 kV vlastní spotřeby v případě výpadku pracovních zdrojů i v režimu ztráty pracovních zdrojů bloku.

Naddimenzování zdrojů musí vyhovět i požadavkům v režimech hromadného samonajíždění pohonů vlastní spotřeby po ztrátě pracovních zdrojů bloku a v režimech spouštění největšího spotřebiče při chodu vlastní spotřeby bloku na rezervní napájení.

2.3.3 Havarijní zdroje:

Dieselgenerátory = havarijní zdroj pro spotřebiče II. a III. / II. kategorie

V návaznosti na řešení jaderně tepelné části, musí zajistit napájení pohonů a spotřebičů zabezpečujících lokalizaci technologických poruch a dochlazování reaktoru i v režimu Úplná ztráta napájení vlastní spotřeby jaderné elektrárny.

Agregáty nepřerušovaného napájení:

Akubaterie = havarijní zdroj pro spotřebiče I. a III. / I. kategorie

Musí zajistit nepřerušované napájení řídicích a informačních systémů umožňujících lokalizaci technologických poruch a dochlazování reaktoru i v režimech Úplná ztráta napájení vlastní spotřeby jaderné elektrárny.

2.4 Normální napájení vlastní spotřeby

Normální napájení (NN) slouží pro napájení el. spotřebičů III. kategorie a ve vybraných provozních režimech (spouštění, normální provoz atd.) též pro napájení bezpečnostních systémů zajištěného napájení I. a II. kategorie (ZN I., ZN II.) a systémů zajištěného napájení III. / I. kategorie a III. / I. kategorie (ZN III. / I., ZN III. / II. kategorie)

2.4.1 Normální napájení

Přehled napájení pro různé typy provozních režimů:

Režim spouštění: Elektrizace síť - Blokovaný transformátor - Odbočkový transformátor

Normální provoz: Turbogenerátor - Odbočkový transformátor

Zkrat za generátorovým vypínačem: Elektrizace síť - Rezervní transformátor

Úplná ztrát napětí ve vlastní spotřebě: bez napájení

Režim úplná ztráta napětí (ÚZN) ve vlastní spotřebě chápeme jako provozní stav, kdy se po poruše napájení z jakéhokoliv důvodu nezdaří přechod na rezervní napájení.

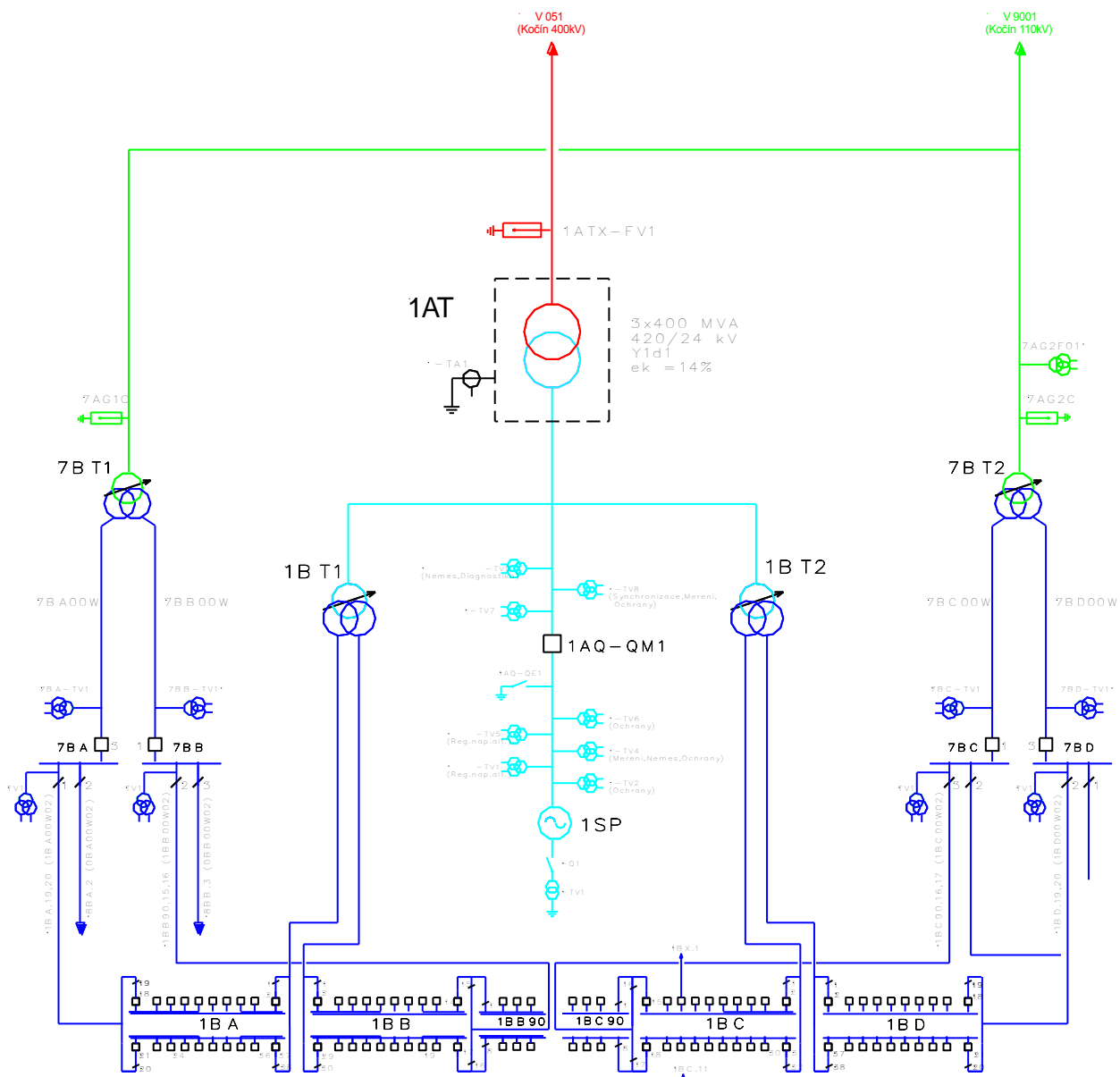
Složení normálního napájení:

Rozvaděče 6 kV

Devět rozvaděčů na blok, z nichž čtyři jsou nesystémové, rozdělené na dvě samostatné polosekce (BA, BB, BC, BD) a zbylých pět patří do systému zajištěného napájení a to systému ZN II. (BV, BW, BX) a systému ZN III. / II. (BJ, BK).

Spotřebiče určitého bloku jsou připojeny rovnoměrně k jednotlivým sekcím tohoto bloku; spotřebiče společné vlastní spotřeby celé jaderné elektrárny jsou rovnoměrně rozděleny mezi rozvodny 6 kV normálního napájení obou bloků.

V centrech společné vlastní spotřeby jsou vytvořena napájecí místa pro napájení vnějších objektů, nazýváme je vysutými rozvodnami (0BE, 0BF, 0BG, 0BK, 0BH).



Obrázek č.10 Schéma normálního napájení VS Jaderné elektrárny Temelín

Transformátory 6,3/0,4 kV

Slouží pro napájení úsekových rozvaděčů 0,4 kV a 0,23 kV bloku a společné vlastní spotřeby celé jaderné elektrárny.

Transformátory 6,3/0,4 kV BU53, BU54 jsou napájeny ze sousedního reaktorového bloku a slouží jako rezervní zdroje pro některé úsekové rozvaděče 0,4 kV.

Úsekové rozvaděče 0,4 kV a 0,23 kV

Tři rozvaděče pro napájení spotřebičů primárního okruhu CP, CQ, CT rozdělené na dvě části napájené z různých transformátorů 6,3/0,4 kV s možností vzájemných záskoků.

Dva rozvaděče CC, CD pro napájení elektro ohříváků kompenzátoru objemu.

Tři rozvaděče pro napájení spotřebičů sekundárního okruhu CA, CB, CG, dva z nich (CA, CB) jsou rozděleny na dvě části s odděleným napájením.

Dva rozvaděče rezervního napájení CR01, CR02 napájené z transformátorů BU53, BU54 ze sousedního reaktorového bloku pro krytí záskoků v oblasti spotřebičů sekundárního okruhu.

Dva rozvaděče CE, CF 0,23 kV pro napájení spotřebičů systému ochran reaktoru.

Dále je to soubor rozvaděčů napájejících vnější objekty zbylé vlastní spotřeby, tyto rozvaděče se nacházejí vždy v daném vnějším objektu, který napájí.

2.4.2 Systém zajištěného napájení II. kategorie (ZN II.)

Z hlediska jaderné bezpečnosti jde o tři nezávislé bezpečnostní systémy (BS) II. kategorie, každý systém je schopen sám tuto bezpečnost zajistit, tj. jde o spolehlivostní systém s 200% zálohou. Jestliže je napětí v normálním napájení, pak slouží pro napájení elektrických spotřebičů II. kategorie a pro ZN I. Analogicky funguje v režimu úplné ztráty napájení po připojení DG k sekci.

Přehled napájení pro různé typy provozních režimů:

Napětí v normálním napájení - z nesystémových rozvaděčů 6 kV

Úplná ztráta napětí ve vlastní spotřebě (do připojení DG) - bez napájení

Úplná ztráta napětí ve vlastní spotřebě (po připojení DG) – Diesel generátor

Složení ZN II.:

Rozvaděče 6 kV

Tři rozvaděče na blok (BV, BW, BX) oddělené od nesystémových rozvaděčů dvojicí podélných sekčních vypínačů a sloužící pro napájení spotřebičů II. kategorie.

Transformátory 6,3/0,4 kV

Slouží pro napájení úsekových rozvaděčů 0,4 kV.

Úsekové rozvaděče 0,4 kV

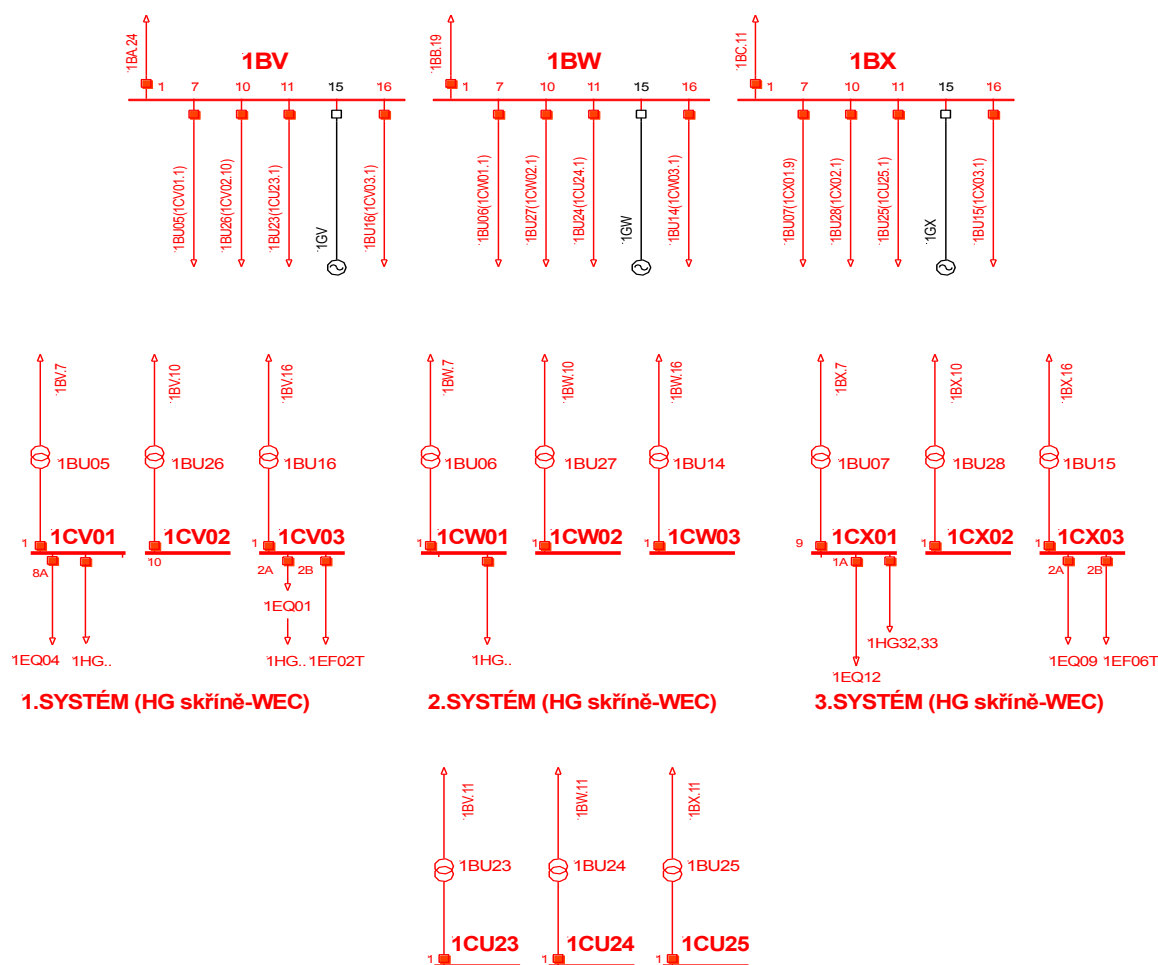
Šest rozvaděčů (po dvou na každém systému) CV01, CV02, CW01, CW02, CX01, CX02 pro napájení spotřebičů II. kategorie.

Tři rozvaděče CV03, CW03, CX03 pro napájení ZN I. v režimu napětí v normálním napájení a v režimu úplné ztráty napětí ve vlastní spotřebě po připojení diesel generátoru k sekci.

Tři rozvaděče CU23, CU24, CU25 pro napájení vlastní spotřeby diesel generátoru.

Dieselgenerátory

Dieselgenerátory GV, GW, GX včetně pomocného hospodářství.
Havarijní zdroje pro napájení spotřebičů II. kategorie.



Obrázek č.11 Schéma napájení systému ZN II. Jaderné elektrárny Temelín

2.4.3 Systém zajištěného napájení I. kategorie (ZN I.)

ZN I. slouží pro napájení střídavých a stejnosměrných elektrických spotřebičů I. kategorie. Z hlediska jaderné bezpečnosti jde o tři nezávislé bezpečnostní systémy (BS) zajištěného napájení I. kategorie, tzn. i zde jde o spolehlivostní systém s 200% zálohou.

Provozní režimy systémů ZN I. jsou odvozeny od stavu jejich havarijních zdrojů (vybíjení, dobíjení).

Přehled napájení pro různé typy provozních režimů:

Napětí v normálním napájení: ze ZN II.

Úplná ztráta napětí ve vlastní spotřebě (do připojení dieselgenerátoru): Akubaterie

Úplná ztráta napětí ve vlastní spotřebě (po připojení diesel generátoru): ze ZN II.

Složení ZN I:

Výkonové usměrňovače

Tři výkonové usměrňovače EQ01, EQ05, EQ09 pro napájení stejnosměrných rozvaděčů 220 V, dobíjení akubaterií a pro napájení střídačů.

Usměrňovače

Tři usměrňovače EQ04, EQ08, EQ12 pro vyhledávání zemních spojení a sloužících jako rezerva pro výkonové usměrňovače.

Rozvaděče 220 V ss.

Tři rozvaděče EE01, EE02, EE03 pro napájení spotřebičů I. kategorie zajišťujících jadernou bezpečnost bloku.

Střídače

Šest střídačů (po dvou na každém systému) EF01÷06 pro napájení rozvaděčů 0,4 kV ZN I.

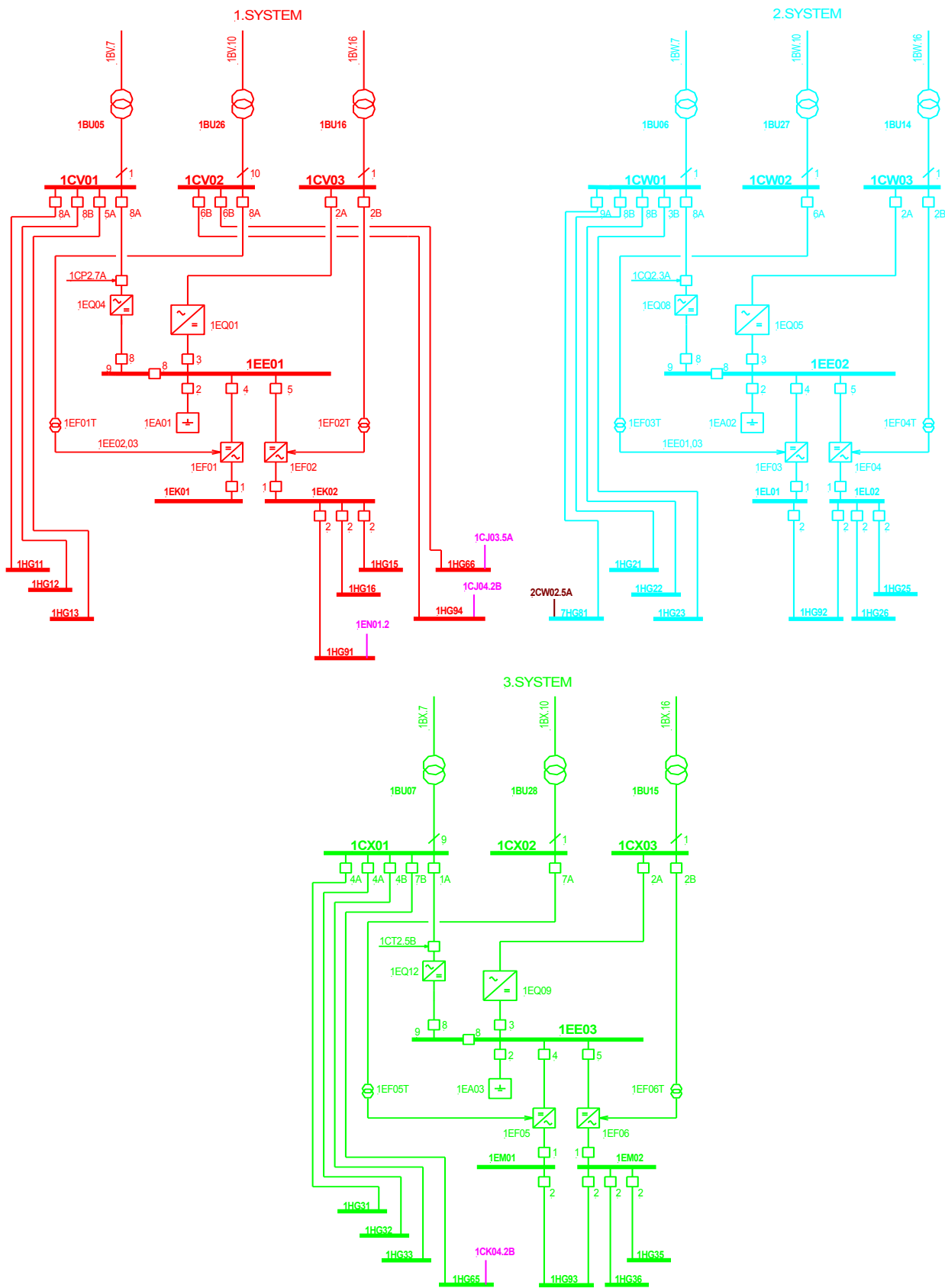
Rozvaděče 0,4 kV

Tři rozvaděče EK01, EL01, EM01 pro napájení armatur.

Tři rozvaděče EK02, EL02, EM02 pro napájení Automatického systému řízení primárního okruhu.

Akubaterie

Tři systémové baterie EA01, EA02, EA03 jako havarijní zdroj pro napájení spotřebičů I. kategorie.



Obrázek č.12 Schéma napájení systému ZN I. Jaderné elektrárny Temelín

2.4.4 Systém zajištěného napájení III. / II. kategorie (ZN III. / II.)

Systém ZN III. / II. elektrárny Temelín je koncipován jako dvojice vzájemně se zálohujících subsystémů (tj. jde o spolehlivostní systém se 100% zálohou) napájených dvojicí havarijních zdrojů (SRDGS 1 a 2) společných pro oba reaktorové bloky.

Jestliže je napětí v normálním napájení, pak slouží pro zabezpečení napájení elektrických spotřebičů III. / II. kategorie a pro ZN III. / I. Analogicky funguje v režimu úplné ztráty napětí ve vlastní spotřebě po připojení alespoň jednoho diesel generátoru k sekci.

Přehled napájení pro různé typy provozních režimů:

Napětí v normálním napájení: z nesystémových rozvaděčů 6 kV

Úplná ztráta ve vlastní spotřebě (do připojení diesel generátoru): bez napájení

Úplná ztráta napětí ve vlastní spotřebě (po připojení diesel generátoru): diesel generátor

V případě, že dochází k poruše na jedné ze dvou částí ZN III. / II., může zdroj napájení druhé části ZN III. / II. převzít napájení i této části zajištěného napájení a sám tak napájet celý komplex ZN III. / II. a ZN III. / I.

Složení ZN III. / II.:

Rozvaděče 6 kV

Dva rozvaděče na blok (BJ, BK) oddělené od nesystémových rozvaděčů dvojicí podélných sekčních vypínačů a sloužících pro napájení spotřebičů III. / II. kategorie.

Transformátory 6,3/0,4 kV

Slouží pro napájení úsekových rozvaděčů 0,4 kV.

Úsekové rozvaděče 0,4 kV

Čtyři rozvaděče (po dvou na každém systému) CJ01, CJ02, CK01, CK02 pro napájení spotřebičů III. / II. kategorie.

Dva rozvaděče CJ04, CK04 pro napájení 4. systému ZN III. / I. v režimu napětí v normálním napájení a v režimu úplné ztráty napětí ve vlastní spotřebě po připojení dieselgenerátoru k sekci.

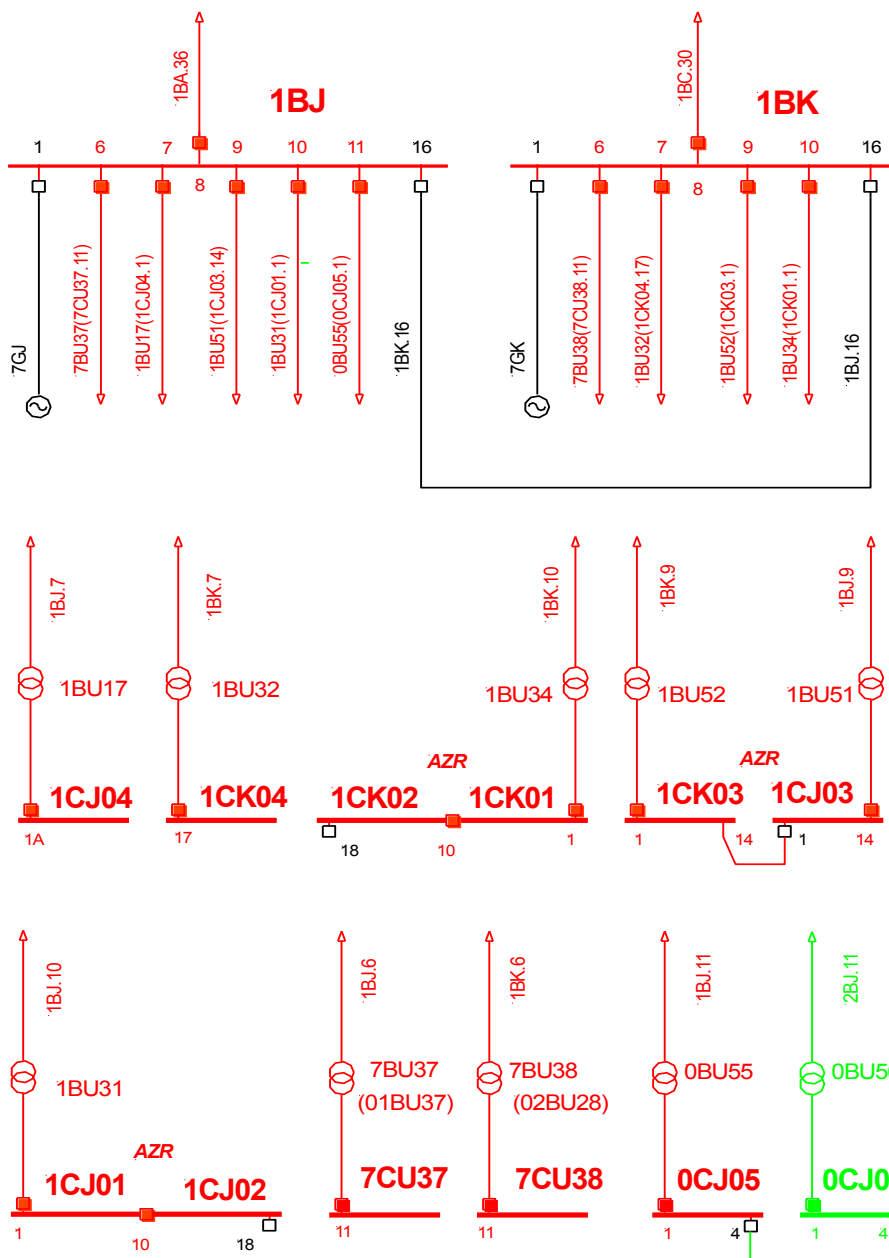
Dva rozvaděče CJ03, CK03 pro napájení 5. systému ZN III. / I. v režimu napětí v normálním napájení a režimu úplné ztráty napětí ve vlastní spotřebě po připojení dieselgenerátoru k sekci.

Dva úsekové rozvaděče 7CU37, 7CU38 (DG společné pro oba bloky) pro napájení vlastní spotřeby dieselgenerátoru.

Dieselgenerátory

Dieselgenerátory 7GJ, 7CK včetně pomocného hospodářství.

Havarijní zdroje (společné pro oba reaktorové bloky) pro napájení spotřebičů III. / II. kategorie.



Obrázek č.13 Schéma napájení systému ZN III. / II. Jaderné elektrárny Temelín

2.4.5 Systém zajištěného napájení III. / I. kategorie (ZN III. / I.)

ZN III. / I. slouží pro napájení střídavých a stejnosměrných elektrických spotřebičů III. / I. kategorie. Jde o dva nezávislé systémy zajištěného napájení III. / I. kategorie, přičemž každý se skládá ze dvou rovnocenných subsystémů. Uvnitř ZN III. / I. je tedy realizována 100% rezerva.

Provozní režimy systémů ZN III. / I. jsou odvozeny od stavu jejich havarijních zdrojů (dobíjení, vybíjení).

Přehled napájení pro různé typy provozních režimů:

Napětí v normálním napájení: ze ZN III. / II.

Úplná ztráta napětí ve vlastní spotřebě (do připojení dieselgenerátoru): akubaterie

Úplná ztráta napětí ve vlastní spotřebě (po připojení diesel generátoru): ze ZN III. / II.

Složení ZN III. / I.

Výkonové usměrňovače

Dva výkonové usměrňovače EQ13, EQ14 4. systému pro napájení stejnosměrných rozvaděčů 220 V, dobíjení akubaterií a pro napájení střídačů.

Čtyři výkonové usměrňovače EQ51, EQ52, EQ53, EQ54 5. systému (vždy po dvou vzájemně se zálohujících na každém subsystému) pro napájení stejnosměrných rozvaděčů 220 V, dobíjení akubaterií a pro napájení střídačů.

Rozvaděče 220V ss.

Dva rozvaděče EE04, EE05 4. systému pro napájení spotřebičů III. / I. kategorie (Automatický systém řízení technologického procesu reaktorovny).

Dva rozvaděče EE51, EE52 5. systému pro napájení spotřebičů III. / I. kategorie (Automatický systém řízení technologického procesu strojovny, Systém kontroly řízení elektro).

Střídače

Dva střídače EF07, EF12 4. systému pro napájení rozvaděčů 0,4 kV ZN III. / I.

Dva střídače EF13, EF14 5. systému pro napájení rozvaděčů 0,4 kV ZN III. / I.

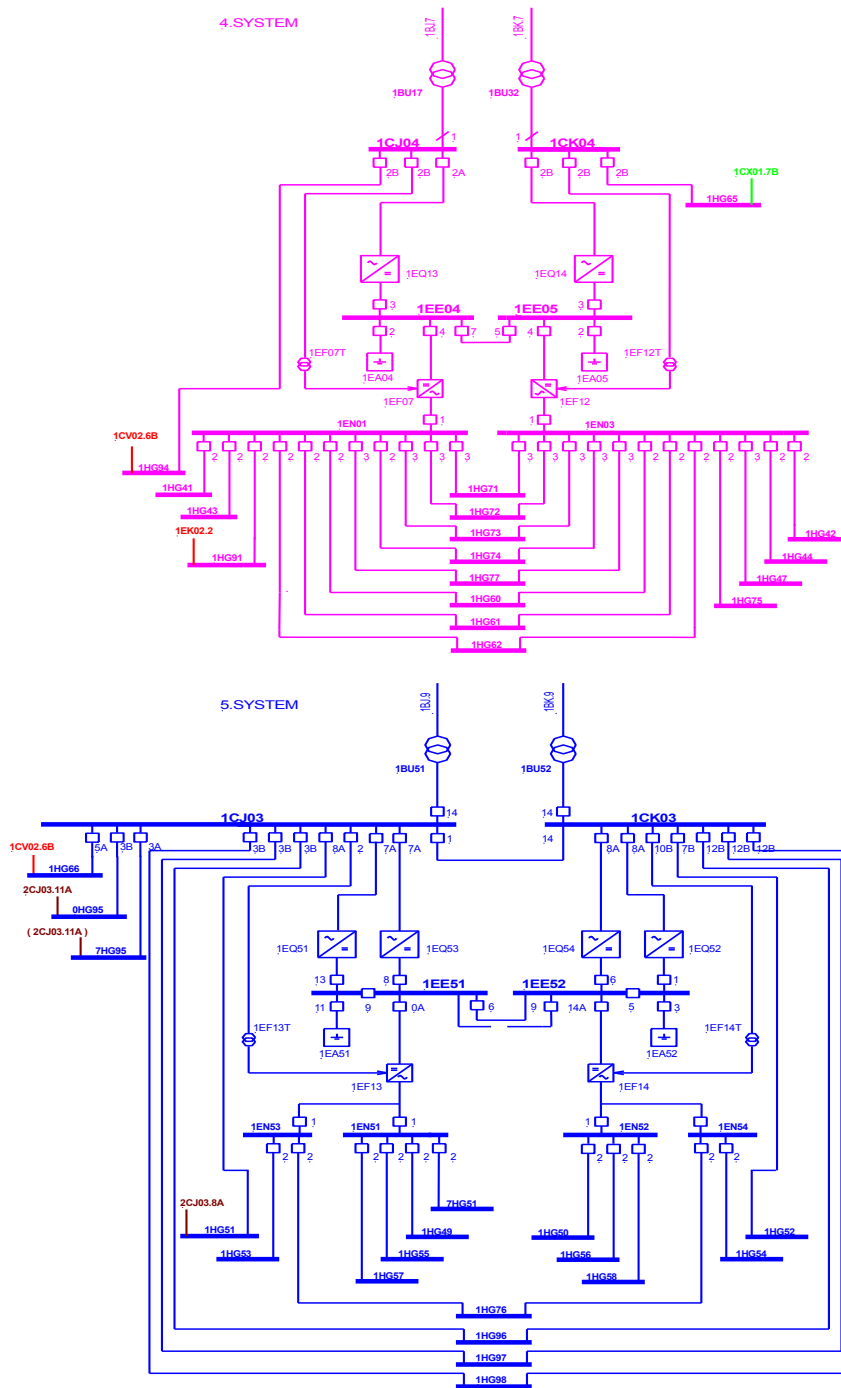
Rozvaděče 0,4kV

Dva rozvaděče EN01, EN03 4. systému pro napájení spotřebičů III. / I. kategorie (Automatický systém řízení technologického procesu reaktorovny).

Dva rozvaděče EN51, EN52 5. systému pro napájení spotřebičů III. / I. kategorie (Automatický systém řízení technologického procesu strojovny, Systém kontroly řízení elektro).

Akubaterie

Akubaterie EA04, EA05, EA51, EA52.



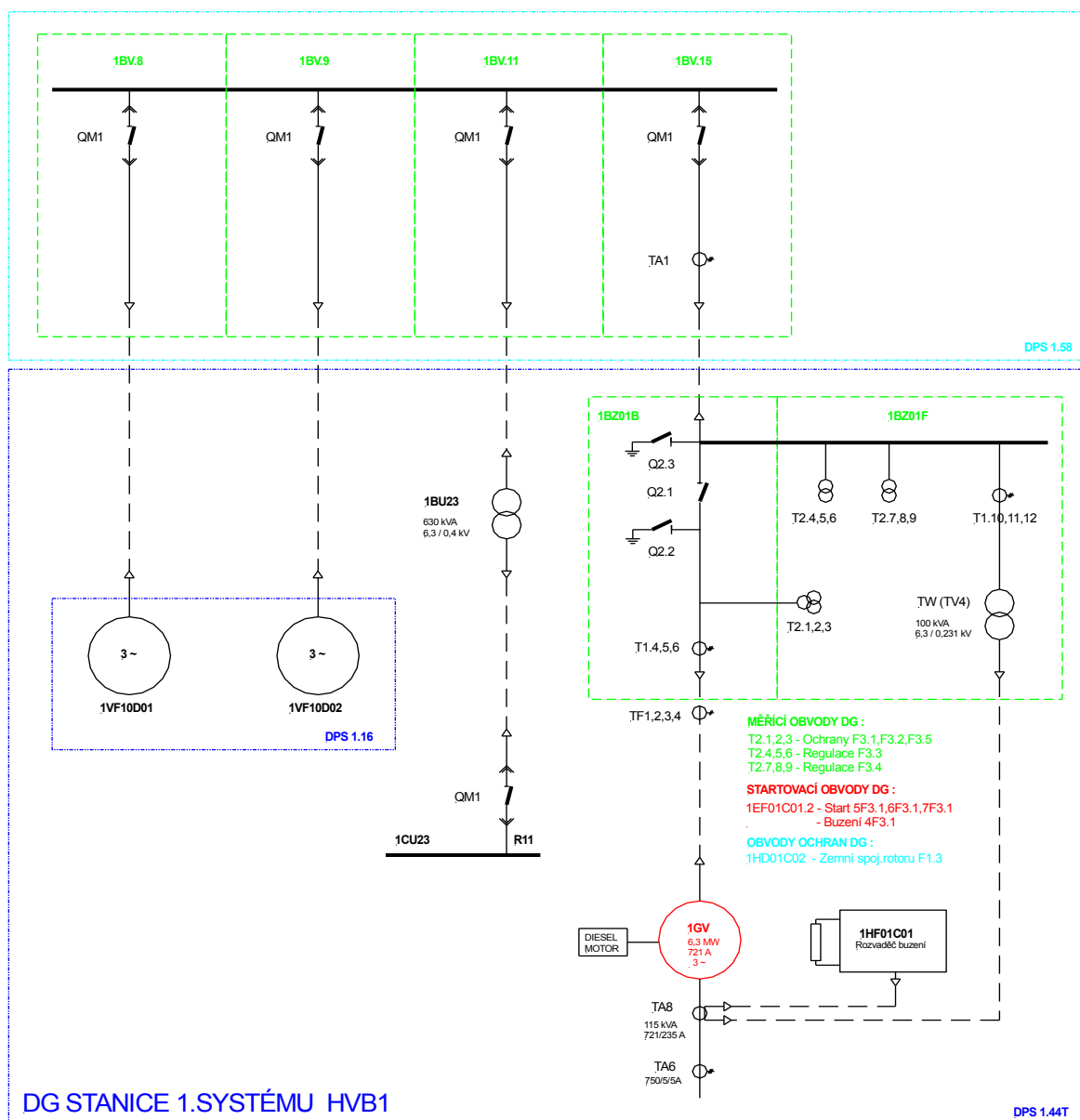
Obrázek č.14 Schéma napájení systému ZN III. / I. Jaderné elektrárny Temelín

3 Koncepce havarijního napájení jaderné elektrárny

3.1 Havarijní zdroje

3.1.1 Dieselgenerátory

V návaznosti na řešení jaderné tepelné části, musí dieselgenerátory zajistit napájení pohonů a spotřebičů zabezpečujících lokalizaci technologických poruch a dochlazování reaktoru i v režimu ÚZN vlastní spotřeby jaderné elektrárny.



Obrázek č.15 Schéma systémového dieselgenerátoru pro spotřebiče II. Kategorie JE Temelín

3.1.2 Akubaterie

Musí zajistit nepřerušené napájení řídicích a informačních systémů umožňujících lokalizaci technologických poruch a dochlazování reaktoru i v režimech ÚZN vlastní spotřeby jaderné elektrárny.

3.2 Napájení systému ochran reaktoru (SOR)

Schéma elektrického napájení systému a spotřebičů SOR je řešeno s ohledem na to, aby vyhovělo požadavkům na napájení zařízení v dodávce ŠKODA a plnilo funkce ve vazbě na havarijní řídicí systémy v dodávce WESTINGHOUSE. Jeho vývoj prošel fází střetu dvou různých koncepcí silového napájení (původní sovětské a nové americké), jejichž odlišnost vyplývala z různého výkladu bezpečnostních funkcí (ztráta silového napětí systému pohonů klastrů) i z rozdílných projekčních zvyklostí.

Pro začlenění schématu napájení spotřebičů SOR do elektroschématu napájení vlastní spotřeby bloku jsou vytvořeny tyto následující napájecí místa:

2 úsekové rozvaděče 0,4 kV NN III. kategorie - CE, CF

1 úsekový rozvaděč 0,4 kV ZN II. kategorie - CW03 (3. systém)

1 úsekový rozvaděč 0,4 kV ZN III. /II. kategorie - CJ04 (4. systém)

1 úsekový rozvaděč 220 V stř. ZN I. kategorie - EL02 (2. systém)

1 úsekový rozvaděč 220 V stř. ZN III. /I. kategorie - EN01 (4. systém)

Pro napájení stejnosměrných spotřeb SOR jsou přímo vytvořena stejnosměrná napájecí místa, jejichž elektrická zařízení jsou umístěna v obestavbě reaktorovny na podlaží +24,60 m:

1 úsekový rozvaděč 110 V ss. - EE09

1 výkonový usměrňovač 315 A - EQ17

1 akubaterie 110 V ss., 1200 Ah - EA09

2 úsekové rozvaděče 24 V ss. - EE21, EE22

2 výkonové usměrňovače 400 A - EQ21, EQ22

2 akubaterie 24 V ss., 600 Ah - EA21, EA22

Pro napájení silových a pomocných obvodů systémů a spotřebičů SOR (panely PSŘ, PUP, DKP, HKP, LKP) jsou přímo vytvořena napájecí místa, jejichž elektrická zařízení jsou umístěna v obestavbě reaktorovny na podlaží 24,60 m:

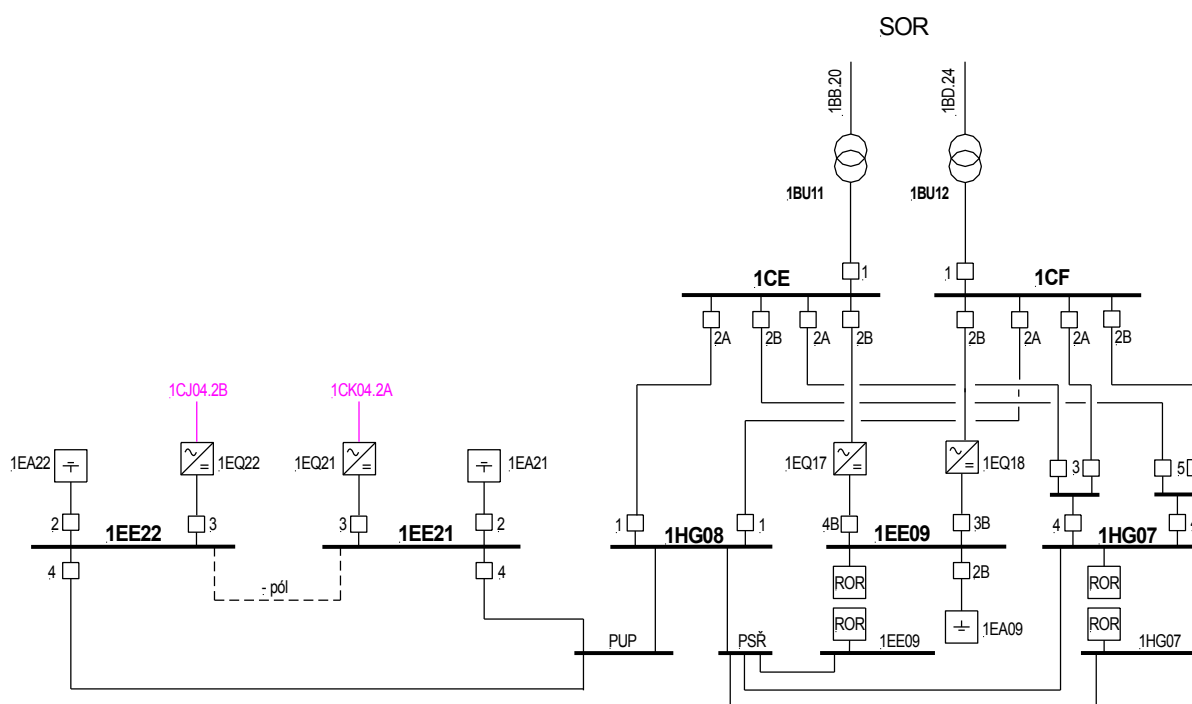
2 podružné rozvaděče 220 V stř. - HG07, HG08

2 podružné rozvaděče 110 V ss. - HG09, HG10

2 úsekové rozvaděče 24 V ss. - EE21, EE22

přívody z úsekového rozvaděče 220 V stř. - EL02 (2. systém)

přívody z úsekového rozvaděče 220 V stř. - EN01 (4. systém)



Obrázek č.16 Schéma napájení systému SOR JE Temelín

Napájení silových a pomocných obvodů panelů silového řízení (PSŘ) ze kterých jsou napájeny a ovládány lineární krokové motory klastrů je realizované ze čtyř podružných rozvaděčů (PR) HG07, HG08, HG09 a HG10. V přívodu každého z těchto rozvaděčů je instalován bezpečnostní vypínač, tj. sérioparalelní sestava nn vypínačů navržená tak, aby odpovídala filosofii pro výběr 2/3 (dva ze tří) s přímou vazbou jejich pomocných obvodů na Havarijní ochranu reaktoru. Těmito vypínači se realizuje bezpečné vypnutí při působení Havarijní ochrany reaktoru, po kterém následuje pád všech klastrů. U střídavých PR HG07, HG08 je mezi dvěma přívodními vypínači instalována automatika AZR, která je blokována od působení elektrických ochrany ve vývodech z nadřazených ÚR 0,4 kV CE resp. CF. Oba stejnosměrné PR HG09, HG10 jsou napájeny z nadřazeného ÚR 110 V ss. EE09.

Napájení panelů ukazatele polohy (PUP) je realizované rovněž z obou HG07, HG08 a z EE21, EE22. Přímou v napájených zařízeních je vytvořen diodový záskok mezi stejnosměrnými přívody.

Napájení panelů ukazatele koncové polohy (DKP - dolní koncová poloha, HKP - horní koncová poloha, LKP - lineární krokový pohon) je realizované z přívodů ZN I. resp. III. /I kategorie, tj. z ÚR EL02 resp. z ÚR EN01 (každý přívod je zaústěn do jedné skříně usměrňovačů, které jsou součástí panelů DKP, LKP).

4 Známé havarijní stavy v napájení jaderné elektrárny

4.1 Station Black Out

Zjednodušeně se dá Station black out popsat slovy, že se v objektu elektrárny nenachází jediný volt mimo akubaterie.

Z pohledu režimů elektro je black-out režim, při kterém dochází ke ztrátě zdrojů III. kategorie (pracovní a rezervní zdroje) i ke ztrátě zdrojů II. resp. III / II. kategorie (havarijní zdroje). V tomto režimu jsou k dispozici pouze zdroje I. kategorie respektive III. / I. kategorie ZN (akubaterie, střídače, systémy UPS), které jsou schopny zabezpečit napájení „pouze“ důležitým systémům Automatického systému řízení technologického procesu, Systému kontroly a řízení a vybraným armaturám bezpečnostních systémů. V tomto režimu je problematika dochlazování bloku značně komplikovaná.

4.1.1 Dochlazování bloku v podmínkách Station Black Out

Proces dochlazování bloku si lze z hlediska režimů a disponibility jednotlivých zdrojů napájení rozdělit následujícím způsobem:

Normální dochlazování

Když je blok dochlazován přes parogenerátory ze sekundární strany pomocí PSK (6x PSK z III. kategorie) se zajištěným odvodem tepla z kondenzátoru pomocí chladiček (2x chladička z III. kategorie) resp. pomocí PSA (3x PSA z II. kategorie, 1x PSA z III. / II. kategorie) přímo přepouštěním do atmosféry. Doplnění parogenerátorů napájecí vodou se v těchto režimech provádí buď pomocí pomocných elektro napáječek (2x PNČ z III. / II. kategorie) nebo pomocí havarijních napáječek (3x TX z II. kategorie).

Když se přechází na dochlazování primárního okruhu pomocí výměníku SAOZ (systém TQ), který je chlazen čerpadly technické vody důležité (3x TVD z II. kategorie), přičemž k dochlazování stačí pouze jedno z těchto čerpadel. Dochlazování PO pomocí výměníku SAOZ není možné zahájit dříve s ohledem na tlakové namáhání výměníku při tlacích blížících se nominálnímu (16,7 MPa).

Rozdíl mezi VVER 1000 a VVER 440 (EDU) při normálním (tedy plánovaným) odstavením bloku je ten, že místo dochlazování pomocí systému technologického kondenzátoru a doplňovacích čerpadel se PO dochlazuje pomocí výměníku SAOZ. Technologický kondenzátor u bloků VVER 1000 není určen pro dochlazování, ale pouze pro náhřevy sekundárního okruhu do horkého stavu a udržování SO v horkém stavu. Ani parovody nejsou dimenzovány na „vodovodní režim“.

Dochlazování v průběhu ÚZN vlastní spotřeby bloku

Vzhledem k tomu, že v průběhu úplné ztráty napájení vlastní spotřeby nejsou k dispozici pohony a spotřebiče III. kategorie, je možný způsob dochlazování bloku pouze přes PSA resp. přes pojišťovací ventily parogenerátoru. V primárním okruhu dochází v tomto režimu k náběhu přirozené cirkulace chladiva a k obvodu tepla přes parogenerátor. Jejich doplňování napájecí vodou se provádí pomocí havarijních napáječek (3x TX z II. kategorie).

Dochlazování v průběhu Station Black Out

Vzhledem k tomu, že při probíhajícím black-outu napájení vlastní spotřeby nejsou k dispozici pohony a spotřebiče III. ani II. resp. III. / II. kategorie, je možný pouze způsob dochlazování přes pojišťovací ventily parogenerátoru, přičemž k odvodu tepla nedochází nuceným oběhem. Z počátku se teplo odváděné z reaktoru spotřebovává na růst tlaku v HPK resp. v parogenerátoru. Když tlak dosáhne pro otevření pojišťovacích ventilů parogenerátoru, pojišťovací ventily odfukují páru tak, že její tlak v parogenerátoru kolísá v rozmezí 8÷8,3 MPa. Dochází k odparu napájecí vody z parogenerátoru, který končí jeho „vysušením“ na zbytek, který zůstane pod trubkovým svazkem. Po vysušení parogenerátoru následuje nárůst teploty i tlaku v PO až do hodnoty otevření pojišťovacích ventilů kompenzátoru objemu a dojde k vyrovnání teplot v PO a kompenzátoru objemu a následnému varu chladiva v PO. Následuje krize varu na aktivní zóně se všemi důsledky z toho vyplývajícími.

Výpočtové analýzy ukazují, že reaktory VVER s horizontálními parogenerátory mají pro režim black-outu vysokou vnitřní bezpečnost. To je dané vysokou zásobou chladiva na sekundární straně parogenerátoru. Provedené výpočty u bloků VVER 440 ukazují, že u reaktorů typu V-230 by k poškození aktivní zóny mohlo dojít za cca 8,5 hodiny, u reaktorů V-213 za cca 5 hodin. Výpočty provedené u bloků VVER 1000 ukazují, že vysušení parogenerátorů lze očekávat za cca 53 minut. Vypočtené doby skýtají dostatek času (především u bloků VVER 440) pro obnovení napájení pohonů a spotřebičů zajišťujících zásobování parogenerátoru napájecí vodou a odvod tepla z reaktoru respektive z parogenerátoru.

4.1.2 Řešení Station Black Out v podmínkách ETE

Black-out jednoho bloku je z hlediska požadavků na zdroje napájení zcela jednoznačně nadprojektovou havárií v elektro části ETE. Pro tento režim je charakteristická ztráta napájení blokových sekcí rozvoden 6 kV normálního napájení BA, BB, BC, BD po výpadku pracovních a rezervních zdrojů vlastní spotřeby bloku, ale i ztráta napájení blokových rozvoden 6 kV zajištěného napájení II. a III. / II. kategorie vlivem nepřipojení nebo vlivem výpadku všech havarijních zdrojů vlastní spotřeby bloku (dieselgenerátorů). V tomto režimu jsou ze zdrojů ZN v činnosti pouze agregáty nepřerušovaného napájení příslušných systémů, které napájí své sítě ZN I. a III. / I. kategorie. Zdroje těchto agregátů jsou akubaterie 220V ss. (pro napájení zátěží SOR i akubaterie 24 V ss.) Akubaterie systémů ZN

III. / I. kategorie 4 a 5. systému jsou naddimenzovány na minimální vybijecí dobu 2 hodin s kompletní stejnosměrnou zátěží celého systému. Akubaterie bezpečnostních systémů ZN I. kategorie jsou schopné zajistit napájení kompletní stejnosměrné zátěže celého bezpečnostního systému po dobu 2 hodin. V případě SBO „pouze“ jednoho bloku si napájení zachovávají i spotřebiče ÚR 0,4 kV PO, SO a osvětlení pokud je přechod těchto rozvaděčů na svoje rezervní napájení ze sousedního bloku úspěšný (stejná situace jako při ÚZN vlastní spotřeby jednoho z pracujících bloků).

Vzhledem k tomu, že v tomto režimu nejsou k dispozici pohony a spotřebiče III. kategorie (chladičky, HCC, PSK), pohony a spotřebiče III. / II. kategorie (pomocné napáječky, 1x PSA) a pohony a spotřebiče II. kategorie (TVD, 3x PSA, 3x TX), je dochlazení bloku značně komplikované. Jediný možný způsob dochlazování primárního okruhu v tomto režimu je pouze přes pojišťovací ventily parogenerátorů, které nepotřebují žádné napájení. Při tomto způsobu dochlazování nedochází k odvodu tepla nuceným oběhem, ale odfukem páry z parogenerátorů! Jestliže nebude obnoveno napájení pomocných nebo havarijních napáječek, dojde přibližně za 53 minut k vysušení parogenerátorů s následnými dopady na PO.

Dosavadní praxe ukazuje, nejpravděpodobnějším mechanismem vzniku SBO jsou systémové poruchy v ES (blízké zkraty včetně selhání ochran a ASV vypínačů v rozvodně 400 kV) kumulované s poruchami uvnitř elektrárny (selhání havarijních zdrojů vlivem elektrických nebo technologických prvopříčin).

4.1.3 Navrhovaná opatření v podmínkách JE Temelín

Navrhovaná opatření v podmínkách JE Temelín mají v zásadě dvojí charakter:

Preventivní opatření proti možnému vzniku Station Black Out

K preventivním opatřením vzniku black-outu v oblasti systémových poruch patří především systém rychlého řízení ventilů TG 1000 (významně zlepšuje dynamickou stabilitu generátoru a ES) a automatika rychlého dělení provozu rozvodny 400 kV Kočín (účinně snižuje riziko výpadku současně obou bloků při selhání vypínačů resp. jejich automatiky ASV). V oblasti spolehlivosti najetí havarijních zdrojů patří k preventivním opatřením úpravy v obvodech nabuzování dieselgenerátorů (k nabuzování využívat invertorového chodu tyristorového můstku budící soupravy, odbuzovač dieselgenerátoru v horké rezervě zůstává zapnut), v obvodech startu a ve vybraných technologických automatikách vlastní spotřeby dieselgenerátoru.

Opatření řešící následky Station Black Out

Opatření řešící následky black-outu spočívají v zajištění elektrického napájení pohonů a spotřebičů, které doplňují parogenerátory napájecí vodou (generátor na hřídeli turbo napáječky, protitlaké soustrojí poháněné ostrou párou, spalovací turbosoustrojí na zemní plyn). Byly posouzeny i varianty doplňování napájecí vody parogenerátorů provozem turbo napáječky poháněné ostrou párou generovanou

v parogenerátorech zbytkovým výkonem reaktoru. Jednoznačně nejvhodnějším řešením je využití výkonu hydrostrojů Malé vodní elektrárny Hněvkovice, u kterých bude nutné zajistit jejich najetí bez podpory vnější sítě.

4.2 Schémové automatiky

Schémové automatiky jsou automatiky zajišťující provoz elektrických sítí, elektrických zařízení a technologických systémů bloku a vnějších objektů **v nenominálních a poruchových stavech**. Podle druhu a stupně důležitosti těchto zařízení zajišťují tyto automatiky v co nejkratších dobách obnovení podmínek pro jejich činnost podle požadavků technologie a podle režimů práce bloku.

K základním funkcím schémových automatik patří:

1. Redukce zátěží rozvoden 6 kV a ÚR 0,4 kV před zapínáním rezervních zdrojů
2. Dělení elektroschémy normálního blokového a neblokovaného napájení
3. Zapínání rezervních zdrojů rozvoden 6 kV a ÚR 0,4 kV po ztrátě pracovního napájení
4. Dělení elektroschémy NN a ZN po ztrátě pracovního a rezervního napájení
5. Aktivace havarijních zdrojů, jejich zapínání a zatěžování
6. Blokování a ovládání vybraných spotřebičů a jejich technologických automatů
7. Blokování elektrických ochran v režimech samonajíždění
8. Aktivace automatiky regulace napětí rezervních zdrojů
9. Signalizace působení a nepřipravenosti automatik

Pro schémové automatiky bez ohledu na způsob jejich realizace je charakteristické, že pracují na základě algoritmů, které byly určeny s ohledem na požadovanou funkci automatiky, která je stanovena podle elektrežimu, jenž příslušná automatika řeší.

V zásadě lze volit dvě možnosti realizace schémových automatik:

1. Booleovský automat, tj. obvody pracující s logickými dvouhodnotovými veličinami a pevně přiřazenou logikou, která je realizovaná pomocí reléové techniky.
2. Počítačový automat s logikou, která je realizována na hardwarové základně (řídícími počítači) pomocí softwarových produktů (programů) jako volně programovatelný systém.

Rozhodování, v jaké formě realizovat určitý typ algoritmů, ovlivňuje struktura, složitost i potřeba obměňovat či jinak upravovat dané algoritmy schémových automatik (například v souvislosti se změnou elektrozřímů příslušné části elektroschémy). Výše uvedená potřeba je nejvýraznější u režimových automatik APS systémů zajištěného napájení resp. jejich dieselgenerátorů a u režimové automatiky SRDGS. Právě tyto automatiky jsou realizovány v řídicím informačním systému elektro.

4.3 Elektrické ochrany

Poslední část zařízení zajištění vlastní spotřeby, o které je nutno se zmínit jsou elektrické ochrany. Je to zařízení, které kontroluje chod jednotlivých částí vlastní spotřeby elektrárny a zajišťuje jejich provozní bezpečnost a spolehlivost. Systémy elektrických ochran zajišťují provoz elektrických sítí a elektrických zařízení v abnormálních (nenominálních) a poruchových stavech.

K základním funkcím elektrických ochran respektive jejich systémů patří:

1. **V případě poruchy** (zkrat, přepětí, zemní spojení, atd.) musí vymezit její místo, rychle odpojit postižený úsek nebo zařízení a tím omezit následky poruchy a zabránit jejímu rozšíření. Zároveň musí svoji činnost (působení) signalizovat.
2. **V případě abnormálních provozních stavů** (přetížení, nesymetrie, atd.) musí předat informace o povaze těchto stavů signalizováním na příslušné pracoviště (místnost ochran, BD, ÚED). Musí zajistit, aby se porucha nerozšířila na ostatní části elektroschémy resp. na další zařízení a neohrozila jejich chod a napájení spotřebičů.
3. Musí snížit riziko požáru v důsledku tepelných účinků zkratových proudů.

Základní rozdělení elektrických ochran je možné provést do následujících skupin, a to podle:

1. **Chráněného objektu** (generátoru, transformátoru, motoru, vedení, kabelu, přípojníc, atd.)
2. **Druhu poruchy** (zkratová, při přetížení, podpětová, nadpětová, podfrekvenční, nadfrekvenční, při zemním spojení, při zpětném toku výkonu, při podbuzení, při nesymetrii, při prokluzu rotoru)
3. **Funkčního principu** (proudová, napětová, podimpedanční, rozdílová, srovnávací, wattová, jalová, frekvenční, atd.)
4. **Funkčního významu** (hlavní, záložní, místní záložní, vzdálená záložní)
5. **Doby působení** (mžiková, časově závislá, časově polozávislá, časově nezávislá)
6. **Konstrukce** (elektromechanické, tranzistorové - statické, číslicové)

5 Možnosti posílení havarijního napájení jaderné elektrárny

Projekt jaderné elektrárny Temelín podléhal průběžným zlepšením a přizpůsobením, která byla korigována mnoha mezinárodními odbornými organizacemi. Početná individuální zlepšení byla realizována již před rokem 1990. Další bezpečnostní zdokonalení v jaderné elektrárně Temelín byla silně ovlivněna mezinárodní spoluprací zpravidla po doporučeních jaderných expertů, kteří posuzovali technický stav a provozování jaderné elektrárny v rámci misí WANO a OSSART. Tato doporučení (zdokonalení) probíhají trvale, jako poslední lze uvést zodolnění JE Temelín po událostech v JE Fukushima Daiichi, která se mají realizovat do konce roku 2015.

5.1 Hlavní změny v projektové bezpečnosti JE Temelín

Hlavní změny projektové bezpečnosti zahrnovali:

- Výměnu systémů měření a regulace
- Výměnu aktivní zóny a jaderného paliva
- Výměnu původního dozimetrického systému
- Výměnu a dodání diagnostických systémů
- Výměnu kabelů za kabely částečně odolné a odolné šíření požáru
- **Podstatné změny v projektu zajištění havarijního elektrického napájení**

(elektrická ochrana, přidání 2dieselgenerátorů, které nejsou bezpečnostní povahy, zvýšení kapacity akubaterií)

Nejdůležitější změny v projektu (projekt aktivní zóny a systémy měření a regulace) byly dodány západním dodavatelem. Podle SÚJB a jaderné elektrárny kombinace východních a západních technologií nezpůsobila zásadní problémy, protože systémy měření a regulace byly vyměněny kompletně a pro havarijní analýzu, projekt aktivní zóny a systémy měření a regulace byl vybrán stejný dodavatel. Rozhraní mezi různými technologiemi však byla zvažována průběžně během přípravy projektu a jeho realizace.

V průběhu výstavby a i vlastního provozování jaderné elektrárny Temelín proběhla řada misí MAAE a dalších organizací, které pokrývaly různé bezpečnostní aspekty: průběh budování elektrárny, vyhodnocení bezpečnostních systémů a bezpečnostní analýzy, protipožární ochranu, zajištění jakosti, řešení bezpečnostních otázek atd. Provozní zkušenosti od ostatních jaderných elektráren VVER 1000 a

západních tlakovodních reaktorů se srovnatelným zařízením (tj. digitálními systémy regulace a měření) byly zkoumány. Další relevantní informace byly získány od misí OSART provedených na jaderných elektrárnách VVER 1000, které jsou v provozu, stejně jako od řady dalších misí MAAE a ze spolupráce s organizací WANO.

5.2 Zodolnění havarijního napájení JE Temelín po havárii JE Fukushima Daiichi

Jako následnou odezvu na havárii v jaderné elektrárně Fukushima Daiichi vyzvala Evropská komise členské země EU provozující jaderné elektrárny, aby se připojily k dobrovolným „zátěžovým testům“ svých zařízení. Cílem testů bylo prokázat míru odolnosti jaderných elektráren zejména vůči extrémním seismickým, záplavovým a povětrnostním externím jevům, které přesahují rámec a požadavky na projekt definované licenčními podmínkami.

Na základě skutečností identifikovaných při havárii v JE Fukushima Daiichi byla mezinárodními jadernými institucemi vydána řada závěrů a ponaučení (pro jaderný průmysl a národní jaderné dozory), které jsou aplikovatelné pro všechny typy reaktorů. Výsledná zpráva obsahuje výsledky zátěžových testů, specifikovaných deklarací ENSREG (European Nuclear Safety Regulators Group) ze dne 13. března 2011 „EU Stress Tests Specifications“. O provedení zátěžových testů byl ČEZ, a. s. (provozovatel) požádán dopisem SÚJB ze dne 25. 5. 2011. Provedení zátěžových testů bylo upraveno příkazem ředitele Divize výroba ČEZ, a. s., který specifikoval jejich rozsah a způsob provedení.

Hodnocení bylo provedeno specialisty z oborů jaderné bezpečnosti, projektování jaderných zařízení, managementu havárií, havarijní připravenosti a výzkumu fenomenologie (teorie jevu) těžkých havárií, plně kvalifikovanými pro tuto činnost. Hodnotitelé postupovali v souladu s deterministickým přístupem předpokládaného postupného selhání všech preventivních opatření při hodnocení extrémních scénářů. Vzhledem ke krátké době, ve které musely být zátěžové testy provedeny byl jmenován pracovní tým, stanoven pevný harmonogram a definovány výstupy z jednotlivých etap jejich zpracování.

Závěrečná zpráva ČEZ, a. s. „Ocenění bezpečnosti a bezpečnostních rezerv JE Temelín, byla SÚJB předána dne 31. 10. 2011. SÚJB následně provedl detailní posouzení předložené zprávy, ze kterého vyplynuly některé požadavky na její dílčí úpravy. Pro zabezpečení objektivnosti bylo provedeno nezávislé posouzení předložené zprávy nejvýznamnějšími vnějšími dodavateli v oblasti jaderné bezpečnosti, mezi které patří zejména ÚJV Řež (Ústav jaderného výzkumu) a Westinghouse (dodavatel řídicího systému). Zpráva hodnotí charakteristiku projektu JE Temelín a její lokality na základě znalostí, které vyplývají z bezpečnostních studií, analýz, průzkumů a inženýrského odhadu, a týkají se současného výskytu několika neočekávaných (nadprojektových) a nepravděpodobných situací a poruch, kombinací kterých dochází k hypotetickému havarijnímu stavu bloku s předpokládanou četností výskytu jedenkrát za 1 000 000 let provozu JE nebo ještě menší.

Hodnocení zahrnuje tyto posuzované oblasti:

- Posouzení projektových požadavků a soulad s jejich plněním
- Posouzení odolnosti, robustnosti vůči nadprojektovým stavům a efektivity systému ochrany do hloubky, včetně identifikace hraničních stavů a případných opatření jak se těmto hraničním stavům vyhnout
- Identifikaci všech prostředků k udržování 3 základních bezpečnostních funkcí (reaktivita, chlazení paliva, omezení úniků) i podpůrných funkcí (**elektrické napájení**, odvod tepla do koncového jímače) a zvažuje efektivní možnosti k dalšímu zlepšení ochrany do hloubky

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

Výsledky zátěžových testů

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

- Robustnost a konzervativnost projektu připraveného zvládat náročné podmínky
- Projekt, jenž prochází stálou kontrolou a prověřováním s aktuálními bezpečnostními požadavky
- Trvalý proces zapracování nových bezpečnostních požadavků
- Lokalita s minimálním seismickým rizikem
- Lokalita prakticky vylučující vnější záplavy
- Velká vodní nádrž na doplňování surové vody
- Velká zásoba chladicí vody uvnitř elektrárny
- Kompaktní bazény použitého jaderného paliva zajišťující podkritičnost paliva i při zaplavení čistou vodou
- Umístění bazénu použitého jaderného paliva uvnitř plnotlakého kontejnmentu

Z pohledu zátěžových testů je významné zejména pozitivní hodnocení lokality. Přestože území České republiky není rizikové z pohledu extrémními klimatických jevů, byla při výběru lokality pro umístění JE Temelín plně respektována oficiální kritéria IAEA. Z tohoto důvodu je možné hodnotit lokalitu elektrárny Temelín jako vysoce stabilní ve vztahu k vnějším přírodním jevům, včetně seismicity. Konečným médiem (jímačem koncového tepla) je atmosféra a chlazení je zajištěno odparem v chladicích věžích nebo bazénech s rozstříkem. Surovou vodu pro JE zajišťují vodní nádrže, které jsou umístěny výrazně níže pod úrovní JE, proto ani jejich poškození (např. v případě extrémních záplav, zemětřesení apod.) elektrárnu neohroží.

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

Zvýšení bezpečnosti a odolnosti JE Temelín

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

- Doplnění dalších **mobilních zdrojů elektrického napájení** a mobilních zařízení pro čerpání medií, nezávislých a plně oddělených od stávajících projektových systémů (napájením, dislokací)
- Optimalizace organizace a školení personálu pro řízení extrémních situací (např. při zasažení obou bloků JE, při ztrátě řídicích center, systémů komunikace, apod.)
- Rozšíření kapacity zařízení pro likvidaci vodíku při těžkých haváriích

Výše uvedené možnosti zvýšení odolnosti projektu JE Temelín vůči následkům těžkých havárií jsou již dnes ve fázi přípravy na implementaci. Předpoklad realizace většiny opatření se předpokládá do roku 2013, v některých odůvodněných případech do roku 2015.

Závěr zátěžových testů

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

5.3 Návrh nového řešení Station Black Out v podmínkách JE Temelín

Nový návrh řešení následků Station black out v podmínkách jaderné elektrárny Temelín spočívá v zajištění elektrického napájení pohonů a spotřebičů, které doplňují parogenerátory napájecí vodou.

Jako možná řešení se nabízela:

- Generátor na hřídeli turbo napáječky
- Protitlaké soustrojí poháněné ostrou párou
- Spalovací turbosoustrojí na zemní plyn
- Turbo napáječky poháněné ostrou párou (generovanou v parogenerátorech zbytkovým výkonem reaktoru)

Koordinace obnovy soustavy po poruše typu Station black out

Tato podkapitola popisuje definované priority při obnově soustavy po poruše typu black-out a popisuje možné způsoby obnovy:

- Z části soustavy (které se udržely v provozu)
- Ze zahraničí
- Ze zdrojů schopných startu „ze tmy“

Definice Station black out (výpadku soustavy)

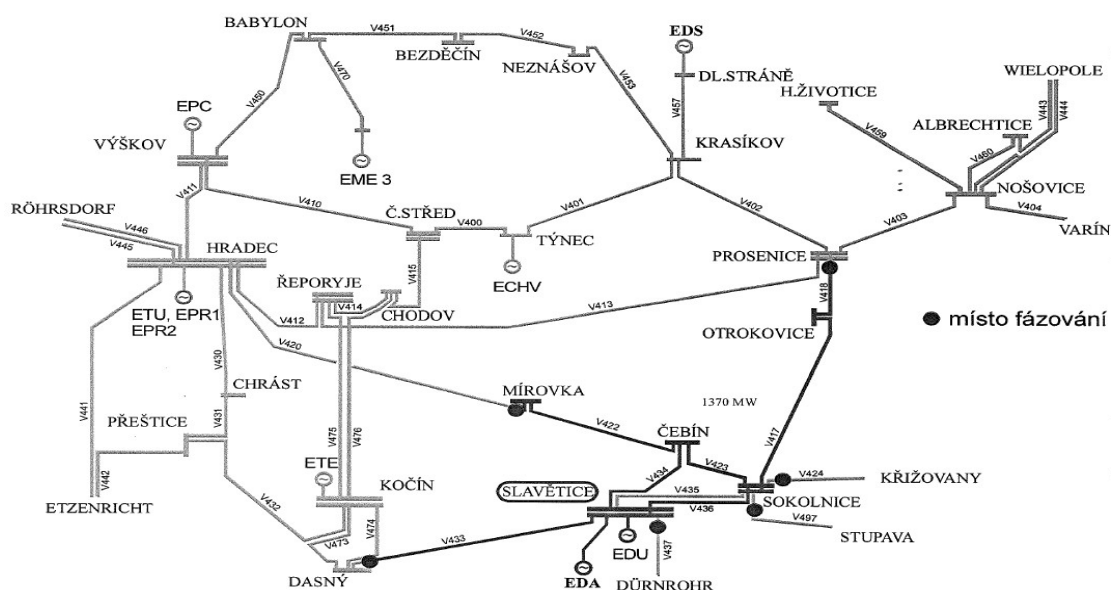
Stav, kdy celá přenosová soustava, její část nebo významná oblast elektrizační soustavy je bez napětí. K rozpadu soustavy dochází po významném výpadku nebo výpadcích přenosových a výrobních zařízení, které vedou ke vzniku ostrovních provozů a následnému napětíovému a/nebo frekvenčnímu kolapsu.

Priority obnovy napájení po Station black-out:

1. Vlastní spotřeba JE Temelín (Dukovany)
2. Vlastní spotřeby systémových klasických elektráren
3. Hlavní město Praha
4. Velké městské aglomerace – Brno, Ostrava, Plzeň, Č. Budějovice
5. Ostatní spotřebitelé

Obecná doporučení při obnově soustavy:

1. Doporučuje se rozdělit přenosovou soustavu do samostatných oblastí
2. Uplatnění strategie „open-all“ ve všech rozvodnách PS tj. vypnutí všech vypínačů 400 kV a 220 kV v postižené oblasti
3. Při obnově zátěže nejprve dispečer zapíná zátěž po menších přírůstcích, postupně lze zvětšovat přírůstky spínaného výkonu
4. Spínání zátěže při obnově se provádí při frekvenci rovné a vyšší 50 Hz, v případě ostrovního provozu by pokles frekvence neměl přesáhnout **0,5 Hz**. V případě obnovy napájení ze zahraničí je nutno sledovat přetoky na vedeních, zapínání zátěže musí být vždy koordinováno se vzrůstem zatěžování výrobních bloků, na počátku spínání zátěže se v případě ostrovního provozu doporučuje nepřipínat konzum vyšší než **10 MW**.
5. Pokud není možné během obnovy soustavy udržet napětí sítě 400 kV v povoleném rozsahu, lze v takovém mimořádném případě připustit krátkodobé a lokální překročení povolené horní meze ($U_{max} = 420 \text{ kV}$). Konkrétně lze připustit přepětí až 440 kV po dobu maximálně 100 min. Silové transformátory (ZVN / VVN) se nedoporučuje vystavit napětí vyššímu než **440 kV** z důvodu přesycení jádra, vzniku vyšších harmonických, zvýšení ohřevu, možnosti působení ochran, vzniku ferro-rezonance. Pokud těmto přepětím nejsou vystaveny silové transformátory, lze připustit přepětí až **460 kV** po dobu maximálně 100 minut.
6. Při obnově napětí se nedoporučuje využívat vedení V413 (Rozvodna Hradec – Rozvodna Prosenice) a V420 (Rozvodna Hradec – Rozvodna Mírovka) vzhledem k jejich značné délce



Obrázek č.17 Vymezení ostrova 400 kV vytvořeného ze zdroje schopného black start

6 Výpočet zkratových poměrů nového havarijního zdroje

Cílem této kapitoly je navrhnout, popsat a provést výpočet zkratových poměrů nového havarijního zdroje pro posílení koncepce havarijního napájení Jaderné elektrárny Temelín. Jako jednoznačně nejvhodnějším řešením se jeví využití výkonu hydrostrojů Malé vodní elektrárny Hněvkovice, u kterých bude nutné zajistit jejich najetí bez podpory vnější sítě.

6.1 MVE a ČS Hněvkovice

Malá vodní elektrárna Hněvkovice

Vodní elektrárna Hněvkovice je součástí vltavské kaskády a byla postavena v souvislosti s výstavbou Jaderné elektrárny Temelín. Nádrž vodního díla obsahuje 22,2 milionů m³ vody, vodní hladina pokrývá 312 ha a vzduť o délce 18,6 km dosahuje až k jezu v Hluboké nad Vltavou, nedaleko Českých Budějovic. Nádrž slouží jednak k využívání hydroenergetického potenciálu v polo špičkové vodní elektrárně a především jako rezervoár technologické vody pro areál temelínské elektrárny. Pro tento účel je na levém břehu, nedaleko přehrady a vodní elektrárny, postavena výkonná čerpací stanice s rozvodnou 110 kV.

Vodní dílo Hněvkovice vzniklo v letech 1986–1992. Betonová gravitační přehrada s výškou 16,5 m spojuje oba břehy 191 m dlouhou mostovkou na koruně hráze. V hrázi jsou zabudovány 3 přelivy, 12 m široké, hrazené ocelovými segmenty s elektropohonem, spodní základová výpust a stavební část plavební komory. Ve vodní elektrárně, která je součástí levobřežní části hráze, jsou instalována 2 soustrojí s Kaplanovými turbínami. Jsou umístěna v betonovém prodloužení paty hráze. Šachty generátorů jsou na ochranu proti povětrnostním vlivům zakryty ocelovými poklopy. Klasická říční elektrárna má vtoková hradidla, česle, ocelové tabulové uzávěry 4,3 x 6 m, betonové savky, kašny a výtoková hradidla. K obsluze česlí je na vtoku instalován čisticí stroj.

Elektřina z generátorů o napětí 6,3 kV je vyvedena přímo do rozvodny čerpací stanice temelínské elektrárny. Provoz vodní elektrárny je plně automatizován, je dálkově řízen z centrálního dispečinku vltavské kaskády ve Štěchovicích, který monitoruje i provoz nedaleké, níže ležící vodní elektrárny Kořensko [17].

Technické parametry MVE Hněvkovice:

- Typ turbín: Kaplanova, Ø 2 400 mm
- Charakter provozu: průtočný až polo špičkový
- Instalovaný výkon: 2 x 4,8 MW

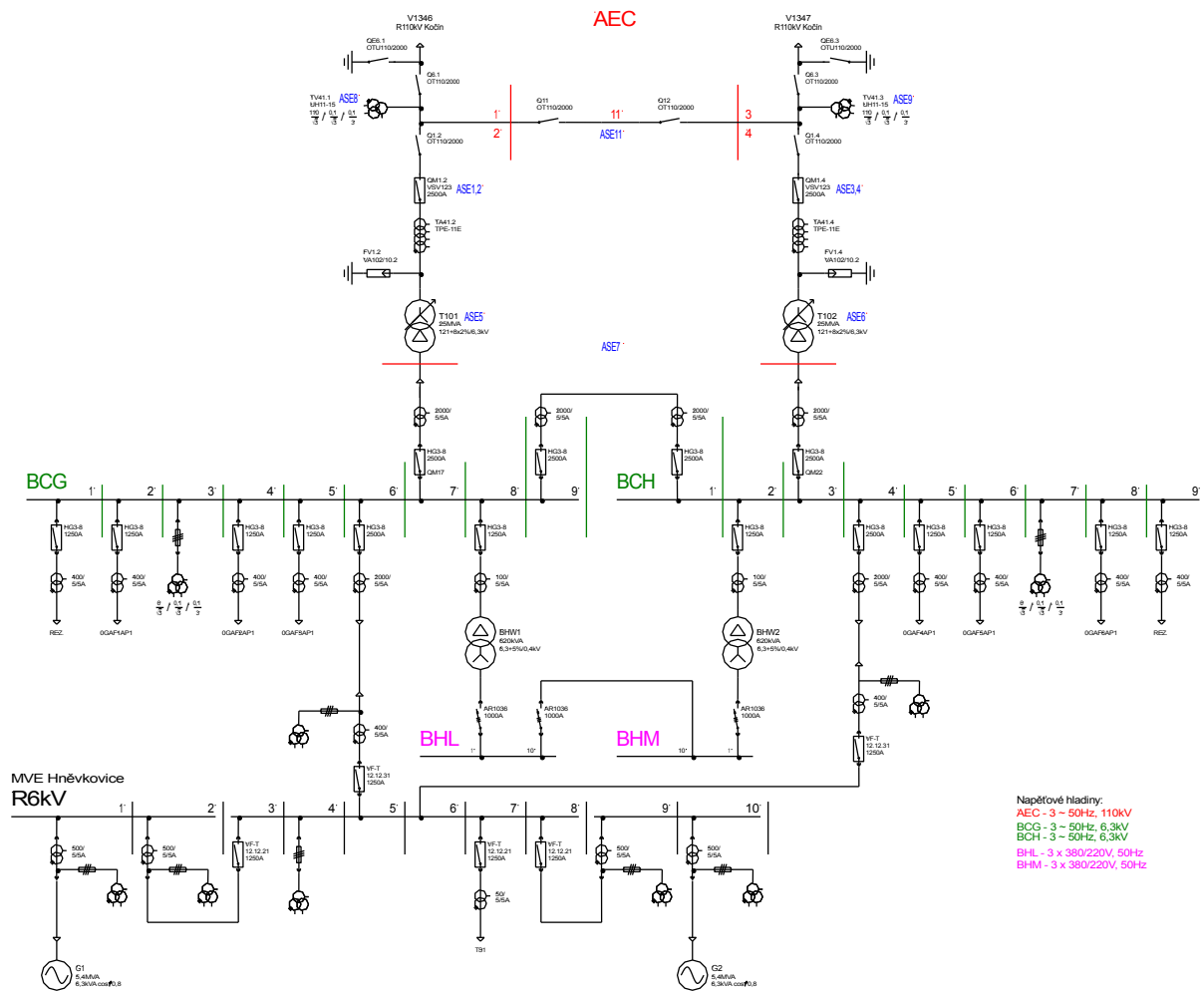
- Rozsah spádu: 9,3 ÷ 14,8 m
- Maximální hltnost: 2 x 30 m³/s
- Generátor: Škoda se statickým buzením
- $U_n = 6,3 \text{ kV}$
- $P_n = 4,32 \text{ MW}$
- $S_n = 5,4 \text{ MVA}$
- Uvedení do provozu: 1992

Čerpací stanice surové vody Hněvkovice

Čerpací stanice Hněvkovice je napájena z rozvodny Kočín dvojitou linkou 110 kV délky cca 8,5 km. Tento způsob napájení se liší od jiných JE (Dukovany, Mochovce), důvodem je vyšší instalovaný výkon čerpadel ČS Hněvkovice (6 x 3,15 MW \approx 19 MW, tj. \approx 2300 A na 6kV). Rozvodna 110kV Hněvkovice má schéma „H“, s vypínači pouze na straně 110 kV regulačních transformátorů 110/6,3 kV. V ostatních příčkách rozvodny jsou osazeny odpojovače. Regulační transformátory 110/6,3 kV mají výkon 25 MVA. Transformátory jsou z hlediska elektrického schématu v podstatě vysunuty z R 110 kV Kočín. Motory čerpadel a vlastní spotřeba je napájena z rozveden 6 kV BCG a BCH. V normálním provozu je každá z rozveden napájena svým transformátorem 110/6,3 kV a svým potahem linky 110 kV V1346, V1347. Podélné spojky jsou rozepnuty. Při neprovozuschopnosti některé z napájecích cest se zajistí napájení prioritně sepnutím podélné spojky mezi rozvodnami 6 kV, anebo i sepnutím příčky „H“ rozvodny 110 kV.

MVE Hněvkovice měla být původně vyvedena do sítě 22 kV, v poslední fázi byl projekt upraven a rozvodna je připojena kabely k oběma rozvodnám 6 kV BCG a BCH. V provozu je vždy pouze jeden z kabelů do rozvodny 6 kV.

Rozvodny 6 kV MVE nejsou vybaveny AZR, při výpadku některé sekce se napětí obnoví ruční manipulací (AZR nelze použít díky hydrogenerátorům). Mezi úsekovými rozváděči 0,4 kV vlastní spotřeby je AZR. Filozofie ochran je navržena tak, že se prioritně vypíná MVE, aby nemohla narušit provoz čerpací stanice Hněvkovice. Při výpadku napájení jsou vybrané důležité spotřebiče, řídicí systémy, komunikace s VHD zálohovány z baterií.



Obrázek č.18 Elektrické schéma napájení ČS Hněvkovice a vyvedení výkonu MVE

6.2 Návrh nového havarijního zdroje

Tento návrh ideově řeší elektrické napájení pohonů a spotřebičů, které doplňují parogenerátory napájecí vodou a to z výkonu hydrostrojů Malé vodní elektrárny Hněvkovice v případě Station Black Out Jaderné elektrárny Temelín.

Kromě posouzení elektrických vlastností schématu je orientačně posouzena i spolehlivost a realizovatelnost tohoto návrhu řešení. V návrhu jsou uvažovány následující výkonové požadavky na napájení z vnější sítě v rámci řešení SBO ETE pro náhradní napájení vlastní spotřeby z MVE:

- Požadovaná celková dodávka cca 3,7 MW (minimum cca 1,5 MW)
- Spuštění motoru o maximálním výkonu 800 kW (TX)

Provozní režim spolupráce MVE Hněvkovice a ETE

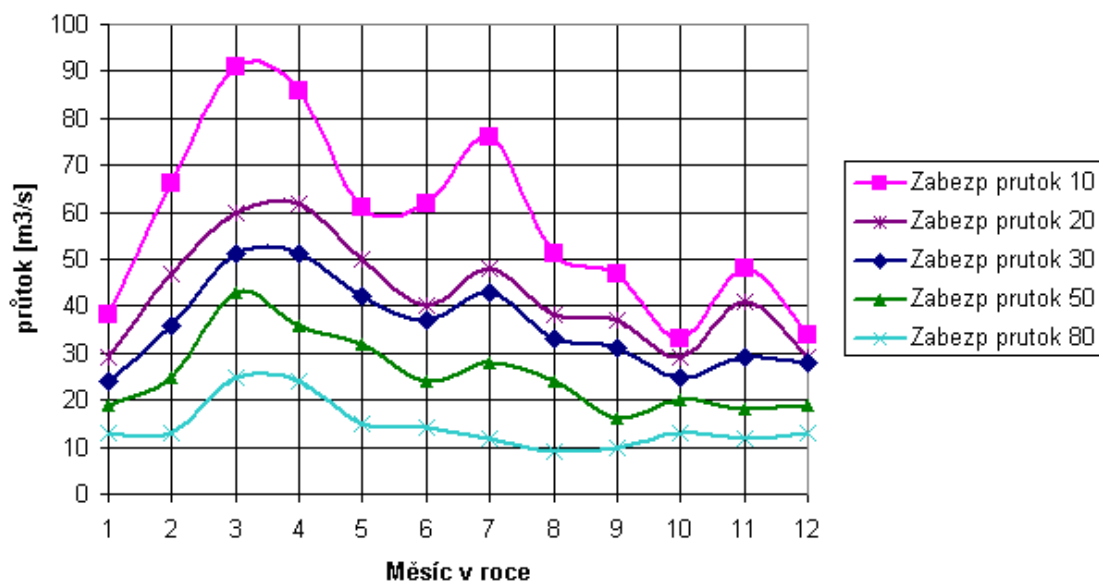
Z hlediska spolupráce ETE a MVE jako záložního zdroje je uvažován start MVE ze „tmy“:

- MVE je vypnuta, vlastní spotřeba nemá cizí zdroj napájení
- 1 hydrosoustrojí je spuštěno ze tmy
- Pomocí soustrojí je napájena vlastní spotřeba MVE
- Výkon je vyveden kabelem 6 kV do rozvodny 0BG/0BH ČS Hněvkovice
- Následně je napětí transformováno jedním z transformátorů T101/T102 na hladinu 110 kV a pomocí vedení V1346/V1347 vyvedeno do TR Kočín 110 kV

Sumární výkon hydrosoustrojí MVE je v příznivých obdobích okolo 6÷7 MW, ale většinou bývá podstatně nižší, tzn. 2÷4 MW, což může být pod hranici požadované dodávky 2,9 MW. Hlavní problém spočívá ve spuštění čerpadla s asynchronním motorem a následné zatěžování spotřebou ETE, což představuje spotřebiče nezbytné pro zvládnutí SBO. Pro zabezpečení nezbytné dodávky by musely být použity dvě hydrosoustrojí v paralelním provozu s dostatečným výkonovým potenciálem. To předpokládá, že bude k dispozici dostatečný průtok a spád. Úspěšné spuštění čerpadla je nejisté a to i z důvodu, že pokles napětí pod požadavky norem (80 %) ovlivní ostatní spotřebiče v rozvodu vlastní spotřeby, které mohou být odstaveny ochranami. Spuštění dalších čerpadel se jeví jako nereálné, v ostrovní síti by došlo ke kolapsu s následným odstavením soustrojí. Spouštění motorů klade vysoké požadavky na systémy regulací turbosoustrojí, především pak na frekvenci, napětí, řešení elektrických ochran, ale i na činnost obsluhy, která by musela být přítomna. Dále je nutné provést záměnu systému buzení generátorů za nezávislý. Při ostrovní práci obou soustrojí musí být vyřešen jejich paralelní provoz z hlediska regulací a vše důkladně ověřeno a odzkoušeno.

Průtoková zabezpečení

V příznivých podmínkách, tzn. při velkém spádu a průtoku a za předpokladu, že pracují obě soustrojí je Malá vodní elektrárna Hněvkovice schopna dát výkon cca 6÷7 MW. Výkonu 6,5 MW odpovídá sumární průtok oběma turbínami přibližně 45 m³/s. Dle dlouhodobé statistiky je zabezpečení tohoto průtoku ve většině roku mezi 10 až 20 % (650 kW÷1,3 MW), na podzim dokonce jen okolo 5 %. Hodnota průtoku se zabezpečností 50 %, což je hodnota používaná ČEZ Vodní elektrárny pro plánování provozu, je okolo 20 m³/s.



Graf č.1 Průtoková zabezpečení profilu MVE Hněvkovice – převzato z [17]

Využitelnost naakumulované energie

Při vypouštění naakumulované vody velkým průtokem ($45\div 60 \text{ m}^3/\text{s}$), který je nutný pro velký výkon turbín, dochází k velmi rychlému poklesu hladiny v zásobní nádrži. Hladina vody poklesne z maximální na minimální přibližně za 8 hodin. Rychlost poklesu hladiny je ale silně omezena a to na cca 1 m za den platným Manipulačním řádem, což je dokument závazný pro všechny uživatele vodního díla. Střetávají a vyvažují se v něm zájmy ČEZ, Povodí Vltavy, rybářů, obcí, biologů a dalších.

Vodní dílo Hněvkovice plní kromě zajištění surové vody pro Jadernou elektrárnu Temelín i další funkce, např. udržení dostatečného průtoku Vltavou pro ředění výpustí ETE, rekreace, zajištění životních podmínek pro ryby a další faunu a floru. Pokud by měla MVE Hněvkovice sloužit jako náhradní zdroj, musel by se Manipulační řád podstatně upravit, aby měla tato nová funkčnost zajištěny podmínky. Podle informací Dispečinku vodních elektráren by, ale byla změna Manipulačního řádu velmi složitá a mohla by narušit dosaženou křehkou rovnováhu ekosystému. Existuje reálná možnost, že by nové podmínky využívání vodního díla mohly být pro ČEZ méně příznivé, než podmínky současné. Z hlediska potřeby změnit Manipulační řád již postačuje fakt, že bude nutno zajistit zvýšený odběr vody z Vltavy pro nové jaderné zdroje elektrárny Temelín.

Zhodnocení výkonnosti a využitelnosti MVE

Výkonnost Malé vodní elektrárny Hněvkovice je tedy velmi nevyrovnaná a ovlivněná řadou faktorů. Při snaze využít naakumulovanou energii zadržené vody narážíme na fakt rychlého poklesu hladiny při potřebném průtoku (výkonu) a tím k relativně krátké dodávce elektrické energie v řádu hodin. Pro trvale dosažitelné velké výkonnosti by bylo třeba významně změnit režim v celé oblasti řeky nad i pod vodním dílem Hněvkovice.

6.3 Všeobecné zásady pro výpočet zkratových poměrů

Všeobecné zásady:

- Předpokladem výpočtu je neměnnost parametrů prvků elektrizační soustavy během zkratu
- Soustava před zkratem je symetrická nebo symetrizovaná
- Změny v zapojení soustavy v době trvání zkratu se uvažují, jen když ovlivní velikost ekvivalentního oteplovacího proudu
- Předpokládá se, že zkraty postihující více než jednu fázi, vznikají v tomtéž místě a současně
- Vliv elektrického oblouku na velikost zkratového proudu se neuvažuje

Zdrojem zkratového proudu jsou:

- Synchronní stroje jako jsou alternátory, motory, kompenzátory
- Asynchronní motory
- Soustava zahrnující synchronní stroje elektricky vzdálené od místa zkratu
- Polovodičové systémy, pokud mohou při zkratu dodávat zkratový proud

Vliv asynchronních motorů lze zanedbat v některých případech:

- Příspěvek asynchronních motorů s polovodičovými měniči se uvažuje jen k trojfázovému počátečnímu a nárazovému zkratovému proudu, pokud měnič dovolí rekuperaci energie při zkratu
- Příspěvek asynchronních motorů připojených do uzlu velmi vzdáleného od místa zkratu se neuvažuje, pokud na počátku zkratu při zanedbání vlivu těchto motorů napětí uzlu nepoklesne pod 90 % jmenovitého napětí sítě
- Při výpočtu zkratových proudů je možno neuvažovat vliv asynchronních motorů také tehdy, pokud jejich příspěvek k velikosti počátečního rázového zkratového proudu I_k'' není větší než 5 % z počátečního rázového zkratového proudu stanoveného bez těchto motorů [18]

Podmínky výpočtů zkratových proudů:

Při výpočtu **maximálních** zkratových proudů je nutno vzít v úvahu:

- Maximální provozní napětí soustavy a zdrojů reprezentované součinitelem c_{max}
- Takovou konfiguraci soustavy (bloků v elektrárně, síťových napáječů), která znamená největší příspěvek zkratového proudu v daném místě
- Pokud je síť nahrazena ekvivalentní impedancí Z_Q , počítat s její minimální variantou
- Zahrnout příspěvky motorické zátěže
- Všechny rezistance vedení, kabelů a vodičů uvažovat při teplotě 20 °C [6]

Naopak, při výpočtu **minimálních** zkratových proudů je nutno vzít v úvahu:

- Minimální provozní napětí soustavy a zdrojů reprezentované součinitelem c_{min}
- Takovou konfiguraci soustavy (bloků v elektrárně, síťových napáječů), která minimalizuje příspěvek zkratového proudu v daném místě
- Pokud je síť nahrazena ekvivalentní impedancí Z_Q , počítat s její maximální variantou
- Zahrnout příspěvky motorické zátěže
- Všechny rezistance vedení, kabelů a vodičů uvažovat při maximální provozní teplotě 20 °C [6]

Jmenovité napětí U_n	Napěťový součinitel c pro výpočet	
	maximálních zkratových proudů c_{max}	minimálních zkratových proudů c_{min}
Nízké napětí 100 ÷ 1 000 V	1,10	0,95
Vysoké napětí 1 ÷ 35 kV	1,10	1,00
Velmi vysoké napětí > 35 kV		

Tabulka č.1 Součinitel „c“ pro výpočet maximálních a minimálních zkratových proudů

6.4 Zkratové poměry nového havarijního zdroje

Účel zkratového výpočtu

Účelem zkratového výpočtu je zjistit:

- Nejnepříznivější zkratové poměry (pro dimenzování zařízení)
- Zkratové poměry při některých provozních stavech (k nastavení ochran, výpočtu stability apod.)

Obvykle se určují:

- 1) **Počáteční rázový zkratový proud**
- 2) **Počáteční rázový zkratový výkon**
- 3) **Nárazový proud**

Výpočet se provádí jako zběžný pro rychlé zjištění zkratových poměrů – uvažují se jen reaktance. Dává zpravidla větší výsledky než podrobný výpočet. Ten se provádí tehdy, když zběžným výpočtem není zřejmé, že není ovlivněna hospodárnost navrhovaného zařízení a je-li třeba získat přesnější přehled o zkratových poměrech, zejména o časové závislosti.

Pro určení největších zkratových proudů se předpokládá, že před zkratem jsou alternátory zatíženy souměrně jmenovitým výkonem při jmenovitém $\cos \varphi$. Svorkové napětí se uvažuje o 5 % větší než jmenovité.

Pro určení nejmenšího zkratového proudu se uvažují alternátory nezatížené se jmenovitým svorkovým napětím. [19]

Parametry elektrického zařízení:

Hydrostroj G1:

- Zdánlivý výkon $S_n = 5,4 \text{ MVA}$
- Podélná reaktance $x_d = 14 \%$
- Příčná reaktance $x_q = 18 \%$

Hydrostroj G2:

- Zdánlivý výkon $S_n = 5,4 \text{ MVA}$
- Podélná reaktance $x_d = 14 \%$
- Příčná reaktance $x_q = 18 \%$

Transformátor T101:

- Zdánlivý výkon $S_n = 25 \text{ MVA}$
- Zapojení D/Yn
- Převod 6,3/110 kV
- Napětí nakrátko $U_k = 10 \%$

Transformátor T102:

- Zdánlivý výkon $S_n = 25 \text{ MVA}$
- Zapojení D/Yn
- Převod 6,3/110 kV
- Napětí nakrátko $U_k = 10 \%$

Vedení V1346:

- Přenášené napětí $U_n = 110 \text{ kV}$
- Délka $l = 8,45 \text{ km}$
- Reaktance $x = 0,407 \text{ } \Omega/\text{km}$

Vedení V1347:

- Přenášené napětí $U_n = 110 \text{ kV}$
- Délka $l = 8,45 \text{ km}$
- Reaktance $x = 0,407 \text{ } \Omega/\text{km}$

Vedení V9001:

- Přenášené napětí $U_n = 110 \text{ kV}$
- Délka $l = 2,75 \text{ km}$
- Reaktance $x = 0,407 \text{ } \Omega/\text{km}$

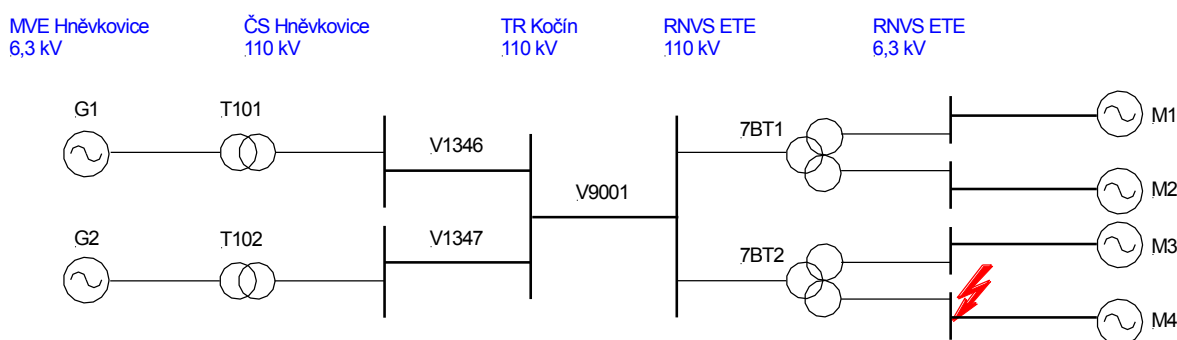
Transformátor 7BT1:

- Zdánlivý výkon $S_n = 63/31,5/31,5 \text{ MVA}$
- Zapojení Yn/ d1/d1
- Převod 110/6,3/6,3 kV
- Napětí nakrátko $U_k = 9,5 \%$

Transformátor 7BT2:

- Zdánlivý výkon $S_n = 63/31,5/31,5$ MVA
- Zapojení Yn/d1/d1
- Převod 110/6,3/6,3 kV
- Napětí nakrátko $U_k = 9,5$ %

Výchozí schéma



Obrázek č.19 Výchozí schéma vyvedení výkonu hydrostrojů z MVE do ETE s označením místa zkratu

Vztažný výkon, vztažné napětí a vztažný proud

Zvolíme si vztažný výkon S_v a vztažné napětí U_v . Hodnotu vztažného napětí volíme takovou, jaká je v místě zkratu.

$$S_v = 25 \text{ MVA}$$

$$U_v = 6,3 \text{ kV}$$

$$I_v = \frac{S_v}{\sqrt{3} \times U_v} = \frac{25 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 6,3 \times 10^3} = 2,29 \text{ [kA]}$$

Náhradní reaktance generátorů hydrostrojů

S pomocí podélné a příčné reaktance vypočteme náhradní reaktance. Pro hydrostroje počítáme dvě reaktance, první x_1 je sousledná a druhá x_2 je zpětná.

Hydrostroj G1:

$$x_{1G} = x_d \times \frac{S_v}{S_n} = 0,14 \times \frac{25}{5,4} = 0,65$$

$$x_{2G} = \frac{x_d + x_q}{2} \times \frac{S_v}{S_n} = \frac{0,14 + 0,18}{2} \times \frac{25}{5,4} = 0,74$$

Hydrostroj G2:

$$x_{1G} = x_d \times \frac{S_v}{S_n} = 0,14 \times \frac{25}{5,4} = 0,65$$

$$x_{2G} = \frac{x_d + x_q}{2} \times \frac{S_v}{S_n} = \frac{0,14 + 0,18}{2} \times \frac{25}{5,4} = 0,74$$

Náhradní reaktance transformátorů

Vypočteme náhradní reaktance pro transformátory, počítáme tři reaktance, první x_1 je sousledná, druhá x_2 je zpětná a x_0 je netočivá.

Transformátor T101:

$$x_{1T} = x_{2T} = x_{0T} = U_k \times \frac{S_v}{S_n} = 0,1 \times \frac{25}{25} = 0,1$$

Transformátor T102:

$$x_{1T} = x_{2T} = x_{0T} = U_k \times \frac{S_v}{S_n} = 0,1 \times \frac{25}{25} = 0,1$$

Transformátor 7BT1:

$$x_{1T} = x_{2T} = x_{0T} = U_k \times \frac{S_v}{S_n} = 0,095 \times \frac{25}{31,5} = 0,08$$

Transformátor 7BT2:

$$x_{1T} = x_{2T} = x_{0T} = U_k \times \frac{S_v}{S_n} = 0,095 \times \frac{25}{31,5} = 0,08$$

Náhradní reaktance vedení

Vypočteme náhradní reaktance pro vedení, počítáme tři reaktance, první x_1 je sousledná, druhá x_2 je zpětná a x_0 je netočivá.

Vedení V1346:

$$x_{1V} = x_{2V} = x \times l \times \frac{S_v}{U_v^2} = 0,407 \times 8,45 \times \frac{25}{110^2} = 0,007$$

$$x_{0V} = x_0 \times l \times \frac{S_v}{U_v^2} = 1,4 \times 8,45 \times \frac{25}{110^2} = 0,024$$

Vedení V1347:

$$x_{1V} = x_{2V} = x \times l \times \frac{S_v}{U_v^2} = 0,407 \times 8,45 \times \frac{25}{110^2} = 0,007$$

$$x_{0V} = x_0 \times l \times \frac{S_v}{U_v^2} = 1,4 \times 8,45 \times \frac{25}{110^2} = 0,024$$

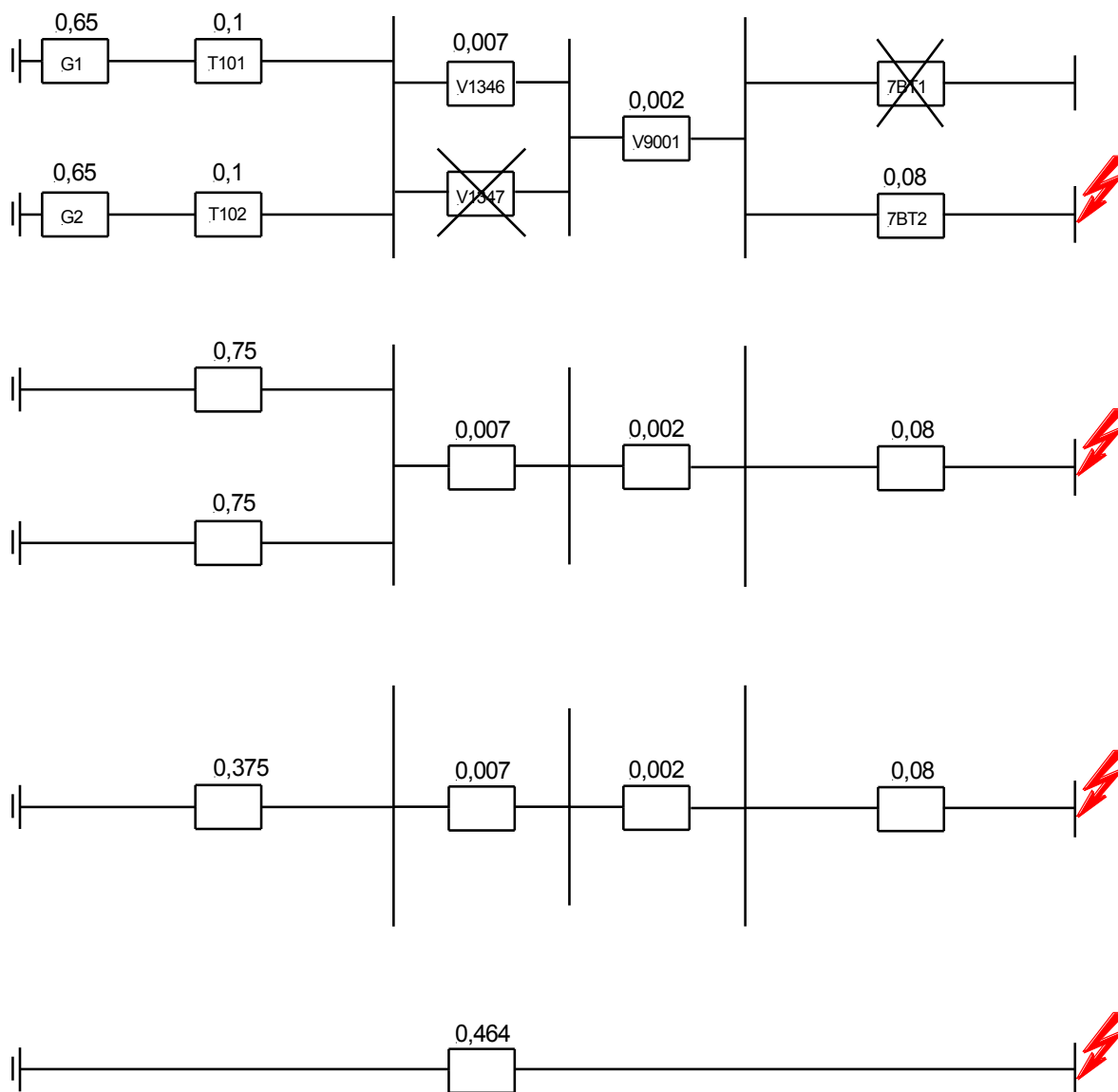
Vedení V9001:

$$x_{1V} = x_{2V} = x \times l \times \frac{S_v}{U_v^2} = 0,407 \times 2,75 \times \frac{25}{110^2} = 0,002$$

$$x_{0V} = x_0 \times l \times \frac{S_v}{U_v^2} = 1,4 \times 2,75 \times \frac{25}{110^2} = 0,008$$

Sousledné schéma

Do výchozího schématu dosadíme hodnoty vypočtených náhradních reaktancí a metodou postupného zjednodušování zjistíme vypínací reaktanci x_{VYP} . Výpočet dílčích reaktancí provádíme dle sérioparalelního zapojení.

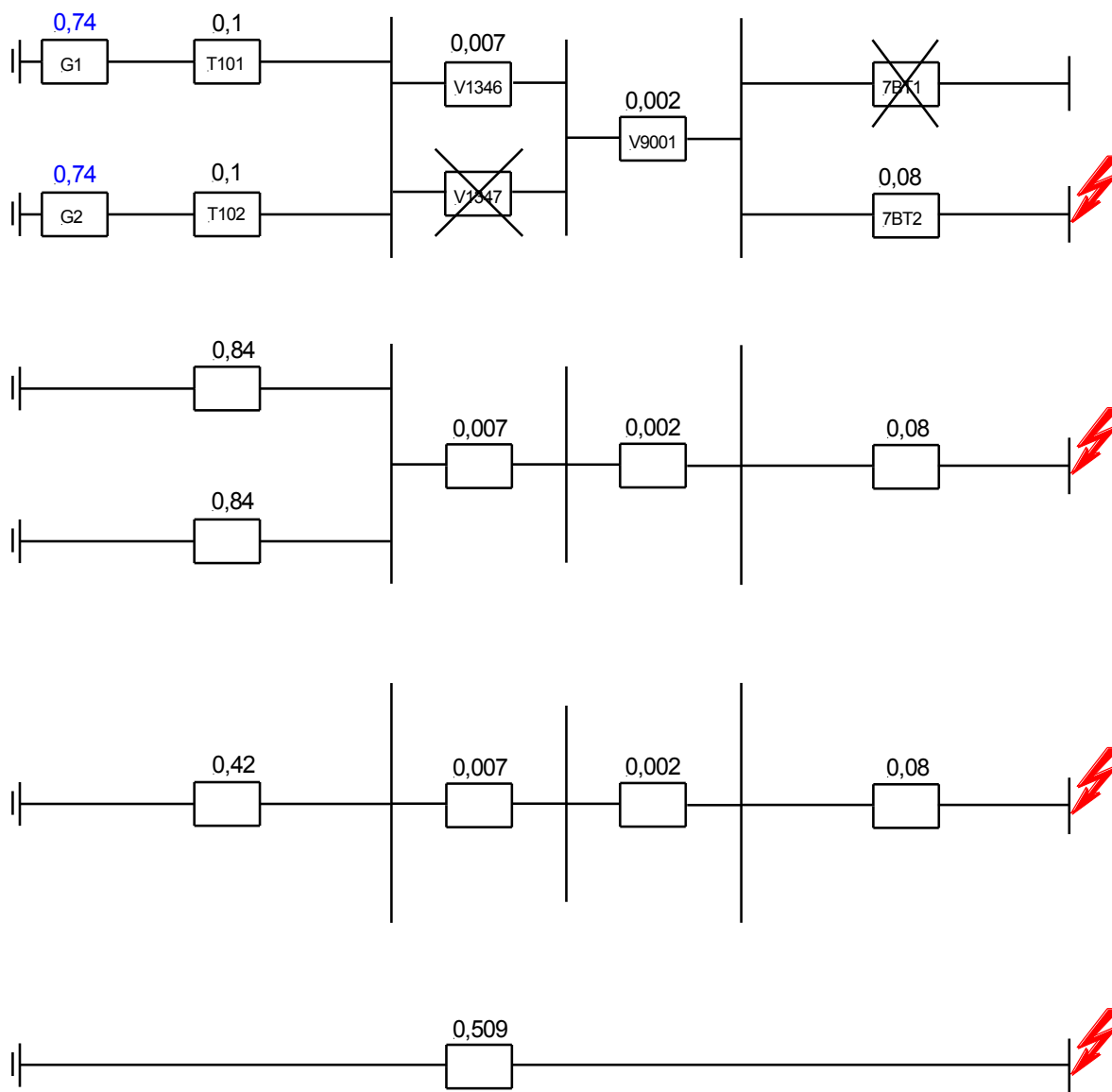


Obrázek č.20 Postupně zjednodušené sousledné schéma

Výsledná vypínací reaktance $x_{VYP} = 0,464$.

Zpětné schéma

Do výchozího schématu dosadíme hodnoty vypočtených náhradních reaktancí a metodou postupného zjednodušování zjistíme vypínací reaktanci x_{VYP} . Výpočet dílčích reaktancí provádíme dle sérioparalelního zapojení.

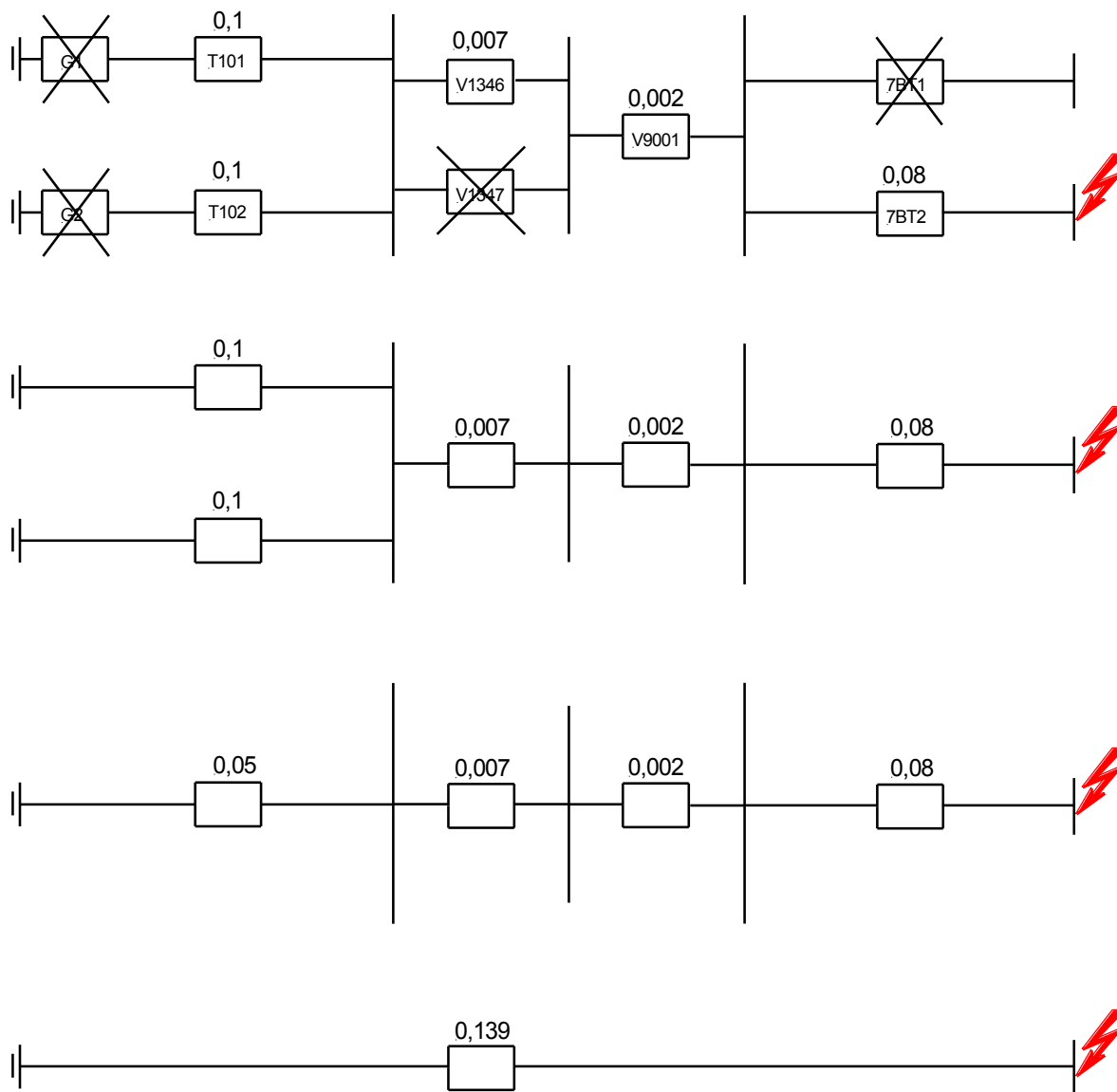


Obrázek č.21 Postupně zjednodušené zpětné schéma

Výsledná vypínací reaktance $x_{2VYP} = 0,509$.

Netočivé schéma

Do výchozího schématu dosadíme hodnoty vypočtených náhradních reaktancí a metodou postupného zjednodušování zjistíme vypínací reaktanci x_{VYP} . Výpočet dílčích reaktancí provádíme dle sérioparalelního zapojení. V tomto případě neuvažujeme generátory.



Obrázek č.22 Postupně zjednodušené netočivé schéma

Výsledná vypínací reaktance $x_{0VYP} = 0,139$.

Výpočet zkratových proudů

- Třífázový zkrat = SOUMĚRNÝ => uplatní se pouze sousledná složka zkratové impedance
- Dvofázový zkrat = NESOUMĚRNÝ => uplatní se sousledná a zpětná složka zkratové impedance
- Jednofázový zkrat = NESOUMĚRNÝ ZEMNÍ => uplatní se sousledná, zpětná a netočivá složka zkratové impedance

Vlastní výpočet:

1) Počáteční rázový zkratový proud:

$$I''_{k3f} = \frac{I_v}{x_{1VYP}} = \frac{2,29}{0,464} = 4,94 \text{ [kA]}$$

$$I''_{k2f} = \frac{\sqrt{3} \times I_v}{x_{1VYP} + x_{2VYP}} = \frac{\sqrt{3} \times 2,29}{0,464 + 0,509} = 4,08 \text{ [kA]}$$

Výpočet jednofázového zkratového proudu I_{k1f} , zde není proveden, protože zkrat je uvažován na napěťové hladině 6,3 kV, tzn. v izolované soustavě. V tomto případě se tedy nejedná o zkrat, ale o zemní spojení a jeho následkem není zkratový proud, ale proud poruchový včetně nárůstu napětí nepostižených fází proti zemi na sdruženou hodnotu. Poruchový proud I_p je složen ze dvou proudů, tekoucími kapacitami nepostižených fází $I_p = I_a + I_b$. [19] Třetí kapacita postižené fáze je překlenuta poruchou. Hodnoty poruchových proudů jsou několikanásobně menší než hodnoty proudů zkratových.

Nejhorší případ je třífázový zkrat a na ten vždy provádíme další výpočty.

2) Počáteční rázový zkratový výkon

$$S''_{k0} = \sqrt{3} \times U_{sv} \times I''_{k0} = \sqrt{3} \times 6,3 \times 4,94 = 53,9 \text{ [MVA]}$$

3) Nárazový proud

$$I_{km} = K \times \sqrt{2} \times I''_{k0} = 1,6 \times \sqrt{2} \times 4,94 = 11,18 \text{ [kA]}$$

„K“ je koeficient pro různá místa zkratu, pro VN je $K = 1,6$ (VVN $K = 1,7$; NN $K = 1,4$; kabely $K = 1,3$).

6.5 Kontrola na rozběh nejtěžšího pohonu

Podmínky při rozběhu největšího spotřebiče vychází z napěťových a zkratových poměrů dle normy ČSN 38 1120.

- Při normálním spouštění jednotlivých pohonů přímo napájenými ze sítě nesmí napětí na přípojnících vlastní spotřeby klesnout pod $0,8 U_n$.

Pro výpočet jsem vybral nejnepříznivější možný stav, tzn. je již v provozu čerpadlo VF napájené za jednou z větví rezervního transformátoru 7BT2 a rozbíháme čerpadlo TX. Do výpočtu jsem nezahrnul rozvod 0,4 kV, který v případě SBO není prioritně napájen.

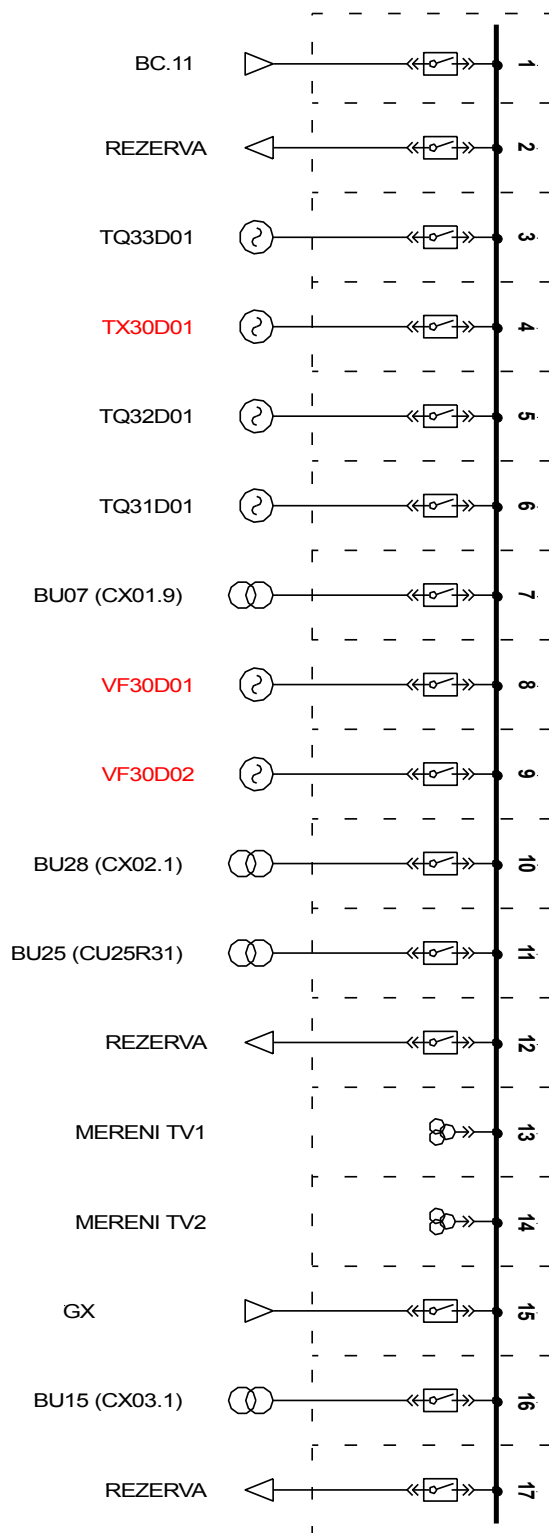
Spouštěné spotřebiče v případě SBO na ETE:

Po obnovení napájení jedné bezpečnostní přípojnice, budou postupně najety prioritní spotřebiče z rozvodny II. kategorie:

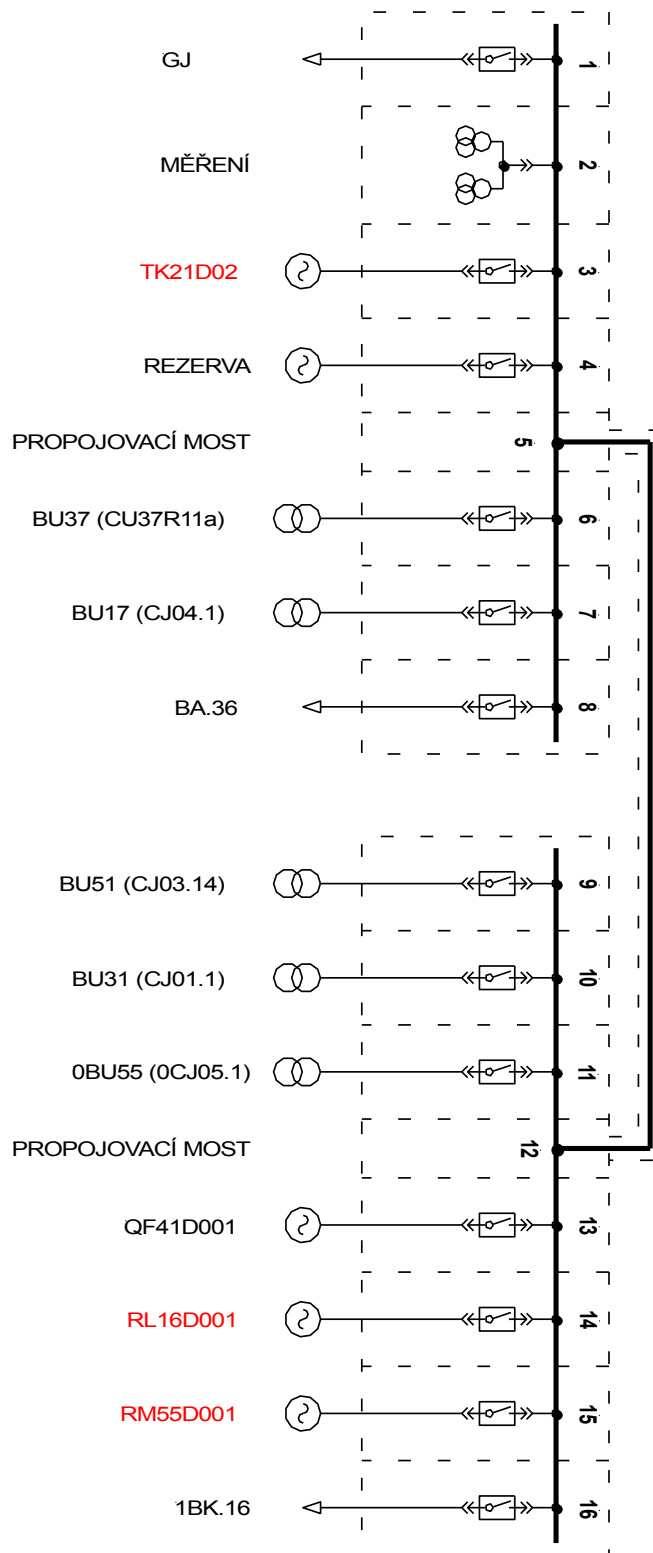
- 1) **Čerpadlo VF** (technická voda důležitá – 680 kW)
- 2) **Čerpadlo TX** (havarijní napájecí čerpadlo PG – 800 kW)

V případě potřeby budou najety další spotřebiče napájené z rozvodny III. / II. kategorie:

- 1) Čerpadlo RM55 (čerpadlo pro doplňování kondenzátního okruhu – 200 kW)
- 2) Čerpadlo RL16/17 (pomocné napájecí čerpadlo PG – 430 kW)
- 3) Čerpadlo TF (chladicí voda – 110 kW)
- 4) Čerpadlo TK90 (olejové čerpadlo doplňovacího čerpadla – 15 kW)
- 5) Čerpadlo TK2xD01 (doplňovací čerpadlo – 800 kW)
- 6) Čerpadlo TK2xD02 (předřadné čerpadlo doplňovacího čerpadla TK2xD01 – 55 kW)
- 7) Čerpadlo TB10 (čerpadlo bórového koncentrátu – 7,5 kW)



Obrázek č.23 Schéma rozvodny BX a z ní napájených spotřebičů podílejících se na SBO



Obrázek č.24 Schéma rozvodny BJ a z ní napájených spotřebičů podílejících se na SBO

Parametry spouštěných spotřebičů:

rozdvodna	č. motoru	Pn motoru	účinník	účinnost	poměrná hodnota záběrného proudu	záběrný proud motoru	Jmenovitý proud	S _{nm} motoru		Jalový proud	Reaktance pohonu v chodu	1/ Reaktance pohonu v chodu
		[MVA]	cos φ	η	iz=1/IZn	IZn	In	[MVA]	sinφ	Ij	xjm	1/xjm
BJ	TK	0,8	0,89	0,96	0,188679	5,3	90	0,93633	0,455961	41,03645	73,78270307	0,013553
BJ	RL	0,65	0,86	0,94	0,176667	6	77	0,797868	0,78643	31,0194	89,82492777	0,010715
BJ	RM	0,2	0,84	0,94	0,218679	4,9	24,5	0,48704	0,455961	21,80737	125,5634114	0,006523
BK	TK	0,8	0,89	0,96	0,188679	5,3	90	0,93633	0,455961	41,03645	73,78270307	0,013553
BK	RL	0,65	0,86	0,94	0,218679	4,9	77	0,48704	0,455961	21,80737	125,5634114	0,006523
BK	RM	0,2	0,84	0,94	0,176667	6	24,5	0,797868	0,78643	31,0194	89,82492777	0,010715
BX	TQ	0,835	0,912	0,94	0,15873	6,3	93	0,974011	0,41019	38,14769	78,84270032	0,012683
BX	TQ	0,835	0,912	0,94	0,188679	5,3	92	0,974011	0,41019	37,7375	78,84270032	0,012683
BX	TX	0,8	0,89	0,96	0,188679	5,3	90	0,93633	0,455961	41,03645	73,78270307	0,013553
BX	TQ	0,5	0,89	0,957	0,19685	5,08	56,6	0,58704	0,455961	25,80737	117,6834114	0,008497
BX	VF	0,68	0,81	0,935	0,166667	6	87	0,897868	0,58643	51,0194	59,82492777	0,016715
BX	VF	0,68	0,81	0,935	0,166667	6	87	0,897868	0,58643	51,0194	59,82492777	0,016715

Tabulka č.2 Přehled hlavních parametrů spotřebičů podílejících se na SBO

Výpočet rozběhu nejtěžšího pohonu:

1) Reaktance soustavy:

$$x_S = \frac{x_{1G1} \times x_{1G2}}{x_{1G1} + x_{1G2}} + x_{V1} + x_{V2} + x_{1T} + x_K + x_{MVF}$$

$$x_S = \frac{0,65 \times 0,65}{0,65 + 0,65} + 0,007 + 0,002 + 0,08 + 0,00507 + 0,016715 = 0,436$$

x_{1G1} – Reaktance generátoru G1 [0,65]

x_{1G2} – Reaktance generátoru G2 [0,65]

x_{V1} – Reaktance vedení V1346 [0,007]

x_{V2} – Reaktance vedení V1347 [0,002]

x_{1T} – Reaktance transformátoru 7BT2 [0,08]

x_K – Reaktance kabelu mezi BC a BX [0,00507]

x_{MVF} – Reaktance běžícího motoru VF [0,16715]

2) **Záběrná reaktance při rozběhu motoru:**

$$x_{nmz} = \frac{1}{i_{zm}} = \frac{1}{5,3} = 0,189$$

i_{zm} – Hodnota poměrného záběrného proudu v prvním okamžiku rozběhu [5,3 i_n]

3) **Reaktance transformátoru:**

$$x_T = \frac{U_k}{100} = \frac{9,5}{100} = 0,095$$

U_k – Napětí nakrátko transformátoru [9,5 %]

4) **Reaktance největšího pohonu (TX) přepočtená na vztažný výkon:**

$$x_m = \frac{1}{i_{zm}} \times \frac{S_T}{S_{nm}} = \frac{1}{5,3} \times \frac{31,5}{0,936} = 6,348$$

i_{zm} – Hodnota poměrného záběrného proudu v prvním okamžiku rozběhu [5,3 i_n]

S_T – Jmenovitý výkon transformátoru [31,5 MVA]

S_{nm} – Jmenovitý zdánlivý výkon motoru TX [0,936 MVA]

5) **Celková reaktance pohonů mimo pohonu TX (běží pouze VF):**

$$\frac{1}{x_p} = \frac{1}{x_{jml}} = \frac{1}{x_p} = \frac{1}{59,825} \Rightarrow x_p = 59,825$$

x_{jml} – Reaktance pohonu VF v chodu [59,825]

6) **Paralelní kombinace pohonů (VF + TX):**

$$x_z = \frac{x_m \times x_p}{x_m + x_p} = \frac{6,348 \times 59,825}{6,348 + 59,825} = 5,739$$

x_m – Reaktance pohonu VF v chodu [6,348]

x_p – Celková reaktance pohonů mimo pohonu TX [59,825]

7) **Celková reaktance:**

$$x_c = \frac{x_m \times x_p}{x_m + x_p} + x_T + x_S = x_z + x_T + x_S = 5,739 + 0,095 + 0,436 = 6,269$$

x_z – Paralelní kombinace pohonů (VF + TX) [5,739]

x_T – Reaktance transformátoru [0,095]

x_S – Reaktance soustavy [0,436]

8) **Celkový proud:**

$$i_c = i_m + i_p = \frac{u_s}{x_c} = \frac{1}{6,269} = 0,159$$

u_s – Napětí soustavy [1]

x_c – Celková reaktance [6,269]

9) **Úbytek napětí na přípojnicích při rozběhu:**

$$\Delta u_s = i_c \times x_T = \frac{u_s}{x_c} \times (x_T + x_S) = \frac{1}{6,269} \times (0,095 + 0,436) = 0,085$$

u_s – Napětí soustavy [1]

x_c – Celková reaktance [6,269]

x_T – Reaktance transformátoru [0,095]

x_S – Reaktance soustavy [0,436]

10) Napětí na přípojnicích při rozběhu:

$$u_{sp} = i_c \times x_T = \frac{u_s}{x_c} \times x_z = \frac{1}{6,269} \times 5,739 = 0,915$$

u_s – Napětí soustavy [1]

x_c – Celková reaktance [6,269]

x_z – Paralelní kombinace pohonů (VF + TX) [5,739]

Podmínka poklesu napětí na přípojnicích „nesmí poklesnout pod $0,8U_n$ “ je splněna.

6.6 Podmínky a předpoklady pro samonajíždění z MVE Hněvkovice

Podmínky samonajíždění:

- Napětí na přípojnicích VS nesmí klesnout po odeznění elektromagnetického přechodového děje pod $0,65 U_n$
- Rázový zkratový výkon na přípojnicích vlastní spotřeby potřebný pro samonajíždění musí být menší než skutečný zkratový výkon při zkratu

Předpoklady pro výpočet úbytků napětí na přípojnicích rozvodny BX:

- Výpočet je proveden v poměrných jednotkách
- Samonajíždění se účastní vybrané spotřebiče 6 kV připojené k rozvodně BX
- Vliv samonajíždění spotřebičů 0,4 kV je zanedbán
- Vztažná hodnota: $S_v = 25 \text{ MVA}$
- Skluz motorů $s = 1$, tj. motory na počátku samonajíždění jsou zastaveny (pouze TX)
- i_z má čistě jalový charakter
- Napětí na přípojnicích $u_s = \text{konstantní} = 1$

Závěr

Na závěr bych si dovolil shrnout, zda se mi podařilo naplnit ideu nového havarijního zdroje, který řeší elektrické napájení pohonů a spotřebičů pro doplňování parogenerátorů napájecí vodou a to z výkonu hydrostrojů Malé vodní elektrárny Hněvkovice v případě Station Black Out Jaderné elektrárny Temelín. Své hodnocení bych rozdělil do dvou částí. První popíše průtokovou zabezpečenosť MVE, její schopnost dodávat elektrickou energii a využitelnost naakumulované energie. Druhá výpočty elektrických parametrů tohoto havarijního zdroje včetně nezbytných technických úprav vyplývajících z tohoto návrhu - řešení.

V příznivých podmínkách, tzn. při velkém spádu a průtoku a za předpokladu, že pracují obě soustrojí je Malá vodní elektrárna Hněvkovice schopna dodávat výkon cca 6÷7 MW. Výkonu 6,5 MW odpovídá sumární průtok oběma turbínami přibližně 45 m³/s. Dle dlouhodobé statistiky je zabezpečenosť tohoto průtoku ve většině roku mezi 10 až 20 % (650 kW÷1,3 MW), na podzim dokonce jen okolo 5 %. Hodnota tohoto poskytovaného výkonu je z pohledu SBO ETE nedostatečná, Malá vodní elektrárna Hněvkovice nemá po většinu roku potřebný hydraulický potenciál, aby zajistila funkci havarijního zdroje.

Při vypouštění naakumulované vody velkým průtokem (45÷60 m³/s), který je nutný pro velký výkon turbín, dochází k velmi rychlému poklesu hladiny v zásobní nádrži. Hladina vody poklesne z maximální na minimální přibližně za 8 hodin. Rychlost poklesu hladiny je ale silně omezena a to na cca 1 m za den platným Manipulačním řádem, což je dokument závazný pro všechny uživatele vodního díla. Střetávají a vyvažují se v něm zájmy ČEZ, Povodí Vltavy, rybářů, obcí, biologů a dalších. Pokud by měla MVE Hněvkovice sloužit jako náhradní havarijní zdroj, musel by se Manipulační řád podstatně upravit, aby měla tato nová funkčnost zajištěny podmínky. Změna Manipulačního řádu by byla velmi složitá a mohla by narušit dosaženou křehkou rovnováhu ekosystému. Z hlediska potřeby změnit Manipulační řád již postačuje fakt, že bude nutno zajistit zvýšený odběr vody z Vltavy pro nové jaderné zdroje elektrárny Temelín. Přes tyto nedostatky skýtá tato varianta potenciál dodávky elektrické energie o požadovaném výkonu až o délce 16 hodin (provoz jednoho hydrostroje – hltnost 30 m³/s) a tím poskytnutí časového prostoru pro vyřešení havarijní situace na ETE nebo aktivace jiného způsobu řešení.

Pro posouzení elektrických vlastností schématu (návrhu havarijního zdroje), je proveden orientační výpočet zkratových poměrů a výpočet rozběhu nejtěžšího pohonu. Účelem zkratového výpočtu je zjistit nejnepříznivější zkratové poměry pro dimenzování zařízení a zkratové poměry při některých provozních stavech k nastavení ochran, výpočtu stability apod. Jako nejhorší případ byl výpočtem zkratových poměrů stanoven třífázový zkrat.

Podmínky při rozběhu největšího spotřebiče vychází z napěťových a zkratových poměrů dle normy ČSN 38 1120 (Vlastní spotřeba tepelných elektráren a tepláren). Při normálním spouštění jednotlivých pohonů přímo napájených ze sítě nesmí napětí na přípojnicích vlastní spotřeby klesnout pod 0,8 U_n. Pro výpočet jsem vybral nejnepříznivější možný stav, tzn. je již v provozu čerpadlo VF napájené za jednou z větví rezervního transformátoru 7BT2 a rozbíháme čerpadlo TX. Do výpočtu jsem nezahrnul rozvod

0,4 kV, který v případě SBO není prioritně napájen. Výpočtem bylo prokázáno, že hodnota poklesu napětí nepřekročí $0,8 U_n$, tzn. požadavek ČSN 38 1120 je splněn.

Významné nároky na řešení nového havarijního zdroje jsou i z technického hlediska. V případě realizace by bylo nutné zcela rekonstruovat systémy ochran, regulací a řízení MVE, včetně výměny buzení generátorů pro start MVE Hněvkovice „ze tmy“. Spouštění motorů klade vysoké požadavky na systémy regulací turbosoustrojí, především pak na frekvenci, napětí, řešení elektrických ochran, ale i na činnost obsluhy, která by musela být přítomna. Dále by bylo nutné provést záměnu systému buzení generátorů za nezávislý. Při ostrovní práci obou soustrojí musí být vyřešen jejich paralelní provoz z hlediska regulací a vše důkladně ověřeno a odzkoušeno.

Seznam zkratek

APS – Automatika postupného spouštění
ASŘTP – Automatizovaný systém řízení technologického procesu
ASŘTPR – Automatizovaný systém řízení technologického procesu reaktorovny
ASŘTPS – Automatizovaný systém řízení technologického procesu strojovny
ASV – Automatika selhání vypínače
AZ – Aktivní zóna
AZR – Automatický záskok rezervy
BD – Blokovaná dozorna
BS – Bezpečnostní systémy
BVS – Blokovaná vlastní spotřeba
ČS – čerpací stanice
DKP – Dolní koncová poloha
DG – Dieselgenerátor
EDU – Elektrárna Dukovany
ES – Elektrizací soustava
ETE – Elektrárna Temelín
INES - International Nuclear Event Scale
HCČ – Hlavní cirkulační čerpadlo
HNČ – Hlavní napájecí čerpadlo
HKP – Horní koncová poloha
HPK – Hlavní parní kolektor
IAEA – International Atomic Energy Agency (česky MAAE)
INES – International Nuclear Event Scale (hodnocení závažnosti jaderných událostí)
JE – Jaderná elektrárna
LKP – Lineární krokový pohon
LOCA – Loss of Coolant Accident (projektová havárie ztráty chladiva)
MAAE – Mezinárodní agentura pro atomovou energii (anglicky IAEA)
MVE – Malá vodní elektrárna
MWe – Megawatt elektrický
MWt – Megawatt tepelný
NEA – Nuclear Energy Agency (Agentura pro jadernou energii)
NN – Normální napájení
nn – Nízké napětí
NVS – neblokovaná vlastní spotřeba
PG – Parogenerátor
PNČ – Pomocné napájecí čerpadlo
PO – Primární okruh
PR – Podružný rozvaděč

PSA – Přepouštěcí stanice do atmosféry
PSK – Přepouštěcí stanice do kondenzátu
PSR – Panel systému řízení
PUP – Panel ukazatele polohy
RB – Reaktorový blok
RBMK - Reaktor Bolšoj Moščnosti Kanalnyj
RCIC – Reactor Core Isolation Cooling (chladicí systém AZ reaktoru)
SAOZ – Systém havarijního chlazení AZ
SBO – Station black out (úplná ztráta napájení)
SO – Sekundární okruh
SOR – Systém ochran reaktoru
SRDGS – Společná rezervní dieselgenerátorové stanice
SS – Stejnoseměrný elektrický proud
STŘ – Sřídavý elektrický proud
SUJB – Státní úřad pro jadernou bezpečnost
TEPCO – Tokyo Electric Power Company (provozovatel JE Fukushima Daiichi)
TG - Turbogenerátor
TVD – Technická voda důležitá
UPS – Zdroj zajištěného napájení
ÚED – Ústřední elektrická dozorna
ÚR – Úsekový rozvaděč
ÚZN – Úplná ztráta napájení
VS – Vlastní spotřeba
VN – Vysoké napětí
VT – Vysoký tlak
VVER – Vodo-Vodjanoj Energetičeskij Reaktor (tlakovodní reaktor)
VVN – Velmi vysoké napětí
ZN – Zajištěné napájení

Použitá literatura

- [1] DOBÁK, D., M. MONČEKOVÁ a R. PRÍTRSKÝ. JADROVÁ A VYRAĎOVACIA SPOLEČNOST, a. s., Enel Slovenské elektrárne, a. s. *50 rokov elektrární na Slovensku*. První. Trnava: Garamond s. r. o., 2007.
- [2] DOBÁK, D. a M. MONČEKOVÁ. SLOVAK ELECTRIC, plc; Bohunice Nuclear Power Plants. *Metamorphosis of NPP A1, VI, V2*. První. Banská Bystrica: Tlačiarne BB, s.r.o, 2008.
- [3] ČEZ, a.s., Jaderná elektrárna Temelín. *2000-2010: Deset let čisté energie*. První vydání. Plzeň: Euronova & Partners spol. s r.o., 2011.
- [4] TLUSTÝ, Josef, Jan ŠVEC, Petr BANNERT, Zbyněk BRETTSCHEIDER, Zbyněk KOCUR, Petr MAREČEK, Zdeněk MÜLLER a Tomáš SÝKORA. *Návrh a rozvoj elektroenergetických sítí*. Vydání první. Praha 2011. Praha 6: ČVUT, 2011. ISBN 978-80-01-04939-6.
- [5] DOLEŽAL, Jaroslav, Jiří ŠTASTNÝ, Jan ŠPETLÍK, Stanislav BOUČEK a Zbyněk BRETTSCHEIDER. ČVUT. *Jaderné a klasické elektrárny*. První. Praha: ČVUT v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04936-5.
- [6] TLUSTÝ, Josef, Jan KYNCL, Ladislav MUSIL, Jan ŠPETLÍK, Jan ŠVEC, Petr HAMOUZ, Miroslav MULLER a Zdeněk MULLER. ČVUT. *Monitorování, řízení a chránění elektrizačních soustav*. První. Praha: ČVUT v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04940-2.
- [7] Jaderná elektrárna Jaslovské Bohunice. WIKIPEDIE. *Cs.Wikipedie.org* [online]. 2012-07-03 [cit. 2012-12-08]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Jaderná_elektrárna_Jaslovské_Bohunice#Hav.C3.A1rie
- [8] HEZOUČKÝ, František. Jaslovským Bohunicím černobylská katastrofa nehrozila. [online]. 2008-01-11 [cit. 2012-12-08]. Dostupné z: <http://www.novinky.cz/zahranicni/evropa/130496-hezoucky-jaslovskym-bohunicim-cernobylska-katastrofa-nehrozila.html>
- [9] Light water reactor. WIKIPEDIA. *Wikipedia.org* [online]. 2012-12-02 [cit. 2012-12-08]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Light_water_reactor
- [10] Vyjádření SÚJB k Sdělení Evropské Komise k výsledkům zátěžových testů. *SUJB.cz* [online]. 2012-10-05 [cit. 2012-12-08]. Dostupné z: <http://www.sujb.cz/aktualne/detail/clanek/vyjadreni-sujb-k-sdeleni-evropske-komise-k-vysledkum-zatezovych-testu/>
- [11] Mezinárodní stupnice jaderných událostí. WIKIPEDIE. *Cs.Wikipedie.org* [online]. 2012-10-10 [cit. 2012-12-08]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/INES>
- [12] ŠUTA, Miroslav. Three Mile Island: 30 let od havárie, která změnila Ameriku. [online]. 2012-03-28 [cit. 2012-12-08]. Dostupné z: <http://suta.blog.respekt.ihned.cz/c1-45991190-three-mile-island-30-let-od-havarie-ktera-zmenila-ameriku>
- [13] Havárie elektrárny Three Mile Island. WIKIPEDIE. *Cs.Wikipedie.org* [online]. 2012-10-03 [cit. 2012-12-08]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Three_Mile_Island
- [14] PORKÁT, Václav. 1986: Tragická havárie v jaderné elektrárně Černobyl. [online]. 2011-04-25 [cit. 2012-12-08]. Dostupné z: <http://www.pozary.cz/clanek/6299-1986-tragicka-havarie-v-jaderne-elektrarne-cernobyl/>

- [15] New Confinement Structure Milestone Reached At Chernobyl. *NucNet.org: The Communications Network for Nuclear Energy and Ionising Radiation* [online]. 2012-11-27 [cit. 2012-12-08]. Dostupné z: <http://www.nucnet.org/all-the-news/2012/11/27/new-confinement-structure-milestone-reached-at-chernobyl>
- [16] SWR 1000 reactor to be known as KERENA: News brief. AREVA. *Areva.com* [online]. 2009-03-11 [cit. 2012-12-08]. Dostupné z: <http://www.areva.com/EN/news-7839/swr-1000-reactor-to-be-known-as-kerena.html>
- [17] Malá vodní elektrárna Hněvkovice: Vodní elektrárny ČEZ. ČEZ A.S. *Skupina ČEZ: Výroba elektřiny* [online]. 2012 [cit. 2012-12-09]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje/voda/hnevkovice.html>
- [18] ČSN 33 3015. *Elektrotechnické předpisy. Elektrické stanice a elektrická zařízení. Zásady dimenzování podle elektrodynamické a tepelné odolnosti při zkratech*. První. Praha: ČSN, 1984-06-01.
- [19] FEJT, Zdeněk, Jaroslav ČERMÁK. ČVUT. *Elektro energetika*. První. Praha: ČVUT v Praze, 1981. Ediční středisko Českého vysokého učení technického.

U obrázků a tabulek kde není uveden zdroj, je autorem pisatel této diplomové práce.