

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra elektroenergetiky a ekologie

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Posouzení dopadu vyvedení výkonu NJZ v lokalitě
Temelín do nadřazené TR 400/110 kV Kočín**

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Štěpán ZELMAN**
Osobní číslo: **E10N0039K**
Studijní program: **N2644 Aplikovaná elektrotechnika**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**
Název tématu: **Posouzení dopadu vyvedení výkonu NJZ v lokalitě Temelín do nadřazené TR 400/110 kV Kočín**
Zadávající katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Popište tři možné varianty nového jaderného zdroje z hlediska výkonu a jeho vyvedení.
2. Popište stávající stav nadřazené rozvodny 400/110 kV Kočín.
3. Vypočtete zkratové příspěvky nového jaderného zdroje dle ČSN EN 60909-0.
4. Navrhněte úpravu nadřazené rozvodny Kočín v souvislosti s připojením nového jaderného zdroje.

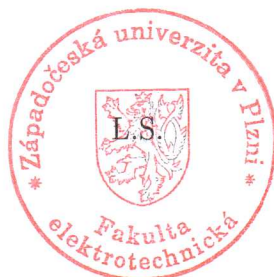
Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího
Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:


Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jana Jiříčková, Ph.D.**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: **17. října 2011**
Termín odevzdání diplomové práce: **11. května 2012**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

Anotace

Diplomová práce se zabývá problematikou připojení plánovaných nových jaderných zdrojů v lokalitě Temelín do přenosové soustavy, zejména pak do nadřazené transformační rozvodny 400/110 kV Kočín. Cílem práce je postihnout rozsah vyvolaných úprav přenosové soustavy a transformační rozvodny 400 kV a navrhnout konkrétní řešení rozšíření rozvodny pro všechny varianty jaderných bloků, které jsou nabízeny v tendru na dostavbu 3. a 4. bloku JE Temelín.

První část práce se zabývá popisem tří uvažovaných variant jaderných bloků a jejich srovnání se stávajícími dvěma bloky JE Temelín. Ve druhé části je popsán stávající stav transformační rozvodny Kočín. Třetí část práce je věnována výpočtu zkratových příspěvků plánovaných jaderných bloků do nadřazené rozvodny. Ve čtvrté části je v souvislosti s připojením nových bloků JE Temelín proveden rozbor vyvolaných úprav přenosové soustavy, posouzena stávající zkratová odolnost rozvodny 400 kV Kočín a navrženy její úpravy na úrovni schématu i na úrovni konkrétního uspořádání jednotlivých polí a venkovních vedení zvláště vysokého napětí.

Klíčová slova

Rozvodna Kočín, jaderná elektrárna Temelín, nový jaderný zdroj, vyvedení výkonu, zkratový proud, zkratová impedance, zkratový příspěvek, zkratová odolnost.

Abstract

Title: Assessment of the impact of new nuclear resource power outlet in location of Temelín to the superior 400/110 kV transformation substation Kočín.

This dissertation deals with the connection of the planned new nuclear resources in location of Temelín to the transmission system, especially the superior transformation substation 400/110 kV Kočín. The aim is to capture the extent of caused changes of the transmission system and the 400 kV transformation substation and propose concrete solutions to extend of the substation for all types of nuclear reactors, which are offered in the tender for the construction of the third and fourth unit of Temelin nuclear power station.

The first part deals with the description of three variants of the nuclear units and their comparison with existing two blocks of Temelin nuclear power station. In the second part is described the current state of transformation substation Kočín. The third part is devoted to calculating short-circuit currents of the planned nuclear units to the superior substation. In the fourth part is in relation of adding new blocks of the Temelin nuclear power station analyzed changes of the transmission system, assessed the current short-circuit resistance of 400 kV transformation substation Kočín and designed its modification at the scheme level and at the level of layout of the particular fields of the substation and very high voltage lines.

Key words

Kočín substation, Temelín nuclear power station, a new nuclear source, power outlet, short-circuit current, short-circuit impedance, short-circuit contribution, short-circuit resistance.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software použitý při řešení této diplomové práce je legální.

V Plzni dne 10. 5. 2012

Bc. Štěpán Zelman

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval za cenné rady a připomínky k mé diplomové práci konzultantovi Ing. Jiřímu Bízkovi ze společnosti ČEZ, a.s., divize Investice, útvaru Výstavba JE a vedoucí mé práce Ing. Janě Jiříčkové, Ph.D. Dále bych chtěl poděkovat všem, kteří se podíleli na mém odborném vzdělávání během studia na Západočeské univerzitě v Plzni.

OBSAH

OBSAH	7
ÚVOD	9
SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ	11
1 STÁVAJÍCÍ A PLÁNOVANÉ VÝROBNÍ BLOKY JE TEMELÍN	13
1.1 STÁVAJÍCÍ BLOKY VVER-1000 (ETE1,2).....	13
1.1.1 Technický popis.....	14
1.1.1.1 Reaktor a primární okruh.....	14
1.1.1.2 Turbína a generátor	14
1.1.1.3 Vyvedení výkonu a zajištění vlastní spotřeby.....	15
1.2 PROJEKT AP1000.....	15
1.2.1 Dodavatel	16
1.2.2 Popis řešení.....	16
1.2.2.1 Zajištění bezpečnosti provozu a jaderné bezpečnosti	17
1.2.2.2 Turbína a generátor	19
1.2.2.3 Vyvedení výkonu a vlastní spotřeba	19
1.3 PROJEKT EPR 1600	20
1.3.1 Dodavatel	21
1.3.2 Popis řešení.....	21
1.3.2.1 Zajištění bezpečnosti provozu a jaderné bezpečnosti	22
1.3.2.2 Turbína a generátor	22
1.3.2.3 Vyvedení výkonu a vlastní spotřeba	23
1.4 PROJEKT MIR-1200	23
1.4.1 Dodavatel	24
1.4.2 Popis řešení.....	24
1.4.2.1 Zajištění bezpečnosti provozu a jaderné bezpečnosti	25
1.4.2.2 Turbína a generátor	27
1.4.2.3 Vyvedení výkonu a vlastní spotřeba	27
1.5 POROVNÁNÍ MOŽNÝCH ŘEŠENÍ NOVÝCH VÝROBNÍCH BLOKŮ SE STÁVAJÍCÍMI A MEZI SEBOU	28
2 ROZVODNA KOČÍN – STÁVAJÍCÍ STAV	30
2.1 TRANSFORMACE S VYŠŠÍM NAPĚTÍM 400 kV	30
2.2 ROZVODNA 400 kV (ACA).....	31
2.3 ROZVODNA 110 kV (AEA).....	32
3 VÝPOČET ZKRATOVÝCH PŘÍSPĚVKŮ NOVÉHO JADERNÉHO ZDROJE	37
3.1 METODIKA VÝPOČTU	37
3.2 POSTUP VÝPOČTU	38
3.2.1 Zkratová impedance generátoru.....	39
3.2.2 Zkratová impedance blokového transformátoru	40
3.2.3 Zkratová impedance elektrárenského bloku	41
3.2.4 Zkratová impedance venkovního vedení	41
3.2.5 Celková zkratová impedance elektrárenského bloku a vedení.....	41
3.2.6 Počáteční souměrný rázový zkratový proud a nárazový zkratový proud.....	42
3.3 VÝPOČET ZKRATOVÝCH PROUDŮ PRO JEDNOTLIVÉ BLOKY	42
3.3.1 Výpočet zkratového příspěvku pro nový jaderný zdroj – blok 1200 MWe	42
3.3.2 Výpočet zkratového příspěvku pro nový jaderný zdroj – blok 1700 MWe	44
3.3.3 Výpočet zkratového příspěvku pro stávající bloky VVER-1000	46
4 DOPADY VYVEDENÍ VÝKONU NJZ NA ROZVODNU KOČÍN A NA PŘENOSOVOU SOUSTAVU	47

4.1	ROZŠÍŘENÍ PŘENOSOVÉ SÍTĚ 400 kV V SOUVISLOSTI S PŘIHOJENÍM NJZ DO TR KOČÍN	47
4.1.1	Rozšíření přenosové sítě 400 kV v případě nových bloků o výkonu 2x 1200 MWe	48
4.1.2	Rozšíření přenosové sítě 400 kV v případě nových bloků o výkonu 2x 1700 MWe	49
4.2	POSOUZENÍ DIMENZOVÁNÍ ZAŘÍZENÍ ROZVODNY 400 kV KOČÍN Z HLEDISKA ZKRATOVÉ ODOLNOSTI.....	50
4.2.1	Stávající zkratový příspěvek sítě a připojených zdrojů do rozvodny 400 kV Kočín	51
4.2.2	Zkratový příspěvek do rozvodny 400 kV Kočín po připojení nových bloků 2x 1200 MWe	52
4.2.3	Zkratový příspěvek do rozvodny 400 kV Kočín po připojení nových bloků 2x 1700 MWe	53
4.3	ROZŠÍŘENÍ A ÚPRAVA ROZVODNY 400 kV KOČÍN V SOUVISLOSTI S PŘIHOJENÍM NJZ.....	54
4.3.1	Dispoziční řešení rozšíření a přestavby rozvodny 400 kV Kočín.....	55
4.3.2	Majetkoprávní vztahy	57
ZÁVĚR.....		60
POUŽITÁ LITERATURA		62
SEZNAM PŘÍLOH		65

ÚVOD

Jaderné elektrárny mají svou významnou roli v energetickém mixu České republiky. Přestože se na našem území nacházejí pouze dvě jaderné elektrárny celkově o šesti jaderných blocích, jejich podíl na celkovém množství elektrické energie vyrobené v ČR je značný – přibližně 32 %. Provozovatelem obou jaderných elektráren v ČR je energetická společnost ČEZ. Jaderná energetika je navíc mezi občany ČR poměrně populární, neboť se jedná o bezemisní a navíc ekonomicky velice smysluplný zdroj. Na druhé straně však po loňské havárii jaderné elektrárny Fukušima I v důsledku silného zemětřesení a následné vlně tsunami značně zesílil hlas odpůrců výroby elektřiny v jaderných elektrárnách. V důsledku této události jsou jaderné elektrárny na většině míst světa podrobovány tzv. stress-testům, které mají prověřit jejich bezpečnost za mimořádných podmínek, jako jsou živelné katastrofy, extrémně nepříznivé meteorologické scénáře, pád letadla nebo například při teroristickém útoku.

Další využití a rozvoj využití jaderné energetiky v České republice bylo před havárií jaderné elektrárny Fukušima I součástí energetické koncepce ČR, na čemž se prozatím alespoň oficiálně nic nezměnilo. Řada uhelných elektráren v České republice se blíží konci své plánované doby životnosti a s jejich obnovou a prodlužováním životnosti se vzhledem k nevyhovujícím parametrům především z hlediska ochrany ovzduší nepočítá. Ve většině případů se jedná o obtížně regulovatelné zdroje základního zatížení. Naproti tomu spotřeba elektrické energie v dlouhodobém horizontu vykazuje postupný mírný nárůst, a to navzdory řadě legislativních opatření majících za úkol spotřebu energií v ČR snížit. Je velice obtížné odhadovat vývoj spotřeby elektrické energie na desítky let dopředu (např. rozvoj elektromobilů může mít na spotřebu elektrické energie značný vliv), nelze však vzhledem k současné situaci i předcházejícímu vývoji v následujících desetiletích očekávat zásadní pokles spotřeby. Bude proto potřeba postupně odstavované zdroje nahradit zdroji jinými. Pokrytí této poptávky obnovitelnými zdroji elektrické energie není vzhledem k potřebě instalovaného výkonu reálné. Zejména sluneční a větrné elektrárny jsou alespoň prozatím odsouzeny do pozice pouze doplňkových zdrojů elektrické energie, a to především vzhledem k velmi omezeným možnostem regulace těchto zdrojů, značným nárokům na zastavěný prostor vztažený na jednotku instalovaného výkonu

a ne úplně příznivým lokálním podmínkám v ČR pro jejich provoz, což se mimo jiné podílí na jejich špatné ekonomické efektivitě. Výstavba paroplynových elektráren s sebou pro změnu nese potřebu dovozu zemního plynu, jehož cena je v posledních letech vysoká, nadále pohyblivá (značný nárůst poptávky lze v následujících letech očekávat v Německu) a i stabilita jeho dodávek přes Ukrajinu se v minulosti ukázala jako potenciálně problematická. Zachování energetické soběstačnosti České republiky výstavbou nových jaderných bloků se proto prakticky nabízí.

Dle dostupných informací prozatím není vážněji projednávána výstavba nové jaderné elektrárny, v řešení je však rozšíření jaderných elektráren stávajících. Jaderná elektrárna Temelín byla v době výstavby koncipována jako elektrárna se čtyřmi jadernými bloky, nakonec však byly postaveny a uvedeny do provozu pouze bloky dva. Na dostavbu 3. a 4. bloku JE Temelín již bylo vypsáno výběrové řízení, v rámci něhož byla předána potenciálním dodavatelům zadávací dokumentace a ti nyní zpracovávají své nabídky. Vyhodnocována je i možnost výstavby 5. bloku JE Dukovany. Zde je však záměr stále ve fázi studie a prozatím zdaleka nemá tak konkrétní podobu jako v případě JE Temelín.

Spolu s výstavbou významného zdroje elektrické energie, jakým výrobní bloky jaderných elektráren nepochybně jsou, je nezbytné počítat i se značnými nároky na související infrastrukturu. Jako nejzásadnější se jeví dopady do přenosové soustavy ČR. Úkolem této práce je posoudit tyto dopady v případě dostavby JE Temelín. Nejedná se o komplexní studii proveditelnosti, zamýšleným cílem je však na základě informací z dostupných zdrojů analyzovat rozsah nezbytných úprav nadřazené rozvodny a přenosové soustavy a nastínit konkrétní možnosti řešení připojení nového jaderného zdroje v lokalitě Temelín.

SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ

EDU	Jaderná elektrárna Dukovany
ETE	Jaderná elektrárna Temelín
JE	Jaderná elektrárna
NJZ	Nový jaderný zdroj
PS	Přenosová soustava
TR	Transformační rozvodna
VS	Vlastní spotřeba
vvn	Velmi vysoké napětí
zvn	Zvlášť vysoké napětí
c [–]	Napěťový součinitel
c_{max} [–]	Napěťový součinitel pro výpočet maximálních zkratových proudů
i_p [A]	Nárazový zkratový proud
I_k'' [A]	Počáteční souměrný rázový zkratový proud
I_{k3}'' [A]	Počáteční souměrný rázový zkratový proud pro trojfázový zkrat
I_{rT} [A]	Jmenovitý proud transformátoru
K_G [–]	Korekční součinitel korigované impedance generátoru
K_{SO} [–]	Korekční součinitel elektrárenského bloku
l_{km} [km]	Délka venkovního vedení v kilometrech
p_G [%]	Rozsah regulace napětí generátoru
p_T [%]	Rozsah regulace napětí transformátoru
P_{krT} [W]	Jmenovité ztráty transformátoru nakrátko
R_G [Ω]	Rezistance generátoru
R_{Gf} [Ω]	Fiktivní rezistance generátoru
R_k [Ω]	Celková zkratová rezistance
R_T [Ω]	Rezistance transformátoru
R_V [Ω]	Rezistance venkovního vedení
R_{V1km} [Ω]	Rezistance venkovního vedení na 1 km délky
S_{rG} [VA]	Jmenovitý zdánlivý výkon generátoru
S_{rT} [VA]	Jmenovitý zdánlivý výkon transformátoru
t_r [–]	Převod transformátoru
u_{kr} [%]	Jmenovité napětí transformátoru nakrátko v procentech

u_{Rr} [%]	Činná složka jmenovitého napětí transformátoru nakrátko v procentech
U_e [V]	Napětí ekvivalentního zdroje zavedeného v místě zkratu
U_n [V]	Jmenovité napětí soustavy
U_{nQ} [V]	Jmenovité napětí soustavy v bodě Q, kam je připojen elektrárenský blok
U_{rG} [V]	Jmenovité napětí generátoru
U_{rT} [V]	Jmenovité napětí transformátoru
U_{rTHV} [V]	Jmenovité napětí transformátoru na straně vyššího napětí
U_{rTLV} [V]	Jmenovité napětí transformátoru na straně nižšího napětí
x''_d [—]	Poměrná rázová reaktance generátoru
X''_d [Ω]	Rázová reaktance generátoru
X_k [Ω]	Celková zkratová reaktance
X_T [Ω]	Reaktance transformátoru
X_V [Ω]	Reaktance venkovního vedení
X_{V1km} [Ω]	Reaktance venkovního vedení na 1 km délky
$Z_{(0)}$ [Ω]	Sousledná složka zkratové impedance
$Z_{(1)}$ [Ω]	Zpětná složka zkratové impedance
$Z_{(2)}$ [Ω]	Netočivá složka zkratové impedance
Z_k [Ω]	Celková zkratová impedance
Z_{rG} [Ω]	Jmenovitá impedance generátoru
Z_T [Ω]	Impedance generátoru
Z_G [Ω]	Rázová impedance generátoru v komplexním tvaru
Z_{GK} [Ω]	Korigovaná impedance generátoru v komplexním tvaru
Z_k [Ω]	Celková zkratová impedance v komplexním tvaru
Z_{SO} [Ω]	Zkratová impedance elektrárenského bloku v komplexním tvaru
Z_T [Ω]	Sousledná zkratová impedance transformátoru v komplexním tvaru
Z_{THV} [Ω]	Zkratová impedance blokového transformátoru na straně vyššího napětí v komplexním tvaru
Z_V [Ω]	Sousledná zkratová impedance venkovního vedení v komplexním tvaru
φ_{rG} [$^\circ$]	Fázový úhel mezi napětím a proudem generátoru
κ [—]	Součinitel pro výpočet nárazového zkratového proudu

1 STÁVAJÍCÍ A PLÁNOVANÉ VÝROBNÍ BLOKY JE TEMELÍN

V této části diplomové práce jsou popsány stávající výrobní bloky JE Temelín a také tři varianty výrobních bloků nabízené společnostmi, které se účastní výběrového řízení na dostavbu 3. a 4. bloku temelínské elektrárny. Práce si neklade za cíl nabídnout detailní popis jaderné části či bezpečnostních systémů jednotlivých řešení, proto jsou tyto části popsány pouze stručně. Větší pozornost je věnována turbosoustrojím jednotlivých řešení a vyvedení výkonu, neboť to jsou oblasti, které jsou relevantní z hlediska zpracovávaného tématu. Bohužel právě řešení sekundární části jaderných bloků je u nabízených projektů poměrně variabilní (více či méně dle jednotlivých nabízených projektů). Uvedené informace proto vycházejí z referenčního designu, případně je popsáno řešení, které je využito u některého bloku stejného typu, jež je v současné době ve výstavbě a dá se předpokládat nebo alespoň připadá v úvahu využití stejného řešení na JE Temelín. Jelikož v době psaní této práce jednotliví dodavatelé teprve zpracovávají své nabídky pro předání zadavateli a dílčí technické podrobnosti nabídek nejsou veřejně dostupné, může se konečné řešení použité na JE Temelín od popisovaného lišit (může dojít např. k záměně pomaloběžné turbíny za rychloběžnou či naopak apod.). Napěťové úrovně ve vlastní spotřebě by se však měnit neměly, stejně tak instalovaný výkon by měl být přibližně stejný. Uváděné hodnoty výkonů, tlaků a teplot pro jednotlivé bloky platí při provozu bloku v nominálním režimu, v jiných provozních režimech bloku jsou samozřejmě odlišné.

1.1 STÁVAJÍCÍ BLOKY VVER-1000 (ETE1,2)

Výstavba jaderné elektrárny Temelín byla připravována od roku 1979 (vydán investiční záměr). Podle původních záměrů měly být postaveny 4 jaderné bloky. Vzhledem k tehdejší politické situaci bylo samozřejmě zamýšleno využití sovětské jaderné technologie. Dle původního záměru měly být jednotlivé bloky dokončeny v letech 1992 až 1997. Výstavba však vzhledem k technologickým i politickým komplikacím nabrala zpoždění. V roce 1990 došlo k revizi záměru a stavba 3. a 4. bloku byla přerušena a v rozsahu kompletně dokončených zemních prací na základové spáře zakonzervována. 1. a 2. blok byly kompletně dokončeny, 1. blok byl poprvé připojen k rozvodné síti v roce 2000 a druhý blok v roce 2002. Jaderná elektrárna Temelín

v rozsahu dvou jaderných bloků byla zkolaudována v roce 2006, do té doby pracovala v režimu zkušebního provozu.

1.1.1 Technický popis

Původní projekt je založen na sovětské technologii, řídicí systém byl v průběhu realizace nahrazen americkým řešením od firmy Westinghouse. Obavy z této kombinace technologií se ukázaly jako neopodstatněné, jak potvrdila mise MAAE v roce 1996 i pozdější zkušenosti z provozu. Většinu významných strojních součástí dodaly tehdejší české podniky (např. Škoda Praha, Škoda jaderné strojírenství, Vítkovice, Sigma Lutín). Pravidelné odstávky jsou prováděny na každém bloku 1x ročně, přičemž součástí každé pravidelné odstávky je kromě kontroly, oprav a obnovy zařízení také výměna 1/4 jaderného paliva.

1.1.1.1 Reaktor a primární okruh

1. a 2. blok jaderné elektrárny Temelín je vybaven tlakovodními reaktory VVER-1000 typ V320. Primární okruh je čtyřsmyčkový. Každá ze smyček je tvořena jedním hlavním cirkulačním čerpadlem a jedním horizontálním parogenerátorem. Dále primární okruh obsahuje kompenzátor objemu, 4 hydroakumulátory a barbotážní nádrž. Tepelný výkon reaktoru je přibližně 3 000 MW. Teplota chladiva vstupujícího do reaktorové nádoby je 290 °C a na výstupu z reaktoru má chladivo teplotu 320 °C. Pracovní tlak chladiva je 15,7 MPa. Celkový objem chladiva v primárním okruhu je 337 m³ a objemový průtok chladiva reaktorem činí 23,5 m³/s. Teplota vyrobené syté páry vystupující z parogenerátoru je 278,5 °C a tlak 6,3 MPa, parní výkon parogenerátoru činí 1 470 tun páry za hodinu. Hlavní cirkulační čerpadlo je odstředivé jednostupňové ucpávkové vertikální čerpadlo s letmo uchyceným oběžným kolem a axiálním přívodem čerpané kapaliny, za tepla má příkon 5,1 MW a čerpací výkon cca. 6 m³ chladiva za sekundu. [1]

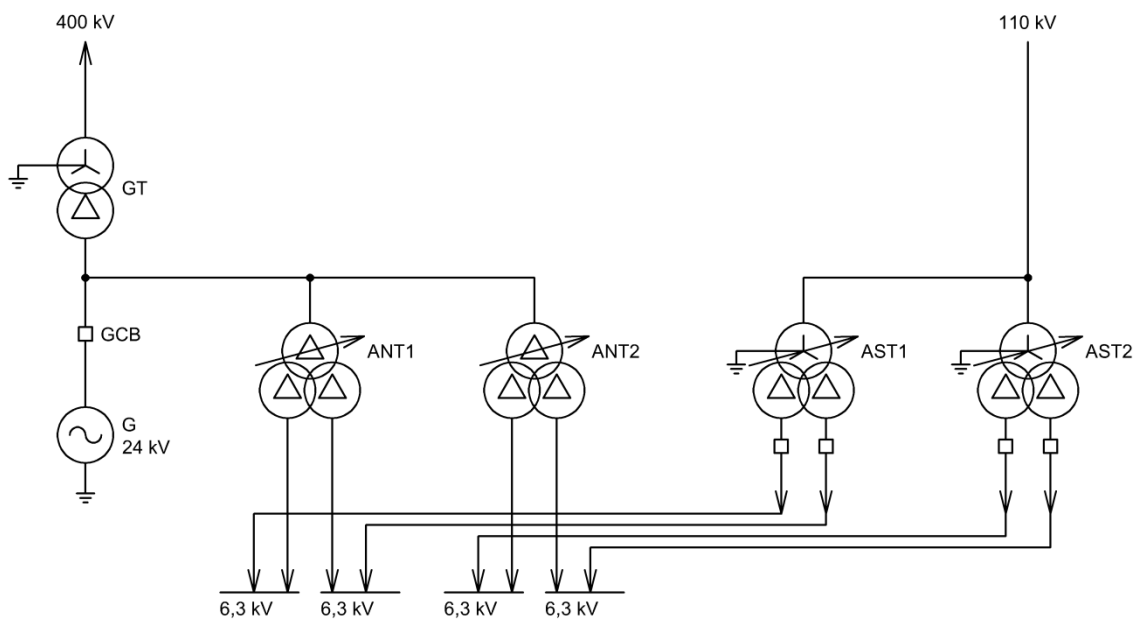
1.1.1.2 Turbína a generátor

Turbíny 1. a 2. bloku JE Temelín se skládají z jednoho vysokotlakého dílu a tří dílů nízkotlakých, jedná se o rovnotlaké kondenzační turbíny na sytou páru se separováním vlhkosti a přihříváním páry za vysokotlakým dílem. Z turbíny je také vyvedeno sedm odběrů páry pro regenerativní ohřev kondenzátu v nízkotlakých a vysokotlakých ohřívácích. Při nominálním provozu má turbosoustroj 3 000 ot./min., jedná se tedy

o rychloběžný typ. Elektrický výkon turbogenerátoru se pohybuje těsně nad hranicí 1 000 MWe. Statorové vinutí turbogenerátoru je chlazeno vodou, vinutí rotoru a vzduchová mezera jsou chlazeny vodíkem.

1.1.1.3 Vyvedení výkonu a zajištění vlastní spotřeby

Výstupní napětí turbogenerátoru (G) je 24 kV. Následuje generátorový vypínač (GCB), za nímž je umístěna odbočka pro napájení vlastní spotřeby. Za odbočkou je umístěn blokový transformátor (GT) tvořený třemi dvouvinuťovými jednotkami, jenž transformuje napětí na úroveň zvn 400 kV, následně je vyrobená elektrická energie odvedena lanovým venkovním vedením do rozvodny 400 kV Kočín. Rozvodny vlastní spotřeby pracují s napěťovou úrovní 6,3 kV. Napájení vlastní spotřeby je za běžného provozu zajištěno dvěma odbočkovými transformátory 24/6,3 kV (ANT1,2), případně lze vlastní spotřebu napájet z rezervních transformátorů 110/6,3 kV (AST1,2), elektrická energie je v takovém případě přivedena venkovním vedením z rozvodny 110 kV Kočín. Zjednodušené schéma vyvedení výkonu a zajištění vlastní spotřeby bloku VVER 1000 je znázorněno na obrázku 1.



Obrázek 1 - Zjednodušené schéma řešení vyvedení výkonu bloku VVER 1000 realizovaného na JE Temelín

1.2 PROJEKT AP1000

Společnost Westinghouse v tendru na dostavbu třetího a čtvrtého bloku JE Temelín nabízí svůj projekt AP1000. Jeho základem je standardizovaný tlakovodní

reaktor generace III+, který vychází z projektu tlakovodního reaktoru AP600. Jedná se v podstatě o totožný model upravený pro vyšší výkonovou hladinu.

V současné době je realizována výstavba prvních 4 bloků AP1000 v lokalitách Sanmen a Haiyang v Číně (ve výstavbě jsou v obou případech dva bloky z plánovaných šesti). Čína oficiálně přijala design AP1000 jako standard pro tamní jaderné projekty a očekává se v této zemi výstavba mnoha dalších bloků. V USA je plánována výstavba 14 bloků, z nichž u 4 bloků již byla zahájena výstavba (2 v lokalitě Vogtle a 2 v lokalitě Virgil C. Summer). [2] [3] [4]

1.2.1 Dodavatel

Westinghouse Electric Company je americká společnost, která nabízí široké spektrum produktů a služeb pro jaderný průmysl. Společnost byla založena již v roce 1886 Georgem Westinghousem a zabývala se především systémem rozvodu střídavého elektrického proudu, za jehož rozšířením v USA stál fyzik Nikola Tesla. Jadernou energetikou se společnost zabývá od roku 1937, v 50. letech pak společnost vyvíjela první jaderné reaktory pro atomové ponorky. V současné době se společnost zabývá vývojem, licencováním a výstavbou jaderných elektráren po celém světě, službami v oblasti dodávek jaderného paliva, systémy kontroly a řízení jaderných elektráren a servisem jaderných zařízení. Společnost Westinghouse se účastnila i dostavby prvních dvou bloků JE Temelín, když v průběhu výstavby bylo učiněno rozhodnutí původně zamýšlený sovětský systém kontroly a řízení nahradit dodávkou americké technologie. Jednalo se o na tehdejší dobu unikátní kombinaci technologií, která však již více než 10 lety provozu těchto jaderných bloků dokazuje svou životaschopnost. Řadu let také společnost Westinghouse dodávala pro Jadernou elektrárnu Temelín jaderné palivo. Po problémech s konstrukční pevností palivových kazet se provozovatel JE Temelín, energetická společnost ČEZ, rozhodl pro změnu dodavatele a nyní pro jadernou elektrárnu Temelín stejně jako pro jadernou elektrárnu Dukovany dodává jaderné palivo ruská společnost TVEL. [5] [6]

1.2.2 Popis řešení

Jedním z hlavních kritérií při vývoji reaktoru AP1000 bylo dosažení zjednodušení oproti dřívějším typům jaderných reaktorů. Výrobce zmiňuje oproti tlakovodnímu reaktoru Westinghouse II. generace výraznou redukci množství použitých komponent:

- o 50 % méně ventilů
- o 35 % méně bezpečnostních čerpadel
- o 80 % méně potrubí
- o 85 % méně kabeláže

Důsledkem tohoto zjednodušení designu je zrychlení výstavby a také menší množství komponent, které je nutno v průběhu životnosti elektrárny v pravidelných odstávkách měnit, repasovat, provádět na nich servis a revize. Dalším pozitivem tohoto přístupu jsou menší nároky na zastavěný prostor výrobních jednotek (výrobce udává o 45%). V neposlední řadě se tím také sníží finanční náklady na výstavbu výrobních bloků.

Design výrobního bloku je modulární, složený z unifikovaných celků, což má za následek kromě vyměnitelnosti jednotlivých bloků v průběhu životnosti elektrárny i zjednodušení a také zrychlení výstavby, která má trvat pouhých 36 měsíců.

Primární okruh je řešen jako dvousmyčkový a kromě reaktorové nádoby a dvou smyček složených vždy z jednoho vertikálního parogenerátoru a dvou cirkulačních čerpadel obsahuje také kompenzátor objemu. Tepelný výkon reaktoru je 3 415 MWt. Teplota vody na vstupu do aktivní zóny reaktoru činí 280 °C, teplota na výstupu z reaktoru je 321 °C. V primárním okruhu výrobního bloku je celkem 272 m³ vody. Tlak vody na výstupu z reaktoru činí 15,5 MPa. Tlak páry na výstupu z parogenerátoru dosahuje hodnoty 5,76 MPa. Jeho parní výkon je 3 397 tun páry za hodinu (pro každý parogenerátor). Do parogenerátoru na sekundární části vstupuje napájecí voda o teplotě 227 °C, pára opouštějící parogenerátor má teplotu 292 °C. Sekundární okruh dále zahrnuje jedno turbosoustrojí tvořené jedním vysokotlakým a třemi nízkotlakými díly. Podrobněji o turbínové části a turbogenerátoru pojednává kapitola 1.2.2.2.

Životnost reaktorového bloku je výrobcem udávána 60 let. Perioda odstávek pro výměnu části jaderného paliva je 12 až 24 měsíců (optimálně 18 měsíců). [3] [7] [8]

1.2.2.1 Zajištění bezpečnosti provozu a jaderné bezpečnosti

Integrální součástí bezpečnosti projektu AP1000 je ochrana do hloubky. K ochraně do hloubky přispívají především aktivní bezpečnostní systémy, pasivní bezpečnostní systémy, zachycení roztavené aktivní zóny v reaktorové nádobě a minimální únik produktů štěpení. Bezpečnost projektu AP1000 se rovněž opírá o zkušenosti z provozu

současných reaktorů, výzkumné činnosti či požadavky mezinárodních organizací (IAEA, EUR, u AP1000 i US NRC).

Aktivní bezpečnostní systémy jsou v projektu AP1000 klasifikovány jako systémy, které se nepodílejí na řešení havarijních stavů. Nejsou tedy bezpečnostními systémy v pravém slova smyslu a bývají nazývány nebezpečnostními systémy (z angličtiny – non-safety systems). Aktivní bezpečnostní systémy jsou klasifikovány jako systémy pro normální provoz a jsou řízeny pomocí kvalifikovaných operátorů (na rozdíl od pasivních bezpečnostních systémů). Do pole působnosti aktivních bezpečnostních systémů patří dále zajištění bezpečnosti při přechodových jevech a méně významných událostech dle stupnice INES.

Co se týče konstrukce aktivních bezpečnostních systémů, jsou konstruovány a provozovány tak, že nejsou vyžadovány tak časté kontroly, není nutná častá údržba a testování. Zároveň je možnost provádět jejich údržbu během provozu. Redundance těchto systémů je pouze 2x 100 %. Nižší redundance oproti projektům EPR 1600 a MIR-1200 (4x 100 %) je způsobena právě klasifikací těchto systémů jako nebezpečnostní. Tím, že se přímo nepodílejí na řešení havárií, není nutná dle projektu AP1000 větší záloha.

Příklady aktivních nebezpečnostních systémů:

- *systém normálního doplňování primárního okruhu*
- *systém odvodu zbytkového tepla při normálním provozu*
- *systém pro kontrolu obsahu vodíku v kontejnmentu*
- *absorpční tyče šedé a černé pro řízení reaktivity za normálního provozu*
- *klimatizace, ventilace, vytápění*

Pro případ havárie, kdy není k dispozici elektrická energie vyrobená v JE, jsou tyto systémy zálohovány v rámci principu ochrany do hloubky diesel–generátory (2x 4 MW) či akumulacími bateriemi.

Pro potřeby pohavarijního monitorování jsou použity dva rovněž nebezpečnostní dieselgenerátory s výkonem 2x 35 kW, které startují až po 72 hodinách od havárie. Tyto dieselgenerátory slouží pro napájení pohavarijního monitorovacího systému, osvětlení blokové dozorny, ventilaci blokové dozorny a místnosti s I&C rozvaděči, doplňování bazénu s použitým palivem a nádrže pasivního systému chlazení kontejnmentu.

Pasivní bezpečnostní systémy jsou bezpečnostní systémy, které jsou nezávislé na vnitřních a vnějších zdrojích elektrické energie (střídavý elektrický proud) a na činnosti člověka. V těchto vlastnostech tkví jejich největší výhoda, přičemž zároveň významně snižují pravděpodobnost vzniku havárie způsobené selháním funkce systémů či lidským faktorem. Projekt AP1000 deklaruje, že při těžkých haváriích není třeba zásah operátora po dobu až 72 hodin. Nezávislost pasivních bezpečnostních systémů je způsobena tím, že jsou tyto systémy založeny na fyzikálních principech. U projektu AP1000 však existuje určitá závislost pasivních bezpečnostních systémů na aktivních systémech. Jedná se o armatury, které uvádějí do chodu pasivní systémy. Tyto armatury jsou konstruovány tak, aby se aktivovaly v případě ztráty vlastní energie (armatury jsou poháněny pomocí redundantních baterií) či v případě přijetí signálu vyžadující jejich aktivování.

Mezi hlavní pasivní bezpečnostní systémy projektu AP1000 patří:

- *pasivní systém chlazení aktivní zóny*
- *hermetičnost kontejnmentu*
- *pasivní systém chlazení kontejnmentu*

[9]

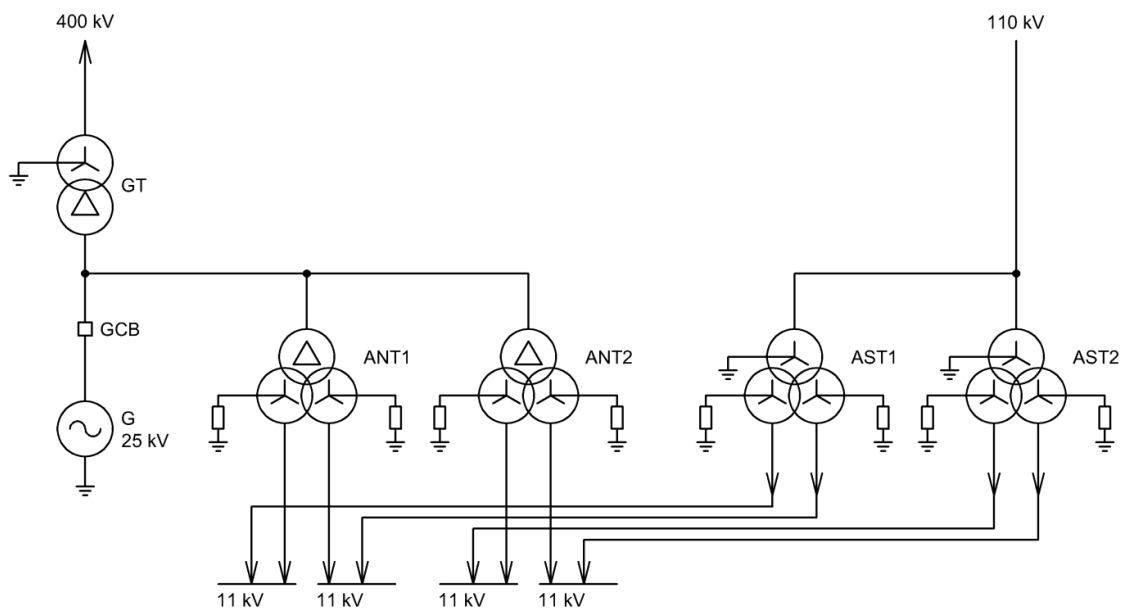
1.2.2.2 Turbína a generátor

Výrobní blok AP1000 je vybaven turbínou Toshiba typ TC6F 52-inch LSB (údaj 52 palců, tedy 1,32 m, udává délku lopatek posledního stupně nízkotlakého dílu turbíny). Turbínová část se skládá z jednoho vysokotlakého a tří nízkotlakých dílů a je vybavena dvěma separátory / přihříváky s dvoustupňovým přihříváním. Jmenovité otáčky turbosoustrojí jsou 1500 ot./min. Turbogenerátor je přímo spojen s hřídelí turbíny, vinutí rotoru turbogenerátoru a vzduchová mezera jsou chlazeny vodíkem, statorové vinutí vodou. Elektrický výkon turbogenerátoru Toshiba dosahuje hodnoty 1 237,5 MWe, čistý elektrický výkon reaktorového bloku je 1,117 MW. [10] [11]

1.2.2.3 Vyvedení výkonu a vlastní spotřeba

Výstupní napětí turbogenerátoru (G) je 25 kV. Odbočka pro napájení vlastní spotřeby je umístěna za generátorovým vypínačem (GCB). Za odbočkou následuje blokový transformátor (GT) o výkonu 1380 MVA, ten je tvořen třemi dvouvinuťovými jednotkami a transformuje výstupní napětí turbogenerátoru na zvn 400 kV odvedené

lanovým venkovním vedením do rozvodny 400 kV Kočín. Rozvodny vlastní spotřeby pracují s napětovou úrovní 11 kV. Napájení vlastní spotřeby je za běžného provozu zajištěno dvěma odbočkovými transformátory 25/11 kV (ANT1,2), případně lze vlastní spotřebu napájet z rezervních transformátorů 110/11 kV (AST1,2), elektrická energie je v takovém případě přivedena venkovním vedením z rozvodny 110 kV Kočín. Zjednodušené schéma vyvedení výkonu a zajištění vlastní spotřeby bloku AP1000 je znázorněno na obrázku 2.



Obrázek 2 – Zjednodušené schéma řešení vyvedení výkonu bloku AP1000, napětové úrovně nadřazených soustav upraveny pro lokalitu Temelín [12]

1.3 PROJEKT EPR 1600

EPR 1600 (European Pressurized water Reactor) je reaktor vyvinutý společností Framatome (nyní Areva), EDF a Siemens AG. Jedná se o reaktor generace III+ a čistý elektrický výkon výrobního bloku s tímto reaktorem činí přibližně 1600 MW. Reaktor EPR 1600 vychází z reaktorů N4 a Konvoi provozovaných v Německu a ve Francii, vývoj byl cílen na zvýšení bezpečnosti provozu za současného zvýšení efektivity výroby, toho bylo docíleno výrazným navýšením vyrobeného elektrického výkonu.

Projekt je prozatím licencován ve Francii, Finsku a Číně, dále licencování probíhá v USA a Velké Británii. V současnosti jsou ve stavbě čtyři reaktory – Olkiluoto 3 (Finsko), Flamanville 3 (Francie) a dva ve městě Taishan (Čína). Projekty realizované ve Francii a zejména ve Finsku provázejí problémy s nedodržením termínu dokončení a nárůstem nákladů výstavby. [2] [13] [14]

1.3.1 Dodavatel

Areva je francouzská společnost zabývající se oblastí jaderné energetiky. Zhruba 90% akcií Arevy vlastní Francouzský stát. Vznikla v roce 2001 fúzí firem Cogema, Framatome a Technicatome. Společnost Framatome byla založena v roce 1958 několika francouzskými firmami spolu s americkým Westinghousem s cílem zajištění budování jaderných elektráren s tlakovodními reaktory společnosti Westinghouse v Evropě. Na počátku osmdesátých let přešel Framatome plně pod francouzskou kontrolu a začal vyvíjet reaktor EPR 1600 – „evropský tlakovodní reaktor“. V roce 2001 došlo ke sloučení Framatomu s těžařskou korporací Cogema a jaderným Technicatomem. [13] [14]

1.3.2 Popis řešení

Jaderný reaktor EPR 1600 byl navrhován s cílem dosáhnout oproti předchozím generacím reaktorových bloků zvýšení bezpečnosti provozu, zlepšení havarijních systémů, dosažení vysokého výkonu na jeden reaktorový blok, zvýšení účinnosti a zlepšení využití jaderného paliva. Dalším ze stěžejních cílů návrhu bylo minimalizovat délku a frekvenci pravidelných odstávek a dosáhnout tak vysoké pracovní dostupnosti výrobního bloku.

Primární okruh reaktoru EPR 1600 je tvořen kromě samotné reaktorové nádoby čtyřmi chladíci smyčkami (každá obsahuje jedno cirkulační čerpadlo chladiva a jeden vertikální parogenerátor) a kompenzátorem objemu. Tepelný výkon reaktoru je 4 616 MWt. Teplota chladiva na vstupu do reaktorové nádoby je 295,2 °C, voda vystupující z reaktoru dosahuje teploty 330 °C. Za jednu hodinu reaktorem proteče 28 315 m³ chladící vody primárního okruhu. Tlak v reaktoru dosahuje za běžného provozu hodnoty 15,5 MPa. Tlak vody na výstupu z parogenerátoru na straně sekundárního okruhu činí 7,63 MPa.

Turbosoustrojí tvoří turbína složená ze 4 dílů a turbogenerátor, výrobcem celého turbosoustrojí je společnost Alstom. Podrobněji o turbínové části a turbogenerátoru pojednává kapitola 1.3.2.2.

Projektová životnost reaktoru je 60 let. Perioda výměny části jaderného paliva je 12 až 24 měsíců (typicky 18 měsíců). Jaderný reaktor je navržen kromě obohaceného uranu také na provoz s palivem MOX. [15] [16] [17]

1.3.2.1 Zajištění bezpečnosti provozu a jaderné bezpečnosti

Bezpečnostní systémy projektu EPR 1600 jsou založeny na principu zajištění požadované úrovně bezpečnosti za všech podmínek a stavů (normální, abnormální i havarijní provozní stavy) a zabránění vzniku (resp. snížení pravděpodobnosti vzniku) těžkých nadprojektových havárií.

Tyto principy jsou následující:

- *zjednodušení bezpečnostních systémů*
- *redundance subsystémů bezpečnostních systémů (4x 100 %)*
- *konstrukční oddělení těchto subsystémů*
- *nezávislost bezpečnostních systémů*

Bezpečnostní systémy projektu EPR 1600 jsou především aktivní bezpečnostní systémy.

Mezi nejvýznamnější aktivní bezpečnostní systémy projektu EPR 1600 patří:

- *systém havarijního doplňování*
- *systém odvodu zbytkového tepla*
- *systém havarijního napájení parogenerátorů*
- *systém odvodu zbytkového tepla z kontejnmentu*
- *lapač roztavené aktivní zóny*
- *ostatní bezpečnostní systémy*

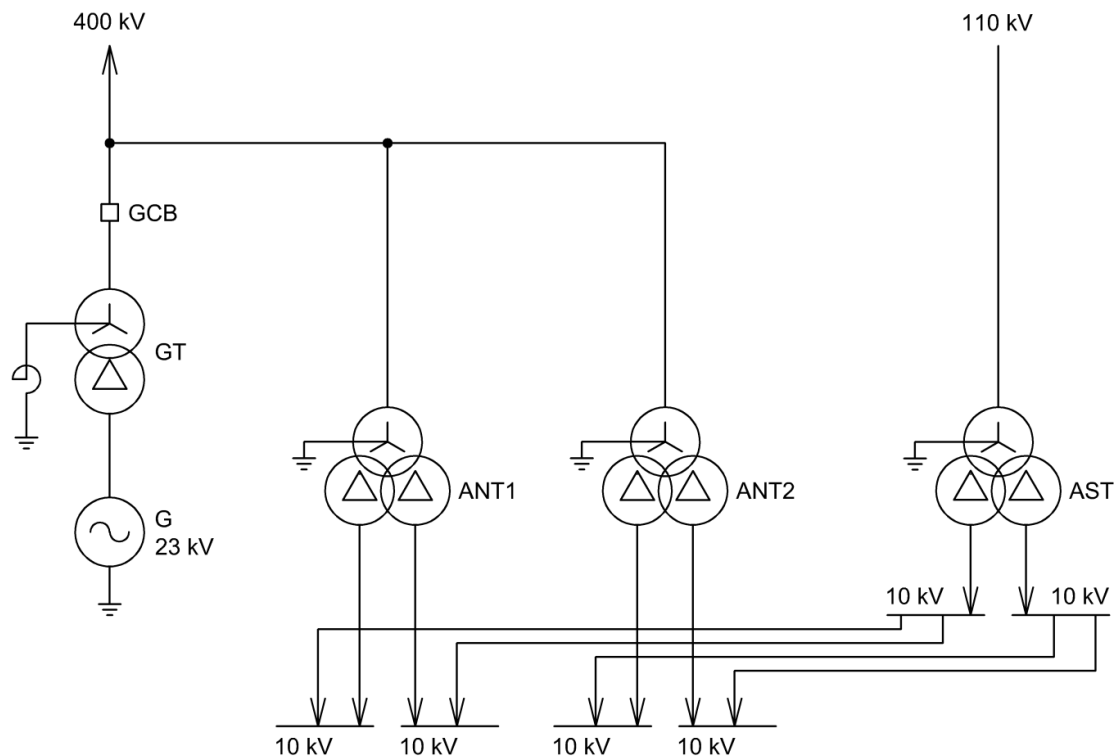
[9]

1.3.2.2 Turbína a generátor

Výrobní blok EPR 1600 bude pravděpodobně vybaven turbosoustrojím o výkonu 1 750 MWe od firmy Alstom navrženým na jmenovité otáčky 1 500 ot./min. Turbína Arabelle se skládá z kombinovaného vysokotlakého a středotlakého dílu (kombinovaný díl pro redukci délky turbíny) a ze tří dílů nízkotlakých. Ve vysokotlaké i ve středotlaké části kombinovaného dílu turbíny dochází k expanzi pouze jedním směrem (rotor dané části má tvar kuželu). Turbínová část je vybavena dvěma separátory/přihříváky s dvoustupňovým přihříváním. Výrobu elektrické energie zajišťuje čtyřpólový turbogenerátor Gigatop, jehož statorové vinutí je chlazeno vodou, vinutí rotoru a vzduchová mezera jsou chlazeny vodíkem. [18] [19] [20]

1.3.2.3 Vyvedení výkonu a vlastní spotřeba

Výstupní napětí turbogenerátoru (G) je 23 kV, to je přivedeno na blokový transformátor (GT) o výkonu 1 944 MVA, jenž je tvořen třemi dvouvinutovými jednotkami a transformuje výstupní napětí turbogenerátoru na zvn 400 kV. Za blokovým transformátorem následuje generátorový vypínač (GCB) a za ním odbočka pro napájení vlastní spotřeby. Rozvodny vlastní spotřeby pracují s napětovou úrovní 10 kV. Napájení vlastní spotřeby je zajištěno dvěma odbočkovými transformátory 400/10 kV (ANT1,2), případně lze vlastní spotřebu napájet rezervním transformátorem 110/10 kV (AST), elektrická energie je v takovém případě přivedena venkovním vedením z rozvodny 110 kV Kočín. Zjednodušené schéma vyvedení výkonu a zajištění vlastní spotřeby bloku EPR 1600 je znázorněno na obrázku 3.



Obrázek 3 – Zjednodušené schéma řešení vyvedení výkonu bloku EPR 1600, napětové úrovně nadřazených soustav upraveny pro lokalitu Temelín [21]

1.4 PROJEKT MIR-1200

Projekt MIR-1200 (Modernized International Reactor) je označován jako generace III+ jaderných elektráren a staví na dlouhé historii vývoje a provozu jaderných bloků VVER. Je založen na projektu AES-2006 (VVER-1200) a mělo by se jednat o pomyslný technologický vrchol 3. generace těchto reaktorů vycházejících z původního

sovětského projektu tlakovodních jaderných bloků, následující technologický vývoj by se již měl upínat k jaderným blokům 4. generace. Projekt MIR-1200 v podobě, která je navrhována jako nové bloky pro jadernou elektrárnu Temelín, dosud není nikde provozována. Velmi blízko k projektu MIR-1200 mají prototypové bloky typu VVER-1200/491, které jsou nyní ve výstavbě na Leningradské elektrárně Sosnovyj Bor (LNPP-2) a reaktory typu VVER-1200/392M budované v Novovoroněžské elektrárně (NVNPP-2). Výstavba dvou reaktorových bloků VVER-1200/V-491 bude v průběhu roku 2012 zahájena na Baltické jaderné elektrárně v kaliningradské oblasti (Baltic NPP). Nedávno také byla ukončena výstavba menších výkonových variant v lokalitách Tianwan v Číně a Kudankulam v Indii. [2] [22] [23]

1.4.1 Dodavatel

Jako dodavatel projektu MIR-1200 se do tendru na dodávku 3. a 4. bloku jaderné elektrárny Temelín přihlásilo mezinárodní konsorcium firem Škoda JS, ZAO Atomstrojexport a OAO OKB Hidropress. Společnost Škoda JS působí v oblasti jaderného průmyslu již více než 50 let a působí jak na českých jaderných elektrárnách Temelín a Dukovany, tak i ve světě, zejména ve východní Evropě. Společnost ZAO Atomstrojexport, vlastněná korporací Rosatom, patří mezi přední ruské státní inženýrské společnosti a realizuje obchodní zakázky na výstavbu objektů jaderné energetiky v celosvětovém měřítku. [24]

1.4.2 Popis řešení

Projekt MIR-1200 (reaktor V-491) svým řešením vychází z jaderných bloků VVER-1000, proto je principiálně řešen podobným způsobem. Stejně jako u VVER-1000 je primární okruh tvořen reaktorovou nádobou, kompenzátozem objemu a čtyřmi chladícími smyčkami, tedy čtyřmi hlavními cirkulačními čerpadly a čtyřmi horizontálními parogenerátory. Tepelný výkon reaktoru je 3 200 MWt. Teplota vody na vstupu do aktivní zóny reaktoru činí 298,2 °C, na výstupu pak 328,9 °C. Reaktorem proteče 86 000 m³ vody za hodinu. Tlak vody na výstupu z reaktoru činí 16,2 MPa. Na výstupu z parogenerátorů (sekundární okruh) dosahuje tlak páry hodnoty 7 MPa. Parní výkon každého parogenerátoru je 1 602 tun páry za hodinu. Vlhkost páry na výstupu z parogenerátoru je 0,2 %.

Sekundární okruh výrobního bloku je tvořen jedním turbosoustrojím, to se skládá z jednoho vysokotlakého a čtyř nízkotlakých dílů turbíny a z turbogenerátoru. Podrobněji o turbínové části a turbogenerátoru pojednává kapitola 1.4.2.2.

Výrobce udává projektovou životnost reaktorového bloku MIR-1200 60 let. Perioda výměny části jaderného paliva je 12 až 24 měsíců. [25] [26]

1.4.2.1 Zajištění bezpečnosti provozu a jaderné bezpečnosti

Provozní a jaderná bezpečnost projektu staví na těchto principech:

- *ochrana do hloubky*
- *zahrnutí požadavků mezinárodních agentur (IAEA, EUR)*
- *zkušenosti z provozu reaktorů VVER*
- *pravděpodobnostní a deterministické analýzy*

Základními bezpečnostními prvky projektu jsou:

- *čtyři bezpečnostní trasy*
- *dvojitý kontejnment*
- *zvýšená seismická odolnost*
- *rekombinátory vodíku*
- *lapač roztavené aktivní zóny*
- *pasivní systém odvodu zbytkového tepla z kontejnmentu*
- *pasivní systém odvodu tepla z parogenerátoru*
- *nezávislost na externích zdrojích energie po dobu 72 hodin*

Reaktorová nádoba a všechny hlavní části primárního okruhu jsou umístěny ve dvouplášťovém železobetonovém kontejnmentu. Vnější plášť je odolný proti pádu letadla o váze 5,7 t při rychlosti nárazu 100 m/s, vnějšímu výbuchu s tlakovou vlnou o rázu 30 kPa po dobu 1 s, zatížení sněhem a ledem 4,3 kPa, vichřici třídy F3 dle stupnice Fujita a zemětřesení 0,25 g pro bezpečné odstavení (0,12 g pro nepřerušeni provozu). Vnitřní betonový předpjatý plášť je konstruován na tlak 0,4 MPa a na teplotu 150 °C a je opatřen ocelovou vystýlkou.

Bezpečnostní systémy lze rozdělit na aktivní (ke svému působení potřebují být napájeny ze zdroje elektrické energie a často též potřebují obsluhu personálu) a pasivní (působí i bez zdroje napájení s výjimkou systému řízení napájeného z baterií, využívají fyzikálních principů – tzv. inherentní bezpečnost).

Mezi aktivní bezpečnostní systémy patří:

- *vysokotlaká čerpadla dávkování roztoku kyseliny borité do primárního okruhu*
- *nízkotlaká čerpadla havarijního dochlazování*
- *sprchový systém*
- *vysokotlaké vstřikování kyseliny borité*
- *havarijní napájení parogenerátorů*
- *havarijní odvod paroplynové směsi z parogenerátorů*
- *havarijní odvod paroplynové směsi z horní části reaktoru*

Mezi pasivní bezpečnostní systémy patří:

- *pasivní odvod tepla z kontejnmentu*
- *pasivní odvod tepla z parogenerátoru*
- *lapač roztavené aktivní zóny*
- *pasivní chlazení roztavené aktivní zóny*
- *hydroakumulátory*
- *pasivní likvidace vodíku v kontejnmentu*
- *systém regulačních tyčí v reaktoru*
- *ochrana před přetlakování primárního okruhu (pojišťovací armatury)*

Projekt MIR-1200 na rozdíl od AP1000 využívá při řešení těžkých havárií aktivní i pasivní bezpečnostní systémy. Jak pasivní, tak aktivní bezpečnostní systémy jsou redundantní, přičemž redundance některých systémů je oproti VVER 1000 zvýšena z 3x 100 % na 4x 100 %. Některé systémy jsou redundantní pouze 4x 50 %.

Jak již bylo zmíněno, aktivní bezpečnostní systémy jsou závislé na externích zdrojích energie. Projekt MIR-1200 řeší tuto závislost pomocí dieselgenerátorů, které jsou redundantní až 4x 100 %. Tato redundance odpovídá zhruba 4x 6 MW. Pro případ situace, kdy je jaderná elektrárna naprosto bez zdroje elektrické energie (tzv. station blackout), jsou přidány další nouzové dieselgenerátory menších výkonů. Místo těchto generátorů je možno využít spalovacích turbín, u nichž je však přibližně 6x delší doba najetí.

Rovněž u tohoto projektu existuje určitá závislost pasivních bezpečnostních systémů na aktivních bezpečnostních systémech. V projektu jsou použita i další řešení ke zvýšení bezpečnosti provozu, která se neřadí mezi bezpečnostní systémy, ale jsou inovativním zlepšením oproti předchozím generacím reaktorů VVER, například hlavní

cirkulační čerpadla s bezolejovým mazáním (dochází k odstranění hořlavin z kontejmentu). [9]

1.4.2.2 Turbína a generátor

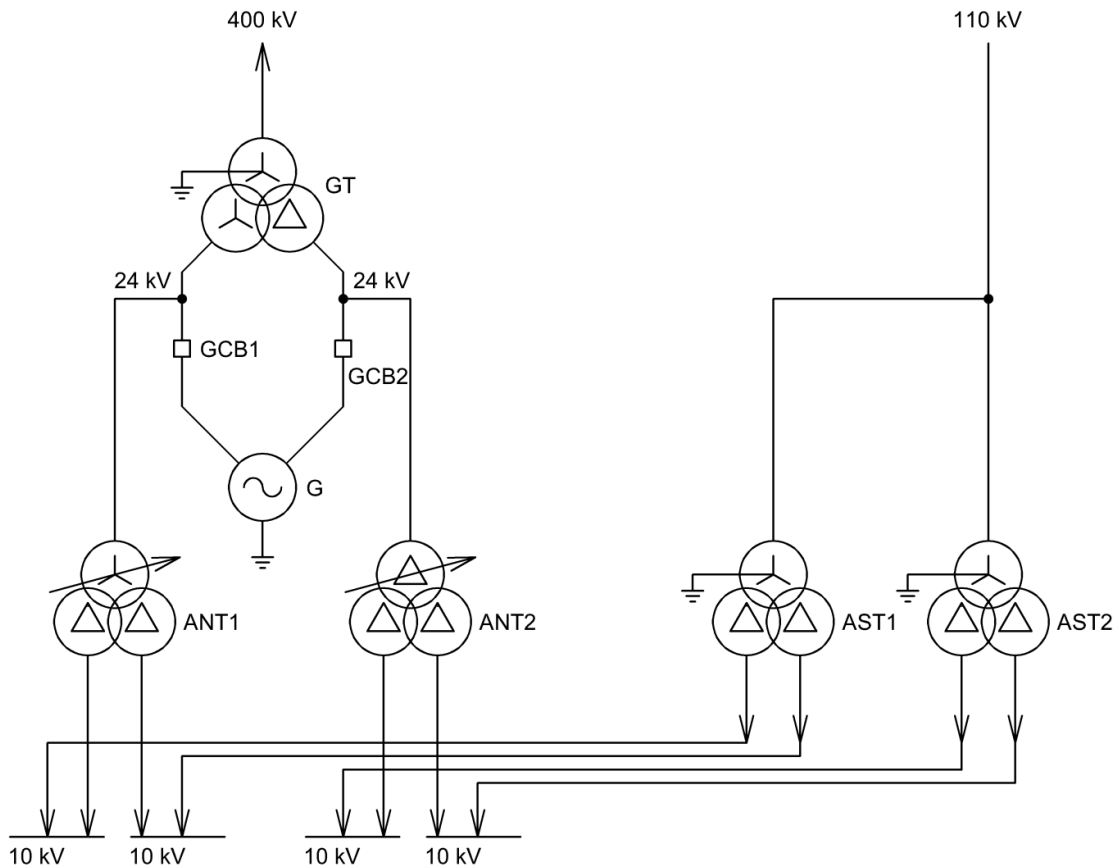
Typový projekt výrobního bloku MIR-1200 (AES-2006) obsahuje ruskou rychloběžnou turbínu LMZ K-1200-6,8-50 (3 000 ot./min.) se separačním mezistupněm a dvoustupňovým přehříváním přímo spojenou turbogenerátorem TZV-1200-2UZ ruského výrobce Elektrosila (obě od roku 2004 divize společnosti Silovye mashiny, dříve dceřiné společnosti) umístěným na společné základně se soustrojím turbíny. Vinutí rotoru i statoru šestifázového (2x 3 fáze otočené o 30°) turbogenerátoru TZV-1200-2UZ je chlazen vodou.

Výrobce deklaruje možnost záměny za rychloběžnou či pomaloběžnou turbínu jiného, např. českého výrobce. Konečný výběr typu a dodavatele turbíny a turbogenerátoru bude výsledkem jednání se zadavatelem. Skutečné parametry turbíny a turbogenerátoru plánovaných bloků ETE3,4 se proto mohou lišit, prozatím nezbývá než vycházet z hodnot známých pro typové řešení.

Typovému projektu odpovídá hrubý elektrický výkon 1158 MWe a čistý elektrický výkon 1078 MWe. [25] [27]

1.4.2.3 Vyvedení výkonu a vlastní spotřeba

Výstupní napětí turbogenerátoru (G) u projektu MIR-1200 je 24 kV. Od generátoru je vedeno dvěma větvemi k blokovému transformátoru (GT) o výkonu 1 200 MW, jenž je tvořen třemi třívinuťovými jednotkami a transformuje výstupní napětí turbogenerátoru na zvn 400 kV. Každá větev propojující turbogenerátor a blokový transformátor obsahuje jeden generátorový vypínač (GCB) a za generátorovým vypínačem odbočku pro napájení vlastní spotřeby. Rozvodny vlastní spotřeby pracují s napětovou úrovní 10 kV. Napájení vlastní spotřeby je zajištěno dvěma odbočkovými transformátory 24/10 kV (ANT1,2), případně lze vlastní spotřebu napájet pomocí dvou rezervních transformátorů 110/10 kV (AST1,2), elektrická energie je v takovém případě přivedena venkovním vedením z rozvodny R 110 kV Kočín. Zjednodušené schéma vyvedení výkonu a zajištění vlastní spotřeby bloku MIR 1200 je znázorněno na obrázku 4.



Obrázek 4 – Zjednodušené schéma řešení vyvedení výkonu bloku MIR-1200, napěťové úrovně nadřazených soustav upraveny pro lokalitu Temelín [27]

1.5 POROVNÁNÍ MOŽNÝCH ŘEŠENÍ NOVÝCH VÝROBNÍCH BLOKŮ SE STÁVAJÍCÍMI A MEZI SEBOU

Principiálně nejsou mezi jednotlivými nabízenými řešeními pro 3. a 4. blok JE Temelín zásadní rozdíly. Nejbližší má ke stávajícím blokům VVER-1000 projekt MIR-1200, ať již řešením primárního okruhu nebo použitím rychloběžné turbíny. Jedná se o očekávatelný fakt, neboť MIR-1200 je evolučním následovníkem VVER-1000.

Všichni tři účastníci výběrového řízení na dostavbu 3. a 4. bloku JE Temelín deklarují shodně projektovou životnost svých navrhovaných reaktorových bloků 60 let. Projekt AP1000 využívá dvousmyčkové řešení primárního okruhu (na rozdíl od ostatních projektů se čtyřsmyčkovým primárním okruhem), s tím souvisí i použití parogenerátorů s přibližně dvojnásobným parním výkonem.

Tepelné i elektrické výkony projektů AP1000 a MIR-1200 jsou srovnatelné, tepelný i elektrický výkon udávaný u projektu EPR 1600 je přibližně o třetinu vyšší. Jediný projekt EPR 1600 se také výrazněji liší provedením turbosoustrojí, kde turbína stejně jako u ostatních řešení obsahuje tři nízkotlaké díly, místo vysokotlakého dílu však

obsahuje kombinovaný vysokotlaký + středotlaký díl. Turbosoustrojí u EPR 1600 je oproti ostatním projektům také nejrozměrnější. Turbogenerátor je u projektů AP1000 a EPR 1600 čtyřpólový trojfázový a stejně jako u stávajících bloků VVER-1000 je satorové vinutí chlazeno vodou, vinutí rotoru a vzduchová mezera vodíkem. Projekt MIR-1200 naproti tomu využívá poněkud netypické řešení v podobě dvoupólového šestifázového turbogenerátoru od firmy Elektrosila (2x3 fáze otočené o 30°). Z hlediska zajištění napájení vlastní spotřeby stojí za zmínku, že jediný projekt EPR 1600 je vybaven pouze jedním rezervním transformátorem pro napájení VS z rozvodny Kočín náhradní linkou 110 kV, ostatní projekty jsou stejně jako stávající bloky vybaveny dvěma rezervními transformátory.

Tabulka 1 – Srovnání jaderných bloků nabízených pro dostavbu JE Temelín se stávajícími bloky VVER-1000

Projekt	VVER-1000	AP1000	EPR 1600	MIR-1200
Dodavatel	Škoda Praha	Westinghouse	Areva	konsorcium
Životnost [let]	-	60	60	60
Perioda odstávek [més.]	12	18 (12 až 24)	18 (12 až 24)	12 až 24
Tepelný výkon [MWt]	cca. 3 000	3 415	4 616	3 200
Počet smyček prim. okruhu	4	2	4	4
Počet hl. cirkulačních čerpadel	4	4	4	4
Počet parogenerátorů	4	2	4	4
Teplota chladiva v reaktoru [°C]	320	321	330	328,9
Tlak vody na výstupu z AZ [MPa]	15,7	15,5	15,5	16,2
Tlak páry na výstupu z PG [MPa]	6,3	5,76	7,63	7
Parní výkon každého PG [t/h]	1 470	3 397	nezjištěno	1 602
Provedení turbíny	VT + 3xNT	VT + 3xNT	(V+ST) + 3xNT	VZ + 3xNT
Výrobce turbosoustrojí	Škoda Praha	Toshiba	Alstom	LMZ, Elektrosila
Otáčky turbosoustrojí [ot./min.]	3 000	1 500	1 500	3 000
Chlazení satoru / rotoru TG	voda / vodík	voda / vodík	voda / vodík	voda / voda
Výstupní napětí TG [kV]	24	25	23	24
Elektrický výkon TG [MW]	cca. 1 000	1 237,5	1 750	1 158
Čistý elektrický výkon bloku [MW]	cca. 950	1 117	cca. 1 600	1 078
Napětí rozvodu VS [kV]	6,3	11	10	10
Odbočkové transformátory	2x 24/6,3 kV	2x 25/11 kV	2x 400/10 kV	2x 24/10 kV
Rezervní transformátory	2x 110/6,3 kV	2x 110/11 kV	1x 110/10 kV	2x 110/10 kV

2 ROZVODNA KOČÍN – STÁVAJÍCÍ STAV

Rozvodna Kočín se nachází přibližně 3 kilometry jižně od JE Temelín v blízkosti stejnojmenné obce. Stávající zařízení ČEPS v transformační rozvodně Kočín sestává z rozvodny 400 kV v rozsahu 13 polí, dvou stanovišť transformátorů 400/110 kV osazených trojfázovými jednotkami – T401 a T402, rozvodny 110 kV s rozsahem 17 polí a jednoho stanoviště kompenzačních tlumivek 400 kV sestaveného ze tří fázových jednotek a jednotky rezervní.

2.1 TRANSFORMACE S VYŠŠÍM NAPĚTÍM 400 kV

Transformace 400/110 kV je provedena venkovními dvěma trojfázovými transformačními jednotkami T401, T402.

Transformační jednotky T401, T402:

Výrobce:	ZTR, bývalý SSSR
Jmenovitý výkon:	250 MVA (prim. - sek.) 100 MVA terc.
Provedení:	trojfázový olejový autotransformátor s regulací napětí
Jmenovitý proud:	400 / 121 +8x1,25 % -8x1,37 % / 10,5 kV
Spojení:	$Y_n Y_n 0d1$
Chlazení:	celkem 6 chladičů pro jeden transformátor každý chladič zahrnuje 2x ventilátor + 1x olejové čerpadlo
Množství oleje	75 t

Terciáry 10,5 kV obou transformátorů jsou vyvedeny pro účely vlastní spotřeby transformační rozvodny. Oba transformátory jsou ze strany 400 kV i 110 kV napojeny do samostatných polí příslušných rozveden pomocí lanových propojů. Jednotlivá stanoviště jsou provedena pro 20 % objemu oleje s odtokem do havarijní olejové jámy. Záchytné jímky obou stanovišť jsou opatřeny pochůzkovými pozinkovanými rošty. Uzemnění je provedeno pásky FeZn 30/4mm, kabeláž je provedena celoplastovými kabely a stíněnými kabely.

Kompenzační tlumivka je provedena z jednofázových jednotek, každá o výkonu 55 MVar, zapojených do samostatného pole rozvodny 400 kV.

Kompenzační tlumivka TL401:

Výrobce:	ELIN
Jmenovitý výkon:	3x55 MVA _r
Provedení:	venkovní jednofázová olejová tlumivka
Spojení:	IN
Chlazení:	ONAN
Množství oleje	15 t

2.2 ROZVODNA 400 kV (ACA)

Rozvodna 400 kV (ACA) je venkovního provedení, dvouřadá se dvěma hlavními přípojnicemi a pomocnou přípojnici (2+P) v zapojení 4/3 vypínače na odbočku, pole pro připojení transformátorů a tlumivky jsou 2+P v klasickém zapojení.

Do rozvodny 400 kV je vyveden výkon obou bloků JE Temelín dvěma samostatnými linkami zvn 400 kV, stejnými linkami může být napájena vlastní spotřeba bloků při výpadku výroby či v odstávce v případě, že není možno napájet vlastní spotřebu bloku vyrobeným výkonem bloku druhého. Rozvodna 400 kV je propojena venkovním vedením zvn 400 kV s rozvodnami Dasný, Přeštice, Řeporyje a Chodov.

Obsazení polí rozvodny 400 kV (ACA):

Pole č.	Typ odbočky	Číslo
1, 3	blokový vývod el. Temelín	V052
2	vývod Chodov	V476
4	vývod Přeštice	V432
5, 7	blokový vývod el. Temelín	V051
6	vývod Dasný	V473
8	vývod Řeporyje	V475
10	kombinovaný spínač přípojnic	KSP1
12	transformátor 400/110 kV	T401
71	podélné dělení přípojnic	PDP
14	transformátor 400/110 kV	T402
16	tlumivka 400 kV	TL1
18	vývod Dasný	V474

Základní technická data rozvodny 400 kV (ACA):

Jmenovité napětí sítě, nap. soustava:	3~50 Hz, 400 kV / TT
Nejvyšší provozní napětí sítě:	420 kV
Jmenovitý proud přípojnic:	3500 A
Zkratová odolnost:	50 (1 s) / 125 kA
Oblast znečištění:	Oblast znečištění I. (AF1)
Námrazová oblast:	Námrazová oblast S – střední (AU2)
Šířka pole:	28 m
Výška kotvení přípojnic:	14,5 m
Výška kotvení vedení:	23 m
Výška kotvení přetahů:	23 m
Fázová rozteč přípojnic:	6,5 m
Fázová rozteč přetahů:	7,5 m
Hlavní konstrukce:	Příhradová Atmofix natíraná, pole č. 18 pozinkovaná natíraná
Pomocná konstrukce:	Příhradová Atmofix natíraná, pole č. 18 pozinkovaná natíraná
Přípojnice:	lanové, 3x670 AlFe 8
Rok uvedení do provozu:	1995

2.3 ROZVODNA 110 kV (AEA)

Jde o rozvodnu venkovního provedení, jednořadá, šachovnicového uspořádání se třemi hlavními přípojnicemi a pomocnou přípojnicí (3+P).

Do rozvodny 110 kV jsou připojeny venkovním vedením vvn 110 kV rezervní transformátory obou bloků JE Temelín pro případ, že by nebylo možné napájet vlastní spotřebu bloku výkonem vyrobeným druhým blokem a zároveň by nebylo k dispozici napájení vlastní spotřeby bloku vedením zvn 400 kV z rozvodny 400 kV. Rozvodna 110 kV je propojena venkovním vedením vvn 110 kV s rozvodnami Dasný, Písek, Mydlovary, Veselí, Hněvkovice, Bechyně a Křtěnov.

Obsazení polí rozvodny 110 kV (AEA):

Pole č.	Typ odbočky	Číslo
03	vývod Dasný 1	V1344
103	zařízení HDO	HDO II
02	vývod Dasný 2	V1345
01	vývod Písek	V1350
101	zařízení HDO	HDO I
1	vývod Mydlovary	V1349
2	vývod Veselí nad Lužnicí	V1339
3	vývod Hněvkovice	V1346
4	transformátor 400/110 kV	T402
5	kombinovaný spínač přípojnic	KSP1
6	vývod elektrárna Temelín VS2	V9002
71	podélné dělení přípojnic	PDP
7	vývod elektrárna Temelín VS1	V9001
8	vývod Hněvkovice	V1347
9	vývod Bechyně	V1331
10	transformátor 400/110 kV	T401
11	vývod Křtěnov	V1332
12	kombinovaný spínač přípojnic	KSP2

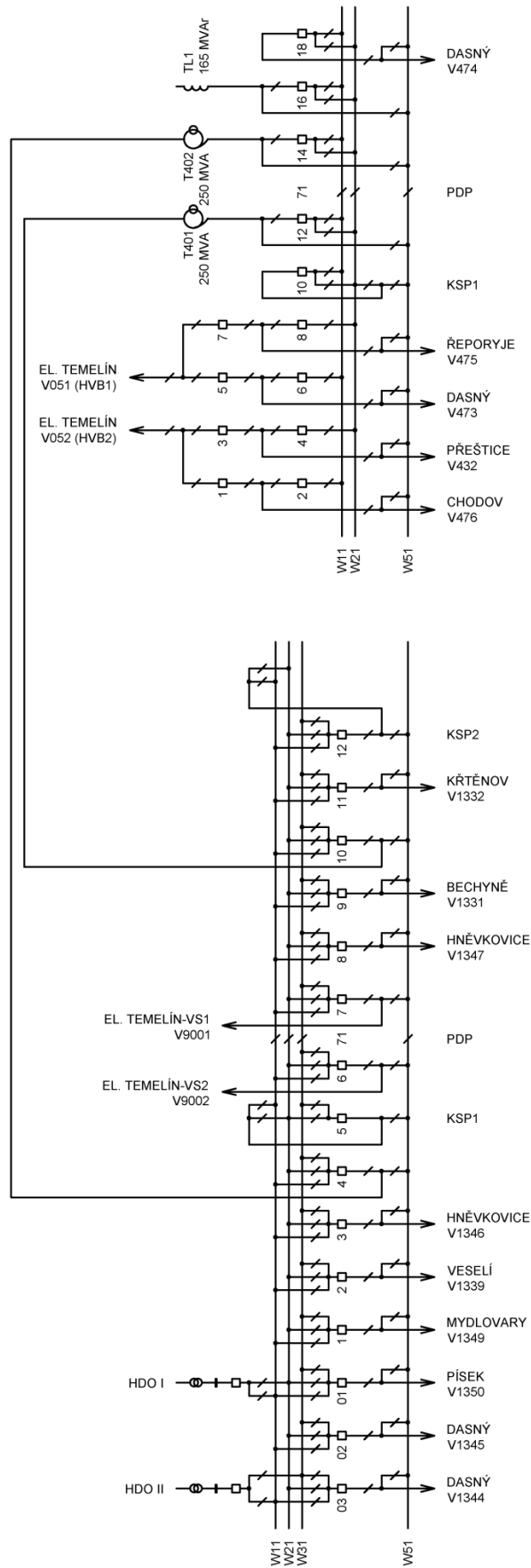
Základní technická data rozvodny 110 kV (AEA):

Jmenovité napětí sítě, nap. soustava:	3~50 Hz, 110 kV / TT
Nejvyšší provozní napětí sítě:	123 kV
Jmenovitý proud přípojnic:	2600 A
Zkratová odolnost:	40 (1 s) / 100 kA
Oblast znečištění:	Oblast znečištění I. (AF1)
Námrazová oblast:	Námrazová oblast S – střední (AU2)
Šířka pole:	10 m
Výška kotvení přípojnic:	6 m
Výška kotvení vedení:	10 m
Výška kotvení přetahů:	10 m
Fázová rozteč přípojnic:	2 m
Fázová rozteč přetahů:	2,8 m

Hlavní konstrukce:	Příhradová Atmofix natíraná, pole č. 01-03, 101, 103 pozink. natíraná
Pomocná konstrukce:	Příhradová Atmofix natíraná, pole č. 01-03, 101, 103 pozink. natíraná
Přípojnice:	Trubkové AlMgSi 100/5mm
Rok uvedení do provozu:	1995

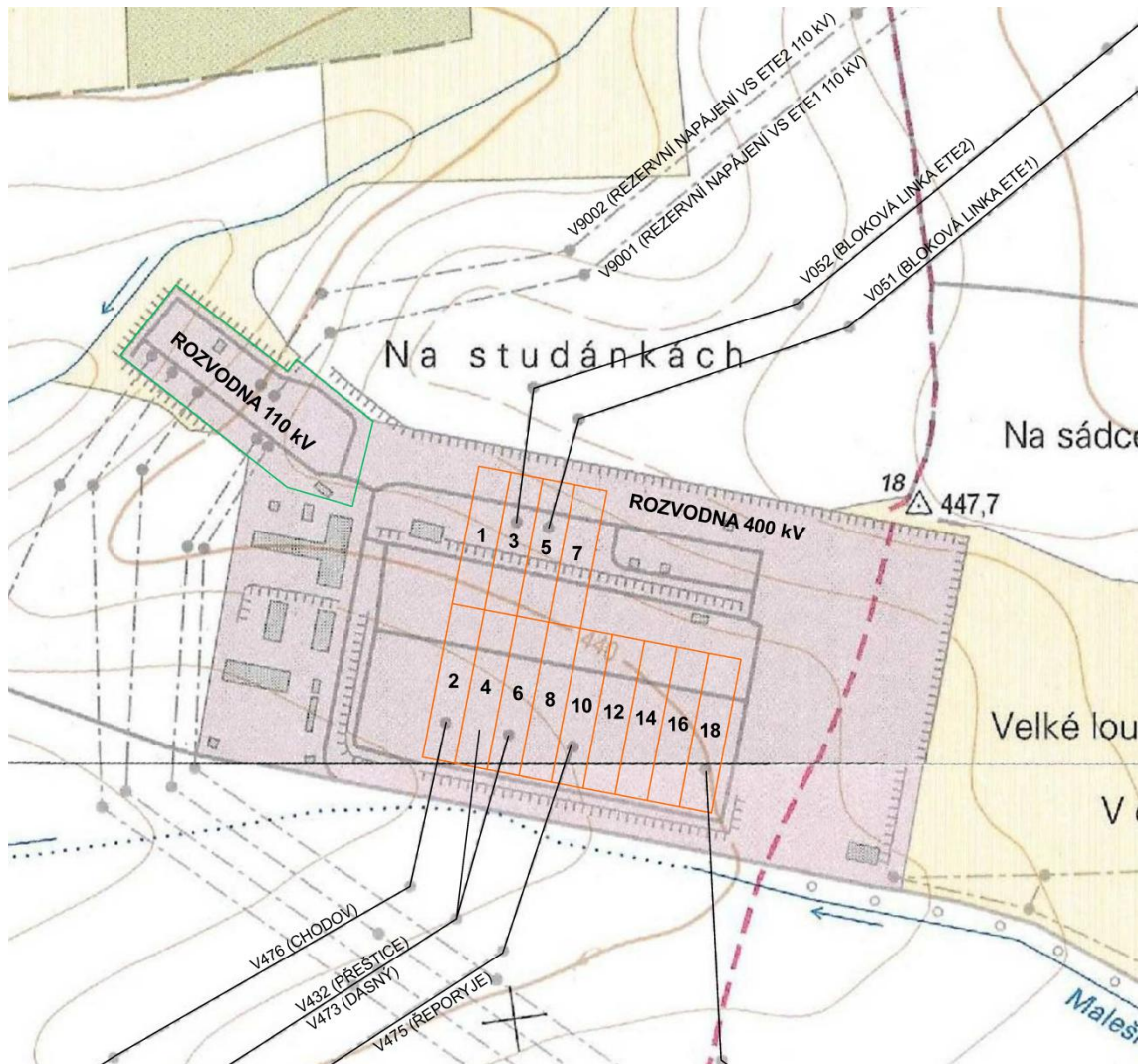
ROZVODNA 400 kV

ROZVODNA 110 kV



Obrázek 5 – Jednopolové schéma rozveden 400 kV a 110 kV Kočín (stávající stav)

Na obrázku 6 je znázorněno vzájemné umístění rozvodů 400 kV a 110 kV Kočín a také venkovní vedení vln 110 kV (čerchovaně) a zvn 400kV (plnou čarou). V rozvodně 400 kV je orientačně znázorněna poloha jednotlivých polí a jejich vzájemné rozmístění. Šířka každého pole v rozvodně 400 kV je 28 metrů.



Obrázek 6 – Zákes polí rozvodny 400 kV Kočín v mapovém podkladu (stávající stav)

3 VÝPOČET ZKRATOVÝCH PŘÍSPĚVKŮ NOVÉHO JADERNÉHO ZDROJE

Tato část práce je věnována výpočtu zkratových proudů jednotlivých elektrárenských bloků nabízených v rámci výběrového řízení na dostavbu JE Temelín a pro srovnání také výpočtu pro stávající bloky VVER-1000. Bude uvažován trojfázový zkrat na vedení zvn 400 kV v transformační rozvodně 400/110 kV Kočín. Znalost hodnoty zkratových příspěvků připojených významných zdrojů je spolu s hodnotou zkratového příspěvku přenosové soustavy nezbytným parametrem pro správné dimenzování zařízení rozvodny.

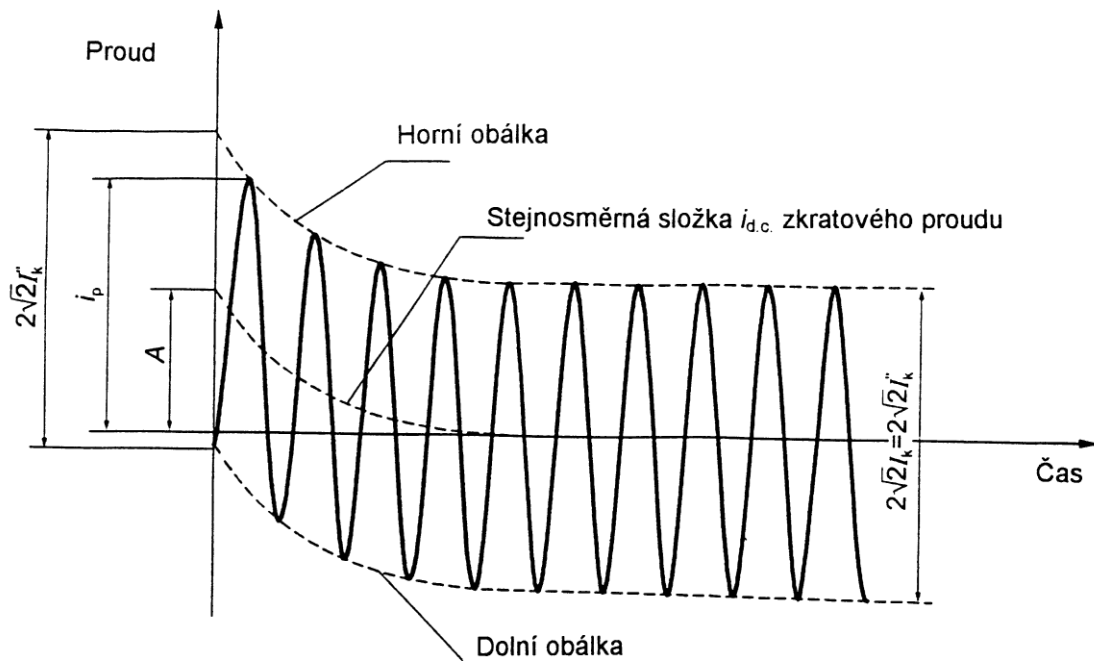
3.1 METODIKA VÝPOČTU

Při výpočtu zkratového příspěvku nového jaderného zdroje do nadřazené transformační rozvodny Kočín je postupováno podle normy ČSN EN 60909-0: Zkratové proudy v trojfázových soustavách – Část 0: Výpočet proudů. Tato norma je českou verzí evropské normy EN 60909-0:2001. Obsah normy je identický s IEC 60909-0:2001, platí pro výpočet zkratových proudů v trojfázových střídavých soustavách nízkého, vysokého, velmi vysokého a zvláště vysokého napětí při jmenovitém kmitočtu 50 nebo 60 Hz a stanovuje základní, použitelné a stručné postupy, které vedou k výsledkům, jež mají přijatelnou přesnost. [28]

Parametry generátorů a blokových transformátorů jednotlivých variant nových jaderných zdrojů i stávajících bloků VVER-1000, stejně jako parametry venkovního vedení zvn 400 kV, byly poskytnuty společností ČEZ, a.s., divize Investice, útvarem Výstavba JE a jsou přiloženy k této práci v přílohách A až C. Parametry bloků uvedené v první části práce jsou získány z veřejně dostupných, především internetových zdrojů a mnohé z nich odpovídají některému již realizovanému jadernému bloku stejného typu. Parametry získané od společnosti ČEZ, a.s., použité pro výpočty zkratových příspěvků, byly zjištěny v rámci přípravy výstavby NJZ v lokalitách ETE a EDU. Jak je zmíněno v první části práce, sekundární část jaderných bloků je u jednotlivých dodavatelů více či méně variabilní a bloky v budoucnu realizované na JE Temelín mohou obsahovat mírně odlišné řešení oproti již realizovaným jaderným blokům stejného typu v jiné lokalitě. Proto se parametry některých zařízení zjištěné z veřejně dostupných zdrojů v první části práce a parametry zařízení poskytnuté společností ČEZ mírně liší.

3.2 POSTUP VÝPOČTU

Zařízení a přístroje rozvoden je nezbytné dimenzovat na nejvyšší zkratové proudy, jaké se mohou v daném místě soustavy objevit. Cílem je proto zjistit nejvyšší hodnoty zkratových proudů. Nejvyšší hodnota zkratového proudu je v tomto případě reprezentována počátečním souměrným rázovým zkratovým proudem I_k'' . Tato veličina nepopisuje průběh zkratu v celé době jeho trvání, je však dostačující pro správné dimenzování zařízení a přístrojů rozvoden. Dále bude vypočtena hodnota nárazového zkratového proudu i_p .

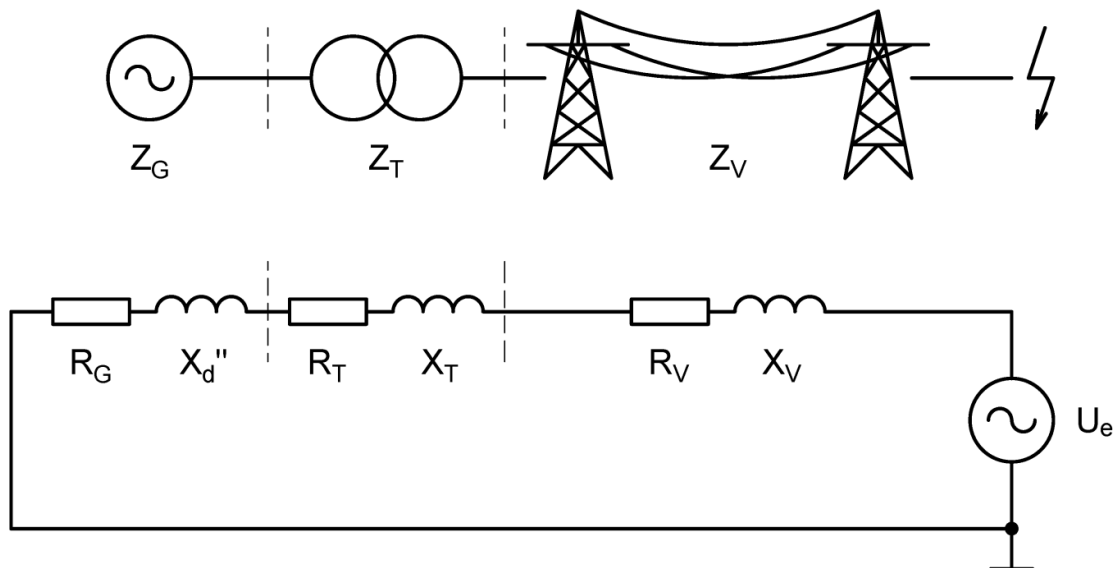


Obrázek 7 – Průběh zkratového proudu u elektricky vzdáleného zkratu s konstantní střídavou složkou [28]

Pro běžný případ, kdy netočivá složka zkratové impedance $Z_{(0)}$ je větší než sousledná a zpětná složka $Z_{(1)} = Z_{(2)}$, se vyskytne největší zkratový proud u trojfázového zkratu. Proto je počítán právě případ souměrného trojfázového zkratu.

Metoda použitá pro výpočet je založena na zavedení ekvivalentního napěťového zdroje v místě zkratu. Ekvivalentní napěťový zdroj je jediným aktivním napětím soustavy. Všechny síťové napáječe, synchronní a asynchronní stroje jsou nahrazovány svou vnitřní impedancí. Ve všech případech se k určení zkratového proudu v místě zkratu použije ekvivalentní napěťový zdroj. Provozní údaje o odběrech, o poloze přepínače odboček transformátorů, buzení generátorů, atd. jsou postradatelné, odpadá nutnost provádět výpočty toků výkonů v různých stavech před zkratem. [28]

Dle úvahy v ČSN EN 60909-1: Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách – Část 1: Součinitele pro výpočet zkratových proudů podle IEC 60909-0, kapitola 2.2.3.1 není nutné brát v úvahu vliv motorů ve vlastní spotřebě elektrárny na velikost příspěvku ke zkratovému proudu I_k'' , a proto byl vliv motorů ve vlastní spotřebě na příspěvek ke zkratovému proudu I_k'' zanedbán. Zanedbáním vlivu zařízení vlastní spotřeby jaderného bloku se výpočet celkové zkratové impedance významně zjednoduší, vypočtená hodnota počátečního souměrného rázového zkratového proudu I_k'' a nárazového zkratového proudu i_p je jen velmi málo zatížena chybou způsobenou tímto zjednodušením. Postup výpočtu je patrný z náhradního schématu a matematicky je popsán dále.



Obrázek 8 – Schéma (nahore) a náhradní schéma (dole) uvažovaného zkratu

3.2.1 Zkratová impedance generátoru

Pro synchronní generátory norma ČSN EN 60909-0 uvádí vztah pro výpočet zkratové impedance:

$$\mathbb{Z}_{GK} = K_G \cdot \mathbb{Z}_G = K_G \cdot (R_G + j \cdot X_d'') \quad (1)$$

Pro další výpočet však potřebuji pouze rázovou impedanci generátoru \mathbb{Z}_G (nikoliv korigovanou), pro ni platí vztah:

$$\mathbb{Z}_G = R_G + j \cdot X_d'' \quad (2)$$

Vyjádření vztahu pro rázovou reaktanci X_d'' :

$$x_d'' = \frac{X_d''}{Z_{rG}} \quad (3)$$

$$Z_{rG} = \frac{U_{rG}^2}{S_{rG}} \quad (4)$$

$$X_d'' = x_d'' \cdot Z_{rG} = x_d'' \cdot \frac{U_{rG}^2}{S_{rG}} \quad (5)$$

Pro generátory s $U_{rG} > 1 \text{ kV}$ a $S_{rG} > 100 \text{ MVA}$ lze s dostatečnou přesností použít následující vztah pro určení fiktivní rezistance R_{Gf} :

$$R_G \cong R_{Gf} = 0,05 \cdot X_d'' \quad (6)$$

3.2.2 Zkratová impedance blokového transformátoru

Norma ČSN EN 60909-0 uvádí pro dvouvinuťové transformátory následující vztah:

$$Z_T = R_T + j \cdot X_T \quad (7)$$

Pro vypočtení sousledné zkratové impedance blokového transformátoru z jeho jmenovitých údajů je uvedena skupina vztahů:

$$Z_T = \frac{u_{kr}}{100} \cdot \frac{U_{rT}^2}{S_{rT}} \quad (8)$$

$$R_T = \frac{u_{Rr}}{100} \cdot \frac{U_{rT}^2}{S_{rT}} = \frac{P_{krT}}{3 \cdot I_{rT}^2} \quad (9)$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} \quad (10)$$

Z uvedených vztahů vyjádřím u_{Rr} :

$$u_{Rr} = 100 \cdot \frac{P_{krT}}{3 \cdot I_{rT}^2} \cdot \frac{S_{rT}}{U_{rT}^2} \quad (11)$$

Platí:

$$I_{rT} = \frac{S_{rT}}{\sqrt{3} \cdot U_{rT}} \quad (12)$$

Po dosazení a úpravě:

$$u_{Rr} = 100 \cdot \frac{P_{krT}}{3 \cdot \frac{S_{rT}^2}{3 \cdot U_{rT}^2}} \cdot \frac{S_{rT}}{U_{rT}^2} = 100 \cdot \frac{P_{krT} \cdot S_{rT} \cdot U_{rT}^2}{S_{rT}^2 \cdot U_{rT}^2} = 100 \cdot \frac{P_{krT}}{S_{rT}} \quad (13)$$

Zpětným dosazením získám vztah pro rezistanci:

$$R_T = \frac{u_{Rr}}{100} \cdot \frac{U_{rT}^2}{S_{rT}} = \frac{100 \cdot P_{krT}}{100 \cdot S_{rT}} \cdot \frac{U_{rT}^2}{S_{rT}} = \frac{P_{krT} \cdot U_{rT}^2}{S_{rT}^2} \quad (14)$$

3.2.3 Zkratová impedance elektrárenského bloku

Dále je využito vztahu pro výpočet elektrárenského bloku s blokovým transformátorem bez přepínače odboček při zatížení:

$$\mathbb{Z}_{SO} = K_{SO} \cdot (t_r^2 \cdot \mathbb{Z}_G + \mathbb{Z}_{THV}) \quad (15)$$

kde \mathbb{Z}_{THV} je zkratová impedance blokového transformátoru přepočtená na stranu vyššího napětí, v našem případě platí:

$$\mathbb{Z}_{THV} = \mathbb{Z}_T \quad (16)$$

Vztah pro korekční součinitel K_{SO} je:

$$K_{SO} = \frac{U_{nQ}}{U_{rG} \cdot (1 + p_G)} \cdot \frac{U_{rTLV}}{U_{rTHV}} \cdot (1 \pm p_T) \cdot \frac{c_{max}}{1 + x_d'' \cdot \sin \varphi_{rG}} \quad (17)$$

Platí, že $(1 \pm p_T) = (1 \pm 0)$, neboť v uvažovaných případech blokové transformátory nebudou obsahovat přepínače odboček bez zatížení nebo nebudou využívány.

3.2.4 Zkratová impedance venkovního vedení

Rezistance a reaktance venkovního vedení se vypočte prostým vynásobením hodnot těchto veličin vztaženým na jednotku délky skutečnou délkou vedení:

$$R_V = R_{V1km} \cdot l_{km} \quad (18)$$

$$X_V = X_{V1km} \cdot l_{km} \quad (19)$$

Pro zkratovou impedanci venkovního vedení pak platí:

$$\mathbb{Z}_V = R_V + j \cdot X_V \quad (20)$$

3.2.5 Celková zkratová impedance elektrárenského bloku a vedení

Celková zkratová impedance jednoho elektrárenského bloku a venkovního vedení je prostým součtem zkratových impedancí elektrárenského bloku a venkovního vedení:

$$\mathbb{Z}_k = \mathbb{Z}_{SO} + \mathbb{Z}_V \quad (21)$$

3.2.6 Počáteční souměrný rázový zkratový proud a nárazový zkratový proud

Počáteční souměrný rázový zkratový proud pro trojfázový zkrat lze vypočítat podle následujícího vztahu:

$$I''_{k3} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_k} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_k^2 \cdot X_k^2}} \quad (22)$$

V místě zkratu se zavádí ekvivalentní zdroj napětí:

$$U_e = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3}} \quad (23)$$

Velikost nárazového zkratového proudu se vypočte podle vztahu:

$$i_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I''_{k3} \quad (24)$$

Pro výpočet součinitele κ lze použít vztah:

$$\kappa = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \frac{R}{X}} \quad (25)$$

Rovnice (24) a (25) předpokládají, že zkrat vznikne při průchodu napětí nulou a že i_p se dosáhne přibližně po polovině prvního cyklu.

3.3 VÝPOČET ZKRATOVÝCH PROUDŮ PRO JEDNOTLIVÉ BLOKY

Jaderné bloky s výkonem přibližně 1200 MWe, tedy jaderné bloky s reaktory AP1000 a MIR-1200, disponují obdobným elektrickým výkonem i parametry, při přibližném výpočtu lze tedy předpokládat, že i hodnota počátečního souměrného rázového zkratového proudu I''_{k3} se nebude významně lišit. Bude tedy vypočten zkratový proud pouze s parametry pro jaderný blok s reaktorem MIR-1200, přičemž zjištěná hodnota bude považována za referenční pro jaderný blok generace III+ s výkonem přibližně 1200 MWe.

3.3.1 Výpočet zkratového příspěvku pro nový jaderný zdroj – blok 1200 MWe

Zkratová impedance generátoru

Zkratovou impedanci generátoru jsem vypočetl dosazením štitkových hodnot generátoru do vztahů (5), (6) a (2):

$$X''_d = x''_d \cdot \frac{U_{rG}^2}{S_{rG}} = 0,311 \cdot \frac{(25 \cdot 10^3)^2}{1,3333 \cdot 10^9} = 0,1458 \Omega$$

$$R_G \cong R_{Gf} = 0,05 \cdot X_d'' = 0,05 \cdot 0,1458 = 0,0073 \Omega$$

$$\mathbb{Z}_G = R_G + j \cdot X_d'' = \underline{0,0073 + j \cdot 0,1458 \Omega}$$

Zkratová impedance blokového transformátoru

Zkratovou impedanci blokového transformátoru jsem vypočetl dosazením štítkových hodnot blokového transformátoru do vztahů (8), (9), (10) a (7):

$$Z_T = \frac{u_{kr}}{100} \cdot \frac{U_{rT}^2}{S_{rT}} = \frac{13}{100} \cdot \frac{(420 \cdot 10^3)^2}{1,5 \cdot 10^9} = 15,288 \Omega$$

$$R_T = \frac{P_{krT} \cdot U_{rT}^2}{S_{rT}^2} = \frac{2,25 \cdot 10^6 \cdot (420 \cdot 10^3)^2}{(1,5 \cdot 10^9)^2} = 0,1764 \Omega$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} = \sqrt{15,288^2 - 0,1764^2} = 15,287 \Omega$$

$$\mathbb{Z}_T = R_T + j \cdot X_T = \underline{0,1764 + j \cdot 15,287 \Omega}$$

Elektrárenský blok

Zkratovou impedanci elektrárenského bloku jsem vypočetl dosazením známých a výše vypočtených hodnot do vztahů (17) a (15):

$$\cos \varphi = 0,9 \Rightarrow \varphi_{rG} = 25,84^\circ$$

$c_{max} = 1,1$ pro $U_n > 35$ kV z tabulky č. 1 uvedené v normě ČSN EN 60909-0 na str. 22

$$\begin{aligned} K_{SO} &= \frac{U_{nQ}}{U_{rG} \cdot (1 + p_G)} \cdot \frac{U_{rTLV}}{U_{rTHV}} \cdot (1 \pm p_T) \cdot \frac{c_{max}}{1 + x_d'' \cdot \sin \varphi_{rG}} \\ &= \frac{400 \cdot 10^3}{25 \cdot 10^3 \cdot (1 + 0,05)} \cdot \frac{25 \cdot 10^3}{420 \cdot 10^3} \cdot (1 \pm 0) \cdot \frac{1,1}{1 + 0,311 \cdot \sin 25,84^\circ} \\ &= 0,8786 \end{aligned}$$

$$t_r = \frac{U_{THV}}{U_{TLV}} = \frac{420 \cdot 10^3}{25 \cdot 10^3} = 16,8$$

$$\begin{aligned} \mathbb{Z}_{SO} &= K_{SO} \cdot (t_r^2 \cdot \mathbb{Z}_G + \mathbb{Z}_{THV}) \\ &= 0,8786 \cdot (16,8^2 \cdot (0,0073 + j \cdot 0,1458) + 0,1764 + j \cdot 15,287) \\ &= \underline{1,9626 + j \cdot 49,5837 \Omega} \end{aligned}$$

Venkovní vedení

Zkratovou impedanci venkovního vedení jsem vypočetl dosazením známých parametrů vedení do vztahů (18), (19) a (20):

$$R_V = R_{V1km} \cdot l_{km} = 0,02153 \cdot 3 = 0,06459 \Omega$$

$$X_V = X_{V1km} \cdot l_{km} = 0,2974 \cdot 3 = 0,8922 \Omega$$

$$\underline{Z_V = R_V + j \cdot X_V = 0,06459 + j \cdot 0,8922 \Omega}$$

Celková zkratová impedance bloku a vedení

Celkovou zkratovou impedanci elektrárenského bloku a venkovního vedení jsem vypočetl prostým sečtením hodnot komplexních impedancí podle vztahu (21):

$$\begin{aligned} Z_k &= Z_{SO} + Z_V = 1,9626 + j \cdot 49,5837 + 0,06459 + j \cdot 0,8922 \\ &= \underline{2,0272 + j \cdot 50,4759 \Omega} \end{aligned}$$

$$R_k = 2,0272 \Omega$$

$$X_k = 50,4759 \Omega$$

Počáteční souměrný rázový zkratový proud a nárazový zkratový proud

Hodnotu počátečního souměrného rázového zkratového proudu jsem vypočetl podle vztahu (22):

$$I''_{k3} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_k^2 + X_k^2}} = \frac{1,1 \cdot 400 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{2,0272^2 + 50,4759^2}} = \underline{5028,73 \text{ A}}$$

Hodnotu nárazového zkratového proudu jsem vypočetl podle vztahů (24) a (25):

$$\kappa = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \frac{R}{X}} = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \cdot \frac{2,0272}{50,4759}} = 1,8888$$

$$i_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I''_{k3} = 1,88888 \cdot \sqrt{2} \cdot 5028,73 = \underline{13432,29 \text{ A}}$$

3.3.2 Výpočet zkratového příspěvku pro nový jaderný zdroj - blok 1700 MWe

Postup výpočtu pro blok 1700 MWe je zcela totožný jako postup výpočtu pro blok 1200 MWe podrobně popsany v kapitole 3.3.1. Proto dále neuvádím výpočet podrobně včetně dosazení hodnot do jednotlivých vztahů, ale pouze dílčí vypočtené výsledky a výslednou hodnotu počátečního souměrného rázového zkratového proudu a nárazového zkratového proudu.

Zkratová impedance generátoru:

$$X''_d = 0,0658 \Omega$$

$$R_G \cong 0,0033 \Omega$$

$$\underline{Z_G} = 0,0033 + j \cdot 0,0658 \Omega$$

Zkratová impedance blokového transformátoru:

$$Z_T = 11,078 \Omega$$

$$R_T = 0,1482 \Omega$$

$$X_T = 11,077 \Omega$$

$$\underline{Z_T} = 0,1482 + j \cdot 11,077 \Omega$$

Elektrárenský blok:

$$\cos \varphi = 0,9 \Rightarrow \varphi_{rG} = 25,84^\circ$$

$c_{max} = 1,1$ pro $U_n > 35$ kV z tabulky č. 1 uvedené v normě ČSN EN 60909-0 na str. 22

$$K_{SO} = 0,9025$$

$$t_r = 18,26$$

$$\underline{Z_{SO}} = 1,1245 + j \cdot 29,8119 \Omega$$

Venkovní vedení:

$$R_V = 0,06459 \Omega$$

$$X_V = 0,8922 \Omega$$

$$\underline{Z_V} = 0,06459 + j \cdot 0,8922 \Omega$$

Celková zkratová impedance bloku a vedení:

$$\underline{Z_k} = 1,1891 + j \cdot 30,7041 \Omega$$

Počáteční souměrný rázový zkratový proud a nárazový zkratový proud:

$$I''_{k3} = \underline{8267,42 \text{ A}}$$

$$\kappa = 1,8925$$

$$i_p = \underline{22127,01 \text{ A}}$$

3.3.3 Výpočet zkratového příspěvku pro stávající bloky VVER-1000

Postup výpočtu pro blok stávající bloky VVER 1000 je také zcela totožný jako postup výpočtu pro blok 1200 MWe podrobně popsany v kapitole 3.3.1. Proto dále neuvádím výpočet podrobně včetně dosazení hodnot do jednotlivých vztahů, ale pouze dílčí vypočtené výsledky a výslednou hodnotu počátečního souměrného rázového zkratového proudu a nárazového zkratového proudu.

Zkratová impedance generátoru:

$$X_d'' = 0,1296 \Omega$$

$$R_G \cong 0,0065 \Omega$$

$$\underline{Z}_G = 0,0065 + j \cdot 0,1296 \Omega$$

Zkratová impedance blokového transformátoru:

$$Z_T = 20,58 \Omega$$

$$R_T = 0,2756 \Omega$$

$$X_T = 20,5782 \Omega$$

$$\underline{Z}_T = 0,2756 + j \cdot 20,5782 \Omega$$

Elektrárenský blok:

$$\cos \varphi = 0,9 \Rightarrow \varphi_{rG} = 25,84^\circ$$

$c_{max} = 1,1$ pro $U_n > 35$ kV z tabulky č. 1 uvedené v normě ČSN EN 60909-0 na str. 22

$$K_{SO} = 0,8997$$

$$t_r = 17,5$$

$$\underline{Z}_{SO} = 2,0336 + j \cdot 54,2263 \Omega$$

Venkovní vedení:

$$R_V = 0,06459 \Omega$$

$$X_V = 0,8922 \Omega$$

$$\underline{Z}_V = 0,06459 + j \cdot 0,8922 \Omega$$

Celková zkratová impedance bloku a vedení:

$$\underline{Z}_k = 2,0982 + j \cdot 55,1185 \Omega$$

Počáteční souměrný rázový zkratový proud a nárazový zkratový proud:

$$I''_{k3} = \underline{4605,54 A}$$

$$\kappa = 1,8942$$

$$i_p = \underline{12337,58 A}$$

4 DOPADY VYVEDENÍ VÝKONU NJZ NA ROZVODNU KOČÍN A NA PŘENOSOVOU SOUSTAVU

Nedílnou součástí studií proveditelnosti výstavby každého významného zdroje elektrické energie musí být i posouzení možností vyvedení vyrobené elektrické energie do přenosové soustavy. U zdrojů velkého elektrického výkonu, jakými jsou například výrobní bloky jaderných elektráren, je často nezbytné rozšíření nadřazené rozvodny (v jednodušších případech pouze využití stávajících rezervních polí rozvodny) nebo výstavba rozvodny nové. V případě rozšíření stávající rozvodny je také nutno prověřit dimenzování přístrojů a zařízení rozvodny z hlediska zkratových proudů, a pokud je stávající dimenzování rozvodny nevyhovující, je nutno provést její přestavbu na zkratovou odolnost vyšší. V případě výstavby zdroje tak velkého elektrického výkonu, jako je výstavba 3. a 4. bloku JE Temelín, se dá také předpokládat nezbytnost výstavby nových linek venkovního vedení z nadřazené rozvodny k dalším rozvodnám přenosové soustavy, neboť je pravděpodobné, že na přenesení tak velkého nově instalovaného elektrického výkonu nebude přenosová soustava v její stávající podobě dimenzována a mohlo by dojít k přetěžování stávajících linek a tím neplnění kritéria N+1. V rámci výstavby 3. a 4. bloku JE Temelín tedy lze předpokládat nutnost rekonstrukce a rozšíření nadřazené rozvodny a také výstavbu nových linek venkovního vedení zvn mezi nadřazenou rozvodnou a dalšími rozvodnami v přenosové soustavě.

4.1 ROZŠÍŘENÍ PŘENOSOVÉ SÍTĚ 400 kV V SOUVISLOSTI S PŘIPOJENÍM NJZ DO TR KOČÍN

Vy vyrobený elektrický výkon ze stávajících dvou bloků JE Temelín je vyveden dvěma venkovními vedeními zvn do rozvodny 400 kV Kočín. V případě plánovaného 3. a 4. bloku JE Temelín není vzhledem k umístění JE Temelín v rámci přenosové soustavy

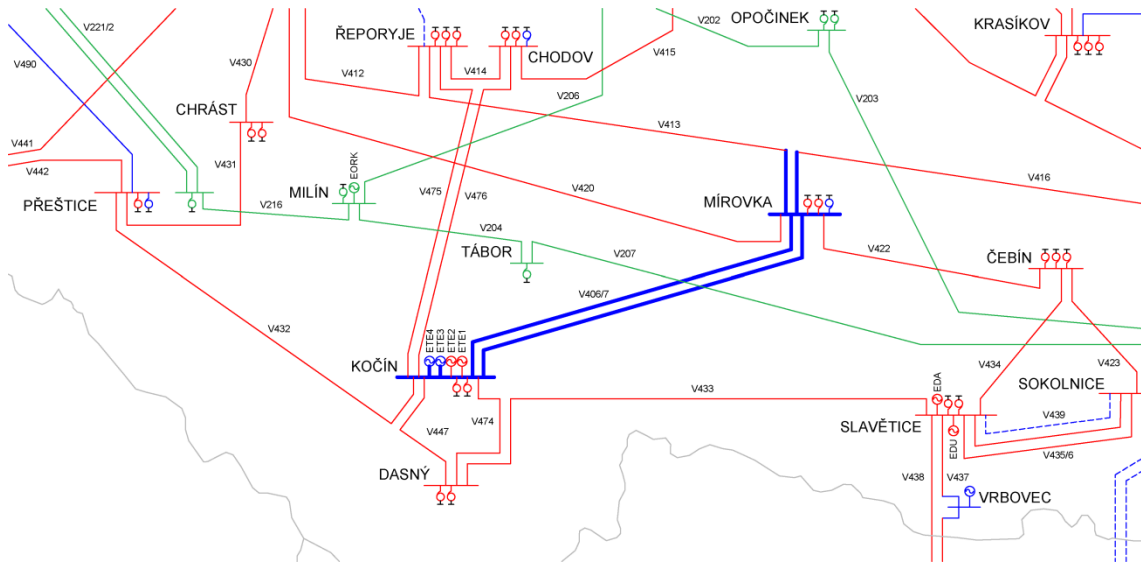
uvažována varianta vyvedení výkonu do jiné rozvodny, počítá se s vyvedením elektrického výkonu nových bloků totožným způsobem, tedy venkovními vedeními zvn do rozvodny 400 kV Kočín. Kromě samotného nového vedení zvn od 3. a 4. bloku JE Temelín do rozvodny 400 kV Kočín budou další úpravy přenosové soustavy spočívat ve výstavbě nových vedení zvn mezi rozvodnami PS ČR, přičemž množství a rozsah vyvolaných úprav bude záviset na tom, zda budou 3. a 4. blok JE Temelín realizovány jako bloky o výkonu 1200 MWe nebo jako bloky o výkonu 1700 MWe.

4.1.1 Rozšíření přenosové sítě 400 kV v případě nových bloků o výkonu 2x 1200 MWe

Budou-li 3. a 4. blok JE Temelín realizovány jako jaderné bloky o výkonu 1200 MWe, bude v přenosové soustavě nezbytné provést následující úpravy:

- *výstavbu a připojení dvou blokových vedení 400 kV ETE3 – Kočín a ETE4 – Kočín pro vyvedení výkonu NJZ do rozvodny 400 kV Kočín*
- *rozšíření a přestavbu rozvodny Kočín, realizace je plánována na roky 2014 až 2020, popis pravděpodobných úprav je uveden v kapitole 4.3*
- *výstavbu a připojení nového dvojitého vedení 400 kV Kočín – Mírovka v délce 120 km, realizace je plánována na roky 2018 až 2020 a na záměr již byla vypracována studie EIA, ke které bylo vydáno souhlasné stanovisko se záměrem*
- *zasmyčkování vedení 400 kV V413 (Hradec – Prosenice) do rozvodny Mírovka, délka nového vedení 25 km, realizace je plánována do let 2019 až 2020. Také na tento záměr již byla vypracována studie EIA, ke které bylo vydáno souhlasné stanovisko se záměrem*
- *rozšíření rozvodny Mírovka, realizace je plánována na roky 2018 až 2021*

[29] [30] [31] [32]



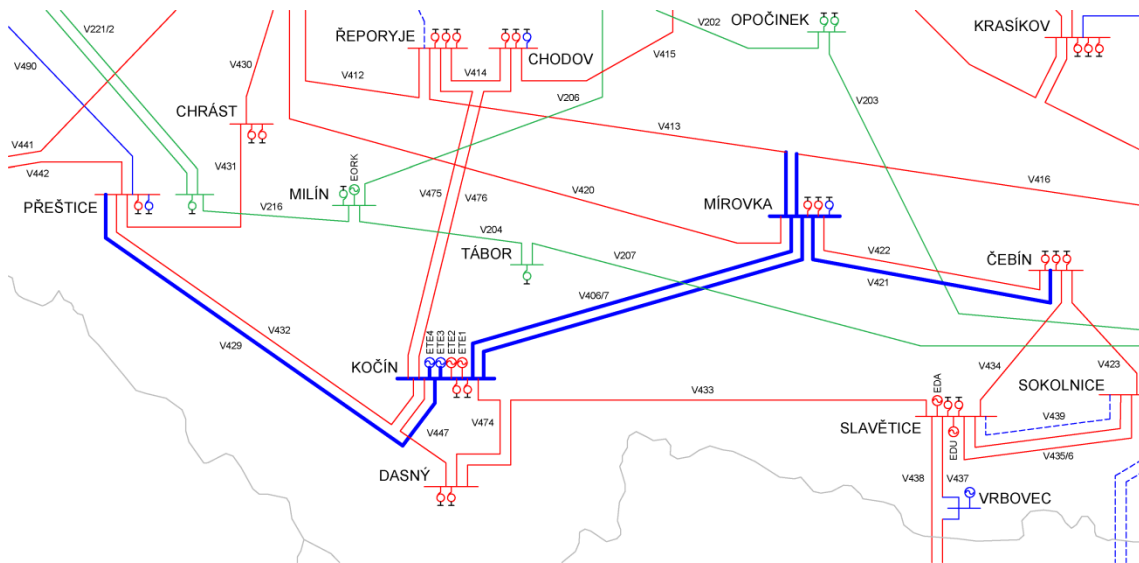
Obrázek 9 – Schematický zakres připojení bloků ETE3,4 2x 1200 MWe do přenosové soustavy ČR (přenosová síť 400 kV červeně, přenosová síť 220 kV zeleně, plánované rozšíření PS modře, plánované rozšíření PS v souvislosti s připojením ETE3,4 2x 1200 MWe modře silně) [30]

4.1.2 Rozšíření přenosové sítě 400 kV v případě nových bloků o výkonu 2x 1700 MWe

Pokud budou 3. a 4. blok JE Temelín realizovány jako jaderné bloky s výkonem 1700 MWe, bude nutno v přenosové soustavě provést tytéž úpravy jako v případě dvou bloků 1200 MWe a navíc bude nezbytné provést následující:

- **Zdvojení vedení 400 kV V432 Kočín – Přeštice.** Jelikož není známo, v jaké výkonové variantě budou nové bloky JE Temelín realizovány, není tento záměr zatím časově nijak zaplánován, nicméně již na něj byla vypracována studie EIA, stanovisko k záměru zatím nebylo vydáno
- **Zdvojení vedení 400 kV V422 Mírovka – Čebín.** Stejně jako v předchozím případě není záměr časově zaplánován, též na něj byla vypracována studie EIA, ke které prozatím nebylo vydáno stanovisko

[30] [33] [34]



Obrázek 10 – Schematický zakres připojení bloků ETE3,4 2x 1700 MWe do přenosové soustavy ČR (přenosová síť 400 kV červeně, přenosová síť 220 kV zeleně, plánované rozšíření PS modře, plánované rozšíření PS v souvislosti s připojením ETE3,4 2x 1700 MWe modře silně) [30]

4.2 POSOUZENÍ DIMENZOVÁNÍ ZAŘÍZENÍ ROZVODNY 400 kV KOČÍN Z HLEDISKA ZKRATOVÉ ODOLNOSTI

V rámci posouzení dopadů vyvedení výkonu 3. a 4. bloku JE Temelín do nadřazené rozvodny 400 kV Kočín je nezbytné prověřit, zda jsou stávající přístroje a zařízení rozvodny dostatečně dimenzovány z hlediska zkratové odolnosti. Jak je uvedeno v kapitole 2.2, stávající zkratová odolnost rozvodny 400 kV Kočín je 50/125 kA (I''_k/i_p). Rozvodna musí být z hlediska zkratové odolnosti dimenzována na hodnotu vyšší, než je součet zkratového příspěvku sítě a zkratových příspěvků připojených zdrojů elektrické energie. Navíc zde společnost ČEPS požaduje rezervu zkratové odolnosti 15 % pro možnost budoucího rozšiřování přenosové soustavy.

Hodnoty zkratových příspěvků stávajících i nových bloků JE Temelín jsou vypočteny v kapitolách 3.3.1 až 3.3.3. Zkratový příspěvek soustavy včetně 1. a 2. bloku JE Temelín je možné zjistit např. z dokumentu Roční příprava provozu 2012 zpracovaného společností ČEPS, a.s., kde je v síti 400 kV uvedena pro trojfázové zkraty celková hodnota počátečního souměrného rázového zkratového proudu v rozvodně 27,85 kA (maximální zkraty). Jak je však uvedeno v kapitolách 4.1.1 a 4.1.2, spolu s připojením 3. a 4. bloku JE Temelín do elektrizační soustavy je počítáno s propojením rozvodny 400 kV Kočín novým vedením zvn s rozvodnou Mírovka a v případě bloků 1700 MWe také se zdvojením vedení zvn do rozvodny Přestice. Zkratové příspěvky těchto plánovaných vývodových vedení není z dokumentů zveřejňovaných společností

ČEPS možno zjistit. Hodnoty zkratových příspěvků plánovaných i stávajících vývodových vedení byly poskytnuty společností ČEZ, a.s., divize Investice, útvarem Výstavba JE a jsou přiloženy k této práci v příloze E.

4.2.1 Stávající zkratový příspěvek sítě a připojených zdrojů do rozvodny 400 kV Kočín

Jelikož dále pracuji s hodnotami zkratových příspěvků vývodových vedení rozvodny 400 kV Kočín poskytnutými společností ČEZ, a.s., divize Investice, útvarem Výstavba JE, je vhodné uvést postup výpočtu celkové hodnoty počátečního souměrného rázového zkratového proudu pro trojfázové zkraty v rozvodně pro stávající stav rozvodny, přestože tuto hodnotu ČEPS uvádí v dokumentu Roční příprava provozu 2012. Hodnota uváděná společností ČEPS poslouží pro kontrolu správnosti úvahy.

Celková hodnota počátečního souměrného rázového zkratového proudu pro trojfázový zkrat v rozvodně je prostým součtem zkratových příspěvků připojených vývodových vedení, transformátorů a připojených zdrojů elektrického výkonu. Hodnoty pro stávající stav rozvodny Kočín včetně jejich součtu jsou uvedeny v následující tabulce:

Tabulka 2 – Zkratové příspěvky do rozvodny 400 kV Kočín – stávající stav

Vedení / zdroj / transformátor	Zkratový příspěvek [kA]
Přeštice V432	5,6
Dasný V473	2,4
Dasný V474	2,4
Řeporyje V475	3,5
Chodov V476	3,9
Transformátor T401	0,35
Transformátor T402	0,35
JE Temelín HVB1	4,6
JE Temelín HVB2	4,6
Součet	27,7

Zjištěná hodnota celkového počátečního souměrného rázového zkratového proudu pro trojfázové zkraty v rozvodně se od hodnoty uváděné společností ČEPS liší pouze v řádu desetin.

Výpočet rezervy zkratové odolnosti:

$$\left(1 - \frac{I''_{k\text{ celk}}}{I''_{k\text{ dim}}}\right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{27,7}{50}\right) \cdot 100 = 44,6 \%$$

Z uvedeného je patrné, že za současného stavu dimenzování rozvodny Kočín na zkratovou odolnost nejen že vyhovuje požadavku ČEPS na rezervu alespoň 15 %, ale velmi výrazně tento požadavek převyšuje.

4.2.2 Zkratový příspěvek do rozvodny 400 kV Kočín po připojení nových bloků 2x 1200 MWe

Obdobně jako v předchozím případě provedeme součet zkratových příspěvků připojených vývodových vedení, transformátorů a připojených zdrojů elektrického výkonu, v tomto případě jsou navíc přičteny dva nové bloky 1200 MWe a dvojitě vedení zvn Kočín – Mírovka:

Tabulka 3 – Zkratové příspěvky do rozvodny 400 kV Kočín – nové bloky 2x 1200 MWe

Vedení / zdroj / transformátor	Zkratový příspěvek [kA]
Přeštice V432	5,6
Dasný V473	2,4
Dasný V474	2,4
Řeporyje V475	3,5
Chodov V476	3,9
Mírovka V477	3,4
Mírovka V478	3,4
Transformátor T401	0,35
Transformátor T402	0,35
JE Temelín HVB1	4,6
JE Temelín HVB2	4,6
JE Temelín HVB3 1200 MWe	5,03
JE Temelín HVB4 1200 MWe	5,03
Součet	44,56

Výpočet rezervy zkratové odolnosti:

$$\left(1 - \frac{I''_{k\text{ celk}}}{I''_{k\text{ dim}}}\right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{44,56}{50}\right) \cdot 100 = 10,88 \%$$

Z uvedeného je patrné, že připojení dvou nových bloků 1200 MWe do rozvodny 400 kV Kočín a provedení souvisejících úprav a současné splnění požadavku ČEPS na 15 % rezervu zkratové odolnosti pro budoucí rozšíření přenosové soustavy není možné bez přestavby rozvodny 400 kV Kočín na vyšší zkratovou odolnost.

V případě přestavby na zkratovou odolnost 63/160 kA již vychází rezerva zkratové odolnosti nad stanoveným minimem:

$$\left(1 - \frac{I''_{k\text{ celk}}}{I''_{k\text{ dim}}}\right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{44,56}{63}\right) \cdot 100 = 29,27 \%$$

4.2.3 Zkratový příspěvek do rozvodny 400 kV Kočín po připojení nových bloků 2x 1700 MWe

Úpravy oproti stávajícímu stavu budou totožné jako v předchozím případě, zvýší se však zkratový příspěvek nových bloků JE Temelín, navíc se zde uplatní zkratový příspěvek nového vedení zvn do Přeštic (zdvojení stávajícího jednoduchého vedení):

Tabulka 4 – Zkratové příspěvky do rozvodny 400 kV Kočín – nové bloky 2x 1700 MWe

Vedení / zdroj / transformátor	Zkratový příspěvek [kA]
Přeštice V432	5,6
Přeštice V432X	5,6
Dasný V473	2,4
Dasný V474	2,4
Řeporyje V475	3,5
Chodov V476	3,9
Mírovka V477	3,4
Mírovka V478	3,4
Transformátor T401	0,35
Transformátor T402	0,35
JE Temelín HVB1	4,6
JE Temelín HVB2	4,6
JE Temelín HVB3 1700 MWe	8,27
JE Temelín HVB4 1700 MWe	8,27
Součet	56,64

Výpočet rezervy zkratové odolnosti pro stávající dimenzování rozvodny 400 kV Kočín je zbytečné provádět, neboť součet zkratových příspěvků přesahuje stávající zkratovou odolnost rozvodny a žádná rezerva zde tedy být nemůže.

V případě přestavby na zkratovou odolnost 63/160 kA je již zkratová odolnost vyhovující, rezerva však vychází pod stanoveným minimem:

$$\left(1 - \frac{I''_{k\text{ celk}}}{I''_{k\text{ dim}}}\right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{56,64}{63}\right) \cdot 100 = 10,10 \%$$

Zajistit rezervu zkratové odolnosti vyšší než 15 % by bylo možné přestavbou rozvodny Kočín na ještě vyšší zkratovou odolnost. Jednalo by se však v přenosové soustavě ČR o ojedinělý případ, neboť běžná zkratová odolnost v síti zvn 400 kV je 50/125 kA, zkratová odolnost 63/160 kA je v Kodexu přenosové soustavy, části VIII. – Standardy PS uvedena již jako výjimečně využívaná v místech soustředěné výroby elektrické energie a vyšší zkratovou odolnost Kodex přenosové soustavy nezmiňuje vůbec. Lze také předpokládat, že pro zkratovou odolnost vyšší než 63/160 kA bude existovat pouze omezený počet dodavatelů a také cena řešení bude výrazně vyšší.

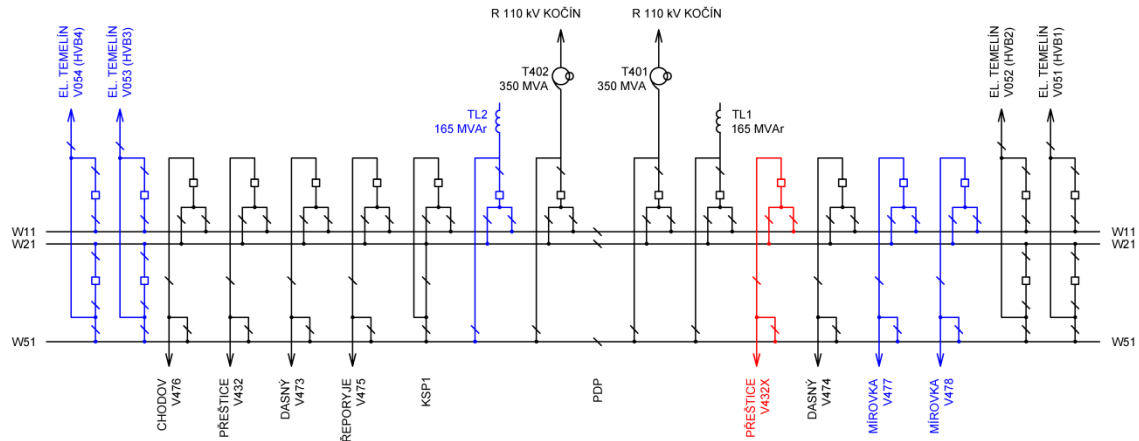
4.3 ROZŠÍŘENÍ A ÚPRAVA ROZVODNY 400 kV KOČÍN V SOUVISLOSTI S PŘIPOJENÍM NJZ

Jak plyne ze závěrů z kapitol 4.2.2 a 4.2.3, stávající zkratová odolnost rozvodny 400 kV Kočín je pro přivedení výkonu z 3. a 4. bloku JE Temelín nevyhovující bez ohledu na to, která výkonová varianta bloku bude realizována. Spolu s vyvolaným plánovaným rozšířením přenosové soustavy ČR bude nezbytné provést na rozvodně 400 kV Kočín následující úpravy:

- *přestavba na vyšší zkratovou odolnost 63/160 kA*
- *výměna transformátorů 400/110 kV za typ s vyšším jmenovitým výkonem 350 MVA*
- *přidání druhé kompenzační tlumivky 165 MVar (terciální regulace napětí)*
- *doplnění dvou vývodových odboček do rozvodny Mírovka*
- *doplnění jedné vývodové odbočky do rozvodny Přeštice (zdvojení stávajícího jednoduchého vedení - pouze pro bloky 1700 MWe)*

V současné době jsou odbočky rozvodny 400 kV Kočín (kromě vývodové odbočky V474 – Dasný, polí pro připojení transformátorů 400/110 kV a pole kompenzační tlumivky) provedeny v zapojení 4/3 vypínače na odbočku. Kvůli přestavbě celé rozvodny 400 kV na vyšší zkratovou odolnost bude všechny vypínače nutno vyměnit. V současné době je spolehlivost vypínačů výrazně vyšší než dříve a zapojení

4/3 vypínače na odbočku se nyní využívá jen výjimečně. V rámci rekonstrukce rozvodny je vhodné pro všechny vývodové odbočky k ostatním rozvodnám přenosové soustavy použít klasické zapojení 2+P a odbočky ke všem blokům JE Temelín provést systémem dvou vypínačů na jednu odbočku (obdobně je řešeno vyvedení výkonu všech bloků JE Dukovany do rozvodny Slavětice).



Obrázek 11 - Možná podoba jednopólového schéma rozvodny 400 kV Kočín po realizaci změn vyvolaných dostavbou 3. a 4. bloku JE Temelín (barevně nové odbočky – modré budou nutné v každém případě, červená pouze pro bloky 2x 1700 MWe)

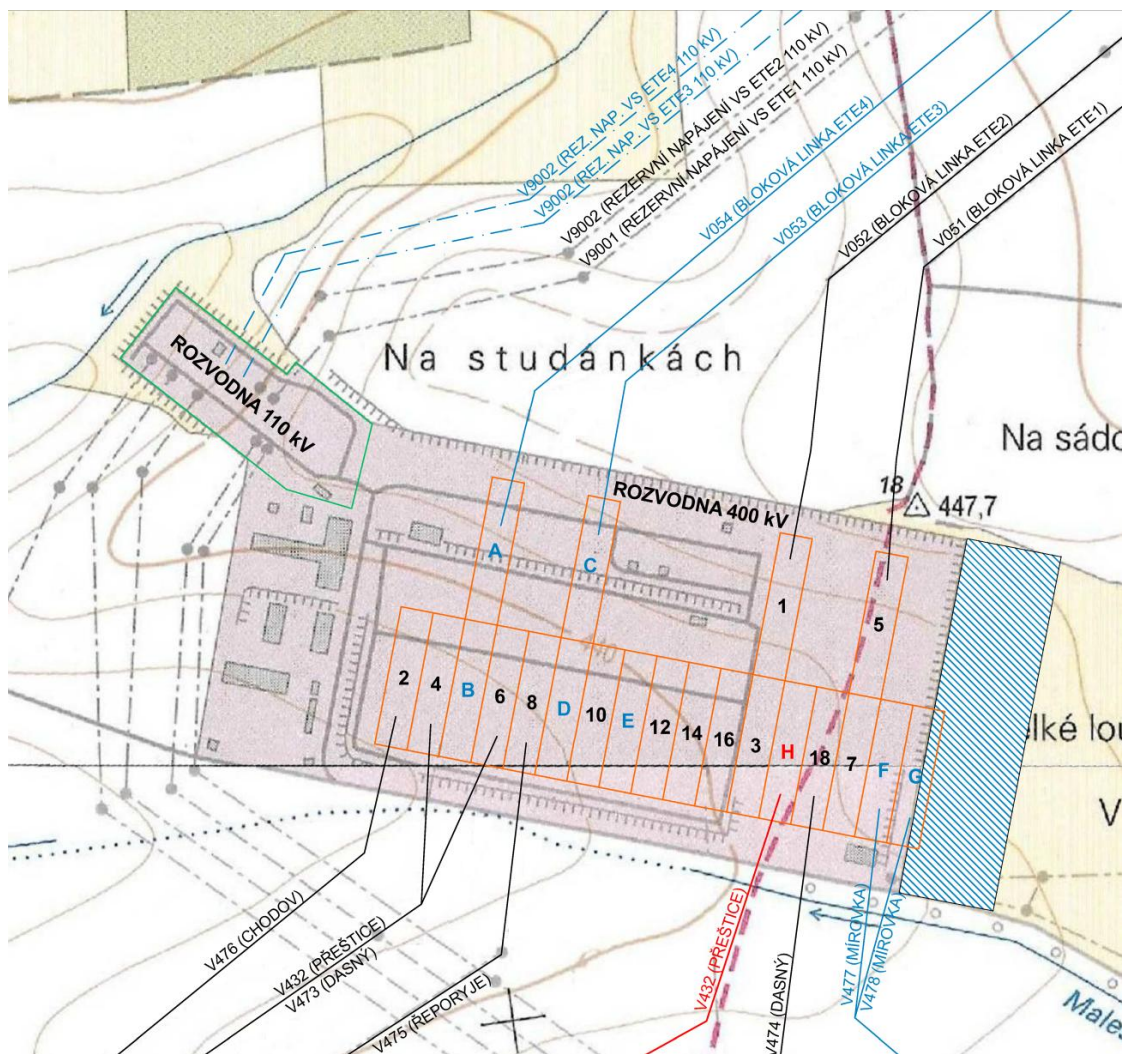
4.3.1 Dispoziční řešení rozšíření a přestavby rozvodny 400 kV Kočín

Při návrhu dispozičního řešení rozmístění polí rozvodny 400 kV je nezbytné zejména minimalizovat křížení jednotlivých venkovních vedení. Blokovaná vedení k jednotlivým blokům JE Temelín budou pochopitelně (stejně jako před přestavbou) vyvedena na severní straně rozvodny, přičemž vzájemné umístění jednotlivých blokových vývodů bude respektovat vzájemné rozmístění bloků JE Temelín – tedy 1. blok nejvýchodněji až 4. blok nejzápadněji. Vývodové odbočky k ostatním rozvodnám přenosové soustavy budou vyvedeny na jižní straně rozvodny, přičemž jejich pořadí opět bude z velké části odpovídat pořadí před rekonstrukcí. Obě vývodové odbočky k rozvodně Mírovka, stejně jako případná nová odbočka k rozvodně Přeštice v případě bloků 2x 1700 MWe, budou situovány ve východní části rozvodny.

Při průběhu realizace rozšíření a přestavby rozvodny je dále nutné minimalizovat dobu odstavení jednotlivých vývodových odboček. V optimálním případě by rozšíření a přestavba měly probíhat postupně při maximálním možném zachování provozu rozvodny a úprava blokových vývodových odboček 1. a 2. bloku JE Temelín by měla zcela proběhnout pouze v průběhu jejich plánovaných odstávek. Jak již bylo zmíněno,

vývodové odbočky 1. a 2. bloku budou umístěny ve východní části rozvodny, tedy v místě, kde se momentálně žádné zařízení rozvodny nenachází. Toho lze využít a nové součásti rozvodny připravit za plného provozu rozvodny v její současné podobě a poté provoz při minimálních odstaveních přesunout na nové zařízení. Přesun vývodových odboček k ostatním rozvodnám přenosové soustavy bude muset probíhat postupně, neboť některá pole se nacházejí v místech, kde mají být vystavěna pole nová. Práce tak budou probíhat v jednotlivých dílčích krocích, kdy bude nutné postupně provizorně propojovat části nové a původní rozvodny. Přípravě a koordinaci prací bude potřeba věnovat velkou pozornost.

Možné rozmístění jednotlivých polí rozvodny po rekonstrukci je znázorněno na následujícím obrázku:



Obrázek 12 – Zákres polí rozvodny 400 kV Kočín v mapovém podkladu (stav po přestavbě a rozšíření)

Na uvedeném obrázku jsou černě očíslována pole, která budou pouze přesunuta, přičemž číslování vychází ze současného číslování jednotlivých polí. Nově přidaná pole jsou označena písmeny. Pole A až G (text modře) budou přidána v každém případě, pole H (text červeně) bude přidáno pouze v případě použití bloků 2x 1700 MWe. Vedení zvn 400 kV jsou v obrázku vyznačena plnou čarou a respektují stejné barevné značení (černě stávající částečně přesunutá vedení, modrá barva pro nově přidané linky, červená pro linku realizovanou pouze v případě bloků 2x 1700 MWe). Vedení vvn 110 kV je zakresleno čerchovanou čarou. Rozšířením rozvodny 110 kV se v této práci nezabývám, přesto jsou v obrázku vyznačena alespoň nová vedení 110 kV pro rezervní napájení vlastní spotřeby 3. a 4. bloku JE Temelín.

Vzhledem k umístění rozvodny 110 kV a podpůrných budov je pravděpodobné rozšiřování rozvodny východním směrem. Předpokládané zvětšení areálu rozvodny 400 kV je v obrázku vyznačeno modrým šrafováním. V návrhu nepočítám s výstavbou žádného rezervního pole, přičemž je pravděpodobné, že v rámci rozšíření a přestavby bude jedno nebo několik rezervních polí postaveno. Úměrně počtu rezervních polí bude nezbytné dále rozšířit i areál rozvodny. Stejně tak se rozvodna může rozšířit například přidáním pole pro podélné spínání přípojnic. Naopak v případě realizace bloků 2x 1200 MWe je možné pole H vypustit. Předpokládám totožnou šířku jednotlivých polí jako před rekonstrukcí, tedy 28 m. Ve variantě uvedené na obrázku by bylo nutné areál rozšířit zhruba o 80 metrů východním směrem, vzhledem k uvedenému to však může být i výrazně více.

4.3.2 Majetkoprávní vztahy

Jelikož přípravné práce pro přestavbu rozvodny Kočín již probíhají, pokusil jsem se ověřit předpoklady z předcházející kapitoly o směru a rozsahu rozšíření areálu rozvodny 400 kV. Vycházím z předpokladu, že pozemky ve směru rozšíření areálu rozvodny musejí být v majetku jejího provozovatele, tedy společnosti ČEPS. Dále předpokládám, že nejsou-li pozemky ve směru rozšíření areálu rozvodny v majetku společnosti ČEPS již dlouhou dobu, byly tyto pozemky pro uvažovaný investiční záměr v nedávné době vykoupeny od původních vlastníků nebo jejich výkup probíhá. K ověření jsem využil internetovou aplikaci Nahlížení do katastru nemovitostí, kterou provozuje na svém oficiálním webu Český úřad zeměměřičský a katastrální. Aplikace

umožňuje zobrazení katastrálních map a také vyhledání vlastníků nemovitostí podle parcelních čísel. Prověření potvrdilo předpoklad, že řada pozemků na východní straně od stávajícího areálu rozvodny je již v majetku společnosti ČEPS. Bohužel s pomocí internetové aplikace není možné zjistit, kdy k nabytí vlastnického práva došlo. Není však zvykem, aby provozovatelé technologických zařízení měli dlouhodobě v držení a správě rozsáhlé pozemky v blízkosti svých zařízení pro případ jejich budoucího rozšiřování, proto se lze domnívat, že se jedná o výkupy z posledních měsíců či let.



Obrázek 13 – Rozvodna Kočín - snímek katastrální mapy na podkladu ortofoto mapy

Pozemky mimo areál rozvodny Kočín, které jsou vlastněny společností ČEPS a u kterých lze považovat za velice pravděpodobné, že budou využity k rozšíření areálu rozvodny Kočín, jsou ve vloženém snímku katastrální mapy na podkladu ortofoto mapy vyznačeny tmavě modrou čarou. Pozemky označené světle modrou čarou jsou také odděleny z původních map pozemkového katastru, což značí, že byly nebo jsou předmětem nějaké úpravy majetkoprávních vztahů, nicméně v současné době jsou ve vlastnictví soukromé osoby a nelze jednoznačně určit, zda je jejich výkup v řešení

nebo zda byl například zamýšlen a vzhledem k upřesnění studie či projektu přestavby bylo od záměru upuštěno.

Tmavě modře označená oblast má dle internetové aplikace Nahlížení do katastru nemovitostí v užší jižní (na obrázku spodní) části šířku 194 metrů, tedy podstatně více než uvažovaná minimální velikost rozšíření areálu 80 metrů odhadovaná v předchozí kapitole. Přepočteno na počet polí se jedná přibližně o rozdíl šířky čtyř polí. Dá se tedy předpokládat, že v rámci přestavby rozvodny 400 kV bude vybudováno jedno nebo více rezervních polí, dále může být využito podélné spínání přípojníc, případně může dojít ke zvětšení obslužných ploch a ploch pomocných zařízení rozvodny (s největší pravděpodobností půjde o kombinaci uvedeného).

ZÁVĚR

Z porovnání jednotlivých variant bloků, které jsou nabízeny pro dostavbu JE Temelín, plyne, že z hlediska dopadů do nadřazené transformační rozvodny Kočín a do přenosové soustavy ČR jsou si bloky AP1000 a bloky MIR-1200 podobné. Naopak bloky EPR 1600 disponují výrazně vyšším vyrobeným elektrickým výkonem. Je tedy nutné posouzení provádět jako variantní, přičemž postačí rozlišovat dvě varianty odpovídající výkonovým hladinám 1200 MWe (AP1000 a MIR-1200) a 1700 MWe (EPR 1600).

Výpočet zkratových příspěvků bloků byl proveden podle normy ČSN EN 60909-0 pro obě tyto výkonové hladiny a pro srovnání také pro stávající bloky JE Temelín VVER-1000. Vypočteny byly hodnoty počátečního souměrného rázového zkratového proudu I_k'' a nárazového zkratového proudu i_p pro trojfázový zkrat. Vypočtené hodnoty byly následně využity pro posouzení stávajícího dimenzování rozvodny 400 kV Kočín na zkratovou odolnost. V rámci úprav rozvodny Kočín v souvislosti s vyvedením výkonu 3. a 4. bloku JE Temelín do přenosové soustavy požaduje společnost ČEPS rezervu dimenzování 15 % pro případné budoucí rozšiřování přenosové soustavy. Bylo početně zjištěno, že pro vyvedení výkonu bloků 2x 1200 MWe a provedení souvisejícího rozšíření přenosové soustavy (nové dvojité vedení do rozvodny Mírovka) je sice stávající dimenzování rozvodny 400 kV Kočín na zkratovou odolnost 50/125 kA dostačující, není však splněn požadavek na rezervu v dimenzování 15 %. Lze tedy v takovém případě předpokládat přestavbu celé rozvodny 400 kV na vyšší zkratovou odolnost 63/160 kA. Pro vyvedení výkonu bloků 2x 1700 MWe a provedení souvisejícího rozšíření přenosové soustavy (kromě nového dvojitého vedení do rozvodny Mírovka také zdvojení stávajícího jednoduchého vedení do rozvodny Přeštice) je stávající dimenzování rozvodny Kočín na zkratovou odolnost 50/125 kA nevyhovující. Dimenzování na zkratovou odolnost 63/160 kA již vyhovující je, neposkytuje však požadovanou rezervu 15 %. S dimenzováním rozvodny na ještě větší zkratovou odolnost např. neexistuje zmínka v Kodexu přenosové soustavy a s největší pravděpodobností se takový případ ani nikde v České republice nevyskytuje.

Kromě přestavby rozvodny 400 kV Kočín na vyšší zkratovou odolnost bude také nezbytné rozšíření rozvodny o nová pole, výměna transformátorů 400/110 kV

za transformátory s vyšším jmenovitým výkonem 350 MVA a doplnění jedné kompenzační tlumivky 165 MVar. Spolu s tím je vhodné provést přesun stávajících polí, aby bylo minimalizováno křížení venkovních vedení, proto dojde prakticky ke kompletní přestavbě rozvodny a změně polohy všech polí. Součástí diplomové práce je návrh možného nového uspořádání jednotlivých polí a zvětšení areálu rozvodny 400 kV Kočín. Vzhledem k rozsahu úprav lze očekávat značnou investiční náročnost vyvolaných úprav jak rozvodny Kočín, tak přenosové soustavy ČR a souvisejících úprav ostatních rozvodů.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] WIKIPEDIE: OTEVŘENÁ ENCYKLOPEDIE. Jaderná elektrárna Temelín [online]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Jadern%C3%A1_elektr%C3%A1rna_Temel%C3%A1_Dn>, [cit. 2012-03-04]
- [2] ČEZ (firma). Přehled zvažovaných nejmodernějších jaderných reaktorů [online]. Dostupné z WWW: <<http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/zvazovana-dostavba-elektrarny-temelin/technologie.html>> [cit. 2012-01-08]
- [3] WESTINGHOUSE (firma). AP1000 Reaktor [online]. Dostupné z WWW: <<http://ap1000.westinghousenuclear.cz/reaktor>> [cit. 2012-02-02]
- [4] HATCH (firma). Westinghouse AP1000™ Nuclear Plant Program [online]. Dostupné z WWW: <<http://www.hatch.ca/Energy/Nuclear/projects/westinghouseAP1000.htm>> [cit. 2012-02-09]
- [5] WIKIPEDIA: THE FREE ENCYCLOPEDIA. Westinghouse Electric Company [online]. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Westinghouse_Electric_Company> [cit. 2012-02-04]
- [6] WESTINGHOUSE (firma). Historie [online]. Dostupné z WWW: <<http://ap1000.westinghousenuclear.cz/historie.html>> [cit. 2012-02-02]
- [7] WESTINGHOUSE (firma). AP1000 European DCD – Chapter 5 Section 5.1: Reactor coolant system and connected systems [online]. Dostupné z WWW: <[https://www.ukap1000application.com/PDFDocs/European%20DCD%20EPS-GW-GL-700%20Rev%201_Public/EPG-GW-GL-700%20Rev%201%20Chapter%205/EPG-GW-GL-700-Rev%201%20Chapter%205%20Section%205-1.pdf](https://www.ukap1000application.com/PDFDocs/European%20DCD%20EPS-GW-GL-700%20Rev%201_Public/EPS-GW-GL-700%20Rev%201%20Chapter%205/EPG-GW-GL-700-Rev%201%20Chapter%205%20Section%205-1.pdf)> [cit. 2012-02-11]
- [8] WESTINGHOUSE (firma). AP1000 European DCD – Chapter 10 Section 10.1: Steam and power conversion [online]. Dostupné z WWW: <https://www.ukap1000application.com/PDFDocs/European%20DCD%20EPS-GW-GL-700%20Rev%201_Public/EPG-GW-GL-700%20Rev%201%20Chapter%2010/EPG-GW-GL-700-Rev%201%20Chapter%2010%20Section%2010-1.pdf> [cit. 2012-02-11]
- [9] PAVLÍČEK, M. Přístupy k zajištění jaderné bezpečnosti u reaktorů 3. generace. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 95s. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Oldřich Matal, CSc.
- [10] WESTINGHOUSE (firma). AP1000 European DCD – Chapter 10 Section 10.2: Steam and power conversion [online]. Dostupné z WWW: <https://www.ukap1000application.com/PDFDocs/European%20DCD%20EPS-GW-GL-700%20Rev%201_Public/EPG-GW-GL-700%20Rev%201%20Chapter%2010/EPG-GW-GL-700-Rev%201%20Chapter%2010%20Section%2010-2.pdf>

- [cit. 2012-02-13]
- [11] WESTINGHOUSE (firma). AP1000, 2007 [online]. Dostupné z WWW:
<http://www.westinghousenuclear.com/docs/AP1000_brochure.pdf>
[cit. 2012-02-10]
- [12] WESTINGHOUSE (firma). AP1000 European DCD – Chapter 8 Section 8.3 Electric power [online]. Dostupné z WWW:
<[https://www.ukap1000application.com/PDFDocs/European%20DCD%20EPS-GW-GL-700%20Rev%201_Public/EPG-GW-GL-700%20Rev%201%20Chapter%208/EPG-GW-GL-700-Rev%201%20Chapter%208%20Section%208-3.pdf](https://www.ukap1000application.com/PDFDocs/European%20DCD%20EPS-GW-GL-700%20Rev%201_Public/EPS-GW-GL-700%20Rev%201%20Chapter%208/EPG-GW-GL-700-Rev%201%20Chapter%208%20Section%208-3.pdf)>
[cit. 2012-02-15]
- [13] WIKIPEDIA: THE FREE ENCYCLOPEDIA. European Pressurized Reactor [online]. Dostupné z WWW:
<http://en.wikipedia.org/wiki/European_Pressurized_Reactor>
[cit. 2012-02-23]
- [14] WIKIPEDIE: OTEVŘENÁ ENCYKLOPEDIE. Areva [online]. Dostupné z WWW:
<<http://cs.wikipedia.org/wiki/Areva>> [cit. 2012-02-23]
- [15] ALSTOM (firma). Taishan [online]. Dostupné z WWW:
<<http://www.alstom.com/power/taishan>> [cit. 2012-02-25]
- [16] AREVA (firma). Overview of the UK EPR™ GDA Submission [online]. Dostupné z WWW:
<<http://www.epr-reactor.co.uk/ssmod/liblocal/docs/overview/2011-overview%20of%20the%20UK%20EPR.pdf>> [cit. 2012-02-22]
- [17] FREMATOME (firma). EPR, 2005 [online]. Dostupné z WWW:
<http://www.areva-np.com/common/liblocal/docs/Brochure/BROCHURE_EPR_US_2.pdf> [cit. 2012-02-23]
- [18] ALSTOM (firma). Arabelle™ steam turbine for nuclear power plants, 2010 [online]. Dostupné z WWW:
<<http://www.alstom.com/Global/Power/Resources/Documents/Brochures/arabelle-steam-turbine-nuclear-power-plants-performance-boost.pdf>> [cit. 2012-02-25]
- [19] ALSTOM (firma). Gigatop 4-pole hydrogen and water-cooled turbogenerator [online]. Dostupné z WWW:
<<http://www.alstom.com/Global/Power/Resources/Documents/Brochures/gigatop-4-pole-hydrogen-and-water-cooled-turbogenerator.pdf>> [cit. 2012-02-25]
- [20] ALL FOR POWER (informační portál a časopis). Arabelle, nejvýkonnější parní turbína na světě, 2009 [online]. Dostupné z WWW:
<<http://www.allforpower.cz/clanek/arabelle-nejvykonnejsi-parni-turbina-na-svete>> [cit. 2012-02-21]
- [21] AREVA (firma). PCSR – Sub-chapter 8.3 – Nuclear Island Power Supply, 2011 [online]. Dostupné z WWW:
<<http://www.epr-reactor.co.uk/ssmod/liblocal/docs/PCSR/Chapter%20%208%20-%20Electrical%20Supply%20and%20Layout/Sub-Chapter%208.3%20-%20Nucl>>

- ear%20Island%20Power%20Supply.pdf> [cit. 2012-02-28]
- [22] WIKIPEDIE: OTEVŘENÁ ENCYKLOPEDIE. VVER [online]. Dostupné z WWW:
<<http://cs.wikipedia.org/wiki/VVER>> [cit. 2012-01-12]
- [23] FIL, N., OKB GIDROPRESS. Status and perspectives of VVER nuclear power plants (prezentace), 2011 [online]. Dostupné z WWW:
<<http://www.iaea.org/NuclearPower/Downloads/Technology/meetings/2011-Jul-26-28-TWG-LWR-HWR/Session-I/21.TWG-LWR-Russia.pdf>> [cit. 2012-01-18]
- [24] ŠKODA JS (firma). MIR-1200 – Konsorcium [online]. Dostupné z WWW:
<<http://www.skoda-js.cz/cs/mir-1200/konsorcium.shtml>> [cit. 2012-01-12]
- [25] ZDEBOR, R. MIR-1200, projekt nejen pro Českou republiku. Publikováno v časopisu All for power 01/2010, s. 78-81. Dostupné také z WWW:
<<http://www.allforpower.cz/UserFiles/files/2009/skodaJS.pdf>> [cit. 2012-01-12]
- [26] ZDEBOR, R. Projekt MIR.1200 a aktuální požadavky na bezpečnost jaderných elektráren (prezentace). Dostupné také z WWW:
<<http://www.allforpower.cz/UserFiles/files/2011/Zdebor.pdf>> [cit. 2012-01-14]
- [27] ATOMENERGOPROJEKT (firma). Design AES-2006 [online]. Dostupné z WWW:
<http://www.rosatom.ru/wps/wcm/connect/spb_aep/site/resources/f3b59380478326aaa785ef9e1277e356/AES-2006_2011_EN_site.pdf> [cit. 2012-01-28]
- [28] ČSN EN 60909-0: Zkratové proudy v trojfázových soustavách – Část 0: Výpočet proudů. ČNI, 2002. 64 s.
- [29] ČEPS (firma). Výstavba přenosové soustavy [online]. Dostupné z WWW:
<<http://www.ceps.cz/CZE/Media/Ke-stazeni/Documents/Publikace/V%C3%BDstavba%20veden%C3%AD%202011%20web.pdf>> [cit. 2012-04-03]
- [30] CIESLAR, S., KASEMBE, A. G. „V případě realizace bloků s výkonem 2× 1 700 MW bude navíc nutné navýšit přenosovou kapacitu na profilech Kočín–Přeštice a Mírovka–Čebín“ (rozhovor). Publikováno v časopisu All for power 03/2010, s. 58-60. Dostupné také z WWW:
<<http://www.allforpower.cz/UserFiles/files/2009/Kasembe.pdf>> [cit. 2012-04-12]
- [31] CENIA (agentura). Informační systém EIA – V406/V407 Kočín - Mírovka, nové vedení 400 kV [online]. Dostupné z WWW:
<http://portal.cenia.cz/eiasea/detail/EIA_MZP281> [cit. 2012-04-26]
- [32] CENIA (agentura). Informační systém EIA – Vedení 400 kV – V413 – zaústění do transformovny Mírovka [online]. Dostupné z WWW:
<http://portal.cenia.cz/eiasea/detail/EIA_MZP316> [cit. 2012-04-26]
- [33] CENIA (agentura). Informační systém EIA – V406/V407 V432 Kočín – Přeštice – zdvojení stávajícího vedení 400 kV [online]. Dostupné z WWW:
<http://portal.cenia.cz/eiasea/detail/EIA_MZP374> [cit. 2012-04-26]
- [34] CENIA (agentura). Informační systém EIA – V422 Mírovka – Čebín – zdvojení stávajícího vedení 400kV [online]. Dostupné z WWW:
<http://portal.cenia.cz/eiasea/detail/EIA_MZP380> [cit. 2012-04-26]

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha A Parametry bloku NJZ 1200 MWe
- Příloha B Parametry bloku NJZ 1700 MWe
- Příloha C Parametry bloků ETE1,2
- Příloha D Technické parametry venkovních vedení
- Příloha E Zkratové příspěvky vývodových vedení zapojených do transformační rozvodny Kočín

Příloha A – Parametry bloku NJZ 1200 MWe

Zařízení	Jedná se o jednostrojové uspořádání (1xturbína, 1xgenerátor, 1xgen.vypínač, 1xblok.transformátor a 1x vývodové vedení)
Generátor	Parametr jednotka
Jmenovitý zdánlivý výkon	S_n MVA 1333.3
Jmenovitý činný výkon	P_n MW 1200
Jmenovitý účinník	cos ϕ - 0.9
Jmenovité napětí sdružené	U_{IG} kV 25
Rozsah regulace U_g (pro výpočty max hodnot Ik)	p_g % 5
Frekvence	f_{nom} Hz 50
Otáčky	n_{nom} 1/min. 3000
Rázová reaktance	x_d'' - 0.311
Přechodná reaktance	x_d' - 0.382
Synchronní reaktance (nasyčená)	x_d - 3.13
Zpětná reaktance (nesycená)	$x_{2\phi}$ - 0.362
Netočivá reaktance (nesycená)	$x_{\phi\phi}$ - 0.19
Odpor fáze statoru (20°C)	R_1 ohm 0.00113
Stropní budicí napětí (násobek U_{bud})	U_{fmax} - 1.6
Blokový transformátor (3x jednofázová jednotka 500MVA)	
Zdánlivý výkon	S_n MVA 1500
Jmenovité napětí sdružené (vyšší)	U_{rTHV} kV 420
Jmenovité napětí sdružené (nižší)	U_{rTLV} kV 25
Pevně nastavitelné odbočky: (-1), (0), (+1) bez možnosti přepínání/regulace za provozu	P_T % 2.5
napětí nakrátko BT	u_k - 0.13
Ztráty nakrátko (všechny 3 jednotky)	P_k MW 2.25
Ztráty naprázdno (všechny 3 jednotky)	P_o MW 0.7
Proud naprázdno	i_o % 0.2
Poměr X/R (transformátoru)	X/R - 87
Reaktance v uzlu	Ohm
Schéma spojení vlnutí	Ynd1

Příloha B – Parametry bloku NJZ 1700 MWe

Zařízení	dvoustrojové uspořádání (2xturbína, 2xgenerátor, 2xGCB, 2xblok.transformátor a 1xV400)		jednostrojové uspořádání (1xturbína, 1xgenerátor, 1xblok.transformátor, 1xGCB400 a 1xV400)	
	Parametr	Jednotka	Hodnoty	Hodnoty Poznámky
Generátor				
Jmenovitý zdánlivý výkon	S_n	MVA	1000	1944.44
Jmenovitý činný výkon	P_n	MW	850	1750
Jmenovitý účinník	cos ϕ	-	0.85	0.9
Jmenovité napětí (sdružené)	U_{rG}	kV	24	23
Rozsah regulace U_g (pro výpočty max hodnot lk)	P_g	%	5	5
Frekvence	f_{nom}	Hz	50	50
Otáčky	n_{nom}	1/min.	3000	1500
Rázová reaktance (sycená)	x_d''	-	0.253	0.242 sat
Přechodná reaktance (sycená)	x_d'	-	0.311	0.405 sat
Synchronní reaktance (nesycená)	x_d	-	2.55	2.44 [*] sat
Zpětná reaktance (nesycená)	x_{am}	-	0.295	0.242 odborný odhad (dle Neplan)
Netočivá reaktance (nesycená)	x_{op}	-	0.155	0.12 odborný odhad (dle Neplan)
Odpor fáze statoru (20°C)	R_1	ohm	0.00113	
Strojní budičí napětí (násobek U_{bud})	$U_{bud,max}$	-	1.6	
Blokový transformátor (3x jednofázová jednotka 350MVA)				
Jmenovitý výkon	S_n	MVA	1050	2070
Jmenovité napětí sdružené (vyšší)	U_{rHV}	kV	420	420
Jmenovité napětí sdružené (nižší)	U_{rTLV}	kV	24	23
Pevně nastavitelné odbočky: (-2) - (+2) no on-load	P_T	%	2.5	2.5 5 odboček
Napětí nakrátko	u_k	-	0.13	0.13 variantně 16%
Ztráty nakrátko (všechny 3 jednotky)	P_k	MW	2	3.6 dle R/X
Ztráty naprázdno (všechny 3 jednotky)	P_o	MW	0.6	
Proud naprázdno	I_o	%	0.3	
Poměr X/R (transformátoru)	X/R	-	84	74.71 dle R/X
Reaktance v uzlu		Ohm		13
Schéma spojení vinutí				YNd1
Blokový transformátor (3x jednofázová jednotka 690MVA)				

Příloha C – Parametry bloků ETE1,2

3.5 Turbogenerátor

Název parametru	Parametr	ETE12 stávající	
		Hodnota	Podklad
Jmenovitý zdánlivý výkon	Sn (MVA)	1111	EGP_SEL_7
Jmenovitý činný výkon	Pn (MW)	1000	EGP_SEL_7
Rozsah regulace (pro výpočty max.hodnot lk)	pg (%)	+ 5	EGP_SEL_7
Jmenovité sdružené napětí	Un (V)	24000	EGP_SEL_7
Jmenovitý statorový proud	In (A)	26727	EGP_SEL_7
Jmenovitý kmitočet	f_{nom}	50	EGP_SEL_7
jmenovitý účinek	cos φ_n (-)	0,9	EGP_SEL_7
synchronní reaktance nesyčená	xd nes (-)	2,8	EGP_SEL_7
přechodná reaktance sycená	xd' syc (-)	0,36	EGP_SEL_7
rázová reaktance sycená	xd'' syc (-)	0,25	EGP_SEL_7
zpětná reaktance nesyčená	x2 nes (-)	0,269	EGP_SEL_7
reaktance v příčné ose nesyčená	Xq (-)	2,7	EGP_SEL_7

3.6 Blokové transformátory

Název parametru	Parametr	ETE12 stávající	
		Hodnota jednotky	Podklad
jmenovitý výkon jednotky (3x jednofázová jednotka)	Sn (MVA)	400	EGP_SEL_7
zapojení	n/a	YNd1	EGP_SEL_7
jmenovité napětí	Un (kV/kV)	420/ $\sqrt{3}$ / 24	EGP_SEL_7
nejvyšší napětí	Umax(kV/kV)	420/ $\sqrt{3}$ / 26,5	EGP_SEL_7
jmenovitý proud	In (A)	1650 / 16666	EGP_SEL_7
napětí nakrátko	u_k (%)	0,14 [-] +10%	EGP_SEL_7
ztráty nakrátko	ΔP_x (kW)	750 kW + 10%	EGP_SEL_7
ztráty naprázdno	P_{fe} (kW)	240 kW + 15%	EGP_SEL_7
proud naprázdno	I_0 (%)	0,005 * I_{In} + 30%	EGP_SEL_7

Příloha D – Technické parametry venkovních vedení

ČFZ-EFE	PpBZ1,2 revize 0	V 07	Str. 8.2-24
Spol. část	Díl 8 Elektrické systémy	OT	

8.2.1.1.4.3 Technické parametry linek

Tabulka 8.2-1.1.4-1 Technické parametry linek vvn.

Izolační hladiny pro vedení vvn 110kV a 400kV dle ČSN 33 0400

Proudová soustava - třífázová soustava s přímo uzemněným nulovým bodem

Kmitočet - 50 Hz

Jmenovité napětí [kV]	110	400
Nejvyšší napětí pro zařízení [kV]	123	420
Jmenovité krátkodobé výdržné napětí střídavé 50 Hz [kV]	230	720
- proti zemi a mezi fázemi		
- mezi systémy	280	1000
Jmenovité výdržné napětí při rázové vlně - proti zemi [kV]	550	1050
- mezi fázemi	550	1550
- mezi systémy	600	1675

Tabulka 8.2-1.1.4-2 Přehled elektrických parametrů vedení vvn.

	R [Ω/km]	X _l [Ω/km]	B [10 ⁻⁶ S/km]
2 x 400 kV (Donau)	0.02153	0.2833	4.1252
1 x 400 kV (Kočka)	0.02153	0.2908	3.9318
1 x 400 kV (Delta)	0.02153	0.2974	3.9043
2 x 110 kV (AlFe 240/39)	0.1181	0.4022	2.7420
(AlFe 680/83)	0.0425	0.3661	2.9743

R - činný odpor vedení (jedné fáze)

XL - induktivní reaktance

B - kapacitní vodivost

Datum: 31.12.2006	Garant : Ing. Milan Sýkora
-------------------	----------------------------

Příloha E – Zkratové příspěvky vývodových vedení zapojených do transformační rozvodny Kočín

1. Zkratové příspěvky vývodových vedení zapojených do TR Kočín – 400 kV

Chodov (V476)	3,9 kA
Přeštice (V432)	5,6 kA
Přeštice (V432X)	5,6 kA
Dasný (V473)	2,4 kA
Řeporyje (V475)	3,5 kA
Dasný (V474)	2,4 kA
Mírovka (V477)	3,4 kA
Mírovka (V478)	3,4 kA
Trafo T401	0,35 kA
Trafo T402	0,35 kA
Celkem	25,3 kA