

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta elektrotechnická

Katedra elektroenergetiky



**Využití VE Hněvkovice při havarijním dochlazování
reaktoru v ETE**

Diplomová práce

Jiří Fleischmann

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Obor: Elektroenergetika

2015

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

katedra elektroenergetiky

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: **Jiří Fleischmann**

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management
Obor: Elektroenergetika

Název tématu: **Využití VE Hněvkovice při havarijním dochlazování reaktoru v ETE**

Pokyny pro vypracování:

- 1) Bezpečnostní aspekty při havarijním odstavení reaktoru.
- 2) Možnost využití VE Hněvkovice při dochlazování reaktoru.
- 3) Využití stávajících tras vedení a energetická rozvaha možnosti najetí VE ze tmy.
- 4) Návrh a posouzení možností samostatného přímého kabelového vedení VE - JE.

Seznam odborné literatury:

- [1] ČSN 38 1120. Vlastní spotřeba tepelných elektráren a tepláren. ČNI institut, 1993
- [2] ČSN EN 60909-0. Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách: Část 0: Výpočet proudů, Český normalizační institut, 2002.
- [3] Dočekal A, Bouček S: Elektrárny II; ČVUT FEL, Praha 1995, ISBN 978-800-1012-796.
- [4] Švec, J. (ed.): Návrh a rozvoj elektroenergetických sítí. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04939-6.
- [5] Technické podklady ČEZ, a.s.: VE Hněvkovice, R400 Kočín a JE Temelín

Vedoucí: Ing. Stanislav Bouček

Platnost zadání: do konce letního semestru 2015/2016

L.S.

Ing. Jan Švec Ph.D.
vedoucí katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 1. 4. 2015

Anotace

Téma této diplomové práce je možnost využití vodní elektrárny Hněvkovice při havarijním dochlazování reaktoru v Jaderné elektrárně Temelín. První část práce začíná popisem obecných bezpečnostních požadavků. V první kapitole je také popsáno elektrické napájení a dochlazování reaktoru. V druhé kapitole hodnotím možnosti využití vodní elektrárny. Dále se zabývám stávajícím venkovním vedením 110 kV mezi vodní elektrárnou a jadernou elektrárnou. V poslední kapitole posuzuju možnosti výstavby nového kabelového vedení pro účely havarijního napájení.

Klíčová slova

Vodní elektrárna Hněvkovice, Jaderná elektrárna Temelín, ETE, havarijní napájení, zlepšení bezpečnosti

Annotation

The theme of this master's thesis is the possibility of using hydroelectric power plant Hněvkovice during emergency cooling of the reactor in a nuclear power plant Temelín. The first part starts with the general safety requirements. The first chapter also describes the power supply and cooling of the reactor. In the second chapter I evaluate the possibilities of using hydroelectric power plant. I follow up with the existing 110 kV outside line between hydroelectric power plant and nuclear power plant. In the last chapter I consider the potential construction of new cable line for emergency power supply.

Key words

Hydroelectric power plant Hněvkovice, Nuclear power plant Temelín, ETE, emergency power supply, improve safety

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 7. 5. 2015

.....

Podpis

Poděkování

Chtěl bych poděkovat mému vedoucímu práce Ing. Stanislavu Boučkovi za pomoc, odborné konzultace a čas, který mi věnoval při psaní této diplomové práce.

Obsah

1.	Úvod	1
2.	Bezpečnostní aspekty při havarijním odstavení reaktoru	3
2.1.	Základní bezpečnostní požadavky	3
2.1.1.	Princip ochrany do hloubky	3
2.1.2.	Inherentní bezpečnost.....	5
2.1.3.	Ochrana před ztrátou elektrického napájení	5
2.2.	Vlastní spotřeba jaderné elektrárny.....	6
2.3.	Možnosti napájení vlastní spotřeby	7
2.3.1.	Napájení z vnějších sítí	7
2.3.2.	Napájení z vnitřních sítí	9
2.4.	Postupy při ztrátě napájení	11
2.4.1.	Ztráta vnějšího napájení	13
2.4.2.	Ztráta vnějšího a běžného záložního napájení	14
2.4.3.	Úplná ztráta všech střídavých zdrojů napájení.....	15
2.5.	Odvod tepla z AZ	16
2.5.1.	Odvod tepla do koncového jímače provozními způsoby.....	17
2.5.2.	Odvod tepla do koncového jímače alternativními způsoby	17
2.5.3.	Ztráta přenosu tepla do koncového jímače.....	18
2.5.4.	Problémy při dochlazování AZ	19
3.	Možnost využití VE Hněvkovice při dochlazování reaktoru	21
3.1.	Vodní dílo Hněvkovice	21
3.1.1.	Turbína.....	22
3.1.2.	Generátor	23
3.2.	Systémy vhodné k napájení z VE Hněvkovice.....	25
3.2.1.	Normální doplňování I.O	26
3.2.2.	Havarijní chlazení.....	28
3.2.3.	Havarijní napájení PG	30
3.3.	Shrnutí možností využití VE Hněvkovice	31
4.	Využití stávajících tras vedení a energetická rozvaha možnosti najetí VE ze tmy	33
4.1.	Připojení motoru na linku mezi VE a ETE	34
4.1.1.	Úbytek napětí na svorkách motoru.....	34

4.2.	Možnosti najetí VE Hněvkovice ze tmy	38
4.3.	Zhodnocení možností využití stávající trasy	38
5.	Návrh a posouzení možností samostatného přímého kabelového vedení VE - JE.....	39
5.1.	Volba kabelu	40
5.1.1.	Úbytek napětí	41
5.1.2.	Pokládka kabelu v terénu	42
5.2.	Zhodnocení možností přímého kabelového vedení	43
6.	Závěr	45
7.	Seznam použitých zkratk	46
8.	Použitá literatura	47
9.	Seznam obrázků	49
10.	Seznam tabulek	50
11.	Seznam příloh	51

1. Úvod

Bezpečnost v jaderné energetice byla vždy velmi důležitá. Po událostech na jaderné elektrárně Fukušima se téma bezpečnosti jaderných zařízení dostalo do popředí zájmu. Bylo jasné, že je třeba podniknout opatření, aby se minimalizovala možnost opakování podobné havárie, jaká se stala na jaderné elektrárně Fukušima. To dokonce vedlo k postupnému odpouštění od využívání energie z jádra v některých zemích. U jaderných zařízení, která zůstala v provozu, bylo nutné znovu zhodnotit připravenost na mimořádné události a schopnost tyto situace zvládat. Jednalo se o tzv. zátěžové testy jaderných elektráren.

V rámci testů proběhlo hodnocení bezpečnosti jaderných elektráren při různých událostech. Hodnotila se například schopnost zařízení odolat záplavám, zemětřesení, ztrátě chladicích systémů a také ztrátě elektrického napájení. Nehodnotila se pouze schopnost zvládat události, které mohou reálně v dané lokalitě elektrárny nastat, ale také schopnost zvládat následky nespécifikované události. Pod pojmem nespécifikovaná událost si lze představit souhrn událostí, které vedly ke ztrátě zvolených bezpečnostních systémů jaderné elektrárny. Zjednodušeně lze říci, že nebylo důležité, jak se to stalo, ale co událost způsobila. Například se jedná o situaci, kdy nedojde k nastartování ani jednoho nouzového DG. I na základě tohoto přístupu byla v rámci hodnocení stanovena opatření, která mají vést ke zvýšení bezpečnosti jaderných elektráren.

Cílem této práce je popsat a zhodnotit jedno konkrétní opatření. Jedná se o možnost využití VE Hněvkovice při havarijním dochlazování reaktoru v ETE. Konkrétně jde o přivedení napětí z VE Hněvkovice na rozvodnu rezervního napájení v areálu ETE a následné připojení a provoz čerpadla pomocí tohoto napájení. Je potřeba analyzovat opatření a stanovit možná technická omezení. Posoudit využitelnost stávající trasy venkovního vedení 110 kV a případně navrhnout nové kabelové vedení mezi VE a ETE. Posléze zhodnotit výhody a nevýhody jednotlivých řešení. Důležité je také posoudit schopnost startu VE Hněvkovice ze tmy.

Využití VE Hněvkovice při havarijním dochlazování reaktoru v ETE

Využití hydroalternátoru ve VE Hněvkovice jako zdroje střídavého elektrického napájení pro čerpadlo v ETE, připadá v úvahu při ztrátě všech ostatních diverzifikovaných zdrojů střídavého napájení. Účelem opatření by mělo být zvýšení úrovně bezpečnosti ETE při SBO.

2. Bezpečnostní aspekty při havarijním odstavení reaktoru

2.1. Základní bezpečnostní požadavky

Bezpečnost je v jaderné energetice nejdůležitější oblast. S tím souvisí mnoho požadavků na jadernou elektrárnu, aby dosáhla co nejvyšší úrovně bezpečnosti. Prvním zásadním aspektem je správný výběr lokality pro výstavbu jaderné elektrárny. Lokalita nám stanoví, jaké mohou nastat přírodní úkazy. Jedná se především o stabilitu podloží, možnost záplav, silné bouře a mnohé další. V návaznosti na vybranou lokalitu musíme vypracovat kvalitní projekt při dodržení všech platných technických a bezpečnostních standardů. V rámci projektu musíme volit ověřené technologie a uplatňovat princip ochrany do hloubky. Bezpečnost jaderného zařízení zajišťují také principy inherentní bezpečnosti. Jedná se o specifické vlastnosti technických zařízení, které jsou dány fyzikálními zákony, nikoli lidskými opatřeními. Musíme zajistit vysokou kvalifikaci provozního personálu. Během provozu je nutné důkladně kontrolovat a hodnotit bezpečnostní zařízení. Monitorovat činnosti na jaderné elektrárně.

Jaderné zařízení musí být schopné plnit tři základní funkce za všech projektem předpokládaných situací. První je schopnost bezpečně odstavit reaktor a udržet jej v podmínkách bezpečného odstavení. Odvádět zbytkové teplo z reaktoru. Minimalizovat případné úniky radioaktivních látek tak, aby nepřekročily stanovené limity. K zajištění těchto funkcí musí mít jaderné zařízení k dispozici diverzifikované zdroje elektrického napájení, aby se minimalizovala možnost SBO.

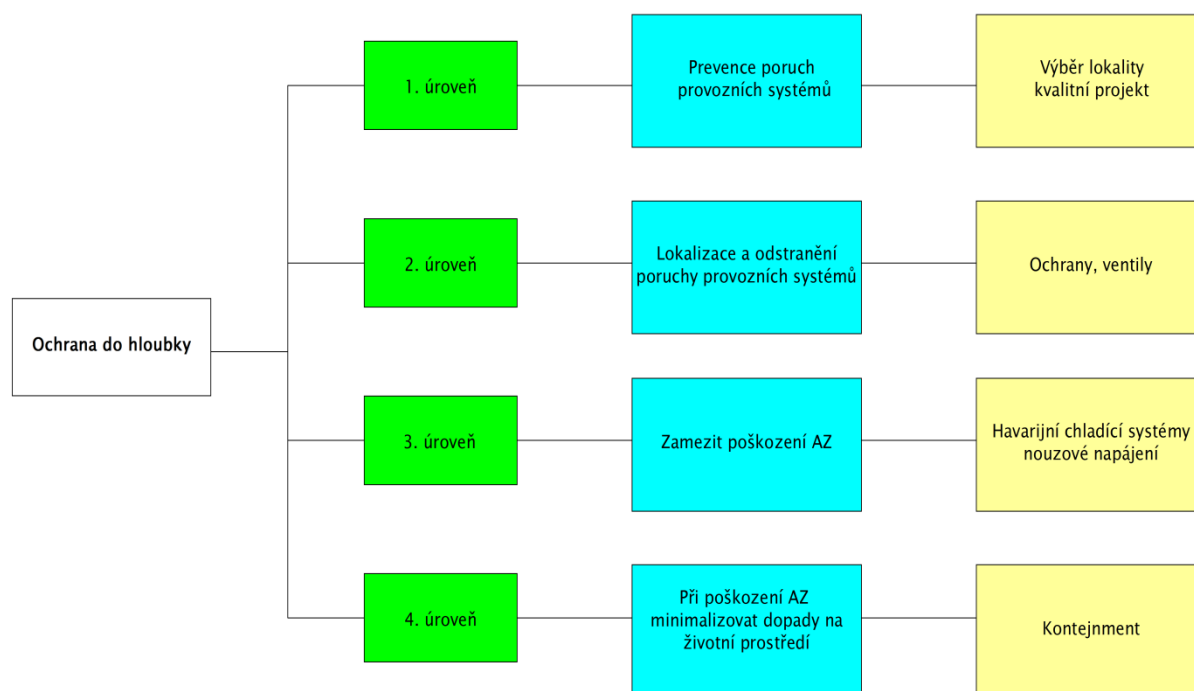
2.1.1. Princip ochrany do hloubky

Pojem ochrana do hloubky je mezinárodně užívaný pro soubor technických a organizačních opatření zaměřených na prevenci porušení integrity ochranných technických bariér. Jedná se o palivové matrice, pokrytí paliva, I.O a systém ochranné obálky. Ochrana do hloubky se skládá ze čtyř úrovní.

Opatření první úrovně ochrany do hloubky předcházejí selhání provozních systémů, a tím vzniku abnormálního provozu. Spadá sem mnoho zásad uplatňovaných ve všech fázích provozu jaderného zařízení. Patří sem například výběr správné lokality pro výstavbu, robustní projektové řešení s dostatečnými bezpečnostními rezervami a vysoká jakost montáže, výroby, údržby a samotného provozu.

Při selhání jedné úrovně přechází ochranné funkce na další úroveň. Pod druhou ochrannou bariéru patří systém limitování maximálního výkonu reaktoru, pojišťovací ventily zabraňující přílišnému nárůstu tlaku v I.O a II.O a všechny ochrany. Tato bariéra musí zajistit potřebnou kontrolu nad vzniklým abnormálním provozem a co nejrychlejší návrat k normálnímu provozu. Jde především o detekci poruchy a její korekci.

Obrázek 1 – Princip ochrany do hloubky



Přes všechna opatření a dodržování všech bezpečnostních zásad, nelze snížit pravděpodobnost výskytu závažnějších nehod na nulu. Jde o scénáře, které jsou popsány v projektu a existují technické prostředky pro jejich zvládnutí. Tyto scénáře například zahrnují havárii spojenou s únikem chladiva z I.O. Při LOCA je nejdůležitější zajistit

dostatečné chlazení AZ, a tím předejít nepřipustnému nárůstu teploty, porušení integrity a tavení AZ. K zvládnutí těchto situací slouží opatření třetí úrovně ochrany do hloubky.

Poslední úroveň ochrany do hloubky počítá se selháním předešlých opatření. Tato situace je velmi nepravděpodobná. Předchozí ochranné úrovně nedokázaly zabránit poškození AZ, nyní je nutné zamezit úniku štěpných radioaktivních produktů do životního prostředí. Do čtvrté úrovně ochrany do hloubky spadá umístění reaktoru do hermeticky uzavřené ochranné obálky neboli kontejnmentu.

2.1.2. Inherentní bezpečnost

Inherentní bezpečnost u tlakovodních reaktorů zajišťují především fyzikální vlastnosti uranu a vody. Oba tyto prvky se podílejí na štěpné reakci. Jako moderátor slouží v jaderném reaktoru voda. Ta v důsledku rostoucí teploty zvyšuje svůj objem. Dochází ke zvětšování vzdáleností mezi jednotlivými molekulami. Z toho důvodu klesá moderační účinek vody, klesá počet tepelných neutronů a tím se utlumuje štěpná reakce. Tento princip zabraňuje nežádoucímu růstu výkonu reaktoru. Dokonce v případě ztráty chladiva v I.O dojde k zastavení štěpné reakce díky tvorbě vodní páry, která má vzdálenost jednotlivých molekul řádově vyšší.

Dalším prvkem inherentní bezpečnosti je samotné jaderné palivo. Uran 238, který tvoří asi 97 % paliva, sám regulačně zasahuje do procesu jaderného štěpení. Absorbuje neutrony bez dalšího štěpení. Dokonce absorpční schopnost se zvyšuje s rostoucí teplotou.

2.1.3. Ochrana před ztrátou elektrického napájení

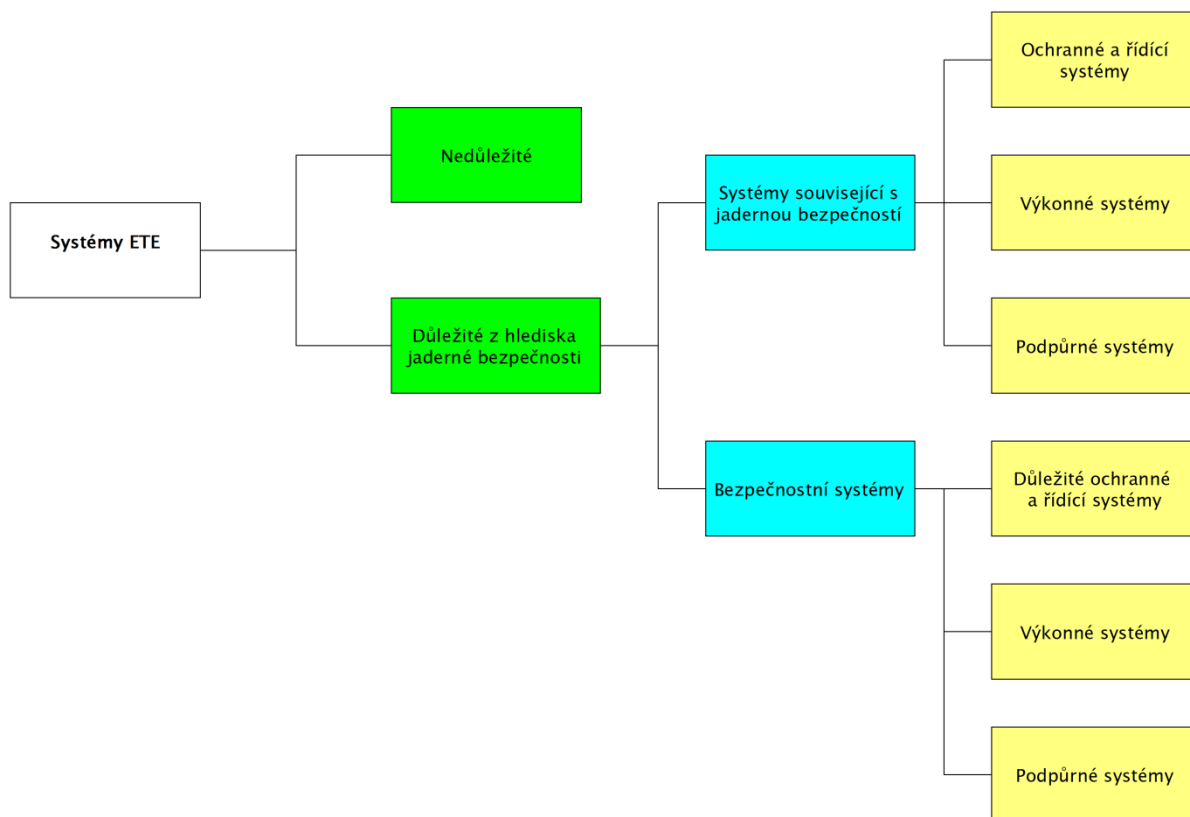
Zajištění elektrického napájení je důležitým aspektem bezpečného odstavení jaderného reaktoru. Při provozu jaderného zařízení musíme počítat se ztrátou pracovních i rezervních zdrojů napájení VS elektrárny. Pro tyto případy jsou k dispozici nouzové zdroje elektrického napájení, které zajistí podmínky pro bezpečné odstavení reaktoru a jeho

udržení v podkritickém stavu. Podrobněji se elektrickým napájením VS budeme zabývat v další kapitole.

2.2. Vlastní spotřeba jaderné elektrárny

Vlastní spotřeba jaderné elektrárny zahrnuje všechna zařízení, která ke svému provozu potřebují elektrickou energii. Zařízení s největším příkonem jsou například hlavní cirkulační čerpadla, čerpadla chladící vody a kondenzátní čerpadla. Tyto spotřebiče jsou rozděleny do několika skupin podle jejich důležitosti. Spotřebiče jsou klasifikovány jako bezpečnostní (BS), související s bezpečností (SSB) a nedůležité z hlediska bezpečnosti (SNB). Důležitost spotřebiče je stanovena podle vlivu na bezpečnost JE a doby, na kterou může zařízení ztratit napájení. Toto rozdělení odpovídá standardům International Atomic Energy Agency (IAEA). Grafické znázornění podrobnějšího dělení zařízení je na obrázku 2.

Obrázek 2 - Schéma rozdělení zařízení do jednotlivých skupin



2.3. Možnosti napájení vlastní spotřeby

Napájení VS je rozděleno mezi více rozveden, napájecích systémů a zdrojů. Zdroje dělíme do tří skupin. Pracovní zdroje, rezervní zdroje a nouzové zdroje. Pracovní zdroje jsou odbočkové transformátory napájené z blokového turbogenerátoru (TG) 1000 MW, a nebo ze sítě 400 kV. Pracovní zdroje jsou řešeny blokově. Jako rezervní zdroje jsou využívány rezervní transformátory s regulací napětí. Ty jsou napájené ze sítě 110 kV. Rezervní transformátory jsou blokové, ale lze je zálohovat ze sousedního bloku. Tyto transformátory jsou schopny zajistit napájení při odstavení bloku, pokud došlo ke ztrátě pracovního napájení. Tato funkce je zachována i při zatížení transformátorů spotřebiči sousedního bloku. Nouzové zdroje slouží k napájení systémů zajištěného napájení. Mezi tyto zdroje patří dieselgenerátory, akumulátorové baterie a agregáty nepřerušeno napájení. Funkčnost těchto zdrojů nijak nezávisí na stavu pracovních a rezervních zdrojů. Každý z bloků jaderné elektrárny je vybaven třemi redundantními SZN zařazenými do skupiny BS a dalšími dvěma SZN sloužícími k napájení spotřebičů SSB a SNB.

2.3.1. Napájení z vnějších sítí

Jaderná elektrárna Temelín je propojena s elektrizační soustavou linkou 400 kV a 110 kV. Linka 400 kV slouží pro vyvedení výkonu. Každý blok obsahuje turbosoustrojí s generátorem 1111 MVA, 24 kV. Turbogenerátor (TG) je přes generátorový vypínač a blokový transformátor 420/24 kV propojen tříkilometrovou linkou 400 kV s rozvodnou Kočín. Blokované vypínače 400 kV jsou umístěny až v rozvodně. Tato rozvodna je venkovního provedení se zkratovou odolností 50/125 kA. Kočín je dále pěti linkami propojen s přenosovou soustavou. Jsou to jak linky jednoduché, tak linky dvojité. To umožňuje rozvod výkonu do různě vzdálených oblastí v ČR. Kočín má schéma se dvěma systémy přípojnic a pomocnou přípojnicí. Pro připojení bloků ETE je využívána část rozvodny, která je řešena tak, aby splňovala vyšší požadavky na spolehlivost a odolnost vyvedení výkonu ETE proti poruchám. Do druhé části s konvenčním schématem jsou připojeny dva transformátory 400/110 kV. Ty slouží jako napájení části rozvodny na napěťové hladině 110 kV. Tato část funguje především jako hlavní zdroj rezervního napájení bloků ETE a má robustní a pružné

schéma se třemi systémy přípojnic. Do této části je také připojena čerpací stanice vody pro ETE. Ta je umístěna v blízkosti přehrady Hněvkovice. Je zde i spojení s distribuční částí sítě v jižních Čechách. Konstrukce i způsob provozování rozvodny Kočín 400 kV a 110 kV, byl zvolen tak, aby byla minimalizována šance přenosu poruch mezi bloky ETE a elektrizační soustavou. Rozvodna Kočín je paralelně propojena s transformovnou Dasný. Zde jsou umístěny dva transformátory 400/110 kV stejného výkonu jako v Kočíně. Hlavní důvod je možnost zálohování transformátorů, při zajištění dostatečné tvrdosti napětí pro rezervní napájení vlastní spotřeby ETE. Kočín 110 kV lze napájet z několika zdrojů. Pomocí výše popsané transformace 400/110 kV v rozvodně Kočín a Dasný, transformace 220/110 kV v Táboře i vodní elektrárnou Lipno.

Bloky ETE jsou schopny pracovat v ostrovním režimu. K zajištění této funkce je do řídicího systému TG zařazen specifický ostrovní regulátor. Slouží k udržování frekvence v ostrovní síti. K jeho aktivaci dojde při změně síťové frekvence. Pokud by během procesu přechodu na ostrovní režim došlo k přílišnému odlehčení TG, zareaguje funkce vyhodnocení vysokého zrychlení TG a dojde k vybavení urychlovače hydraulické regulace. Dlouhodobý provoz bloků ETE v ostrovním režimu je frekvenčně omezen. Při podkročení hranice 47,9 Hz nebo překročení hranice 51,5 Hz dojde k automatickému ukončení ostrovního režimu a přechodu na vlastní spotřebu. Tyto funkce byly úspěšně odzkoušeny při spouštění obou bloků. Bloky ETE mají certifikát, že mohou sloužit jako podpůrná služba pro provozovatele přenosové soustavy ČR.

Zajištění odolnosti a spolehlivosti napájení vlastní spotřeby ETE umožňuje několik bodů. Schéma vyvedení výkonu je blokově uspořádáno. Toto omezuje šíření poruch mezi bloky navzájem. Rozvodna Kočín je vybavena sekčním dělením přípojnic a selektivním systémem ochran. Díky tomu je zajištěna ochrana před šířením poruch mezi bloky a soustavou. Regulace, automatiky a ochrany jsou vzájemně zkoordinovány tak, aby blok v případě potřeby řízeně ustupoval po jednotlivých úrovních ochrany do hloubky. Při poklesu frekvence v síti zareaguje ochrana reaktoru, která měří příkon hlavního cirkulačního čerpadla (HCČ) a díky tomu je citlivá na pokles frekvence a rychlost poklesu frekvence. Pokud dochází k rychlým poklesům frekvence v síti, ochrana odstaví reaktor. Napájení přejde automaticky na rezervu 110 kV, nebo nastartují nouzové DG a vyčlení se systémy zajištěného napájení.

2.3.2. Napájení z vnitřních sítí

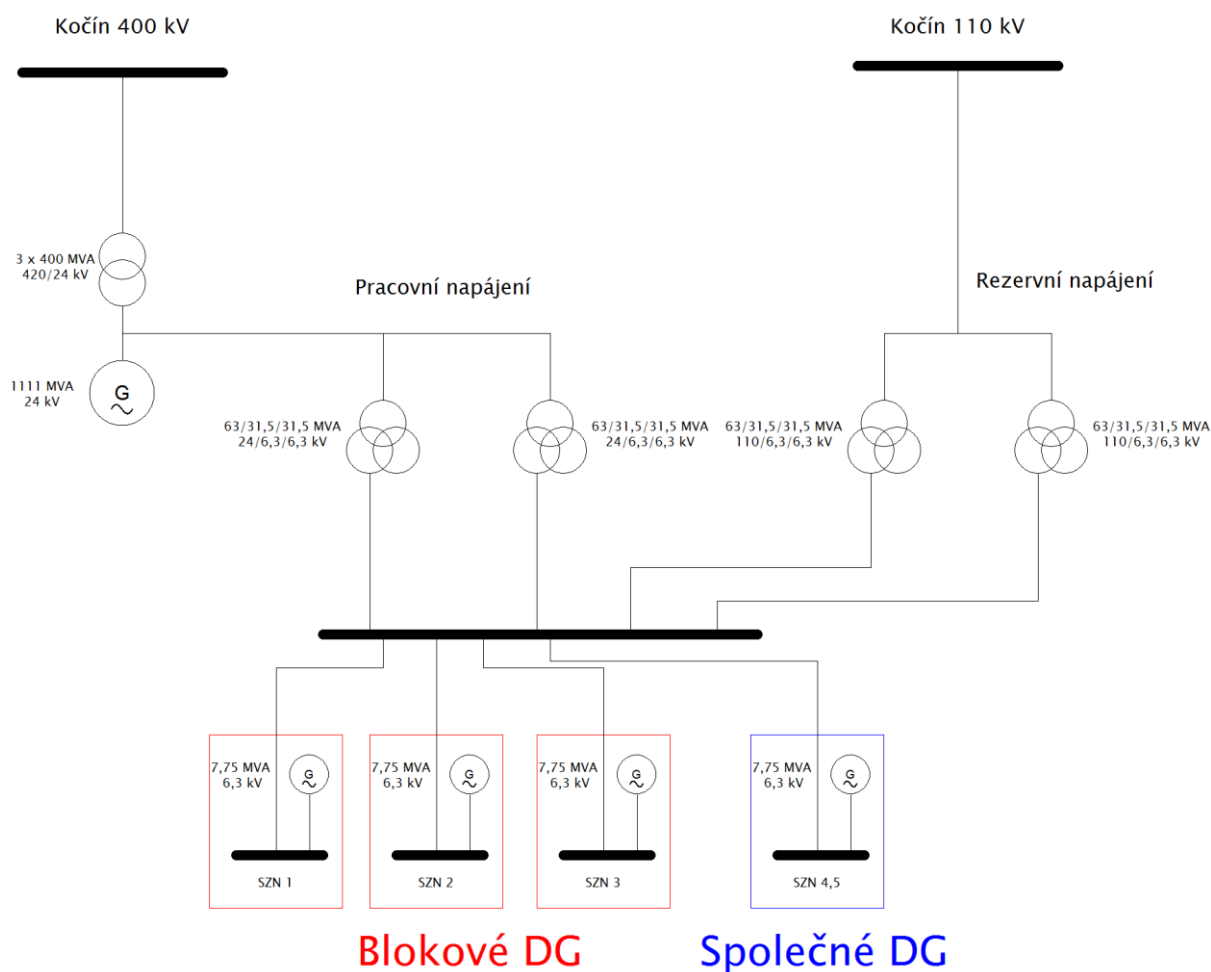
Pro zajištění napájení VS má elektrárna k dispozici několik zdrojů přímo v areálu. Tyto zdroje jsou rozděleny na 3 SZN pro jeden blok. Jednotlivé SZN jsou nezávislé a vzájemně oddělené elektricky, dispozičně i z pohledu řídicích systémů. Každý SZN se skládá z několika hlavních zařízení. Prvním z nich je nouzový DG 6,3 kV o výkonu 6,3 MW. Na obrázku 2 jsou nouzové DG jednotlivých SZN označeny GV, GW a GX. Nouzový DG má dostatečné zásoby nafty na 48 hodin provozu. Naftu je také možno doplňovat z nádrží naftového hospodářství. Dále v každém SZN nalezneme rozvodnu 6 kV zajištěného napájení, snížovací transformátory 6/0,4 kV a rozvaděče 0,4 kV. Poslední částí SZN jsou usměrňovače, akubaterie a střídače. Ty slouží k napájení citlivých spotřebičů, které vyžadují nepřerušené napájení. SZN slouží především pro napájení spotřebičů důležitých z pohledu jaderné bezpečnosti. Je zde však možnost napájet z nich i spotřebiče SSB a SNB, u kterých je vyžadována vysoká míra spolehlivosti. Nesmí však dojít ke snížení plnění bezpečnostní funkce pro systémy BS.

Spotřebiče připouštějící ztrátu napájení na desítky sekund až minut jsou napájeny z DG. Start DG nastává automaticky, pokud dojde ke ztrátě napájení rozvodny 6 kV zajištěného napájení, která je součástí SZN daného DG. Součástí tohoto procesu je odpojení rozvodny od normálního napájení pomocí dvou v sérii řazených sekčních vypínačů. Poté je zatěžování DG řízeno pomocí automatiky postupného spouštění podle předem dané sekvence bez nutnosti vnějšího zásahu. Toto rovněž zahrnuje ochranu DG před přetížením.

Velikost libovolného sdruženého napětí třífázové soustavy nesmí poklesnout pod 25 % jmenovité hodnoty. Pokud by tento stav nastal, je generován signál, který aktivuje APS. Vyšší spolehlivost zaručují signály v negativní logice. To znamená, že k aktivaci APS dojde, pokud bude mít signál hodnotu logické nuly. Pokud dojde k vygenerování signálu o ztrátě napájení, následuje několik kroků před samotným spuštěním programu APS. Celá sekvence proběhne do 30 sekund. Nejprve se aktivuje paměť ztráta napájení. Spustí se signalizace start APS na blokové a nouzové dozorně. Následuje vypnutí obou vypínačů sekční spojky. To způsobí oddělení od napájení z pracovního přívodu. Dále se vypnou vybrané spotřebiče. Vygenerují se blokády dálkového ručního zapínání a automatik normálního provozu

vybraných spotřebičů. Nakonec dojde ke startu DG. Jakmile DG nastartuje a dosáhne požadovaných parametrů, automatika zapne vypínač DG. Tím je zahájen program APS. Konkrétní program APS je ovlivněn technologickým stavem bloku. Pokud je teplota bloku nižší než 70 °C, proběhne program APS-S, naopak pokud je vyšší, proběhne program APS-H. Tyto programy se liší skladbou spotřebičů a počtem kroků. APS-H trvá 30 sekund a APS-S trvá 20 sekund.

Obrázek 3 - Základní schéma vlastní spotřeby ETE



Ukončení programu APS vyvolá změnu signalizace na dozornách. Současně dojde ke zrušení generování blokad.

Jak je možno vidět na obrázku 3, ETE má k dispozici ještě SZN 4 a 5. Tyto SZN slouží pro nouzové napájení SSB a SNB, které jsou důležité pro obecnou bezpečnost osob a drahých

zařízení. DG těchto SZN jsou označeny jako GJ a GK. Jsou společné pro oba bloky ETE. Pro napájení SZN 4 a 5 výkonově stačí alespoň jeden pracující DG. Pokud jeden DG bude napájet všechny tyto SZN na obou blocích, vystačí mu zásoba paliva na 12 hodin provozu.

2.4. Postupy při ztrátě napájení

Ochrana před ztrátou napájení je na ETE projektově řešena s vysokou mírou diverzifikace pracovních a rezervních zdrojů vlastní spotřeby. Blokované řešení napájení vlastní spotřeby zajišťuje ochranu před šířením elektrických poruch uvnitř ETE.

Při pracovním režimu slouží k napájení vlastní spotřeby dva transformátory připojené do odbočky vyvedení výkonu. Generátorové vypínače umožňují napájení těchto transformátorů ze dvou zdrojů. Pokud elektrárna generuje výkon, jsou transformátory napájeny pomocí turbogenerátorů. Při nevýkonovém provozu jsou tyto transformátory napájeny z rozvodny Kočín 400 kV. Tento zdroj napájení lze využít jak při normálním a abnormálním provozu, tak i při havarijních podmínkách, pokud zůstane neporušená linka 400 kV, spojují ETE s rozvodnou Kočín. V případě že by došlo ke ztrátě tohoto spojení, je napájení transformátorů automaticky převedeno na turbogenerátor zregulovaný na vlastní spotřebu. Specifickým případem může být provoz v režimu ostrov. Pokud dojde k poruše v elektrizační soustavě, může se vyčlenit různě velká část soustavy a ETE do ní může pracovat. Mezním případem ostrovního režimu je provoz TG na vlastní spotřebu. Blokované rozvodny 6 kV jsou standardně napájeny z odbočkových transformátorů. Tyto rozvodny dále napájí rozvodny 6 kV zajištěného napájení, sloužící pro napájení systémů důležitých z pohledu bezpečnosti.

Výše uvedené zdroje můžeme nahradit pomocí rezervních zdrojů napájení. Na každém bloku jsou umístěny dva transformátory, které jsou napájeny z rozvodny Kočín 110 kV. Rozvodna Kočín 110 kV může být napájena z několika uzlů v elektrizační soustavě. Tyto transformátory jsou pomocí rezervních přípojníc připojeny k rozvodnám 6kV nezajištěného napájení. Rezervní zdroje lze využít při částečné nebo úplné ztrátě pracovních zdrojů. Navíc rezervní zdroje obou bloků se zálohují pomocí ručně spínatelné spojky.

Rezervní zdroje jsou dimenzovány tak, aby byly schopny zaskočit za pracovní zdroje i při částečném zatížení z druhého bloku.

Tabulka 1 – Přehled zdrojů elektrického napájení [4]

1.	Vnější pracovní zdroje - normální napájení z rozvodny 400 kV
2.	Vnitřní pracovní zdroje - zregulování turbogenerátoru na vlastní spotřebu
3.	Vnější rezervní zdroje - rezervní napájení z rozvodny 110 kV
4.	Vnitřní rezervní zdroje – napájení z rozvodny 110 kV sousedního bloku
5.	Tři redundantní nouzové zdroje střídavého napájení pro SZN bezpečnostních systémů
6.	Dva nouzové zdroje střídavého napájení pro SZN systémů souvisejících s bezpečností (společné DG)
7.	Diverzní vnější zdroje střídavého napájení (hydroalternátory VE Lipno, Hněvkovice a Orlík)

Pokud dojde k selhání pracovních a rezervních zdrojů, máme k dispozici zdroje nouzové. DG a akubaterie určené pro blok mají redundanci 3 x 100 %. Společné pak mají redundanci 100 % + 100 %. Funkčnost nouzových zdrojů nijak nezávisí na stavu pracovních a rezervních zdrojů. Nouzové napájení lze realizovat i pomocí vnějších zdrojů. Jedná se o hydroalternátory VE Lipno, Hněvkovice a Orlík.

Nejhorší variantou pro zajištění bezpečnosti je ztráta napájení na obou blocích zároveň. Projektově má lepší odolnost proti ztrátě napájení blok provozovaný na výkon než blok při odstávce na výměnu paliva.

2.4.1. Ztráta vnějšího napájení

Při ztrátě vnějšího napájení způsobeného například rozpadem sítě doprovázeného ztrátou rozvoden 400 kV a 110 kV, nedojde k automatickému přechodu na nouzové zdroje napájení. První možností je zregulování TG na vlastní spotřeby a tím zajištění napájení všech systémů důležitých z pohledu bezpečnosti. V případě, že TG nepracoval nebo nezreguloval a vypadl, jedná se o ztrátu pracovního napájení. V tomto okamžiku nastane automatický hromadný záskok rezervy. Vlastní spotřeba je napájena z rezervních zdrojů 110 kV. DG se neshodují a akubaterie jsou napájeny ve standardním režimu.

Pokud by došlo k selhání této automatiky, začne se generovat signál LOOP od ztráty napájení bezpečnostních systémů. To signalizuje úplnou ztrátu napájení vlastní spotřeby. Dojde k odpojení rozvoden 6kV SZN od rozvoden 6 kV nezajištěného napájení. Začnou startovat všechny tři nezávislé DG, které jsou připojeny na rozvodny SZN 6 kV. Poté jsou zatěžovány automatikou postupného spouštění. DG napájí bezpečnostní systémy bloku.

Během tohoto procesu dochází i ke startu společných DG. Ty zajistí napájení zařízení souvisejících s jadernou bezpečností a zařízení pro bezpečný doběh turbosoustrojí. Akubaterie jsou napájeny ve standardním režimu a zajišťují nepřetržité napájení stejnosměrných rozvodů.

Pokud dojde ke ztrátě vnějšího napájení, není ohroženo plnění ani jedné ze základních bezpečnostních funkcí:

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

Při ztrátě vnějšího napájení lze bloky ETE dlouhodobě udržovat v horkém stavu, popřípadě mohou být vychlazeny nebo bezpečně udržovány v režimu odstávka. K zajištění napájení všech potřebných strojních systémů a systémů SKŘ postačuje funkčnost jednoho blokového DG a jednoho společného DG. Avšak pro uvedení bloku do studeného stavu postačuje jeden funkční DG na blok.

Každý DG má vlastní nádrž nafty. Pro blokové DG jsou nádrže dimenzovány při nominálním zatížení na provoz po dobu 48 hodin bez doplňování nafty a také jsou seizmicky odolné. Nádrž pro společné DG je dimenzována na 12 hodin při napájení obou SZN na obou blocích. Díky koncepci redundance 3 x 100 %, je možné pomocí postupného využívání jednotlivých divizí prodloužit doby, kdy je zajištěno elektrické napájení na cca 7 dní. Tyto časové údaje počítají s nominálním zatížením DG výkonem 5 MW. Pokud budeme uvažovat, že v provozu bude vždy jen to zařízení, které bude nutné pro bezpečný provoz bloku, získáme zatížení DG kolem 3 MW. Tímto prodloužíme dobu, po kterou bude zajištěno napájení o 40 % na cca 10 dní.

V areálu ETE se dále nachází naftové hospodářství. To obsahuje minimálně 300 m³ nafty. Reálně je zásoba nafty v těchto nádržích vyšší než 1000 m³. Pomocí této nafty lze zajistit provoz potřebných DG po dobu dalších 3 až 10 dní. Čerpadla naftového hospodářství jsou napájena z rozvodny nezajištěného napájení, proto je nutné při dlouhodobé ztrátě vnějšího napájení zajistit doplňování nafty mobilními prostředky.

2.4.2. Ztráta vnějšího a běžného záložního napájení

V případě, že by došlo ke ztrátě pracovních i rezervních zdrojů napájení a selhaly by blokové DG, jsou k dispozici ještě další střídavé zdroje napájení.

V areálu ETE lze pro napájení využít společné DG, které jinak slouží pro napájení systémů souvisejících s bezpečností. Ty mají shodnou konstrukci jako DG blokové. Dále je možné využít napájení ze sousedního bloku, při zregulování TG na vlastní spotřebu.

Lze využít i vnější diverzní zdroje napájení. První je vodní elektrárna Lipno s 2x60 MW. Napětí z vodní elektrárny Lipno lze do ETE přivést pomocí vyhrazených linek. Vodní elektrárna Lipno má schopnost najetí ze tmy, tedy při úplné ztrátě vnějšího napájení. Procedura pro propojení ETE s vodní elektrárnou Lipno trvá přibližně 30 min. Druhým zdrojem je MVE Hněvkovice. Ta disponuje výkonem 2x2,2 až 2x4,8 MW, podle spádu vody.

Napětí z MVE Hněvkovice lze do ETE přivést po lince 110 kV pro rezervní napájení. Poslední variantou je využití VE Orlík. Vyčlenění linky spojující Orlík a ETE je však složitější.

V krajních případech lze využít i zdroje, které nejsou určeny k napájení bezpečnostních systémů při řešení SBO. Jedná se o DG pro napájení mazacích čerpadel turbíny o výkonu 200 kW a DG pro datové centrum s výkonem 1 MW. Použití těchto zdrojů není projektově řešeno ani odzkoušeno. Výkonově však postačují pro dlouhodobé dobíjení akubaterií.

Zdrojem pro napájení stejnosměrných rozvodů jsou akubaterie. Akubaterie v SZN bezpečnostních systémů mají kapacitu 3x1600 Ah. SZN systémů souvisejících s bezpečností disponují kapacitou akubaterií 2x2000 Ah a 2x400 Ah. Pokud dojde ke ztrátě pracovních a rezervních zdrojů napájení akubaterií jsou dobíjeny ve standardním režimu z připojených DG. Pokud by došlo k SBO a nebyl by využit k dobíjení akubaterií náhradní zdroj, je jejich kapacita časově omezena.

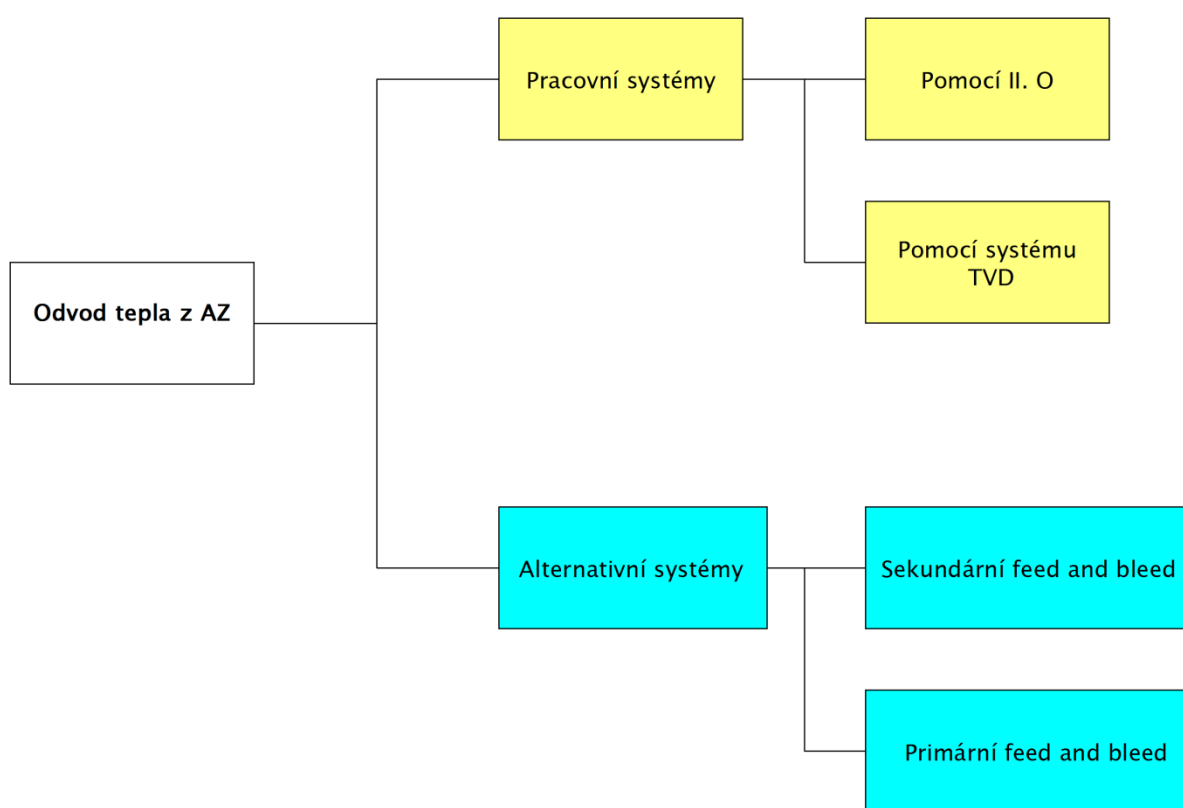
2.4.3. Úplná ztráta všech střídavých zdrojů napájení

Tento scénář je nadprojektovou a vysoce nepravděpodobnou havárií. V tomto případě by muselo dojít k současnému selhání všech zdrojů uvedených v tabulce 3. Pokud by se tento stav vyskytl, nebyly by akubaterie dobíjeny a jejich kapacita by se vyčerpala v řádu hodin podle velikosti zatížení. V důsledku vybíjení baterií by mohlo docházet ke ztrátě sdělovacích hodnot důležitých parametrů, ovládacích obvodů, nouzového osvětlení a mnohých dalších. Hlavní parametr, který by nás časově omezoval, je doba, po kterou je blok schopen vydržet bez poškození paliva. Dále musíme zajistit odvod tepla z I.O, odvod tepla z BSVP, chlazení místností SKŘ a dobíjení akubaterií.

2.5. Odvod tepla z AZ

Velmi důležitým bezpečnostním aspektem je zajištění odvodu tepla. Zdrojů tepla, které je nutné odvádět během každého provozního režimu, je hned několik. Jedná se především o AZ, BSVP, bezpečnostní systémy a systémy související s bezpečností. Odvod tepla můžeme zajistit několika způsoby. Přehledně jsou rozděleny na obrázku 4. Koncovým jímačem tepla je v ETE atmosféra.

Obrázek 4 – Možnosti odvodu tepla z AZ



U jaderného bloku rozlišujeme celkem 6 provozních režimů. Ty jsou popsány v tabulce 2. Určité systémy pro dochlazování lze využít pouze při daném provozním stavu.

Tabulka 2 – Provozní režimy jaderného bloku [4]

Režim	Název	Tepelný výkon	Střední teplota v I.O
1	Výkonový provoz	$\geq 2 \% N_{NOM}$	$> 260\text{ }^{\circ}\text{C}$
2	Nevýkonový stav	$< 2 \% N_{NOM}$	$> 260\text{ }^{\circ}\text{C}$
3	Horký stav	Zbytkový	$> 260\text{ }^{\circ}\text{C}$
4	Polohorký stav	Zbytkový	$260\text{ }^{\circ}\text{C} > T_{stř} \geq 150\text{ }^{\circ}\text{C}$
5	Studený stav	Zbytkový	$150\text{ }^{\circ}\text{C} > T_{stř} \geq 70\text{ }^{\circ}\text{C}$
6	Odstávka	Zbytkový	$< 70\text{ }^{\circ}\text{C}$

2.5.1. Odvod tepla do koncového jímače provozními způsoby

ETE má k dispozici dva provozní způsoby odvodu tepla do koncového jímače tepla. První způsob využívá systém kondenzace turbogenerátoru, odkud teplo odvádí cirkulační chladicí voda do chladících věží a do atmosféry. Tento způsob je využíván jak při normálním a abnormálním provozu, najíždění a odstavení turbogenerátoru, tak při havarijních podmínkách po odstavení bloku. Musí však být zajištěny pracovní nebo rezervní zdroje napájení.

Druhý způsob využívá k odvodu tepla z AZ systém technické vody důležité. Teplo z AZ a komponent bezpečnostních systémů odvádíme do chladících nádrží z rozstříkem, a z nich jde teplo do atmosféry. Tento způsob nám umožňuje uvést reaktor do studeného stavu.

2.5.2. Odvod tepla do koncového jímače alternativními způsoby

V případě, že nelze použít provozní systémy pro odvod tepla z I.O, máme k dispozici alternativní systémy.

Prvním z nich je možnost přímého odpouštění páry z PG do atmosféry (sekundární feed and bleed). Samozřejmostí je nutnost současného doplňování napájecí vody. Tento

způsob nám umožňuje dlouhodobě odvádět teplo z I.O. Využívá se při abnormálním a havarijním provozu. Pomocí tohoto systému nelze uvést reaktor do studeného stavu. Ztrácí svojí účinnost okolo 110 °C.

Pro uvedení reaktoru do studeného stavu při havarijních podmínkách bez možnosti využít sekundární odvod tepla slouží řízené odpouštění chladiva z I.O do kontejnmentu (primární feed and bleed). Teplo dále odvádíme přes výměníky HSCHZ do systému TVD. Zpětné doplňování chladiva zajišťují čerpadla havarijního doplňování I.O.

2.5.3. Ztráta přenosu tepla do koncového jímače

U ETE nemůže dojít ke ztrátě koncového jímače tepla, protože tím je zde atmosféra. Hlavním problémem je však zajištění přenosu tepla do koncového jímače. Odvod tepla je řešen blokově. Z pohledu bezpečnosti je nejdůležitější systém odvodu tepla pomocí TVD. Odvod tepla pomocí II.O lze využít pouze pro snížení parametrů I.O. Systém chlazení TVD je využíván pro odvod tepla z I.O, BSVP a spotřebičů bezpečnostních systémů. Současně jsou v provozu všechny tři systémy TVD. Redundance je 3 x 100 %. Každý systém TVD odvádí teplo do vlastní CHNR. Zbytkové teplo je odváděno do atmosféry rozstříkem vody tryskami a odparem z hladiny. CHNR se skládá ze dvou nezávislých polovin. Jedna je v provozu a druhá může být prázdná nebo v rezervě.

Přenos tepla pomocí TVD zajišťuje celkem 6 čerpadel. Tyto čerpadla jsou prostorově oddělena a mají nezávislé napájení. K zajištění základních bezpečnostních funkcí je potřeba alespoň jedno provozuschopné čerpadlo. Výpadek všech čerpadel současně je velmi nepravděpodobný. Mohly by ho způsobit vnější záplavy, nebo SBO.

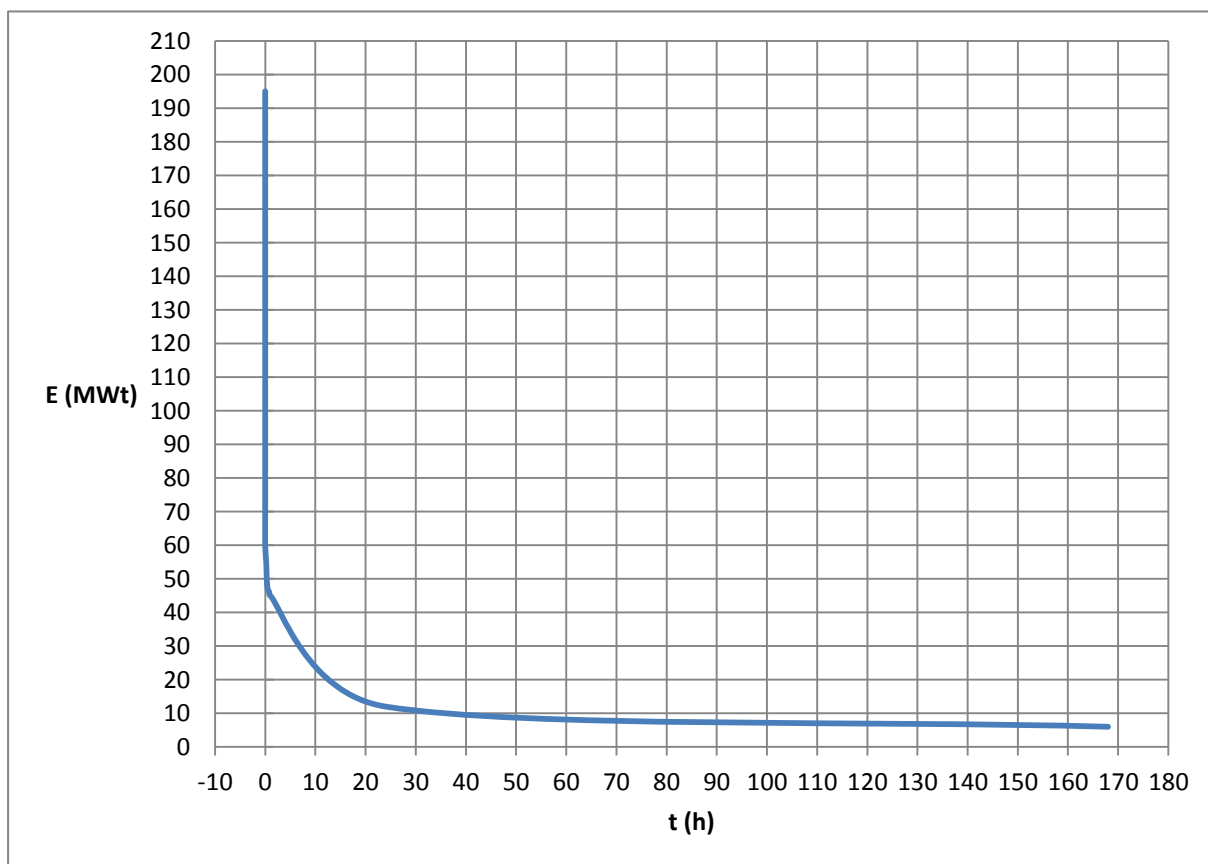
Jedna CHNR umožňuje odvádět teplo z obou bloků bez nutnosti doplňování po dobu 12,5 dne. Abychom dosáhli požadavku na odvod tepla po dobu 30 dnů, je nutné mobilními prostředky přečerpat vodu z nefunkční divize TVD.

V případě, že by došlo ke ztrátě všech možností přenosu tepla od zdrojů do koncového jímáče, může dojít k následujícím situacím. Poškodí se palivo v AZ a vyhořelé palivo v BSVP. Pokud by byly v provozu nouzové zdroje střídavého napájení při LOOP, absence jejich chlazení způsobí SBO. Neschopnost odvádět teplo od systémů SKŘ způsobí ztrátu schopnosti ovládní systémů a příjmu hodnot důležitých parametrů.

2.5.4. Problémy při dochlazování AZ

Jmenovitý tepelný výkon reaktoru je 3000 MWt. Při odstavení reaktoru poklesne tepelný výkon díky ukončení štěpné reakce na přibližně 6 % jmenovitého tepelného výkonu. Tento zbytkový výkon způsobují beta rozpady produktů jaderného štěpení. Po hodině od odstavení reaktoru klesne zbytkový výkon na 1,5 %.

Obrázek 5 – Zbytkový tepelný výkon po odstavení reaktoru



Graf přibližného poklesu zbytkového tepelného výkonu v čase je na obrázku 5. Když do bilance započteme i teplo produkované BSVP, musíme zajistit chlazení tepelného výkonu v řádu desítek MWt, i relativně dlouhou dobu od odstavení reaktoru. Produkty štěpné reakce mají různé poločasy rozpadu. Řádově jde o jednotky sekund až desítky let. Z toho důvodu zbytkový tepelný výkon neklesne na nulu ani za mnoho let. Z hlediska bezpečnosti musíme zajistit odvod tohoto zbytkového tepla za všech okolností, abychom zabránili případnému poškození jaderného paliva a úniku radioaktivity.

3. Možnost využití VE Hněvkovice při dochlazování reaktoru

VE Hněvkovice byla postavena v souvislosti s výstavbou JE Temelín. Toto vodní dílo patří do Vltavské kaskády. Akumulační nádrž obsahuje $22,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vody. Výstavba probíhala v letech 1986 – 1992. VE Hněvkovice slouží především jako rezervoár technické vody pro JE Temelín. Proto je na levém břehu přehrady vybudována výkonná čerpací stanice s rozvodnou 110 kV. Dále VE využívá hydroenergetický potenciál pro výrobu elektrické energie.

3.1. Vodní dílo Hněvkovice

Stavba se skládá z betonové gravitační přehrady o výšce 16,5 m. Do té jsou zabudovány tři přelivy. Každý 12 m široký, hrazený ocelovými segmenty s elektropohonem. Elektrárna se nachází v levé části hráze. Jsou zde nainstalována dvě soustrojí s Kaplanovými turbínami. Soustrojí se nacházejí v betonovém prodloužení paty hráze. Proti povětrnostním vlivům jsou chráněna ocelovými poklopy. Klasickými součástmi VE jsou pak vtoková hradla, česle, ocelové tabulové uzávěry 4,3 x 6 m, betonové savky, kašny a výtoková hradidla.

Tabulka 3 - Hlavní údaje vodního díla [13]

Instalovaný výkon	8,64 MW
Průměrná roční dodávka do sítě	25 237 MWh
Průměrná doba chodu jednoho soustrojí	4986 h
Doba najetí z klidu (přifázování turbíny)	240 s
Rychlost zatěžování	$0,12 \text{ MWs}^{-1}$
Zásobní objem energeticky využitelný	$12,8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$
Rozmezí provozních hladin	364,6 - 370,1 m.n.m
Zaručený minimální odtok	$6,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$
Maximální průtok všemi turbínami	$30 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$
Dlouhodobý roční průtok Q_3	$30,8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

Provoz VE Hněvkovice je plně automatizován a dálkově řízen z centrálního dispečinku vltavské kaskády ve Štěchovicích. Vyvedení výkonu z elektrárny realizuje kabelové propojení s rozvodnou 110 kV u čerpací stanice.

3.1.1. Turbína

Soustrojí elektrárny pohání kaplanova turbína. Konstrukční řešení počítá pouze s turbínovým provozem. Turbína pracuje ve vertikální poloze a je levotočivá. Lze regulovat jak rozvaděč, tak oběžná kola. Turbínu s generátorem spojuje pevná spojka. Radiálně jsou oběžné kolo a turbínový hřídel vedeny vodícím ložiskem ve víku turbíny. Axiální závěsné ložisko nad generátorem je společné pro všechny rotující části soustrojí.

Měření průtoku vody turbínou probíhá pomocí metody Winter – Kenedy. Jedná se o výpočet průtoku z rozdílu tlaku na dvou místech ve spirále.

$$Q = k(\Delta p)^n$$

kde **Q** (m^3s^{-1}) - průtok
 k,n - koeficienty
 Δp (Pa) - rozdíl naměřených tlaků

Koeficienty **k** a **n** byly stanoveny měřením průtoku během měření účinnosti turbíny. Spirála je vybavena pěti odběrnými místy pro měření tlaku. Pro výpočet jsou použita dvě místa s největší diferencí naměřených hodnot.

Tabulka 4 - Technické údaje turbíny [13]

Turbína	Typ Kaplan 4-K-69
Jmenovité hodnoty :	
Spád turbíny maximální	16,3 m
Spád turbíny minimální	9,3 m
Hltnost	35 m ³ s ⁻¹
Otáčky	214,3 min ⁻¹
Výkon:	
Maximální	4,54 MW
Návrhový	4,59 MW
Minimální	0,92 MW
Oběžné kolo:	
Jmenovitý průměr	2400 mm
Hmotnost	4960 kg
Spirála/kašna:	
Materiál	beton
Vstupní průřez	25,8 m ²

3.1.2. Generátor

Pro výrobu elektrické energie slouží trojfázový synchronní hydroalternátor přímo spojený s turbínou. Generátor s uzavřeným provedením je umístěn v kobce zapuštěné ve spodní části stavby. Chrání ho vodotěsný kryt. Konstrukce odpovídá stupni ochrany IP 21, kromě utěsnění proti turbínové šachtě, to má stupeň ochrany IP 44. Konstrukce rotoru i statoru odpovídá tepelné izolační třídě F dle ČSN 35 0200. V provozu je využívána v tepelné izolační třídě B. Vzduchové chlazení zajišťuje vlastní uzavřený cirkulační ventilační systém. Budící vynutí je napájeno pomocí systému regulace napětí. Mechanické brzdy ovládané vzduchem slouží k brždění rotujících částí soustrojí a jejich zajištění v klidu. Konstrukce alternátoru nelimituje rychlost najíždění na generátorový výkon. Určující jsou zde pouze možnosti turbíny. Alternátor je dimenzován proti poruchám ze strany sítě, jako například

nárazovému buzení a zkratovým proudům. Alternátor je konstruován k připojení na síť samosynchronizací. Nelze však provést přímý asynchronní rozběh.

Tabulka 5 - Technické údaje hydroalternátoru [13]

Typ	HV 712 546 / 28
Zdánlivý výkon	5 400 kVA
Činný výkon	4 320 kW
Jmenovité napětí	6 300 V
Jmenovitý účinník $\cos \varphi$	0,8
Jmenovité otáčky	214,3 min ⁻¹
Směr točení	vlevo
Moment setrvačnosti	30,0 Mgm ²
Vzduchová mezera	9 mm
Hmotnosti:	
Stator	32 200 kg
Rotor	24 465 kg
Stator:	
Napětí statoru	6 300 V
Proud statoru	495 A
Spojení fází	Y
Rotor:	
Proud rotoru	224 – 426 A
Jmenovité hodnoty buzení alternátoru:	
Provoz naprázdno	$I_0 = 218 \text{ A}, U_0 = 32 \text{ V}$
Generátorový provoz	$I_2 = 432 \text{ A}, U_2 = 88 \text{ V}$

Kostra statoru generátoru je svařena z válcované uhlíkové oceli. Konstrukce kostry poskytuje dostatečnou tuhost pro dopravu, montáž, výrobní manipulace a provozní namáhání. Na vnějším obvodu kostry statoru jsou rozmístěny čtyři vodní chladiče vzduchu a pole fázových a nulových vodičů. Dovolené nesymetrické zatížení činí maximálně 12 %.

Aktivní železo statoru je složeno z oboustranně lakovaných segmentů s otevřenými drážkami. Segmenty se skládají z izotropních dynamových plechů o tloušťce 0,5 mm. Plechy mají ztrátové číslo $1,7 \text{ Wkg}^{-1}$. Statorové jho je staženo pomocí ocelových desek.

Rotor generátoru je konstruován tak, aby umožňoval přenos maximálního kroutícího momentu. Rotor je veden dvěma radiálními vodícími ložisky. Na spodní straně věnce rotoru je uchycena brzdová dráha mechanických brzd. Skládá se ze čtrnácti vyměnitelných desek. Na obvodu rotoru je vsazeno 28 vyniklých pólů. Póly se skládají z výlisků lakovaných plechů o tloušťce 1 mm. Stažené jsou litými deskami. Vinutí tlumiče rotoru je uloženo v pólových nástavcích. Tlumící vinutí vydrží všechna tepelná a proudová namáhání například při nesymetrickém zatížení alternátoru. Cívky budícího vinutí jsou vinuty z měděných pasů a jsou nasazeny na pólech. Tepelné namáhání rotorového vinutí odpovídá třídě B.

3.2. Systémy vhodné k napájení z VE Hněvkovice

Využití VE Hněvkovice jako havarijního zdroje elektrického napájení pro areál ETE má určitá omezení. Výběr systému je především omezen jeho příkonem. Všechna vybraná čerpadla mají podobné parametry, a měla by být schopna provozu při napájení z VE Hněvkovice.

Tabulka 6 – Seznam čerpadel

Čerpadlo	Systém	Umístění
TK 22	Normální doplňování I.O	I.O
TQ 22	Havarijní chlazení	I.O
TX 20	Havarijní napájení PG	II.O

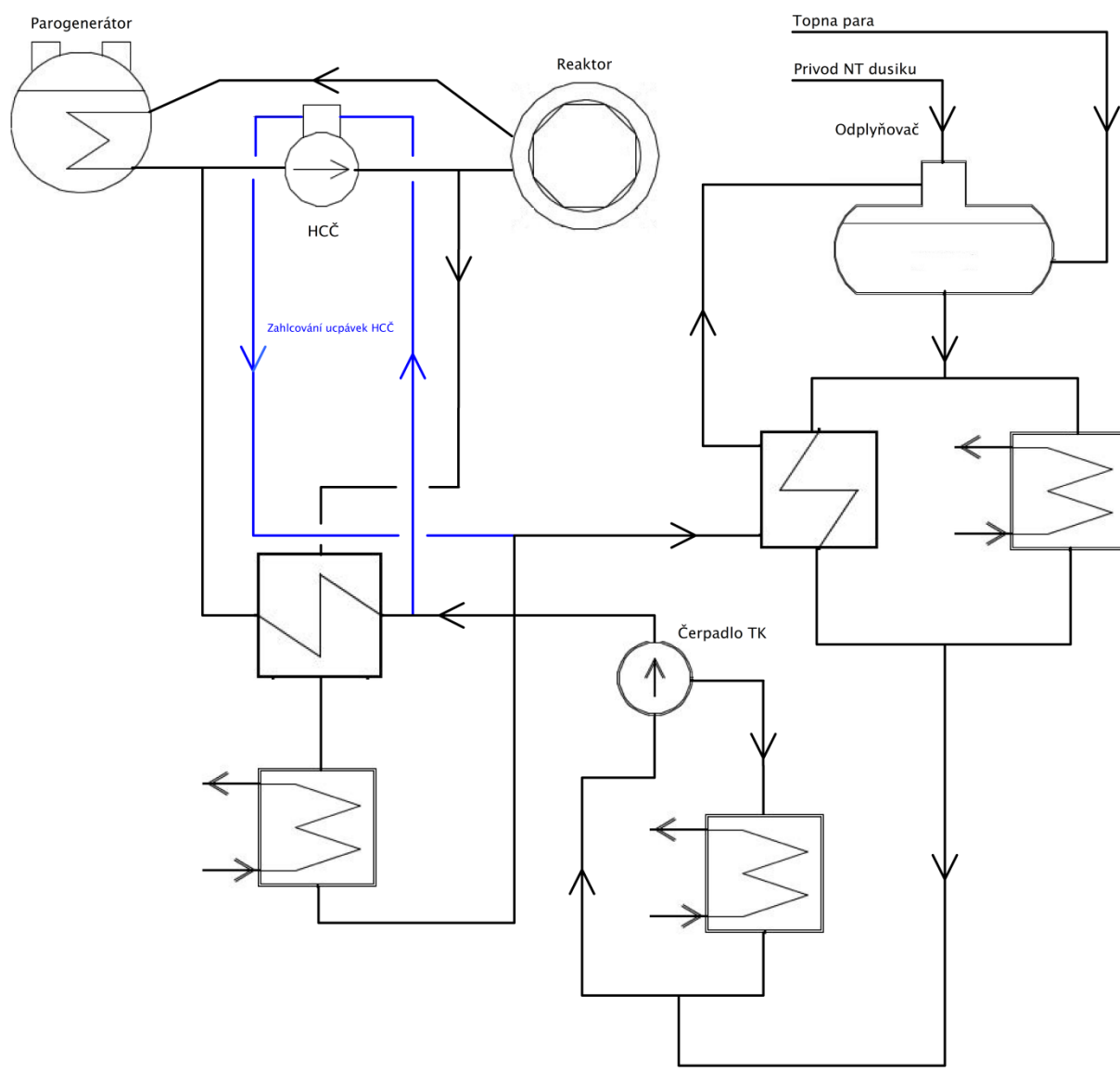
O VE Hněvkovice se uvažuje jako o havarijním zdroji napájení pro krizové situace, které mají velmi nízké procento vzniku. Mohla by být využita například při SBO. Pokud by při ztrátě vnějšího napájení ETE nenastartoval žádný z DG, lze pomocí vyčleněné trasy mezi VE Hněvkovice a ETE přivést napětí do rozvodny rezervního napájení. Odtud je možno napájet zvolené čerpadlo a zajistit tak odvod zbytkového tepla z reaktoru při nadprojektové události. Seznam čerpadel je uveden v tabulce 6. Funkce systémů těchto čerpadel bude popsána v dalších kapitolách. Principiální schéma I.O a II.O je uvedeno v příloze 4.

3.2.1. Normální doplňování I.O

Čerpadlo TK 22 je součástí systému normálního doplňování a odpouštění I.O a borové regulace. Patří mezi systémy související s bezpečností. Slouží k doplňování I.O a regulaci koncentrace kyseliny borité v chladivu I.O. Při snižování koncentrace kyseliny borité se část chladiwa odpouští přes filtry a odplyňovač doplňování do nádrží nečistého kondenzátu. Při doplňování čistého kondenzátu do I.O, se použije odplyňovač borové regulace. Zvýšení koncentrace kyseliny borité zajišťuje přivedení koncentráту bóru na sání čerpadel. K ohřevu doplňovací vody slouží topná pára přivedená ze strojovny. Systém dále slouží k odvodu a ochlazení chladiwa z I.O, na přečištění a jeho návrat zpět přes odplyňovač doplňování do I.O. Systém také zajišťuje zahlcování ucpávek HCČ.

Odpuštění a doplňování tvoří jeden technologický okruh. Čerpadlo je napájeno ze SZN. Zařízení a potrubí se nachází uvnitř a vně kontejnmentu. V kontejnmentu jsou umístěny regenerační výměník a dochlazovač. Mimo kontejnment jsou umístěny doplňovací agregáty, odplyňovač doplňování, odplyňovač borové regulace a chladič páry odplyňovače. Agregáty mají redundanci 3 x 100 %. Doplňovací agregáty se skládají ze dvou sériově řazených čerpadel. Systém normálního doplňování ke své činnosti vyžaduje olejové hospodářství.

Obrázek 6- Zjednodušené schéma normálního doplňování



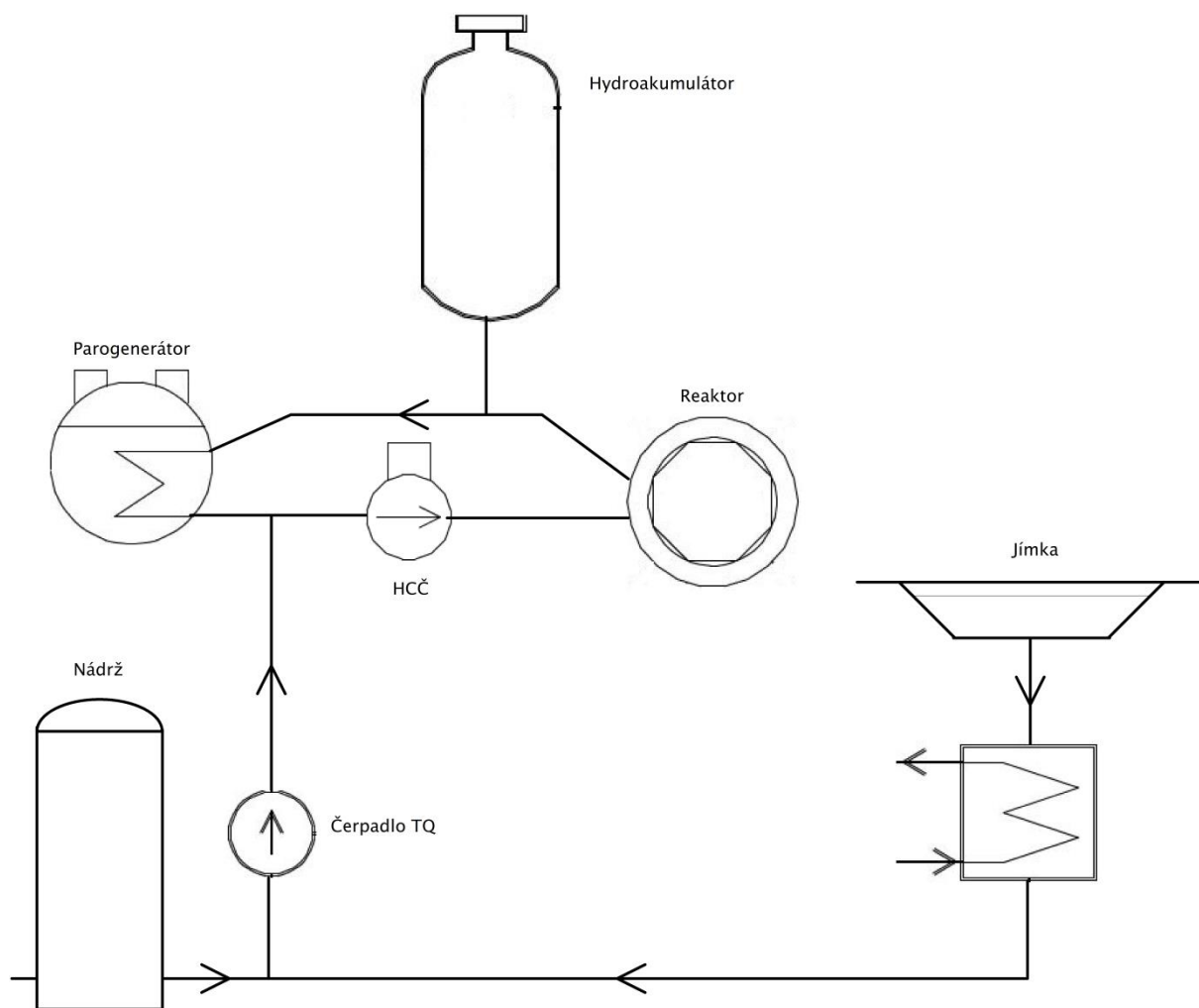
3.2.2. Havarijní chlazení

Systém havarijního chlazení se skládá ze tří funkčních celků. Jedná se o vysokotlaký HSCHZ, nízkotlaký HSCHZ a pasivní HSCHZ. Každá tato část je uzpůsobena pro jinou havarijní situaci.

Vysokotlaká část systému slouží ke zmírnění průběhu havárie spojené s netěsností I.O nebo II.O. Netěsnost však není příliš velká a nedošlo k výrazné ztrátě tlaku v okruhu. Během havárie tento systém zajišťuje doplňování I.O a zvyšování koncentrace kyseliny borité, aby zajistil co nejmenší poškození paliva. Jedná se o bezpečnostní systém, takže svou funkcí omezuje úniky radioaktivních látek a ionizujícího záření z kontejnmentu během havárie a po ní. Vysokotlaký HSCHZ tvoří trojice čerpadel. Ke každému čerpadlu je k dispozici nádrž s koncentrovanou kyselinou boritou. Redundance systému je 3 x 100 %. Všechny čerpadla jsou napájena ze SZN. Vysokotlaký HSCHZ je umístěn mimo kontejnment. S primárním okruhem je spojen výtlačným potrubím. Každé z čerpadel je umístěno v separátní místnosti. Nádrže VT HSCHZ se nacházejí uvnitř kontejnmentu.

Nízkotlaký HSCHZ plní stejné funkce jako VT HSCHZ. Jen s tím rozdílem, že je uzpůsoben pro havárie spojené s velkou netěsností v I.O. Navíc tento systém slouží k udržení reaktoru v podmínkách bezpečného odstavení, při plánovaném odstavení. Tento systém má také k dispozici trojici čerpadel. Každé je umístěno v oddělené místnosti bezpečnostních systémů. Zásoba kyseliny borité pro tento systém se nachází v jímce kontejnmentu. Tato jímka je společná pro všechny tři divize HSCHZ. Samozřejmě i tento systém je napájen ze SZN. K odvodu tepla z chladiva v NT HSCHZ slouží tepelný výměník HSCHZ. Teplo je odváděno pomocí TVD. Tepelné výměníky jsou umístěny v samostatných místnostech mimo kontejnment. Redundance systému je 3 x 100 %.

Obrázek 7 – Zjednodušené schéma nízkotlakého HSCHZ



Poslední z trojice subsystémů HSCHZ je pasivní systém havarijního chlazení AZ. Ke svojí činnosti používá systém hydroakumulátorů. Jeden z nich je systematicky znázorněn na obrázku 7. Tento systém slouží k rychlému zaplavení AZ při haváriích spojených s velkým únikem chladiva z AZ. Systém je tvořen čtyřmi hydroakumulátory, které zajišťují přívod roztoku kyseliny borité pod i nad AZ. Jako pasivní systém nevyžaduje pro svoji funkci elektrické napájení. Pokud by došlo k poklesu tlaku v I.O pod tlak v hydroakumulátoru, dojde k vytlačení chladiva do I.O, díky expanzi stlačeného dusíku. Tento systém nepotřebuje k aktivaci iniciační impuls. Po vyprázdnění tlakových zásobníků dojde k uzavření armatur, aby se zabránilo vniku dusíku do chladicího okruhu. Tyto armatury jsou napájeny

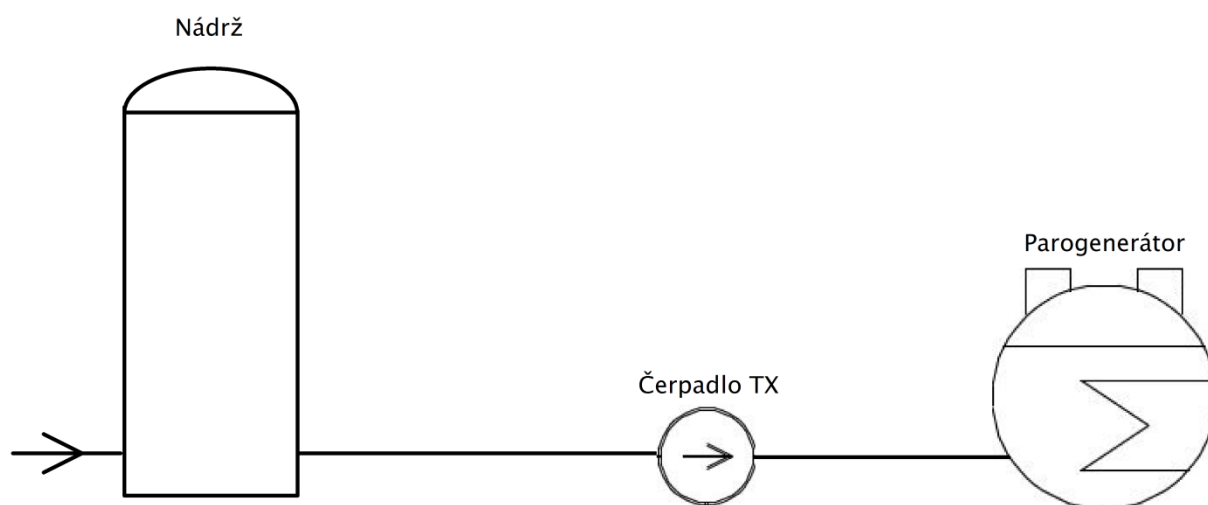
z akumulátorových baterií. Pro případ selhání systému je zde druhý identický systém. Každý má k dispozici dva hydroakumulátory.

Čerpadla NT divize se také využívají v systému odvodu zbytkového tepla. Systém odvodu zbytkového tepla se využívá při plánovaném dochlazování. Lze ho využít při teplotě v I.O menší než 150 °C a tlaku pod 1,7 MPa. Při vyšším tlaku by mohlo dojít k poškození výměníku HSCHZ. Rychlost dochlazování je 30 °C/hod, lze však dosáhnout rychlosti až 60 °C/hod. Systém odvodu zbytkového tepla má dva režimy. Při režimu přímé cirkulace chladiva se chladivo dodává do studené větve AZ a horké chladivo je odebíráno z horké větve AZ. Chladivo předá zbytkové teplo ve výměníku HSCHZ a je přivedeno na sání NT čerpadla.

3.2.3. Havarijní napájení PG

Tento systém slouží k zabezpečení napájení PG při nepřípustném poklesu hladiny ve dvou z nich. Redundance systému je 3 x 100 %. Systém se skládá z napájecího čerpadla, nádrže demivody o objemu 500 m³ a potrubí. Nádrže i čerpadla jsou umístěna v oddělených místnostech.

Obrázek 8 – Zjednodušené schéma havarijního napájení PG



3.3. Shrnutí možností využití VE Hněvkovice

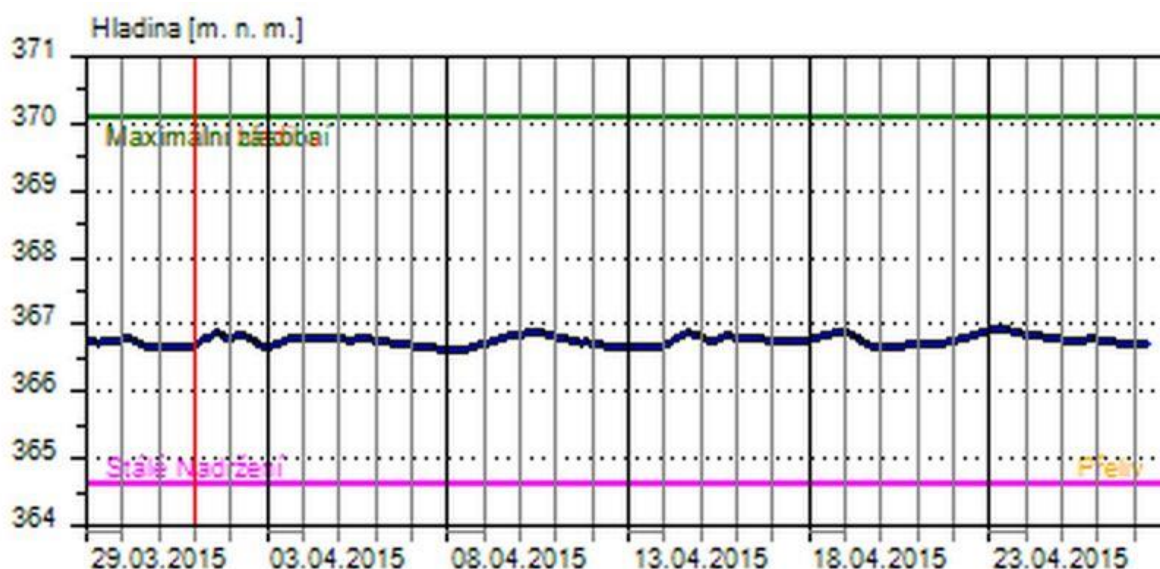
Využití VE Hněvkovice jako zdroj napájení pro areál ETE, přesněji pro jednotlivé části systémů, připadá v úvahu při nadprojektových událostech, během kterých dojde ke ztrátě všech jiných zdrojů střídavého elektrického napájení.

V současné době není VE Hněvkovice uzpůsobena ke startu ze tmy. Pro její uvedení do provozu je nutné zajistit vnější zdroj napájení. Příkon vlastní spotřeby je přibližně 40 kW. Lze tedy pro tento účel využít mobilní DG. Poté je vodní elektrárna schopna dosáhnout provozních parametrů do dvou minut.

Momentálně je jediným síťovým propojením VE Hněvkovice s areálem ETE venkovní vedení 110 kV. Časově nejnáročnější při přivedení napětí na rozvodnu rezervního napájení v ETE je vyčlenění přímé trasy 110 kV. Tento aspekt omezuje rychlost využití tohoto zdroje napájení.

Další omezení představuje zásoba vody v akumulaci nádrži VE Hněvkovice. Energeticky využitelný objem nádrže je $12,8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, to odpovídá rozmezí provozních hladin 364,6 - 370,1 m. n. m. Stav vodní hladiny během jednoho měsíce je vidět na obrázku 9. V současné době je hladina snížena v souvislosti se stavebními úpravami plavební komory u VE Hněvkovice a jezu v Hluboké nad Vltavou.

Obrázek 9 – Měsíční přehled stavu hladiny VE Hněvkovice [7]

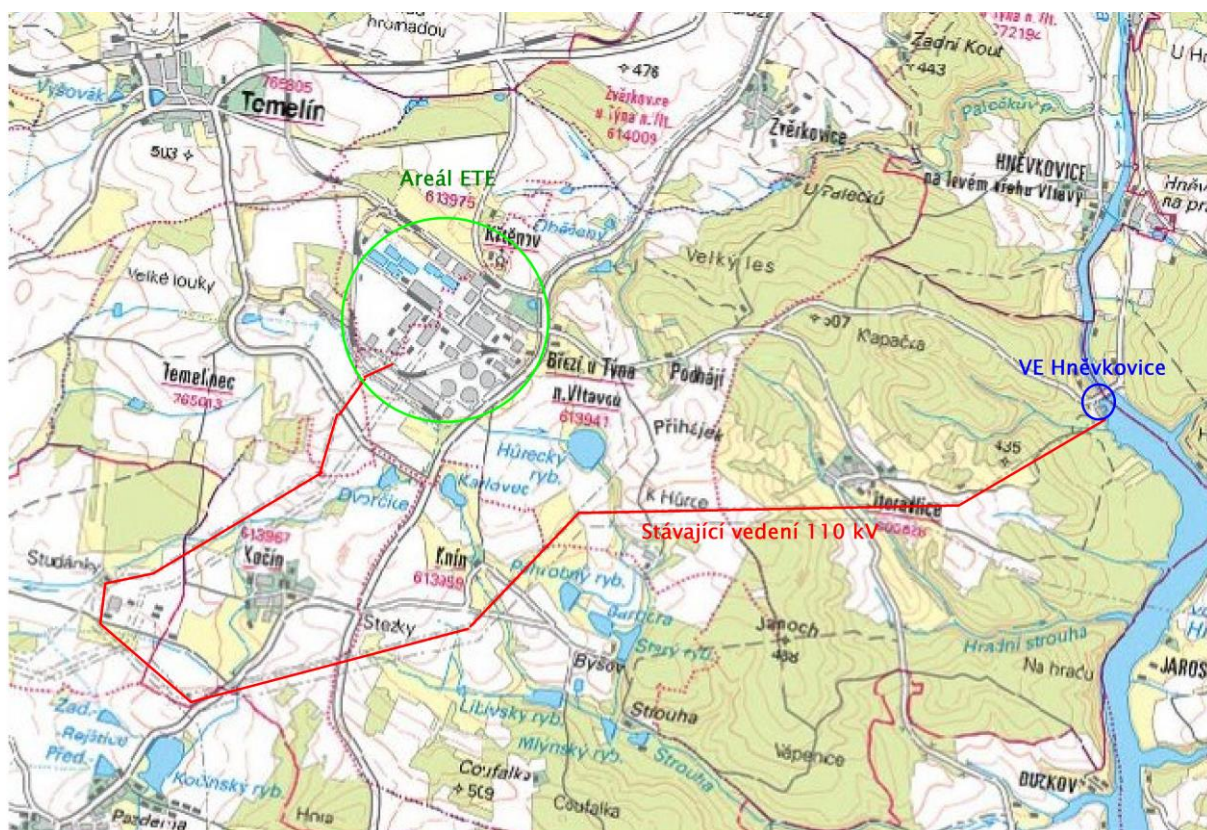


Nedostatek vody může znemožnit využití VE Hněvkovice. Je těžké odhadnout, jak se budou vyvíjet zásoby vody v dalších letech. Během nadprojektové události, která by trvala několik měsíců, může nastat problém, že využitím VE Hněvkovice jako zdroje střídavého napájení pro areál ETE, zároveň dojde k rychlejšímu spotřebování zásoby vody v akumulární nádrži, která se využívá pro potřeby ETE. Tento stav je nežádoucí z důvodu možného nedostatku vody pro chladicí systémy. Během takovéto situace by muselo být napájení zajištěno z jiného zdroje.

4. Využití stávajících tras vedení a energetická rozvaha možnosti najetí VE ze tmy

V současné době je propojení mezi VE Hněvkovice a areálem ETE realizováno pomocí kabelů 6,3 kV a venkovního vedení 110 kV. Výkon z hydroalternátoru VE Hněvkovice je vyveden pomocí 360 m dlouhého kabelu do rozvodny 110 kV u čerpací stanice ETE, která zásobuje ETE vodou z akumulární nádrže. Z rozvodny u čerpací stanice pokračuje venkovní vedení dlouhé 8,5 km do rozvodny Kočín 110 kV. Tato linka má označení V1346. Rozvodnu Kočín a rezervní transformátor v areálu ETE propojuje vedení V9001 o délce 2,75 km. Mezi rozvodnou rezervního napájení a motorem čerpadla vede kabel dlouhý 230 m.

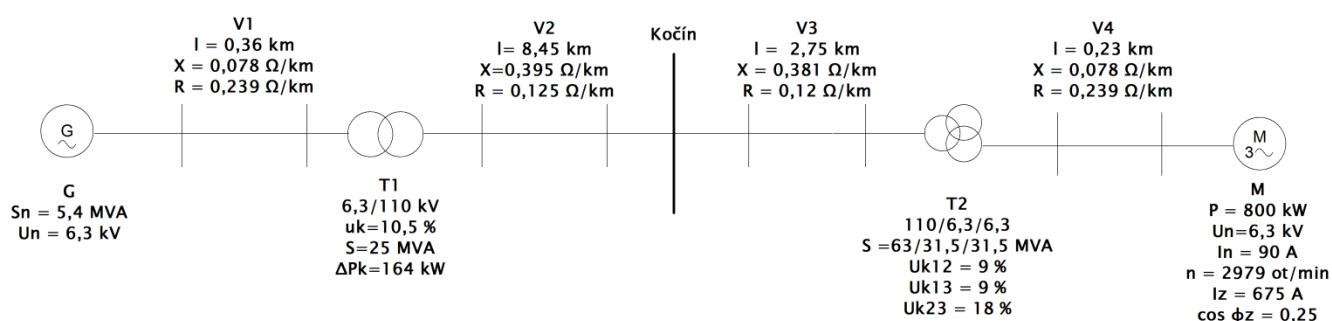
Obrázek 10 – Současné vedení 110 kV mezi VE a ETE [8]



4.1. Připojení motoru na linku mezi VE a ETE

Na obrázku 11 je schéma s parametry jednotlivých částí vodivého spojení mezi hydroalternátorem VE Hněvkovice a motorem v areálu ETE. V příloze 1 je záznam z měření při rozběhu čerpadla TK a v příloze 2 čerpadla TQ. Parametry motoru ve schématu odpovídají čerpadlu TK. Jedná se o asynchronní motor s kotvou nakrátko. Při napájení tohoto motoru z VE Hněvkovice budeme postupovat tak, že nejprve přivedeme napětí na rozvodnu rezervního napájení a posléze přímo připojíme motor čerpadla.

Obrázek 11 - Základní schéma vedení a parametry jednotlivých úseků



Dle normy ČSN 341610 je při rozběhu motoru nutné ověřit úbytek napětí na svorkách motoru.

4.1.1. Úbytek napětí na svorkách motoru

Proud asynchronního motoru při rozběhu přímým připojením na síť dosahuje více než sedminásobku jmenovité hodnoty. Úbytek napětí, který tento proud způsobí, prodlužuje dobu rozběhu motoru a může tak způsobit nepřipustné tepelné namáhání motoru.

Norma ČSN 341610 udává nutnost sjednat dovolenou hodnotu poklesu napětí při rozběhu motoru s výrobcem. Také je zde vztah pro přibližné určení této hodnoty.

$$\Delta u = \frac{m - \sqrt{km}}{m} * 100$$

kde **m** je poměr záběrného momentu ku jmenovitému momentu
k je poměr momentu potřebného pro rozběh motoru ku jmenovitému momentu

Velikost **k** je pro čerpadla dle normy přibližně 0,3. Velikost parametru **m** zvolíme dle literatury 0,5 [10]. Po dosazení do vztahu získáme přibližnou dovolenou velikost úbytku napětí při rozběhu motoru.

$$\Delta u = \frac{0,5 - \sqrt{0,3 * 0,5}}{0,5} 100$$

$$\Delta u = 22,5 \%$$

Nyní je nutné stanovit samotný úbytek napětí při rozběhu motoru. K tomu použijeme tento vztah.

$$\Delta U_f = R * I_z * \cos\varphi_r + X * I_z * \sin\varphi_r + \frac{(R * I_z * \sin\varphi_r - X * I_z * \cos\varphi_r)^2}{2U_f}$$

kde **R** celkový odpor vedení v Ω
X celková reaktance vedení v Ω
cos φ_r účinník při rozběhu motoru
U_f fázové napětí motoru ve V
I_z záběrný proud motoru v A

Fázové napětí a záběrný proud motoru známe. Účinník při rozběhu asynchronního motoru je přibližně 0,25. Zbývá tedy určit celkový odpor a reaktanci vedení.

$$X_{v1} = l * X_{v1km} = 0,36 * 0,078 = 0,028 \Omega$$

$$X_{t1} = u_{k1} * \frac{U_{t12}^2}{S_{t1}} * \left(\frac{U_{t22}}{U_{t21}}\right)^2 = 0,105 * \frac{110^2}{25} * \left(\frac{6,3}{110}\right)^2 = 0,167 \Omega$$

$$X_{v2} = l * X_{v2km} * \left(\frac{U_{t22}}{U_{t21}}\right)^2 = 8,45 * 0,395 * \left(\frac{6,3}{110}\right)^2 = 0,0109 \Omega$$

$$X_{v3} = l * X_{v3km} * \left(\frac{U_{t22}}{U_{t21}}\right)^2 = 2,75 * 0,381 * \left(\frac{6,3}{110}\right)^2 = 0,0034 \Omega$$

$$X_{t2} = u_{k2} * \frac{U_{t22}^2}{S_{t2}} = 0,09 * \frac{6,3^2}{31,5} = 0,113 \Omega$$

$$X_{v4} = l * X_{v4km} = 0,23 * 0,078 = 0,0179 \Omega$$

$$R_{v1} = l * R_{v1km} = 0,36 * 0,239 = 0,086 \Omega$$

$$R_{v2} = l * R_{v2km} * \left(\frac{U_{t22}}{U_{t21}}\right)^2 = 8,45 * 0,125 * \left(\frac{6,3}{110}\right)^2 = 0,003 \Omega$$

$$R_{v3} = l * R_{v3km} * \left(\frac{U_{t22}}{U_{t21}}\right)^2 = 2,75 * 0,12 * \left(\frac{6,3}{110}\right)^2 = 0,001 \Omega$$

$$R_{v4} = l * R_{v4km} = 0,23 * 0,239 = 0,055 \Omega$$

$$R_{t1} = R_{t2} = \Delta P_k * \frac{U_{t12}^2}{S_{t1}^2} * \left(\frac{U_{t22}}{U_{t21}}\right)^2 = 164 * 10^3 * \frac{(110 * 10^3)^2}{(25 * 10^6)^2} * \left(\frac{6,3}{110}\right)^2 = 0,01 \Omega$$

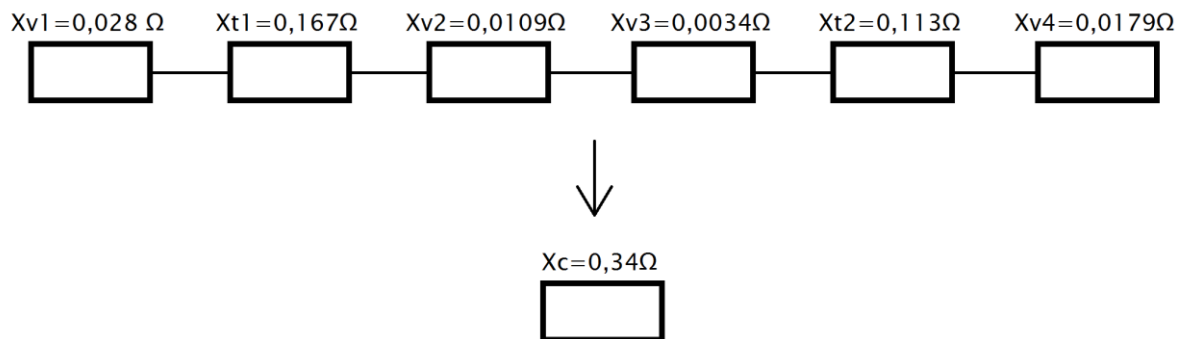
<i>kde</i>	<i>l</i>	<i>délka vedení v km</i>
	X_{vkm}, R_{vkm}	<i>příslušné reaktance a odpory vedení v Ωkm^{-1}</i>
	u_k	<i>poměrné napětí nakrátko transformátoru v %</i>
	ΔP_k	<i>ztráty transformátoru nakrátko ve W</i>

Nyní již můžeme sečíst dílčí reaktance a odpory. Reaktance a odpory jsou řazeny sériově, takže celková reaktance X_c a odpor R_c jsou dány vztahy:

$$X_c = X_{v1} + X_{t1} + X_{v2} + X_{v3} + X_{t2} + X_{v4} = 0,34\Omega$$

$$R_c = R_{v1} + R_{t1} + R_{v2} + R_{v3} + R_{t2} + R_{v4} = 0,165\Omega$$

Obrázek 12 – Náhradní schéma reaktancí



Pro odpory platí obdobné schéma. Máme všechny potřebné hodnoty pro výpočet úbytku napětí. Stačí je dosadit do původní rovnice.

$$\Delta U_f = R_c * I_z * \cos\varphi_r + X_c * I_z * \sin\varphi_r + \frac{(R_c * I_z * \sin\varphi_r - X_c * I_z * \cos\varphi_r)^2}{2U_f}$$

$$\Delta U_f = 0,165 * 675 * 0,25 + 0,34 * 675 * 0,97 + \frac{(0,165 * 675 * 0,97 - 0,34 * 675 * 0,25)^2}{2 * 3640}$$

$$\Delta U_f = 251 V$$

$$\Delta U = \Delta U_f * \sqrt{3} = 434 V$$

$$\Delta u = \frac{\Delta U}{U_n} * 100 = \frac{434}{6300} * 100 = 6,9 \%$$

Výpočtem jsme určili úbytek napětí na svorkách asynchronního motoru při rozběhu přímým připojením na síť. Vypočtená hodnota 6,9 % splňuje stanovenou hranici maximálního úbytku napětí 22,5 %.

4.2. Možnosti najetí VE Hněvkovice ze tmy

Vodní elektrárna Hněvkovice není v současné době konstruována pro najetí do provozu bez vnějšího zdroje napájení. Příkon vlastní spotřeby elektrárny však je přibližně 40 kW. Lze tedy bez problémů zajistit mobilní dieselgenerátor s dostatečným výkonem, který bude umístěn v areálu a v případě potřeby se použije ke startu VE.

4.3. Zhodnocení možností využití stávající trasy

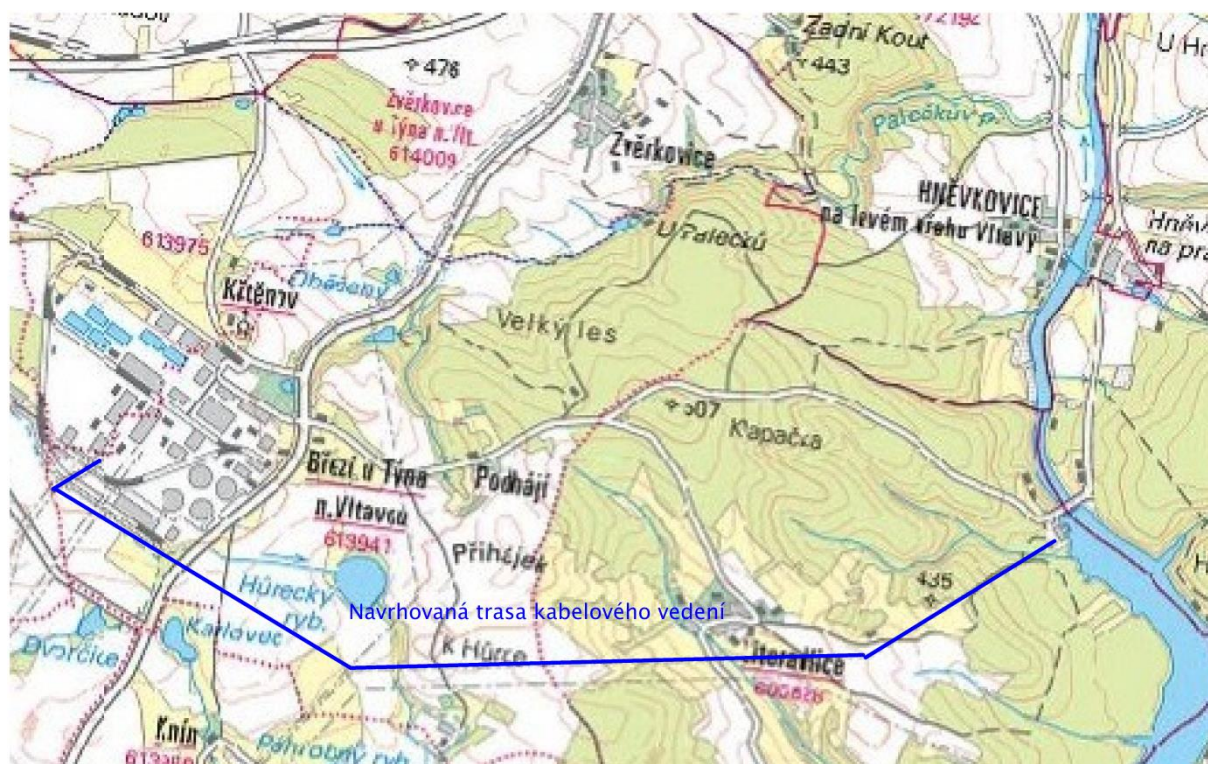
Současné vedení se zdá vhodné k využití pro propojení VE a areálu ETE. Úbytek napětí na svorkách motoru při jeho rozběhu 6,9 % není velký a nikterak neomezuje využití této varianty. Jedná se však o bezpečnostní prvek JE, a proto je nutné ověřit možnosti této varianty reálnými zkouškami. V dubnu letošního roku proběhla zkouška přivedení napětí z VE Hněvkovice na rozvodnu v ETE. Záznam z této zkoušky je v příloze 3. Zkouška potvrdila funkčnost tohoto řešení. V druhé polovině května má proběhnout zkouška rozběhu motoru pomocí tohoto napájení. Nevýhodou této varianty je nutnost vyčlenit tuto trasu z elektrické soustavy, což může trvat až několik desítek minut. Další nevýhodou může být náchylnost venkovního vedení na povětrnostní podmínky. Využití VE Hněvkovice připadá v úvahu při nadprojektových událostech. Událost, která vyřadí všechny diverzifikované zdroje elektrického napájení ETE, s vysokou pravděpodobností poškodí venkovní vedení a tím znemožní využití této varianty.

5. Návrh a posouzení možností samostatného přímého kabelového vedení VE - JE

Samostatné kabelové vedené mezi VE Hněvkovice a ETE má několik výhod, oproti stávajícímu kabelovému vedení. V první řadě kabelové vedení uložené v zemi odolá většímu množství potenciálních příčin nadprojektových událostí. Dále přímé kabelové vedení zkrátí dobu potřebnou pro propojení obou míst. Drobnou výhodou může být zlepšení účinnku díky vyšší kapacitě kabelového vedení.

Hlavní nevýhodou samostatného kabelového vedení jsou vysoké náklady na výstavbu a celkově problematická výstavba. Trasa nového kabelového vedení by měla být co nejkratší. Délka současného venkovního vedení je 11,5 km. Navrhovaná trasa nového kabelového vedení měří 6,2 km.

Obrázek 13 – Trasa navrhovaného kabelového vedení



Navrhovaná trasa kabelového vedení ve více jak polovině své délky kopíruje trasu současné linky 110 kV. Část trasy především u čerpací stanice ETE vede lesem. Prostor kolem venkovního vedení je holý a to usnadní pokládku kabelového vedení. Navrhovaná trasa kříží potok a v druhé polovině vede mezi dvěma rybníky. Na základě geologického průzkumu bude nutné zvážit využití speciálních kabelů s vyšší odolností proti vodě. Pro účely této práce nebudeme uvažovat nutnost využití speciálních kabelů.

5.1. Volba kabelu

Pro propojení VE Hněvkovice a ETE využijeme kabel určený pro napěťovou hladinu 6-10 kV. Pokud využijeme trasu na stejné napěťové hladině, na které pracuje hydroalternátor, sníží se náklady potřebné na výstavbu nové trasy. Na obrázku 14 je vidět řez zvoleným kabelem. Jde o kabel s hliníkovým jádrem o průřezu 500 mm².

Obrázek 14 – Schéma kabelu [11]



1 - Hliníkové jádro

2 – Vnitřní polovodivá vrstva

3 – Izolace ze zesíťovaného polyethylenu

4 - Vnější polovodivá vrstva

5 – Polovodivá páska

6 – Stínění měděnými dráty

7 – Nevodivá páska

8 – Vnější PE plášť

Jedná se o běžný kabel vhodný jak pro volné uložení ve vzduchu na nosné konstrukci, tak pro uložení do země. Důležité parametry kabelu jsou uvedeny v tabulce 7.

Tabulka 7 – Parametry kabelu [11]

Délka kabelu	6,2 km
Jmenovité napětí	6/10 kV
Průřez žil	500 mm ²
Činný odpor	0,061 Ωkm ⁻¹
Indukčnost	0,28 mHkm ⁻¹
Proudová zatížitelnost	602 A
Ekvivalentní zkratový proud	14,2 kA

5.1.1. Úbytek napětí

Pro výpočet úbytku napětí na kabelovém vedení při rozběhu použijeme stejný postup, který byl popsán v předchozí kapitole. Nejprve vypočteme odpor a reaktanci kabelového vedení.

$$X_{kkm} = L_{km} * 2 * \pi * f = 0,00028 * 2 * \pi * 50 = 0,088 \Omega \text{km}^{-1}$$

$$X_k = l * X_{kkm} = 6,2 * 0,088 = 0,54 \Omega$$

$$R_k = l * R_{kkm} = 6,2 * 0,061 = 0,38 \Omega$$

kde X_{vkm}, R_{vkm} příslušné reaktance a odpory vedení v Ωkm^{-1}
 f frekvence v Hz
 L_{km} indukčnost kabelového vedení v Hkm^{-1}

Nyní můžeme dosadit do vztahu pro výpočet úbytku napětí. V navrhované kabelové trase není žádný transformátor. To sníží náklady na výstavbu a jednoduchost vedení zvýší odolnost proti extrémním událostem. Celkový odpor a reaktance se tedy rovná odporu a reaktanci kabelového vedení.

$$\Delta U_f = R_k * I_z * \cos\varphi_r + X_k * I_z * \sin\varphi_r + \frac{(R_k * I_z * \sin\varphi_r - X_k * I_z * \cos\varphi_r)^2}{2U_f}$$

$$\Delta U_f = 0,38 * 675 * 0,25 + 0,54 * 675 * 0,97 + \frac{(0,38 * 675 * 0,97 - 0,54 * 675 * 0,25)^2}{2 * 3640}$$

$$\Delta U_f = 421V$$

$$\Delta U = \Delta U_f * \sqrt{3} = 729 V$$

$$\Delta u = \frac{\Delta U}{U_n} * 100 = \frac{729}{6300} * 100 = 11,6\%$$

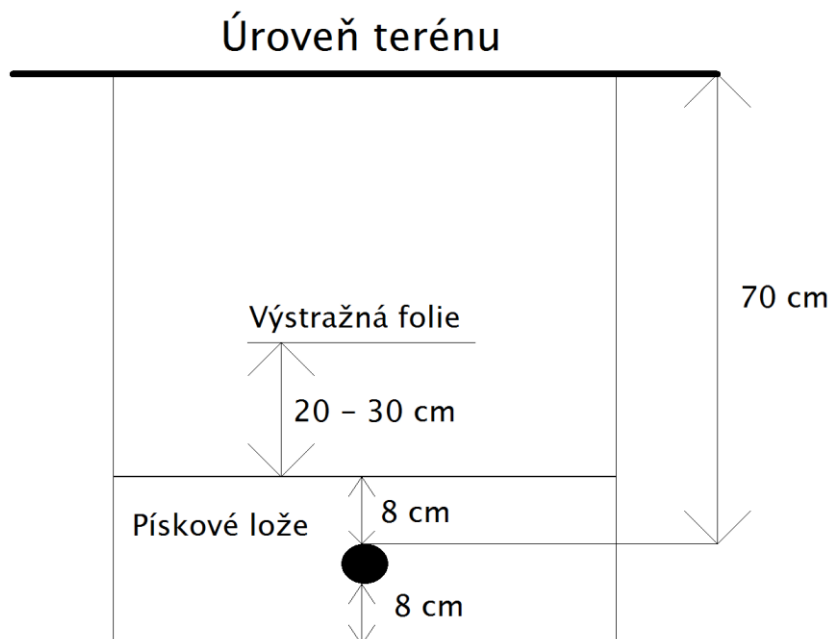
Průřez žíly kabelu byl zvolen co největší, aby výsledný úbytek napětí nebyl několikanásobně vyšší než u venkovního vedení. Vypočtený úbytek napětí by byl reálně menší díky kapacitě kabelového vedení, která by kladně ovlivnila účinník. Úbytek napětí 11,6 % nepřekračuje maximální dovolený úbytek napětí.

5.1.2. Pokládka kabelu v terénu

Při pokládce kabelového vedení do terénu se musí dodržovat několik zásad. Kabely se ukládají 70 cm pod úroveň terénu do pískového lože. Před vysypáním dna výkopu pískem, je nutné vyčistit dno výkopu od pevných částic a kamenů. Musí být použit jemnozrnný písek o

velikost frakce 0 – 4 mm. To ochrání kabel před mechanickým poškozením. Do zčásti zasypaného výkopu se položí výstražná folie, která však musí překrývat kabel nejméně o 4 cm na obě strany. Uložení kabelu do země je popsáno na obrázku 15.

Obrázek 15 – Uložení kabelu do země



5.2. Zhodnocení možností přímého kabelového vedení

Výstavba přímého kabelového vedení mezi VE Hněvkovice a ETE nevypadá jako reálná varianta. Hlavní problémem je cena výstavby. Kabelové vedení má oproti stávajícímu venkovnímu vedení i některé výhody. Díky své jednoduchosti a uložení v zemi má zajiště výrazně vyšší odolnost proti poškození než stávající venkovní vedení. Další výhodou je rychlost propojení obou míst. U přímého kabelového vedení není nutné vyčleňovat trasu vedení jako u stávajícího venkovního vedení. To urychlí propojení obou míst. I přes výhody uvedené výše, realizace kabelového vedení o délce 6,2 km není levnou záležitostí, a když uvážíme reálné využití tohoto kabelového vedení pouze při nadprojektových událostech,

nezbývá než tuto variantu zavrhnout. Finanční prostředky pro zvýšení bezpečnosti lze vynaložit efektivněji, než na výstavbu přímého kabelového vedení mezi VE Hněvkovice a ETE.

V úvahu připadá také varianta výstavby nového venkovního vedení, které by navazovalo na stávající venkovní vedení v místě, kde navrhované kabelové vedení odbočuje od trasy stávající venkovního vedení. Tímto by došlo ke zkrácení délky venkovního vedení téměř na polovinu. Především by součástí nově vzniklé linky nebyla rozvodna Kočín. Tím by došlo ke zvýšení pravděpodobnosti, že linka zůstane neporušena při mimořádné události.

6. Závěr

Zvyšování bezpečnosti jaderných elektráren je velmi důležité. Ať už se jedná o projekty nových jaderných zdrojů nebo již provozované jaderné elektrárny, bezpečnost by měla být vždy na prvním místě. Především události na jaderné elektrárně Fukushima ukázaly možné nedostatky v zabezpečení. Proto každé zlepšení bezpečnosti může hrát důležitou roli při mimořádných událostech.

Využití VE Hněvkovice pro napájení motoru čerpadla v areálu ETE je zajímavou možností, jak zajistit alespoň nějaký zdroj napájení v krizové situaci. Je však důležité vzít v úvahu reálné možnosti VE Hněvkovice. Akumulační nádrž VE Hněvkovice slouží především jako zdroj technologické vody pro areál ETE. Tato funkce by měla být zajištěna za všech okolností. Celkový instalovaný výkon VE Hněvkovice je 8,6 MW. Reálně však díky omezeným zásobám vody lze dosáhnout výkonu přibližně 3 MW na jeden hydroalternátor. VE není v současné době schopna startu ze tmy bez vnějšího zdroje napájení. Uvažuje se o jeho umístění do areálu VE Hněvkovice.

Současné venkovní vedení zdá se vyhovuje potřebám vyvedení výkonu z VE do ETE. Jeho nevýhodou je především potřeba vyčlenění této trasy z distribuční soustavy. Diskutabilní je také odolnost venkovního vedení proti možným příčinám selhání všech diverzifikovaných zdrojů střídavého napájení ETE.

Výstavby přímého kabelového vedení mezi VE a ETE není vhodné řešení. Finanční náklady na výstavbu jsou příliš vysoké.

Využití VE Hněvkovice pro napájení zařízení v ETE je možné. Lze využít i stávající venkovní vedení 110 kV. Je však nutné stanovit přesné postupy a omezení využití této varianty. Bude nutné provést zkoušky všech fází propojení VE a ETE. Stanovit především čas, za který je VE schopna startu ze tmy, při využití mobilního zdroje napájení. Určit dobu, jakou potrvá vyčlenění trasy 110 kV. A především ověřit celkovou funkčnost.

7. Seznam použitých zkratk

<i>APS</i>	<i>Automatika postupného spouštění</i>
<i>AZ</i>	<i>Aktivní zóna</i>
<i>BS</i>	<i>Bezpečnostní systém</i>
<i>BSVP</i>	<i>Bazén skladování vyhořelého paliva</i>
<i>DG</i>	<i>Diesलगenerátor</i>
<i>ETE</i>	<i>Elektrárna Temelín</i>
<i>HČČ</i>	<i>Hlavní cirkulační čerpadlo</i>
<i>HŘS</i>	<i>Hlavní řídicí středisko</i>
<i>HSCHZ</i>	<i>Havarijní systém chlazení</i>
<i>CHNR</i>	<i>Chladicí nádrže s rozstříkem</i>
<i>IAEA</i>	<i>Mezinárodní agentura pro atomovou energii</i>
<i>I.O</i>	<i>Primární okruh</i>
<i>JE</i>	<i>Jaderná elektrárna</i>
<i>LOOP</i>	<i>Úplná ztráta napájení vlastní spotřeby</i>
<i>LOCA</i>	<i>Havárie spojená s únikem chladiva z I.O</i>
<i>MVE</i>	<i>Malá vodní elektrárna</i>
<i>PG</i>	<i>Parogenerátor</i>
<i>SBO</i>	<i>Úplná ztráta střídavého napájení</i>
<i>SKŘ</i>	<i>Systém kontroly a řízení</i>
<i>SNB</i>	<i>Systém nedůležitý z hlediska bezpečnosti</i>
<i>SSB</i>	<i>Systém související s bezpečností</i>
<i>SZN</i>	<i>Systém zajištěného napájení</i>
<i>TG</i>	<i>Turbogenerátor</i>
<i>TVD</i>	<i>Technická voda důležitá</i>
<i>VE</i>	<i>Vodní elektrárna</i>
<i>VS</i>	<i>Vlastní spotřeba</i>

8. Použitá literatura

[1] Jaderná bezpečnost: Bezpečnost jaderné elektrárny Temelín. *Jaderná bezpečnost* [online]. [cit. 2015-04-17]. Dostupné z: <http://www.jaderna-bezpecnost.cz/bezpecnost-je-temelin.htm>

[2] Bezpečnost. SKUPINA ČEZ. *Výroba elektřiny* [online]. [cit. 2015-04-17]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/jaderna-energetika/jaderne-elektrarny-cez/ete/technologie-a-zabezpeceni/12.html#1>

[3] Jaderné elektrárny. SÚRO. *Státní ústav radiční ochrany* [online]. [cit. 2015-04-17]. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/radiacni-ochrana/usmernovani-ozareni-pri-cinnostech/jaderne-elektrarny>

[4] Ocenění bezpečnosti a bezpečnostních rezerv JE Temelín (z pohledu skutečností havárie JE Fukushima). In: *Zátěžové testy ETE* [online]. 22.12.2011 [cit. 27.3.2015]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/edee/content/file/energie-a-zivotni-prostredi/temelin/zaverecna-zprava-zt-ete.pdf>

[5] Švec, J. (ed.): *Návrh a rozvoj elektroenergetických sítí*. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04939-6.

[6] Hněvkovice, Obnovitelné zdroje. *Skupina ČEZ* [online]. [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje/voda/hnevkovice.html>

[7] Povodí Vltavy. *Hladiny vody v nádržích* [online]. 2015 [cit. 2015-04-27]. Dostupné z: <http://www.pvl.cz/portal/Nadrze/cz/PC/Mereni.aspx?id=VLHN&oid=1>

[8] Nahlížení do katastru nemovitostí. *Katastr nemovitostí* [online]. 2015 [cit. 2015-04-28]. Dostupné z:

<http://sgi.nahlizenidokn.cuzk.cz/marushka/default.aspx?themeid=3&&MarQueryId=6D2BCEB5&MarQParam0=772127&MarQParamCount=1&MarWindowName=Marushka>

[9] ČSN 341610. *Elektrický silnoproudý rozvod v průmyslových provozovnách*. Praha: Vydavatelství úřadu pro normalizaci a měření, 1963.

[10] DOČEKAL A, BOUČEK S. ČVUT. *Elektrárny II*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1995. ISBN 80-01-01279-4.

[11] Nkt cables. *Energetické kabely* [online]. 2012 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: http://www.nktcables.com/sitecore/shell/Controls/Rich%20Text%20Editor/~/_media/Files/NktCables/download%20files/cz/MV_Catalog.pdf

[12] Předpisy pro výstavbu kabelových sítí VN. *Cezdistribuce* [online]. 2006 [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: <http://www.cezdistribuce.cz/edee/content/file-other/distribuce/technicke-informace/priloha-4.doc>

[13] Technické podklady ČEZ, a.s.: VE Hněvkovice, R400 Kočín a JE Temelín

9. Seznam obrázků

OBRÁZEK 1 – PRINCIP OCHRANY DO HLOUBKY	4
OBRÁZEK 2 - SCHÉMA ROZDĚLENÍ ZAŘÍZENÍ DO JEDNOTLIVÝCH SKUPIN	6
OBRÁZEK 3 - ZÁKLADNÍ SCHÉMA VLASTNÍ SPOTŘEBY ETE	10
OBRÁZEK 4 – MOŽNOSTI ODVODU TEPLA Z AZ	16
OBRÁZEK 5 – ZBYTKOVÝ TEPELNÝ VÝKON PO ODSTAVENÍ REAKTORU	19
OBRÁZEK 6- ZJEDNODUŠENÉ SCHÉMA NORMÁLNÍHO DOPLŇOVÁNÍ	27
OBRÁZEK 7 – ZJEDNODUŠENÉ SCHÉMA NÍZKOTLAKÉHO HSCHZ	29
OBRÁZEK 8 – ZJEDNODUŠENÉ SCHÉMA HAVARIJNÍHO NAPÁJENÍ PG	30
OBRÁZEK 9 – MĚSÍČNÍ PŘEHLED STAVU HLADINY VE HNĚVKOVICE [7]	31
OBRÁZEK 10 – SOUČASNÉ VEDENÍ 110 KV MEZI VE A ETE [8]	33
OBRÁZEK 11 - ZÁKLADNÍ SCHÉMA VEDENÍ A PARAMETRY JEDNOTLIVÝCH ÚSEKŮ	34
OBRÁZEK 12 – NÁHRADNÍ SCHÉMA REAKTANCÍ	37
OBRÁZEK 13 – TRASA NAVRHOVANÉHO KABELOVÉHO VEDENÍ	39
OBRÁZEK 14 – SCHÉMA KABELU [11]	40
OBRÁZEK 15 – ULOŽENÍ KABELU DO ZEMĚ	43

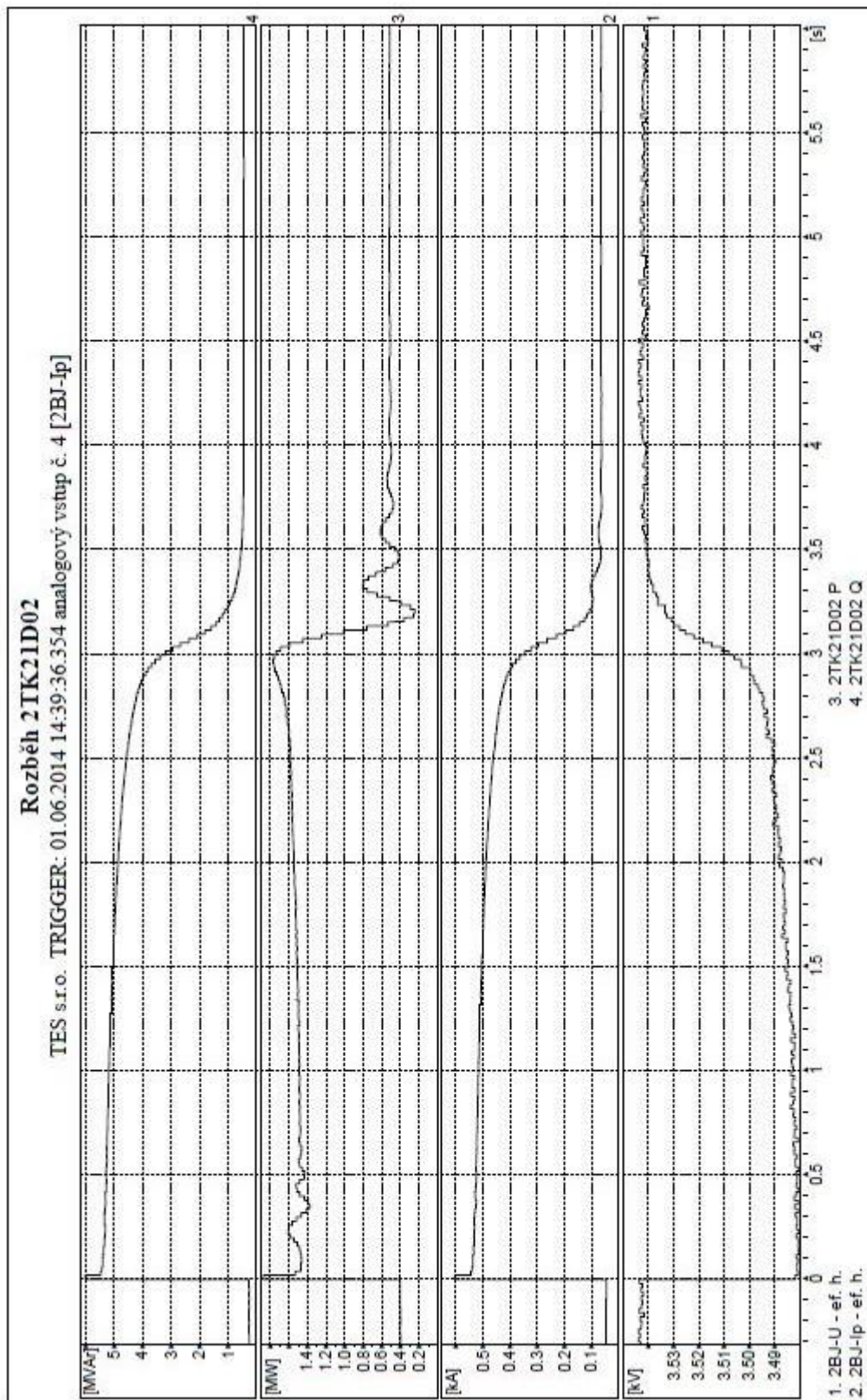
10. Seznam tabulek

TABULKA 1 – PŘEHLED ZDROJŮ ELEKTRICKÉHO NAPÁJENÍ [4]	12
TABULKA 2 – PROVOZNÍ REŽIMY JADERNÉHO BLOKU [4]	17
TABULKA 3 - HLAVNÍ ÚDAJE VODNÍHO DÍLA [13]	21
TABULKA 4 - TECHNICKÉ ÚDAJE TURBÍNY [13]	23
TABULKA 5 - TECHNICKÉ ÚDAJE HYDROALTERNÁTORU [13]	24
TABULKA 6 – SEZNAM ČERPADEL	25
TABULKA 7 – PARAMETRY KABELU [11]	41

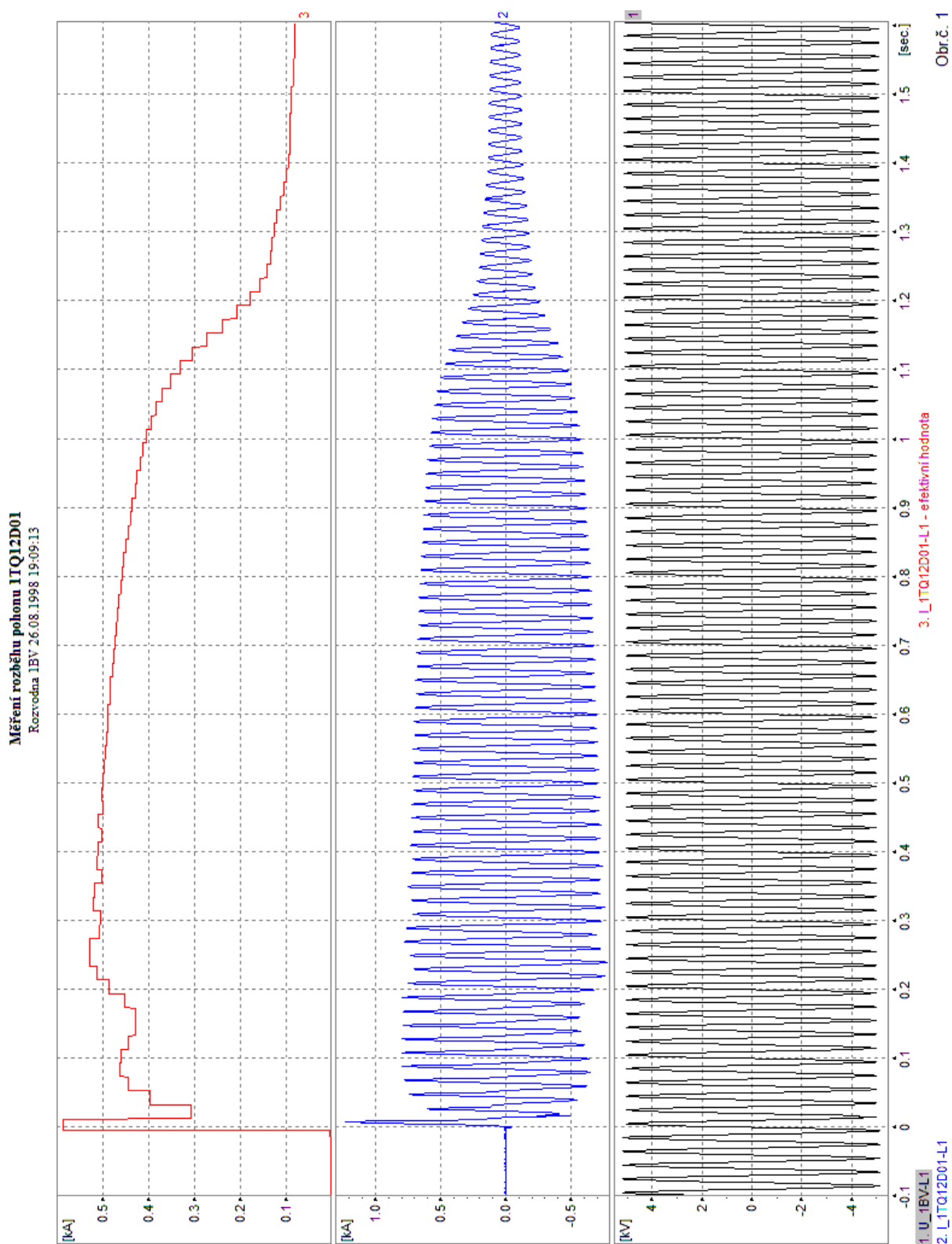
11. Seznam příloh

PŘÍLOHA 1 – ROZBĚH ČERPADLA TK [13]	52
PŘÍLOHA 2 – ROZBĚH ČERPADLA TQ [13].....	53
PŘÍLOHA 3 – MĚŘENÍ PŘI ZKOUŠCE PŘIVEDENÍ NAPĚTÍ DO ROZVODNY V ETE [13]	54
PŘÍLOHA 4 – PRINCIPIÁLNÍ SCHÉMA ETE [4]	55

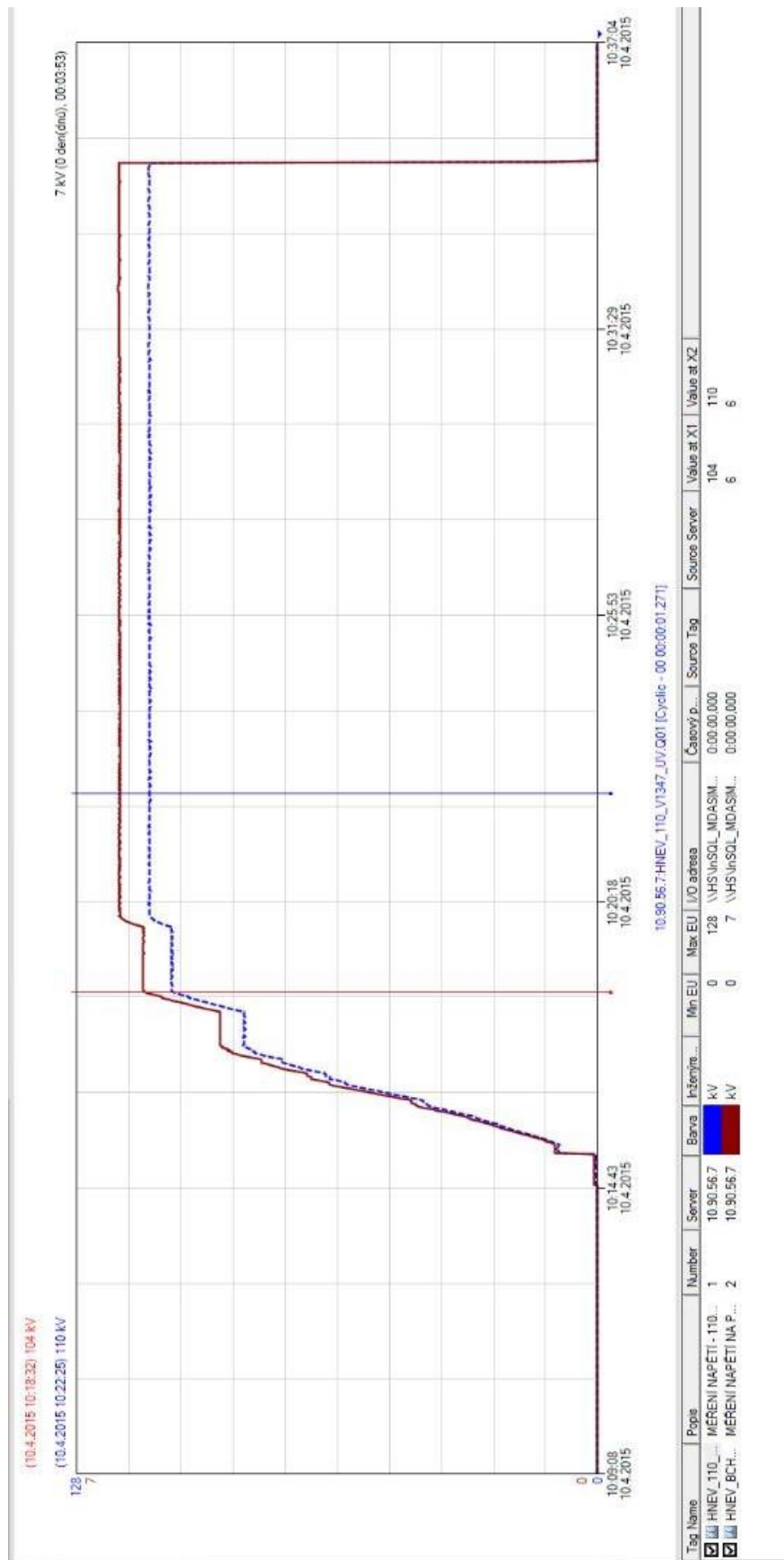
Příloha 1 – Rozběh čerpadla TK [13]



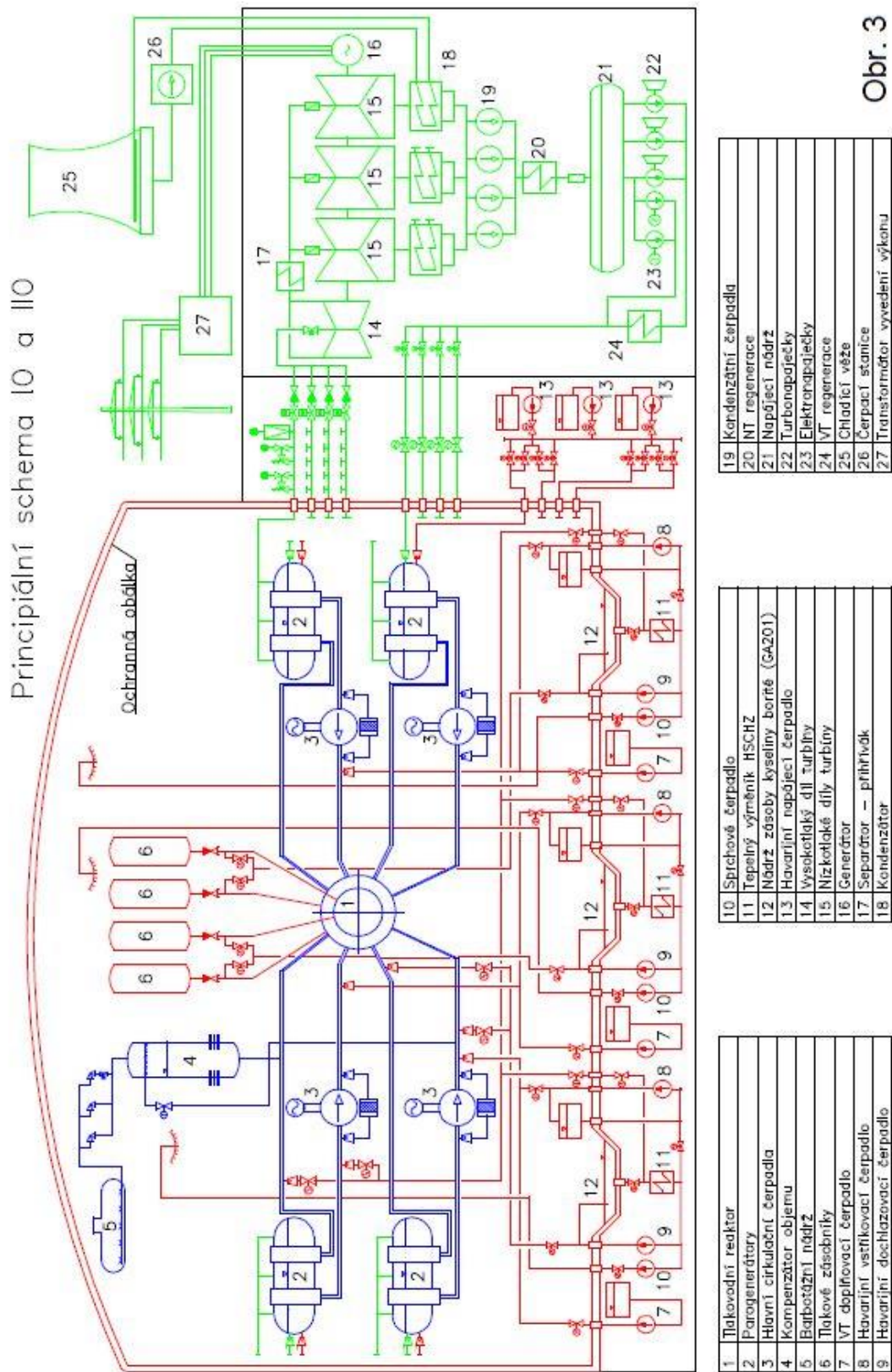
Příloha 2 – rozběh čerpadla TQ [13]



Příloha 3 – Měření při zkoušce přivedení napětí do rozvodny v ETE [13]



Příloha 4 – Principiální schéma ETE [4]



Obr. 3