



Přírodovědecká
fakulta
Faculty
of Science

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

Bakalářská práce

**Technicko – ekonomická studie
blokových transformátorů
VVER1000**

Jan Timko

Školitel: Ing. Vladan Hanák

České Budějovice 2016

Bibliografické údaje: Autor, (*Timko J.*)2016: Technicko-ekonomická studie blokových transformátorů VVER1000 (Technical and economic study of unit transformers VVER1000, Bachelor Thesis, in Czech,-43p., Faculty of Science, The University of South Bohemia, České Budějovice, Czech Republic.

Abstrakt

Práce se bude zabývat konkrétními poruchovými a abnormálními stavy blokových transformátorů hlavního výrobního bloku VVER1000 zažitých z praxe, například mezizávitový zkrat na transformátoru s následnou deformací nádoby, prasklým potrubím suchovodu SHZ, poruchou signalizace poklesu tlaku vzduchu pro SHZ a její falešné zapůsobení a jako poslední téma budou probrány vysoké teploty na druhé jednotce blokového transformátoru. U těchto stavů budou probrány příčiny, kterými se transformátory do takovýchto situací dostaly a jak byly tyto poruchové stavy vyřešeny. Dále budou prozkoumány možnosti prevence a ochranná opatření před vznikem dalších poruch stejného typu a jak je možné tyto poruchy předvídat. Spolu s analýzou poruch bude prozkoumáno monitorovací zařízení Multitrans a jeho funkčnost v praxi.

Teoretická část se bude zabývat technologickým zmapováním funkčních celků jaderné elektrárny Temelín včetně hlavního výrobního bloku VVER1000, popisem blokových transformátorů a dalšího navazujícího zařízení. Dále budou teoreticky popsány ochrany při poruchách již zmíněných blokových transformátorů, automatiky a pravidelné činnosti personálu sloužící pro bezpečný provoz zařízení.

Závěr práce se bude věnovat možné optimalizaci blokových transformátorů, statistickému porovnání stávajícího a navrhovaného stavu tohoto zařízení, podnětům pro snížení poruchovosti zařízení a zlepšení celkové spolehlivosti v provozu.

Cílem této práce bude poukázat na možnost vylepšení stávajícího zařízení tak, aby se v budoucnu důkladněji zamezilo dalším poruchám, které už se na blokových transformátorech v minulosti staly a aby se zvýšila životnost nejen transformátorů, ale všech s nimi souvisejících prvků, které dohromady pracují jako celek. Dalším aspektem této práce bude sepsat významné poruchy a závady, do jednoho dokumentu, který v budoucnu může posloužit jako zpětná vazba při řešení problémů, které se mohou vyskytnout při dalším dlouhodobém provozu transformátorů a to nejen na elektrárnách.

Klíčová slova

Jaderná elektrárna Temelín, blokové transformátory hlavního výrobního bloku, porucha, provoz

Abstract

The bachelor thesis will deal with the concrete faulty and abnormal conditions of unit transformers of the main production unit VVER1000 experienced by practice, for example, the inter-turn short circuit in the transformer with subsequent deformation of the container, ruptured dry riser pipework of stable fire-fighting equipment (SFFE), the failure of indication of air pressure drop for SFFE and its false activations. The last mentioned topic will discuss the high temperature of the second unit of the unit transformer. In these conditions, it will cope with causes, why the transformers in such situations failed and how these faulty conditions were resolved. They will also explore the possibilities of prevention and protection measures before the occurrence of other disorders of the same type and how it is possible to predict these disorders. Along with the analysis of failures will be explored Multitrans monitoring equipment and its operation in practice.

The theoretical part will concern the technological mapping of functional units of Temelin Nuclear Power Plant including the main production unit VVER1000, describing the unit transformers and other related equipment. Then, there will be theoretically described the protection of disorders of the aforementioned unit transformers, automation and regular activities of staff serving for safe operation.

Finally, the work will deal with optimization of the unit transformers, statistical comparison of the current and proposed state of this facility, incentives to reduce equipment failure rates and improve the overall reliability in operation.

The aim of this thesis will be to highlight the possibility of improvement of existing equipment in order to more thoroughly avoid further failures in the future, which happened to block transformers in the past, and to increase the service life not only of transformers, but of all other related elements that together work as a whole. The next aspect of this thesis will be to draw up significant faults and problems to the single document, which can in the future serve as a feedback for solutions to problems that may occur during the next long-term operation of transformers and not only in power stations.

Keywords


Temelin Nuclear Power Plant, unit transformers of the main production unit, fault, safe operation

Prohlášení

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

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě – v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných Přírodovědeckou fakultou - elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích, 14.12.2016



Jan Tímko

Poděkování

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Vladanovi Hanákovi za velmi dobrou spolupráci, odbornou pomoc, užitečné rady a poskytnutí mnoha materiálů potřebných pro zpracování mé bakalářské práce.

Dále bych chtěl poděkovat systémovým inženýrům jaderné elektrárny Temelín za ochotné odpovědi na mé dotazy ohledně zařízení, která spravují, vedoucím a kolegům z provozu elektro a operátorům blokové dozorny, kteří mi pomáhali s vyhledáváním dokumentů, předpisů, norem a dalšího materiálu, díky němuž jsem mohl tuto práci napsat.

Obsah

Obsah	5
Úvod	8
Seznam použitých zkratk	10
1 Popis jaderné elektrárny	11
1.1 Historie	11
1.2 Poloha elektrárny	11
1.3 Napojení na elektrifikační síť	12
1.3.1 Vyvedení výkonu	12
1.3.2 Rezervní napájení vlastní spotřeby	12
1.4 Charakteristika objektů JE	12
1.5 Hlavní výrobní blok	13
1.5.1 Budova reaktoru	13
1.5.2 Ventilační komín	14
1.5.3 Nádrže čistého kondenzátu	14
1.5.4 Strojovna	14
1.5.5 Blokovaná výměňková stanice	15
1.5.6 Rozvodna	15
1.5.7 Venkovní transformátory HVB	15
1.6 Pomocné objekty	16
1.6.1 Budova aktivních a pomocných provozů	16
1.6.2 Provozní budova	16
1.6.3 Budova ústřední elektrické dozorny	16
1.6.4 Systémová a společná DGS	16
1.6.5 Chladicí nádrže s rozstříkem	17
1.6.6 Chladicí věže HVB1 a HVB2	17
1.6.7 Výměňková stanice – neblokovaná	17

1.6.8	Vodojem surové vody	18
1.6.9	Úpravna chladící vody.....	18
1.6.10	Chemická úpravna vody	18
1.6.11	Hlavní technologické dílny.....	18
1.6.12	Skład vyhořelého jaderného paliva.....	18
1.7	Základní schéma jaderné elektrárny.....	18
1.7.1	Primární část.....	19
1.7.2	Sekundární část.....	19
1.7.3	Elektrická část.....	19
2	Transformátory	19
2.1	Rozdělení transformátorů.....	20
2.1.1	Podle počtu fázových vodičů.....	20
2.1.2	Podle provedení magnetického obvodu.....	20
2.1.3	Podle způsobu chlazení	22
2.2	Princip transformátoru.....	22
2.2.1	Ideální transformátor	22
2.2.2	Skutečný transformátor.....	24
3	Blokový olejový transformátor 400MVA.....	27
3.1	Základní technické parametry blokového transformátoru	28
3.2	Konstrukce blokového transformátoru.....	28
3.2.1	Nádoba transformátoru	29
3.2.2	Průchodky 420kV	29
3.2.3	Dielektrikum.....	30
3.2.4	Průchodky 123kV	30
3.2.5	Průchodky 24kV	30
3.2.6	Dilatační nádoba	30
3.2.7	Plynové relé	30
3.2.8	Chladiče	31

3.2.9	Rozvaděče.....	31
3.2.10	SHZ.....	31
3.3	Provozování blokových transformátorů	32
3.4	Uvedení transformátoru pod napětí.....	32
3.5	Odstavení transformátoru.....	32
3.6	Režimové automatiky.....	33
3.7	Elektrické ochrany.....	33
3.8	Pravidelné kontroly	34
4	Poruchové stavy blokových transformátorů	34
4.1	Mezizávitový zkrat.....	35
4.1.1	Vznik poruchy a její analýza	35
4.1.2	Optimalizace stávajícího zařízení.....	36
4.2	Multitrans	38
4.3	Prasklé potrubí suchovodu SHZ.....	41
4.3.1	Vznik závady a její analýza	41
4.3.2	Optimalizace stávajícího zařízení.....	42
4.4	Porucha signalizace poklesu tlaku vzduchu pro SHZ	42
4.4.1	Vznik poruchy a její analýza	42
4.4.2	Optimalizace stávajícího zařízení.....	43
4.5	Vysoké teploty oleje transformátoru	44
4.5.1	Provozní teploty transformátorů.....	44
4.5.2	Signalizace poruchy transformátoru od zvýšené teploty.....	48
4.5.3	Optimalizace stávajícího zařízení.....	49
5	Shrnutí práce.....	52
	Seznam tabulek.....	55
	Seznam obrázků.....	56
	Seznam použité literatury	57
	Seznam příloh.....	58

Úvod

V dnešní době, kdy se stále více spoléháme na elektrickou energii, se kterou se setkáváme na každém kroku a bez níž už si zkrátka nedokážeme představit běžný den, ji bereme jako samozřejmost. Při pohledu na rozsvícená světla a zapnuté spotřebiče nás ovšem nenapadne, z jakých zdrojů tato nezbytná součást moderního a civilizovaného světa pochází.

Stále častěji se setkáváme s tím, že se upřednostňuje takzvaná „zelená energie“, což je energie z obnovitelných zdrojů, jako jsou například solární panely, větrné elektrárny, vodní elektrárny a podobně. Mnozí lidé se k těmto zdrojům přiklánějí z důvodu nedůvěry v jadernou energii, či obav, za které mohou jaderné havárie. Příkladem může být nehoda v Černobyli, či nedávná nehoda ve Fukušimě.

Celkově jde o strach z neviditelného radioaktivního záření a jeho dopadu na životní prostředí ve chvíli, kdy k nehodě dojde. To u obnovitelných zdrojů nehrozí. Proto je třeba si uvědomit, jakými způsoby je jaderná elektrárna zabezpečena proti vzniku takovéto události a jak je chráněna v případě jejího vzniku. Tato skutečnost bude jedna z věcí, kterou je nezbytné zmínit v této bakalářské práci.

V první kapitole této práce bude popsána jaderná elektrárna Temelín VVER1000, její historie, stručný popis jednotlivých objektů, jejich účel, návaznosti a aktuální provozování.

V druhé kapitole budou teoreticky popsány transformátory, jejich princip, rozdělení a uvede se rozdíl mezi ideálním a skutečným transformátorem.

Třetí kapitola se bude blíže zaměřovat na blokové transformátory elektrárny Temelín, jejich teoretický popis, funkci, ochrany proti poruchovým stavům a v neposlední řadě i provoz zažitý z praxe, tedy pochůzkové kontroly a likvidaci poruchových stavů.

Ve čtvrté kapitole budou podrobně zkoumány vybrané poruchové a abnormální stavy, které se během provozu na blokových transformátorech udály. Uvede se konkrétní mezizávitový zkrat na transformátoru s následnou deformací nádoby, dále bude probrána závada v podobě prasklého potrubí suchovodu SHZ a porucha signalizace poklesu tlaku vzduchu pro SHZ. Jako další budou zmíněny vysoké teploty oleje druhé jednotky blokového transformátoru. U všech těchto abnormálních stavů bude specifikován jejich původ, účinek na zařízení, jejich následné řešení a v závěru v každé z podkapitol budou navrženy úpravy stávajícího zařízení. Tato kapitola bude rovněž věnována zařízení Multitrans, které je nedílnou součástí blokových transformátorů. Bude popsána jeho funkce v provozu a

spolehlivost tohoto zařízení v praxi.

V páté kapitole budou shrnuty nedostatky blokových transformátorů a jejich možné řešení. Poté budou navrhnuté úpravy teoreticky a statisticky porovnány se stávajícím zařízením a dále budou navrhnuty možné podněty pro zlepšení tohoto zařízení a snížení jeho poruchovosti.

Seznam použitých zkratek

ČEPS	-	Česká energetická přenosová soustava
VVN	-	Velmi vysoké napětí
HVB 1	-	Hlavní výrobní blok 1
HVB 2	-	Hlavní výrobní blok 2
VVN	-	Velmi vysoké napětí
JE	-	Jaderná elektrárna
VD	-	Vodní dílo
JETE	-	Jaderná elektrárna Temelín
HČČ	-	Hlavní cirkulační čerpadlo
MAAE	-	Mezinárodní agentura pro atomovou energii
BÚK	-	Bloková úprava kondenzátu
BAPP	-	Budova aktivních a pomocných provozů
KP	-	Kontrolované pásmo
MaR	-	Měření a regulace
SKŘ	-	System kontrolы řízení
DGS	-	Diesel generátorová stanice
TVD	-	Technická voda důležitá
TVN	-	Technická voda nedůležitá
SHZ	-	Stabilní hasicí zařízení
PV	-	Podpěťové vypínání
APV	-	Automatika podpěťového vypínání
AZR	-	Automatický záskok rezervy
APS	-	Automatika postupného spouštění
ADG	-	Automatika diesel generátoru
AZZ	-	Automatika zpětného zásoku
ZZ	-	Zpětný zások
EPS	-	Elektronický požární systém
HZSp	-	Hasičský záchranný sbor podniku

1 Popis jaderné elektrárny

1.1 Historie

Konečné rozhodnutí o výstavbě Jaderné elektrárny Temelín padlo v roce 1980. Tehdejší plán staveniště byl přizpůsoben pro čtyři bloky VVER 1000. Roku 1982 byl uzavřen kontrakt na dodávku sovětského projektu, který zahrnoval reaktorovnu, budovu aktivních a pomocných provozů a diesel generátorové stanice. Úvodní projekt 1. a 2. bloku byl zpracován v roce 1985. V roce 1986 bylo vydáno stavební povolení a o rok později byla zahájena vlastní stavba. Generálním dodavatelem byla akciová společnost Škoda Praha. [5]

Po listopadové revoluci v roce 1989 byla přehodnocena potřeba výkonu 4000MW v České republice. V roce 1993 rozhodla vláda ČR o dostavbě Jaderné elektrárny Temelín v rozsahu dvou bloků. Po několika změnách v politické i hospodářské oblasti, které se dotýkaly termínu dokončení stavby, bylo v červenci roku 2000 zavezeno palivo do reaktoru a 21. prosince roku 2000 byl první blok přifázován do elektrické soustavy a vyrobil první elektřinu. [5]

1.2 Poloha elektrárny

Jaderná elektrárny Temelín je situována asi 22 km severně od jihočeské metropole České Budějovice a 5 km jihozápadně od města Týn nad Vltavou. Areál elektrárny se nachází v prostoru vymezeném obcemi Temelín, Březí a osadami Temelínek a Křtěnov. Lokalita elektrárny je v nadmořské výšce 500 m. [1]

Tato lokalita byla pro stavbu jaderné elektrárny posuzována z několika hledisek a následně vybrána z mnoha důvodů, jako je například hledisko spotřeby elektrické energie v dané oblasti. Jižní Čechy mají vzhledem k ostatním oblastem méně zdrojů, a mimo vodních nádrží na Lipně a na Orlíku nenesou žádný významnější zdroj elektrické energie. Snahou provozovatele distribuční soustavy je tedy rozdělit zdroje elektrické energie rovnoměrně z hlediska spotřeby i výroby. [1]

Dále je třeba, aby byl v blízkosti dostatečný zdroj surové vody, což zabezpečuje čerpací stanice Hněvkovice, která je projektována pro potřebu až čtyř reaktorových bloků se nachází 5km od elektrárny s převýšením 150m na řece Vltavě, což je jeden z největších vodních toků v Čechách a i přes velkou spotřebu vody, kterou elektrárna má se její průtok nesníží natolik, aby byl ohrožen její ekosystém. [1]

Dalšími důležitými aspekty je to, aby se na tomto území nevyskytovala vnitřní seismicita, to znamená, aby elektrárna nebyla postavena na hranicích litosférických desek,

nebo na jejich zlomu. Podloží by mělo mít dostatečnou únosnost a celkově by mělo docházet k malému ovlivňování podnebí v blízkosti elektrárny z hlediska meteorologických podmínek. [1]

1.3 Napojení na elektrifikační síť

1.3.1 Vyvedení výkonu

Z každého reaktorového bloku je zajištěno vyvedení výkonu dálkovým elektrickým vedením 400kV do venkovní rozvodny u obce Kočín. Rozvodna Kočín je napojena do rozvodného systému ČEPS 400kV pomocí pěti tras vedení velmi vysokého napětí (VVN). Jsou to jednoduché linky na rozvodny Chodov a Řeporyje u Prahy, do rozvodny Přeštice u Plzně a dvojitá linka na rozvodnu Dasný u Českých Budějovic, ze které pokračuje jednoduchá linka 400kV do rozvodny Slavětice u JE Dukovany a VD Dalešice. [1]

1.3.2 Rezervní napájení vlastní spotřeby

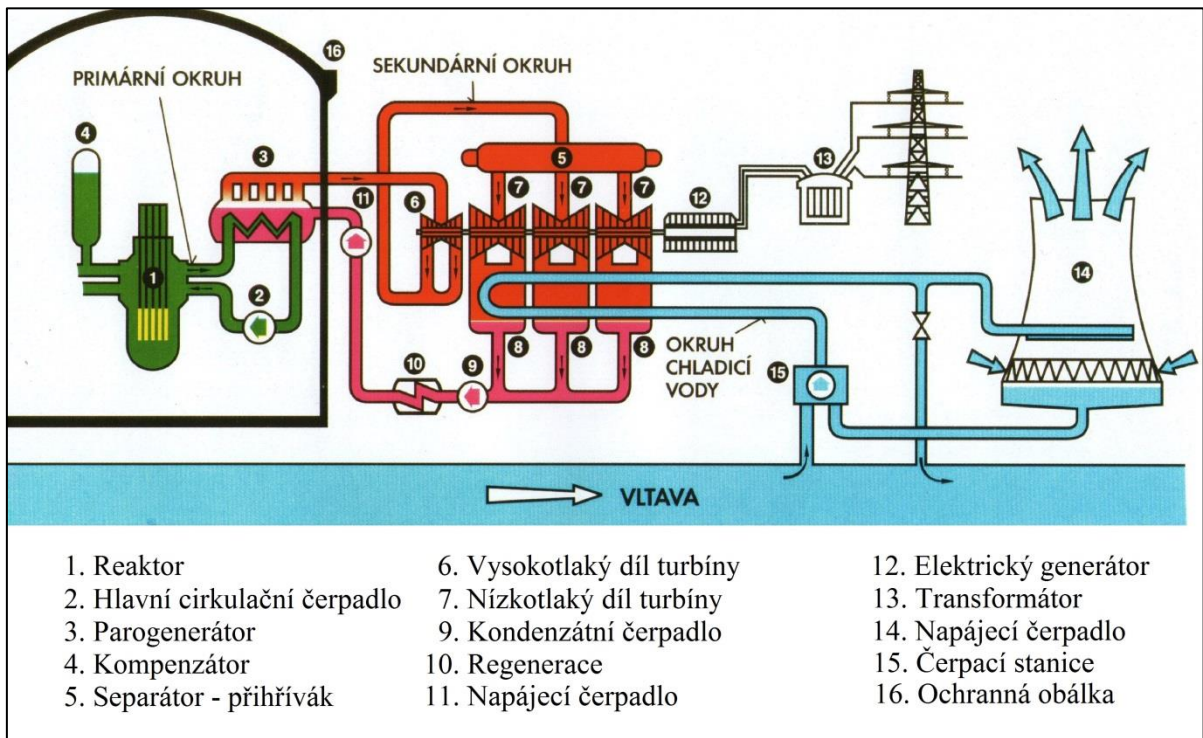
Pro každý reaktorový blok je zajištěno rezervní napájení vlastní spotřeby samostatným vedením 110kV z rozvodny Kočín. 110kV část rozvodny Kočín je napájena z několika nezávislých zdrojů. Především je využívána 400kV síť, z níž pomocí dvou transformátorů 420/110kV získáváme rezervní napájení. Další přívody jsou ze dvojice 110kV vedení z rozvodny Dasný, která je přímo napojena na rozvodnu VD Lipno II a I. Vedení propojující Hněvkovice s rozvodnou Kočín slouží za normálního provozu současně i k napájení čerpací stanice surové vody. [1]

1.4 Charakteristika objektů JE

Jak již bylo zmíněno v kapitole 1.1, jaderná elektrárna Temelín je vybudována podle projektu dodaného ze Sovětského svazu. Projekt byl dále upraven podle našich norem a postupně zrealizován. [1]

Objekty se dělí na objekty mimo střežený prostor, tedy mimo areál JETE, jako je například administrativní budova, čerpací stanice Hněvkovice, meteorologická stanice apod., objekty ve střeženém prostoru, jako jsou zejména hlavní výrobní bloky, chladicí věže a další budovy v ohraničeném prostoru vnější bariéry elektrárny a objekty podle členění kontrolovaných pásem, jako například kontrolované pásmo na HVB1, HVB2 a budovy aktivních a pomocných provozů. [1]

Dále se objekty dělí do kategorií podle užití, to znamená, zda slouží pro výrobu elektrické energie, její rozvod, či další pomocné provozy k hlavním výrobním blokům. [1]



Obrázek 1: Princip výroby elektrické energie v JETE [2]

1.5 Hlavní výrobní blok

Jaderná elektrárna Temelín má v současnosti v provozu dva bloky, tedy HVB1 a HVB2. O další dostavbě se stále vedou diskuze.

Hlavní výrobní blok je nejdůležitějším objektem jaderné elektrárny. Jeho stavební provedení se označuje jako takzvaný monoblok, což značí umístění jednoho reaktorového bloku v jedné budově. [1]

Každý z nich se skládá se z těchto stavebních objektů:

- Budovy reaktoru
- Ventilačního komína bloku
- Nádrží čistého kondenzátu
- Strojovny
- Blokované výměňkové stanice
- Rozvodny
- Venkovních transformátorů

1.5.1 Budova reaktoru

Jedná se o železobetonovou skříňovou konstrukci usazenou na základové desce s rozměry 67,8 x 67,8 metru. [1]

Budova reaktoru se skládá ze tří částí, spodní část, kontejnment a obestavba. Ve spodní části se nachází pomocné systémy sloužící pro bezpečný provoz primárního okruhu a havarijní systémy, které jsou nezbytné pro ochranu před havárií nebo při jejím vzniku. [1]

Kontejnment je válec o průměru 48 metrů a výšce 54 metrů, kde se nachází samotné srdce hlavního výrobního bloku, tedy reaktor, dále parogenerátory, hlavní cirkulační čerpadla HCC, další tlaková zařízení primárního okruhu obsahující radioaktivní látky a v neposlední řadě pasivní bezpečnostní systémy, to znamená, že je na tuto část bloku kladen největší důraz na bezpečnost a odolnost vůči okolním, ale i vnitřním vlivům. Jeho stěny jsou z předpjatého betonu a mají tloušťku 1,2 metru. Těsnost zajišťuje ocelová vystýlka umístěná na vnitřní stěně. Dveře, poklopy a průchodky jsou hermetického provedení. Kontejnment je dimenzován na vnitřní tlak 0,49 MPa při teplotě až 150 stupňů Celsia. Z vnějšku musí odolat pádu dopravního letadla. [1]

Vstup do kontejnmentu při provozu bloku na výkonu se povoluje pouze ve výjimečných situacích. Z tohoto důvodu je situace v něm soustavně monitorována televizními kamerami a měřicími systémy, k jejichž záznamům má přístup i mezinárodní agentura pro atomovou energii MAAE, která dohlíží a stanovuje pravidla pro využívání jaderné energie. [1]

Obestavba je čtvercové ohraničení dolní části kontejnmentu, v němž se nacházejí ventilační systémy, systémy měření a regulace, rozvodny a další pomocná zařízení. V této části hlavního výrobního bloku se nachází i bloková dozorná sloužící pro neustálou dálkovou kontrolu a ovládání prvků celého bloku. Tyto činnosti zajišťuje nepřetržitá obsluha. [1]

1.5.2 Ventilační komín

Ventilační komín bloku je určen pro organizované vypouštění přečištěných plynných odpadních produktů z hlavního výrobního bloku. Jedná se hlavně o vzduch z ventilačních systémů budovy reaktoru. [1]

1.5.3 Nádrže čistého kondenzátu

Dvě nádrže každá o objemu 1000 m³ slouží ke skladování čistého kondenzátu pro potřeby primárního okruhu a jeho pomocných okruhů.

1.5.4 Strojovna

Jednolodní hala, která se nazývá strojovnou je tvořena nosnými sloupy a vnějším opláštěváním. Její celková délka je 128 metrů, šířka 49 a výška 47 metrů. [1]

Strojovna se skládá ze tří částí a to ze strojovny, mezistrojovny a haly blokové úpravy kondenzátu, ve zkratce BÚK.

Mezistrojovna je část mezi strojovnou a budovou reaktoru, najdeme v ní parovody vedoucí z parogenerátorů, turbonapaječky sloužící pro napájení vody do již zmíněných parogenerátorů a další zařízení.

Samotně strojovně dominuje turbogenerátor o výkonu 1000MW a jeho pomocné systémy, dále zde najdeme systémy sekundárního okruhu, jako jsou například separátory a přihříváče, regenerační ohříváky, kondenzátory a další pomocné systémy. Poslední důležitou součástí je vyvedení výkonu bloku.

1.5.5 Bloková výměňiková stanice

Bloková výměňiková stanice je stavební objekt nacházející se na pravé straně strojovny. V tomto objektu se nachází zařízení, které slouží pro předávání tepelné energie ze sekundárního okruhu do horkovodního systému elektrárny a také na neblokovanou výměňikovou stanici, ze které se dále napájí horkovodem Týn nad Vltavou.

1.5.6 Rozvodna

Na levé straně strojovny je přilehlý stavební objekt, ve kterém se nachází rozvodna s rozvaděči 6kV a z nich napájené rozvaděče 0,4kV sloužící pro napájení vlastní spotřeby bloku, tedy zařízení zajišťující chod celé strojovny a všech jejích součástí ve všech režimech bloku a to i v režimu, kdy je turbogenerátor odstaven.

Dále se v tomto objektu nachází dozorný, kde je přítomna nepřetržitá obsluha, která pravidelně provádí místní kontroly všech částí bloku a zajišťuje jejich spolehlivý chod.

1.5.7 Venkovní transformátory HVB

Venkovní transformátory se nachází před rozvodnou bloku. Konkrétně jsou to tři typy transformátorů.

Blokový transformátor je tvořený třemi jednofázovými jednotkami. Tento transformátor zajišťuje převod elektrické energie vytvořené v turbogenerátoru z 24kV na elektrické vedení 400kV, přes které se dál vede elektřina do 3038 m vzdálené rozvodny Kočín. Z rozvodny Kočín je elektřina rozváděna dále po České republice.

Odbočkové transformátory jsou dva třífázové transformátory pro každý blok. Tyto transformátory slouží pro napájení vlastní spotřeby bloku elektrickou energií, vyrobenou v turbogenerátoru. Tímto způsobem blok napájí nejen svoji spotřebu přes rozvodny 6kV, ale i 6kV rozvodny venkovních objektů, které dále napájí 0,4kV rozvaděče

těchto objektů.

Rezervní transformátory zajišťují napájení elektrickou energií rozvodny vlastní spotřeby v případě poruchových stavů, nebo v případech plánovaných prací, kdy nejsou odbočkové transformátory schopny zajišťovat napájení rozvodu vlastní spotřeby z důvodu jejich odstavení.

1.6 Pomocné objekty

1.6.1 Budova aktivních a pomocných provozů

Kompletní objekt má půdorys 61 x 20 metrů založený na železobetonové desce o tloušťce 90 cm. Vnější stěny tvořící hranici kontrolovaného pásma jsou vyrobeny z monolitického betonu, ostatní stěny jsou prefabrikované. [1]

BAPP zajišťuje příjem, skladování a kontrolu nad radioaktivními látkami, jako je například čerstvé palivo. Dále tento objekt zajišťuje čištění kapalin a plynů z HVB. BAPP také zajišťuje dohled nad pracovníky a zařízeními z hlediska radiační situace. Z tohoto důvodu je zde zřízeno kontrolované pásmo, ve kterém se předpokládá možný výskyt radioaktivních látek z důvodu přístupu k technologii pracující s médií primárního okruhu. V KP je vstup a výstup umožněn pouze přes hygienickou smyčku, kde jsou pověřeni pracovníci i vnášený materiál měřeni a v případě kontaminace radioaktivními látkami dekontaminováni. KP pokračuje z BAPP přes pochozí mosty dále na oba bloky, kde je zhruba třetina obestavby zpřístupněna právě přes hygienickou smyčku na BAPP. [1]

1.6.2 Provozní budova

V provozní budově jsou umístěny laboratoře umožňující bezpečný a bezporuchový provoz jednotlivých HVB.

Dále se zde nachází kanceláře vedoucích pracovníků, správců jednotlivých systémů, pracovníků nepřetržitého provozu, jako je odbornost elektro, MaR a další.

1.6.3 Budova ústřední elektrické dozorny

Budova je ústředním řídicím centrem, z něhož se řídí provoz elektrárny jako celku, a to jak z hlediska výroby a vyvedení elektrického výkonu do elektrifikační sítě, tak i z hlediska SKŘ, radiační bezpečnosti a kontroly. [1]

1.6.4 Systémová a společná DGS

Systémová DGS je monolitický stavební objekt ze železobetonu, schopný odolat

vnějším vlivům, jako je například pád letadla nebo teroristický útok. Na odolnost tohoto objektu před již zmíněnými vlivy je kladen důraz z hlediska důležitosti zařízení umístěného v tomto objektu. Každý objekt má tři systémové DGS přičemž každý z těchto systémů je schopný elektricky napájet havarijní systémy bloku nezávisle na tom druhém díky autonomnímu zdroji elektrické energie, tedy dieselmotoru, který pohání generátor. Tímto způsobem blok pracuje s 200% rezervou zajišťující v havarijních situacích spojených s úplnou ztrátou napájení vlastní spotřeby bezpečné odstavení a dochlazení reaktoru. [1]

Společná DGS je stejně jako systémová DGS autonomní zdroj elektrické energie, ovšem slouží pro napájení pouze vybraného zařízení, které nemá vliv na jadernou bezpečnost, ale které je potřeba mít v případě úplné ztráty zdrojů bloku pod napětím. Mezi taková zařízení patří důležitá zařízení sekundárního okruhu a některé spotřebiče primární části. [1]

1.6.5 Chladicí nádrže s rozstříkem

Chladicí nádrže jsou v podstatě směšovací tepelné výměníky zapojené do příslušného systému technické vody důležité, přes které se předává nízkopotenciální tepelná energie do atmosféry. [1]

TVD je potřeba v důležitých zařízeních, jako jsou například vybraná zařízení primárního okruhu, či DGS.

1.6.6 Chladicí věže HVB1 a HVB2

Čtyři skoro 155 metrů vysoké železobetonové chladicí věže ve tvaru rotačního hyperboloidu, které jsou vidět z velké vzdálenosti. Chladicí věže slouží pro chlazení technické vody nedůležité, kterou využívá hlavně strojovna HVB. Jejím největším spotřebitelem jsou kondenzátory strojovny, kde kondenzuje pára využitá turbínou. [1]

Věže číslo 1 a 2 jsou určeny pro HVB1 a věže 3 a 4 jsou určeny pro HVB2. V případě potřeby, například v letních měsících, kdy je odstaven jeden z bloků, je možno jednu z věží připojit na jedoucí blok, takže je blok provozován se třemi věžemi. Naopak v zimě je možné provozovat blok na výkonu pouze s jednou věží.

1.6.7 Výměňiková stanice – nebloková

Jak bylo zmíněno v souvislosti se strojovnou hlavního výrobního bloku a s blokovou výměňikovou stanicí, slouží tento objekt pro rozvod tepla v horkovodních systémech, které vytápějí Týn nad Vltavou a objekty JETE.

1.6.8 Vodojem surové vody

Vodojem surové vody slouží jako zásobník vody pro elektrárnu a její systémy díky dvěma nádržím, každé o objemu 15000 m³.

1.6.9 Úpravna chladicí vody

Úpravna chladicí vody zajišťuje, jak je již z názvu tohoto objektu patrné, úpravu chladicí vody pomocí metody kyselého čiření z jejího surového stavu na takový, který svým chemickým složením vyhovuje hlavním výrobním blokům a dalším prvkům elektrárny. Upravuje se zde cirkulační chladicí voda, TVN a TVD. [1]

1.6.10 Chemická úpravna vody

Tento objekt slouží pro předúpravu surové vody, pro filtraci čířené vody, pro výrobu demineralizované vody a její skladování a pro její dodatečnou úpravu před jejím doplňováním na primární a sekundární okruh HVB. [1]

1.6.11 Hlavní technologické dílny

V dílnách se nachází pracoviště a zařízení sloužící k opravám, zkouškám a revizím jednotlivých celků zařízení elektrárny, které je možno demontovat a přepravit, např. motory, armatury, apod. [1]

Dále se zde nachází sklady materiálu a kanceláře pracovníků dodavatelských firem, provádějících tyto činnosti.

1.6.12 Sklad vyhořelého jaderného paliva

Poměrně novou budovou jaderné elektrárny Temelín je právě sklad vyhořelého jaderného paliva. Tento sklad slouží pro skladování vyhořelého jaderného paliva, které je umístěno v kontejnerech typu Kastor. Tyto velmi odolné schránky slouží pro jeho bezpečné uskladnění po dobu jeho dohořívání.

Sklad vyhořelého jaderného paliva je jednou z nejstřeženějších budov elektrárny a je schopen dlouhodobě pojmout až 152 kusů kontejnerů. [1]

1.7 Základní schéma jaderné elektrárny

Jak již bylo zmíněno výše, nejdůležitější součástí jaderné elektrárny jsou hlavní výrobní bloky. Každý z těchto bloků neboli reaktorových bloků, má za úkol bezpečně přeměňovat energii jadernou vzniklou jaderným rozpadem U₂₃₅ na energii tepelnou, která se následně přemění na energii mechanickou. Tato mechanická energie je v poslední fázi

převáděna na energii elektrickou.

1.7.1 Primární část

V této části hlavního výrobního bloku probíhá přeměna jaderné energie na tepelnou, pomocí zařízení již zmíněného v předchozích kapitolách. Dále má tato část za úkol vytvořit bezpečné podmínky pro provozování tohoto zařízení a pro obslužný personál, který přichází s tímto zařízením do styku například v podobě kontrol, či údržby.

Dalším úkolem této části HVB je dočasné skladování vyhořelého jaderného paliva, příjem čerstvého paliva a jeho výměna. [1]

V neposlední řadě má tato část za úkol nepřetržitý monitoring všech součástí primárního okruhu a případnou detekci mimořádných stavů.

1.7.2 Sekundární část

Sekundární část je nepřímo propojená s primární částí, kdy si média těchto částí předávají tepelnou energii v takzvaných parogenerátorech. Zde vzniká pára sekundárního okruhu sloužící pro vznik mechanické energie v parní turbíně, která ji dál předává elektrické části HVB, tedy generátoru. [1]

Tato část dále zajišťuje již zmíněné vyvedení tepla pro vytápění Týna nad Vltavou a objektů JETE, dochlazování bloku při plánovaném, ale i mimořádném odstavení, elektrické napájení jednotlivých celků HVB a distribuci dalších médií potřebných pro bezpečnou výrobu elektrické energie. [1]

1.7.3 Elektrická část

Elektrická část bloku začíná u samotného generátoru. V generátoru probíhá přeměna mechanické energie na energii elektrickou. Tato energie je dále vyvedena přes vyvedení výkonu na blokové transformátory a odsud do distribuční sítě 400kV, kde je postupně rozvedena a transformována až do takové podoby, jakou ji známe z domova.

Elektrická část také zajišťuje napájení vlastní spotřeby přes rozvodny 6kV a úsekové rozvaděče 0,4kV, ze kterých jsou napájené vybrané spotřebiče HVB a které dále napájí podružné rozvaděče 0,4kV AC a 220V DC sloužící pro napájení ostatního zařízení, či rozvaděčů MaR.

2 Transformátory

Transformátor je netočivý elektrický stroj pracující na principu elektromagnetické

indukce. [3]

Transformátor se používá pro transformaci střídavého napětí při stálém kmitočtu. Při vedení elektrické energie na velké vzdálenosti je nutno zvýšit napětí, díky čemuž se omezí ztráty elektrické energie a v místě spotřeby se toto napětí opět snižuje z důvodu bezpečnosti. [3]

2.1 Rozdělení transformátorů

2.1.1 Podle počtu fázových vodičů

- Transformátory jednofázové
- Transformátory třífázové

Jednofázové transformátory jsou obvykle zástupci malých výkonů (desítek až stovek wattů), ovšem v této práci se budeme bavit o vysokovýkonových jednotkách, které jsou svou konstrukcí v běžném provozování poměrně vzácné. [3]

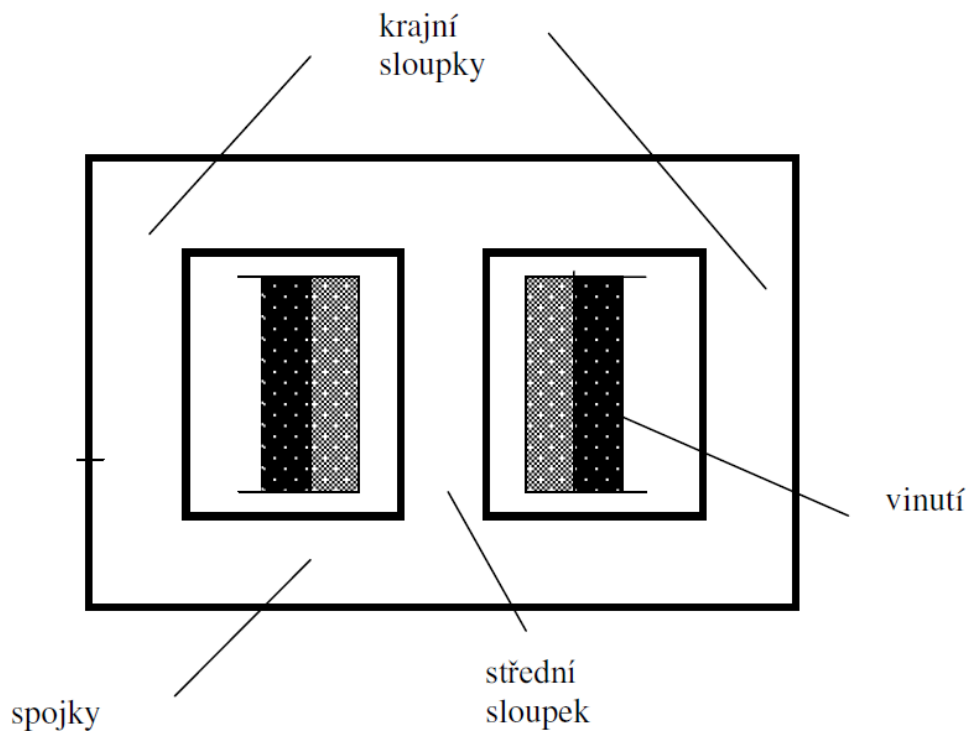
Třífázové transformátory se používají především v distribuci a přenosu elektrické energie a dosahují vysokých výkonů, jako jsou například venkovní transformátory pro napájení rozveden. [3]

2.1.2 Podle provedení magnetického obvodu

- Transformátory plášťové
- Transformátory jádrové

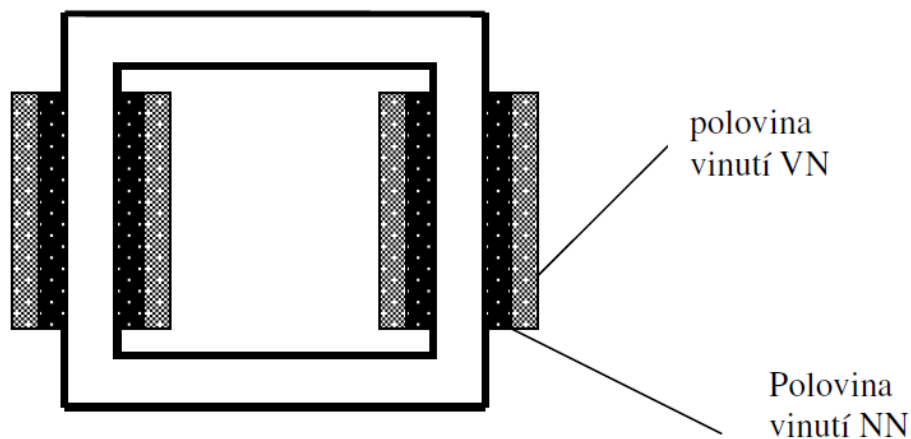
Transformátory plášťového provedení mají rozvětvený magnetický obvod jak je patrné na obrázku číslo 2. Tento magnetický obvod částečně zakrývá vinutí. [3]

Magnetický obvod plášťového transformátoru je složen ze sloupků a spojek, kdy je vinutí umístěno na střední sloupek. Tím, že je magnetický tok přiváděn na střední sloupek se rovnoměrně rozdělí. Aby byly omezeny vířivé proudy v materiálu, je tento obvod složen z tenkých plechů, které jsou navzájem izolované. Právě plášťového typu je blokovaný transformátor na jaderné elektrárně Temelín. [3]



Obrázek 2: Plášťové provedení transformátoru [3]

U jádrového transformátoru jsou vinutí umístěna tak, že má každé vinutí vlastní jádro. Na obrázku číslo 3 je znázorněno zapojení jednofázového jádrového transformátoru. Výhodou jádrových transformátorů oproti plášťovým je nižší hmotnost, ovšem nevýhodou jsou větší rozptylové toky. [3]



Obrázek 3: Jádrové provedení jednofázového transformátoru [3]

2.1.3 Podle způsobu chlazení

- Transformátory vzduchem chlazené
- Transformátory olejem chlazené

U vzduchových transformátorů je teplo odváděno přirozeným proudem okolního vzduchu. [3]

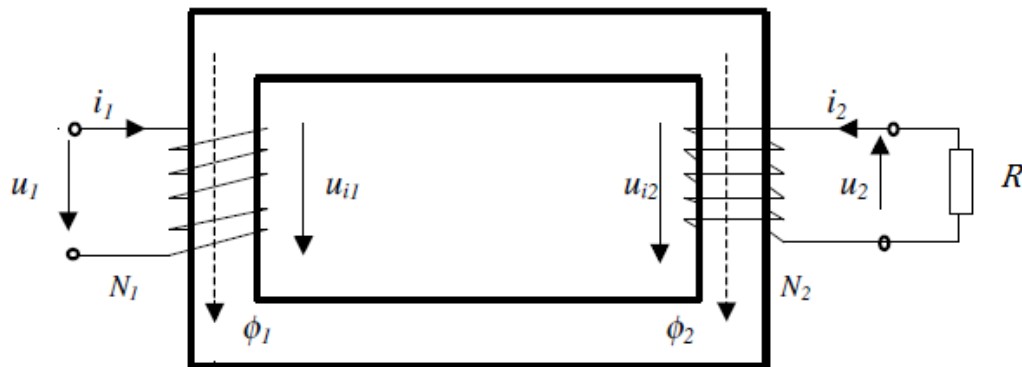
Olejové transformátory chlazení probíhá buď pasivní, kdy teplý olej sám stoupá vzhůru a zde odevzdává své teplo do okolí, nebo nucenou cirkulací oleje, kde olej cirkuluje pomocí čerpadel přes chladicí jednotky a vychlazený se vrací zpět do transformátoru. [3]

2.2 Princip transformátoru

2.2.1 Ideální transformátor

U ideálního transformátoru budeme vycházet z toho, že máme nekonečně velkou magnetickou vodivost. Na magnetickém obvodu dle obrázku číslo 4 jsou umístěna dvě vinutí. Primární vinutí s N_1 počtem závitů a sekundární vinutí s N_2 počtem závitů. [3]

Po připojení střídavého napětí u_1 na primární vinutí začne tímto vinutím procházet proud i_1 , tento proud vytvoří magnetický indukční tok ϕ_1 a na základě indukčního zákona vznikne na sekundárním vinutí napětí u_2 . Při zatížení výstupního vinutí zátěží R , začne tímto vinutím procházet proud i_2 . Na základě Lenzova principu je proudem i_2 vytvořen magnetický indukční tok ϕ_2 , který působí proti toku ϕ_1 . [3]



Obrázek 4: Princip jednofázového transformátoru [3]

2.2.1.1 Odvození vztahu pro indukované napětí

Okamžitá hodnota indukovaného napětí v cívice je dána indukčním zákonem ve tvaru

$$u_i = N \frac{d\phi}{dt} \quad (1.1)$$

Vydeme-li z předpokladu, že magnetický indukční tok se mění sinusově, pak je jeho

okamžitá hodnota dána vztahem

$$\phi = \phi_{max} \sin \omega t. \quad (1.2)$$

Po dosazení předešlé rovnice (1.1) dostaneme

$$u_i = Nd(\phi_{max} \sin \omega t)/dt. \quad (1.3)$$

Po provedení derivace dostaneme výraz

$$u_i = N\omega\phi_{max} \cos \omega t. \quad (1.4)$$

Funkce (1.4) má své maximum pro $\cos \omega t = 1$, v tomto případě můžeme přejít na tvar pro maximální hodnotu

$$U_{max} = N\omega\phi_{max}. \quad (1.5)$$

S využitím vztahu pro úhlovou frekvenci $\omega = 2\pi f a$ přechodem na efektivní hodnotu dostáváme výraz

$$U_i = \sqrt{2}\pi N f \phi, \quad (1.6)$$

kde

U_i – efektivní hodnota indukovaného napětí

N – počet závitů cívky transformátoru

f – kmitočet napájecího napětí

ϕ – magnetizační indukční tok

[3]

2.2.1.2 Převod transformátoru

Převod transformátorů je definován jako podíl napětí primární a sekundární strany vinutí. Jak již bylo zmíněno v kapitole 2.2.1, ideální transformátor má nekonečně velkou magnetickou vodivost a ztráty v magnetickém obvodu se rovnají nule, tedy i rozptyly magnetických toků jsou nulové. Pro ideální transformátor píšeme:

$$U_1 = U_{i1} = \sqrt{2}\pi f \phi N_1, \quad (1.7)$$

$$U_2 = U_{i2} = \sqrt{2}\pi f \phi N_2, \quad (1.8)$$

Po podělení obou rovnic dostaneme výraz pro převod

$$P = \frac{U_1}{U_2} = \frac{U_{i1}}{U_{i2}} = \frac{N_1}{N_2} \quad (1.9)$$

Z tohoto vztahu vyplývá, že je poměr napětí dán poměrem počtu závitů na primární a sekundární cívce.

Výraz pro proudový převod je dán vztahem

$$P = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2} \quad (1.10)$$

[3]

2.2.2 Skutečný transformátor

Skutečný transformátor vychází z ideálního transformátoru, doplněného o vedlejší obvodové prvky. Při připojení napětí U_1 na primární cívku jí začne protékat proud I_1 a s protékajícím proudem vznikne magnetický tok ϕ , který se uzavírá jádrem a rozptylové toky $\phi_{\sigma 1}$ a $\phi_{\sigma 2}$, které se uzavírají vzduchem. Časovou změnou magnetického toku se indukuje napětí na vinutí U_2 , jehož velikost je přímo úměrná počtu závitů N_1 a N_2 . [4]

Po připojení zátěže R neboli impedance Z , začne obvodem protékat proud I_2 a do zátěže je dodáván výkon P_2 . Na rozdíl od ideálního transformátoru jsou při činnosti skutečného transformátoru vykazovány činné ztráty ($\Delta P > 0$) a má také rozptyl kolem vinutí ($\phi_{\sigma 1} + \phi_{\sigma 2} > 0$). [3,4]

2.2.2.1 Transformátor naprázdno

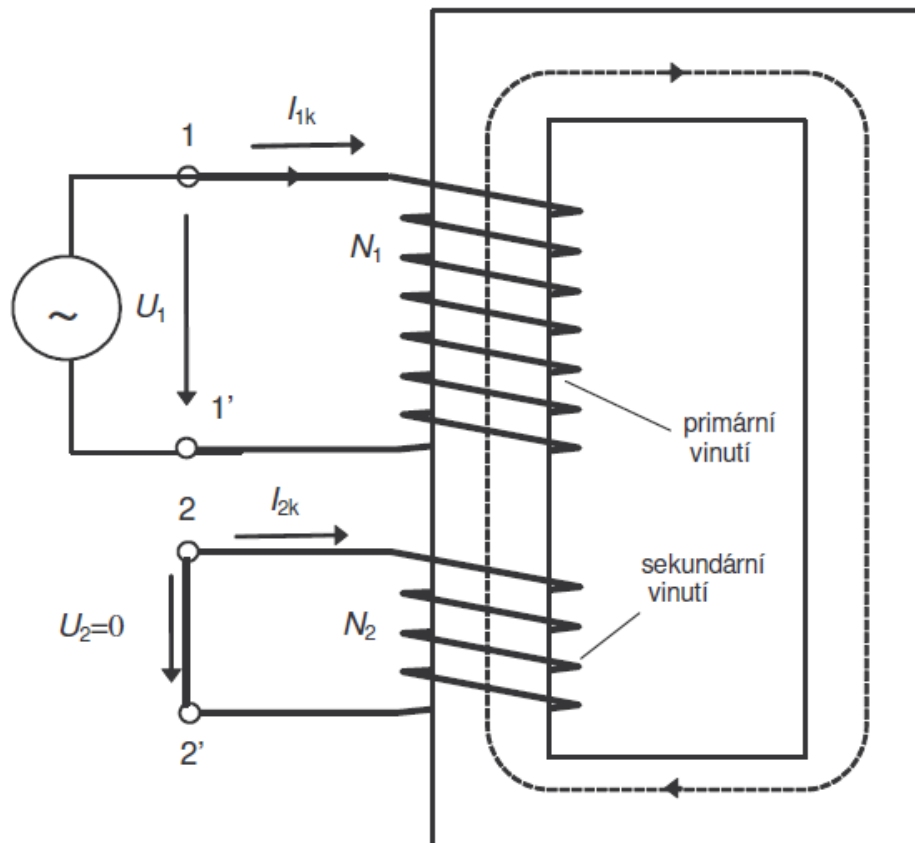
Funkce transformátoru naprázdno spočívá v tom, že je primární vinutí připojeno k jmenovitému napětí U_{1N} a svorky sekundárního napětí jsou rozpojeny, proud I_2 je tedy nulový a transformátor nedodává žádný výkon P_2 a impedance $Z_2 = \infty$. [4]

Jak již bylo zmíněno v předešlých kapitolách, při činnosti transformátoru vznikají v jeho obvodu ztráty. Ztrátami, se kterými je třeba počítat v případě skutečného transformátoru, jsou takzvané ztráty v železe a ztráty ve vinutí. Ztráty v železe, nazývané také ztráty naprázdno vznikají stálou změnou magnetického toku. Ztráty ve vinutí neboli ztráty nakrátko jsou způsobené ohmickým odporem v cívce primárního a sekundárního vinutí, které se přeměňuje na Jouleovo teplo. [4,5]

Při měření transformátoru naprázdno určujeme jeho převod, který je dán vztahem:

$$K = \frac{U_1}{U_2} \quad (1.11)$$

[3,4]



Obrázek 5: Transformátor naprázdno [4]

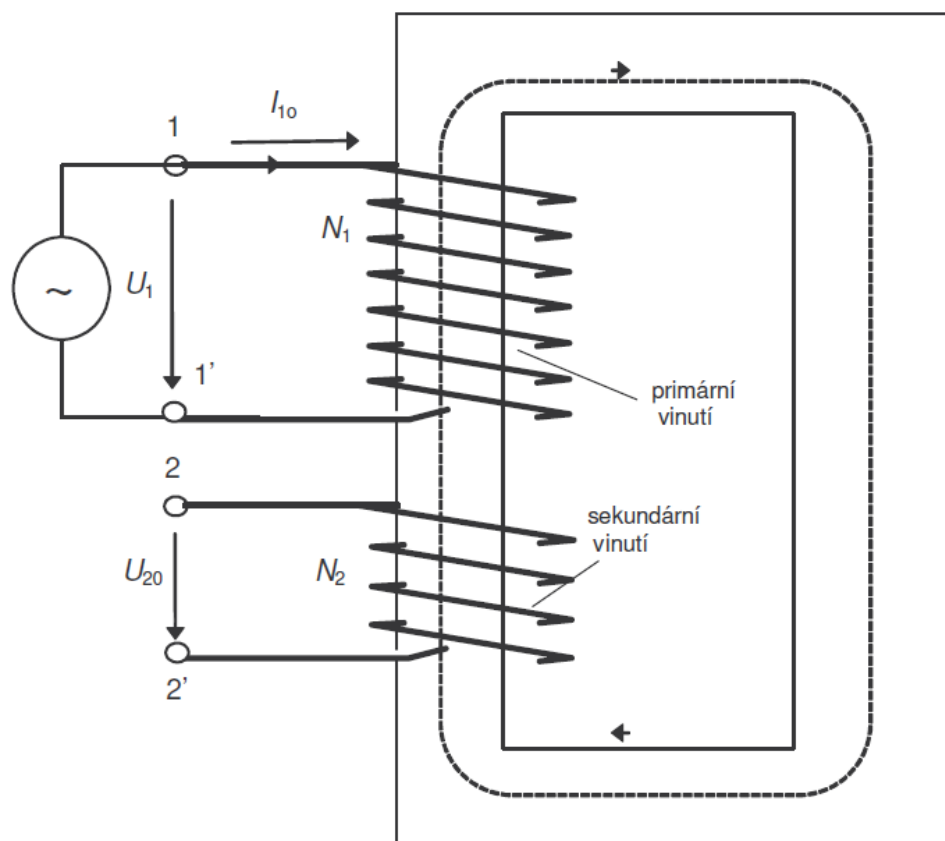
2.2.2.2 Transformátor nakrátko

Sekundární vinutí je spojeno nakrátko impedancí obvodu Z_K . V tomto případě jsou napětí U_2 a impedance Z_2 nulové. Zkratový proud je omezen pouze impedancí obvodu.

Velikost impedance nakrátko Z_K je dána vztahem:

$$Z_K = Z_N \cdot u_K = \frac{U_N}{I_N} \cdot u_k \quad (1.12)$$

[3,4]



Obrázek 6: Transformátor nakrátko [4]

3 Blokový olejový transformátor 400MVA



Obrázek 7: Pohled na třetí a druhou jednotku blokového transformátoru 1.HVB [7]

V nominálním provozu slouží blokový transformátor hlavního výrobního bloku pro transformaci napětí 24kV vyvedeného z turboalternátoru 1111MVA přes zapouzdržené vodiče na napětí 400kV.

Dále slouží blokový transformátor pro transformaci napětí naopak, tedy ze sítě 400kV na zapouzdržené vodiče 24kV v případě, že jaderný blok nevyrábí elektrickou energii. V takové situaci blokové transformátory napájí odbočkové transformátory vlastní spotřeby bloku, zde se napětí transformuje z 24kV na 6,3kV a je dál přivedeno na rozvodny 6,3kV. [2]

3.1 Základní technické parametry blokového transformátoru

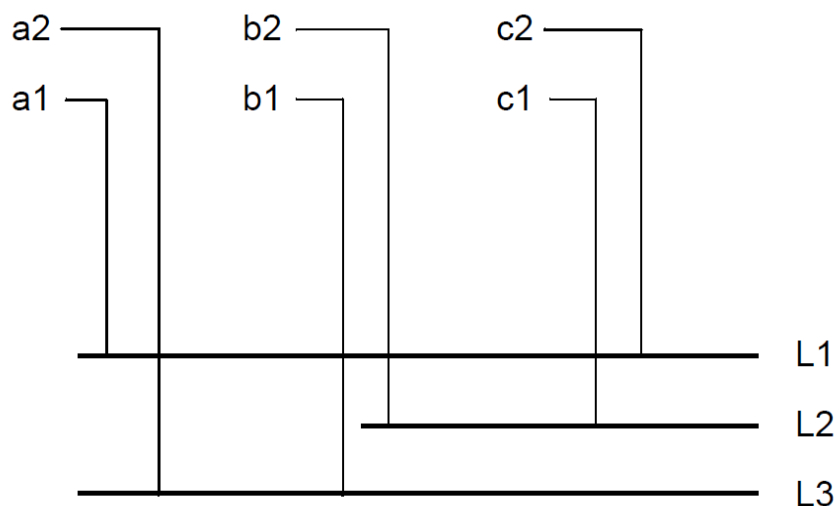
Tabulka 1: Technické parametry blokového transformátoru [2]

NÁZEV	TYP / PARAMETRY
Typ	ODC 400000/400 UI
Provedení	Jednofázový, dvouvinut'ový
Výkon	400 MVA
Jmenovité napětí	420/ $\sqrt{3}$ /24kV
Nejvyšší provozní napětí	420/ $\sqrt{3}$ /26,5kV
Jmenovitý proud	1650/16666 A
Jmenovitý kmitočet	50 Hz
Napětí nakrátko	14 +/- 10 %
Ztráty nakrátko	750 kW + 10 %
Ztráty naprázdno	240 kW + 15 %
Chlazení	OFAF (dle GOST typ DC)
Hmotnost transformátoru pro přepravu bez oleje	240 tun
Hmotnost oleje nezbytná pro provoz	55 tun
Zapojení	YNd1
Hlučnost	82 + 5 dB
Výrobce	Záporoží - Ukrajina

3.2 Konstrukce blokového transformátoru

Blokový transformátor se skládá ze tří jednofázových jednotek s chlazením na principu nucené cirkulace oleje. Důvod rozložení transformátoru na tři jednofázové jednotky je takový, že by v případě jedné třífázové jednotky na jeden blok byly konstrukční parametry velmi náročné, včetně provozování a s ním spojené údržby. [2]

Na obrázku číslo 8 je znázorněno připojení jednotlivých fází zapouzďřenými vodiči na vyvedení výkonu bloku.



Obrázek 8: Připojení blokového transformátoru na vyvedení výkonu [2]

3.2.1 Nádoba transformátoru

Nádoba je takzvaného zvonového provedení. Na spodním díle nádoby transformátoru je umístěna vnitřní obvodová část s vinutím, na tuto část je nasunutý horní díl transformátoru v podobě zvonu. Na spodním dílu jsou umístěná kola, která jsou zajištěna na kolejnici. Tento způsob provedení je kvůli snazší demontáži a výměně celé jednotky v případě její poruchy. Spodní a horní díl nádoby jsou utěsněny a celá nádoba je naplněna olejem. [2]

V souvislosti s olejem jsou na vnější části nádoby transformátoru umístěny vypouštěcí a napouštěcí armatury sloužící v případě odstávky bloku, s ní souvisejícím odstavením transformátorů a jejich údržbou, kdy se olej filtruje pomocí oběhového externě připojeného zařízení.

Dále se jsou na nádobě umístěné dvě pojistné ventily s membránou, které plní úkol ochrany nádoby proti jejímu mechanickému poškození vlivem přetlaku oleje přibližně 70kPa, který může způsobit například mezizávitový zkrat. Tyto ventily jsou ovšem účinné pro pomalu rostoucí tlak, v případě rychlého nárůstu tlaku, jak je z praxe známo, nestihnou zapůsobit. Tuto situaci si podrobně rozebereme v kapitole 4.1.

3.2.2 Průchodky 420kV

Průchodka slouží pro vyvedení, či v opačném případě přivedení napětí 400kV na sekundární vinutí transformátoru. Průchodka je kondenzátorového provedení a je naplněna vlastní olejovou náplní, která slouží jako izolace. Její vnější obal je tvořen porcelánem. Na průchodkách jsou olejoznaky sloužící pro vizuální kontrolu hladiny oleje při pravidelných kontrolách, které provádí obsluha. [2]

Mezi průchodkami 420kV a vedením 400kV jsou umístěné takzvané bleskojistky, které chrání transformátory v případě přepětí linky. To může způsobit například z názvu patrný zásah blesku.

3.2.3 Dielektrikum

Tělo izolátoru je navinuto z papíru prokládaného vodivými řídicími polepy, které zajišťují optimální rozložení elektrického pole. Tělo izolátoru je impregnováno olejem. [2]

3.2.4 Průchodky 123kV

Průchodka 123kV je stejně jako průchodka 420kV kondenzátorového provedení s porcelánovým vnějším obalem a je naplněna olejem, který slouží jako izolace. Průchodka 123kV slouží pro vyvedení nuly transformátoru, proto je také známa jako takzvaná nulová průchodka. Každá ze tří jednofázových jednotek blokového transformátoru má svou 123kV průchodku. Tyto průchodky jsou navzájem propojené a společně uzemněné přes zemnicí soustavu HVB u druhé jednotky blokového transformátoru. [2]

3.2.5 Průchodky 24kV

Průchodky 24kV slouží pro připojení zapouzdrěných vodičů 24kV k blokovému transformátoru. Připojení zapouzdrěných vodičů je zřetelné na obrázku číslo 7.

Na těchto průchodkách je řada měření, které jsou přes rozvaděč vyvedené dále na obslužná místa.

3.2.6 Dilatační nádoba

Dilatační nádoba neboli takzvaný konzervátor slouží pro vyrovnávání tlaku oleje v transformátoru při změnách teploty oleje vlivem okolní teploty, či zátěže, pomocí pryžového vaku se vzduchovou náplní, který tlačí na hladinu oleje nádoby. Hladina oleje v nádobě se kontroluje na měrce, která je umístěna na jejím boku. [2]

Dilatační nádoba je vybavena silikagelovým vysoušečem vzduchu, který upravuje vzduch v pryžovém vaku. Tento vysoušeč je umístěn pod dilatační nádobou. [2]

3.2.7 Plynové relé

Buchholzovo plynové relé je jedna z hlavních ochran transformátoru. Je umístěno těsně pod dilatační nádobou a propojuje ji s vlastní nádobou blokového transformátoru. Konstrukčně je plynové relé složeno z krytu a vnitřní části. V krytu jsou umístěny průzory pro kontrolu vnitřní části. Ve vnitřní části se nacházejí spínací kontakty, které jsou ve

skleněných baňkách ponořených v oleji. Tyto kontakty spínají v případě působení plynového relé. [2]

Plynové relé je dvoustupňového typu, má dva plováky a čtyři průzory. Na dvou horních průzorech je stupnice, která měří množství plynu v oleji. Dále je ve vnitřní části pojistný ventil, který hlídá rychlost proudění oleje. [2]

Jak již bylo zmíněno výše, plynové relé má dva stupně působení. V případě zapůsobení prvního stupně relé pouze signalizuje přítomnost plynu nebo vzduchu v oleji, či pokles hladiny oleje. K výskytu plynu v oleji může dojít například v případě jeho hoření. Druhý stupeň relé kontroluje rychlost proudění oleje a při překročení dovolené hodnoty a při následném zapůsobení tohoto stupně se automaticky mžikově vypíná blokový transformátor. [2]

3.2.8 Chladiče

Blokový transformátor je chlazen nucenou cirkulací oleje. To zajišťují čerpadla, která čerpají olej z horní části nádoby transformátoru, ten dále vedou na chladiče, které se skládají ze dvou ventilátorů umístěnými nad sebou a jednoho čerpadla. Každá jednotka blokového transformátoru má 7 chladičů, přičemž je 7. chladič rezervní.

Chladiče spínají podle zatížení bloku a podle okolní teploty a s určitou hysterezí vypínají postupně při dosažení dané teploty.

3.2.9 Rozvaděče

Každá transformátorová jednotka má dva řídicí rozvaděče, neboli skříně, sloužící pro napájení těchto ventilátorů, pro místní signalizaci jejich stavu a také pro dálkovou signalizaci na blokovou dozornu.

Dále je na každé nádobě nainstalována takzvaná svorkovnicová skříň, která slouží pro napájení a rozvod měřících a signalizačních obvodů jako je například měření teploty nebo stav Bucholzova plynového relé.

3.2.10 SHZ

Princip SHZ je hašení zařízení pomocí vodní mlhy, která slouží jako ochrana blokových a dalších vybraných venkovních transformátorů v případě požáru. SHZ je provedeno tak, aby v případě požáru pokrylo transformátor mlhou ze všech stran a na všech komponentech tohoto zařízení včetně chladičů. [2]

Spuštění SHZ probíhá po zapůsobení tepelných čidel, tedy skleněných baněk, neboli patron, které jsou umístěné na tenkých trubkách na horní části transformátoru, dále se SHZ

spouští od Buchholzova plynového relé, nebo po zmáčknutí ručních tlačítek, která jsou umístěna na stěně stroje, či aktivací z blokované dozorní příslušného HVB. Tepelná čidla pracují na principu dvou větví tlakovzdušného systému, kdy je každá větev dimenzovaná na jinou teplotu, tedy 93°C a 141°C. Při dosažení příslušné teploty dojde ke snížení tlaku v dané větvi a působení ochrany. Transformátory jsou v případě zapůsobení vybraných ochrany vypnuty. [2]

Pro odvod případné vody a oleje je pod každým transformátorem odpadní jímka. Mezi jednotlivými jednotkami transformátoru jsou z bezpečnostních důvodů umístěné betonové stěny. V případě požáru některé jednotky blokovaného transformátoru zabraňují jeho šíření na další jednotku.

3.3 Provozování blokovaných transformátorů

V nominálním stavu se blokované transformátory provozují s chlazením navoleným v automatickém režimu a jističi, elektricky napájející toto chlazení, které jsou také v automatickém režimu, aby bylo možné v případě výpadku hlavního napájení zálohovat přechodem na rezervní napájení, popřípadě při výpadku samotného čerpadla přejetí na jeho záložní čerpadlo.

Za provozování blokovaných transformátorů, ale i jiného elektrického zařízení na ETE odpovídá směnový mistr elektro.

3.4 Uvedení transformátoru pod napětí

Před samotným uvedením transformátoru pod napětí se provádí kontrola kompletnosti, nastavení zařízení do nominálního stavu a jeho nepoškozenost, viz kapitola 3.8. Tuto kontrolu provádí obsluha pověřená směnovým mistrem elektro. Po této činnosti je zařízení převzato z údržby a připraveno k uvedení pod napětí. [2]

Transformátory se uvádějí pod napětím zapnutím vypínačů pro linku 400kV v rozvodně Kočín.

3.5 Odstavení transformátoru

Plánované odstavení blokovaného transformátoru probíhá například před plánovanou odstávkou bloku, kdy se provádí jejich revize a kontroly, demontáž průchodek, filtrace oleje, přetěsnění spojů, opravy a další důležité činnosti zabezpečující spolehlivý provoz. Plánované odstavení probíhá řízeně, a to tak, že je vypnutý generátorový vypínač, vypne se linka 400kV v Kočíně, poté se převede napájení vlastní spotřeby bloku na linku rezervního

napájení 110kV a linka 400kV se zajistí pro výše uvedené práce. Dále může být transformátor odstaven automaticky od ochrany, způsobené poruchou transformátoru nebo ručně v případě nouze. Příklady poruch vedoucích k odstavení transformátoru jsou uvedené v kapitole 4.

3.6 Režimové automatiky

Režimové automatiky slouží jako základní prostředek pro řízení elektrického schématu napájení vlastní spotřeby bloku. V běžném provozu může docházet k výpadkům napájení elektrických rozvaděčů, či jiným poruchám, kvůli kterým je potřeba myslet i na rezervu. Tou jsou v tomto případě rezervní zdroje a právě díky automatizačnímu systému je zabezpečen přechod, mezi těmito zdroji elektrického napájení. [7]

Mezi základní funkce režimových automatik patří:

- PV – odlehčení rozvodu před přechodem na rezervní napájení
- APV, AZR – realizace přechodu na rezervní napájení
- APS, ADG – realizace přechodu na napájení nouzového zdroje
- AZZ, ZZ – realizace přechodu opět na napájení z pracovního zdroje

[7]

3.7 Elektrické ochrany

Elektrické ochrany chrání zařízení před stavy, které nejsou nominální, tedy stavy poruchové či abnormální. Systémy elektrických ochrany přímo zasahují v případě, kdy jsou vyčerpány všechny možnosti regulačních prvků. To znamená, že v případě vychýlení nějakého parametru sledovaného zařízení se v první řadě tyto hodnoty regulují a pokud tyto hodnoty přesáhnou stanovenou mez, uvolní se působení ochrany, které toto zařízení bezpečně odstaví z provozu. [7]

Mezi základní typy elektrických ochrany patří:

- Rozdílová ochrana – působí při rozdílu velikosti proudu
- Impedanční ochrana – neboli distanční, působí změnou impedance
- Zpětná wattová – působí při změně činného výkonu
- Ochrana při nesouměrnosti – kontrola zpětné složky proudu nebo napětí na fázích
- Ochrana proudová – detekce změn proudu

[7]

3.8 Pravidelné kontroly

Při pravidelné kontrole pracovník místně kontroluje teplotu oleje transformátoru na ručičkovém teploměru, která by v nominálním stavu neměla přesáhnout 65°C nad teplotu okolního vzduchu. V případě přesažení této teploty se automaticky zapínají přídatné chladiče, popřípadě poslední rezervní chladič. Přídatné chladiče regulují teplotu až na 30°C, poté automaticky vypínají s určitou hysterezí. Transformátor je odstaven ochranou při dosažení teploty 85°C. Podrobněji budou teploty transformátorů rozebrány v kapitole 4.4.

Dále se provádí vizuální kontrola úkapů oleje z těsnění mezi spoji přírub nádoby, či z jejich součástí vyjmenovaných v předešlých kapitolách. Mezi další kontroly patří kontrola chodu ventilátorů dle okolní teploty a jejich hlučnost. V případě zvýšené hlučnosti může jít o mechanickou závadu, kterou je potřeba neprodleně řešit. Také se provádí kontrola hladiny oleje v dilatační nádobě pomocí pohledu na měрку, kontrola stavu silikagelového vysoušeče, kontrola stavu průchodek a v neposlední řadě kontrola skříní Multitrans, které jsou blíže popsány v kapitole 4.2.

Při pravidelných odstávkách, se jednou za rok provádí preventivní prohlídka transformátoru a diagnostika, při které se kontroluje dielektrický systém. Čtyřikrát do roka se provádí odběr vzorků oleje na rozbor, při kterých se zkoumá obsah vody, kyselost, plynové chromatografie a elektrická pevnost. [14]

4 Poruchové stavy blokových transformátorů

Poruchové stavy blokových transformátorů jsou stavy, které většinou vedou k neplánovanému odstavení transformátoru, přičemž může dojít i k poškození tohoto zařízení. Takovým stavům se výrobce i provozovatel snaží předcházet vhodně zvoleným materiálem, ochranami, automatikami, pravidelnou údržbou a v neposlední řadě pravidelně prováděnými kontrolami.

Správně zvolenými postupy provozování a kontrol se předchází poruchovosti, bohužel ani tak riziko poruch nelze zcela vyloučit. V situaci, kdy se porucha vyskytne, je nejdůležitější snažit se o to, aby bylo vlivem ochrany, eliminováno poškození dotčeného zařízení, jeho bezpečné odstavení a případný AZR na rezervní zařízení.

Z praxe byly pro tuto práci vybrány nedávné poruchy a závady na blokových transformátorech a zařízení, které se podílí na jejich včasném odhalení. U některých poruch došlo k poškození zařízení a některé k tomu svým charakterem mohly vést.

- Mezizávitový zkrat

- Zařízení multitrans
- Prasklé potrubí suchovodu SHZ
- Porucha signalizace poklesu tlaku vzduchu pro SHZ
- Vysoké teploty oleje transformátorů

4.1 Mezizávitový zkrat

4.1.1 Vznik poruchy a její analýza

Mezizávitový zkrat blokového transformátoru se stal na jeho třetí jednotce, neboli třetí fázi L3, 2.HVB. Tato porucha byla zachycena příslušnými ochranami a ty zajistily odpojení transformátoru od všech zdrojů, to znamená, že byl vypnut vypínač turbogenerátoru 2.HVB, vypínače v 6kV rozvodnách vlastní spotřeby bloku a vypínač v rozvodně Kočín pro linku 400kV 2.HVB. Tímto vypnutím bylo automaticky převedeno napájení vlastní spotřeby bloku na rezervní napájení přes rezervní transformátory a linku 110kV.

Při prvotní kontrole byl zjištěn vytékající olej ze zapouzdřeného vodiče 24kV, dále byl zjištěn únik oleje z dělicí roviny transformátoru z důvodu zdeformování nádoby. Z důvodu neprovoznosti hlavního výrobního bloku byla celá jednotka transformátoru demontována a nahrazena jednotkou náhradní. Poškozená jednotka byla odvezena do haly dílen, kde proběhlo prvotní dohledání příčiny poruchy a jejích následků. [8]

Po sejmutí nádoby transformátoru bylo zjištěno značné poškození vnějšího vinutí. Vzhledem k rozsahu poškození byl transformátor převezen do Plzně, kde byl zkoumán podrobněji. [8]

Po prozkoumání transformátoru se došlo k závěru, že poškození mohla způsobit postupná degradace izolace vinutí poblíž přívodu napětí 400kV a následné proražení mezizávitové izolace primárního vinutí a přechodem do mezizávitového zkratu. Dle chování ochran začal mezizávitový zkrat jako zemní zkrat na straně 24kV, přičemž prohořel na stranu 400kV. Proud mezizávitového zkratu procházel obloukem. Tím bylo způsobeno místní odpaření oleje a tepelná dilatace vodičů. Tato situace zapříčinila vznik tlakové vlny, která se šířila nahoru mezi vinutí 400kV a 24kV. [8,9]

Degradace vinutí transformátoru mohla být způsobena přehřátím v daném místě z důvodu zhoršeného odvodu tepla, či jinou nahodilou závadou, jako je například výrobní vada, či kovová špona v oleji. [8]

Při poruše mžikově zapůsobily rozdílové ochrany, dále plynové relé a nádobová

zemní ochrana. Ovšem nepůsobily pojistné ventily a jejich nepůsobení způsobilo již zmíněné zdeformování nádoby transformátoru, poškození přírubových spojů a vniknutí oleje přes průchodky 24kV do zapouzdrěných vodičů. [9]

4.1.2 Optimalizace stávajícího zařízení

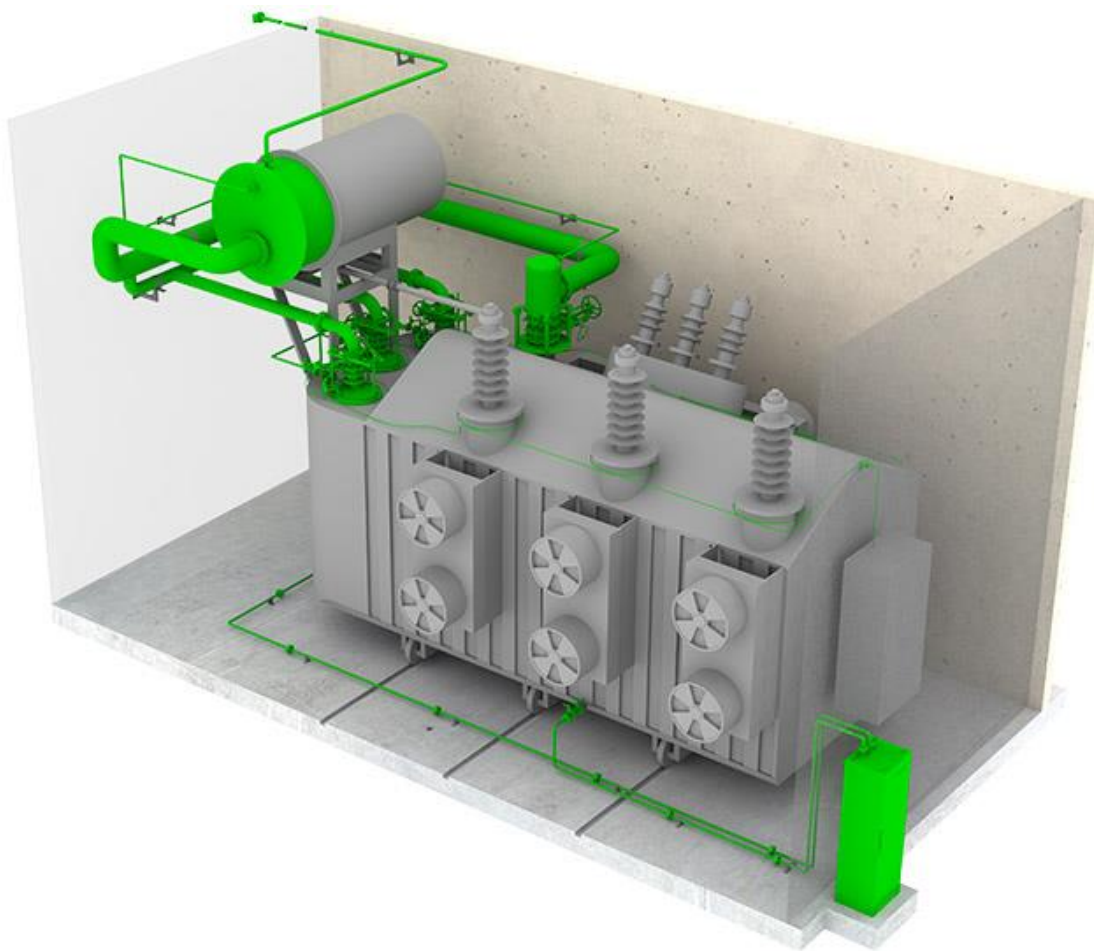
4.1.2.1 Pojistné ventily

Vzhledem k tomu, že pojistné ventily, které mají za úkol dle kapitoly 3.2.1 působit v případě nárůstu tlaku oleje v transformátoru, nezapůsobily, bylo by vhodné vyřešit tento problém modifikací v podobě dalšího pojistného ventilu se schopností reagovat mžikově a na rychle rostoucí tlak v nádobě. Z dostupných informací je tento aktuální systém pojistných ventilů užitečný hlavně při pomalém nárůstu tlaku oleje v nádobě, ale v případě výše probrané situace dojde k její deformaci.

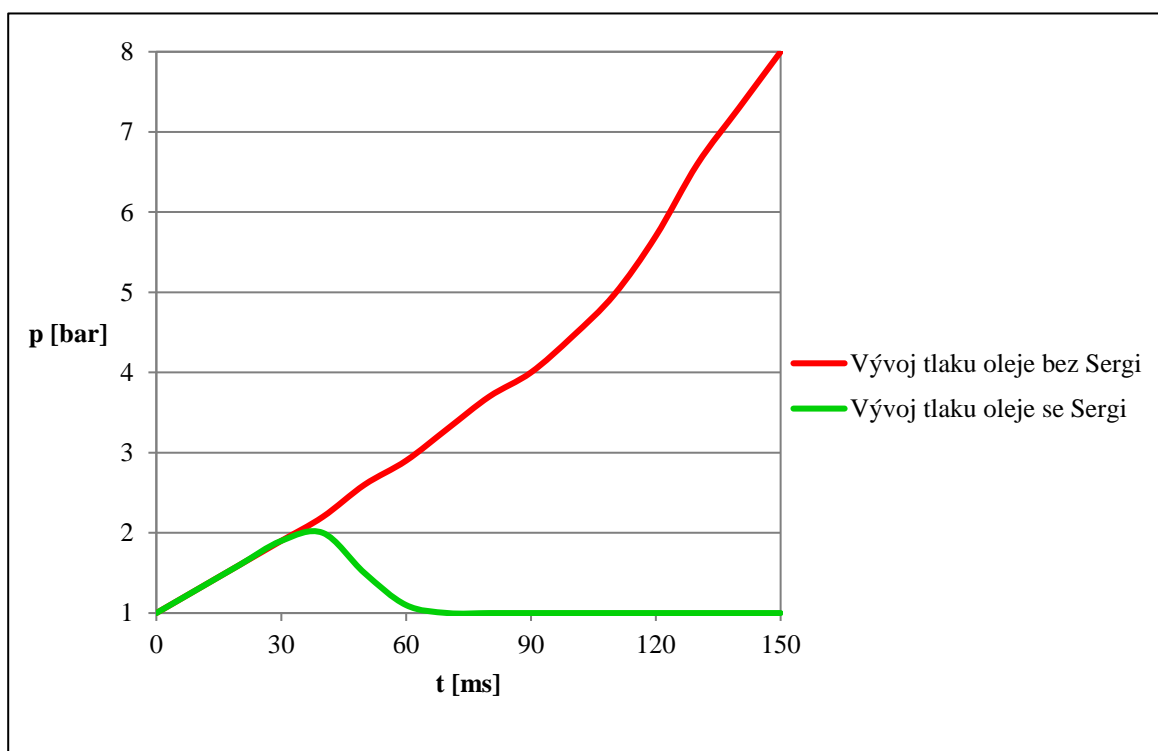
4.1.2.2 Působení mezizávitového zkratu

Jedním z řešení, kterým byly transformátory upraveny je již zmíněné zařízení multitrans pro sledování kvality oleje, které pomáhá zabránit vzniku další podobné poruchy, avšak riziko jejího vzniku nelze zcela vyloučit.

Dalším možným řešením je zařízení Sergi, navržené pro transformátory velkých výkonů. Sergi sice ve své podstatě nezabraňuje mezizávitovému zkratu, pokud ovšem ke zkratu dojde, zabraňuje tato modifikace vznícení oleje a následné explozi nádrže. Díky zapůsobení systému nedojde k destrukci nádoby a ani k následnému požáru. Sergi pracuje na principu zhášení, které je při případné poruše aktivováno během několika milisekund tzv. dynamickou tlakovou vlnou vzniklou výbuchem, která způsobí prasknutí pojistné patrony mezi transformátorem a tímto systémem. V této situaci je olej, který by mohl poškodit nádobu, bezpečně vytlačen do bočního potrubí a pojistné nádrže a samotný výbuch je postupně zhášen inertním dusíkem. [10]



Obrázek 9: Jeden z typů montáže Sergi systému na třífázový transformátor - TP3A VDS SOGST [10]



Obrázek 10: Porovnání vývoje tlaku oleje v transformátoru se systémem Sergi a bez něj [10]

Při grafickém znázornění je patrný rozdíl tlaku působící na nádobu transformátoru při explozi vlivem mezizávitového zkratu, kdy se tlak během 60ms nedostane na větší úroveň, než jsou 3bary.

Tímto způsobem by bylo možné řešit rychlý nárůst tlaku oleje v blokových transformátorech daleko efektivněji než je tomu nyní. Vzhledem k včasnému zapůsobení systému Sergi s odvodem oleje, by transformátor neutrpěl žádné další škody vlivem výbuchu a podstatně by se snížily finanční náklady a časová náročnost spojená s opravou celé nádoby.

4.2 Multitrans

Při provozu nejen blokových transformátorů, ale i dalších transformátorů odbočkových a rezervních, které jsme si probrali v předešlých kapitolách, je jednou z klíčových činností monitorování parametrů chladicího oleje.

Olejové transformátory jsou při provozu vystavovány tepelnému a elektrickému zatížení. Vzhledem k těmto skutečnostem se mohou objevit poruchy obvykle v podobě horkých míst, částečného výboje a případnému vytvoření oblouku. Při těchto poruchách dochází v nádobě k vytvoření takzvaného chybového plynu vlivem rozpadu oleje. [6]

Tento monitoring pomáhá včas odhalit zhoršení kvality oleje a bezpečně odstavit transformátor ještě předtím, než dojde k poruše a poškození.

Zařízení multitrans je v současné době v provozu na blokových transformátorech obou bloků jaderné elektrárny Temelín a to od roku 2009. Díky tomuto zařízení jsme schopni sledovat řadu plynů. Výsledkem elektrických nebo teplotních vad a následných vzájemných interakcí se vytvářejí molekuly nežádoucích plynů. Vlivem elektrické poruchy, jako jsou například částečné výboje, jiskření, či jiné výboje vzniká:

- Vodík H_2
- Metan CH_4
- Etylen C_2H_4
- Acetylen C_2H_2
- Oxid uhelnatý CO
- Oxid uhličitý CO_2

Vlivem vysoké teplotní zátěže, která je způsobena například přetížením, nedostatečným chlazením, či špatným kontaktem vzniká:

- Metan CH_4
- Etan C_2H_6

- Etylen C_2H_4
- Oxid uhelnatý CO
- Oxid uhličitý CO_2

Vlivem jiných poruch, jako je například netěsnost, vzniká:

- Kyslík O_2
- Dusík N_2

Dále je také sledován možný výskyt vody v oleji:

- Voda H_2O

[14]

Multitrans je instalován vždy jeden společný pro trojici jednofázových jednotek blokového transformátoru. Měřena je vždy 2 hodiny jednu jednotku a potom přepíná na jednotku další. Olej je přiváděn do analyzátoru potrubím, které je zaizolováno vzhledem k tomu, že je vystavováno venkovním podmínkám. Signalizace je výstražná, která informuje o dosažení hodnoty na její nastavenou hranici a alarmující, která informuje o jejím překročení, přičemž tento alarm signalizuje shodně se signálem plynového relé pro první stupeň, ten je blíže popsán v kapitole 3.2.7. [2]

Měření výše uvedených plynů ovšem v praxi není úplně přesně stejné ve srovnání s protokoly z akreditované laboratoře ORGEZ v Praze. Vždy je patrný rozdíl mezi výslednými hodnotami Multitransu a protokolů z laboratoře, ale tyto hodnoty jsou vždy v mezích. Hodnoty naměřené v laboratoři se vždy berou jako přesnější.

Vzdušné plyny O_2 , CO_2 a N_2 jsou v provozu měřeny s velikou odchylkou, tudíž je jejich měření nepřesné a výsledky nejsou brány v potaz.

Pomocí zařízení Multitrans byly dle tabulky číslo 2 naměřeny hodnoty plynů a vody všech tří jednotek blokového transformátoru a tyto výsledky byly zprůměrovány.

Tabulka 2: Naměřené hodnoty látek v oleji transformátoru pomocí zařízení Multitrans

Plyn, voda	1. jednotka blokového transformátor u HVBI	2. jednotka blokového transformátor u HVBI	3. jednotka blokového transformátor u HVBI	Průměr
Vodík H_2 [ppm]	12,7	6,7	1,9	7,1
Oxid uhelnatý CO [ppm]	290,0	290,0	290,0	290,0
Oxid uhličitý CO_2 [ppm]	2586,0	3508,0	1106,0	2400,0
Metan CH_4 [ppm]	31,9	31,0	9,0	24,0
Etan C_2H_6 [ppm]	18,0	18,7	5,1	13,9
Etylen C_2H_4 [ppm]	7,4	18,5	3,3	9,7
Acetylen C_2H_2 [ppm]	0,3	0,0	0,1	0,1
Voda H_2O [ppm]	3,7	3,4	4,2	3,8

Následně byly v tabulce číslo 3 porovnány výsledky naměřených a doporučených hodnot látek v oleji blokových transformátorů podle mezinárodní normy IEC60599. Tato norma popisuje, jak se mohou interpretovat koncentrace látek v oleji, jejich diagnostiku a navrhuje budoucí činnosti s nimi spojenými. Jednotkami *ppm* je udána koncentrace těchto látek. V našem případě je takto vyjádřen *g/t* nebo *ml/m³*. [15]

Tabulka 3: Porovnání hodnot měřených látek v oleji transformátoru [2, 14]

Plyn, voda	Doporučené provozní hodnoty podle IEC 60599	Naměřené hodnoty v blokovém transformátoru HVB1	Výstražná mez	Alarmní mez
Vodík H_2 [ppm]	60 – 150	7,1	135	150
Oxid uhelnatý CO [ppm]	540 – 900	290,0	700	900
Oxid uhličitý CO_2 [ppm]	5 100 – 13 000	2400,0	5100	13000
Metan CH_4 [ppm]	40 - 110	24,0	40	110
Etan C_2H_6 [ppm]	50 – 90	13,9	50	180
Etylen C_2H_4 [ppm]	60 – 280	9,7	60	280
Acetylen C_2H_2 [ppm]	3 – 50	0,1	30	50
Voda H_2O [ppm]	10 - 25	3,8	20	25

Jak je z výsledků patrné, naměřené hodnoty se pohybují v intervalu stanoveným výrobcem a nezasahují do výstražné ani alarmující meze.

Snahou při provozu zařízení Multitrans je minimalizovat jeho poruchovost a zajistit co možná nejpřesnější výsledky jeho měření. Je důležité se proto věnovat jeho pravidelným kontrolám, kalibracím a neprodlené likvidaci jeho poruchových stavů.

I přes důkladnou údržbu, jaká je tomu v aktuální době, je z tabulek patrné, že se vždy v oleji naměří nějaké hodnoty rozkladových plynů. To je způsobeno jejich velmi malými jednotkami a v tomto důsledku nepřesnou detekcí zařízením Multitrans.

4.3 Prasklé potrubí suchovodu SHZ

SHZ je nedílnou součástí blokových transformátorů jaderné elektrárny Temelín a vzhledem k jeho důležitosti je na tento systém kladen veliký důraz při jeho kontrolách a schopnosti provozu. Princip zařízení byl detailně zmíněn v kapitole 3.2.10.

4.3.1 Vznik závady a její analýza

Prasklé potrubí suchovodu SHZ bylo zjištěno při pravidelné kontrole u třetí jednotky transformátoru HVB1. Prasklina vedla po celém obvodu sváru suchovodu. V tomto případě

se zařízení prohlásilo za neprovozoschopné a dle předpisu popisující náhradní opatření v případě neprovozoschopnosti systému SHZ byla povolána k transformátoru dozorující jednotka HZSp, která by zasáhla v případě vzniklého požáru tohoto transformátoru. [2,12]

Důvod vzniku této závady je pravděpodobně stáří a únava materiálu, pnutí materiálu vlivem dilatace a změn teplot vzhledem k tomu, že je zařízení vystavováno venkovním teplotám a žívlům. Další možností únavy materiálu je vlastní váha tohoto přívodního potrubí, které svou masivností může způsobovat ohyb v místech s delší vzdáleností. Samotné zařízení svým provozem produkuje vibrace, které opět negativně ovlivňuje materiál.

Při odstávce bloku a s tím spojenými zkouškami sprchování blokových transformátorů se systém SHZ zaplňuje vodou, poté je potrubí během roku bez média, dochází v něm ke kondenzaci a s tím spojené rzi materiálu. Všechny tyto aspekty mohou vést k postupnému praskání rozvodu SHZ.

Jako nápravné opatření bylo rozhodnuto opravit prasknutý svár a provést kontrolu všech vybraných svarů na trasách SHZ v místech předpokladu jejich nejvyššího namáhání. [12]

4.3.2 Optimalizace stávajícího zařízení

Možným řešením by bylo právě výše zkoumané zařízení Sergi, které je schopné zcela nahradit systém SHZ svojí hasící schopností. Ovšem je třeba se zamyslet i nad možným vnějším požárem, například v důsledku zkratu kabelového vedení čerpadel, ventilátoru, či jiné pomocné výbavy transformátoru.

Vzhledem k tomu, že je potrubí SHZ vyrobeno z černého železa, je poměrně náchylné na rez. V aktuální době je nejen na jaderné elektrárně Temelín, ale i na ostatních elektrárnách měněno staré potrubí za nerezové, či plastové. Potrubí vyrobené z plastu by bylo podstatně lehčí, není náchylné na rez, tlumí vibrace a snadněji se provádí jeho případná výměna. Takové to potrubí je použito například na rozvod vodního chlazení zapouzdřených vodičů.

4.4 Porucha signalizace poklesu tlaku vzduchu pro SHZ

4.4.1 Vznik poruchy a její analýza

Porucha signalizace poklesu tlaku sušeného vzduchu v okruhu 93°C pro SHZ fáze se projevila u L1 blokového transformátoru HVB2. Při této poruše došlo k signalizaci příslušnými ochranami od manostatu 24V, který zajišťuje signály pro EPS. Jak již bylo zmíněno v předešlých kapitolách, okruh pro tlak sušeného vzduchu, který klesá po prasknutí

patrony při teplotě transformátorového oleje 93°C, pouze signalizuje, a proto v tomto případě nedošlo k vypnutí transformátoru. [13]

V případě signalizace, jako tomu bylo při této poruše, byla provedena vizuální kontrola transformátoru, kontrola tlaku vzduchu v obou okruzích, tedy signalizujícího okruhu pro teplotu 93°C a okruhu pro 141°C. Tlak v těchto okruzích se rovnal nominálním hodnotám 350kPa. [13]

Dále se v tomto případě kontroluje rozepnutí kontaktů manostatu a temperování skříní manostatů, které bylo bez závad. [13]

Manostat slouží k měření tlaku v suchovodech SHZ. Pokud poklesne tlak, spínají oba tlakové okruhy a začne se čerpat voda do již zmíněného SHZ.

V důsledku zkoumání bylo provedeno odzkoušení manostatů, kdy se podařilo dohledat, že poruchu a následnou signalizaci poklesu tlaku vzduchu pravděpodobně způsobil vadný spoj na vyvažovacím odporu linky ústředny EPS od manostatu pro L2 transformátor HVB2. Vyvažovací odpor je zařazen na předávacím bodu kabeláže mezi manostatem a linkou EPS z důvodu hlídání jejího klidového stavu, tento stav je hlídán tak, že je na lince naprogramována hodnota vyvažovacího odporu, hodnoty napětí a proudu linky a v případě jeho změny proběhne signalizace poruchy do EPS. Chyba tedy nebyla v odporu ani v EPS, při podrobném zkoumání se dospělo k závěru, že musela chyba přijít zvenčí. Kvůli proměnlivým okolním teplotám dochází ke kondenzaci a ta může škodit v podobě poruchy vyvážení hlídané cesty tak, že se mění hodnoty odporu a následně signalizuje výše zmíněná porucha. Vzhledem k této události, byla provedena výměna vyvažovacího odporu za nový. [13]

4.4.2 Optimalizace stávajícího zařízení

Aktuálně jsou v praxi venkovní převodní skříně s manostaty provozovány tak, že se v nich kvůli možné kondenzaci topí přímotopy. Například s manostaty u vzdušníků, které slouží pro zásobu sušeného vzduchu systému SHZ, problémy se zvýšenou kondenzací, nebo již zmíněnou signalizací poruchy do EPS nejsou, a to právě kvůli tomu, že jsou umístěné v budově strojovny a neovlivňují je náhlé změny počasí.

Venkovní řešení manostatů by mohlo být doplněno o snahu navrhnout manostat takovým způsobem, aby byl bezkontaktní, což by v případě zvýšené vlhkosti zabránilo další poruše způsobené vlhkostí, neboli rosení v kontaktech. V tomto případě by bylo vhodné použít například spínací tranzistor, nebo jiný spínací prvek, který pracuje s napětím 24V a který by byl schopný reagovat na pokles tlaku vzduchu.

4.5 Vysoké teploty oleje transformátoru

4.5.1 Provozní teploty transformátorů

Vzhledem k tomu, že jsou blokové transformátory provozovány ve venkovním prostředí, jedním z parametrů, kterým je třeba se zabývat, aby byl zajištěn jejich bezpečný chod, je přizpůsobení se venkovní teplotě. I přesto, že se jaderná elektrárna Temelín nachází v poměrně mírném podnebí, během roku nastanou dny, kdy se teploty dostanou na takové hodnoty, kterým je potřeba se přizpůsobit.

V zimních dnech s chlazením blokových transformátorů výrazný problém není, teplota jejich oleje se pohybuje okolo 30°C, kdy jsou dle předešlých kapitol v chodu jen základní skupiny chladičů. Problém ovšem nastává s vysokými mrazy, na které je citlivá elektronika rozvaděčů. Pro takovéto situace jsou v rozvaděčích instalovány přímotopy podobně, jako je tomu u manostatů SHZ. Využití topení se osvědčilo i v létě, kdy se díky mírnému ohřívání zabraňuje zvyšování vlhkosti v těchto rozvaděčích.



Obrázek 11: Blokový transformátor druhého HVB [7]

Blokové transformátory jsou podle požárních předpisů projektově navrženy tak, že musí být každá jednotka oddělena betonovou zdí, která brání šíření případného požáru. V takovém případě dochází k tomu, že má prostřední jednotka, tedy druhá fáze blokového transformátoru, podstatně vyšší hodnoty teploty oleje, než jednotky první a třetí fáze, které jsou chlazeny okolním vzduchem i ze strany. V letních dnech tedy dochází k přehřívání prostřední jednotky a jejímu signalizování na blokovou dozornu o zvýšené teplotě.

Vlivem vysokých teplot, se dostávají teploty transformátorového oleje až na hodnoty přibližně 72°C. Při těchto hodnotách jsou v chodu všechny chladiče, včetně rezervního.

Pro znázornění chodu čerpadel byl vypsán podrobný průběh spínání chladičů a jejich čerpadel. V tabulce číslo 4 a 5 jsou znázorněny podmínky pro chod chladičů v závislosti na stavu zařízení, teplotě oleje, či proudovém zatížení.

V příloze číslo 1 byla doplněna názorná ukázka stavu jedoucích chladičů, sledovaných plynů a dalších parametrů, které zajišťuje Tramon transformer monitoring. Tento program slouží pro zobrazování a ukládání veškerých sledovaných parametrů blokových transformátorů na JETE, které fyzicky zajišťuje již zmíněné zařízení Multitrans a další místní měřicí přístroje.

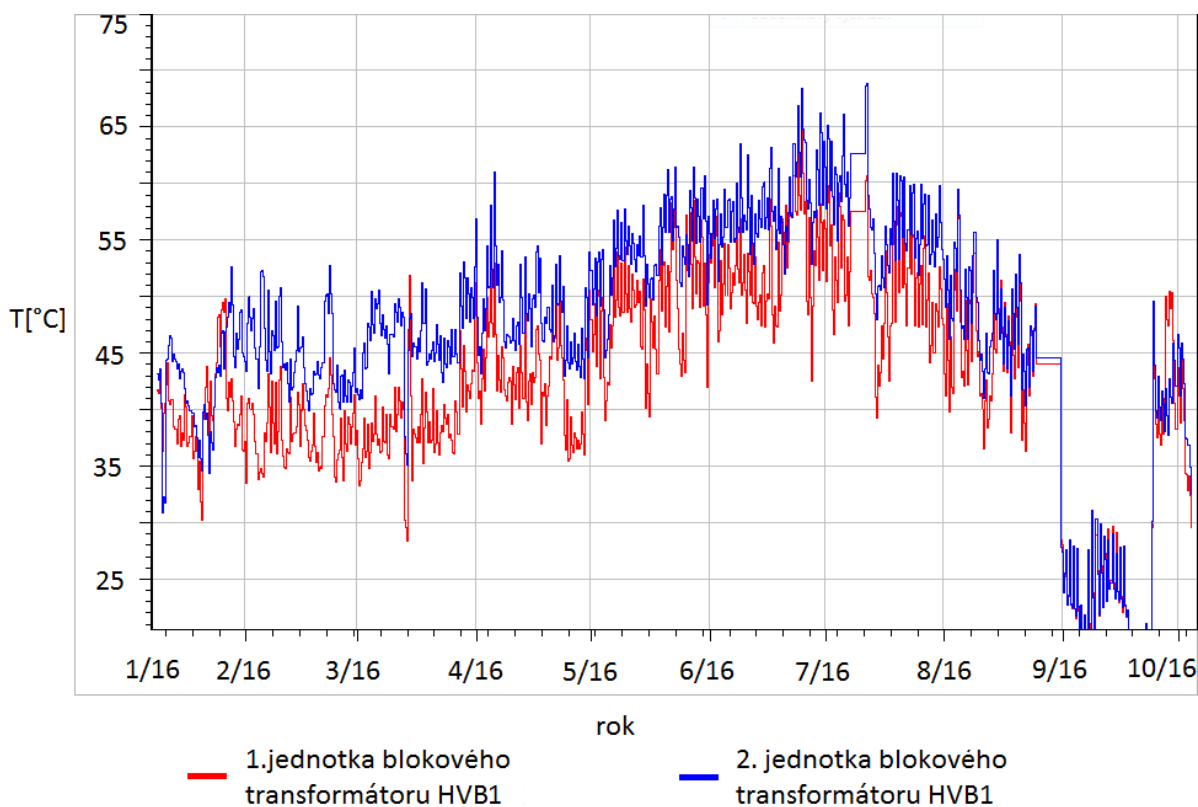
Tabulka 4: Chod chladičů u první chladicí větve transformátoru [2]

Chladič 1 chod	Generátorový vypínač nebo vypínač v Kočíně zapnut.
Chladič 1 chod	Teplota oleje vyšší než 50°C Teplota oleje vyšší než 60°C
Chladič 1 chod	Teplota oleje nižší než 40°C a proudové zatížení vyšší než 40%
Chladič 1 a 2 chod	Teplota oleje vyšší než 50°C a proudové zatížení vyšší než 40%
Chladič 1 a 2 chod	Teplota oleje vyšší než 60°C a proudové zatížení vyšší než 40%
Chladič 1 a 2 chod	Teplota oleje nižší než 40°C a proudové zatížení vyšší než 75%
Chladič 1;2 a 3 chod	Teplota oleje vyšší než 50°C a proudové zatížení vyšší než 75%
Chladič 1;2 a 3 chod	Teplota oleje vyšší než 60°C a proudové zatížení vyšší než 75%

Tabulka 5: Chod chladičů u druhé chladicí větve transformátoru [2]

Chladič 1 chod	Generátorový vypínač nebo vypínač v Kočíně zapnut.
Chladič 1 chod	Teplota oleje vyšší než 50°C
Chladič 1 chod	Teplota oleje nižší než 40°C a proudové zatížení vyšší než 40%
Chladič 1 a 2 chod	Teplota oleje vyšší než 60°C
Chladič 1 a 3 chod	Teplota oleje vyšší než 50°C a proudové zatížení vyšší než 40%
Chladič 1 a 3 chod	Teplota oleje nižší než 40°C a proudové zatížení vyšší než 75%
Chladič 1;3 a 2 chod	Teplota oleje vyšší než 60°C a proudové zatížení vyšší než 40%

Pro demonstraci teplot blokového transformátoru byl vybrán graf na obrázku číslo 12 s průběhem maximální teploty oleje pod víkem nádoby od ledna 2016 do října 2016. Do tohoto grafu byla zahrnuta první a druhá jednotka blokového transformátoru prvního HVB.



Obrázek 12: Výstřížek grafu vývoje max teploty oleje pod víkem transformátoru pro 1. a 2. Jednotku

Zdroj: Tramon transformer monitoring JETE

Jak je z grafu patrné, je zřetelný rozdíl v chlazení druhé jednotky. Chladí se podstatně hůře. Rozdíl teploty mezi první a druhou jednotkou transformátoru se po většinu roku pohybuje přibližně od 1°C do 8°C. V letních měsících v odpoledních hodinách dosahují teploty druhé jednotky, jak již bylo zmíněno výše, až 72,20°C, přičemž v tu dobu byla na první jednotce naměřena teplota 63,62°C. V průběhu září a října proběhla plánovaná revize na odstavených transformátorech, hodnoty grafu tedy odpovídaly teplotě okolního vzduchu.

Během výše uvedeného období byly každý den zapisovány teploty na obou jednotkách blokového transformátoru ve stejný čas, tedy v 12:00 hodin, a z naměřených hodnot byly zpracovány tabulky, které jsou v příloze této práce. Tyto hodnoty byly pro bližší specifikaci zprůměrovány na průměr teploty za daný měsíc.

Tabulka 6: Průměry teplot oleje naměřených na 1. a 2. jednotce blokového transformátoru

	1. jednotka blokového transformátoru HVB1 T[°C]	2. jednotka blokového transformátoru HVB1 T[°C]	Rozdíl T[°C]
Leden	39,64	41,83	2,19
Únor	38,06	45,07	7,01
Březen	39,00	46,66	7,66
Duben	42,85	48,21	5,36
Květen	49,77	54,33	4,56
Červen	53,13	58,24	5,11
Červenec	52,22	51,90	0,32
Srpen	35,93	37,85	1,92
Září	28,00	27,87	0,13
Říjen	41,32	40,87	0,45
Průměr za celé období	41,99	45,28	3,29

Z tabulky je patrné, že je v některých měsících teplota oleje první jednotky blokového transformátoru nepatrně vyšší než teplota oleje jednotky druhé. To je způsobeno rozdílným zatížením jednotlivých fází transformátoru. V dalších měsících jsou teploty zanedbatelné vzhledem k odstavenému bloku a malé zátěži transformátoru, či jeho chodu naprázdno.

4.5.2 Signalizace poruchy transformátoru od zvýšené teploty

V souvislosti se zvýšenými teplotami na transformátorech se v roce 2016 vyskytla na transformátoru signalizace poruchy transformátoru fáze L1 od vysoké teploty, a to 93°C. Při prvotní kontrole bylo zjištěno, že signalizace působí falešně. Po bližším ověření byl nalezen ulomený vodič signalizace teploty. [11]

Vzhledem k tomu, že teplota 93°C pouze signalizuje, nedošlo k odstavení blokového transformátoru od ochran. Kdyby se tato porucha stala pro teplotu 141°C, kterou jsme si blíže probrali v kapitole 3.2.10, došlo by k odstavení transformátoru vlivem ochran. Systém SHZ by zůstal bez působení, vzhledem k tomu, že reaguje pouze na pokles tlaku v jeho

okruhu.

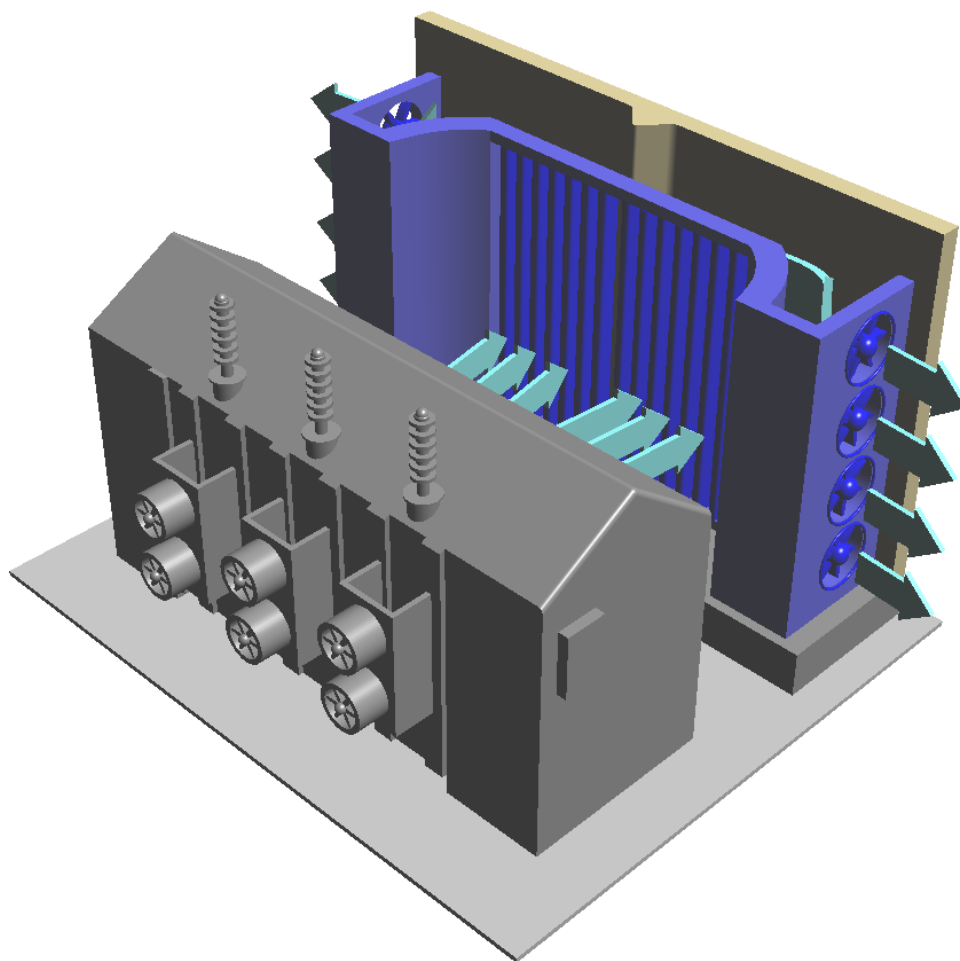
4.5.3 Optimalizace stávajícího zařízení

4.5.3.1 Modifikace chladičů

Možným řešením zvýšených teplot druhé fáze blokového transformátoru by mohlo být přidání další řady chladičů, které by pomohly teplotu zregulovat daleko rychleji a s vyšší účinností. Větší počet chladičů se používá například v zemích s teplejším klimatem, jako je Afrika, či jižní Evropa, kde se počítá s vysokými teplotami okolního vzduchu, které by mohly negativně ovlivňovat zařízení.

Dalším teoretickým řešením by mohla být úprava betonových zdí, oddělujících jednotky blokového transformátoru, a to tak, aby lépe odváděly teplo, které by se rovnoměrně rozdělilo mezi všechny tři jednotky. Ovšem v tomto případě je důležité dodržet bezpečné oddělení transformátorových jednotek vzhledem k požárním normám, tudíž zachovat protipožární stěny dostatečně pevné a izolované tak, aby nemohlo dojít k požáru od vedlejšího zařízení.

S touto možnou optimalizací bylo v programu SpaceClaim 2016.2 navrženo chlazení, které pracuje na principu odtahu teplého vzduchu z čela jednotky transformátoru podél zdi směrem do stran. Návrh záměrně postrádá elektromotory pro ventilátory a další funkční celky. V případě podrobnějšího návrhu by bylo třeba počítat s dalšími parametry, jako je dostatečný výkon instalovaných elektromotorů, podle jaké teploty budou ventilátory spínat a do jaké míry budou regulovat provozní teplotu. Další podnět k zamyšlení je, zda by nebylo vhodné toto zařízení použít s prodiskutovaným zařízením Sergi, díky kterému by se ušetřilo místo tím, že by se upravilo zařízení SHZ a tím zredukoval počet potrubí kolem transformátoru.



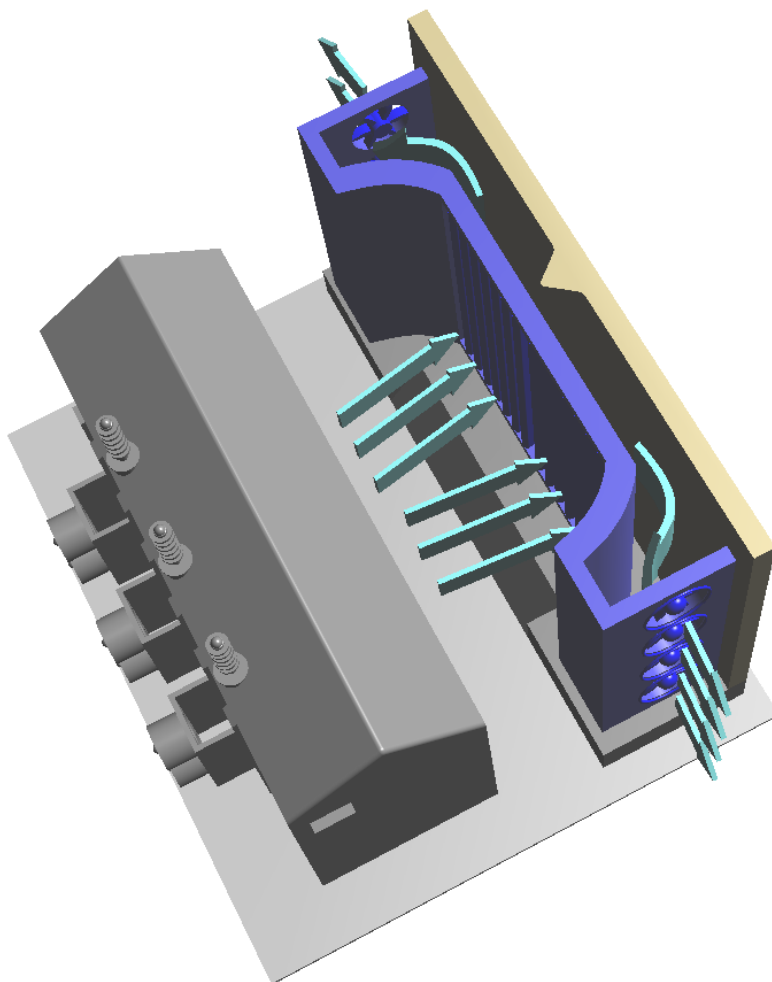
Obrázek 13: Návrh chladiče při izometrickém pohledu

Zdroj: Vlastní výzkum

Na obrázku číslo 13 je znázorněný průběh odsávání teplého vzduchu od transformátoru, v případě tohoto návrhu se počítalo s tím, že bude tah vzduchu dostačující. Pokud by tomu tak při bližších výpočtech nebylo, doplnila by se zadní stěna nádoby transformátoru o ventilátory, které by směřovaly vzduch směrem, kterými jsou zobrazeny šipky, tedy do chladiče.

Jak je z obrázků patrné, vzduch by byl z každé strany odtahován čtyřmi ventilátory, které by mohly být spínány podle potřeby, jako je tomu u stávajícího chlazení, tedy podle aktuální teploty oleje a podle zátěže blokového transformátoru. O rozdělení horkého vzduchu odtahovaného z transformátoru by bylo postaráno pomocí natočených klapek a vnitřním uspořádáním chladiče.

Pro návrh byl zvolen třífázový transformátor s chlazením umístěným zepředu na nádobě transformátoru. Do návrhu nebyl zahrnut přímo blokový transformátor vzhledem k tomu, že bylo hlavním cílem znázornit princip chladiče, který by byl pro třífázový i jednofázový transformátor stejný.

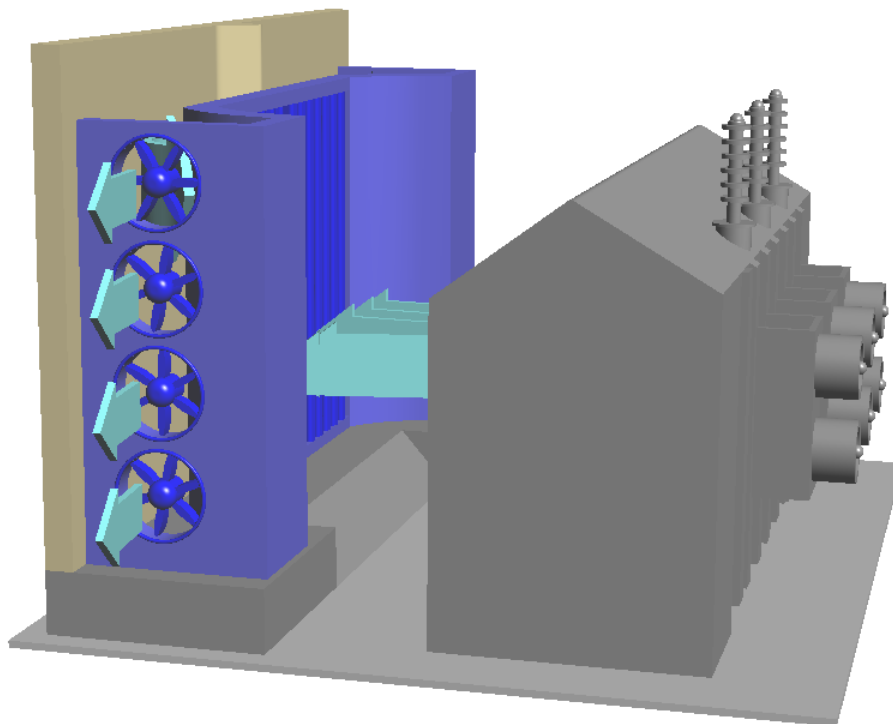


Obrázek 14: Návrh chladiče při pohledu shora

Zdroj: Vlastní výzkum

Horní část chladiče by byla v reálném stavu uzavřená, na obrázku je tato část záměrně vynechána pro lepší zobrazení vnitřního uspořádání chladiče a jeho funkce v praxi.

Z návrhu chladiče při pohledu shora je patrné, že je vzduch odtahován od nechlazené zadní části transformátoru, odkud dále putuje do chladiče, kde se rozděluje a tím umožňuje daleko snadněji rozptýlit horký vzduch, který je ohříván od této část transformátoru.



Obrázek 15: Návrh chladiče při pohledu zleva

Zdroj: Vlastní výzkum

4.5.3.2 Úprava stávající signalizace teplot

Vhodným řešením pro falešné signalizace vysokých teplot by byla další dálková signalizace, která by byla nezávislá na signalizaci stávající. To by umožnilo okamžitě odhalit pravděpodobnou nefunkčnost, nebo poruchu jedné z nich. Ovšem byla by to ekonomicky poměrně nákladná investice.

5 Shrnutí práce

Závěrem práce je třeba si stručně shrnout zjištěné výsledky a možná řešení, kterými by mohlo být stávající zařízení optimalizováno. Při návrhu optimalizace zařízení bylo dbáno na zachování bezpečnosti provozu a toho, aby navrhované zařízení nijak negativně neovlivňovalo chod stávajícího zařízení.

Při zkoumání mezizávitového zkratu na blokovém transformátoru bylo jako nejvhodnější řešení vybráno - optimalizace pomocí mžikového pojistného ventilu, který by zabránil deformaci nádoby při nárůstu tlaku oleje a zařízení Sergi, které nejen, že brání

deformaci nádoby, ale také dokáže interně hasit vzniklý výboj. Podrobněji tomu bylo popsáno v kapitole 4.1.2.

V souvislosti s předvídáním poruch bylo probráno zařízení Multitrans. Bylo zkoumáno, jak je toto zařízení v současné době provozováno a praktické zkušenosti s tímto systémem. V souvislosti se zkoumáním Multitransu byly změřeny látky, které jsou v provozu sledovány a bylo provedeno porovnání s hodnotami uvedenými v normách. Dále byla probrána snaha o minimalizaci poruchovosti tohoto zařízení, a jak systém přispívá k včasnému odhalování poruch blokových transformátorů.

Jako další téma ke zkoumání se naskytlo prasklé potrubí suchovodu SHZ, které přímo souvisí s provozem blokových transformátorů, a to proto, že zabezpečuje jejich bezpečný provoz. V kapitole 4.3 byla rozebrána závada a její příčina. V návaznosti na to, byly sepsány podněty k optimalizaci zařízení v podobě výměny stávajícího potrubí za potrubí z pokročilejšího materiálu.

U SHZ se naskytla ještě další možnost zkoumání v podobě poruchy signalizace poklesu tlaku v suchovodu toho systému. V Kapitole 4.4 byla popsána situace při vzniku poruchy, prvotní nápravné opatření a další řešení její opravy. V závěru kapitoly byla navržena možná úprava stávajících manostatů za bezkontaktní spínací prvky.

V kapitole 4.5 byly probrány vysoké teploty na teplotu oleje blokových transformátorů. Tyto hodnoty byly naměřeny, graficky znázorněny a byl popsán důvod vzniku jejich rozdílů. Vzhledem k nevyrovnaným teplotám na jednotkách blokového transformátoru již od projektu, byla navržena úprava stávajícího projektu, která by mohla kladně přispět k aktuální situaci.

I přes včasné prováděné revize a kontroly zařízení se nedá zcela vyloučit riziko výskytu poruch, ale díky těmto optimalizacím a nápravným opatřením se snižuje celková poruchovost a předchází se nežádoucím stavům v podobě odstavení zařízení, jeho neschopnosti provozu či jeho poškození, které by mohlo ovlivnit další bezpečný chod.

Vzhledem k tomu, že zařízení podléhá procesu stárnutí a únavy materiálu, je třeba se těmto skutečnostem přizpůsobit a myslet na postupnou úpravu stávajících prvků, které by v budoucnu mohly zapříčinit poruchu vzhledem ke svému stáří. U takových modifikací je ovšem zásadní dodržet kompatibilitu s nynějším zařízením, bylo by totiž neefektivní a neekonomické preventivně vyměnit část zařízení za takovou, která by v budoucnu byla více poruchová vzhledem ke špatné komunikaci s celým systémem. Všechny provedené změny by měly zachovat a ideálně zvednout celkovou spolehlivost systému a ulehčit tím obsluze, která se díky tomu bude moci více věnovat dalším podstatným činnostem v provozu.

Díky teoretickému shrnutí vybrané oblasti elektrárny a zmíněným poruchám či abnormalitám zažitých z provozu tohoto zařízení, může být tato bakalářská práce ve výsledku použita pro rozšíření jak teoretického, tak i praktického vnímání blokových transformátorů na jaderné elektrárně Temelín. Tyto informace mohou efektivně posloužit provoznímu personálu, který se o toto zařízení stará i širší veřejnosti, kterou by tato problematika případně mohla zajímat.

Tato práce pomohla prohloubit nejen mé studijní poznatky, ale hlavně ty pracovní. Vzhledem k tomu, že se kolem blokových transformátorů pohybuji v podstatě každý den - provádím kontroly jejich parametrů, vypisuji poruchové žádanky na opravu a dohlížím na jejich bezpečný provoz, bylo pro mne velikým přínosem zajímat se o toto zařízení do větší hloubky, než mi má pracovní náplň nařizuje a zároveň to pro mne bylo impulzem pro zkoumání, zda by šlo toto zařízení ještě nějakými způsoby optimalizovat a zda by šla ještě více snížit jeho možná poruchovost, což by výrazně zvýšilo jeho životnost.

Seznam tabulek

<i>Tabulka 1: Technické parametry blokového transformátoru [2].....</i>	<i>28</i>
<i>Tabulka 2: Naměřené hodnoty látek v oleji transformátoru pomocí zařízení Multitrans</i>	<i>40</i>
<i>Tabulka 3: Porovnání hodnot měřených látek v oleji transformátoru [2, 14]</i>	<i>41</i>
<i>Tabulka 4: Chod chladičů u první chladicí větve transformátoru [2].....</i>	<i>46</i>
<i>Tabulka 5: Chod chladičů u druhé chladicí větve transformátoru [2].....</i>	<i>46</i>
<i>Tabulka 6: Průměry teplot oleje naměřených na 1. a 2. jednotce blokového transformátoru</i>	<i>48</i>

Seznam obrázků

<i>Obrázek 1: Princip výroby elektrické energie v JETE [2]</i>	13
<i>Obrázek 2: Plášťové provedení transformátoru [3]</i>	21
<i>Obrázek 3: Jádrové provedení jednofázového transformátoru [3]</i>	21
<i>Obrázek 4: Princip jednofázového transformátoru [3]</i>	22
<i>Obrázek 5: Transformátor naprázdno [4]</i>	25
<i>Obrázek 6: Transformátor nakrátko [4]</i>	26
<i>Obrázek 7: Pohled na třetí a druhou jednotku blokového transformátoru 1.HVB [7]</i>	27
<i>Obrázek 8: Připojení blokového transformátoru na vyvedení výkonu [2]</i>	29
<i>Obrázek 9: Jeden z typů montáže Sergi systému na třífázový transformátor - TP3A VDS SOGST [10]</i>	37
<i>Obrázek 10: Porovnání vývoje tlaku oleje v transformátoru se systémem Sergi a bez něj [10]</i>	37
<i>Obrázek 11: Blokový transformátor druhého HVB [7]</i>	45
<i>Obrázek 12: Výstřižek grafu vývoje max teploty oleje pod víkem transformátoru pro 1. a 2. Jednotku</i>	47
<i>Obrázek 13: Návrh chladiče při izometrickém pohledu</i>	50
<i>Obrázek 14: Návrh chladiče při pohledu shora</i>	51
<i>Obrázek 15: Návrh chladiče při pohledu zleva</i>	52

Seznam použité literatury

- [1] ČEZ. *Interní školící materiály: Dispoziční uspořádání JE VVER 1000*. Brno, 2013.
- [2] ČEZ. *Interní dokumentace: Provozní předpisy*. Temelín, 2016.
- [6] ČEZ. *Interní dokumentace: SOER WANO 2011-1. Spolehlivost transformátorů velkých výkonů*. Praha, 2011.
- [7] ČEZ. *Interní školící materiály: Elektrická část JE VVER 1000 Modul 1*. Brno, 2015.
- [8] Elektrotechnická fakulta ČVUT v Praze. *Analýza poruchy blokového transformátoru v jaderné elektrárně Temelín*. Praha, 2004.
- [9] ČEZ. *Interní dokumentace: Zpráva o výpadku 2.HVB*. Temelín, 2004.
- [11] ČEZ. *Hlášení o poruše 2. transformátoru HVB2: signalizace poruchy T okolí 93°C*. Temelín, 2016.
- [12] ČEZ. *Hlášení o poruše 3. transformátoru HVBI: prasklé potrubí suchovodu SHZ*. Temelín, 2016.
- [13] ČEZ. *Hlášení o poruše 1. transformátoru HVB2: Porucha signalizace poklesu tlaku vzduchu pro SHZ*. Temelín, 2014.
- [14] ČEZ. *Interní dokumentace: Podnikové normy*. Temelín, 2000.
- [15] ČSN EN 60599: *Elektrická zařízení v provozu plněná izolačním olejem - Pokyn pro interpretaci výsledků analýz rozpuštěných a volných plynů*. Praha 1999.
- URL:
- [3] KONÍČEK, Václav. *Elektrické stroje* [online]. Praha, 2016 [cit. 2016-3-12]. Dostupné z: <http://www.vosaspsekrizik.cz/cs/download/studium/sps/el-stroje-a-pristroje/transformatory.pdf>
- [4] VRÁNA, Václav. *Transformátory* [online]. Ostrava, 2005 [cit. 2016-4-6]. Dostupné z: http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/BC_FBI/Prednasky/Trafa_bc.pdf
- [5] Skupina ČEZ. www.cez.cz. [online]. 4.10.2016 [cit. 2016-10-04]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/vyroba-elekriny/jaderna-energetika/jaderne-elekrarny-cez/ete/historie-a-soucasnost.html>
- [10] Sergi transformer protector. www.sergi-tp.com. [online]. 14.10.2016 [cit. 2016-10-14]. Dostupné z: <http://www.sergi-tp.com/>

Seznam příloh

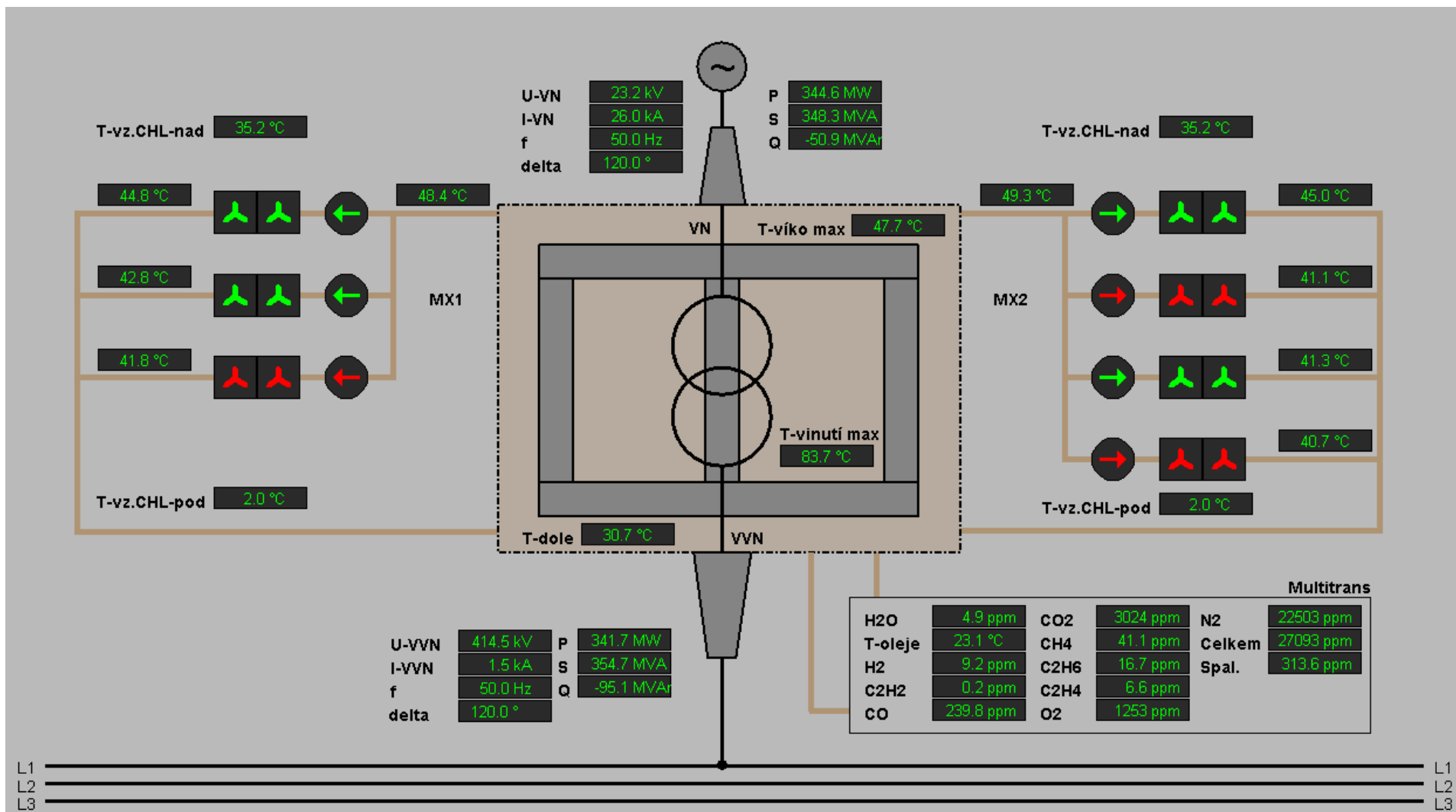
Příloha 1: Ukázka dálkové signalizace 1. jednotky blokového transformátoru HVBI

Příloha 2: Tabulka teplot naměřených na 1. jednotce blokového transformátoru HVBI

Příloha 3: Tabulka teplot naměřených na 2. jednotce blokového transformátoru HVBI

Příloha 1: Ukázka dálkové signalizace 1. jednotky blokového transformátoru HVBI

Zdroj: Tramon transformer monitoring JETE



Příloha 2: Tabulka teplot naměřených na 1. jednotce blokového transformátoru HVBI

Den / měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	38,91	36,56	33,29	41,44	45,74	52,68	58,16	45,54	29,41	40,92
2	39,14	40,41	36,92	41,99	48,24	53,61	56,35	48,66	27,99	38,58
3	35,20	40,23	36,62	44,36	47,86	55,37	55,99	53,59	27,32	33,47
4	30,59	37,16	38,04	47,79	39,91	45,08	52,91	41,24	27,57	30,01
5	39,88	34,76	39,02	48,35	42,67	51,14	58,13	45,12	21,31	39,51
6	39,14	35,88	38,26	42,25	49,96	55,05	57,23	48,15	22,43	40,76
7	39,89	41,53	39,02	42,74	51,26	51,42	50,51	49,25	19,64	42,65
8	40,00	39,41	38,41	41,89	49,73	55,86	53,36	44,74	25,68	42,51
9	43,00	37,68	37,18	41,89	51,80	53,72	61,01	41,56	26,65	43,65
10	38,46	40,37	39,51	40,42	50,71	52,68	52,48	41,26	27,45	37,86
11	43,73	36,34	40,80	41,91	48,66	51,59	52,03	39,43	27,54	40,72
12	40,87	36,04	39,79	43,30	48,84	52,89	41,53	45,39	23,44	38,96
13	37,75	39,55	29,62	45,11	52,68	51,35	44,87	48,27	28,32	41,33
14	38,97	37,45	50,53	39,08	54,27	49,74	50,65	49,48	23,81	42,18
15	38,01	40,86	38,06	42,33	44,22	50,31	47,48	46,12	27,00	44,87
16	40,65	40,01	36,83	46,20	47,50	45,63	53,35	46,09	25,66	47,39

17	38,19	38,63	39,73	44,75	47,88	55,63	54,09	45,27	21,27	44,78
18	37,21	36,16	39,42	41,06	49,14	45,82	53,68	46,85	19,22	45,51
19	33,30	37,54	38,94	41,04	51,98	49,96	58,45	48,34	17,29	43,67
20	34,88	36,43	39,48	46,02	50,99	49,75	51,05	39,38	17,91	43,21
21	44,60	35,30	38,70	47,98	52,52	53,38	54,52	42,64	14,57	40,51
22	38,66	41,08	38,05	46,56	58,74	54,82	51,38	46,18	17,24	41,65
23	35,69	42,12	40,22	46,37	50,91	57,95	51,18	45,26	16,39	39,68
24	47,04	40,05	40,66	39,76	43,50	60,61	54,94	0,00	47,97	45,28
25	46,71	35,17	39,53	36,76	50,51	61,66	50,26	0,00	37,54	44,87
26	49,62	35,24	38,18	38,40	54,60	62,25	47,57	0,00	37,86	42,40
27	40,85	35,78	41,63	35,86	54,51	51,73	46,80	0,00	42,64	38,56
28	40,79	37,67	42,66	39,24	52,05	48,32	50,43	0,00	48,73	41,53
29	37,56	38,00	39,99	42,99	51,37	57,83	51,08	0,00	49,84	42,39
30	39,83	38,52	40,95	47,67	50,40	56,03	45,14	30,02	40,44	40,08
Průměr T[°C]	39,64	38,06	39,00	42,85	49,77	53,13	52,22	35,93	28,00	41,32

Příloha 3: Tabulka teplot naměřených na 2. jednotce blokového transformátoru HVBI

Den / měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	42,79	47,57	45,51	44,96	49,95	54,88	62,75	50,99	29,37	42,68
2	41,82	47,84	44,32	46,17	51,24	56,46	61,82	51,03	28,10	40,91
3	38,14	45,68	48,36	48,93	52,36	53,19	60,09	51,72	27,67	36,49
4	35,51	49,20	47,70	51,62	44,84	55,22	59,06	55,33	28,91	31,61
5	41,56	53,98	50,36	52,27	48,66	59,01	62,47	47,23	21,86	34,56
6	40,20	47,66	47,16	51,11	53,03	58,76	59,15	49,45	22,49	32,14
7	42,07	44,37	46,53	50,46	55,22	57,17	59,71	50,72	19,72	41,89
8	46,09	45,82	44,71	46,15	54,08	59,01	0,00	51,93	26,48	43,32
9	43,48	48,69	47,27	45,98	55,81	56,35	0,00	49,49	27,54	44,68
10	30,55	44,34	48,63	46,89	54,59	59,05	0,00	44,94	27,91	41,37
11	44,36	44,16	47,67	45,63	53,05	55,96	69,36	44,36	28,16	31,58
12	46,36	43,65	36,36	47,86	52,29	55,12	58,62	44,13	23,36	34,44
13	44,46	43,07	47,18	49,23	56,42	58,85	57,69	48,26	28,75	42,38
14	43,71	48,90	45,73	47,83	56,32	58,78	48,92	50,67	24,53	39,01
15	43,55	45,58	44,43	49,69	51,94	54,24	52,37	48,17	27,06	44,99
16	40,76	42,33	47,33	53,05	51,26	58,54	52,80	45,78	26,40	48,40

17	40,33	40,10	48,96	53,34	52,50	56,07	54,36	45,71	21,40	44,73
18	38,82	41,91	44,46	45,77	55,39	57,78	57,95	45,82	19,57	46,55
19	36,31	44,22	47,39	49,09	55,70	56,81	58,75	47,72	17,50	45,82
20	36,76	44,37	47,19	47,67	58,93	51,70	57,06	49,00	17,33	45,06
21	39,24	48,89	46,61	47,58	59,62	58,10	59,66	43,47	14,93	43,08
22	36,17	50,63	43,95	50,58	59,29	59,83	55,06	44,01	16,63	44,79
23	35,16	44,85	44,36	49,96	56,22	63,80	58,28	46,05	16,76	40,63
24	43,49	43,63	47,43	45,85	51,55	63,76	54,64	0,00	50,80	45,35
25	45,42	41,62	46,70	44,29	54,59	68,09	54,59	0,00	39,22	46,83
26	45,00	42,41	46,80	46,92	53,96	57,87	58,64	0,00	39,38	43,38
27	49,24	41,31	48,89	44,32	58,51	55,76	55,52	0,00	38,57	34,78
28	49,20	41,52	49,35	45,83	57,70	60,81	55,74	0,00	38,79	33,73
29	46,12	42,84	49,27	46,68	56,17	62,88	54,88	0,00	42,51	48,74
30	48,30	40,84	49,17	50,52	58,58	63,25	57,12	29,46	44,32	32,08
Průměr T[°C]	41,83	45,07	46,66	48,21	54,33	58,24	51,90	37,85	27,87	40,87